

REMERCIEMENTS

Avant tout, je dois remercier ALLAH le tout puissant qui m'a accordé la force, la patience, le courage, la volonté et la santé sans lesquelles mon travail n'aurait jamais pu voir la lumière de ce jour.

Je tiens à remercier très sincèrement ma promotrice M^{me} : Z. CHENNOUF pour son orientation, sa disponibilité, ses encouragements, ses précieux conseils qui m'ont été indispensables.

Je remercie également toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, je veux exprimer toute ma gratitude à ma famille qui m'a transmis la soif du savoir, de même que la discipline nécessaire pour atteindre mon objectif.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DE BLIDA 1



Faculté de Technologie

Département de chimie industrielle

Mémoire De Master

Spécialité : Génie des procédés

Option : technologie des matériaux

***Modélisation de l'adsorption de Rhodamine B et du Méthyle orange
sur le charbon actif préparé à partir de déchet synthétique (Pneu) et
charbon actif commercial (étude comparative)***

Réalisé par :

MESSAOUDI FARIDA

Encadré par :

M^{me} : CHENNOUF. Z

Président : M^f OUZZANE

Examineurs : M^{me} TAOILLETE

Examineurs : D^f ZERMANE FAIZA

Blida, 2014

Sommaire

Résumé

<i>Introduction générale</i>	1
<i>Chapitre I : Généralité sur l'adsorption</i>	2
I.1. Définition	2
I.2. Les types d'adsorption	2
I.2.1. Adsorption physique	2
I.2.2. Adsorption chimique	3
I.3. Mécanisme et cinétique d'adsorption	4
I.4. Facteurs influençant le phénomène d'adsorption	5
I.5. Equilibre d'adsorption	5
I.5.1. Classification des isothermes d'adsorption	5
I.6. Modélisation de cinétique d'adsorption	6
I.6.1. Modèle pseudo-ordre 1	6
I.6.2. Modèle pseudo-ordre 2	7
I.7. Les modèles d'adsorption	7
I.7.1. Le modèle de Langmuir	7
I.7.2. Le modèle de Freundlich	8
I.8. Les type d'adsorbants	8
I.8.1. Les charbons actifs	9
I.8.2. Les adsorbants minéraux	9
I.8.2.1. Les argiles	9
I.8.2.2. Les zéolithes	9
I.8.2.3. Les alumines activées	9
I.8.2.4. Les gels de silice	10
I.8.3. Les adsorbants à base de polymère	10
I.9. Applications d'adsorption	11
I.9.1. L'eau	11
I.9.2. L'air	11
I.10. Utilisation industrielle de l'adsorption	11

I.10.1. Application de l'adsorption en phase gazeuse	11
I.10.2. Application de l'adsorption en phase liquide	12
I.11. Paramètre affectant l'adsorption	12
I.11.1. Caractéristiques de la molécule	13
a. Taille des molécules adsorbées	13
b. Solubilité	13
c. pka	13
d. Polarité et polarisabilité de la molécule adsorbée	13
I.11.2. Structure de l'adsorbant	13
Chapitre II : Le charbon actif	14
II.1. Historique.....	14
II .2. Définition	14
II.3. Différentes formes du charbon actif.....	15
II.4.1. Caractéristique de charbon actif	17
II.4 .1. Le volume poreux et la taille des pores.	17
II.4.2. Surface spécifique	18
II .4.3. Densité apparente	19
II.4.4. Granulométrie	19
II.5. Préparation de charbon actif	19
II.6. Activation de charbon actif	20
a. Activation physique	20
a .1. La carbonisation de la matière première.....	20
a.2. L'activation physique	20
b. Activation chimique	20
II.7. la capacité d'adsorption d'un charbon actif.....	21
II .8. Utilisation industrielle de charbon actif	21
II .9. Les applications de charbon actif	22
II .9.1. Adsorbant	22
II .9.2. Support catalytique	22
II.9.3. Catalyseur	22
II.10. Les déchets synthétique (pneu)	23

II.10.1.Historique	23
II.10.2. Définition et caractéristiques physiques des pneus	24
II.11. Caractéristiques physiques des pneus	25
II.12. Les fonctions et la structure du pneumatique.....	26
II.13. Valorisation est domaine d'application des pneumatiques	27
 Chapitre III : les colorants	28
 III.1. Généralités sur les colorants.....	28
III.1.1. Définition.....	28
III.1.2. Classification.....	28
III.2. Rhodamine B.....	31
III.3. Méthyle orange MO	32
 Chapitre IV : Matériels et méthodes expérimentales	34
IV.1. Méthode de préparation des charbons actifs préparés à base de déchet synthétique (pneu)	34
IV.1.1. Matériels.....	34
IV.1.2. Méthodes.....	34
IV.1.2.1. Echantillonnage.....	34
IV.1.3. Préparation des charbons actif par activation chimique	34
IV.2. Caractérisation physico-chimique des charbons actifs préparés	35
IV.2.1. Caractérisation texturale.....	35
IV.2.1.1. Le titrage de masse.....	35
IV.2.1.2. La surface spécifique par méthode de BET.....	35
IV.2.2.1. Définition de la surface spécifique.....	35
IV.3. Produit et appareillage	36
IV.3.1. Produits chimiques.....	36
IV.3.2. Appareillage	36
IV.4. Application à l'adsorption.....	37
IV.4.1. Cinétique d'adsorption.....	37
IV.4.2. Etablissement de l'isotherme d'adsorption.....	37
IV.4.2.1.Effet de la masse de l'adsorbant.....	37
IV.4.2. 2Effet du pH.....	38

Chapitre V : Résultats et discussions	39
V.1. Caractérisation texturale.....	39
V.1.1 .Titrage de masse.....	39
V.1.2. La surface spécifique de BET.....	39
V.2. Application à l'adsorption.....	40
V.2.1. Préparation de solution polluantes	40
V.2.2. La cinétique d'adsorption.....	41
V.3. Effet de quelque paramètre sur la rétention des charbons actif	43
V.3.1. Effet de la concentration initiale sur la cinétique.....	43
V.3.2.Effet de la masse.....	45
V.3.3. Effet du pH.....	47
V.4. Modélisation de la cinétique d'adsorption	49
V.4.1. Isotherme d'adsorption	50
V.4.1.1. Modélisation des isotherme d'adsorption	52
Conclusion générale	54

Liste des symboles

Annexes

Références

Conclusion Générale

Ce travail a un double objectif, l'un est l'étude des performances d'un charbon actif préparé à partir de déchet synthétique, et de les comparer à un charbon commercial, l'autre est l'application de ces adsorbants dans l'adsorption de deux polluants organiques à savoir la Rhodamine B et le Méthyle orange susceptibles d'être présents dans les eaux des rejets teinturiers. Cette étude nous a permis de dégager quelques conclusions du point de vue fondamental que du point de vue appliqué :

-Du point de vue fondamental, cette étude a montré qu'on peut valoriser des charbons actifs préparés à partir de déchet synthétique (pneu) dégageant une surface spécifique importante de $770 \text{ m}^2/\text{g}$ avec un réseau de mésopores de 60% de la porosité totale.

