



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. :

Présentée et soutenue par :

Ghedioui Aicha

Le : dimanche 13 septembre 2020

Elimination de nickel(II) par un charbon activé à base le noix de l'abricot

Jury :

Dr. Adjal Fatima	MCA	Université de Biskra	Président
Dr. Rehali Hanane	MCB	Université de Biskra	Rapporteur
Dr. Elbar Djenette	MRB	CRSTRA Biskra	CO-Rapporteur
Dr. Djebabra sihem	MCB	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2019 - 2020

Remerciement

ALLAH merci pour m'avoir donné la santé, la volonté et le courage sans lesquels ce modeste travail n'aurait pu être réalisé. Ces quelques lignes sont une occasion pour moi de remercier les personnes qui, de près ou de loin, m'ont soutenu de diverses manières et sans qui, ce travail n'aurait pas abouti.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à mon encadreur, *Dr. Rehali Hanane* pour sa disponibilité, sa compétence, sa patience sa gentillesse son dévouement et de ses conseils judicieux qui m'ont été un grand soutien moral et qui m'ont amené à réaliser ce travail.

mes sincères remerciements vont à *Dr. Adjal Fatima* pour avoir accepté de présider la jury de soutenance de ce mémoire. Je lui exprime toute ma reconnaissance pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail.

je voudrais aussi remercier *Dr. Djebabra Sihem* pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant d'examiner ce travail.

J'adresse également mes vifs remerciements à *Dr. Fadel Ammar* et tous les enseignants de la faculté de sciences techniques de l'université de Biskra, ainsi que tous les personnels du département de chimie industrielle.

Je remercie l'ensemble du groupe de laboratoire chimie industrielle pour leurs collaboration fidèle durant tous mes travaux; en particulier *Mlle Naili Radia* et *Chebah Ilyes* et *Zoubida* pour leur assistance.

Je remercie sincèrement le responsable du laboratoire technologique de datte, au niveau du centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides OMAR EL- BERNAOUI BISKRA (C.R.S.T.R.A) et *Dr. Elbar Djenette* pour son encadrement et son assistance.

A toute la promotion master 2^{ème} Génie de l'environnement et Génie chimique. Je n'oublier pas d'adresser également mes remerciements au chef du département de chimie industrielle *Dr.*

Sakri Adel.

Aicha

Dédicace

Je dédie mon succès

Ale fruit de ma diligence et de ma réussite à mon père *Abderrezak* mon modèle et ma force
dans la vie

A la source de ma force et de la confiance de ma chère mère *Hadjira* et à la source de la
tendresse

A mes frères *Aissame eddinne ; Adem*

A mes sœurs *Khawla ; Abir ; Doha ; Anfel* et *Isra*

A tous les familles *Ghedioui ; Ben zaoui*

A tous mes copines *Khawla Chourouk ; Chaimaa ; Farida ; Hadjer ; Marzaka ;
Majda ; Hana*

A tous ceux qui me sont chers

Aicha

Sommaire

Remerciements	
Dédicace	
Liste des Tableaux	
Liste des Figures	
Liste des Abréviations	
Introduction Générale	01
Chapitre I: Généralité sur l'adsorption	
I-1 Introduction	03
I-2- Description du phénomène d'adsorption	03
I-3-Types de l'adsorption	04
I-3-1-Adsorption chimique (ou chimisorption)	04
I-3-2-Adsorption physique (ou physisorption)	04
I-4- Le mécanisme d'adsorption	05
I-5-Les Paramètres influençant l'adsorption	05
I-5-1-Surface spécifique	06
I-5-2-Porosité	06
I-5-3-Nature de l'adsorbant	06
I-6-Caractéristiques de l'adsorbant	06
I-6-1-Polarité	07
I-6-2-pH	07
I-6-3-Température	07
I-7- Isothermes d'adsorption	08
I-7-1-Classification des isothermes d'adsorption	08
I-8-Modélisation des isothermes d'adsorption	10
I-8-1- Isotherme de Langmuir	10
I-8-2- Isotherme de Freundlich	11
I-9- Modèles cinétiques	11
I-9-1- Modèle cinétique du pseudo premier ordre	11
I-9-2- Modèle cinétique du pseudo second ordre	12
I-10- Les adsorbants	13
I-10-1- Définition d'un adsorbant	13

I-10-2- Les propriétés physiques des adsorbants	14
I-10-3- Critères du choix d'un adsorbant	14
Chapitre II : Généralité sur le charbon actif Industriel	
II-1-Introduction	15
II-2-Définition de charbon actif	15
II-3- Type de charbon actif	15
II-3-1- Charbon actif en poudre (CAP)	15
II-3-1-1- Utilisation du charbon actif en poudre	16
II-3-1-2- Avantages du charbon actif en poudre	17
II-3-1-3- Inconvénients du charbon actif en poudre	17
II-3-2- Charbon actif granulé (CAG)	17
II-3-2-1- Utilisation du charbon actif granulé	18
II-3-2-2- Avantages du charbon actif granulé	18
II-3-2-3- Inconvénients du charbon actif granulé	18
II-4- Préparation des charbons actifs	19
II-4-1- Carbonisation (ou pyrolyse)	19
II-4-2- Activation	19
II-5- Structure du charbon actif	20
II-6- Caractéristiques du charbon actif	21
II-7- Sources du charbon actif	22
II-8- Méthode d'analyse de charbon actif	22
II-8-1- Méthodes de caractérisation UV Visible	23
II-9- Applications des charbons actifs dans le domaine de l'adsorption	23
II-10- Description de l'abricot	24
II-10-1- L'abricot	24
II-10-2- Composition chimique de l'abricot	25
II-11- Généralité sur les métaux lourds	25
II-11-1- Devenir des métaux lourds dans l'environnement	26
II-11-2- Toxicité des métaux lourds	27
II-11-3- Pollution par le nickel	28
II-12-Propriétés physique et Propriétés chimiques de nickel	29
II-12-1- Propriétés physique	30
II-12-2- Propriétés chimiques et électrochimiques	30

Chapitre III : Méthodes et Résultats Discussion	
A-Matériels et Méthodes	31
III-1- Introduction	31
III-2- Les produits et les équipements utilisés	31
III-2-1-Les produits utilisés	31
III-2-2-Les équipements utilisés	31
III-3-Préparation de la solution mère de Sulfate de nickel(NiSO_4)	32
III- 4- Le protocole expérimental	33
III-4-1- Les étapes de fabrication de charbon actif	33
III-5-Fabrication et application du charbon actif à partir des noyaux d'abricots	34
5-1-Préparation du charbon (brut) des noyaux d'abricots	34
1. Purification et séchage	34
2. Pré carbonisation	34
3. Broyage	35
4. Tamisage	35
5. Stockage	36
III-6- Activation chimique par le agent acide citrique Naturel ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$)	36
6-1- Préparation de solution d'activant (acide citrique naturel)	37
III-7-carbonisation	37
III-8-Lavage	38
III- 9- propriétés physico-chimique des noyaux d'abricot	39
B-Résultats et Discussion	40
III-10-Méthode d'analyse	40
➤ Spectroscopie UV-visible	41
III-11-1-Essais d'adsorption de nickel sur les charbons actifs	42
➤ Effet de la masse du charbon actif	43
➤ Effet de temps d'agitation	44
➤ Effet de la concentration initiale du nickel	45
III-11-2-Les paramètres influent sur le taux d'élimination du nickel	46
➤ Effet de température	46
➤ Effet de granulométrie	47
III-12-Modélisation des Isothermes d'adsorption du nickel	48

1-Isothermes simples d'adsorption	49
➤ Modèle de Freundlich	50
➤ Application du modèle de Langmuir	51
2-Calcul de la surface spécifique	52
Conclusion générale	53
Références bibliographiques	
Résumé	

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre	Tableaux	Page
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE		
Chapitre I	Tableau I.1: Comparaison des deux types d'adsorption.	04
Chapitre II	Tableau II.1 : Valeurs moyennes des émissions des métaux lourds dans le monde (Crine,2003).	26
	Tableau II.2 : Les limites selon l'OMS, sources et les effets toxiques de certains métaux lourds (Hamouche, 2013).	27
	Tableau II.3: Les différentes propriétés de nickel	29
PARTIE III : ETUDE EXPERIMENTALE		
Chapitre III	Tableau III.1 : différents masse de charbon brut pour l'activation chimique	37
	Tableau III.2 : les Propriétés physico-chimique de noyaux d'abricot	39
	Tableau III.3 : Analyse des coques des noyaux d'abricots et Charbon brut, Charbon actif lavé	40
	Tableau III.4 : calcul le rendement à différents concentrations initiale de nickel(II)	45
	Tableau III.5 : les valeurs de taux d'élimination du nickel	46
	Tableau III.6 : les valeurs de pourcentage de l'élimination de nickel à différentes diamètres	47
	Tableau III.7 : les principaux résultats obtenus	48
	Tableau III.8 : constantes relatives de modèle Freundlich	50
	Tableau III.9 : les résultats expérimentaux de concentration et quantité d'adsorption à l'équilibre	51
	Tableau III.10 : constantes relatives de modèle Langmuir	51

LISTE DES FIGURES

Chapitre	Figure	Page
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE		
<i>Chapitre I</i>	Figure I.1: phénomène d'adsorption.	03
	Figure I.2 : Mécanisme de l'adsorption sur les solides poreux.	05
	Figure I.3 : Classification des isothermes d'adsorption selon Giles et <i>al.</i>	08
	Figure I.4: Représentation linéaire du modèle cinétique du pseudo premier ordre	12
	Figure I.5 : Représentation linéaire du modèle cinétique du pseudo second ordre.	13
<i>Chapitre II</i>	Figure II.1 : Structure du charbon actif.	16
	Figure II.2 : Charbon actif en poudre.	16
	Figure II.3 : Charbon actif granulé.	17
	Figure II.4 : (a) et (b) une feuille de graphie, (c) représentation schématique des microstructure du charbon actif.	20
	Figure II.5 : Schéma d'un grain poreux.	21
	Figure II.6 : Spectroscopie UV Visible.	23
	Figure II.10: (a) : Fruit entier, (b) : coupe longitudinale.	24
	Figure II.11 : La répartition des utilisations du nickel (Cempel & Nikel, 2006).	28
Figure II.12 : Potentiel standard de réaction d'électrode par rapport à l'électrode normale à Hydrogène.	30	
<i>Chapitre III</i>	Figure III.1: solution mère de Sulfate de nickel($NiSO_4$) En trois concentrations.	32
	Figure III.2 : Étapes de fabrication de charbon actif	33
	Figure III.3 : les matières premières (fruits d'abricots) de Djamaa.	34
	Figure III.4: Pré carbonisation de coques des noyaux d'abricots.	34
	Figure III.5 : Refroidissement de coques des noyaux d'abricot carbonisés.	35
	Figure III.6 : Broyage de coques des noyaux d'abricot carbonisés.	35

Chapitre III	Figure III.7: tamisages des noyaux.	36
	Figure III.8 : acide citrique naturel.	36
	Figure III.9: Séchage de charbon Après l'activation dans l'étuve.	37
	Figure III.10: charbon actif des noyaux d'abricots carbonisés	38
	Figure III.11 : lavage et filtration de charbon actif.	38
	Figure III.12 : pH mètre multiparamètre.	40
	Figure III.13 : Spectrophotométrie UV visible.	40
	Figure III.14: spectre visible de nickel avec différents concentrations	41
	Figure III.15: la courbe d'étalonnage.	41
	Figure III.16: Effet de la masse du charbon actif à $[Ni^{2+}] = 4g/l$.	43
	Figure III.17 : Effet de masse sur le pourcentage d'élimination de nickel.	43
	Figure III. 18 : effet de temps de l'agitation sur l'adsorption de nickel(II) avec charbon activé des noyaux de l'abricot à différents concentration de sulfates de nickel.	44
	Figure III.19 : Effet de temps de contact sur le taux d'élimination du nickel.	45
	Figure III.20 : effet de concentration du nickel sur la performance d'adsorption sur charbon activé (noix de l'abricot).	46
	Figure III.21: effet de température sur le taux d'élimination du nickel	47
	Figure III.22 : effet de diamètre granulaire sur le taux d'élimination du nickel	48
	Figure III.23: Isotherme d'adsorption des ions de nickel sur charbon actif	49
	Figure III.24 : Modélisation linéaire par le modèle de Freundlich de l'isotherme du Nickel(II), sur le charbon actif	50
	Figure III.25: Modélisation linéaire par le modèle de Langmuir de l'isotherme du Nickel(II) sur le charbon actif.	51

LISTE DES ABRIVIATION

CANA	Charbon active noyaux d'abricots
CAP	Charbon actif en poudre
CAG	Charbon actif en grain
UV	Spectrophotométrie UV-Visible
Abs	Absorbance
ppm	partie par million
TDS	taux de dissolution

LISTE DES SYMBOLES

Ce	Concentration d'équilibre des ions de Ni(II) dans la phase liquide (mg L-1)
Cr	Concentration résiduelle de la solution
Ct	Concentration des ions de Ni(II) à l'instant t (mg L-1)
C0	Concentration initiale des ions de Ni(II) (mg L-1)
M	Masse du charbon actif (g)
Qe	Capacité d'adsorption des ions de Ni(II) à l'équilibre (mg g-1)
Qmax	Capacité d'adsorption maximale des ions de Ni(II) (mg g-1)
Qt	Capacité d'adsorption des ions de Ni(II) à l'instant t (mg g-1)
t	Temps (min)
T	Température absolue (K)
V	Volume de solution (L)
Vm	Volume molaire du nickel (m ³ mol-1)
H%	Humidité
pH	Le potentiel hydrogène
K₁	Constante de vitesse du modèle de 1er ordre (min-1)

K₂	Constante de vitesse du modèle de 2eme ordre
K_d	Constante de vitesse de diffusion intra-particulaire (mg/g.min-1/2)
K_L	Constante de Langmuir (L/mg)
K_F	Constante de Freundlich
R²	Coefficient de corrélation
b	Constants d'équilibre thermodynamique en relation avec l'énergie d'adsorption
S	surface spécifique

SYMBOLES GREQUES

λ	Longueur d'onde (nm)
-----------	----------------------

Introduction générale

Introduction générale

Les métaux lourds sont naturellement présents dans les roches et les sols. La présence des gisements métallifères contribue à la contamination métallique des eaux. Néanmoins, l'essentiel provient des apports d'origines industrielles, qu'il s'agisse des exploitations minières, des activités industrielles anciennes, ou des activités actuelles.

Les éléments métalliques surveillés sont le fer, le chrome, le zinc, le nickel, qui sont utiles au monde vivant en très faibles quantités, et les métaux lourds, dont on ne connaît aucune utilité pour l'homme, et qui ont la propriété de s'accumuler dans la chaîne alimentaire : mercure, cadmium, plomb, arsenic, etc.

Les métaux lourds ont un fort caractère bio accumulatif et ont la particularité de ne pouvoir être éliminés. Ils changent simplement de forme. Au-delà d'un certain seuil, ils deviennent des toxiques importants pour l'homme [1].

La tâche actuelle du spécialiste en traitement des eaux ne consiste pas uniquement à appliquer des principes connus, étant donné que la croissance démographique et l'industrialisation, ont augmenté la quantité et la diversité des déchets rejetés dans les rivières et les lacs; ce qui a donné naissance à de nouveaux problèmes (les virus, les métaux lourds et les micropolluants...); et a engendré autant de risques que le spécialiste doit résoudre techniquement et de façon économique.

De nombreuses méthodes et techniques de dépollution sont développées au cours de ces dernières années. Parmi ces techniques, il y a lieu de citer les procédés de précipitation chimique, la floculation, l'échange d'ions, l'électrolyse, les procédés membranaires et l'adsorption. Divers chercheurs ont ainsi montré qu'une variété de matériaux d'origine végétale avait l'aptitude de fixer des quantités importantes en métaux lourds. Parmi ces matériaux[2], les noyaux d'abricots ont fait l'objet de diverses études pour des applications variées comme l'adsorption.

Des quantités importantes de noyaux d'abricots sont générées chaque année et constituent une source significative de déchets agricoles. De tels sous produits correspondants à cette perte sont pourtant susceptibles de présenter un intérêt économique non négligeable. Il s'avère, ainsi, important de valoriser de tels déchets.

Introduction générale

Elaborer des charbons à partir des déchets agricoles permet d'une part de les éliminer et d'autre part d'optimiser le rendement et les coûts de production des exploitations.

L'objectif de notre étude est préparé un charbon actif à partir de noyaux d'abricots pour obtenir un produit applicable dans le traitement des eaux usées et notamment pour l'élimination du nickel et en utilisant l'adsorption.

Ce mémoire comporte Trois chapitres :

- ✚ Nous commençons par le premier chapitre, Il comprend des généralités sur phénomène d'adsorption.

- ✚ Le deuxième chapitre, est consacré à des Généralités sur les charbons actifs Industriel et Composition chimique d'abricot et Généralité sur les métaux lourds.

- ✚ le troisième chapitre, Il se compose de deux parties la première partie c'est expérimentale, décrire l'ensemble des méthodes expérimentales en plus Les produits et les équipements utilisés dans cette étude, Le deuxième partie c'est la discussion des résultats obtenus.

- ✚ Enfin, une conclusion est donnée pour résumer le travail réalisé.

Le Premier partie
Partie Bibliographique

Chapitre I
Généralité sur l'adsorption

I-1- Introduction

Une des techniques très fréquemment adoptées pour le traitement de l'eau et des effluents Industriels est l'adsorption. Son principe repose sur la propriété qu'ont les solides à fixés sur Leurs surfaces certains polluants tels que les métaux lourds [3].

I- 2-Description du phénomène d'adsorption

L'adsorption est un phénomène de surface spontané par lequel des molécules de gaz ou de liquides se fixent sur les surfaces des solides selon divers processus plus ou moins intenses. Le terme surface correspond à la totalité de la surface du solide, surface géométrique pour un solide non poreux, à laquelle s'ajoute pour un solide poreux, la surface interne des pores, accessible aux molécules du fluide. Elle est traduite par une augmentation de la densité du fluide à l'interface des deux phases. Elle peut donc aller de quelques molécules sur la surface, puis une monocouche et jusqu'à plusieurs couches formant une véritable phase liquide, surtout dans les micropores (figure I.1).

