



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

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Techniques**

**Filière : Génie des procédés**

**Spécialité : Génie de l'environnement**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :

**Seriti hayette**

Le : dimanche 26 juin 2022

Traitement de l'eau de unicab polluée par le cuivre sur charbon  
active

---

## Jury :

Dr	Rahali Hanane	MCA	Université de Biskra	président
Dr	Hamdi Ines	MCA	Université d'appartenance	rapporteur
Dr	Nouioua Asma	MCB	Université d'appartenance	Exminateur

Année universitaire : 2021 - 2022





## Dédicace

A mon père, que dieu le protège et prenne soin de lui. Il peut être fier et trouve ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations afin de réussir dans mes études et à avancer dans la vie.

A ma mère, que dieu lui protège, qui a été le secret de ma patience et la poursuite de mes études et qui a œuvré pour ma réussite.

A mes frères et sœurs, que dieu leur protège, qui m'ont soutenu à tout moment.

A tous ceux qui m'aident et me conseillent.

A mes chers amis.

A ceux qui m'aiment.



# remerciement

Nous tenons d'abord à remercier Allah le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Ce travail a été réalisé au sein des laboratoires génie de procédé de l'université Mohamed khider de Biskra.

Nos remerciements à Mme HAMDI.Ines notre Co-encadreur.

Nos sincères remerciements vont aussi aux membres du jury rehali hanane et Nouioua Asma. d'avoir accepté d'évaluer notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Mes remerciements s'adressant également à Monsieur Sakri Adel, chef du département de chimie industrielle. Je tiens également à saluer tous mes collègues rencontrés au cours de ces années passées et qui ont contribué à la bonne ambiance.

Enfin, et surtout, j'aimerais remercier tous les membres de ma famille : mes parents, mes frères et mes sœurs, pour leur soutien tout au long de ces années.

**Merci ...**

## Table des matières

### Chapitre I : GENERALITE SUR L'ADSORPTION ET CHARBON ACTIVE

I-1- Introduction .....	2
I-2- Le principe d'une séparation .....	2
I-3- Définition .....	3
I-4-. Types d'adsorption .....	3
I.4.1. Adsorption physique .....	3
I.4.2. Adsorption chimique .....	3
I.5. Applications de l'adsorption.....	4
I.6. Cinétique d'adsorption.....	4
I.7. Importance de l'adsorption.....	5
I.8. Isothermes d'adsorption.....	6
I.9. Classification des isothermes d'adsorption.....	6
I.10. Modélisation des isothermes.....	7
I.10.1.Le modèle de Freundlich.....	7
I.10.2.Modèle de Langmuir.....	8
I.11.Thermodynamique d'adsorption.....	9
I.12. Généralité sur charbon actif.....	9
I.12.1.Définition .....	10
I.12.2.Sources du charbon actif.....	10
I.12.3. Propriété de charbon actif.....	11
I.12.4. Utilisation du charbon actif.....	11
I.12.5. Différentes formes du charbon actif .....	12
1. Le charbon actif extrudé.....	12
2. Charbon actif en grain (CAG).....	12
3. Charbon actif en poudre (CAP).....	13
I.12.6. Structure du charbon actif.....	13

## **CHAPITRE II : GENERALITE SUR METAUX LOURDS**

II-1- Introduction .....	15
II.2 Définition des métaux lourds.....	15
II.3 Classification des métaux lourds.....	15
II.3.1 Les métaux essentiels .....	15
II.3.2 Les métaux toxiques .....	15
II.4 Origine des métaux lourds .....	16
II.4.1 Origine naturelle .....	16
II.4.2 Origine anthropique .....	16
II.5 La toxicité des métaux lourds.....	17
II.6 Les effets des métaux lourds .....	17
II.7.5 Le cuivre .....	18
II.7.5.1 Définition .....	18
II.7.5.2 Propriétés physico-chimiques .....	19
II.7.5.3 Propriétés chimiques .....	19
II.7.5.4 Propriétés mécaniques du cuivre.....	20
II.7.5.5 Origine et présence dans l'environnement.....	20
II.7.5.6 Domaine d'utilisation du cuivre.....	21
II.7.5.7 Normes relatives au cuivre.....	21
II.8.5.8 Cuivres contenant de l'oxygène.....	21

## **CHAPITRE III :           MATERIELS ET METHODES**

III.1. Introduction .....	23
III.2. Matériels première .....	23
III.3. Les produits et Les équipements utilisés.....	24
III.3.1.Les équipements utilisés.....	24
III.3.2.Appareillage utilisés.....	24
III.3.3.Produits chimiques .....	24
III.4.1.a. Les étapes de préparation des charbons actifs.....	25

III.4.1.1.Lavage et Séchage.....	25
III.4.1.2. Broyage.....	25
III.4.1.3. Tamisage.....	26
III.3.1.4. L'activation.....	26
III.3.1.5. Carbonatation.....	27
III.4. Analyse physico-chimiques des charbons activés.....	27
III.4.1. La teneur en humidité.....	27
III.4.2. Le teneur de cendre.....	27
III.5.Résultats obtenus.....	28
III.5.2. Rendement de pyrolyse.....	28
III.5.3.Résultats obtenus.....	29
III.6. Préparation d'une solution.....	29
III.6.1. Echantillons de l'eau contaminées (usine de l'UNICAB).....	29
III.6.2. Préparation de solutions de sulfate de cuivre.....	30
III .6.3.Utilisations du charbon actif.....	31
III.7. Etude de l'effet des paramètres gouvernants l'adsorption.....	31
III.7.1.Effet des temps.....	31
III.7.2.L'effet de la masse.....	31
III.7.3.L'effet de la vitesse.....	32
III.8. Résultats et discussion.....	32

#### **CHAPITRE IV :**

#### **RESULTATS ET DISCUSSION**

IV 1. L'effet du temps .....	33
IV.2. L'effet de la masse.....	34
IV.3. L'effet de la vitesse .....	35
IV 4. Conclusion.....	36

## Liste d'abréviations

$q_t$  : La quantité adsorbée à l'instant  $t$  (mg/g).

$C_0$  : concentration initiale de l'adsorbât,  $C_e$  : concentration à l'équilibre de l'adsorbât

$C_0$  : La concentration initiale en colorant (mg/l).

CAE : charbon actif extrudé

CAG : Charbon actif en grain

CAP : Charbon actif en poudre

Cd: La teneur en cendre (%)

$C_t$ : La concentration en colorant à l'instant  $t$  (mg/l).

Cu : cuivre

$\text{CuSO}_4$  : sulfate de cuivre

H: La teneur en humidité (%)

$\text{H}_2\text{O}$  :eau distillée

HCl : Acide chlorhydrique

$K_c$  : constante d'équilibre,

$K_F$  : constante d'isotherme de Freundlich (mg/g).

$m'$ : La masse du creuset rempli après carbonisation en (g).

$m$ : La quantité de l'adsorbant en solution (g).

$M_0$ : teneur en matière organique (%)

$m_0$ : La masse du creuset rempli après séchage en (g).

$m_f$ : La masse du creuset rempli après carbonisation en (g).

$m_i$ : La masse du creuset rempli avant séchage en (g).

NaOH : Hydroxyde de sodium

$n_F$  : intensité d'adsorption

P1: La masse de bécher rempli avant séchage en (g) "charbon + bécher ".

P2: La masse de bécher rempli après séchage en (g) " charbon + bécher ".

$R_{(p)}$ : Rendement de pyrolyse (%)

T : température absolue (K)



Ta: taux d'activation (%).

V: Le volume de la solution (ml).

$\Delta H$  : variation de l'Enthalpie (cal/mole),

$\Delta S$  : variation de l'Entropie (cal/mole K-1 )

## *Liste des figures*

<b>Figure I.1</b> : Représentation des forces d'interaction en surface et en profondeur .....	2
<b>Figure I.2</b> : Principe du phénomène d'adsorption.....	2
<b>Figure I.3</b> : Schéma de mécanisme de transport de l'adsorbat au sein d'un grain: 1- diffusion externe, 2- diffusion interne (dans les pores), 3- diffusion de surface.....	5
<b>Figure I.4.</b> Classification d'isothermes d'adsorption.....	7
<b>Figure I.5:</b> charbon actif.....	10
<b>Figure I.6</b> : Présente le CA en Extrudé.....	12
<b>Figure I.7</b> : charbon actif en grain.....	12
<b>Figure I. 8:</b> Charbon actif en poudre.....	13
<b>Figure I.6:</b> Structure cristalline: (a) graphite; (b) charbon actif.....	13
<b>Figure I.9:</b> Représentation schématique des microstructures du charbon actif.....	14
<b>Figure III.1.</b> Figuier de barbarie.....	23
<b>Figure III.2:</b> La séparation des pelures de figue de barbarie.....	25
<b>Figure III.3:</b> broyage des pelures de figue de barbarie.....	25
<b>Figure III.4:</b> tamisages des pelures de figue de barbarie.....	26
<b>Figure III.5:</b> Séchage des pelures de figue de barbarie dans l'étuve.....	26
<b>Figure III.6:</b> Carbonatation des pelures de figue de barbarie.....	27
<b>Figure III.7:</b> émulsion.....	29
<b>Figure III.8</b> : la décantation de l'émulsion dans l'étuve.....	30
<b>Figure III.9</b> : procédé de filtration.....	31
<b>Figure IV.1:</b> effet de temps du contact sur l'adsorption de cuivre par un charbon brute à base de peaux de figue de barbarie a) la capacité $q(t)$ et b) le rendement.....	33
<b>Figure IV.2:</b> effet de temps du contact sur l'adsorption de cuivre par un charbon actif à base de peaux de figue de barbarie a) la capacité $q(t)$ et b) le rendement.....	34
<b>Figure IV.3:</b> effet de masse du contact sur l'adsorption de cuivre par un charbon brut à base de peaux de figue de barbarie a) la capacité $q(t)$ et b) le rendement.....	34
<b>Figure IV.4:</b> effet de masse du contact sur l'adsorption de cuivre par un charbon active à base de peaux de figue de barbarie a) la capacité $q(t)$ et b) le rendement.....	35
<b>Figure IV.5:</b> effet de vitesse du contact sur l'adsorption de cuivre par un charbon brute à base de peaux de figue de barbarie a) la capacité $q(t)$ et b) le rendement.....	35

**Figure IV.6:** effet de vitesse du contact sur l'adsorption de cuivre par un charbon active à base de peaux de figue de barbarie a) la capacité  $q(t)$  et b) le rendement.....36

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau I.1</b> : Les facteurs pratiques qui peuvent définir les deux types d'adsorption.....	4
<b>Tableau I.2</b> : Principales caractéristiques du charbon activé.....	11
<b>Tableau II.1</b> : Rapport du flux lié à l'activité humaine et le flux naturel des métaux lourds... .	16
<b>Tableau II.2</b> : flux des métaux lourds dans l'environnement.....	17
<b>Tableau II.3</b> : Effets des métaux sur la santé humaine.....	18
<b>Tableau II. 4</b> : Les propriétés physico chimique de cuivre.....	20
<b>Tableau III.1</b> : détermination la teneur d'humidité H (%) et teneur en cendre Cd de charbon brut.....	28
<b>Tableau III.2</b> : détermination le taux d'activation Ta(%) et Rendement de pyrolyse.....	29
<b>Tableau III. 3</b> . Les valeurs d'étalonnage du cuivre à 810 nm.....	31

# INTRODUCTION GENERALE

# INTRODUCTION GENERALE

---

## INTRODUCTION GENERALE

L'eau représente le constituant majeur de la matière vivante. Chez la plupart des êtres vivants, la teneur en eau est de l'ordre de 70% voire davantage [1]. L'eau est un élément vital dont l'importance au niveau planétaire est sans cesse rappelée. Sa pollution par les activités industrielles et agricoles constitue un sujet de préoccupation majeur de nos sociétés développées, de ce fait, un vaste sujet d'études pour réduire cette pollution à la source si possible ou dans les effluents si nécessaire avec des traitements curatifs appropriés. Le génie des procédés, très concerné par la réduction des effets de l'industrie sur l'environnement, s'est depuis longtemps saisi de cette problématique, à la fois au niveau amont en concevant des procédés intrinsèquement propres, et en aval, en mettant en œuvre des procédés de traitement d'effluents adaptés aux divers effluents industriels [2].