-La caractérisation chimique du charbon actif préparé montre une forte acidité, en comparaison avec le charbon commercial qui lui est fortement basique.

-Du point de vue appliqué, Les résultats des cinétiques d'adsorption montrent de façon générale, qu'un temps de 300 min est suffisant pour atteindre l'état de pseudo-équilibre pour les deux adsorbants.

-La cinétique d'adsorption a montré que la rapidité du processus d'élimination des deux colorants (RhB, MO) sur charbon actif préparé est presque la même que le charbon actif commercial.

-Les isothermes d'adsorption relatives à chaque polluant aux pH acides montrent clairement que la rhodamine est adsorbée avec un rendement de 99,60% pour les deux charbons actifs.

Par contre on a obtenu pour le Méthyle orange un rendement de 99,13 % pour le charbon actif préparé et il est nettement supérieur à celui du charbon commercial qui est de 98,99 %

-Les modèles de Langmuir et de Freundlich ont été employés pour décrire l'adsorption. Les résultats expérimentaux de cette étude décrivent que le modèle de Freundlich est le mieux adapté pour l'élimination de la Rhodamine B et du Méthyle avec un facteur d'ajustement tous supérieurs à 80%.

V.1. Caractérisation texturale

Le PZC est la valeur du pH par laquelle la surface du matériau est neutre (le point de charge nul)

V.1.1. Titrage de masse : Le point de charge nulle se définit comme le pH de la solution aqueuse dans laquelle le solide existe sous un potentiel électrique neutre. Cela permet de déterminer le caractère plutôt acide ou basique d'un adsorbant et de connaître, selon le pH de la solution, quelle charge de surface nette va-t-il présenter. Si à la fois le matériau adsorbant et les molécules en solution sont chargés, des interactions de type électrostatique peuvent exister et expliquer en partie une adsorption préférentielle ou au contraire défavorisée.

Tableau V.1 : Les valeurs du point de charge nulle des deux types de charbon actif

Echantillon	CAC	CAP
PZC	8.64	3,83

Le charbon actif préparé à base de déchet synthétique un caractère acide (pH= 3,83), ceci se traduit par la formation des sites acides sur la surface de notre charbon actif, qui a été activé chimiquement avec H_3PO_4 . A l'inverse le charbon actif commercial est de caractère basique (pH= 8 ,64).

V.1.2. La surface spécifique de BET

Le tableau V.2 englobe les valeurs de surface spécifique calculée par la méthode de BET du volume poreux, méso, et microporeux pour le charbon actif préparé à base de pneu à 550° C.

Tableau V.2 : Propriétés poreuses du charbon actif préparé à base de pneu à 550 °C

Température d'activation (°C)	Asp. (BET) (m ² /g)	Vol _{poreux tot} (cm ³ /g)	Vol _{micro p} (cm ³ /g)	Vol _{més} (cm ³ /g)	V _{més} /V _{poreux tot} (%)
550	770	0.544	0.018	0.519	95.40

V.2. Application à l'adsorption

Les tests de l'adsorption réalisés dans cette partie permettent d'évaluer les caractéristiques de chaque matériau vis-à-vis des deux colorants. Ils concernent, l'étude de cinétique, les isothermes d'adsorption et l'effet de pH, l'effet de la masse

V. 2.1. Préparation des solutions polluantes

La solution de colorant organique utilisée (Rhodamine B et Méthyle orange) est préparée à des concentrations inférieures à leurs solubilités. [59]

La méthode consiste à préparer d'abord une solution mère de 0,5 g/l de (RhB, MO) à partir des quelles nous avons préparés, par dilutions successives, une série de solutions filles de concentrations variées.

D'autre part, toutes les solutions filles ainsi préparées sont analysées par spectrophotomètre UV-visible aux longueurs d'ondes appropriées. Par la suite, nous avons établi les courbes d'étalonnages représentant la densité optique ou absorbance en fonction de la concentration de la solution (Voir annexe A).