On appelle « adsorbat » la molécule qui s'adsorbe et « adsorbant » le solide sur le quel S'adsorbe la molécule. Le phénomène inverse par lequel les molécules se détachent est la désorption.

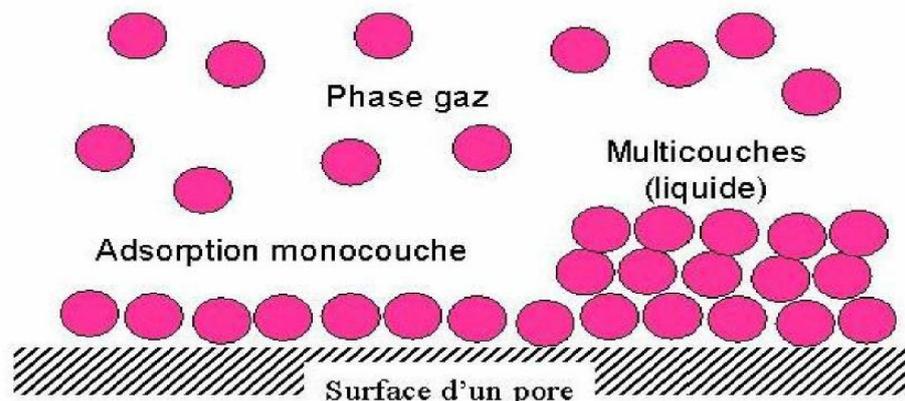


Figure I.1 : phénomène d'adsorption [4 ,5]

I-3-Types de l'adsorption

L'adsorption peut être de deux natures différentes :

I-3-1-Adsorption chimique (ou chimisorption)

Dans le cas de l'adsorption chimique, il y a création de liaisons entre les atomes de la

surface et les molécules de l'adsorbat. Les énergies d'adsorption peuvent être de l'ordre de 200 kJ/mole. Ce type d'adsorption intervient dans le mécanisme des réactions catalytiques hétérogènes.

La chimisorption est complète quand tous les centres actifs présents à la surface ont établi une liaison avec les molécules de l'adsorbat.

I-3-2-Adsorption physique (ou physisorption):

L'adsorption est dite adsorption physique lorsqu'elle est due à des forces d'interaction physiques entre les atomes, ou groupements d'atomes du solide et les molécules de fluide. Ces interactions sont aussi appelées forces de Van Der Waals. Elles sont dues au mouvement des électrons à l'intérieur des molécules qui peuvent engendrer de petits moments dipolaires instantanés. Des interactions électrostatiques peuvent aussi se combiner aux forces de Van Der Waals.

La physisorption présente un intérêt particulier car elle permet de mesurer la surface spécifique du solide adsorbant et la taille moyenne des pores grâce à des critères [6,7].

- ◆ La chaleur d'adsorption dégagée est de l'ordre de 20 kJ / mole.
- ◆ La vitesse du processus d'adsorption est très rapide.
- ◆ La quantité adsorbée décroît avec l'élévation de la température.
- ◆ L'adsorption Physique est complètement réversible. Le temps de résidence est de 1 ns à température 293°K.
- ◆ L'adsorption se fait en plusieurs couches possibles[8].

Tableau I.1: Comparaison des deux types d'adsorption [9].

Propriétés	Physisorption	Chimisorption
Liaisons	Van Der Waals	Chimique
Température du processus	Relativement basse	Plus élevée
Chaleur d'adsorption	1 à10 kcal.mol ⁻¹	> 10 kcal.mol ⁻¹
Processus de désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Très rapide	Lente
Formation des couches	Multicouches	Monocouche
Réversibilité	Réversible	Irréversible

I-4-Le mécanisme d'adsorption

Il existe plusieurs mécanismes d'adsorption d'un soluté sur la surface d'un solide [10].

Parmi ces mécanismes, nous pouvons citer :

- L'adsorption par échange d'ions.
- L'adsorption mettant en jeu une paire d'électrons.
- L'adsorption par polarisation des ponts d'hydrogène.
- L'adsorption mettant en jeu l'attraction électrostatique.

La désorption est moins connue par rapport à l'adsorption, cependant différents modes de désorption sont envisagés [11].

- Désorption par augmentation de la température.
- Désorption par diminution de la pression.
- Désorption par élution.
- Désorption par déplacement

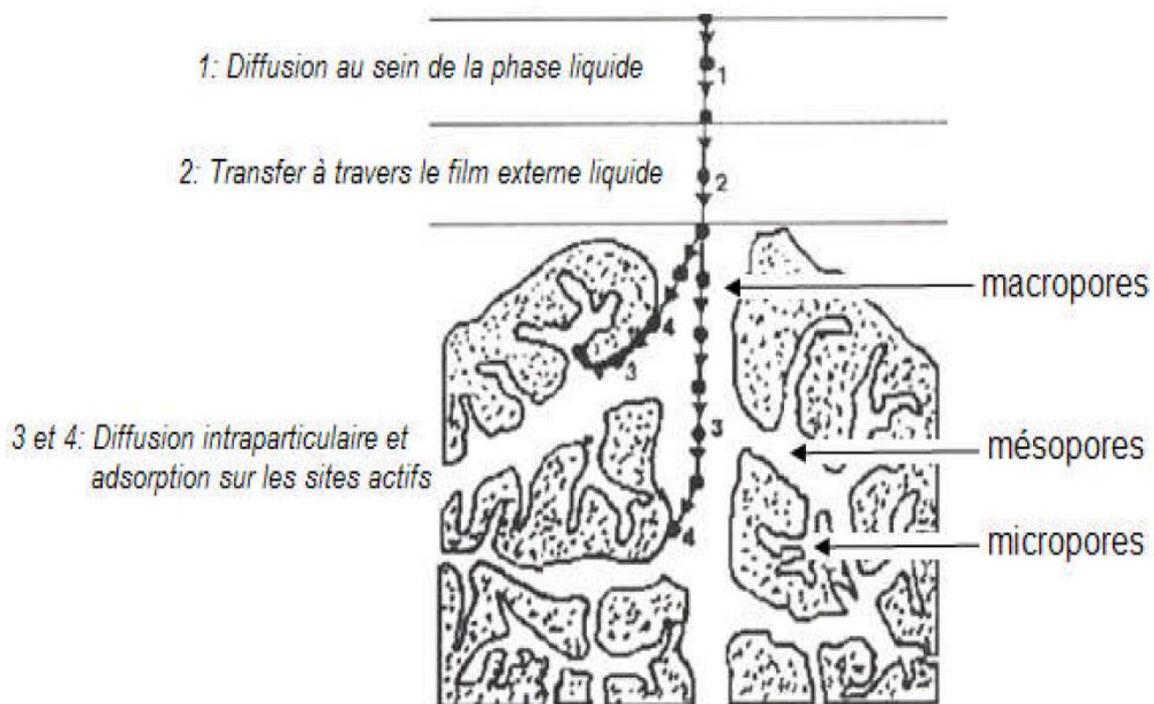


Figure I.2: Mécanisme de l'adsorption sur les solides poreux [12].

I-5-Les Paramètres influençant l'adsorption

Ils peuvent influencer le processus d'adsorption et notamment la capacité et la cinétique de Rétention. Nous pouvons citer :

I-5-1-Surface spécifique :

L'adsorption lui est proportionnelle. La dépendance de la cinétique d'adsorption à la dimension de la surface externe des particules est fondamentale pour l'utilisation d'un adsorbant. Cette surface spécifique externe ne représente pourtant qu'une portion minime de la surface totale disponible à l'adsorption. Cette surface totale peut être augmentée par un broyage de la masse solide qui multiplie encore sa porosité totale [13].

I-5-2-Porosité :

La porosité est liée à la répartition de la taille des pores. Elle reflète la structure interne des adsorbants microporeux [14]. Toutefois, pour les composés pour lesquels les interactions soluté charbon sont principalement de nature physique, le volume poreux, la surface spécifique et la taille des pores ont plus d'effet sur l'adsorption du soluté que la nature chimique de la surface du charbon.

I-5-3-Nature de l'adsorbat :

L'adsorption d'un soluté sur charbon actif est fortement liée à la nature du soluté (taille de la molécule, polarité, nature et position de ses groupements fonctionnels, présence d'insaturations, solubilité). La taille de molécules (ou la masse molaire) de l'adsorbat qui peut influencer grandement le processus d'adsorption par leur disposition sur la surface du matériau. Nous citons en exemple, la fixation sur un support et à la verticale, des acides et des alcools à longue chaîne carbonée par l'intermédiaire de leur groupement carboxylique (-COOH) et hydroxyle (-OH) respectivement dans le cas d'un recouvrement élevé (forte concentration du substrat). Ceci conduit à une fixation forte du substrat dans ces conditions.

Pour une même famille de composés, plus la masse molaire est grande plus l'adsorption du composé est facile [15]. D'après la règle de Lundenius : "moins une substance est soluble dans le solvant, mieux elle est adsorbée». La solubilité joue un rôle important, puisque plus elle est forte plus l'adsorption est facile [16].

I-6-Caractéristiques de l'adsorbant

La structure de l'adsorbant qui joue un rôle déterminant dans la fixation du substrat, par la taille de ses particules. En effet plus la taille est petite, plus la surface de contact sera grande. Ce qui va donc augmenter son pouvoir de rétention. En outre, cette surface s'accroît lorsque le support est poreux. Les caractéristiques de l'adsorbant ont des effets sur l'adsorption physique (distribution de la taille des pores, surface accessible) mais aussi sur l'adsorption chimique à cause des groupements fonctionnels à la surface du charbon.

Enfin, de nombreux auteurs ont montré que la granulométrie du charbon n'avait pas d'effet sur les équilibres d'adsorption [17], le broyage du charbon ne joue pas sur le volume poreux, la surface spécifique et le diamètre moyen des pores. Par contre, la taille des particules de charbon a un effet majeur sur la cinétique d'adsorption d'où l'importance du choix du temps de contact pour atteindre l'équilibre d'adsorption.

I-6-1-Polarité :

Un soluté polaire aura plus d'affinité pour un solvant ou pour l'adsorbant le plus polaire. L'adsorption préférentielle des composés organiques à solubilité limitée en solutions aqueuses (hydrocarbures, dérivés chlorés, phénol et autres dérivés benzéniques) est importante avec les adsorbants hydrophobes (charbons actifs, polymères poreux). Elle est par contre insignifiante avec les adsorbants polaires très hydrophiles (gel de silice, alumine...). Par traitement chimique des charbons, Karanfil et Kilduff ont augmenté l'acidité de la surface ce qui s'est traduit par une augmentation de la polarité de la surface et donc par une diminution de l'adsorption des composés hydrophobes [18].

I-6-2-pH :

Le pH de la solution a un effet à la fois sur l'adsorbat et sur l'adsorbant (groupements fonctionnels). Pour les solutés qui ne se trouvent pas sous formes ionisées aux pH étudiés, l'effet du pH sera négligeable. Le pH a parfois un effet non négligeable sur les caractéristiques de l'adsorption, pour les composés dont le pKa est voisin des pH étudiés, ce paramètre aura un effet sur la capacité d'adsorption de ces solutés. Dans la plupart des cas, les meilleurs résultats sont acquis aux pH les plus faibles. Cette propriété s'applique particulièrement à l'adsorption de substances acides [13]. L'adsorption de composés organiques n'est pas modifiée par la présence de tampon dans le milieu.

I-6-3-Température :

L'adsorption est un phénomène endothermique ou exothermique suivant le matériau adsorbant et la nature des molécules adsorbées, la température qui définit la nature de l'adsorption. De nombreuses valeurs d'enthalpie d'adsorption sont présentées dans la littérature qui attestent de la variabilité des processus thermodynamiques. Quelques exemples sont présentés par Ramesh et al. [19] pour des adsorbants peu coûteux variés et des colorants divers. De très nombreux auteurs ont noté la diminution des capacités d'adsorption des composés organiques lorsque la température augmente.

L'augmentation de la température conduite, en effet, d'une part à une augmentation des vitesses (notamment pour les étapes de diffusion), mais aussi à une désorption plus importante, ce qui se traduit globalement par une diminution des capacités d'adsorption.

I-7- Isothermes d'adsorption

Tous les systèmes adsorbant/adsorbât ne se comportent pas de la même manière. Les phénomènes d'adsorption sont souvent abordés par leur comportement isotherme. Les courbes isothermes décrivent la relation existante à l'équilibre d'adsorption entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant donné à une température constante.

I-7-1-Classification des isothermes d'adsorption

Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées : **S** (Sigmoïde), **L** (Langmuir), **H** (Haute affinité) et **C** (partition Constante). La figure I-3 illustre la forme de chaque type d'isothermes.

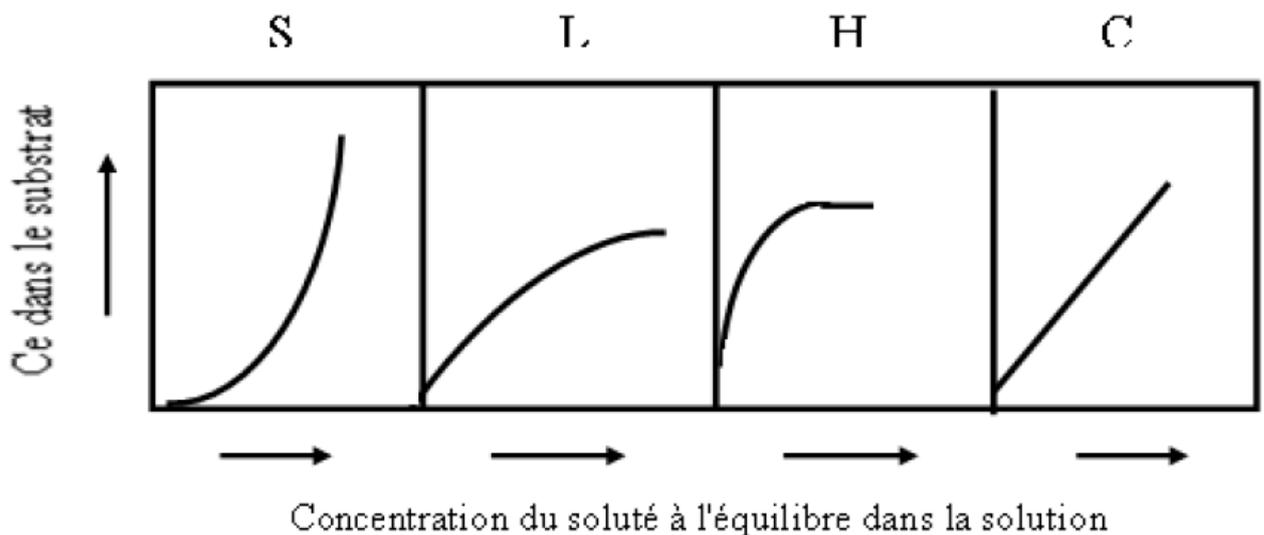


Figure I.3 : classification des isothermes d'adsorption selon Giles et *al.*

Cette classification tient compte entre autre d'un certain nombre d'hypothèses [20]:

- Le solvant s'adsorbe sur les mêmes sites que le soluté. Ceci implique l'existence d'une compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté.
- Le nombre de sites susceptibles d'accueillir les molécules de soluté à la surface du solide diminue quand la quantité adsorbée augmente.
- L'orientation des molécules à la surface. On peut citer le cas où les molécules sont adsorbées verticalement ou horizontalement sur la surface.
- Enfin, les interactions attractives ou répulsives entre les molécules adsorbées se manifestent d'une façon notable dans le phénomène d'adsorption.

➤ Classe L

Les isothermes de classe L présentent, à faible concentration en solution, une concavité tournée vers le bas qui traduit une diminution des sites libres au fur et à mesure de la progression de l'adsorption. Ce phénomène se produit lorsque les forces d'attraction entre les molécules adsorbées sont faibles. Elle est souvent observée quand les molécules sont adsorbées horizontalement, ce qui minimise leur attraction latérale. Elle peut également apparaître quand les molécules sont adsorbées verticalement et lorsque la compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté est faible. Dans ce cas, l'adsorption des molécules isolées est assez forte pour rendre négligeable les interactions latérales[20].

➤ Classe S

Les isothermes de cette classe présentent, à faible concentration, une concavité tournée vers le haut. Les molécules adsorbées favorisent l'adsorption ultérieure d'autres molécules (adsorption coopérative). Ceci est dû aux molécules qui s'attirent par des forces de Van Der Waals, et se regroupent en îlots dans lesquels elles se tassent les unes contre les autres. Ce comportement est favorisé, d'une part, quand les molécules de soluté sont adsorbées verticalement comme c'est le cas des molécules possédant un seul groupe fonctionnel et d'autre part, quand les molécules se trouvent en compétition d'adsorption forte avec le solvant [20].

➤ Classe H

La partie initiale de l'isotherme est presque verticale, la quantité adsorbée apparaît importante à concentration quasiment nulle du soluté dans la solution. Ce phénomène se produit lorsque les interactions entre les molécules adsorbées et la surface du solide sont très fortes. L'isotherme de classe H est aussi observée lors de l'adsorption de micelles ou de polymères formées à partir des molécules de soluté [20].

➤ Classe C

Les isothermes de cette classe se caractérisent par une partition constante entre la solution et le substrat jusqu'à un palier. La linéarité montre que le nombre de sites libres reste constant au cours de l'adsorption. Ceci signifie que les sites sont créés au cours de l'adsorption. Ce qui implique que les isothermes de cette classe sont obtenues quand les molécules de soluté sont capables de modifier la texture du substrat en ouvrant des pores qui n'avaient pas été ouverts préalablement par le solvant[20, 21].

I-8-Modélisation des isothermes d'adsorption

L'adsorption du soluté est en général limitée à la monocouche. En effet, les interactions soluté-solide sont assez fortes pour concurrencer avec succès les interactions

solvant-solide dans la monocouche. Mais ce n'est plus le cas dans les couches suivantes. Toutefois l'adsorption du soluté en multicouche a été observée dans certains cas, en se basant sur la forme des isothermes établies et sur le fait que la surface spécifique évaluée à partir de l'hypothèse d'une monocouche est trop faible. Une telle isotherme est une courbe qui représente la relation entre la quantité adsorbée par unité de masse de solide et la Concentration de la phase fluide.