L'unité ENICAB Biskra est une unité utilisée pour produire des câbles électriques à partir de différents types et natures de matériaux. L'industrie du câble électrique nécessite de grandes quantités de l'eau, y compris la fabrication de câbles en cuivre, comprenant des quantités précises en hydrocarbures.

Les eaux rejetées par les usines d'industriel sont fortement concentrées en hydrocarbures parfois non dégradables ou peu dégradables, ce qui rend les traitements biologiques difficilement applicables. Donc il est nécessaire de trouver des techniques d'efficacité importante et avec un coût pas très élevé [1].

Le but de notre étude est de préparer le charbon actif issu des écorces de la figue de barbarie afin d'en obtenir utilisable pour le traitement des eaux usées pour éliminer les métaux lourds. Dans notre étude, nous aborderons le traitement des eaux riches en métaux lourds, le plus important des qui est une eau riche en cuivre. Plus d'une introduction générale et une conclusion générale notre travail se compose en trois chapitres :

- Dans le premier chapitre consacré à la présentation des généralités sur l'adsorption Les modèles les plus couramment utilisés pour décrire ce phénomène Nous sommes approfondis par une étude sur le charbon actif et les précurseurs les plus couramment utilisés.
- Le deuxième chapitre présente généralités des métaux lourds, leur classification et leur origine et leur toxicité, le cuivre
- Le troisième chapitre matériel.
- Le quatrième chapitre présente les résultats et la discussion.

À la fin de ce travail théorique et expérimental il y a une conclusion générale résume et les résultats obtenus.

**Chapitre I :**  
**Généralité sur l'adsorption et le Charbon Active**

## I.1. Introduction :

Le terme d'adsorption est apparu en 1881, utilisé par KAYZER pour décrire le phénomène de condensation d'un gaz sur une surface, par opposition au terme « absorption » qui fait référence à une molécule de gaz qui pénètre dans le solide sans interagir, alors tout atome ou molécule qui s'approche d'une surface subit une attraction qui peut conduire à la formation d'une liaison entre la particule et la surface. Ce phénomène constitue « l'adsorption », le solide est appelé adsorbant et la substance qui s'adsorbe, adsorbat [3- 4].

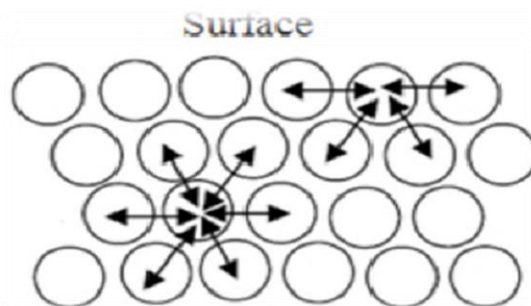


Figure I.1 : Représentation des forces d'interaction en surface et en profondeur [3]

## I.2. Le principe d'une séparation :

Le principe d'un procédé de séparation est d'utiliser une différence de propriétés entre le composé d'intérêt et le reste du mélange. Plus la différence de propriété sera grande, plus la séparation sera aisée. Ainsi, le choix du procédé de séparation commence par une bonne connaissance de la composition du mélange et des propriétés des différents composants. [3]

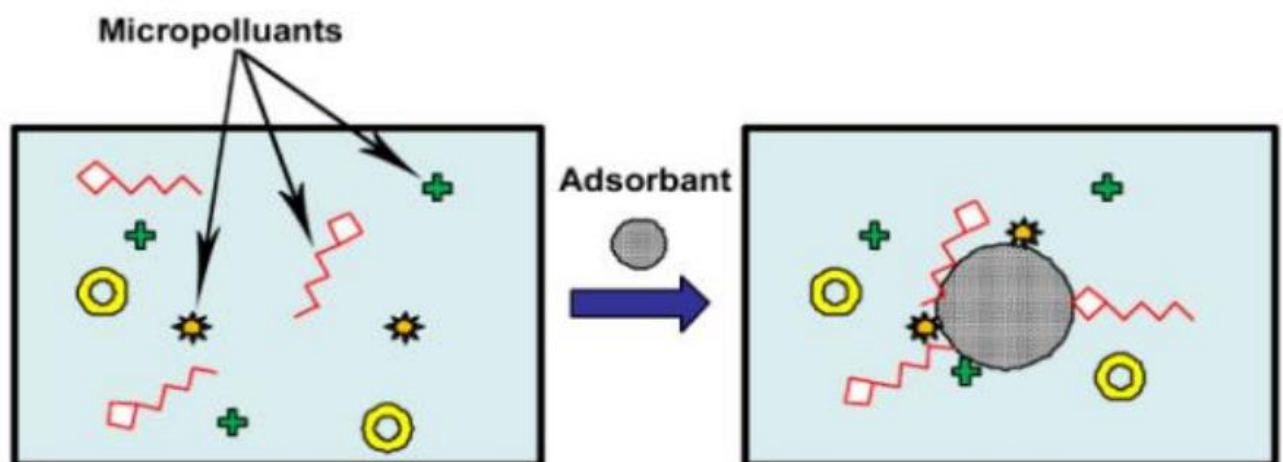


Figure I.2 : Principe du phénomène d'adsorption



### I.3. Définition

L'adsorption est l'accumulation (concentration) à la surface d'un solide ou d'un liquide, soumis à une atmosphère gazeuse, d'ions, molécules et particules colloïdales provenant de la phase vapeur et qui modifient les propriétés physiques et chimiques. L'espèce adsorbée est l'adsorbat et la surface adsorbante est l'adsorbant [5]. Il est compréhensible que si une substance dissoute tend à diminuer la tension superficielle, et donc l'énergie interne du système, sa concentration dans la couche superficielle soit plus élevée que dans la solution elle-même.

Il existe quatre paramètres remarquables :

- L'adsorbant : un facteur de purification qui élimine les impuretés.
- La molécule à adsorber : les molécules polluantes
- L'eau à traiter : échantillon qui prend les molécules polluantes
- La surface spécifique des matériaux : les solides dans les milieux naturels (Argile, silice, ...) possèdent des surfaces spécifiques variables [6].

### I.4. Types d'adsorption :

Selon les types et la nature des interactions adsorbat-adsorbant ou les forces qui maintiennent les adsorbats sur la surface solide, on distingue deux types d'adsorption : la physisorption et la chimisorption [7-8].

#### I.4.1. Adsorption physique :

Ce type d'adsorption résulte de l'établissement d'un échange de forces de faible énergie entre la surface d'un solide et des molécules à proximité de cette surface. Dans ce cas, la rétention est le résultat des liaisons de nature électrostatique de type Van Der Waals. Du point de vue énergétique, la physisorption se produit aux basses températures avec des énergies de l'ordre de 10 Kcal. mol<sup>-1</sup> tout au plus. Elle correspond à un processus réversible (équilibre dynamique d'adsorption et de désorption) et ne conduit pas à une modification de l'identité chimique de la molécule adsorbée. Dans le cas d'une telle adsorption, le temps de rétention de la substance adsorbée est court et la surface adsorbante peut être recouverte de multiples couches moléculaires de produit adsorbé [9].

#### I.4.2. Adsorption chimique

La chimi-sorption résulte de la formation d'une liaison chimique entre la surface d'adsorbant et le substrat. Celle-ci peut être covalente ou ionique. Comparativement à l'adsorption physique, elle met en jeu des énergies d'adsorption plus élevées, qui sont de l'ordre de 100 Kcal/mole. Ce processus se produit à des hautes températures et, est généralement irréversible et lente, produisant 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. Comme pour la physisorption [10], préfère employer le mot d'adsorption spécifique qui résulte de la présence de groupements fonctionnels oxygénés se trouvant sur les contours de tout le

## Chapitre I : Généralité sur l'adsorption et le Charbon Actif

réseau cristallin. Dans ces conditions ils peuvent être à la base d'interaction se produisant entre les diverses molécules organiques et la surface du matériau (charbon actif). Ce qui peut donc conduire à la formation de complexes avec les groupements carbonyles présents à sa surface [11].

La chaleur d'adsorption, relativement élevée, est comprise entre 20 et 200 Kcal/mol. La distance entre la surface et la molécule adsorbée est plus courte que dans le cas de la physisorption [11].

**Tableau I.1** : Les facteurs pratiques qui peuvent définir les deux types d'adsorption [12].

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption Chimique
Chaleur d'adsorption	1 à 10 Kcal/mol	15 à 25 Kcal/mol
Température du processus	Relativement basse	Plus élevée
Liaisons	Forces de Van Der Waals	Liaison chimique
cinétique	Rapide et pratique indépendante de la température	Difficile
Energie d'activation	Aucune énergie d'activation appréciable n'est mise en jeu	lente
Formation de couche	Formation multicouche	des Peut être mise en jeu dans la procède

### I.5. Applications de l'adsorption

Les applications de l'adsorption sont nombreuses. Par exemple, le phénomène d'adsorption des substances réactives par un catalyseur solide joue un rôle décisif dans la catalyse hétérogène, tant en milieu gazeux qu'en solution. Ainsi les solides adsorbants sont largement utilisés pour purifier les gaz ou les solutions de leurs impuretés ou souillures. On peut citer l'application du charbon actif dans les masques à gaz qui ont permis de sauver des milliers de vies humaines [13]. Il existe aussi des procédés industriels de purification et d'assèchement des gaz, ainsi que des processus de clarification et de décoloration des solutions dans la production des sucres, du glucose, des produits pétroliers...etc. Le processus d'adsorption peut aussi être utilisé dans l'extraction de produits précieux se trouvant à l'état d'impureté dans un gaz ou dans une solution. On peut récupérer de l'or qui se trouve dans une solution aqueuse sous forme d'un complexe de chlorure d'or III par adsorption sur une alumine, silice, kaolin [14].

### I.6. Cinétique d'adsorption

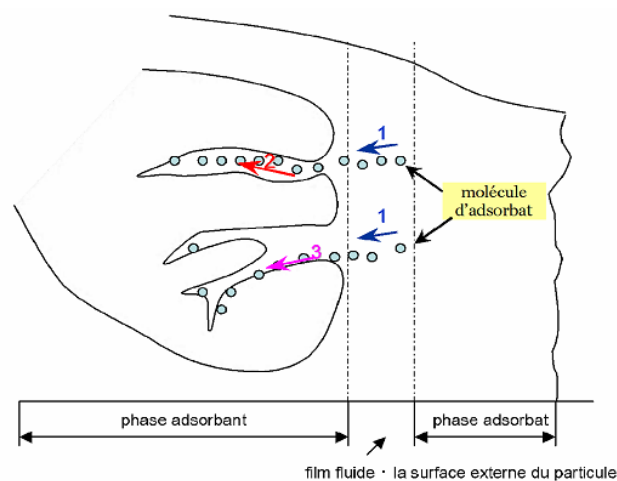
Le phénomène d'adsorption, contrôlé par la diffusion des molécules, atteint son équilibre relativement rapidement (quelques secondes à quelques minutes). Mais, peut se prolonger sur des temps très longs pour les adsorbants microporeux en raison du ralentissement de la diffusion des molécules dans ces structures de dimensions voisines du diamètre des molécules du fluide [15].

Le transfert d'une phase liquide contenant l'adsorbat vers une phase solide avec rétention de soluté à la surface de l'adsorbant se fait en plusieurs étapes [15].

1-Transfert de masse externe (diffusion externe) qui correspond au transfert du soluté (molécules de la phase liquide) du sein de la solution à la surface externe des particules.

2-Transfert de masse interne dans les pores (diffusion interne) qui a lieu dans le fluide remplissant les pores ; les molécules se propagent de la surface des grains vers leur centre à travers les pores.

3- Diffusion de surface Pour certains adsorbants, il peut exister également une contribution de la diffusion des molécules adsorbées le long des surfaces des pores à l'échelle d'un grain d'adsorbant [15].



**Figure I.3** : Schéma de mécanisme de transport de l'adsorbat au sein d'un grain: 1- diffusion externe, 2- diffusion interne (dans les pores), 3- diffusion de surface

## I.7. Importance de l'adsorption

Le phénomène d'adsorption a une importance capitale dans de nombreuses applications industrielles et environnementales. En effet, il est utilisé pour piéger les molécules indésirables existant dans un fluide ou encore pour récupérer les éléments précieux solubles dans un liquide. Les phénomènes d'adsorption sont présents également en catalyse, en électrochimie et en beaucoup d'autres sciences. L'adsorption joue un rôle très important dans les phénomènes d'adhésion entre surfaces solides [16].