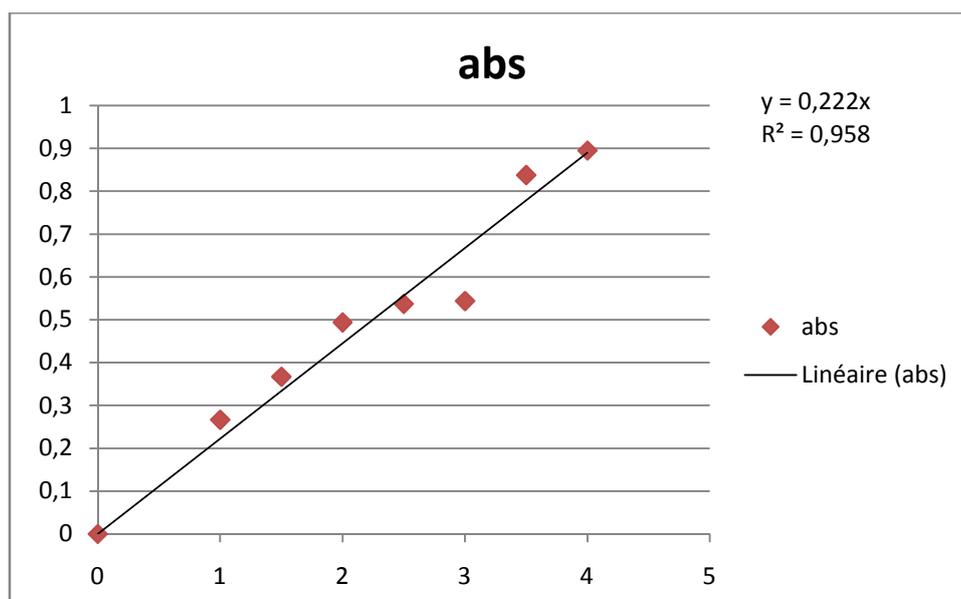


Figure V.1 : Courbes d'étalonnage de la RhB

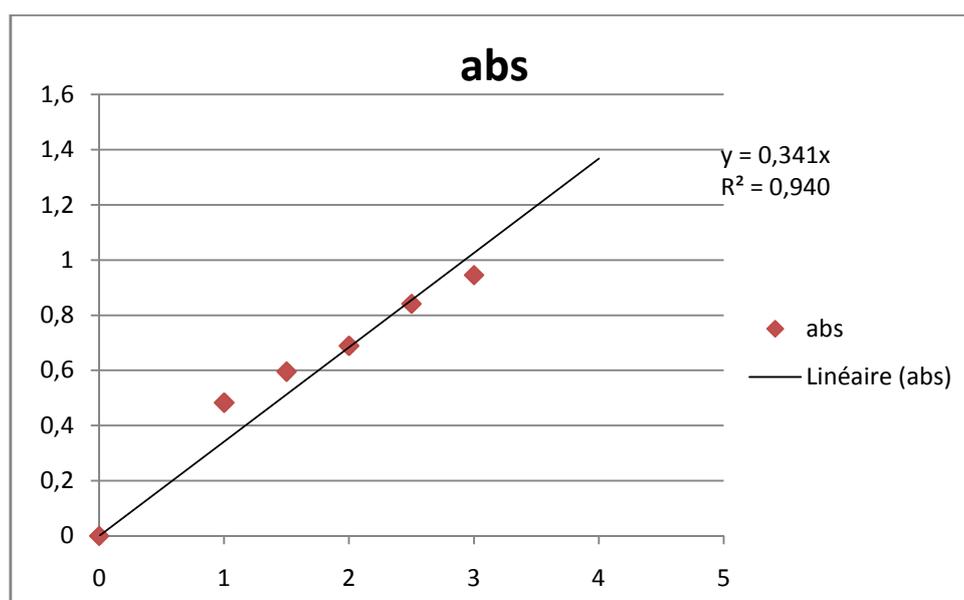


Figure V.2 : Courbes d'étalonnage du MO.

V.2.2. La cinétique d'adsorption : Les essais de cinétique d'adsorption des deux solutions utilisées, sont réalisés à température ambiante à l'aide d'un secoueur de type (Edmund Bühler GmbH SM – 30) sur lequel sont placés plusieurs flacons de capacité 250 ml. L'objectif étant de déterminer les temps de pseudo d'équilibre adsorbant-adsorbé.

Dans le cadre de cette étude, les courbes cinétiques sont présentées sous forme de quantité adsorbée en fonction du temps $Q = f(t)$. (Voir annexe B)

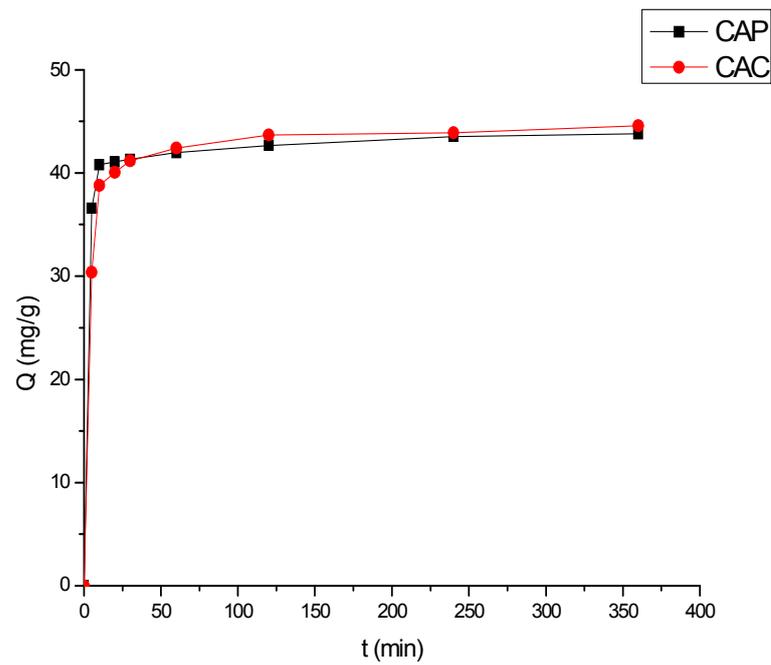


Figure V.3 : Cinétique d'adsorption de la Rhodamine B $Q=f(t)$

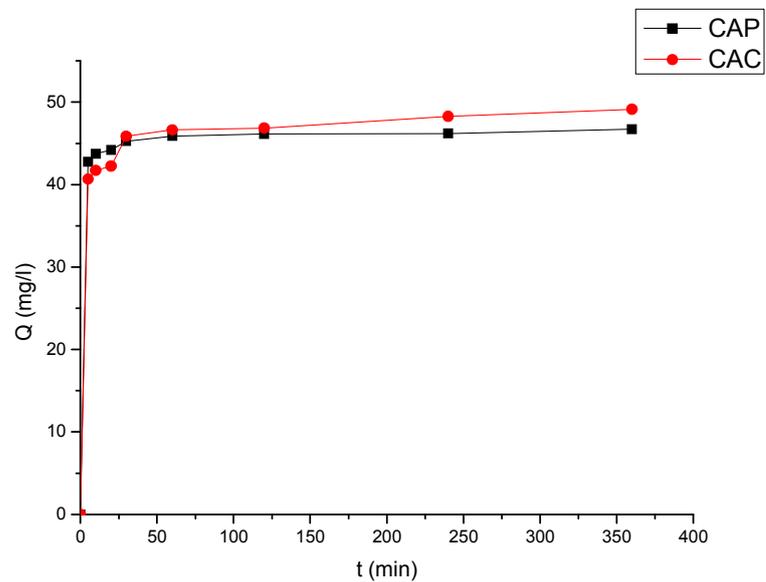


Figure V.4 : Cinétique d'adsorption de Méthyle orange $Q=f(t)$

Les résultats obtenus à l'issue de ces expériences sont représentés sur les figures V.3 et V.4. Au vu de ces résultats, nous pouvons remarquer deux étapes :

-Une première étape est rapide et correspond à un transfert de l'adsorbat de la phase liquide à la surface de l'adsorbant au bout de 10 min pour la RhB et pour le MO respectivement pour les deux charbons actifs choisis. Ce phénomène constaté pendant les premières minutes de la réaction, peut être interprété 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.

-Une deuxième étape, plus lente. Cette zone correspond à l'établissement d'un état de pseudo-équilibre entre la vitesse d'adsorption et de désorption. Les rendements d'élimination observés pour la rhodamine B sont de l'ordre de 87,56 % pour le charbon actif préparé et de 89,18 % pour le charbon actif commercial. Alors que pour le méthyle orange les valeurs des rendements sont de l'ordre de 93,47 % pour le CAP et de 98,24% pour le CAC.