I-8-1-Modèle de Langmuir

La théorie de Langmuir (1918) a permis l'étude de l'adsorption de molécules de gaz sur des surfaces métalliques. Elle repose sur les hypothèses suivantes :

- l'adsorption se produit sur des sites localisés d'égale énergie ;
- l'adsorption se produit en monocouche ;
- Il n'y a pas d'interaction latérale entre les molécules adsorbées à la surface ;
- La réaction est réversible (c'est-à-dire qu'il y a équilibre entre l'adsorption et la

désorption);

- le nombre de sites d'adsorption sur la surface est limité.

L'isotherme de Langmuir est difficilement utilisable pour des systèmes naturels où l'adsorption en couche simple sur un seul type de site est rarement rencontrée. L'isotherme est représentée par l'équation suivante :

$$q_e = \frac{q_m \cdot b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e} \quad (I.1)$$

Q_e et **Q_m** : sont respectivement la capacité d'adsorption à l'équilibre et la capacité maximale d'adsorption en monocouche (mg/g)

b : la constante caractéristique du couple adsorbant-adsorbat dans l'équation de Langmuir (l/g)

C_e : la concentration d'adsorbat en solution à l'équilibre (soluté non adsorbé), par unité de masse de solide (mg/l).

Cette équation peut aussi se mettre sous la forme linéarité[22] :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{b \times q_m} \quad (I.2)$$

I-8- 2 -Modèle de Freundlich

En 1962, Freundlich a proposé un autre modèle pour décrire l'adsorption en milieu gazeux ou liquide. Ce modèle est représenté par une équation à deux paramètres (K_f et n) et consiste en une distribution exponentielle des énergies des sites d'adsorption à la surface du support et se caractérise par une adsorption en sites localisés. Il convient de mentionner aussi, que celui-ci s'applique dans le cas des solutions diluées. Il peut être décrit par l'équation suivante [22] :

$$q_e = k_f \times C_e^{\left(\frac{1}{n}\right)} \quad (I.3)$$

Q_e et C_e : étant la capacité d'adsorption en mg. g-1 et la concentration du substrat en adsorbat à l'équilibre (L-1.mg) respectivement.

K_f : caractérise le pouvoir adsorbant du support et $1/n$ l'affinité du soluté pour l'adsorbant.

C_e : sont des constantes de Freundlich, indicatrices de l'intensité et de la capacité d'adsorption.

Elles sont obtenues en traçant le graphe :

$$\ln(q_e) = \ln(k_f) + \frac{1}{n} \ln(C_e) = f(\ln(C_e)) \quad (I.4)$$

Où $\frac{1}{n}$ est la pente et $\ln(k_f)$ l'ordonnée à l'origine.

I-9- Modèles cinétiques

Divers modèles de la cinétique d'adsorption sont utilisés afin d'étudier le mécanisme du processus d'adsorption tel que la réaction chimique, la diffusion et le transfert de masse [23,24].

Deux modèles cinétiques sont souvent utilisés pour l'analyse des résultats expérimentaux.

I-10-1- Modèle cinétique du pseudo premier ordre

Le modèle cinétique du pseudo premier ordre peut être exprimé par l'équation suivante [25] :

$$\frac{dq}{dt} = K_1(q_e - q_t) \quad (I.5)$$

Après intégration de l'équation entre les instants 0 et t on obtient :

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K}{2.303} t \quad (I.6)$$

Avec

k_1 : Constante de vitesse du pseudo premier ordre (heure⁻¹)

t : Temps de contact (heure)

Q_e : Capacité d'adsorption (mg/ g) du matériau en mono couche (équilibre expérimental)

Q_t : Quantité adsorbée (mg / g) par unité de masse du sorbant à l'instant t.

Dans le cas d'une cinétique apparente du premier ordre, le tracé de $\log (q_e - q_t)$ en fonction du temps t donne une droite de pente égale à $k_1 / 2.303$ et une ordonnée à l'origine égale à $\log q_e$.

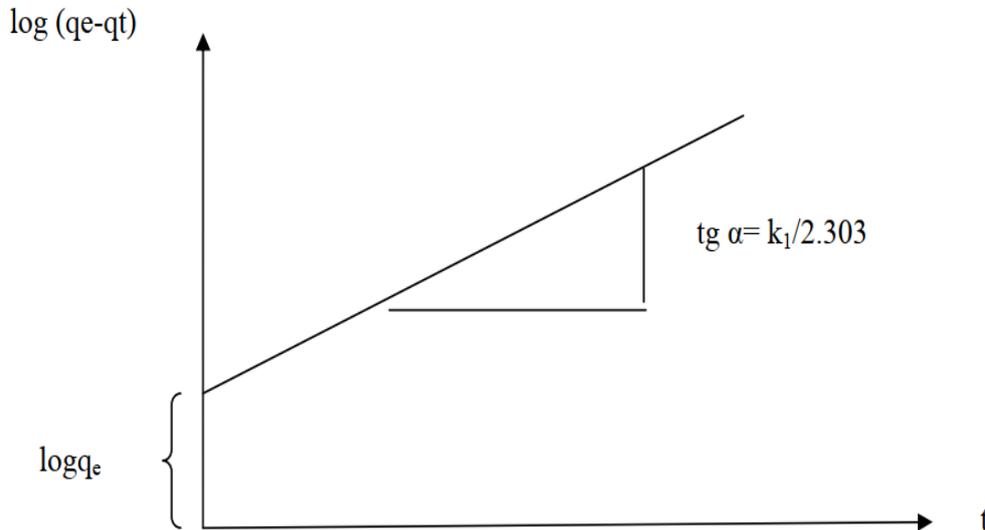


Figure I.4: Représentation linéaire du modèle cinétique du pseudo premier ordre

I-10-2- Modèle cinétique du pseudo second ordre

Le modèle cinétique du pseudo second ordre de HO et Mc Kay [26, 27] est le suivant :

$$\frac{dq}{dt} = K_2(q_{e2} - q_t)^2 \quad (I.7)$$

L'intégration de cette équation suivie de sa linéarisation nous donne :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_{e2}^2} + \frac{1}{q_{e2}} t \quad (I.8)$$

Avec

k_2 : Constante de vitesse apparente du pseudo second ordre

q_{e2} : Capacité d'adsorption du matériau à la saturation (mg / g)

q_t : Quantité de colorant adsorbée (mg / g) par le matériau à l'instant t .

h : qui correspond à $k_2 q_{e2}$, est la vitesse initiale d'adsorption (mg/g h)

Le tracé de t/q_t en fonction du temps t donnera une droite de pente égale à $1/ q_{e2}$ et d'ordonnée à l'origine égale à $1/ k_2 q_{e2}$. Ces valeurs obtenues permettent la détermination de la constante de

vitesse apparente k_2 et la capacité d'adsorption du matériau à la saturation (q_{e2}).

k_2 et q_{e2} sont déduits de la droite $\frac{t}{q_t} = f(t)$

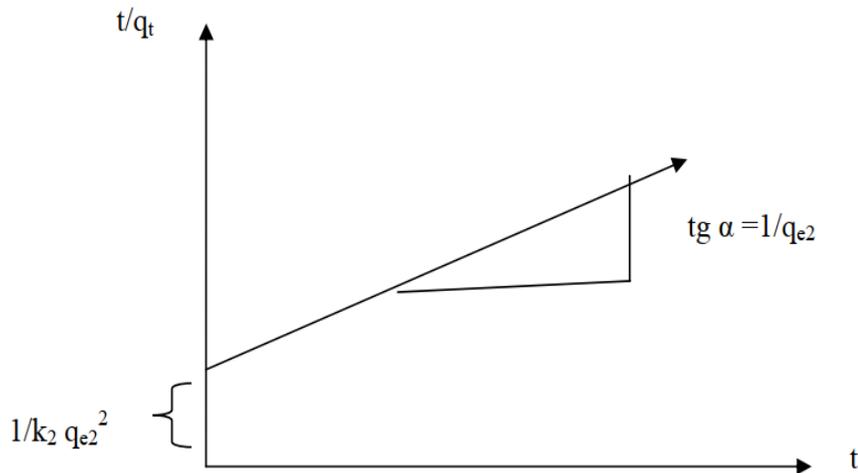


Figure I.5 : Représentation linéaire du modèle cinétique du pseudo second ordre.

I-10- Les adsorbants

I-10-1- Définition d'un adsorbant

Les adsorbants sont des solides poreux se présentant sous forme de granulés, de poudre. Les premiers adsorbants utilisés il y a plusieurs siècles, furent les argiles et terres colorantes, puis à la fin du XIX ème siècle furent développés les charbons actifs. La première guerre mondiale vit apparaître les gels de silice, puis dans les années 1939-1940, les alumines activées. Ils sont caractérisés essentiellement par leur surface spécifique plus ou moins grande, celle -ci détermine la capacité d'adsorption qui n'est autre que la quantité de substance fixée par unité de masse du solide. Elle est liée à sa granulométrie et à sa porosité. Ainsi, les distributions de taille des grains et des pores sont des propriétés importantes.

On divise les adsorbants en deux groupes : polaires comme le gel de silice, l'alumine... etc. et les adsorbants non polaires comme le charbon actif [28].

I-10-2- Les propriétés physiques des adsorbants :

Tous les adsorbants précédents sont caractérisés par un certain nombre de propriétés physiques telle que : la porosité interne ; masse volumique de la particule ; surface spécifique des pores ; rayon moyen des pores et finalement la capacité théorique d'adsorption correspondant à la quantité maximale de soluté qui peut être adsorbée dans les conditions opératoires par unité de masse d'adsorbant frais [29].

I-10-3- Critères du choix d'un adsorbant :

Le choix des adsorbants dépend étroitement des applications visées. D'une manière générale, l'évaluation des qualités d'un adsorbant peut être basée sur plusieurs critères [30] :

- **Capacité** : Il s'agit des quantités adsorbées des constituants à éliminer.
- **Sélectivité** : Les sélectivités sont des capacités relatives d'adsorption des constituants par rapport à d'autres constituants.
- **Régénérabilité** : Pour les procédés avec régénération in situ, les adsorbants doivent être faciles à régénérer.
- **Cinétiques** : La recherche des meilleurs coûts pour les procédés d'adsorption conduit à l'utilisation de cycles d'adsorption de plus en plus rapides afin d'augmenter les productivités horaires et diminuer les investissements.
- **Résistances mécanique, chimique et thermique** : Les adsorbants doivent être résistants à l'attraction, au changement de conditions opératoires et aux éventuelles attaques des différentes impuretés présentes pour assurer des durées de vie suffisantes.
- **Coûts de fabrication** : Le coût des adsorbants peut représenter une part importante de l'investissement global d'un procédé et il peut même devenir un critère primordial dans certaines applications de traitement des eaux[31].

Chapitre II
Généralité sur le charbon actif
Industriel

II-1-Introduction:

Le charbon actif (CA), également appelé (charbon activé) « activâtes charcoal » est de loin l'adsorbant utilisé et fabriqué de façon préférentielle dans l'industrie pour la dépollution d'effluents. Brièvement un charbon activé et un matériel solide résistant aux hautes températures · Il est constitué d'un matériau carboné essentiellement amorphe · doté d'une porosité très développée avec une capacité d'adsorption qui est définie par le volume poreux et les groupes fonctionnels , principalement oxygénés , qui se trouvent à la surface · Il est obtenu à partir d'un grand nombre de matériaux contenant du carbone d'origine végétale, animale ou minérale carbonisé, puis activé soit sous forme de poudre (pulvérulente), soit sous forme de grain (granulaire) [32 , 33].

II-2-Définition de charbon actif

Le charbon actif est l'adsorbant le plus utilisé industriellement. Il est considéré par l'US Environmental Protection Agence comme une des meilleures technologies de « control environnemental » [34]. Il est caractérisé par une surface quasi non polaire, qui lui permet d'adsorber préférentiellement les composés organiques ou non polaires par rapport aux composés polaires tels que l'eau. Il peut ainsi être utilisé pour des opérations de séparation/purification de gaz sans déshumidification préalable contrairement à la plupart des autres adsorbants. L'énergie de liaison adsorbat/adsorbant est généralement plus faible pour le charbon actif que pour les autres adsorbants, ce qui diminue la quantité d'énergie nécessaire pour la phase de régénération [35].

Le charbon actif présente une faible sélectivité (capacité à séparer deux composés) par rapporteur autres adsorbants du fait de sa large distribution de tailles de pores. Cependant cette grande distribution permet d'adsorber de nombreuses espèces chimiques en particuliers les composés organiques volatiles (COV) [35]. Il peut être obtenu à partir d'un grand nombre de matériaux contenant du carbone organique d'origine animale, végétale ou minérale, y compris (les matières bitumineuses et lignite), la tourbe, le bois, ou les coques. Le principe est de créer une structure rigide et poreuse. La figure 1 représente la structure du charbon actif.

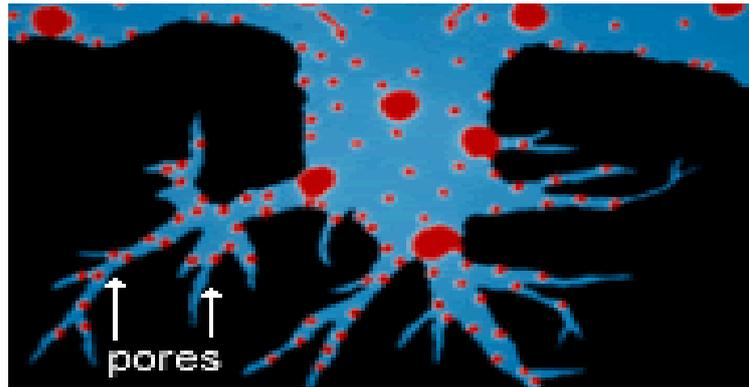


Figure II.1 : Structure du charbon actif.

II-3- Type de charbon actif

II-3-1- Charbon actif en poudre (CAP)

Le charbon actif en poudre ou CAP prend la forme de grains, 95-100 % de ces particules traverseront un tamis de maille donnée. Par exemple la norme ASTM D5158 classe les particules de diamètre inférieur ou égal à 0.177 mm comme CAP.



Figure II.2 : Charbon actif en poudre

II-3-1-1- 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'une inter oxydation est

alors réduite. La principale conséquence est que le nombre de sous-produits d'ozonation diminue.

II-3-1-2- Avantages du charbon actif en poudre

- Le charbon actif en poudre est 2 à 3 fois moins cher que le charbon actif en granulé.
- Des quantités supplémentaires peuvent être rajoutées en cas de pointes de pollution accidentelles ou temporaires.
- L'adsorption est rapide dans la mesure où une grande partie de la surface de contact est directement disponible.

II-3-1-3- Inconvénients du charbon actif en poudre

- Le charbon actif en poudre ne peut pas être régénéré quand il est mélangé avec des boues d'hydroxyde.
- Il est difficile d'enlever les dernières traces d'impuretés sans ajouter une quantité très importante de charbon actif en poudre.
- La détection des pointes de pollution est problématique et sa concentration applicable est limitée.

II-3-2- 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 [34]. 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).



Figure II.3 : Charbon actif granulé

II-3-2-1- Utilisation du charbon actif granulé

Le charbon actif granulé est utilisé dans des différents types dans le système de traitement des eaux pour la réduction des oxydants chlorés résiduels et une très faible élimination de certains sous-produits 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.

Il est utilisé en filtration pour des traitements de finition, car il permet l'amélioration de nombreux paramètres liés à la matière organique naturelle (MON) : couleur, goût, odeur, de mandéen désinfectant. En outre, son utilisation en filtration biologique permet d'obtenir des rendements d'élimination du carbone organique biodégradable (CODB) pouvant aller jusqu'à 80 % à 18 °C, mais ne dépassant pas 30 % à 8 °C.

II-3-2-2- Avantages du charbon actif granulé

- La durée de vie du charbon actif granulé dépend de l'abattement de la matière organique et du lissage des points de pesticide. Le choix du type de charbon actif est également déterminant sur le rendement de l'élimination.
- Le charbon actif granulé a une capacité d'adsorber une partie de presque toutes les vapeurs.
- Il a une grande capacité d'adsorption pour les substances organiques en particulier les solvants.
- Il retient un grand nombre de substances chimiques en même temps.
- Il fonctionne bien dans un domaine large de température et d'humidité.
- Il est inerte et on peut l'utiliser en toute sécurité.
- Il est facilement disponible et de bon marché.

II-3-2-3- Inconvénients du charbon actif granulé

- Durée de vie limitée.
- Pré filtration: Les carburants dissous et matières en particules peuvent rapidement en crasser le charbon, nécessitant un prétraitement dans la plupart des cas.
- Coût: Le besoin de remplacer régulièrement le charbon épuisé rend le charbon actif granulé plus cher que le stripping pour des concentrations élevées de contaminants.
- Déchets dangereux : tout le charbon doit être finalement jeté, puisque il ne peut être régénéré qu'un certain nombre de fois, ou pas du tout dans le cas de l'adsorption de métaux ou de résidus d'explosifs. Selon les caractéristiques du charbon épuisé, il peut être jeté comme déchet dangereux, ce qui augmenterait le coût et responsabilité[36].

II-4- Fabrication de charbon actif :

La fabrication de CA se décompose en deux étapes : la carbonisation (ou Pyrolyse) et l'activation.

II-4-1-La carbonisation (pyrolyse) :

La carbonisation est la décomposition thermique des matières carbonées : les espèces autres que le carbone sont éliminées. Cette étape s'effectue à des températures comprises entre 600 et 800°C en présence de sels métalliques et sous un courant continu de gaz inerte (absence d'oxygène). La carbonisation est généralement effectuée à une vitesse de montée en température suffisamment grande pour minimiser le contact entre les produits carbonisés et les produits volatils. Elle fournit des matériaux ayant une structure poreuse limitée (surface spécifique d'environ 10 m².g⁻¹) et qui n'ont donc pas une forte capacité d'adsorption. La structure poreuse est ensuite étendue durant le processus d'activation [37].