## I.8. Isothermes d'adsorption

L'étude de l'adsorption d'un gaz par un solide est en général destinée à fournir des informations sur la surface spécifique et sur la structure poreuse du solide. La présentation la plus utilisée de l'équilibre d'adsorption est l'isotherme d'adsorption qui, à température constante, donne la quantité de gaz adsorbée par le solide en fonction de la pression

d'équilibre du gaz. Il s'agit de la source essentielle d'informations thermodynamiques pour l'interface gaz-solide.

La grande majorité des isothermes peut être classée en cinq types selon leur allure. Il est néanmoins possible de trouver des variantes à chaque type d'isotherme ou des isothermes représentant des combinaisons d'isothermes de type classique [17].

### I.9. Classification des isothermes d'adsorption

Plusieurs auteurs, dont [18], ont proposé une classification des isothermes de sorption basée sur leur forme et sur leur pente initiale. [19-20] présentent une synthèse plus ou moins détaillée de cette classification. Parmi les formes d'isothermes, ces auteurs distinguent quatre types principales sont représentées sur (figure I.4).

#### ▪ Isotherme de type L

Ou isotherme de Langmuir, la plus utilisée, ce type d'isotherme se rencontre lorsque le solide adsorbe une seule couche d'adsorbat et en adsorption chimique.

#### ▪ Isotherme de type S

Ou isotherme Sigmoidale, c'est une adsorption coopérative avec prédominance de l'interaction adsorbat- adsorbat.

#### ▪ Isotherme de type C (Partition constante des adsorbats pour l'adsorbant)

Cette isotherme est rencontrée dans le cas d'un solide microporeux, où il existe dans ce cas une relation linéaire jusqu'à une certaine concentration entre la quantité de soluté adsorbée et la concentration de celui-ci à l'équilibre ; au-delà de cette concentration un plateau horizontal est atteint.

#### ▪ Isotherme de type H

Ou isotherme haute affinité, une forte interaction entre adsorbat et adsorbant est observée qui résulte d'une chimisorption .

Ces classes sont elle-même divisées en sous-groupes suivant les caractéristiques des isothermes à concentration élevée (sous-groupe 1 pour les isothermes incomplètes, sous-groupe 2 pour l'isotherme à pallier, sous-groupe 3 et 4 pour les isothermes à point d'inflexion)

Différents phénomènes sont à considérer pour comprendre cette classification [21] :

a. La solution s'adsorbe sur le même site que le colorant, ce qui implique l'existence d'une compétition d'adsorption entre la solution et l'adsorbat ;

b. Le nombre de site susceptible d'accueillir les molécules à la surface de la particule diminue quand la quantité adsorbée augmente ;

c. Il faut prendre en considération l'orientation des molécules à la surface (adsorption verticale ou à plat) ; ceci est dû au fait qu'il n'est pas possible de considérer les molécules comme approximativement sphériques ;

d. Les interactions attractives ou répulsives entre les molécules adsorbées peuvent jouer un rôle dans le phénomène d'adsorption.

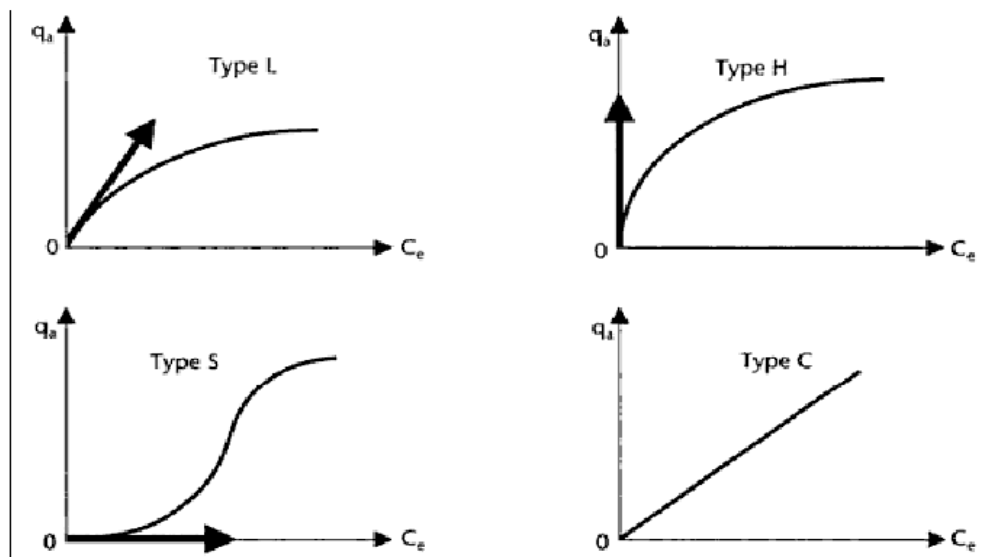


Figure I.4. Classification d'isothermes d'adsorption [22].

### I.10. Modélisation des isothermes

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 trois paramètres les plus couramment employés sont les modèles de Langmuir et Freundlich.

#### I.10.1. Le modèle de Freundlich

Le modèle de Freundlich est un modèle semi empirique qui permet de modéliser des isothermes d'adsorption sur des surfaces hétérogènes dont les sites d'adsorption ne sont pas tous équivalents. Ce modèle est uniquement utilisable dans le domaine des faibles concentrations car il n'a pas de limite supérieure pour les fortes concentrations, ce qui est contradictoire avec l'expérience. L'expression mathématique associée à ce modèle est donnée par l'équation suivante ; [23].

$$q_e = k_F c_e^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots(I.1)$$

La forme linéaire de cette équation est :

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \dots\dots\dots (I.2)$$

Où :  $K_F$  : constante d'isotherme de Freundlich (mg/g).

$n_F$  : intensité d'adsorption.

$C_e$  : concentration d'équilibre de l'adsorbant (mg/L).

$Q_e$  : quantité de métal adsorbé par gramme de l'adsorbant à l'équilibre (mg/g).

$K_F$  et  $1/n_F$  dépendent du couple adsorbant-adsorbé et de la température. Quand  $1/n_F < 1$  : l'adsorption est favorable, dans le cas contraire :  $1/n_F > 1$  l'adsorption est défavorable [23].

### I.10.2. Modèle de Langmuir

C'est le modèle le plus utilisé, il repose sur les hypothèses suivantes :

- On admet que seule une couche monomoléculaire se forme sur le solide.
- L'adsorption s'effectue sur des sites bien définis uniformément distribués sur la surface du solide.
- Tous les sites sont thermodynamiquement équivalents et il n'y a pas d'interaction entre les particules adsorbées.

Ce modèle à deux paramètres a la forme suivante :

$$\frac{x}{m} = \frac{k_m b c_{\acute{e}q}}{1 + k_l c_{\acute{e}q}} \dots\dots\dots (1)$$

La linéarisation de l'équation (1) nous donne :

$$\frac{c_{\acute{e}q}}{x/m} = \frac{1}{k_l b} + \frac{1}{b} c_{\acute{e}q} \dots\dots\dots (2)$$

Où

$C_{eq}$  : Concentration à l'équilibre de l'adsorbant (mg/L).

$x/m$  ou  $q_e$ : Quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g).

$K_L$  : Constante spécifique à l'adsorbant ayant rapport avec l'énergie d'adsorption.

$b$  : Capacité maximale d'adsorption (mg/g).

La représentation graphique de  $C_{eq}/x/m$  en fonction de  $C_{eq}$  est une droite d'ordonnée à l'origine  $1/K_L b$ , et de pente  $1/b$ .  $b$  est la quantité maximale d'adsorption qui peut être fixée, cela correspond à une occupation totale des sites d'adsorption. La constante de Langmuir  $K_L$ , qui dépend de la température, donne une indication sur l'affinité de l'adsorbat pour l'adsorbant : plus elle est élevée, plus l'affinité est forte [24].

### I.11. Thermodynamique d'adsorption

Le phénomène d'adsorption est toujours accompagné par un processus Thermique. Soit exothermique ou endothermique. La mesure de la chaleur d'adsorption est le principal critère qui permet de différencier la chimisorption de la physisorption. La chaleur d'adsorption ( $\Delta H$ ) est donnée par la relation de Van Thoff [25].

$$\log k_s = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT} \dots\dots\dots(I.1)$$

Avec  $k_s = \frac{c_e}{c_0 - c_e} \dots\dots\dots(I.2)$

$K_c$  : constante d'équilibre,

$\Delta H$  : variation de l'Enthalpie (cal/mole),

$\Delta S$  : variation de l'Entropie (cal/mole K-1)

$C_0$  : concentration initiale de l'adsorbât,  $C_e$  : concentration à l'équilibre de l'adsorbât

$T$  : température absolue (K)

### I.12. Généralité sur charbon actif

Parmi les différentes formes de carbone il en existe seulement deux qui soient cristallines, le diamant et le graphite.

Les autres espèces : noir de carbone, charbon actif et cokes, sont moins bien cristallisées et possèdent des propriétés adsorbants. L'expression « charbon actif » désigne tout matériau carboné d'origine animale ou végétale ayant subi des traitements spéciaux (carbonisation, activation), sa surface interne peut atteindre 2000-4000  $m^2/g$  [26].

#### I.12.1. Définition

Les charbons actifs sont des adsorbants spécifiques utilisés pour éliminer les impuretés qui accumule à la surface, ont un caractère essentielle qui est l'existence d'un réseau très développée de micropores, lesquels sont à l'origine de leur pouvoir adsorbant. La capacité des charbons actifs à dépolluer tient de leur faculté d'adsorption. Le

Le charbon actif est le plus ancien adsorbant fabriqué industriellement. Il est obtenu à partir de matières organiques (bois, tourbe) carbonisées, puis activées (dégagement des cavités remplies de goudron lors de la carbonisation). Le charbon actif peut être obtenu soit sous forme de poudre avec des pores de quelques  $\mu\text{m}$  de dimension, soit sous forme de grain. Il peut être régénéré selon trois procédés de désorption : la vapeur, traitement thermique et chimique et biologique [25].



**Figure I.5:** charbon actif [25]

### **I.12.2. Sources du charbon actif**

Le charbon actif obtenu à partir de biomasses ou de sous-produits agricoles qui coûtent moins cher que les charbons actifs issus de matières fossiles, peut être fabriqué à partir de beaucoup des substances ayant une grande teneur en carbone comme les coques des grains, les déchets de maïs et les coques de noix.

Parmi les matières de base (précurseurs) utilisées aujourd'hui pour fabriquer le CA, figurent la sciure de bois, la tourbe, le lignite, la houille, la cellulose, les boues et le marc de café. Le CA préparé à partir des déchets végétaux est aussi très intéressant du point de vue économique, comme l'ont montré différentes études.

Les matériaux les plus effectifs et commercialement viables sont les coques de noix, les noyaux de fruits, les coques d'amande, les noyaux d'olives, les noyaux de pêches et la coque de pécan. Le CA peut être préparé à partir d'une diversité de matrices carbonées [27].

### **I.12.3. Propriété de charbon actif**

De par ses origines variées et ses procédés de fabrication, le charbon actif est connu pour être un matériau de structure et composition hétérogènes. Afin de mieux définir ses propriétés, différentes techniques analytiques ont été développées pour caractériser le charbon actif [25].

Les caractéristiques physiques sont regroupées dans le tableau I.2



Tableau I.2: Principales caractéristiques du charbon activé [28]

Caractéristique	Description
Diamètre Effectif	Poudre : 8-9 ; granules : 0,55 -1,05. Augmentation du taux d'adsorption et des pertes de charge lorsque la grosseur des grains diminue.
Surface d'adsorption	De 850 à 1500 m <sup>2</sup> /g. Plus cette surface est grande plus le charbon activé est efficace
Nombre de mélasse	Il est associé à la capacité du charbon activé d'absorber les impuretés de masses moléculaires élevées
Densité brute	Evolution du volume de charbon activé utilisé

## I.12.4. Utilisation du charbon actif

L'utilisation du charbon actif est répartie en différents domaines comme :

- Traitement des eaux potables et résiduaires.
- Purification de produits industriels.
- Le charbon actif élimine les couleurs et les impuretés de produits bruts, il est employé par exemple pour la décoloration du sucre de canne ou de betterave.
- Le charbon actif est employé dans l'équipement d'air conditionné ainsi que pour l'élimination des odeurs d'égouts et d'émanations chimiques.
- Les filtres à charbon actif contenus dans certaines voitures, fixent les émanations d'hydrocarbures imbrûlés qui s'échappent des véhicules à l'arrêt.