V.3. Effet de quelque paramètre sur la rétention des charbons actifs

L'étude de l'adsorption de s deux colorants (RhB, MO) débute par une étude paramétrique qui consiste en une optimisation de quelques paramètres tels que :

- Effet de la concentration initiale
- Effet du pH du milieu
- Effet de la masse de l'adsorbant

V.3.1. Effet de la concentration initiale sur la cinétique

On prend 3 concentrations (25, 50, 100 mg/l) des deux polluants, et on étudie l'adsorption de ces derniers sur les charbons actifs (préparé et commercial), à la température de 25°C. Les résultats pour les deux colorants sont résumés dans les tableaux de l'annexe C

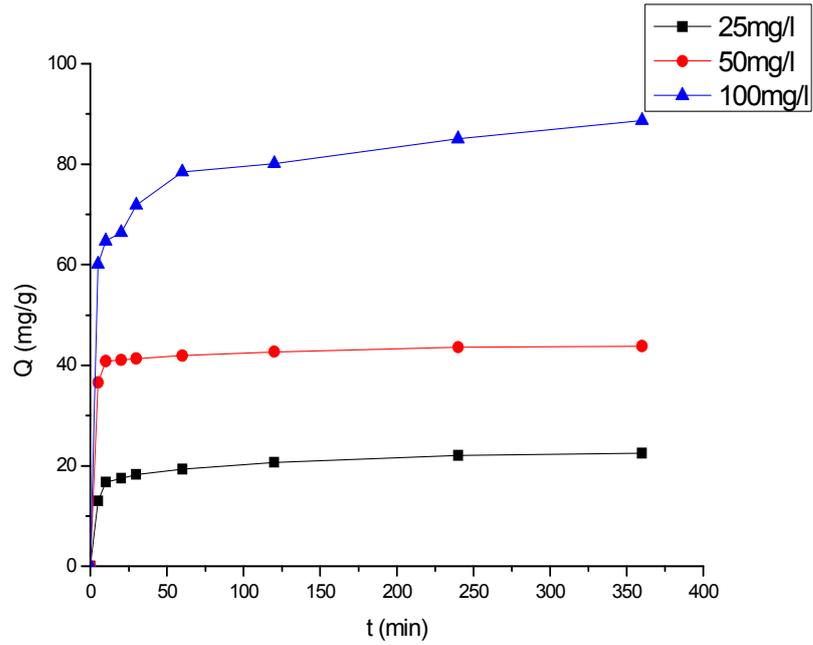


Figure V.5 : Effet de la concentration sur la cinétique d'adsorption de Rhodamine B
 $Q=f(t)$

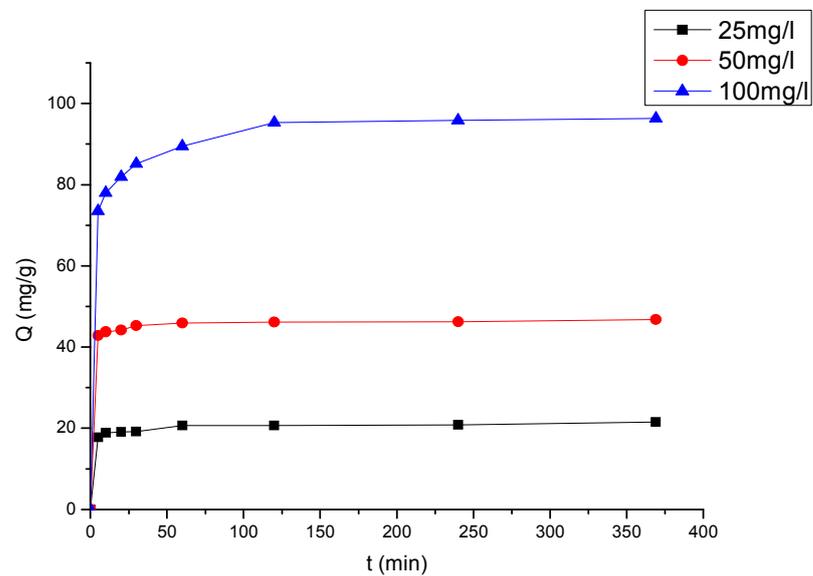


Figure V.6 : Effet de la concentration sur la cinétique d'adsorption du Méthyle orange
 $Q=f(t)$

En examinant les figures V.1.et V.2, on remarque que plus la concentration initiale en rhodamine B et en méthyle orange est grande plus la quantité adsorbée est importante, car en augmentant la concentration du colorant, la diffusion a son tour augmente, et par conséquent l'affinité entre l'adsorbat (rhodamine B, méthyle orange) et l'adsorbant (charbon actif) est meilleure.

La quantité maximale adsorbée pour les deux polluants sur charbon actif préparé est représenté dans le tableau V.3

Tableaux V .3 : La quantité maximale adsorbée (Q_{max}) pour CAP

	C (mg/l)	Q max (mg/g)
RB	25 mg/l	22,504
	50 mg/l	43,783
	100 mg/l	88,693
MO	25 mg/l	21,510
	50 mg/l	46,739
	100 mg /l	96,313

V .3.2. Effet de la masse de l'adsorbant :

Dans cette étape, on a étudié effet de la masse de deux types de charbons actifs allant de 0,02 g jusqu'à 0,12 g sur l'adsorption de la RhB et MO, ce travail à été effectué dans les conditions opératoire suivant :(voir annexe D)

- Concentration initiale en colorant : 50mg/l
- Masse d'adsorbant : 0,02g jusqu'à 0,12 g
- pH de milieu : 6
- Volume de solution à traiter : 50 ml

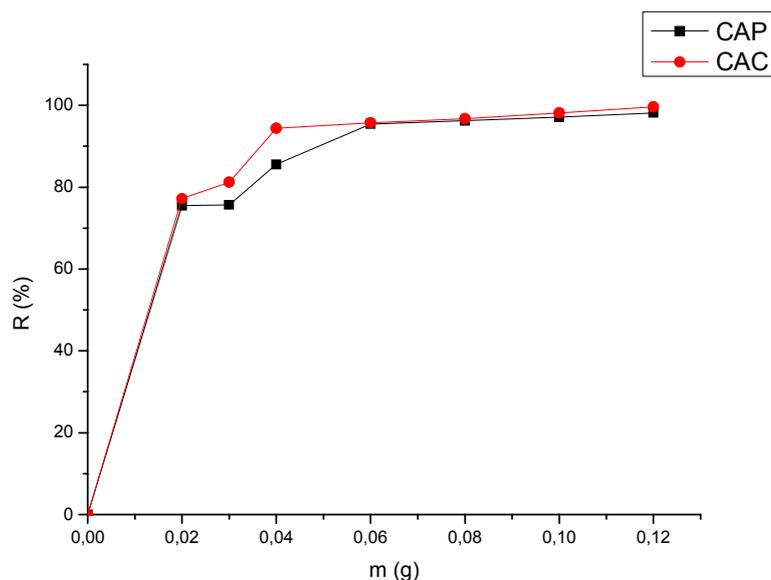


Figure V.7 : Rendement d'élimination du Rhodamine B en fonction de la masse de l'adsorbant $R\%=f(t)$