II-4-2-L'Activation :

L'activation consiste à développer la structure poreuse et créer les fonctions de surfaces généralement oxydées qui sont à l'origine des interactions entre le solide et les molécules adsorbées. L'activation physique permet de développer les pores existants et d'en créer d'autres. L'activation consiste à augmenter son pouvoir adsorbant, notamment en éliminant les goudrons qui obstruent les pores Il existe deux procédés d'activation, l'activation physique et l'activation chimique [38].

• L'activation physique

Permet de développer les pores existants et d'en créer d'autres. Elle est réalisée entre 800°C et 1000°C en présence d'un gaz faiblement oxydant (air), de vapeur d'eau, de CO₂, ou encore d'un mélange de ces gaz [39].

• L'activation chimique

Consiste à imprégner le matériau de départ avec une solution concentrée d'agent très oxydant et/ou déshydratant (acide phosphorique, chlorure de zinc...). Le matériau subit ensuite une pyrolyse entre 400°C et 800°C à l'abri de l'air, puis est lavée et séchée. Le charbon actif est ainsi obtenu en une seule étape. C'est le degré d'imprégnation du matériau en matière oxydante qui définit la structure poreuse finale [38].

II-5- Structure du charbon actif :

La structure et la nature chimique d'un charbon activé évoluent tout au long des processus de sa carbonisation et de son activation. Les processus de polymérisation et de polycondensation débutent vers 400 °C, avec une augmentation de la teneur en carbone sous forme de cycles aromatiques condensés. La montée en température facilite le réarrangement de

la matière organique et conduit à une structure poreuse. En poursuivant le chauffage, la structure devient de plus en plus poreuse, ce qui provoque une pression sur les parois des différents pores et par conséquent une diminution de leur volume. Suite à la carbonisation, la structure des charbons actifs est constituée d'une association aléatoire de plans d'atomes de carbone. Ces atomes sont organisés sous forme de cycles aromatiques qui forment des feuillets de carbone appelés graphène ou carabines. Le graphène a une structure bidimensionnelle d'atomes de carbone rappelant celle d'un nid d'abeille (figure II.4 (a et b)).

Le nuage d'électrons π délocalisés sur ces cycles donne au charbon son excellente qualité d'agent adsorbant [32]. L'arrangement des plans de cycles aromatiques se fait d'une manière irrégulière créant entre les feuilles des interstices nommés pores, qui sont à l'origine de la grande surface spécifique des charbons actifs (figure II.4(c)).

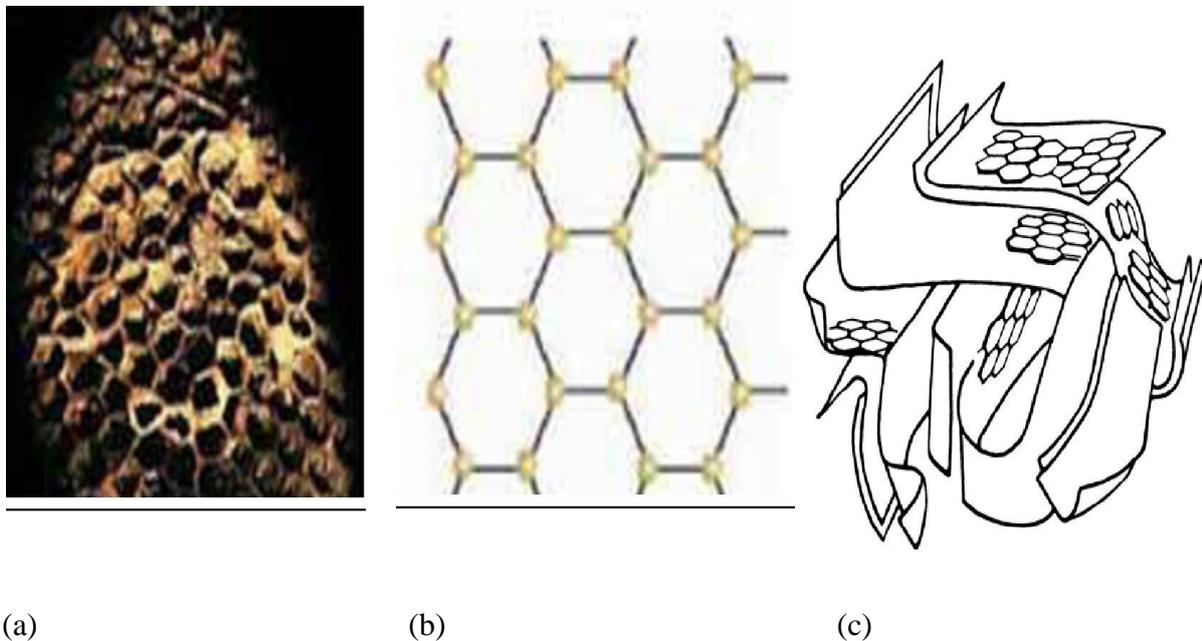


Figure II.4 : (a) et (b) une feuille de graphène, (c) représentation schématique des microstructures du charbon actif [40,41].

II-6- Caractéristiques du charbon actif

Les caractéristiques du charbon sont définies par deux aspects principaux : la surface spécifique et la porosité [42, 32]:

•Surface spécifique

La surface spécifique d'un adsorbant est la surface total par unité de masse, exprimée souvent par m^2/g . Plus la surface spécifique d'un corps est grande, plus sa capacité d'adsorption augmente, cette surface comprend la surface interne et la surface externe d'un adsorbant :

- La surface interne est la surface microporeuse représentée par les parois internes des micropores.
- La surface externe est la surface non microporeuse, comprise entre les parois des micropores et macropores. Ainsi que la surface non poreuse de l'échantillon.

•Porosité

La porosité est l'ensemble des vides du charbon (solide), qui sont remplis par le fluide, c'est une grandeur physique qui joue un rôle très important pour la détermination de la capacité d'écoulement et la rétention du substrat. La taille et la distribution des pores affectent les propriétés d'adsorption du matériau.

D'après L'IUPAC (l'union internationale de chimie pure et appliquée) les pores peuvent être classés en trois catégories :

- Macropores : largeur supérieure à 50 nm.
- Micropores : largeur inférieure à 2 nm.
- Mésopores : largeur comprise entre 2nm et 50nm.

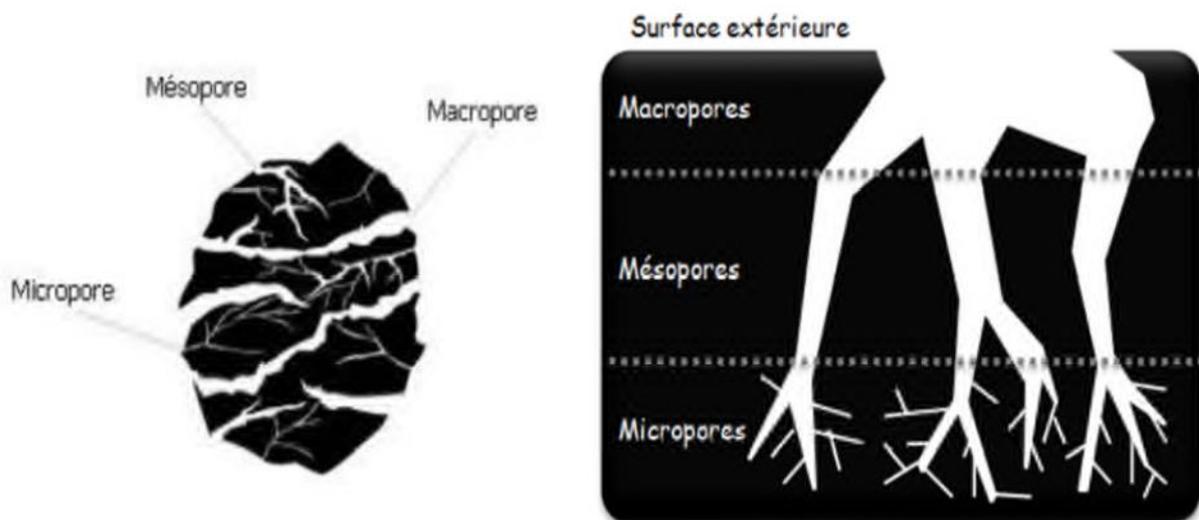


Figure II.5 : Schéma d'un grain poreux.

II-7- Sources du charbon actif

Le charbon actif obtenu à partir de biomasse ou les sous-produits agricoles, qui coûtent moins cher que les charbons actifs issus de matières fossiles, peut être fabriqué à partir de

beaucoup de substances ayant une grande teneur en carbone comme les coque de grains, les déchets de maïs, les coques de noix.

A l'heure actuelle la demande croissante de matériaux adsorbants pour des Procédés de protection de l'environnement suscite une recherche complémentaire dans la fabrication des charbons actifs à partir de matières qui ne sont pas classiques, concrètement à partir des déchets végétaux.

Parmi les matières de base (précurseurs) utilisées aujourd'hui pour fabriquer le charbon actif, figurent la sciure de bois, la tourbe, la lignite, la houille, la cellulose, les résines échangeuses d'ions épuisées telles que les polymères styrène-divinyle benzène, et les résines phénol formaldéhyde, les pneus automobiles usagés, les boues, et le marc de café.

Le charbon actif obtenu à partir des déchets végétaux est pourtant 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 et les noyaux de fruits, les coques d'amande, les noyaux d'olives ; les noyaux de pêches, et le coque de pécan. Les sous produits agricoles de grains, h1.abricots, et de coton sont aussi des sources pour la production de charbon actif. Par exemple : l'épi de maïs, cosses de riz et cosses de graines de soja, les noyaux d'abricots , sont disponibles facilement dans beaucoup d'endroits[43].

II-8- Méthode d'analysé de charbon actif

II-8-1- Méthodes de caractérisation UV Visible

La spectroscopie d'absorption moléculaire est basée sur la mesure de la transmutante Toua de l'absorbance A de solutions contenues dans des cellules transparentes ayant une longueur du trajet d'absorption égale à l . En général, entre la concentration d'un analyte absorbant et l'absorbance, il existe une relation linéaire qui s'exprime par l'équation de Bээр-Lambert : [44]

$$A = \log I_0/I = \epsilon.l.C = - \log T \quad (\text{II.1})$$

Où :

A : Désigne l'absorbance ;

I_0 : Intensité du rayon incident (cd : candela).

I : Intensité du rayon transmis (cd : candela).

ϵ : Le coefficient d'absorption qui est une constante pour une espèce absorbante et une transition données (L/mol.cm).

l : Longueur du trajet optique dans la zone où se trouve l'espèce absorbante (longueur de la cuve ou cellule en Cm).

C: La concentration molaire de l'espèce absorbante (mol/L).

T : Transmutante.



Figure II.6 : Spectroscopie UV Visible[45].

II-9- Applications des charbons actifs dans le domaine de l'adsorption

Le charbon actif est très utilisé dans le domaine de l'adsorption. Ses différentes caractéristiques peuvent expliquer son large spectre d'application incluant les traitements d'eau et d'air. Il est utilisé comme matériau adsorbant dans les usines de préparation de l'eau potable. De nombreuses études ont montré que le charbon actif est efficace pour éliminer différents types de polluants dans une eau à traiter, tels que le phénol [46], le naphthalène [47], le parachlorophénol [48], l'ibuprofène [49], les colorants tels que la tyrosine [50] et le bleu de méthylène [51] et les composés inorganiques tels que les métaux lourds [52,53].

L'élimination par adsorption sur le charbon actif est destinée à traiter les polluants qui se trouvent à l'état de traces ou à de faibles concentrations, car dans le cas contraire, de fortes concentrations en polluants entraînent rapidement la saturation de la surface adsorbants, ce qui nécessite des réactivations fréquentes qui peuvent s'avérer coûteuses. Le charbon actif est un matériau qui n'intervient surtout au niveau tertiaire dans les chaînes de traitement des eaux et de raffinage ou pour extraire et récupérer les métaux lourds des eaux résiduaires industrielles. En plus de son utilisation en milieu aqueux, le charbon actif est fréquemment utilisé pour le traitement d'air chargé en composés organiques volatils. On peut citer la récupération du toluène en héliogravure ou du per chloréthylène dans les secteurs du dégraissage et du nettoyage à sec.

Son utilisation dans le traitement des gaz vise l'élimination des gaz nocifs comme les gaz soufrés (H_2S et SO_2) et les gaz nitrés (NH_3 et NO_2) dégagés par les industries polluantes.

Le charbon actif a été également utilisé dans de nombreuses applications en tant que support catalytique du fait de sa surface spécifique élevée permettant une bonne dispersion du métal qui est généralement associée à une activité catalytique élevée. Les charbons actifs sont utilisés comme supports de métaux nobles [54-55], d'oxydes métalliques [56-57] ou bimétalliques [58]. Le charbon actif peut agir aussi en tant que catalyseur : sa grande surface spécifique et sa microporosité offrent respectivement de nombreux sites actifs pour la réaction catalytique et un grand volume de stockage [59]. Bien que l'adsorption ait principalement lieu au niveau des micropores, les mesopores et les macropores peuvent servir de conduits de transport des réactifs et des produits de réaction à travers le lit catalytique [60].

II-10-Description de l'abricot

II-10-1- L'abricot

Un abricot pèse 45 grammes en moyenne, de forme globuleuse, sa grosseur varie selon les variétés, il est d'une teinte orangée caractéristique, souvent tacheté de rouge, et une peau duveteuse. Sa chair (mésocarpe) est pulpeuse, sucrée et juteuse.

D'un apport calorique moyen, l'abricot est un des fruits les plus riches en carotène, l'endocarpe entoure le noyau, la figure II.1 montre les différentes parties d'un abricot.

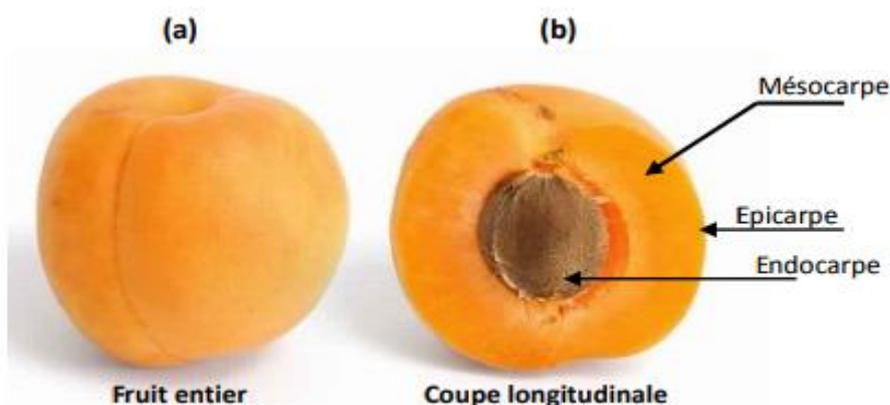


Figure II.7 : (a) : Fruit entier, (b) : coupe longitudinale

II-10-2- Composition chimique de l'abricot

L'abricot représente une source riche en acides gras, protéines (2,8 à 4,3 % fibres), 0,77 à 2,42 % en sucre avec des teneurs en glucose, fructose et saccharose de 8,1 ; 4,5 et 29,3 g/100 g de fruit frais, respectivement [61].

L'abricot est riche en eau, entre 75 % et 90% d'eau, suivant la variété et la maturité du fruit, les acides organique majoritaires présents dans l'abricot sont les acides citrique, malique et ascorbique. Les caroténoïdes représentent une classe de molécules bioactives bien présentes dans l'abricot, ente 70 et 85%. La teneur la plus élevée est celle de la beta carotène [62].

C'est un fruit riche en minéraux et éléments traces tels que Na P, Mg, Ca, K, fer et zinc [63].

II-11- Généralité sur les métaux lourds

Les métaux lourds sont généralement définis comme des éléments traces métalliques (ETM) à cause de leurs présences en très faibles concentrations les métaux lourds sont considérés comme des composés chimiques de faibles densités qui sont fortement toxiques. En outre, ils sont définis en tant que métaux ayant des masses atomiques entre 63,5 et 200,6 g/mol et une densité supérieure à 5 g cm⁻³.

D'un point de vue biologique, on en distingue deux types en fonction de leur effet physiologique et toxique : métaux essentiels et métaux toxiques, les métaux essentiels 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 , C'est le cas du cuivre (Cu), nickel(Ni), zinc (Zn) et le fer (Fe). Par contre, les métaux toxiques ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. C'est le cas du plomb (Pb), le mercure (Hg) et le cadmium (Cd), En effet, ils conduisent à un plus grand risque pour la santé humaine et l'environnement.

La pollution par les métaux lourds se fait généralement à cause de deux sources :les sources naturelles et les sources anthropiques , les sources naturelles proviennent de l'érosion naturelle des sols, les sources anthropiques sont liées aux activités urbaines et industrielles ainsi qu'à l'utilisation des fertilisants dans l'agriculture, Les sources anthropiques sont vastes et leur introduction est plutôt récente dans l'environnement, les quantités émises de certains métaux lourds (valeurs moyennes des émissions) selon l'origine de la source en (tan-1) sont représentées dans le tableau II.1[64].

Tableau II.1 : Valeurs moyennes des émissions des métaux lourds dans le monde[65].

Métal lourd	Valeurs moyennes des émissions des métaux lourds ($t an^{-1}$)	
	Sources naturelles	Sources anthropique
Chrome (Cr)	44000	3077
Cuivre (Cu)	28000	38189
Nickel (Ni)	30000	55642
Plomb (Pb)	12000	331854
Zinc (Zn)	45000	131866

II-11-1-Devenir des métaux lourds dans l'environnement

La présence de métaux lourds dans les eaux est due en majeure partie aux rejets des industries situées à proximité des cours d'eau (pour des raisons de refroidissement et de transport).

A ce phénomène il faut ajouter l'érosion et le ruissellement de l'eau sur les sols et les chaussées. L'eau constitue un élément fondamental en matière de pollution, elle transporte les métaux lourds et les insère dans les chaînes alimentaires (algues, poisson, légumes, etc.)