Ces dernières années, l'utilisation du charbon actif s'est élargie au traitement des eaux usées en raison non seulement de ses qualités d'adsorbant mais aussi du rôle épurateur joué par les bactéries qui y sont fixées [29].

## I.12.5. Différentes formes du charbon actif

Les formes du charbon actif les plus utilisés sont : extrudé, poudre et granulé [30].

### 1. Le charbon actif extrudé

Le charbon actif extrudé comme présentée dans la (figure II.2) est de forme cylindrique avec des diamètres allant de 0.8 mm à 5 mm. Il est principalement utilisé pour des applications en phase gazeuse à cause de sa faible perte de charge, de sa grande résistance mécanique et de sa faible teneur en poussières [30].



**Figure I.6 :** Présente le CA en Extrudé [30].

## 2. Charbon actif en grain (CAG)

Le charbon actif peut-être fabriqué sous forme de grains formés de particules de taille supérieure à 1 mm. Il est caractérisé par une grande surface interne et une surface externe relativement faible. Il en résulte que les phénomènes de diffusion à l'intérieur des pores prennent une grande importance dans les processus d'adsorption. Ainsi la cinétique d'adsorption est beaucoup plus lente que dans le cas d'un charbon actif en poudre [31].



**Figure I.7 :** charbon actif en grain [31]

## 3. 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.

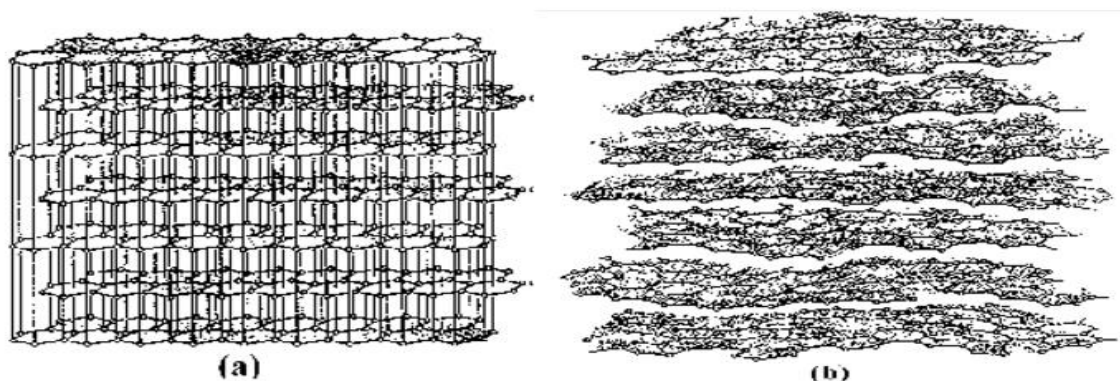
De tels charbons sont donc utilisés préférentiellement pour l'adsorption de solutions en mode batch. Les poudres fines sont utilisées en pharmacie et servent aussi à décolorer les huiles, les graisses, les vins, les sucres et de nombreux autres liquides organiques [32].



**Figure I. 8:** Charbon actif en poudre [32].

### I.12.6. 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 (Figure I.6). L'analyse de diffraction aux rayons X, révèle que sa structure est graphitique, mais avec quelques différences, notamment par la disposition des 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 [33].



**Figure I.6:** Structure cristalline: (a) graphite; (b) charbon actif [33].



**Figure I.9:** Représentation schématique des microstructures du charbon actif [33]

**Chapitre II :**  
**Généralité Sur Les Métaux Lourds**

## **II.1. Introduction**

Les éléments métalliques sont, sous différentes formes, toujours présents au sein de l'environnement. A l'état de traces, ils sont nécessaires voire indispensables aux êtres vivants.

A concentration élevée, en revanche, ils présentent une toxicité plus ou moins forte. La présence de métaux lourds dans l'environnement résulte de causes naturelles et des activités humaines. Elle pose un problème particulier, car les métaux lourds s'accumulent et ils ne sont pas biodégradables dans l'environnement [34].

Ces métaux lourds ne présentent pas tous les mêmes risques en raison de leurs effets sur les organismes, leurs propriétés chimiques, physico-chimiques et biologiques. Leur toxicité est très variable et leur impact sur l'environnement très différent [34].

## **II.2 Définition des métaux lourds**

Les métaux lourds sont définis comme étant les éléments métalliques ayant une densité supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup> : cadmium, mercure, plomb, cuivre, nickel, zinc, cobalt, manganèse, chrome... Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces. Les plus toxiques d'entre eux sont le cadmium, l'arsenic, le plomb et le mercure. Ces éléments sont présents naturellement dans la croûte terrestre et dans tout organisme vivant, à des concentrations variables suivant les milieux et les organismes [35].

## **II.3 Classification des métaux lourds :**

### **II.3.1 Les métaux essentiels :**

Ils sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les Tissus biologiques. Certains peuvent devenir toxiques lorsque la Concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), Du zinc (Zn), du fer (Fe). Par exemple, le zinc (Zn), à la concentration du milli molaire, est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques (déshydrogénases, protéinase, peptidase) et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides [36].

### **II.3.2 Les métaux toxiques :**

Ils ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd) [36].

## II.4 Origine des métaux lourds

Les métaux lourds peuvent provenir de plusieurs sources d'origine naturelles ou anthropiques [34].

### II.4.1 Origine naturelle

Parmi les importantes sources naturelles, citons l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies de forêts. La contribution des volcans peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma [34]. Le (tableau II.1) montre le rapport entre le flux lié à l'activité humaine et le flux naturel [34].

**Tableau. II.1 : Rapport du flux lié à l'activité humaine et le flux naturel des métaux lourds [34]**

Elément	Flux lié à l'homme / Flux naturel (%)
Cadmium	1,897
Mercurure	27, 500
Chrome	1,610
Arsenic	2, 786
Plomb	34, 583

### II.4.2 Origine anthropique

L'activité humaine n'a apporté aucun changement dans les volumes de métaux lourds. Il n'y a ni création, ni suppression. Elle a surtout changé la répartition des métaux, les formes chimiques (ou spéciation) et les concentrations par l'introduction de nouveaux modes de dispersion (fumées, égouts, voitures, etc.). Si une partie des métaux lourds part directement dans le sol et les eaux, l'essentiel est d'abord émis dans l'atmosphère avant de rejoindre les deux autres compartiments. Les origines anthropiques des métaux lourds sont diverses, le tableau I.1 nous renseigne sur les flux naturels (altération des roches,...) et anthropogénique (lié aux activités humaines) [37].

Tableau II.2: flux des métaux lourds dans l'environnement [37]

Eléments	Flux anthropogénique (1)	Flux naturel (2)	Rapport (1)/ (2)
<b>As</b>	150	90	1,7
<b>Cd</b>	43	4,5	9,6
<b>Cr</b>	7810	810	9,6
<b>Cu</b>	9162	375	24,4
<b>Pb</b>	3665	180	20,4
<b>Hg</b>	17,8	0.9	19,8
<b>Ni</b>	1134	255	4,4
<b>Zn</b>	7467	540	13,8

## II.5 La toxicité des métaux lourds

Les métaux sont généralement séparés en deux catégories selon leur caractère essentiel ou non pour les êtres vivants. En effet, ils peuvent s'avérer indispensables au déroulement des processus biologiques (oligo-éléments), c'est le cas du Fer (Fe), du Cuivre (Cu), du Zinc (Zn), du Nickel (Ni), du Cobalt (Co), du Vanadium (V), du Sélénium (Se), du Molybdène (Mo), du Manganèse (Mn), du Chrome (Cr), de l'Arsenic (As) et du Titane (Ti). Dans ce cas, leurs concentrations dans les organismes doivent répondre aux besoins métaboliques de ces derniers. Dans le cas contraire, une carence ou un excès de ces éléments essentiels peut induire des effets délétères. D'autres ne sont pas nécessaires à la vie, et peuvent être même préjudiciables comme le Mercure (Hg), le Plomb (Pb), le Cadmium (Cd) et l'Antimoine [38].

La toxicité des métaux lourds est due essentiellement à :

- Leur non-dégradabilité.
- leur toxicité à faible concentration.
- Leur tendance à s'accumuler dans les organismes vivants et à se concentrer le long des chaînes trophiques.

## II.6 Les effets des métaux lourds :

La toxicité des métaux lourds est renforcée par la bioaccumulation et la biomagnification, donc les métaux peuvent provoquer des risques sur la santé humaine et l'environnement même à de petites quantités. Le tableau suivant représente les effets de quelques métaux lourds sur les êtres humains [39].



Tableau II.3 : Effets des métaux sur la santé humaine. [39]

Métal	Effet aigues	Effet chronique
Nichel	dermatoses, allergies. différentes	Cancérogènes, tératogènes et mutagènes, troubles digestifs, céphalées et asthénie.
Cobalt	dépansions, anorexie, nausée, Vomissement, diarrhée, symptômes neurotoxiques : maux de tête, dépression du système nerveux – périphérique et changement des réflexes	a perte partielle ou complète du sens de L'odorat, les troubles digestifs du type gastroentérites, la dilatation du cœur, les thrombopénies, l'augmentation d'érythrocytes dans le sang et les maladies de la glande thyroïdienne.
Cuivre	Brûlure épigastrique, nausée, vomissement, diarrhée. une induction d'anémie hémolytique, allergie par contact avec la peau.	La maladie de Wilson (accumulation de cuivre dans le foie, le cerveau et les reins dont résulte une anémie hémolytique et des malformations neurologiques).
Zinc	Crampes d'estomac, diarrhée, vomissement, nausée, fièvre, irritations, anémie.	Endommagement de pancréas, perturber le métabolisme des protéines, artériosclérose, dysfonctionnement lent du foie.
Fer	Vomissement, saignement gastro-intestinal, pneumonie, convulsion, coma, jaunisse.	Des troubles du sang, perturbation de métabolisme du glucose, augmentation des maladies cardiaques. Pneumoconioses.
Chrome	Nausée, diarrhée, endommagement du foie et des reins, hémorragie interne, dermatites et des problèmes de respiration.	Cancérogènes et mutagènes modifiant les bases d'ADN, des dermatites de contact, ulcère de la peau, irritations septiques, congestion pulmonaire, perforer les tympans et la néphrite.

## II.7 Le cuivre :

### II.7.1 Définition :

C'est un élément chimique métallique de couleur rouge-brun, de symbole Cu et NA29. Il est indispensable au métabolisme des êtres vivants. Il existe à l'état natif et extrait d'une grande variété de minerais. Il peut être présent dans l'eau à partir du contact avec des minéraux porteurs de cuivre ou de déchets minéraux provenant de la production de cuivre. Il peut se concentrer dans les eaux naturelles généralement à des teneurs inférieures à 1mg/l et ses principales sources anthropiques sont les industries, les traitements agricoles et la corrosion des tuyauteries [40].

Le cuivre est l'un des métaux les plus employés à cause de ses propriétés physiques et sa conductibilité électrique et thermique [40].

### II.7.2 Propriétés physico-chimiques :

Le cuivre, de masse atomique 63,846, fond vers 1083°C, bout vers 2 567°C et possède une densité de 8,9. Du fait de ses nombreuses propriétés intéressantes, comme ses importantes conductibilités électrique et calorifique, sa résistance à la corrosion, sa malléabilité et sa ductilité, ainsi que son aspect esthétique, le cuivre pur est utilisé depuis longtemps dans de nombreuses applications [41].

### II.7.3. Propriétés chimiques :

Le cuivre métal est peu réactif. Au contact de l'atmosphère (en présence d'oxygène et de dioxyde de carbone), il s'oxyde pour former une couche protectrice constituée de carbonate de cuivre basique connu sous le nom de « verte de gris ». La valeur du potentiel standard du cuivre ( $E^\circ \text{Cu}^{2+}/\text{Cu} = 0,34\text{V}$ ), étant supérieure à celle de l'hydrogène ( $E^\circ \text{H}^+/\text{H}_2 = 0\text{V}$ ), le cuivre métal ne réagit pas avec les solutions acides non oxydantes comme l'acide chlorhydrique (réaction très lente avec l'acide sulfurique concentré). Par contre, des solutions acides ayant des propriétés oxydantes marquées (comme l'acide nitrique ou des solutions diluées l'acides sulfurique aérées et oxygénées) peuvent attaquer le cuivre pour conduire au dinitrate de cuivre dans le cas d'une attaque à l'acide nitrique.