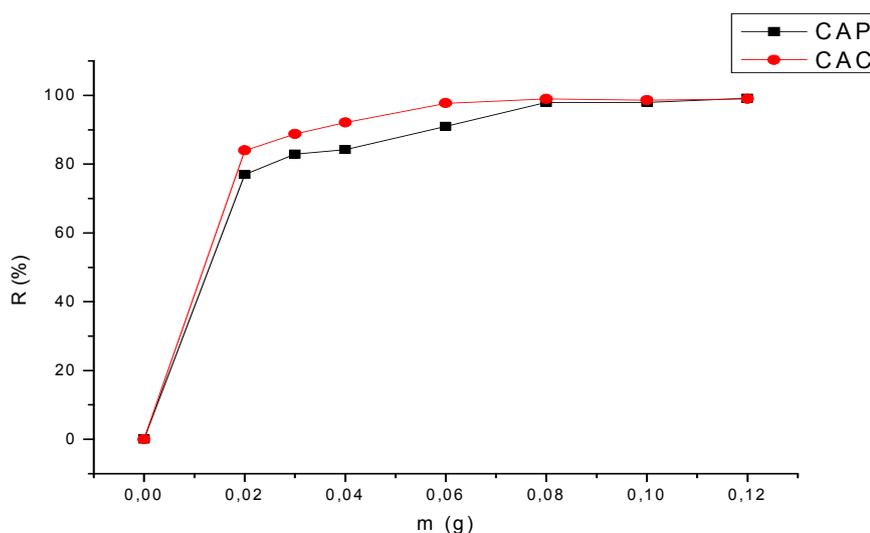


Figure V.8 : Rendement d'élimination du Méthyle orange en fonction de la masse de l'adsorbant $R\%=f(t)$

Les deux courbes montrent que le rendement d'élimination ou la quantité des colorants adsorbée à l'équilibre (pour les deux charbons actifs) est d'autant plus importante quand la quantité de l'adsorbant est élevée, ce comportement résulte du fait que le nombre des sites actifs disponible à la surface du matériau adsorbant est plus important jusqu'à atteindre l'équilibre qui correspond à la saturation de la surface.

Un maximum d'adsorption de 98,15 % et 99,60 % pour le charbon actif préparé CAP et le charbon actif commercial CAC respectivement ont été atteints pour l'élimination de la rhodamine B, et ce raisonnement s'applique aussi pour le méthyle orange avec des rendements de 99,13 % Pour le CAP et de 98,99 % pour le CAC.

V.3.3. Effet du pH

Le pH est un paramètre essentiel à prendre en compte dans les processus de l'adsorption.

Ce paramètre agit à la fois sur la solubilité et l'état d'ionisation de l'adsorbant.

Six valeurs de pH (1, 3, 5, 7, 9 et 11) sont utilisées. Les paramètres maintenus constant sont : temps de contact (300 min), vitesse d'agitation (200 tr /min) et température 25°C. (Voir annexe E)

Les pH acide et basique sont obtenus, l'un par addition d'une solution d'acide chlorhydrique et l'autre par ajout d'une solution de soude caustique. Les résultats obtenus sont représentés par figures V.9 et V.10 :

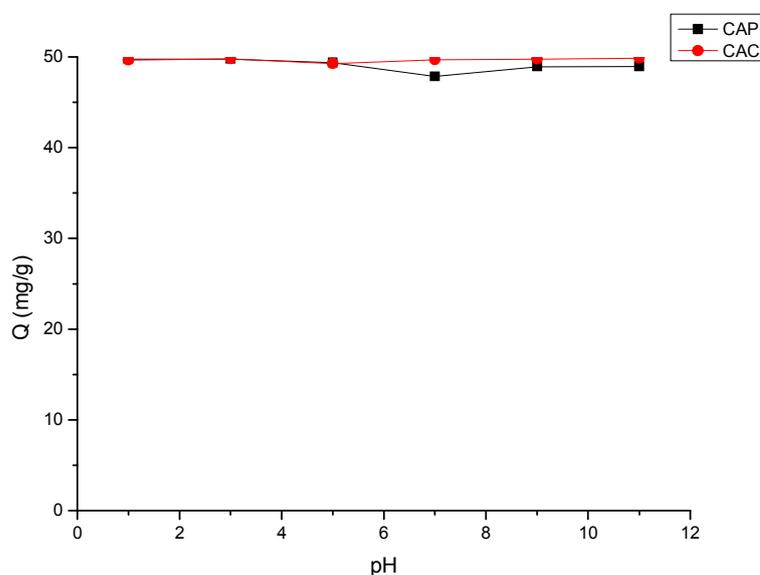


Figure V.9 : Effet de pH pour la Rhodamine B $Q=f(\text{pH})$

La figure V.9 montre, l'effet du pH sur l'adsorption du polluant (rhodamine B). On constate d'après l'allure de la courbe, on a deux zones. La première zone avant $\text{pH}=7$, la quantité adsorbée pour le CAP est décroissante ce qui peut être expliqué par une interaction répulsive, alors que au delà de cette valeur ($\text{pH}=7$), la quantité adsorbée est

maximale ce qui peut être expliqué par le fait que la surface de notre adsorbant est chargée positivement d'où, on a une interaction électrostatique et hydrophobique.

Concernant le CAC, nous avons une quantité adsorbée pratiquement la même sur tout le domaine de pH, avant pH=7 on a une interaction hydrophobique et électrostatique, au-delà de cette valeur de pH, on a toujours la même interaction

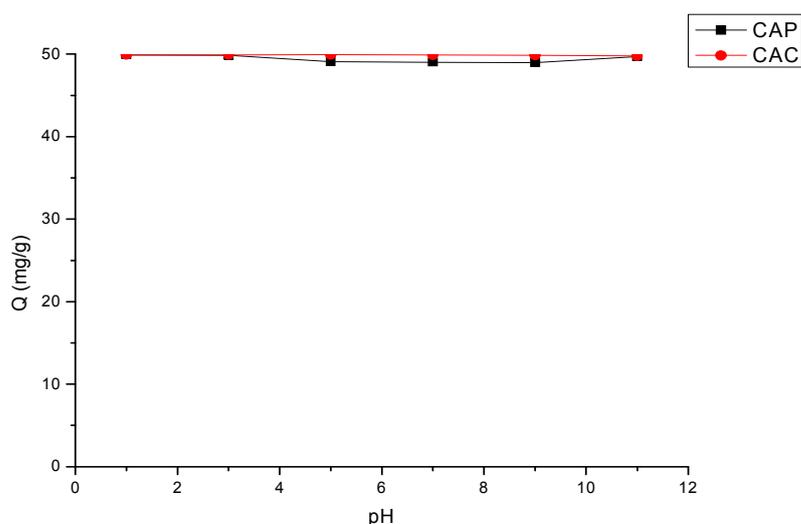


Figure V .10 : Effet de pH pour Méthyle orange $Q=f(\text{pH})$

Dans ce cas de figure qui montre l'effet de pH pour le méthyle orange, on remarque que l'allure des courbes est pratiquement la même avec une quantité adsorbée maximale de 49,90 mg/g à un pH égale à 1 puis, elle diminue jusqu'à un pH égale 9 pour le CAP ce qui peut être expliqué par une saturation des sites, puis on a une légère augmentation de la quantité adsorbée à un pH égale à 11. Alors que pour CAC, cette quantité est de 49,95 mg/g à un pH égal à 5 est pratiquement constante, on a une interaction électrostatique hydrophobique.