Même si les métaux sont le plus souvent présents à l'état de traces ils n'en restent pas moins très dangereux, puisque leur toxicité se développe par bioaccumulation dans les organismes, les principaux processus qui gouvernent la distribution et la répartition des métaux lourds sont la dilution, la dispersion, la sédimentation et l'adsorption/désorption, C'est ainsi que la spéciation selon les diverses formes solubles est régie par les constantes d'instabilité des différents complexes, et par les propriétés physico-chimiques du milieu (pH, ions dissous et température).

Par ailleurs, par l'activité bactérienne, les conditions peuvent devenir anoxiques et réductrices les métaux tendent alors à précipiter sous forme de sulfures métalliques[64].

II-11-2- Toxicité des métaux lourds

De nombreux métaux lourds existent naturellement dans nos écosystèmes environnants et sont nécessaires pour les organismes, bien qu'à des fortes concentrations, ils peuvent être nocifs pour les organismes. Parmi ces éléments, on trouve le fer (Fe), le manganèse (Mn), le zinc (Zn) et le cuivre (Cu) pour les plantes et les animaux.

Tableau II.2 : Les limites selon l'OMS, sources et les effets toxiques de certains métaux lourds[66].

Métal lourd	Limites OMS (mg/L)	Sources et utilisations	Effets
^(1,2) Zinc (Zn)	5	Activités industrielles et minières (galvanisation, Soudage, Cosmétique et pigment, etc.), activités agricoles.	risques de cancer de la prostate, les troubles respiratoires, fièvre des fondeurs, trouble neuronal (Hashemi, 2007).
^(1,2) Cuivre (Cu)	1,3	Activités urbaines et trafic routier, engrais, activité industrielles (conduites d'eau, fils électriques et radiateurs d'automobiles).	Allergies, anémie, diabète, alopecie, l'arthrite, fibrose kystique (Selvaraj, 2011).
^(1,2) Chrome (Cr)	0,05	Activités industrielles (industries de cuir et de chromage).	Cancérogène et mutagène modifiant les bases de l'ADN, allergies dermatite et ulcères de la peau, hémorragie interne, (Dayan <i>et al.</i> , 2001; Dey <i>et al.</i> , 2009).
⁽²⁾ Cadmium (Cd)	0,005	Activités industrielles (fabrication des plastiques et caoutchouc, batteries, peintures), activités urbaines et agricoles.	Toxicité rénale, anémie, l'hypertension, perte de poids, cancer du poumon et fibrose pulmonaire (Ercalet <i>et al.</i> , 2001).
⁽²⁾ Plomb (Pb)	0,05	Activités industrielles (verres et céramiques, batteries, peintures, plomberie et alliages).	Diminution de la croissance des os, effets sur le système nerveux et cardiovasculaire, une ataxie, cancérogène (Liu <i>et al.</i> , 2008).

(1) Oligo-élément nécessaire jusqu'à certain seuil.

(2) Élément toxique au-delà d'une certaine limite.

D'autre part, certains métaux sont toxiques pour les organismes vivants (homme,

animaux et plantes), et s'accumulent fortement dans les organismes vivants, Parmi les métaux toxiques : le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le mercure (Hg), l'arsenic (As) et le chrome (Cr) sont les causes les plus probables pour la plupart des maladies liées aux métaux lourds.

La toxicité des métaux lourds a conduit les pouvoirs publics à réglementer les émissions en fixant des teneurs limites. Plusieurs organismes internationaux comme l'organisation mondiale de la Santé (OMS), centre pour le contrôle et la prévention des maladies (CDC), l'organisation conjointe d'alimentation et d'agriculture (FAO)/WHO, Comité d'experts sur les additifs alimentaires (JECFA) et l'agence internationale pour la recherche sur le cancer (CIRC) ont travaillé sur la toxicité des métaux lourds. Le tableau I.2 représente certains métaux lourds avec leurs gammes de toxicité selon l'OMS, leurs sources et leurs effets sur la santé humaine[64].

II-11-3- Pollution par le nickel

Le nickel, comme la majorité des métaux lourds, est toxique à des concentrations élevées. Il présente des effets néfastes sur la santé humaine et sur l'environnement.

Le nickel n'est présent dans l'environnement qu'à des concentrations très faibles, La répartition des utilisations du nickel primaire dans le monde est représentée dans la figure II.11.

L'exposition humaine au nickel peut provenir de différentes sources (air, eau et aliments), La toxicité chronique du nickel pour les humains a le potentiel de produire une variété d'effets pathologiques chez l'homme variant de la dermatite de contact, la fibrose pulmonaire, maladies cardiovasculaires et rénales et le cancer des poumons et du nez.

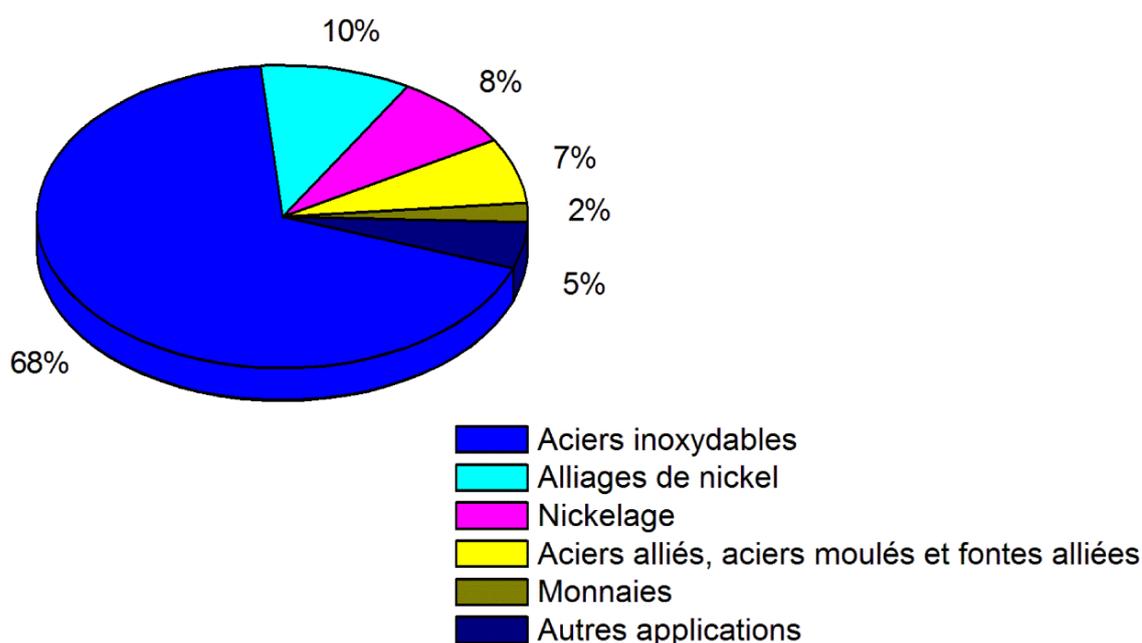


Figure II.8 : La répartition des utilisations du nickel [67]

II-12-Propriétés physique et Propriétés chimiques de nickel

II-12-1- Propriétés physique

Le nickel est un métal blanc à reflet jaunâtre, assez ductile et tenace. Il s'allie par voie thermique avec de nombreux métaux : fer, cuivre, chrome, cobalt, manganèse etc., mais, par la voie électrolytique, le nombre de métaux et d'alliages et leurs applications sont considérablement plus restreints : cobalt, fer, phosphore, tungstène, étain. Le nickel présente un léger ferromagnétisme (27% par rapport au fer)[68].

Donc les propriétés physiques de nickel sont données dans le tableau suivant :

Tableau(II.3): Les différentes propriétés de nickel

Symbole	Ni
Masse Volumique	8,9 g/Cm ³ (dépôts électrolytiques : variant de 8,85 à 8,93)
Température de fusion	1455 °C
Coefficient de dilatation	13,6. 10 ⁻⁶ (°C) – 1 à 20 (°C)
Conductivité thermique	74 à 95 W. m ⁻¹ .K ⁻¹ .
Résistivité électrique	6,85 μΩ. Cm (de 6,8 à 11,5 pour les dépôts électrolytiques)
Résistance à la rupture Rm	>350 MPa
Limite d'élasticité Re	150 MPa
Cristallisation	Cubique faces centrées (a ₀ =0,3524nm)
Température de curie	359 °C
Champ coercitif	280 à 400 A/m (Fer : 50 à 80 A/m)
Aimantation à saturation	0,61 T (Fer : 2,16 T)
Isotopes stables	58Ni : 68,3% , 60Ni : 26,1% , 62Ni : 3,6% , 64Ni : 0,9%

II-12-2- Propriétés chimiques et électrochimiques

Le nickel sous forme d'ions, se trouve essentiellement au degré d'oxydation + 2. Il peut se présenter au degré + 3 et très exceptionnellement au degré + 4. Au degré d'oxydation 2, le

nickel donne de manière générale des composés verts, de degrés d'hydratation différents (essentiellement avec 6 ou 7 molécules d'eau).

Le métal, après s'être recouvert d'une couche de passivation d'oxyde, n'est pas oxydable à froid dans l'oxygène. Il résiste bien à la corrosion par l'eau distillée et par l'eau de mer. On peut cependant constater une attaque locale par l'eau de mer stagnante. Le potentiel standard du couple Ni/Ni²⁺ correspondant à la réaction $Ni \leftrightarrow Ni^{2+} + 2e^-$ est égal à -0,25/ESH. Fig. (II.12)

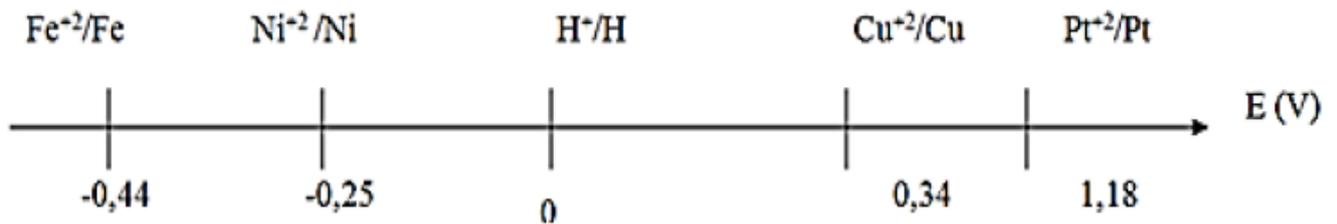


Figure. 9 : Potentiel standard de réaction d'électrode par rapporta l'électrode normale à hydrogène [69].

Le Deuxième partie
Partie Expérimentale

Chapitre III
Méthodes et résultats
discussion

Ce travail à été réalisé dans le laboratoire technologie de datte, au niveau de centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides OMAR EL- BERNAOUI Biskra (C.R.S.T.R.A).

A-Matériels et Méthodes

III-1-Introduction

Le but de cette étude est de préparer du charbon actif à partir des coques noyau d'abricots pour obtenir une substance applicable utilisé pour élimination de nickel, résultant de son utilisation dans certaines activités industrielles et chimiques.

Le stimulant utilisé est l'acide citrique naturel. Par conséquent, cette étude a deux aspects, le premier est la préparation de charbon activé (l'exploitation des déchets agricoles comme matière première). Deuxièmement, utilisez ce charbon pour traiter l'eau. Ensuite, nous décrivons les techniques d'analyse utilisées lors de cette thèse. A propos de la spécification des échantillons.

III-2-Les produits et les équipements utilisés

III-2-1- Les produits utilisés

- Sulfate de nickel(NiSO_4) : $M=154.45\text{g/mol}$.
- Acide citrique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) : $C=0.01\text{M}$; $M=192.124\text{g/mol}$.
- Eau distillée.

III-2-2- Les équipements utilisés

- Balance électrique.
- Broyeur électrique.
- Tamiseur électrique.
- L'étuve.
- Four programmable (four à moufle).
- Agitateur.
- pH mètre.
- Spectrophotométrie UV-Visible.
- Papier filtre.

III-3-Préparation de la solution mère de Sulfate de nickel(NiSO_4)

Une solution mère du Sulfate de nickel avec différents concentrations (2000-4000et 6000 ppm) ont été préparée en mélangeant une quantité de Sulfate de nickel avec de l'eau distillée. La solution mère a été convenablement diluée par l'eau distillée à la concentration initiale désirée.



Figure III.1: solution mère de Sulfate de nickel(NiSO_4) En trois concentrations

III-4- Le protocole expérimental

III-4-1- Les étapes de fabrication de charbon actif

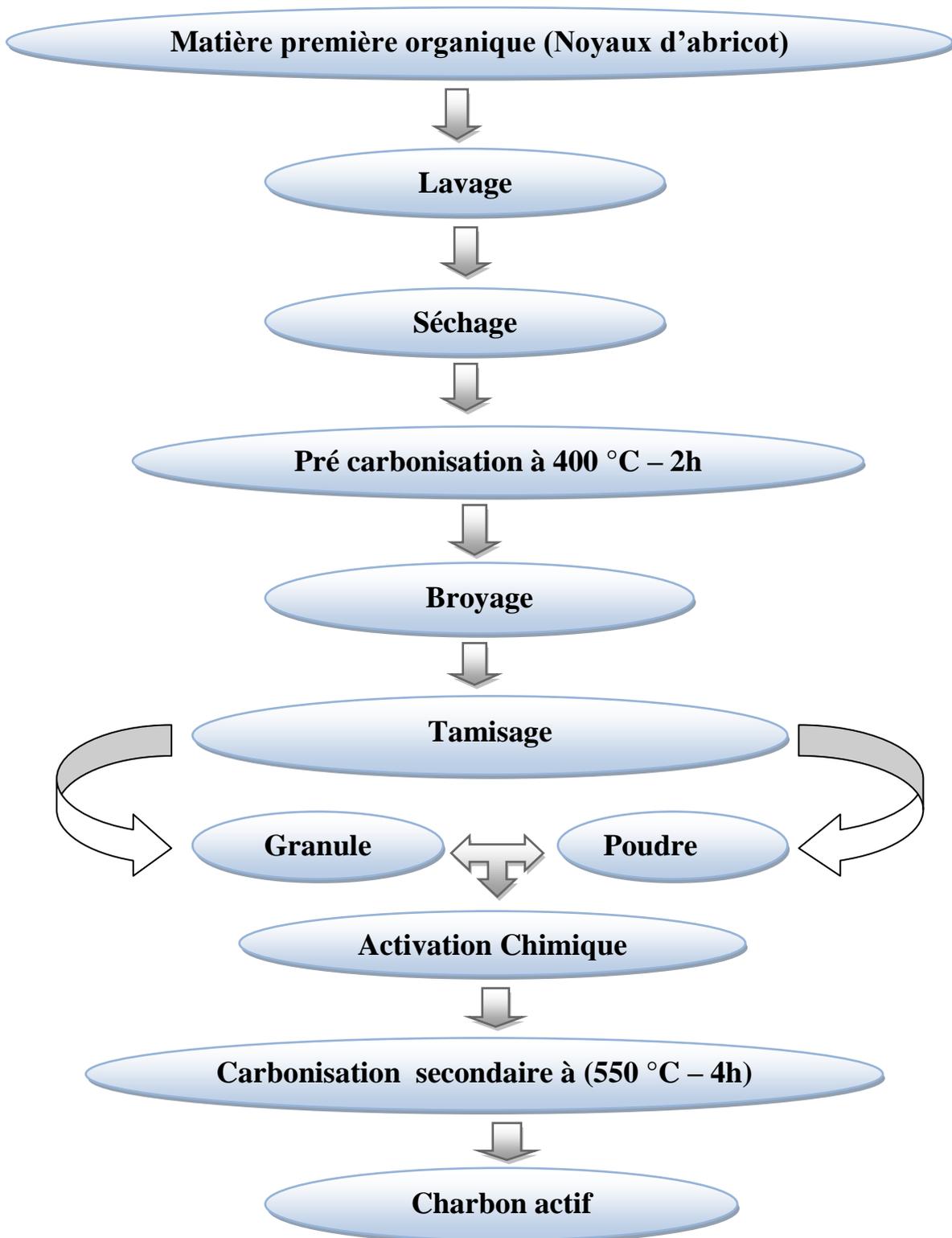


Figure III.2 : Étapes de fabrication de charbon actif

III-5-Fabrication et application du charbon actif à partir des noyaux d'abricots

La matière première ont été utilisés comme adsorbant, est Fabrice à partir de noyaux d'abricots provenant de la région de Djamaa pour la production de charbon actif.



Figure III.3 : les matières premières (fruits d'abricots) de Djamaa.

5.1. Préparation du charbon (brut) des noyaux d'abricots

Le prétraitement de noyaux d'abricot à partir les étapes suivantes

1.1.Purification et séchage

- ✓ - Séparation des noyaux d'abricots de la pulpe ; et lavés plusieurs fois puis séchés en premier lieu à l'air libre.
- ✓ - le deuxième nettoyage par l'eau distillé plusieurs fois pour éliminer toutes les impuretés (la poussière et les substances hydrosolubles).
- ✓ - ensuite, séchage dans l'étuve à température 110°C pendant 24h

1.2. Pré carbonisation

- ✓ - Après le séchage le pré carbonisation dans un four à moufle à température de 400°C pendant 2h pour permettre éliminer le reste des impuretés.



Figure III.4:Pré carbonisation coques des noyaux d'abricots

- ✓ - Refroidissement à l'air libre pour une période de temps



Figure III.5 : Refroidissement de coques des noyaux d'abricot carbonisés

1.3. Broyage

- Broyage après le Refroidissement des noyaux d'abricot carbonisés mettez dans un broyeur électrique pour obtenir des matériaux homogènes pour le besoin des études de laboratoire, à différents diamètres $Xp_1 = 0.1\text{mm}$, $Xp_2=0.25\text{mm}$, $Xp_3 = 0.5\text{mm}$, la durée du broyage dépend de la masse à broyer jusqu'à 15 à 20 minutes.



Figure III.6 : Broyage de coques des noyaux d'abricot carbonisés

1.4. Tamisage

Les tailles des particules utilisées pour les essais d'adsorption ont été isolées mécaniquement au moyen des différents tamiseurs dont la dimension de maille correspond à des diamètres $Xp_1 = 0.1\text{mm}$, $Xp_2=0.25\text{mm}$, $Xp_3 = 0.5\text{mm}$. La poudre obtenue est tamisée à l'aide d'une tamiseuse électrique.