Les solutions d'ammoniaque, de sels ammoniacaux ou de cyanures formant des complexes très stables avec le cuivre produisent une corrosion rapide du métal.

En solution, le cuivre présente les deux principaux degrés d'oxydation suivants :

$\text{Cu}^{+1}$  et  $\text{Cu}^{2+}$  Fondu, il donne des alliages avec de nombreux métaux (étain, zinc, nickel, aluminium...), sous forme de poudre métallique, le cuivre forme des composés explosifs en présence des constituants suivants : acétylène, nitrure de sodium, bromates, chlorates, iodates de baryum, calcium, magnésium...

En chimie organique, le cuivre catalyse certaines réactions (déshydrogénation, condensation, oxydation, hydrogénation) [42].

Tableau II. 4 : Les propriétés physico chimique de cuivre. [41]

Métal	Cu
Etat ordinaire	Solide
Nombre atomique	29
Configuration électronique	[Ar] 3d9 4s
Masse atomique (g/mole)	63.546
Point de fusion (°C)	1083
Point d'ébullition a 1 atm (°C)	2595
Electronegativite (v)	1.9
Potentiel normal M n+/ M (v)	0,522/0,345
Rayon atomique (A)	1.57
Rayon ionique (A)	0,96/0,72
Masse volumique a 20°C (g. cm-3)	8.96
Energie de 1ere ionisation (KJ .mol-1)	178
Energie de 2e ionisation (KJ .mol-1)	646
Energie de fusion	13,05 KJ /mo
Energie de vaporisation	300,3 KJ/mol
Volume molaire	7,11.10-6 m3/mo
Pression de vapeur	0,0505 Pa (1084,4°C
Vitesse du son	3570 m/s (20°C)

#### II.7.4 Propriétés mécaniques du cuivre :

- La malléabilité et la plasticité : le cuivre est très ductile. Non allié, il n'y a pratiquement pas de limite à son travail à froid. Il se prête très bien aussi à la déformation à chaud.
- Soudabilité : le cuivre et ses alliages se prêtent bien à la soudure que ce soit autogène, électrique, et au brasage.
- Point de vue esthétique : utilisé en bijouterie, l'or peut contenir jusqu'à 15% de cuivre. Sa couleur naturelle, rougeâtre à rouge est très recherchée en décoration, de même que la couleur jaune du laiton (dépend du pourcentage en zinc contenu).
- A magnétisme : Cette propriété lui vaut son utilisation dans la construction électrique et électronique [42].

#### II.7.5 Origine et présence dans l'environnement :

Le cuivre est présent naturellement dans la croûte terrestre et dans les océans, les lacs, les rivières sous différentes formes et concentrations. C'est un des rares métaux existant à l'état natif, ce pendant il est majoritairement présent sous la forme de minerais.

Les sources anthropiques de cuivre dans l'environnement sont liées à la production, à l'utilisation ou à l'élimination du cuivre métal (plus ou moins pur, affiné ou raffiné) et /ou des composés du cuivre et/ou des alliages du cuivre.

Les apports de cuivre anthropique ont principalement pour origine : les activités industrielles qui émettent majoritairement dans les eaux et les sols.

Une source d'émission dans l'environnement des composés du cuivre est leur présence dans les insecticides, molluscicides destinés aux filets de pêche et coques de bateaux, bactéricides, herbicides et fongicides (anti-mildiou) (oxyde de cuivreux et cuivrique, acétate de cuivre et sulfate de cuivre), dans la bouillie bordelaise (sulfate de cuivre avec de l'hydroxyde de calcium) et dans la bouillie bourguignonne (sulfate de cuivre avec du carbonate des sodiums [42] .

### **II.7.6 Domaine d'utilisation du cuivre :**

Les domaines d'utilisation du cuivre et ses alliages sont multiples et variés dont :

- L'industrie électrique et thermique : fabrication de câbles électriques et tuyaux servant au chauffage et refroidissement rapide de liquide et de gaz.
- Le domaine de l'industrie électronique : entre dans la fabrication de cartes électroniques.
- Le domaine du bâtiment et de l'architecture : toitures, façades de différents bâtiments.
- Les ustensiles de cuisine : fabrication de casseroles, chaudrons...
- Etre humain : oligoélément faisant partie du groupe restreint des éléments métalliques indispensables à l'être humain.
- Dans le domaine de l'agriculture : fabrication de fongicides... [43]

### **II.7.7 Normes relatives au cuivre**

- NF EN 1652 (indice de classement français A 51-201) : plaques, tôles bandes et disques pour usages généraux.
- NF EN 1654 (indice de classement français A 51-203) : bandes pour ressorts et connecteurs.
- NF EN 1057 (indice de classement français A 51-120) : tubes ronds sans soudure en cuivre pour l'eau et le gaz dans les applications sanitaires et de chauffage.
- NF EN 1977 (indice de classement français A 51-118) : fil machine en cuivre.
- NF EN 12166 (indice de classement français A 51-304) : fil pour usages généraux [42].

### **II.7.8 Cuivres contenant de l'oxygène**

Introduit au cours des opérations de fusion et de coulée, l'oxygène est présent dans le cuivre à des teneurs de quelques centaines de parties par million (100 ppm = 0,01 %). La structure micrographique révèle la présence de cet oxygène sous forme de petits globules cuivreux d'oxyde  $Cu_2O$ , appelé oxyde. Cette présence rend cette nuance de cuivre impropre au

chauffage aux températures supérieures à 300 °C en atmosphère réductrice ou contenant de l'hydrogène ; en effet la réduction de l'oxyde avec formation de H<sub>2</sub>O fragilise les joints de grains et conduit à une décohésion inter granulaire du cuivre [43].

# **Chapitre III :**

## **Matériel et Méthode**

### III.1. Introduction

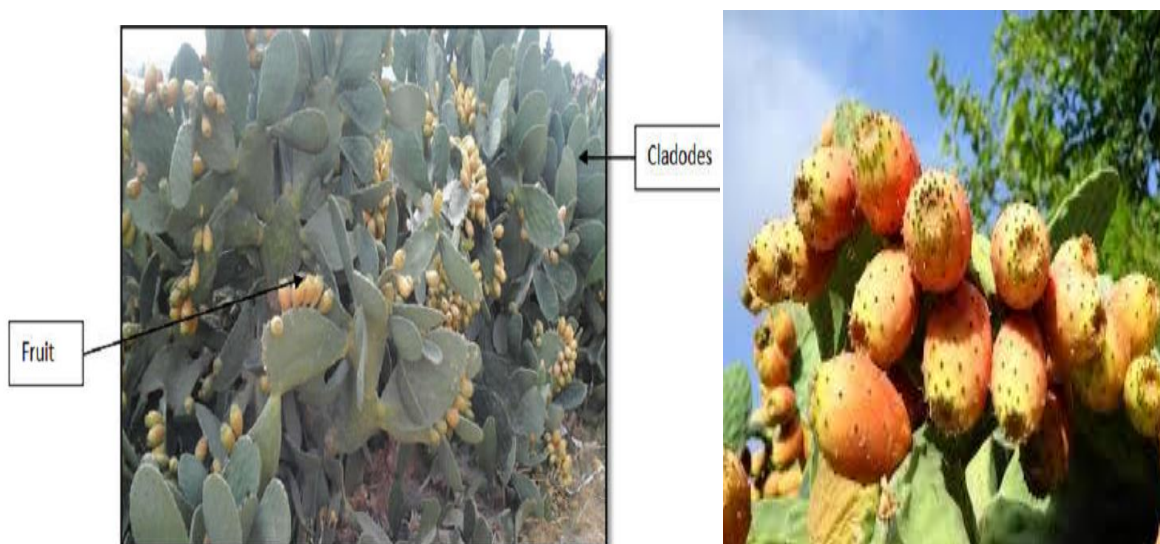
La partie expérimentale de ce travail à été réalisée dans laboratoire de Faculté des sciences et Technologie Département chimie Industrielle Université Mohamed khaidar- Biskra .

Le but de cette étude est de préparer du charbon actif à partir des pelures de figue de barbarie pour obtenir une substance applicable utilisé pour élimination de cuivre , résultant de son utilisation dans certaines activités industrielles et chimique étudier les effets des paramètres chimiques tels que la concentration initiale des métaux lourds cuivre, la masse de l'adsorbant de la solution, et la cinétique de l'adsorption du cuivre [44].

### III.2. Matériels première :

Le genre *Opuntia* est originaire du Espagne. Sa distribution géographique est très large : Espagne, Sicile, Chili, Brésil, Turquie, Corée, Argentine et Afrique du Nord. Il a été introduit d'abord en Espagne et plus tard au 16<sup>ème</sup> siècle au Nord et au Sud de l'Afrique [45].

En Algérie, les plantations du figuier de barbarie sont réparties dans les hauts plateaux, à Batna, Biskra et Bordj-bou-Arrérij, Constantine, sur les hauts plateaux Algérois à 550 mètres, et environs 750 mètres à M'sila, Laghouat et même à 1100 mètres Ain-Sefra. Du centre à l'ouest l'*Opuntia* occupent une superficie dépassent les 25.000 hectares [45].



**Figure III.1.** Fiquier de barbarie [45].

**III.3. Les produits et Les équipements utilisés :****III.3.1. Les équipements utilisés**

- Fiole jaugée (1000 ml ,500ml)
- Pipette graduée
- Plaques chauffantes
- Barreau magnétique
- Spatule
- Bécher
- Erlenmeyer
- Verre de montre
- Entonnoir
- Papier filtre
- Balance électrique

**III.3.2. Appareillage utilisés**

- pH mètre
- Spectrophotomètre UV-Visible Spectrophotomètre
- Conductimètre
- Agitateur magnétique
- Balance
- L'étuve
- Four

**III.3.3. Produits chimiques :**

- eau distillée.....H<sub>2</sub>O
- Hydroxyde de sodium (0.1 mol/l)..... NaOH
- Acide chlorhydrique concentré..... HCl
- sulfate de cuivre.....CuSO<sub>4</sub>

Masse molaire de cuivre : 249.68 g/mol

Masse molaire (atomique) de cuivre : 63.55 g/mol



### III.4.1.a. Les étapes de préparation des charbons actifs :

#### III.4.1.1. Lavage et Séchage

Nous prenons la peau de figue de barbarie séchée, puis la lavons à l'eau pour éliminer les impuretés (la poussière et les substances hydrosolubles), Après cela, nous le mettons à l'air libre au soleil jusqu'à ce qu'il sèche complètement pendant deux jours.



**Figure III.2:** La séparation des pelures de figue de barbarie

#### III.4.1.2. Broyage

Après le processus de séchage, vient le processus de broyage afin d'obtenir des matériaux homogènes, en utilisant le presse-purée en cuivre pour casser les graines de figue de barbarie. Après cela, le broyage est terminé à l'aide du broyeur électrique jusqu'à ce que nous obtenions de petits granulés inférieurs à 0,01mm. la durée de la quantité à broyer 30min.



**Figure III.3:** broyage des pelures de figue de barbarie

### III.4.1.3. Tamisage

Nous tamisons la quantité de figue de barbarie broyée à l'aide de 5 tamis de rayon comme suit : 90 $\mu\text{m}$  ,180 $\mu\text{m}$  ,355 $\mu\text{m}$ , 500 $\mu\text{m}$ , 710 $\mu\text{m}$ , pendant 30 minutes. La poudre obtenue est tamisée à l'aide d'une tamiseuse électrique Moins que 90 $\mu\text{m}$  pour préparer le charbon actif.



**Figure III.4:** tamisages des pelures de figue de barbarie

### III.3.1.4. L'activation

L'activation est un processus chimique dans lequel 90 g de carbone naturel sont placés dans Becher, auxquels nous ajoutons une solution HCl de concentration 0.1 mol/l, puis la mettons dans le mélangeur électrique pendant 30 min, puis la mettons dans l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures pour éliminer la quantité de l'eau dans le Charbon.