V.4. Modélisation de la cinétique d'adsorption

La dernière étude de l'étude des isothermes consiste à modéliser la courbe, ou plus précisément, à rendre compte par une équation mathématique de l'ensemble de la courbe.

Les modèle classique de Freundlich et de Langmuir caractérisent la formation d'une monocouche seront utilisés pour leur simplicité de mise en œuvre.

Tableau. V.4 : Les constantes et les coefficients de corrélations de premier et second ordre pour le charbon actif préparé CAP

Concentration n mg/l	colorant	Pseudo-ordre1			Pseudo-ordre2		
		q _e (mg.g ⁻¹)	K ₁ (L.mn ⁻¹)	R ²	q _e (mg.g ⁻¹)	K ₂ (L.mn ⁻¹)	R ²
25	Rhodamine B	20,700	0,048	0,792	22,727	0,0078	0,999
	Méthyle orange	21,693	0,322	0,815	23,809	0,0078	0,999
50	Rhodamine B	41,350	0,317	0,935	45,454	0,015	0,999
	Méthyle orange	40,175	0,251	0,937	45,454	0,011	0,999
100	Rhodamine B	71,94	0,114	0,713	90,909	0,0028	0,999
	Méthyle orange	95,286	0,168	0,845	100	0,0037	0,989

Tableau .V .5 : Les constantes et les coefficients de corrélations de premier et second ordre pour le charbon actif commercial CAC

Concentration mg/l	colorant	Pseudo-ordre1			Pseudo-ordre2		
		q _e (mg.g ⁻¹)	K ₁ (L.mn ⁻¹)	R ²	q _e (mg.g ⁻¹)	K ₂ (L.mn ⁻¹)	R ²
50	Rhodamine B	43,700	0,049	0,774	45,454	0,010	0,999
	Méthyle orange	43,020	0,043	0,830	47,619	0,010	0,999

En examinant ces valeurs, nous pouvons constater que les cinétiques d'adsorption relatives aux deux colorants individuels sont correctement décrites par le modèle cinétique de pseudo-ordre 2 et suit le modèle de Freundlich, avec des coefficients de corrélation tous égale à 0.99 pour une concentration étudiée de (50mg/l).

On remarque aussi que l'adsorption de la Rhodamine B et du Méthyle orange sont pratiquement identique sur les deux types de charbon actif.

V.4.1. Isotherme d'adsorption

Les isothermes d'adsorption jouent un rôle important dans la détermination des capacités maximales d'adsorption et dans la conception de nouveaux adsorbants; il est donc indispensable dans notre étude de les déterminer. Il existe de nombreux modèles théoriques qui ont été développés pour décrire les isothermes d'adsorption. Cependant, nous nous intéresserons seulement aux modèles de Langmuir et de Freundlich, car ils sont les plus simples et les plus répandus. Ces isothermes d'adsorption peuvent être obtenues par la représentation graphique de $Q = f(C_e)$, Q étant la quantité du substrat adsorbée par gramme d'adsorbant et C_e : la concentration à l'équilibre.

Les conditions opératoires sont :

Concentration de 50mg/l

Masse de l'adsorbant 0,02 jusqu'à 0,12 g

Température 25°C

Les différents résultats pour les deux polluants sont représentés sous forme de courbes voir figures ci-dessous par classification de Gill et Coll (voir annexe f) .