Figure III.7 : tamisages des noyaux

1.4. Stockage

Nous obtenons du carbone brut à différents granulométries après tamisage

III-6-Activation chimique par l'agent acide citrique Naturel ($C_6H_8O_7$)

6-1-Préparation de solution d'activant (acide citrique naturel)

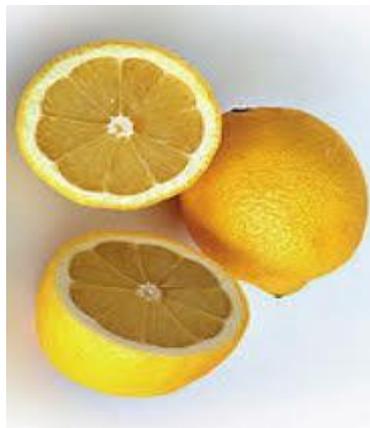


Figure III.8 : acide citrique naturel

L'acide citrique naturel du $M=192,124\text{g/mol}$, Nous assumons la concentration $C = 0.01\text{M}$
 Afin d'obtenir la masse que nous prenons du citron pour préparer une solution d'activant avec
 une concentration $C = 0.01\text{M}$ dans un volume $V=250\text{ml}$ d'eau distillée.

$$n = C.V = \frac{m}{M} \quad (\text{III.1})$$

$$m = C.V.M \rightarrow m = 0.01.250 \times 10^{-3}. 192.124$$

$$m=0.480\text{g}$$

La masse utilisée du citron $m = 0.480$ g pour obtenir une solution d'activant à $C = 0.01M$.

n: Nombre molaire

C: concentration d'acide citrique

V: volume d'eau distillée

M : Masse molaire

m: la masse d'acide citrique

Pour déterminer la masse la plus efficace de charbon actif on utilise différents masse avec un volume de acide citrique 15 ml et maintenu en agité pendant 30 min pour la homogénéisation les résultats obtenu indiqué dans le tableau ci-dessus :

Tableau III.1 : différents masse de charbon brut pour l'activation chimique

La masse de charbon brut en(g)	1	1.5	2
Absorbance	0.107	0.072	0.070

Comme nous l'avons mentionné précédemment, l'acide citrique est le stimulant utilisé dans une expérience, pour l'activation de charbon Nous mélangeons 1g charbon brut avec ($C_6H_8O_7$) de concentration 0.01M et maintenus sous agitation pendant 30 min. Le mélange est mis à l'étuve pendant 10 heures à $110^\circ C$.

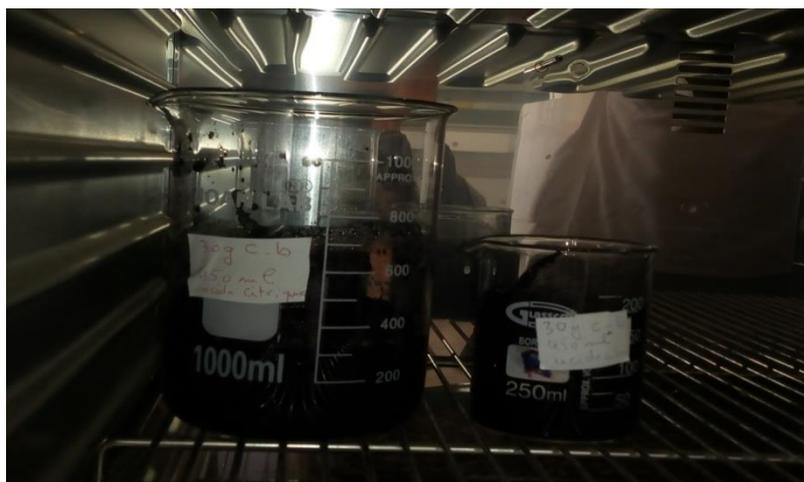


Figure III.9: Séchage de charbon actif dans l'étuve

III-7-Carbonisation

Le produit est ensuite mis dans le même four à moufle jusqu'à 550°C pendant 4 heures et maintenu à cette température pendant une heure et demie (1.5 heure) puis refroidissement à l'air libre.

L'activation chimique et la carbonatation jouent un rôle très important dans le développement de la porosité et de la texture d'un adsorbant. Ainsi, la capacité d'adsorption a été améliorée grâce à l'augmentation de la taille des pores en surface et en profondeur.



Figure III.10: charbon actif des noyaux d'abricots carbonisés

III-8-Lavage

Le produit préparé est lavé avec de l'eau distillée pour éliminer les effets du facteur d'activation restant en le plaçant dans de l'eau distillée pendant 24 heures, jusqu'à ce que le pH se situe entre ($6,8 \leq \text{pH} \leq 7$). La poudre récupérée après lavage est extrêmement humide, soumise à une déshydratation en étuve à 110 ° C pendant 24 heures. Le produit obtenu après activation chimique et carbonatation est un mélange de poudre. Nous effectuons ce procédé avec tous les échantillons.



Figure III.11 : lavage et filtration de charbon actif.

III-9-Propriétés physico-chimique des noyaux d'abricots

Méthode de calcul

✚ Humidité

$$H\% = \frac{P_1 - P_2}{5} \times 100\% \quad (\text{III.2})$$

✚ Matière sèche

$$M_s = 100 - H\% \quad (\text{III.3})$$

✚ Contenu en cendres

$$C_d = \frac{c_{ce} - c_{cs}}{5} \times 100\% \quad (\text{III.4})$$

H% : Humidité de noyaux d'abricot

M_s : Matière sèche en noyaux d'abricot

C_d : Contenu en cendres de noyaux d'abricot

P₀ : Masse initiale de noyaux d'abricot

P₁ : Masse total creux avec noyaux d'abricot

P₂ : Masse total creux avec noyaux d'abricot Après 24h

P_{cendre} : *masse* noyaux d'abricot Après les cend

Les résultats obtenu en résumé dans un tableau III.2 et tableau III .3

Tableau III.2 : les Propriétés physico-chimique de noyaux d'abricot

Masse initiale	P ₁ (g)	P ₂ (g)	P _{cendre} (g)	H%	M _s %	C _d %
5.00	31.38	31.055	26.954	6.5	93.5	88.52
5.00	29.25	28.945	24.862	6.1	93.9	87.7
5.002	32.81	32.495	28.392	6.3	93.7	88.36

➤ Nous utilisons à cette expérience un pH mètre multi paramètre



Figure III.12 : pH mètre multi paramètre.

Tableau III.3 : Analyse des coques des noyaux d'abricots et Charbon brut, Charbon actif lavé

Echantillons	pH	Conductivité(μ S)	Salinité(ppm)	T.D.S(ppm)
Noyaux d'abricot (25°C)	5.16 - 5.18	955 - 961	445 - 446	585 - 606
Charbon brut à T=250°C	5.98 - 6.1	903 - 905	403 - 404	530 - 535
Charbon à T=400°C	8.4 - 8.6	863 - 870	431- 433	685 - 688
Charbon actif lavé	6.9 - 7.1	856 - 860	428 - 433	554- 560

B-Résultats et Discussion

III-10-Méthode d'analyse

- Spectroscopie UV-visible

Le spectre d'adsorption d'une solution du nickel(II) (figure III.13) obtenu par balayage spectral entre 400 et 900 nm montre que les maximum d'adsorption de ce polluant se situe à une longueur d'onde de 720nm.



Figure III.13 : Spectrophotométrie UV visible.

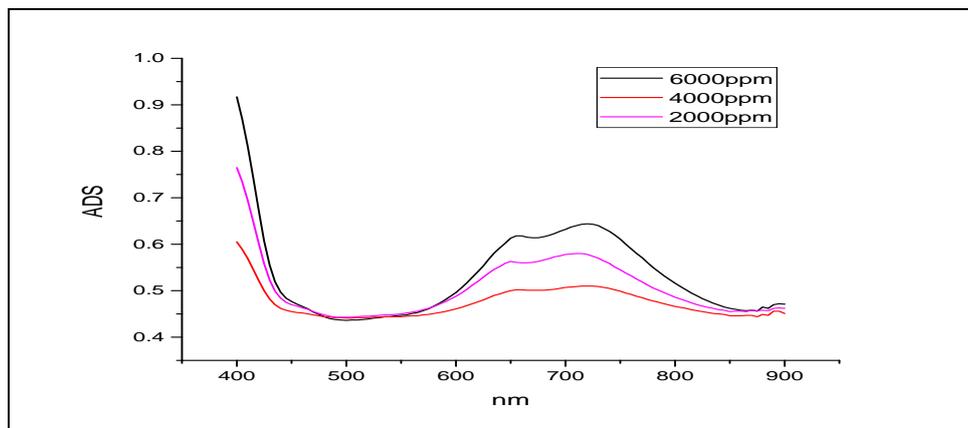


Figure III.14: spectre visible de nickel avec différentes concentrations

Ainsi, les absorbances de solutions de nickel précédemment préparées sont mesurées à 720 nm la courbe d'étalonnage montrée dans la figure (III.14).

la figure (III.15) présente d'une courbe d'étalonnage de charbon activé avec différentes concentrations de nickel :

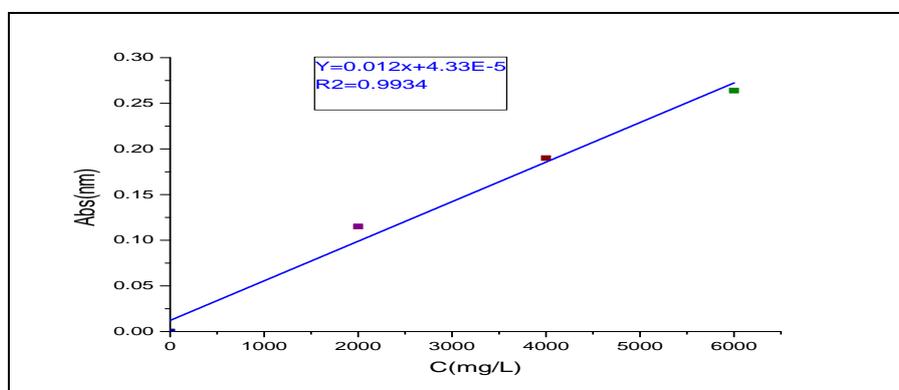


Figure III.15: la courbe d'étalonnage.

La concentration résiduelle de nickel est également à partir de l'absorbance sur un spectrophotomètre UV visible à 720nm .L'étalonnage que nous présentons sur la figure (III.15) un exemple d'étalonnage pour le composé testé.

III-11-1-Essais d'adsorption de nickel sur les charbons actifs

Les essais effectués à différents paramètres tel que : la masse de charbon, la concentration initiale de nickel et la température, temps d'agitation, Diamètre de charbon avec une vitesse d'agitation 120 tr/min.

On utilise pour l'agitation un Agitateur électrique avec la vitesse d'agitation et Chauffage.

✚ Calculer des quantités adsorbée [42]

La quantité de nickel adsorbée est calculée à partir de l'équation suivant :

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m} = \frac{x}{m} \quad (\text{III.5})$$

Ou :

q_e : Quantité de soluté adsorbée par gramme d'adsorbant (mg /g).

C_0 : Concentration initiale du soluté (mg/l ou mol /l).

C_e : Concentration du soluté à l'équilibre (mg/g).

V : volume de la solution (L).

m : Masse de l'adsorbant(g).

✚ Calculer le rendement [42]

Le rendement qui Exprime l'efficacité(E%) d'élimination de nickel est défini par :

$$R\% = \frac{(C_0 - C_r)}{C_0} \times 100 \quad (\text{III.6})$$

Ou:

C_0 : Concentration initiale du nickel (mg/l).

C_r : Concentration résiduelle du nickel à l'équilibre (mg/l).

➤ Effet de la masse du charbon actif:

Dans la figure (III.16), nous avons suivi la variation du rendement d'élimination de nickel pour des masses variables de l'adsorbant (charbon active) (0.1, 0.2, 0.5 et 1 g). Les essais on été réalisé en fixant la concentration initiale de nickel(II) de 4000 mg/l et en milieu à pH =7.05. Après agitation de 120 minutes avec un Vitesse d'agitation v = 120tr /min, les échantillons sont filtrés pour mesurer en fin les concentrations résiduelles du nickel par spectrophotométrie UV-Visible à 720 nm.

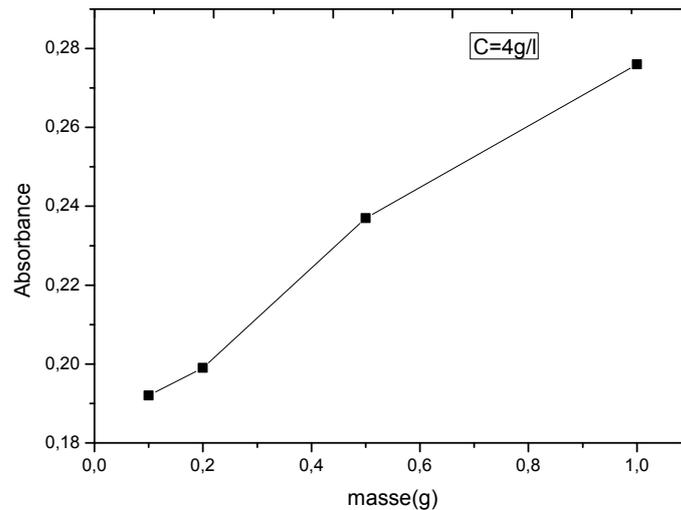


Figure III.16: Effet de la masse du charbon actif à $[\text{Ni}^{2+}] = 4\text{g/l}$.

Nous observons l'augmentation de l'efficacité d'absorption des ions de nickel quand la masse de charbon active accroisse. Où l'accroissement de la surface spécifique engendre la capacité des sites disponibles d'adsorption ; et le rendement d'adsorption peut être justifiée par l'augmentation de la masse de l'adsorbant, Ces résultats similaire aux travaux des chercheur [70,71].

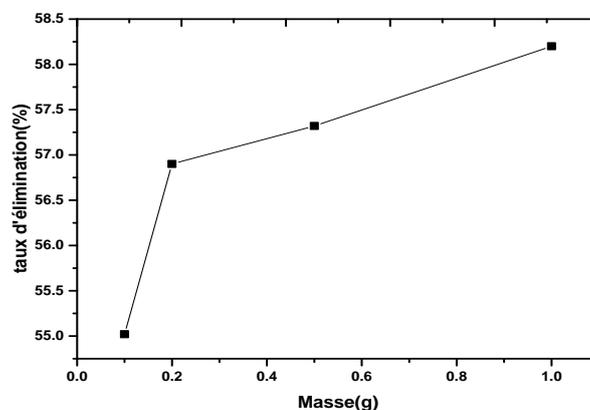


Figure III.17 : Effet de masse sur le pourcentage d'élimination de nickel.

d'élimination augmente lorsque la masse de l'adsorbant augmente. Ceci est facilement compréhensible, car l'augmentation de la masse de l'adsorbant augmente la surface spécifique et donc le nombre des sites disponibles d'adsorption pour conséquence l'augmentation de la quantité du nickel adsorbé. Bien que le pourcentage d'adsorption augmente avec l'augmentation de la dose d'adsorbant, la quantité adsorbée par unité de masse diminue pourrait s'expliquer par la non-saturation des sites d'adsorption [72 ,73].

Les courbes de la Figure III.17 montrent que le pourcentage d'élimination du nickel est pratiquement total (58.2%) pour ce charbon activé.

➤ Effet de temps d'agitation

La variation des rendements d'élimination d'ions de nickel en fonction du temps de contact (30,45, 60, 90, et 120 minutes) est suivie pour des différentes concentrations du nickel (2g/l, 4g/l et 6g/l), une masse de charbon actif en poudre 0.1g, $V=100$ ml de $NiSO_4$ en milieu de $pH=7.05$. Les échantillons sont filtrés puis lues avec spectrophotométrie UV-Visible à 720 nm pour déterminer les concentrations résiduelles du nickel puis étudier la cinétique de l'adsorption du Ni sur le charbon active des noyaux d'abricots (Figure II.18)

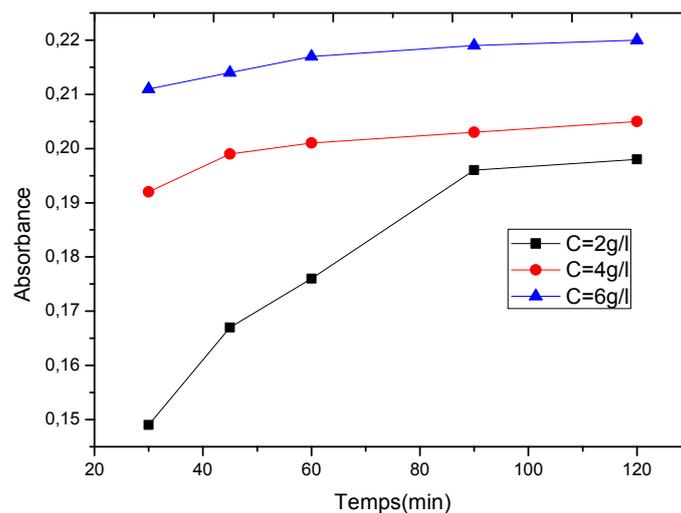


Figure III. 18 : effet de temps de l'agitation sur l'adsorption de nickel(II) avec charbon activé des noyaux de l'abricot à différents concentration de sulfates de nickel.

On a en principe deux parties :

- La première partie : L'adsorption est tout d'abord rapide et transitoire, Cette phase convient à un transfert de l'adsorbât de la phase liquide à la surface du matériau. Ce phénomène distingué pendant les premières minutes de la réaction, peut être interprète par le fait qu'en début d'adsorption, le nombre des sites actifs disponibles à la surface du matériau adsorbant, est beaucoup plus important que celui des sites restant après un certain temps [74].

- La deuxième partie est devenue stable au bout de 60 minutes où le régime permanent est atteint pour que la molécule diffuse dans l'intérieur de pore de l'adsorbant (charbon actif), et le reste de la quantité non adsorbée est traduit par la saturation de la surface de l'adsorbant dans lequel tous les sites d'adsorption sont occupés par les ions de nickel comme dans l'étude de [70].