**Figure III.5:** Séchage des pelures de figue de barbarie dans l'étuve

### III.3.1.5. Carbonatation

Nous mettons le produit au four à 600 degrés Celsius pendant 6 heures, après cela nous le mettons dans un litre d'eau distillée et le mettons dans le mélangeur électrique et en même temps mesurons le pH-mètre pendant une demi-heure, nous obtenons un milieu basique, nous ajoutons une solution de chlore jusqu'à la valeur approximative de pH = 6.82 puis on laisse sécher à l'étuve pendant 24 heures.



Figure III.6: Carbonatation des pelures de figue de barbarie

## III.4. Analyse physico-chimiques des charbons activés

### III.4.1. La teneur en humidité

Le taux d'humidité est un rapport exprimé en pourcentage, il est déterminé par le séchage de l'adsorbant dans une étuve [46]. Nous mettons 5 g de charbon actif dans un bécher, après cela nous le pesons, puis le mettons au four à 105 degrés jusqu'à ce qu'il sèche complètement, puis le laissons refroidir à température ambiante et le mesurons.

Le taux d'humidité (% H) peut être calculé par la formule suivante :

$$\%H = \frac{(p_1 - p_2)}{p_1} * 100 \dots \dots \dots (III.1)$$

Où

**H** : La teneur en humidité (%)

**P1**: La masse de bécher rempli avant séchage en (g) "charbon + bécher".

**P2**: La masse de bécher rempli après séchage en (g) "charbon + bécher".

### III.4.2. Le teneur de cendre

Il s'agit de la partie inorganique, inerte, amorphe et inutilisable, présente dans le charbon actif, le taux de cendre est déterminé par la méthode décrite en littérature. Un échantillon de 90g de charbon actif est séché dans une étuve à 105°C pendant 24 heures puis placé dans un creuset en

céramique. Ce creuset est introduit dans un four réglé à 600°C est maintenu pendant 4 heures à cette température. Après refroidissement à température ambiante on pèse à nouveau le creuset. Le taux de cendre (% C) est calculé comme suit :

$$\%M_0 = \frac{(m_0 - m')}{m_0} * 100 \dots \dots \dots (III.2)$$

$M_0$ : teneur en matière organique (%)

$m'$ : La masse du creuset rempli après carbonisation en (g).

$m_0$ : La masse du creuset rempli après séchage en (g).

La teneur en cendre exprimé en pourcentage est calculée après la détermination de la teneur en matière organique selon la formule suivante [46] :

$$Cd = 100 - M_0\% \dots \dots \dots (III.3)$$

**Cd**: La teneur en cendre (%)

### III.5. Résultats obtenus

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau (III.1) suivant :

**Tableau III.1:** détermination la teneur d'humidité H (%) et teneur en cendre Cd de charbon brut.

P1	P2	m'	m <sub>0</sub>	M <sub>0</sub> (%)	Cd(%)	H(%)
291.96	276.96	120.04	167.53	28.38	71.62	5.14

#### III.5.1. Taux d'activation

Le taux d'activation Ta (%) est calculé selon l'équation suivant :

$$\%Ta = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \dots \dots \dots (III.4)$$

#### III.5.2. Rendement de pyrolyse

Rendement de pyrolyse R(p) (%) est calculé selon l'équation suivant :

$$\%R(p) = \frac{m_f}{m_i} \dots \dots \dots (III.5)$$

Avec :

$m_i$ : La masse du creuset rempli avant séchage en (g).

$m_f$ : La masse du creuset rempli après carbonisation en (g).

**Ta:** taux d'activation (%).

**R<sub>(p)</sub>:** Rendement de pyrolyse (%)

### III.5.3.Résultats obtenus

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau (III.2) suivant :

**Tableau III.2:** détermination le taux d'activation Ta(%) et Rendement de pyrolyse

Ta	m <sub>f</sub>	m <sub>i</sub>	%R <sub>(p)</sub>
0.58	120.04	291.96	0.41

### III.6. Préparation d'une solution

#### III.6.1. Echantillons de l'eau contaminées (usine de l'UNICAB)

On a récupéré 3 solutions provenant d'une usine qui fabrique des câbles électriques (UNICAB) de concentrations différentes C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> et C<sub>3</sub>.

C<sub>1</sub> : concentration de solution de cuivre multifilière recuseur.

C<sub>2</sub> : concentration de solution de cuivre multifilière tréfileuse.

C<sub>3</sub> : concentration de solution de cuivre grosfils.

L'eau produite après la fabrication des câbles est contaminée par les métaux lourds (cuivre et aluminium) et de l'huile.

Dans notre travaille on a utilisée l'eau contaminée par le cuivre. Tous d'abord on doit séparer l'eau de l'huile en utilisant les étapes suivantes :



**Figure III.7:** les émulsions

1. Mélanger 100 ml de l'échantillon d'émulsion et 30 ml de l'acide chlorhydrique concentré dans l'éprouvette graduée.

2. Verser le mélange dans le ballon à bouillir et on a fait l'agitation.
3. Déposer les échantillons d'eaux dans une étuve pendant 40 minutes et puis les tenir l'éprouvette avec l'échantillon à la température de 105° jusqu'à ce la séparation soit obtenue.
4. Sortir l'échantillon de l'étuve,
5. refroidir les échantillons puis éliminer la phase aqueuse.

Après la séparation l'eau de l'huile, on a apporté l'eau au laboratoire de la Faculté des sciences et de la technologie de l'Université Mohammad Khider Biskra pour identifier les concentrations de ces échantillons. Afin de connaître la valeur des concentrations de ces solutions on a tracé une courbe d'étalonnage.



Figure III.8 : la décantation de l'émulsion dans l'étuve

### III.6.2. Préparation de solutions de sulfate de cuivre

La solution de sulfate de cuivre a été préparée en quatre concentrations différentes (0,25- 0.6- 0.8 et 1 g/L) en mélangeant différentes quantités de sulfate de cuivre (1.96-2.57-3.14 et 3.98 g) avec de l'eau distillée dans 4 fioles jaugées.

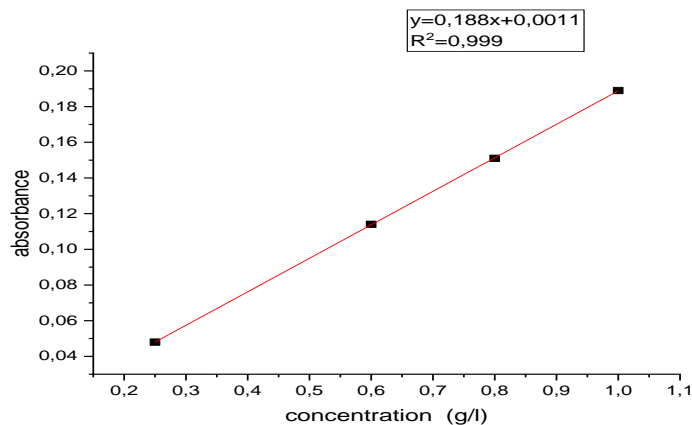


Figure III.9 : La courbe d'étalonnage de cuivre.



**Tableau III. 3.** Les valeurs d'étalonnage du cuivre à 810 nm.

Concentration de la solution mère [Cu <sup>2+</sup> ](g/l)	0.25	0.6	0.8	1
Absorbance à 810 nm	<b>0.048</b>	<b>0.114</b>	<b>0.151</b>	<b>0.189</b>

### III .6.3.Utilisations du charbon actif :

Après préparation du charbon actif, nous avons étudié l'effet du charbon actif et du charbon naturel sur le phénomène d'adsorption sur le cuivre métallique aux concentrations suivantes 0,25, 3,31 et 6,76 g /l, à l'aide de 6 échantillons, trois, dans lesquels nous avons mis 0,1 g dans un 200 ml de charbon actif et les trois autres de carbone naturel.

### III.7. Etude de l'effet des paramètres gouvernants l'adsorption :

#### III.7.1.effet des temps :

Pour étudier l'effet du temps sur le phénomène d'adsorption, on prépare 18 échantillons de solutions de cuivre d'un volume de 200 ml et on ajoute 0,1 g de charbon, puis on fait tourner dans l'appareille d'agitation (JAR TESTE) qui a été programmé à 90 tr/min vitesse d'agitation différentes (120 tr/min ;90 tr/min;60 tr/min). et un temps dans la suite fois (2, 6 et 24 heures) nous filtrons les échantillons puis nous les mesurons par le spectrophotomètre UV visible Tous les 6 échantillons la même méthode.

**Figure III.10 :** procédé de filtration

#### III.7.2.L'effet de la masse

L'effet de la masse élémentaire de charbon actif est très nécessaire pour connaître la meilleure quantité absorbée à n'importe quelle masse. Faites cela en utilisant les masses suivante 0,1g ; 0,25 g et 0,5 g à concentrer  $c = 6.76$  g/l puis placé dans un agitateur (JAR TESTED) programmé

avec une vitesse d'agitation de 90 tr/min et un temps d'agitation de 60 min. Les filtrats sont analysés par le spectrophotomètre UV visible.

### III.7.3.L'effet de la vitesse

L'effet de la vitesse sur l'absorption du cuivre par le carbone est essentiel pour connaître au mieux la vitesse à laquelle l'espace carboné est vacant, et donc l'absorption du cuivre est importante. Pour étudier cela, nous avons choisi les vitesses à 60, 90 et 120 tours par minute à un concentré  $c = 6.76$  g/l en ajoutant 0,1 g de carbone à temps constant = 6h.

### III.8.Résultats et discussion :

#### 6. Méthodologie :

7. -l'adsorption du cuivre a été calculée en utilisant la formule suivant [47] :

$$q_t = (c_0 - c_t) * \frac{v}{m} * 100 \dots \dots \dots \text{(III.6)}$$

$q_t$ : La quantité adsorbée à l'instant t (mg/g).

$C_0$ : La concentration initiale en colorant (mg/l).

$C_t$ : La concentration en colorant à l'instant t (mg/l).

V: Le volume de la solution (ml).

m: La quantité de l'adsorbant en solution (g).

- Le rendement d'élimination du cuivre:

Ou encore par la détermination du taux d'élimination du colorant, noté R et exprimé en pourcentage(%), il est défini par :

$$R = \frac{(c_0 - c_t)}{m_i} * 100 \dots \dots \dots \text{(III.7)}$$

Où :

$C_0$ : Concentration initiale du colorant (mg/l).

$C_t$  : Concentration du colorant à l'instant t (mg/l).

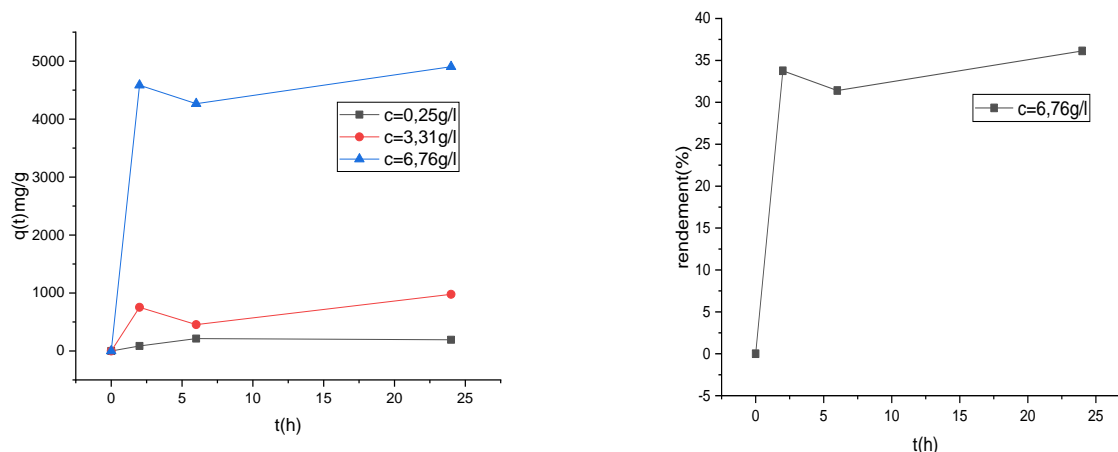


# **Chapitre IV :**

## **Résultats et Discussion**

## IV.1. L'effet du temps :

Figure IV.1, il a été observé que le taux d'élimination du cuivre était plus élevé au début jusqu'à 2 heures puis ils baissent avec le temps 6 heures, puis il continue d'augmenter et stabiliser jusqu'à  $t = 24$  heures. Ce changement aléatoire explique que le charbon naturel a d'adsorption du cuivre.