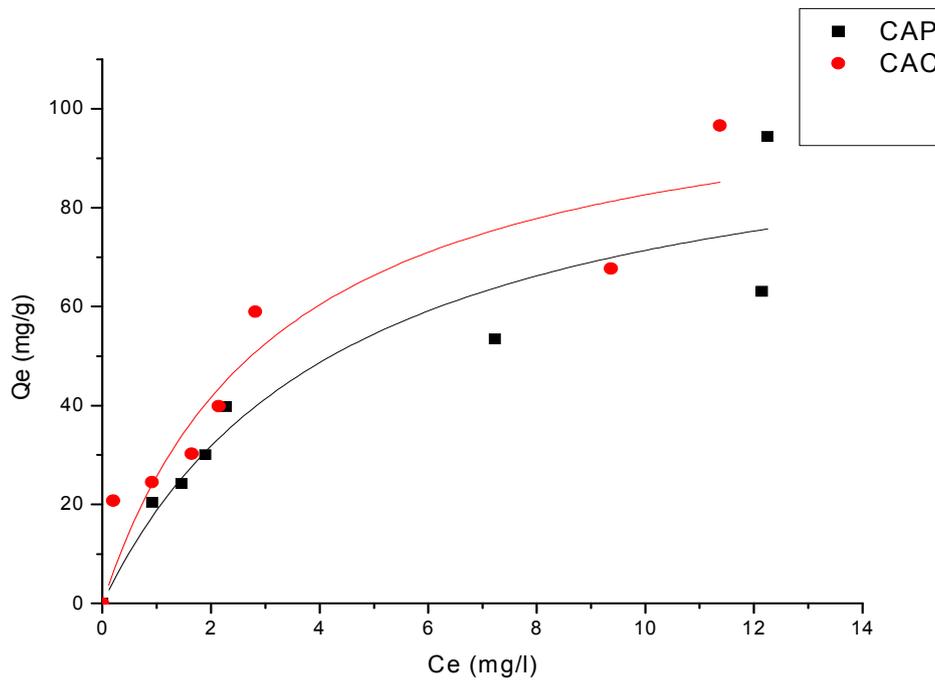


Figure V.11 : Isotherme d'adsorption $Q=f(Ce)$ pour le Rhodamine

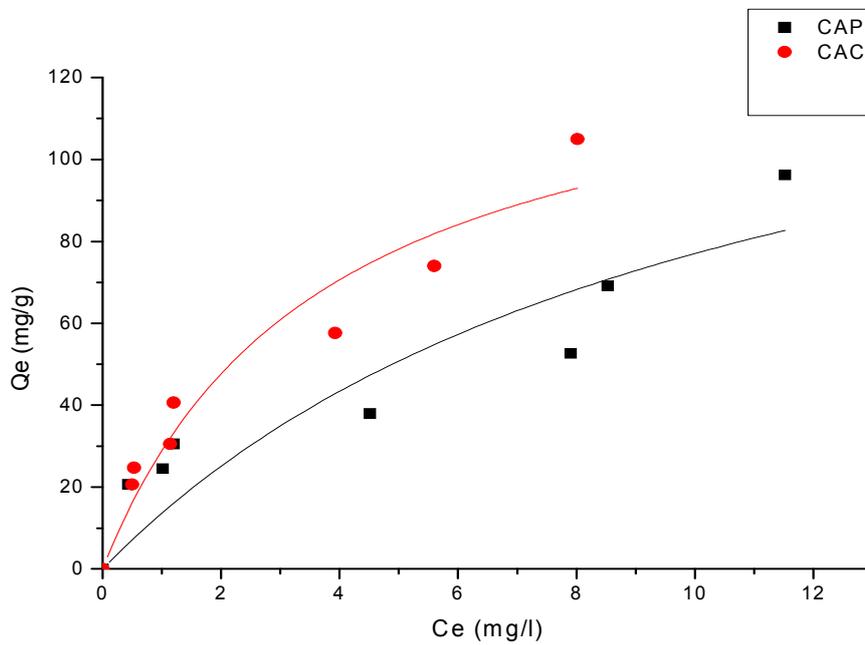


Figure V.12 : Isotherme d'adsorption $Q=f(Ce)$ pour le Méthyle orange

L'examen de ces figures pour les deux types de charbon actifs à savoir celui à base de déchets synthétiques (CAP) et le charbon actif commercial (CAC) sur les deux polluants montre que l'allure de ces isothermes est du type L.

L'allure de la courbe montre une forte augmentation du colorant adsorbé sur les deux charbons actifs en fonction de la concentration du colorant jusqu'à l'atteindre d'un palier, au delà l'adsorption devienne constant ceci peut être expliqué par le fait qu'à partir d'une certaine quantité du colorant fixé, les sites de l'absorbant vont être saturés.

V.4.1.1. Modélisation des isothermes d'adsorption

Divers modèles cinétiques sont donnés dans la littérature pour décrire l'étape d'adsorption proprement dite. Nous avons utilisé, dans cette étude, les lois cinétiques du pseudo-premier et du pseudo-deuxième ordre.

L'ensemble des paramètres cinétiques ainsi que les coefficients d'ajustement déterminés sont exposés dans le Tableau V.6.

Tableau V.6 : Les paramètres caractéristiques du modèle mathématique Langmuir et Freundlich appliqué à l'isotherme pour les deux types de charbon actif de concentration 50 mg/l.

<i>Charbon actif</i>	<i>Colorant</i>	<i>Langmuir</i>			<i>Freundlich</i>		
		q_{max} (mg/g)	K_L (L/g)	R^2	K_F (mg ¹⁻ⁿ L ⁿ /g)	$1/n$	R^2
<i>CAP</i>	<i>Rhodamine B</i>	22,885	0,221	0,811	25,201	0,435	0,849
	<i>Méthyle orange</i>	14,883	0,093	0,724	30,921	0,354	0,791
<i>CAC</i>	<i>Rhodamine B</i>	33,516	0,306	0,828	34,893	0,322	0,839
	<i>Méthyle orange</i>	36,711	0,270	0,894	40,935	0,342	0,841

Au vu de tableau V. 6, il apparait clairement que les valeurs des coefficients de corrélation R^2 du modèle de Freundlich est tout proche de 1 (0,85). Celui-ci confirme en effet d'une part, la bonne corrélation de ces résultats avec les points expérimentaux et d'autre part l'accord avec le fondement du modèle de Freundlich.

Les deux courbes montrent que le rendement d'élimination ou la quantité des colorants adsorbée à l'équilibre (pour les deux charbons actifs) est d'autant plus importante quand la quantité de l'adsorbant est élevée, ce comportement résulte du fait que le nombre des sites actifs disponible à la surface du matériau adsorbant est plus important jusqu'à atteindre l'équilibre qui correspond à la saturation de la surface.

Liste des figures

Chapitre I

Figure I .1 : Schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption

Figure I.2 : Mécanisme de transport de l'adsorbat au sein d'un grain

Figure I.3 : Les Type des isothermes

Chapitre II

Figure II.1 : Structure du charbon actif vu sous un microscope électronique

Figure II .2 : L'aspect du charbon actif extrudé

Figure II .3: L'aspect du charbon actif en poudre

Figure II.4 : L'aspect du charbon actif en grain

Figure II.5 : Représentation schématique d'un grain de charbon actif

Figure II.6 : Représentation de la surface interne et externe d'un matériau poreux (adsorbant)

Figure II.7 : Coupe de pneu

Chapitre III

Figure III .1 : Structure moléculaire de la Rhodamine B

Liste des figures

Chapitre V

Figure V.1 : Courbes d'étalonnage de la RhB

Figure V.2 : Courbes d'étalonnage du MO.

Figure V.3 : Cinétique d'adsorption de la Rhodamine B $Q=f(t)$

Figure V.4 : Cinétique d'adsorption de Méthyle orange $Q=f(t)$

Figure V.5 : Effet de la concentration sur la cinétique d'adsorption de rhodamine B $Q=f(t)$

Figure V.6 : Effet de la concentration sur la cinétique d'adsorption du Méthyle orange $Q=f(t)$

Figure V.7 : Rendement d'élimination du Rhodamine B en fonction de la masse de l'adsorbant $R\%=f(t)$

Figure V.8 : Rendement d'élimination du Méthyle orange en fonction de la masse de l'adsorbant $R\%=f(t)$

Figure V.9 : Effet de pH pour la Rhodamine B $Q=f(\text{pH})$

Figure V.10 : Effet de pH pour Méthyle orange $Q=f(\text{pH})$

Figure V.11 : Isotherme d'adsorption $Q=f(C_e)$ pour le Rhodamine

Figure V.12 : Isotherme d'adsorption $Q=f(C_e)$ pour le Méthyle orange

Liste Des Tableaux

Chapitre I

Tableau I .1 : Différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique

Chapitre II

Tableau II .1 : Surfaces spécifiques de quelques matériaux adsorbants

Tableau II .2 : composition moyenne d'un pneu VL en Europe

Tableau II .3 : caractéristiques physiques d'un pneu

Chapitre III

Tableau III.1 : Principaux groupes chromophores et auxochromes classés par intensité croissante