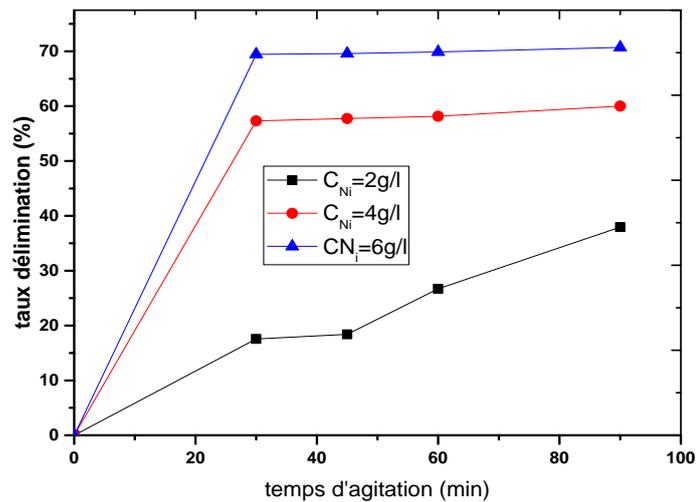


Figure III.19 : Effet de temps de contact sur le taux d'élimination du nickel.

La figure III.19, présente la variation de taux d'adsorption du nickel en fonction de temps d'agitation du charbon activé (noix de l'abricots). L'adsorption du nickel s'est produite rapidement à partir du début des essais au cours des premières 30min, puis une légère augmentation jusqu'à 120 minutes le taux d'élimination maximale de nickel a été observée (70,3%) avec concentration initiale de nickel (6g/l). L'adsorption de nickel par un charbon activé (noix de l'abricots) a montré un temps de contact plus faible de 30 min. Les résultats de cette partie montrent clairement que le taux d'adsorption de nickel est le plus élevé à tout instant de contact.

➤ **Effet de la concentration initiale du nickel :**

L'effet de concentration initiale du nickel sur l'adsorption par charbon de noix de datte a été étudié en variant la concentration initiale de 0 à 6000mg/l, en présence de 0.1g de l'adsorbant dans les solutions $V=100ml$ $NiSO_4$, et un temps de contact de 2 heures, le $pH=7.02$, $V=120$ tr/min et $T=20.7^\circ C$ (figure III.20).

Tableau III.4 : Calcul le rendement à différentes concentrations initiale de nickel(II)

C_0	2g/l	4g/l	6g/l
R%	17	57	69

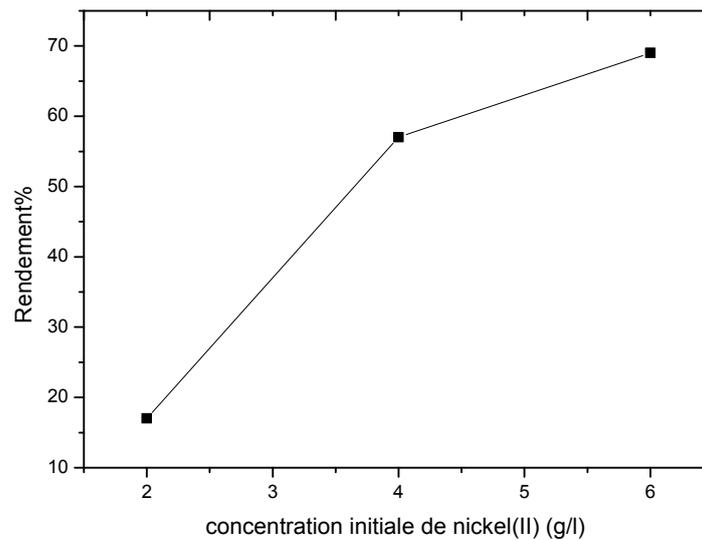


Figure III.20: effet de concentration du nickel sur la performance d'adsorption sur charbon activé (noix de l'abricot).

La figure(III.20) montre l'augmentation de quantité d'adsorbé avec l'augmentation de concentration de nickel jusqu'à un 6000mg/l et avec de pourcentage d'élimination du nickel à supérieur à 69%.

III-11-2-Les paramètres influent sur le taux d'élimination du nickel

➤ Effet de température

Nous avons suivi l'adsorption du nickel par un charbon activé (noix de l'abricots) pour une concentration initiale de nickel 4000mg /L et pour une masse 0.1g et V= 100ml NiSO₄, pH= égale 6.9 et différent température (21.1°C, 45°C, 65°C, 75°C) et 2 heures de temps de contact.

Tableau III.5 : les valeurs de taux d'élimination du nickel

Température En °C	21.2	45	65	75
R%	60.02	58.57	50.75	48.75

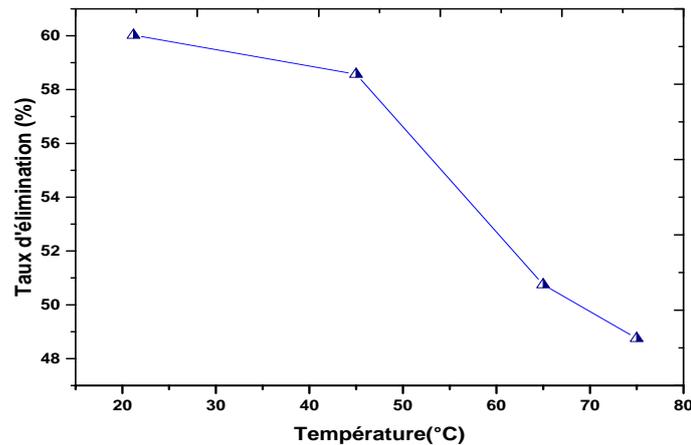


Figure III.21: effet de température sur le taux d'élimination du nickel

A partir de la figure (III.21), le pourcentage d'élimination du nickel diminue (Tableau III.5), quand la température change de 21.1 à 75 °C, respectivement. Ces résultats indiquent que l'adsorption peut être exothermique et peut être expliqué par le fait que l'élévation de la température peut ne pas être en faveur de toute agglomération des cations métalliques sur la surface solide.

➤ Effet de granulométrie

Nous avons étudié l'adsorption du nickel par un charbon activé (noix de l'abricots) pour une concentration initiale de nickel 4000mg /L et pour une masse 0.1g, V=100ml de NiSO₄ et PH égale 6.9 et différents diamètres (0.01, 0.25 et 0.5mm) et 2 heures de temps de contact (tableau III.6).

Tableau III.6 : les valeurs de pourcentage de l'élimination de nickel à différents diamètres

Diamètres (mm)	0.01	0.25	0.5
R%	57.32	56.27	48.97

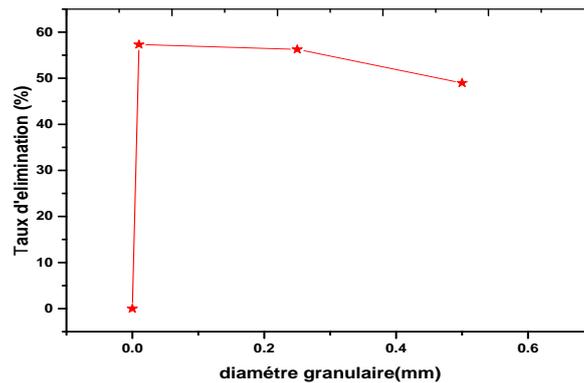


Figure III.22 : effet de diamètre granulaire sur le taux d'élimination du nickel

La figure (III.22) est marqué un effet des diamètres de charbon actif (noix de l'abricots) sur le taux de l'adsorption du nickel. Nous constatons que l'augmentation de pourcentage de l'élimination de nickel induit la diminution des diamètres de ce charbon actif. Le taux de l'adsorption maximal est égale (57.32%) avec un diamètre minimale (0.01mm). L'adsorption du nickel par un charbon activé augmente avec un charbon de nature poudre.

III-12-Modélisation des Isothermes d'adsorption du nickel :

1- Isothermes simples d'adsorption:

Dans le but d'identifier le mécanisme de rétention pour les concentrations initiales ($C_0 = 2,4$ et 6 g/L), et identifier l'isotherme qui représente mieux l'adsorption des ions de nickel sur charbon active CA.

Les résultats expérimentaux obtenus présentent dans le tableau (III.7) et la courbe sont présentée dans la figure (III.23).

Tableau III.7: les principaux résultats obtenus.

Ce	Qe	C0
114,411	942.794	2000
122.958	1938.521	4000
140.815	2929.5925	6000

La **Figure III.23**, représente des isothermes d'adsorption de Giles de type *L*, on explique par la grande affinité entre les ions de nickel examiné et le charbon actif, où la quantité des ions de nickel adsorbée à l'équilibre en fonction de la masse de l'adsorbant. Donc le pourcentage d'élimination agrandis lorsque la masse de l'adsorbant accroît, car l'augmentation de la masse de

l'adsorbant augmente la surface spécifique et donc le nombre des sites disponibles d'adsorption [75].

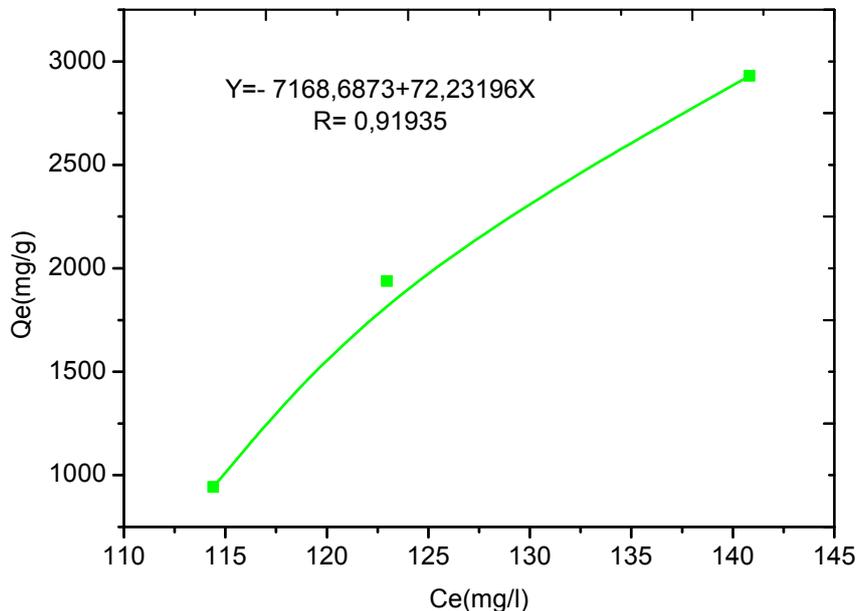


Figure III.23: Isotherme d'adsorption des ions de nickel sur charbon actif

D'après la courbe de modélisation des Isothermes d'adsorption, on distingue qu'à faible concentration en solution, une concavité tournée vers le bas qui traduit une réduction des sites libres au fur et à mesure de perfectionnement de l'adsorption. Ce phénomène se produit lorsque les forces d'attraction entre les molécules adsorbées sont faibles.

Les isothermes de type *L* peuvent être expliquées par deux modèles théoriques généralement utilisés sont essayés à savoir les modèles de Langmuir et de Freundlich ont été essayés sur les résultats expérimentaux obtenus.

- **Modèle de Freundlich**

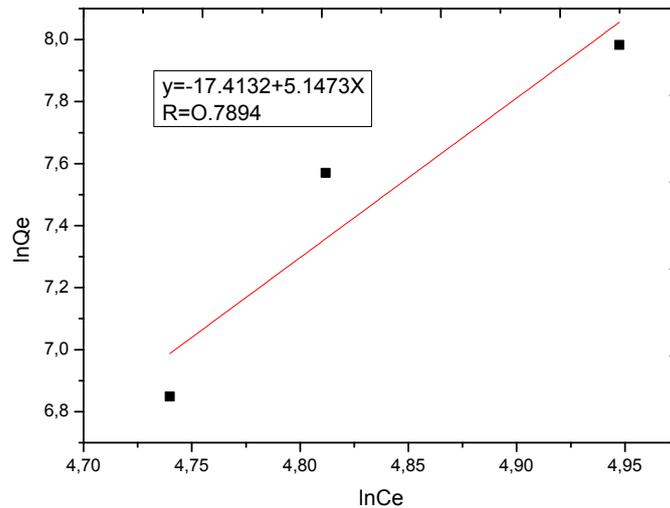
Les résultats expérimentaux obtenus des isothermes d'adsorption du sulfate de nickel sur *CA* modélisés par l'équation de Freundlich linéaire :

$$\ln q_e = \ln k_f + 1/n \ln C_e \quad (\text{III.7})$$

Les principaux résultats de ce modèle sont représentés dans le tableau (III.8) et la courbe est présentée dans la figure (III.24).

Tableau III.8: constantes relatives de modèle Freundlich

K_f	n	R²
$10^{-17.41}$	0.194	0.623

**Figure III.24 :** Modélisation linéaire par le modèle de Freundlich de l'isotherme du Nickel(II), sur le charbon actif

A partir des résultats de modélisation des isothermes donnés dans le Tableau (III.8) on observe que: les constantes de Freundlich, k_f et n associées à la capacité d'adsorption et à l'affinité ont été déterminées, un coefficient k_f élevé, indique une bonne adsorption et une valeur de n comprise entre 1 et 10 est caractéristique d'une bonne affinité entre l'adsorbant et l'adsorbant utilisé, ceci similaire avec les résultats de quartera et al. [76].

Lorsque les valeurs de n de modèle de Freundlich sont supérieures de 1 ($1/n > 1$) donc l'adsorption est favorable et physique [70].

On conclue que L'adsorption des ions du nickel sur le charbon actif des noyaux des abricots concéda de façon admissible au modèle de Freundlich.

- **Application du modèle de Langmuir :**

Les résultats expérimentaux des isothermes d'adsorption du BM sur CA modélisés par l'équation de Langmuir linéaire ($1/q_e = 1/q_m + 1/q_m b C_e$) (III.8) sont représenté dans le tableau (III.9) en annexe et le courbe sont présentée dans la figure (III.25).

Tableau III .9 : les résultats expérimentaux de concentration et quantité d'adsorption à l'équilibre .

1/Ce	1/Qe
0.00874042	0.00106068
0.00813286	0.00051586
0.00710152	0.00034134

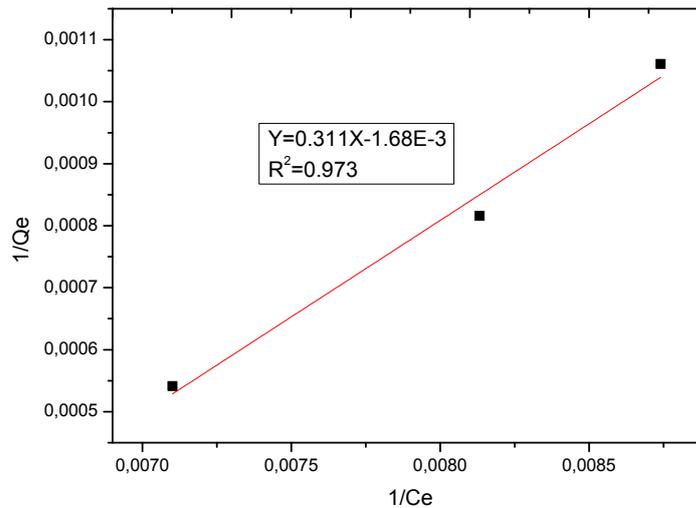


Figure III.25: Modélisation linéaire par le modèle de Langmuir de l'isotherme du Nickel(II) sur le charbon actif.

Tableau III.10 : constantes relatives de modèle Langmuir

Qm (mg/g)	b	R ²
5.94	1.84	0.973

D'après le paramètre à l'équilibre RL définit comme suit :

$$RL = \frac{1}{1 + bC_0} \quad (III.9)$$

On trouve $0 \leq RL \leq 1$ donc on peut dire que l'isotherme de Langmuir est favorable pour l'adsorption du nickel.

2. Calcul de la surface spécifique:

L'estimation de la surface spécifique d'un adsorbant est conventionnellement fondée sur des mesures de la capacité d'adsorption de cet adsorbant pour un soluté donné, la molécule de ce soluté devant avoir une surface acceptable. Il suffit à cet effet de déterminer la valeur de la capacité d'adsorption de la monocouche à partir de l'isotherme d'adsorption.

Pour détermination des surfaces spécifiques S_{Ni} (en m^2/g), On peut alors déduire q_m à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine de courbe $1/q_e = f(1/C_e)$.

La quantité maximale de Ni adsorbé permet l'estimation de l'aire de la surface spécifique de l'échantillon couverte par la molécule de Ni (S_{Ni}) à partir de l'équation :

$$S_{Ni} = (q_m * A_M * 6.02 * 10^{23}) / M_{Ni} \quad (III.10)$$

Avec :

Une surface moléculaire du sulfate de nickel (A_M) de $1,30 \text{ nm}^2$.

Une masse molaire (M_{NiSO_4}) de 154.75 g/mol .

Les constantes de l'isotherme de Langmuir q_{max} , b , les coefficients de corrélation (R^2) et aire de la surface couverte (taux de couverture) par la molécule de sulfates de nickel dans le tableau au dessus.

$$S_{Ni} = 30.04 \text{ m}^2/\text{g}$$

A partir des résultats de modélisation des isothermes donnés dans le Tableau au dessus on observe que: les coefficients de corrélation se rapprochent de l'unité (≈ 1). L'adsorption de nickel sur le charbon actif peut être décrite de façon satisfaisante par le modèle de Langmuir [76].

Les adsorbats ayant une masse molaire élevée ont une faible valeur de q_{max} donc l'adsorption se fait sur des sites d'adsorption d'énergie élevée [77]. L'adsorption de nickel sur le charbon active CA accorde de manière satisfaisante au modèle de Langmuir.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Le principal objectif de ce travail était de démontrer l'intérêt d'utiliser une substance naturelle comme produit, une substance pour désinfecter les eaux usées industrielles contenant du nickel métallique.

Pour atteindre notre objectif, nous avons étudié le comportement du charbon actif préparé à partir de noyau d'abricot pour absorber le nickel des solutions aqueuses, ainsi que pour déterminer les points optimaux pour certains traitements physiques et chimiques.