**Figure IV.1 : effet de temps du contact sur l'adsorption de cuivre par un charbon brute à base de peaux de figue de barbarie a) la capacité  $q(t)$  et b) le rendement.**

Figure IV.2. il a été observé que le taux d'élimination du cuivre était plus élevé au début jusqu'à 6 heures et, par la suite, la vitesse d'adsorption devient pratiquement très lente et après 60 min. il commence. La différence dans le degré d'adsorption peut être due au fait qu'au début tous les sites à la surface de l'adsorbant étaient vides et le gradient de concentration en solution était relativement élevé. En conséquence, l'étendue de l'élimination du cuivre diminuait avec l'augmentation du temps de contact, qui dépend du nombre de sites vacants à la surface de la résine. Sur la base de ces résultats 60 min et 6.76g/L a été considéré comme le temps et la Mieux se concentrer optimal pour le reste des expériences. On note également une augmentation du taux d'absorption de 36% à 49% puis fixé à 49%.

Et par comparaison la figure IV.1 et la figure IV.2 B, nous constatons que le pourcentage de consommation de cuivre lors de l'utilisation de charbon actif est plus efficace que l'utilisation de charbon naturel, où le pourcentage de consommation de cuivre lors de l'utilisation de charbon actif est de 39%, tandis que pour le charbon naturel, il atteint 36%.

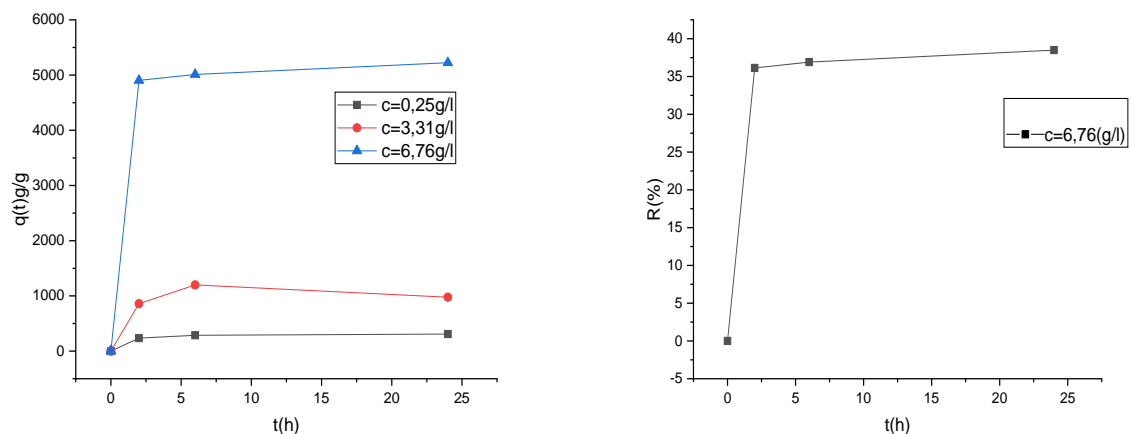


Figure IV.2 : effet de temps du contact sur l'adsorption de cuivre par un charbon actif à base de peaux de figue de barbarie a) la capacité  $q(t)$  et b) le rendement.

#### IV.2. L'effet de la masse

Nous étudions l'effet de la masse de charbon brut sur l'adsorption du cuivre, On constate une augmentation de la quantité d'absorption lors de l'ajout de 0,1 g de carbone naturel, puis elle se fixe, et cela renvoie à l'absence de sites actifs, Cela indique que l'efficacité du carbone naturel est faible.

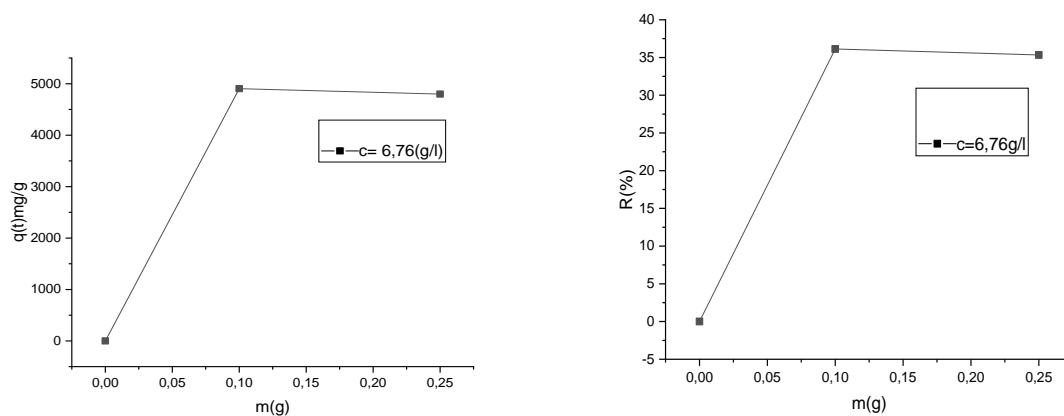
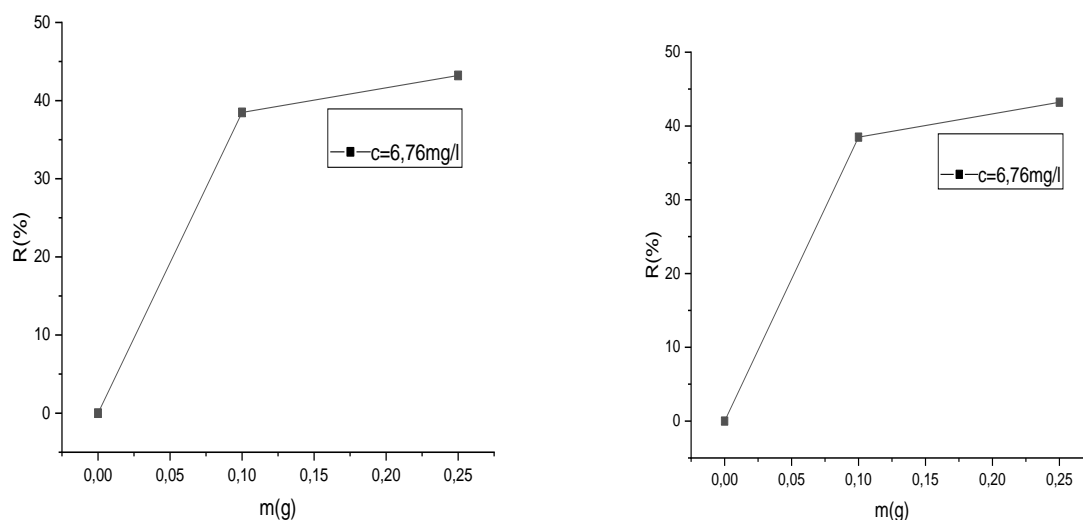


Figure IV.3. : effet de masse du contact sur l'adsorption de cuivre par un charbon brut à base de peaux de figue de barbarie a) la capacité  $q(t)$  et b) le rendement

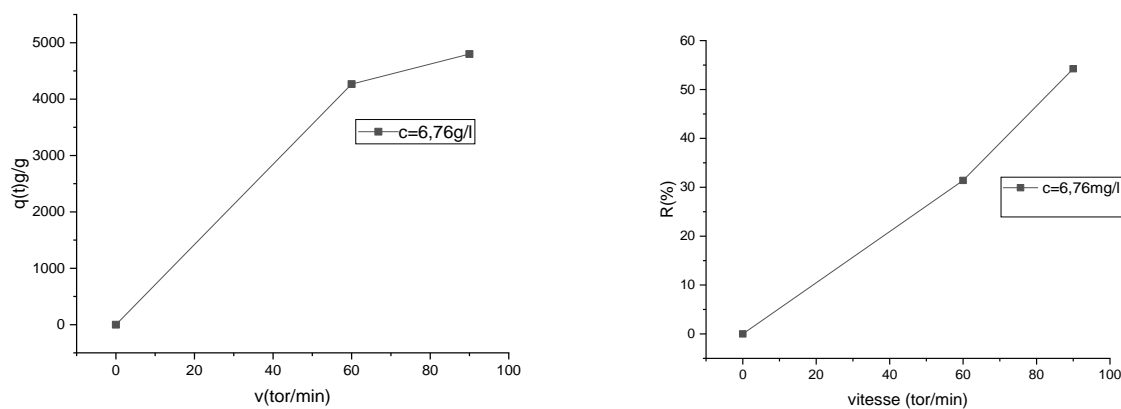


**Figure IV.4 : effet de masse du contact sur l'adsorption de cuivre par un charbon active à base de peaux de figue de barbarie a) la capacité  $q(t)$  et b) le rendement**

Nous concluons que le pourcentage de cuivre consommé par le charbon actif est meilleur que le pourcentage de cuivre consommé par le charbon naturel. Lorsque la quantité de carbone augmente.

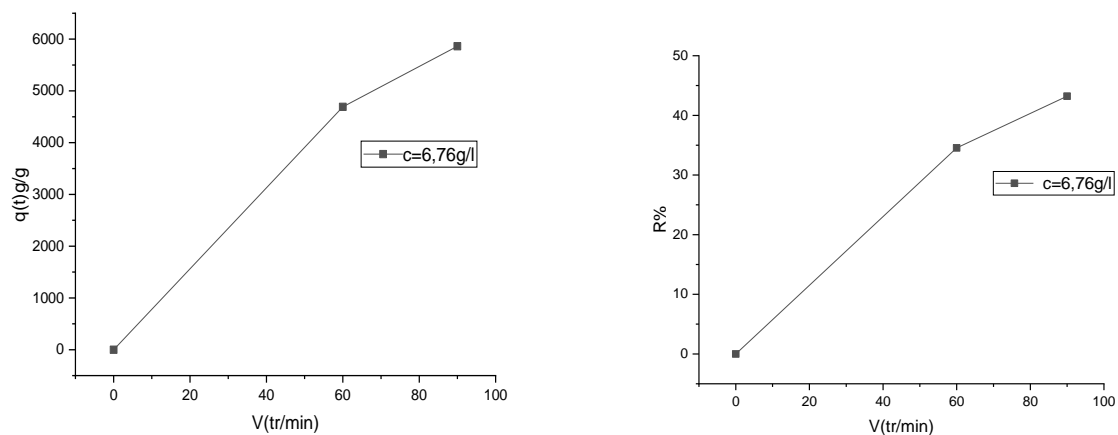
#### IV.5. L'effet de la vitesse :

D'après la figure III.13, On constate que plus la vitesse de mélange est élevée, plus l'adsorption des ions cuivre à la surface du charbon actif est importante C'est en augmentant le contact entre les ions cuivre et la surface du charbon actif du fait du mélange, et ceci jusqu'à 90 tr/min. On constate également une augmentation du rendement avec l'augmentation de la vitesse, c'est-à-dire qu'il y a une proportion.



**Figure IV.5 : effet de vitesse du contact sur l'adsorption de cuivre par un charbon brute à base de peaux de figue de barbarie a) la capacité  $q(t)$  et b) le rendement.**

D'après la figure IV.6 : a été constaté que plus la vitesse de mélange est élevée, plus l'absorption des ions cuivre à la surface du charbon actif est importante, en augmentant le contact entre les ions fluorure et la surface du charbon actif en raison du mélange, et cela jusqu'à 120 tr/min. On constate également une augmentation du rendement avec l'augmentation de la vitesse, c'est-à-dire qu'il y a une proportion directe.



**Figure IV.6 : effet de la vitesse du contact sur l'adsorption de cuivre par un charbon actif à base de peaux de figue de barbarie a) la capacité  $q(t)$  et b) le rendement.**

Nous concluons que l'efficacité du cuivre consommé par le charbon actif lors du changement d'heure est meilleure que l'efficacité de sa consommation par le charbon naturel

#### IV.6 CONCLUSION

D'après les résultats obtenus on peut conclure que le charbon actif donne des meilleurs résultats par rapport à l'utilisation de charbon naturel.