L'effet des paramètres de fonctionnement tels que la masse de l'absorbant, la concentration initiale de l'absorbant, le temps de mouvement et la différence de diamètre de l'absorbant ont été examinés et montré que :

- L'augmentation de l'efficacité d'absorption des ions de nickel quand la masse de charbon active accroisse.
- La première partie : L'adsorption est tout d'abord rapide et transitoire, Cette phase convient à un transfert de l'adsorbât de la phase liquide à la surface du matériau.
- La deuxième partie est devient stable au bout de 60 minutes où le régime permanent est abouti pour que la molécule diffuser dans l'intérieur de pore de l'adsorbant (charbon active).
- L'augmentation de quantité d'adsorbé avec l'augmentation de concentration de nickel Avec un bon rendement d'adsorption.
- l'adsorption peut être exothermique et peut être expliqué par le fait que l'élévation de la température peut ne pas être en faveur de toute agglomération des cations métalliques sur la surface solide.
- l'adsorption peut être exothermique et peut être expliqué par le fait que l'élévation de la température.
- Lorsque le diamètre absorbant est agrandi, le processus d'absorption devient faible.

Concernant l'isotherme d'adsorption, le modèle de Langmuir décrit bien les résultats expérimentaux avec Le coefficient de corrélation est acceptable.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

<i>Introduction générale</i>	
[1]	Décision n° 2455/2001/CE du parlement européen et du conseil du 20 novembre 2001, établissement de la liste des substances prioritaires dans le domaine de l'eau (JO CEL.331 DU15.12.2001).
[2]	N.Sedira , (2013), Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes, Mémoire de Magister, Université Mohamed Chérif massadia Souk-Ahras p3.
<i>Chapitre I : Généralité sur l'adsorption</i>	
[3]	F.Stoeckli, A. Lavanchy, D. Hugi-Cleary , (1998). In: Meunier F Editor, «Fundamentals of Adsorption. FOA-6», Paris : Elsevier, 75-80.
[4]	S .Laurette , (2004), Utilisation des fibres de carbone activé comme catalyseurs de O- et Nglycosylation Application à la synthèse d'analogue de saponines et de nucléosides, Thèse de doctorat ; université de Limoge.
[5]	H .Boulkrah , (2008), Etude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants, Université de 20 Aout 1955 Skikda, Mémoire magister p34.
[6]	M .Suzuki , (1990), Adsorption engineering. Elsevier.
[7]	M. A. Slasli , (2002), Modélisation de l'adsorption par les charbons microporeux : Approches théorique et expérimentale Université de Neuchâtel.
[8]	C. N. Statterfield ,(1978)Heterogenouscatalysis in practice ; cours dispensé au Massassuchet institut of technology.
[9]	C.E .Chitour , (1992) , Physico-chimie des surfaces. O.P.U, V 2, Alger.
[10]	P. Scheitzer , (1979), Technique Separation for Chemical Engineering Edition Mc Graw. Hill, New-York.
[11]	F.E. Edeline , (1992), Epuration physicochimique des eaux. Edition Lavoisier Paris.
[12]	D .Robert, S. Parra, C .Pulgarin,A .Krzton, J.V. Weber , (2000). Appl.Surf .Sci, Vol 167, p51-58.
[13]	W.J .Masschelein , (1996), Processus unitaires du traitement de l'eau potable, Cebedoc Sprl, Liège, p 109-129.

Références bibliographiques

[14]	R.Ubago-perez, F. Carrasco-marin, D.Fairen-jimenez, (2006), Moreno-castilla, Granular and monolithic activated carbons from KOH activation of olive stones ,Microporous and Mesoporous Materials, , 92,p. 64-70.
[15]	A.Yaacoubi, M. Mazet, O.Dusart, (1991), Compétition d'adsorption de deux solutés sur charbon actif : cas du dodecyl sulfate de sodium, des alcools, des phénols, Water Research, 25, p. 929-937.
[16]	J.T.Cookson, (1978), Adsorption mechanisms: the chemistry of organic adsorption on activated carbon, in carbon adsorption, Vol 7, Ann Arbor Science Publishers-USA, p. 241-279.
[17]	C.L.Warta, S.P.Papadimas, G.A.Sorial, M.T.Suidan, T.F.Speth, (1995), The effect of molecular oxygen on the activated carbon adsorption of natural organic matter in Ohio River Water, Water Research, 29, p. 551-562.
[18]	T .Karanfil, J.E.Kilduff, (1999) Role of granular activated carbon surface chemistry on the adsorption of organic compounds.1 Priority pollutants ,Environmental Science and Technology, 33, p .3217-3224.
[19]	A .Ramesh, D.J. Lee, J.W. Wong, (2005), Thermodynamic parameters for adsorption equilibrium of heavy metals and dyes from wastewater with low-cost adsorbents, J. Colloid and Interface Science, 291, p.588 -592.
[20]	C.H.Giles, D. SMITH, (1974). Colloid Interf, Sci, Vol 47, p755-765.
[21]	C .Guillard, H .Lachheb, A .Houas, M. Ksibi,M.Elaloui, J.M. Herrmann , (2003).Photochem.Photobiol. A: Chem, Vol 158, p27-36.
[22]	F. Eba, S. Gueu, A.E. Mvongbote, J.A. Ondo, B.K. Yao, J.N. Nlo and R.K. Biboutou, (2010). Evaluation of the adsorption capacity of the natural clay from Bikougou (Gabon) to remove Mn (II) from aqueous solution. Int. J. Eng. Sci. Technol., 2: 5001-5016.
[23]	Acemioglu, J. Colloid Interface Sce. 274 (2004) 371-379.
[24]	P. K Malik, Dyes pigments 56 (2003) 239-249.
[25]	P.E.P. Barrett, L.G. Joyer, P.P. Halenda, J.Am. Chem. Soc. 73 (1951) 373-380.
[26]	Y.S.HO, G. Mc Kay, Chem. Eng. J.70 (1998) 115-124.
[27]	Y.S.HO, G. Mc Kay, Process Biochem. 34 (1999) 451-465.
[28]	M.O.Ben abderrahmane, (2006), Biosorption du plomb sur une biomasse (PleurotusMutilus) Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, p. 2.
[29]	M. CHENINE, (2012), Préparation et caractérisation d'un charbon actif issu d'un déchet de café par voie chimique (effet de taux d'adjuvant). Mémoire Master Université kasdimerbah Ouargla.
[30]	L.M.SUN, and F. Meunier, (2003), Adsorption. aspects théoriques. Techniques de l'ingénieur. Génie des procédés, 2(J2730): p. J2730. 1-J2730. 16.
[31]	Y. Matatov-Meytal, and M. Sheintuch, Catalytic fibers and cloths. Applied Catalysis A: General, Journal 2002. 231(1-2): p. 1-16.

Chptre2: généralité sur charbon actif

[32]	N.LADJAL , (2013),Elaboration caractérisation de charbon actifs fonctionnalisés et étude de leurs propriétés en adsorption de composés organiques, Mémoire magistère en université de M'sila.
[33]	S .BASHKOVA , (2007), Activated carbon catalyst for selective oxidation of hydrogen sulphide: on the influence of pore structure, surface characteristics and catalytically active nitrogen, carbon, 2007, 45, p 1354-1363.
[34]	T. DJIDEL , (2011),Etude de la préparation d'un charbon actif à partir des grains d'olives et application sur des rejets industriels, Mémoire de Magister, Université de Med Boudiaf d' Oran p3-5.
[35]	S. KHIRANI , (2007), Procédés hybrides associant la filtration membranaire et l'adsorption / échange ionique pour traitement des eaux usées en vue de leur réutilisation, Thèse doctorat, Institut national des sciences appliqués de Toulouse.
[36]	M .CLAUSSE , (2008), Etude d'un procédé d'adsorption TSA (température swing adsorption) à chauffage et refroidissement indirecte, Thèse de doctorat.
[37]	M. ZUE MVE , (2012), Elimination des ions Mn(II) des solutions aqueuses par adsorption sur des charbons actifs préparés à partir des coques de noix de noisette Mémoire de master, Université de Masuku p3-4.
[38]	C. AYRAL , (2009), Elimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur le charbon actif chap1 p 8-9, Thèse pour l'obtention de grade de Docteur, Université de Toulouse.
[39]	C.M .CREANGA , (2007),procédé AD-OX d'élimination de polluants organique non biodégradables (par adsorption puis oxydation catalytique, pA, Thèse pour l'obtention de grade de docteur de l'institut national polytechnique de Toulouse.
[40]	F. VILLACANAS, M.F.R. PEREIRA, J.J. MORFAO, T.L .FIGUERIREDO ,(2006) ,Adsorption of simple aromatic compounds on activated carbons , J.colloid and Interface science 293 p128-136.
[41]	INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY , methods for the characterization of macroporous materials, Pure & Appl. Chem, 1985, 57, p. 603.
[42]	M. CHENINE ,(2012) , Préparation et Caractérisation d'un charbon actif issu d'un déchet de café par voie chimique (effet de taux d'adjuvant) , mémoire master ,Université Kasdi Merbah Ouargla ,p19.

[43]	M. BEN ZEKRI BEN ALLOU ,(2018),Modélisation d'une colonne d'adsorption garnie de charbon actif granulé ,Université Abd El Hamid ben badais – Mostaganem, Thèse Doctorat p7.
[44]	M. HAMDADOU , (1996), Caractérisation petro-minéralogique et séquentielle du gisement de phosphate de Djebel Onk (Algérie), Thèse de Doct. Es Science., ENSG Nancy.
[45]	https://www.u-cergy.fr ,26/08/2020 à 12:06
[46]	G.G. Stavropoulos, P. Samaras, G.P. Sakellaropoulos , Journal of hazardous materials 151(2008), 414-421.
[47]	B. Cabal, T. Budinova, C.O. Ania, B. Tsytsarski , J.B. Parra, B. Petrova , Journal of hazardous materials 161 (2009) 1150–1156.
[48]	X.L. Hao, X.W. Zhang, L.C. Lei , Arbon 47 (2009) 153-161.
[49]	A.S. Mestre, J. Pires, J.M.F. Nogueira, A.P. Carvalho , Activated carbons for the adsorption of ibuprofen, Carbon 45 (2007) 1979–1988.
[50]	F. Bouchemal, S. Achour , Essais d'adsorption de la tyrosine sur charbon actif en grains et en poudre, Larhyss Journal 6 (2007) 81-89.
[51]	S. Karagoz, T. Tay, S. Ucar, M. Erdem , Activated carbons from waste biomass by sulfuric acid activation and their use on methylene blue adsorption, Bioresource Technology 99 (2008) 6214–6222.
[52]	R. Andreozzi, M. Canterino, R. Marotta, N. Paxeus , Antibiotic removal from Wastewaters: The ozonation of amoxicillin, Journal of Hazardous Materials 122 (2005) 243–250.
[53]	M.L. Wilde, S. Montipo´, A.F. Martins , Degradation of b-blockers in hospital wastewater by means of ozonation and Fe ²⁺ /ozonation, water research 48 (2014) 280-295.
[54]	Z-S. Liu, J-Y. Chen, Y-H. Peng , Activated carbon fibers impregnated with Pd and Pt catalysts for toluene removal, Journal of Hazardous Materials 256–257 (2013) 49–55.
[55]	H. Tamai, U. Nobuaki, H. Yasuda , Preparation of Pd supported mesoporous activated carbons and their catalytic activity, Materials Chemistry and Physics 114 (2009) 10–13.

[56]	H-H. Tseng, M-Y. Wey, Y-S. Liang, K-H. Chen , Catalytic removal of SO ₂ , NO and HCl from incineration flue gas over activated carbon supported metal oxides, Carbon 41 (2003), 1079–1085.
[57]	H. Li, D. Yu, Y. Hu, P. Sun, J. Xia, H. Huang , Effect of preparation method on the structure and catalytic property of activated carbon supported nickel oxide catalysts, Carbon 48, (2010) 4547 – 4555.
[58]	A. Erhan Aksoylu, M.M.A. Freitas, J.L. Figueiredo , Bimetallic Pt–Sn catalysts supported on activated carbon I. The effects of support modification and impregnation strategy, Applied Catalysis A: General 192 (2000) 29–42.
[59]	A. Deneuve ,(2010),Thèse de Doctorat, Université de Strasbourg.
[60]	H. GUEDIDI BEN SLAMA ,(2015), Préparation et modification de carbones activés pour l'adsorption de polluants organiques émergents : molécules pharmaceutiques et liquides ioniques, Thèse doctorat, l'Université de Grenoble et l'Université de Tunis El Manar, p24 .
[61]	Danish Food composition Databank, National Food Institute . Technical University of Denmark.(DTU).(2009), URL< (www.foodcomp.dk)> (Acces le 24 Mars 2015).
[62]	E. B. Akin, I. Karabulut, A.Topcu , Some compositional properties of main Malatya apricot (<i>Prunusarmeniaca</i> L.) varieties. Food Chemistry. (2008). 107.039-948.
[63]	A.Ali, T.Masud, K. S.Abbasi ,Physico-chemical characteristics of apricot (<i>Prunusarmeniaca</i> L.) grown in Northen Areas of Pakistan. Scientia Horticulturae. (2011). 130. 386-392
[64]	K .LARBI , (2018), Préparation et caractérisation de carbones activés à partir de mélanges de précurseurs lignocellulosiques, Thèse doctorat, université Abdelhamid- ibn badais Mostaganem, p45-46.
[65]	M.Crine , (2003), Traitement des eaux industrielles chargées en métaux lourds. Situation actuelle et perspective développement. Laboratoire de génie chimique. Institut de chimie Belgique.
[66]	A. Hamouche , (2013), Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels, Thèse de doctorat, Université M'Hamed Bou gara – Boumerdes.
[67]	M. Cempel, G.Nikel , (2006). Ni: a review of its sources and environmental toxicology. Polish Journal of Environmental Studies 15: 375-382.

[68]	Y.BADE , Revêtement métalliques par la voie électrolytique « nickelage », technique de l'ingénieur, 4-(1989), m 1610.
[69]	M .MISSAOUI , (2014), Effet du pH sur la résistance à la corrosion des couches de nickel électro déposés, Université Med khieder Biskra, Mémoire master, p36-38.

Chapitre III : Méthodes et résultats discussion

[70]	F.BENAMRAOUI ,(2014), Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture, Diplôme de Magister, Université Ferhat Abbas Setuf-1 Ufas (Algérie),
[71]	F.BOUCHEMAL, S.ACHOUR , (2007), Essais d'adsorption de la tyrosine sur charbon actif en grains et en poudre, Larhyss Journal, N° 06, pp87.
[72]	S. Hazourli, M. Ziati, A. Hazourli, M. Cherifi , (2007), Valorisation d'un résidu naturel lignocellulosique en charbon actif -exemple des noyaux de dattes, Revue des Energies Renouvelables ICRES-07 Tlemcen. 187 – 192
[73]	M. L. Sekirifa, M. Hadj -Mahammed , (2005), Etude comparative de la capacité adsorbante d'un charbon actif issue de noyau de dattes et un charbon actif commercial, Laboratoire d'analyses physico-chimiques Université de Ouargla, Algérie 23, 55-59.
[74]	N.YEDDOU MEZENNER, Z.BENSAADI, H. LAGHA, A. BENMAILI , (2012), Etude de l'adsorption d'une mixture de composés biorecalcitrants en milieu aqueux, Larhyss Journal, N°11, pp 10.
[75]	E.ERRAIS , (2011), Réactivité de surface d'argiles naturelles Etude de l'adsorption de colorants anioniques, diplôme de Docteur, Université de Strasbourg,.
[76]	D.Ouattara KRA, N'DaArsène KOUADIO, Grah Patrick ATHEBA, B. COULIBALY, A.N'guadi Blaise, K.GBASSI Gildas, and A.TROKOUREY , Modélisation des propriétés adsorbantes de charbons activés issus de deux variétés d'Acacia (auriculiformis et mangium), International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 13 N° 2, pp. 550-551 (2015).
[77]	S.BEKKOUCHE ,(2011/2012),Etude de la dégradation photocatalytique et de l'adsorption du Phénol sur TiO2 P25. Influence de la présence des métaux lourds et des ultrasons, diplôme de Doctorat, Université Mentouri Constantine.

Résumé

Le développement du procédé d'adsorption sur charbon actif est l'une des méthodes de recherche les plus importantes utilisées à l'heure actuelle, et le but est d'évaluer certains déchets agricoles, Il est actuellement connu pour un intérêt remarquable de la part de nombreux chercheurs.

Dans ce contexte, nos travaux se divisent en deux parties, la première est la préparation du charbon actif à partir des couques des noyaux d'abricots et la seconde est son application à la connaissance des performances du charbon actif pulvérisé dans l'élimination du nickel métallique.

Cette étude se concentre sur l'application de nombreux facteurs expérimentaux tels que la concentration initiale de nickel, le temps d'agitation, la quantité d'absorbant et la température, la différence de diamètre de l'absorbeur et l'étude de certaines propriétés chimiques et physiques des couques des noyaux d'abricots.

Les résultats obtenus ont montré que le charbon actif a la capacité d'absorber le nickel métallique, et les résultats ont également montré que le processus d'adsorption du nickel correspond de manière satisfaisante suit le modèle de Langmuir.

Mots clé : adsorption, charbon actif, nickel.

Summary

The development of the activated carbon adsorption process is one of the most important research methods used at present, and the aim is to evaluate some agricultural wastes, It is currently known to be of remarkable interest from many researchers.

In this context, our work is divided into two parts, the first is the preparation of activated carbon from the layers of apricot kernels and the second is its application to the knowledge of the performance of pulverized activated carbon in the removal of nickel metallic.

This study focuses on the application of many experimental factors such as the initial nickel concentration, the stirring time, the amount of absorbent and the temperature, the difference in diameter of the absorber and the study of certain chemical and physical properties. of the apricot kernels.

The results obtained showed that the activated carbon has the ability to absorb metallic nickel, and the results also showed that the adsorption process of nickel satisfactorily follows the Langmuir model.

Keywords: adsorption, activated carbon, nickel.