# **CONCLUSION**

## Conclusion

---

### CONCLUSION

Dans notre travail on a utilisé le procédé d'adsorption comme une méthode de séparation pour éliminer le cuivre de l'eau contaminée en utilisant le charbon actif et naturel. D'après les résultats obtenus on peut conclure que :

- Les résultats obtenus en utilisant le charbon actif sont les résultats les plus efficaces que les résultats obtenus en utilisant le charbon naturel.
- Avec l'augmentation du temps la capacité  $q$  augmente en changeant la valeur de concentration  $C$  (0.25, 3.31 et 6.76g/l).
- La capacité de solution qu'a la valeur de 6.76 g/l est la plus efficace.
- La capacité  $q$  et le rendement  $R$  sont plus efficace lors l'utilisation de charbon actif que le charbon naturel à  $C = 6.76\text{g/l}$ .
- La capacité  $q$  et le rendement  $R$  augmentent avec l'augmentation de la vitesse d'agitation à  $C = 6.76\text{ g/l}$ .
- La meilleure valeur de la vitesse d'agitation est de 90 tr/min.
- La meilleure valeur de masse qui élimine le cuivre est de 0.25 g.

# Référence



### REFERENCE

- [1] CHEBLI Derradji, Traitement des eaux usées industrielles: Dégradation des colorants azoïques par un procédé intégré couplant un procédé d'oxydation avancée et un traitement biologique, Thèse de Doctorat, 2012.
- [2] DOUADI Mohammed, MEDAKENE Abderrahmane, Etude de l'adsorption d'une eau polluée par des hydrocarbures sur charbon actif, FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES, 2016/2017
- [3] N. TAZEROUTI " Traitement des effluents liquides de l'industrie du cuir par adsorbant produit de la lignine sulfatée. " thèse de magister en génie tannerie. Université M'Hamed Bougara De Boumerdes, (2012).
- [4] N. CHAOUCH « Utilisation des sous-produits du palmier dattier dans le traitement physico-chimique des eaux polluées." thèse de doctorat. Université hadj Lakhdar– Batna, (2014).
- [5] EMILIAN KOLLER, Génie chimique, Robert L., « Techniques de l'ingénieur - Génie des procédés », Adsorption. Ruthven D. M., Principles of adsorption and adsorption process, John Wiley, 1984 p 397
- [6] Khoualdi, Azzeddinne, and Abd Albasset Medjani. "Adsorption du bleu de méthylène par le charbon actif et l'argile." (2016).
- [7] S. AZIRI " étude de l'adsorption du nickel par des biosorbants." thèse de Magister en chimie de l'Environnement université Tizi-Ouzou, (2012).
- [8] N. SEDIRA " Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes". Thèse de magister en Environnement et traitement des eaux. Université Souk Ahras, (2013).
- [9] BENNAMA, Salaheddine, and Mahmoud Abdelbassit CHAOUCH. "MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADIMIQUE."
- [10] Matson J. S, Mark H. B, Malkin M.B, Weber W. J., Surface chemistry of active carbon: Specific adsorption of phenols, J. colloid Interface science, 2000, 31, p.116
- [11] Naziha, L. A. D. J. A. L. Elaboration, caractérisation de charbons actifs fonctionnalisés et étude de leurs propriétés en adsorption de composés organiques. Diss. Université de m'sila, 2013.

## Référence

---

- [12] Castello.D.L.M.A.L.Rodenas,2001, D.C.Amoras, A.L.Solano Carbon,39,741
- [13] B.P. Cho, T. Yang, L.R. Blankenship, Chem. Res. Toxicol. 16 (2003) 285-294.
- [14] P. Jamet, Environmental fate of pesticides. Behaviour of pesticides in soil. International Journal for food, chemicals, pharmaceuticals, and cosmetics as linked to A
- [15] HAMIDA, I., ANHYDRE, I. D. C. D. S., & DE L'HUILE, S. L. E. (1955). Mémoire de Magister.
- [16]: Hassina. Zaghouane.Boudiaf.(2011) « Préparation et caractérisation de matériaux à base d'argile algérienne. Application à l'adsorption de polluants organiques, Thèse de doctorat en Génie Chimique. Université de Ferhat Abbas Sétif ».
- [18] Giles C.H, Smith D, Huitson A., A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm I Theoretical, J.Colloid Interface Science, 1974, 47, p .755–765.
- [17][http://vrpg.univskikda.dz/recherchePG/theses\\_memoires/fac\\_sciences/Chimie/Opt\\_Pollu\\_Chim\\_Environnement/memoire\\_magistere\\_boukrah.pdf](http://vrpg.univskikda.dz/recherchePG/theses_memoires/fac_sciences/Chimie/Opt_Pollu_Chim_Environnement/memoire_magistere_boukrah.pdf)
- [19] Hinz C., description of sorption data with isotherm equations, geoderma, 2001, 99, p. 225- 243.
- [20].Limousin G, Gaudet J. P, Charlet L, Szenknect S, Barthes V, Krimissa M., sorption isotherms: a review on physical bases, modelling and measurement, Applied geochemistry, 2007, 22, p. 249-275.
- [21] G. Crini, P.M. Badot, E. Guibal, " Chitine et chitosane du biopolymère à l'application ", Presses universitaires de Franche- Comté, 2009.
- [22] C.H. Giles, T.H.M. Ewan, S.N. Nakhwa, D.J. Smith, " Studies in adsorption. Part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and measurements of specific areas of solids ", J. Chem. Soc., (1960) 3973–3993.
- [23] COFFEE Calvin Tinashe et TRAORE Adama, DSORPTION D'UNE POLLUTION MINERALE ET ORGANIQUE SUR LES FEUILLES ET GRAINES DE MORINGA, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université des Sciences et de la Technologie d'Oran « Mohamed BOUDIAF » 27/06/2019,p.37

## Référence

---

- [25] BOUNIF RIMA , Conception d'une colonne à lit fixe au charbon actif granulé appliquée à l'étude dynamique de l'adsorption de bleu de méthylène, diplôme de MASTER Université Akli Mohand OULHADJ – BOUIRA, 2016/2017 ,p.12.
- [26] DOUADI Mohammed et MEDAKENE Abderrahmane, Etude de l'adsorption d'une eau polluée par des hydrocarbures sur charbon actif, Mémoire MASTER ACADEMIQUE UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 06/06/2017,p.15.
- [27] Bouthaina, T., & Sara, M. (2021). Valorisation des grains du café vert et transformation en charbon actif (Doctoral dissertation, Université Larbi tebessi tebessa).
- [28] Benefield L. D, Judkins J.F., Weand B. L., Prendice Hall Inc, Englewood Cliff (N.J) 07632, p 510, (1982)
- [29] Mme BERBARA ZAKIA et Mme KARALI NAIMA, ELIMINATION DU CHROME (VI) par adsorption sur la coque d'arachide (CACAOUETTES) traité, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de master, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES, 2017/1018,p.31.
- [30] Slimani Zineb, Etude d'effet des paramètres physico-chimique sur fabrication du charbon actif à partir des coquilles des Noix, MÉMOIRE DE MASTER, Université Mohamed Khider de Biskra, lundi 28 septembre 2020,p13.
- [31] Guedidi, Hanen. Préparation et modification de carbones activés pour l'adsorption de polluants organiques émergents: molécules pharmaceutiques et liquides ioniques. Diss. Université de Tunis El Manar, 2015,p.14.
- [32] CHIMIE, MASTER II EN. AZZI Izzeddine. Diss. Université de Mostaganem, 2014.
- [33] Triki Bouthaina et Mesli Sara, Valorisation des grains du café vert et transformation en charbon actif, Mémoire de Master Université Larbi Tebessi de TEBESSA, 23/06/2021, p.11.
- [34] HAMIDA, IBOUKHOULEF, INFLUENCE DU CARBONATE DE SODIUM ANHYDRE, and SUR L'EXTRACTION DE L'HUILE. "Mémoire de Magister." (1955), p.17.
- [35] Zorrig, Walid. Recherche et caractérisation de déterminants contrôlant l'accumulation de cadmium chez la laitue" *Lactuca sativa*". Diss. Montpellier SupAgro; Faculté des Sciences de Tunis, 2011, p.15.

## Référence

---

- [36] HAMMADACHE Zineb , GUERRACHE Samah et SAIB Samia, Evaluation du transfert des métaux lourds dans le système sol-plante (Phragmites austrlis) dans le bassin versant d'oued NIL la région de Jijel, Mémoire de Master, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES, 1/10/2016,p.3
- [37] VÉGÉTAL, PRÉCURSEUR, and D'OLIVES LES NOYAUX. "Mémoire de Magister."
- [38] ABDELSADOK et Nardjess KAMMOUN Ikram, Effet des métaux lourds (Cuivre et Zinc) sur les paramètres morpho-physiologiques et biochimiques chez la fève (Vicia faba L.), niversité Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, 01 /07/2018,p.7.
- [39] CHIBANE Katia & DJENNAD Lynda, Caractérisation physico-chimique et dosage de quelques métaux lourds de certaines sources d'eau de la région de M'Chedallah wilaya de Bouira, MEMOIRE DE MASTER UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA, 2019 .
- [40] Matías Miguel et Salvarredy Aranguren, Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique, THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE de TOULOUSE délivrée par l'UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIE, 29 avril 2008 ,p.21.
- [41] Medjemem Djamel , Aouadja Zohir et Naili Noureddine, Contribution à l'étude de la contamination de la végétation par les métaux lourds(Cuivre, Zinc) issus de la tannerie de Jijel, MEMOIRE, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université de Jije,2003,p.11.
- [42] **Melle** BEGHOU HANIFA et **Mme** HAMAIZIA KANZA, ADSORPTION DE CUIVRE EN MILIEU AQUEUX PAR LEKAOLIN DD, MEMOIRE de master, UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI (OUM EL BOUAGHI), 29/09/2020,p.7.
- [43] RAVALOMANANA ANDRIANASOLO Onintsoa Kristelle, MEMOIRE DE MASTE UNIVERSITE D'ANTANANARIVO ,14 Septembre 2017
- [44] Belahammou Fatima ZohraElimination du plomb sur un charbon à base de chêne, Université Mohamed khaidar- Biskra, dimanche 23 juin 2021
- [44] Djaouida DEFDAF et Loubna BENKAHOUL, Contribution à l'Etude De l'effet Antidiabétique D'un Extrait Aqueux De Deux plantes (Opuntia ficus indica L et Nigella sativa

## Référence

---

L) Issue De La Région De La Région De – Batna- sur Des souris (Wistar albinos) Diabétiques à L'Alloxane, mercredi 10 juillet 2019.

[46] AHMED, M. J. DHEDAN, S. K. (2012). Equilibrium isotherms and kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural wastes-based activated carbons. Fluid phase equilibria.

[47] S. Langergren, Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe. Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, 24 (1898)1 -39.

# ملخص

الفحم المنشط من أقدم المميزات المصنعة صناعيا من عدد كبير من المواد الكربونية ذات أصل عضوي أو معدني. يجذب تحضير الفحم المنشط بخصائصه اهتمام الباحثين. خلال هذا العمل، استخدمنا قشور التين الشوكي لتحضير الفحم، و من ناحية أخرى قمنا بدراسة مقارنة بين الفحم الطبيعي و الفحم المنشط و ذلك لدراسة كفاءة امتصاص الفحم لشوارد النحاس . في المختبر خضعت قشور التين الشوكي لعدة مراحل لتحضير نوعين من الفحم

للوصول إلى نتائجنا، قمنا بدراسة بعض الخصائص مثل :

الزمن، الكتلة، السرعة حيث تحصلنا على افضل الزمن لعمية لامتزاز لمعالجة المياه الملوثة بشوارد النحاس هو 6 ساعات للمحلول ذو تركيز 6. 76 غ/لتر الكتلة المناسبة للامتصاص لشوارد النحاس هي 0. 25 غ والسرعة المناسبة 120 دورة في الدقيقة

## Résumé

Le charbon actif est l'un des plus anciens adsorbants fabriqués industriellement à partir d'un grand nombre de matériaux carbonés d'origine organique ou métallique. La préparation du charbon actif avec ses propriétés suscite l'intérêt des chercheurs. Lors de ce travail, nous avons utilisé les pelures des figes de barbarie pour préparer le charbon. Une étude comparative a été menée sur l'efficacité d'adsorption de deux types de charbon (charbon préparé et charbon naturel) pour éliminer les ions cuivre présents dans l'eau récupérée de l'usine UNICAB. Pour arriver à nos résultats, nous avons étudié quelques caractéristiques Par exemple : temps, masse, vitesse, où l'on obtient :

Le meilleur temps d'agitation pour un processus d'adsorption pour traiter l'eau contaminée par des ions de cuivre est de 6 h, à  $C = 6,76 \text{ g/l}$ , La masse efficace pour éliminer les ions cuivre est de 0.25 g et la meilleure vitesse d'agitation est de 120 tours par minute.