Tableau III.2 : Classification chimique des colorants

Tableau III.3 : Classification tinctoriale des colorants

Tableau III.4 : Caractéristiques physiques et chimiques de la Rhodamine B

Tableau III.5 : Propriété physico-chimique du méthyle orange MO

Chapitre V

Tableau V.1 : Les valeurs du point de charge nulle des deux types de charbon actif

Tableau V.2 : Propriétés poreuses du charbon actif préparé à base de pneu à 550 °C

Tableau V.3 : La quantité maximale adsorbée (Q_{\max}) pour CAP

Liste Des Tableaux

Tableau V.4 : Les constantes et les coefficients de corrélations de premier et second ordre pour le charbon actif préparé CAP

Tableau V.5 : Les constantes et les coefficients de corrélations de premier et second ordre pour le charbon actif commercial CAC

Tableau V.6 : Les paramètres caractéristiques du modèle mathématique Langmuir et Freundlich appliqué à l'isotherme pour les deux types de charbon actif de concentration 50 mg/l.

Liste Des équations

Eq (1) : la capacité d'adsorption

Eq (2) : Modèle pseudo-ordre 1

Eq (3) : Modèle pseudo-ordre 2

Eq (4): Le modèle de Langmuir

Eq (5) : linéarisation de modèle de Langmuir

Eq (6) : Le modèle de Freundlich

Eq (7) : Linéarisation de modèle de Freundlich

Liste des symboles

V : volume de la solution (l).

C₀ : concentration initial de l'adsorbant dans la phase liquide (mg .l⁻¹).

C_e : concentration de l'adsorbant dans la phase liquide à l'équilibre (mg .l⁻¹).

m : masse de l'adsorbant (g).

q_e : quantité de colorant adsorbée à l'équilibre (mg/g)

q : quantité de colorant adsorbée à l'instant t (mg/g)

k₁ : constant cinétique de la réaction chimique du premier ordre (l.min⁻¹)

k₂ : constant cinétique de la réaction chimique du deuxième ordre (l.min⁻¹)

q_e : quantité de l'adsorbant adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg.g⁻¹).

X : masse de l'adsorbant adsorbés (mg).

m : masse de l'adsorbant (g).

q_m : capacité maximale de l'adsorbant appelée aussi capacité ultime (mg.g⁻¹).

k_L : constante de Langmuir (l/mg).

C_e : concentration de l'adsorbant dans la phase liquide à l'équilibre (mg .l⁻¹).

K_f et **n** sont des constantes de Freundlich qu'il faut évaluer pour chaque solution et pour chaque température et sont uniques pour un composé donné. K_f caractérise le pouvoir adsorbant du support et 1/n l'affinité du soluté pour l'adsorbant.

Nomenclature

Introduction Générale

Chapitre I

Généralité sur l'adsorption

Chapitre II

généralité sur charbon actif

Chapitre III
les colorant

Chapitre III

Généralité sur les déchets synthétique (pneu usée)

Chapitre IV

Matériels et méthode

Chapitre V

Résultats et discussion

Conclusion Générale

Liste des figures

Liste des tableaux

I. Généralité sur l'adsorption

I.1. Définition

L'adsorption est un phénomène physico-chimique de transfert de matière d'un fluide vers la surface d'un solide. La substance qui se fixe est appelée adsorbat, le solide qui est le siège de l'adsorption est nommé adsorbant. Ce phénomène spontané provient de l'existence de forces non compensées à la surface de l'adsorbant [1]. Il se traduit en particulier par une modification de concentration à l'interface de deux phases non miscibles (gaz /solide ou liquide/solide) [2].

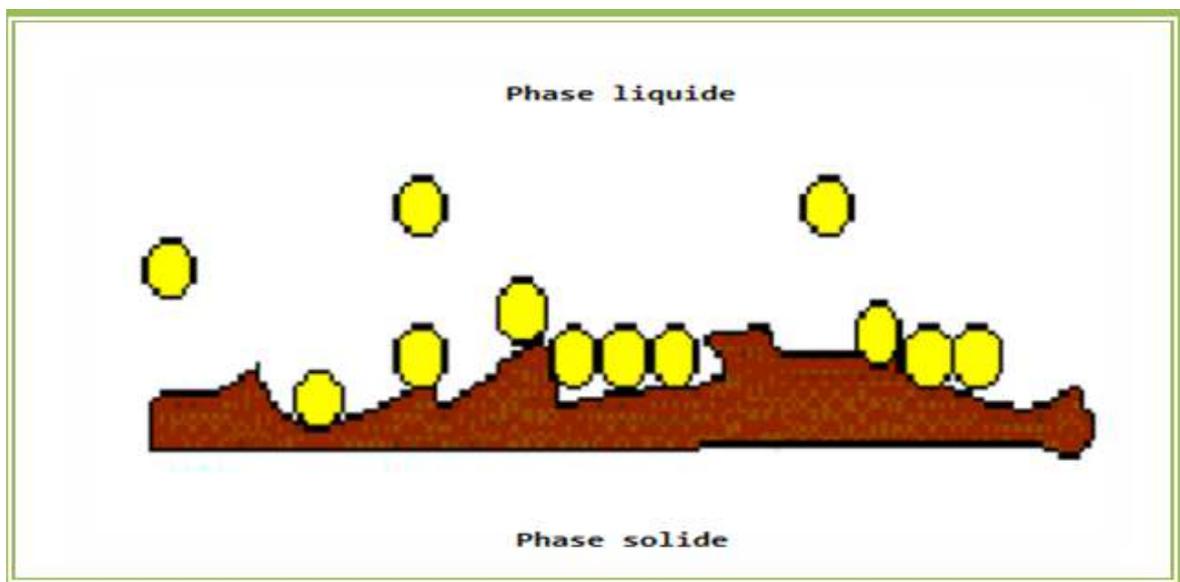


Figure I .1: Schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption

I.2. Les type d'adsorption

Les interactions adsorbat-adsorbant mettent en évidence deux types d'adsorption :

I.2.1. Adsorption physique : physisorption

L'adsorption physique est un phénomène réversible gouverné par des forces attractives de nature physique, comprenant les forces de Vander Waals. Ces forces ne détruisent pas l'individualité des molécules adsorbées et lorsqu'elles opèrent, elles correspondent à des énergies faibles qui sont de l'ordre de 10 Kcal par mole. Ce phénomène consiste

essentiellement en la condensation de molécules sur la surface du solide est favorisé par un abaissement de la température [3].

I.2.2. Adsorption chimique : chimisorption

L'adsorption chimique est un phénomène irréversible géré par des interactions chimiques qui provoque un transfert ou une mise en commun d'électrons entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant. On assiste donc à une destruction de l'individualité des molécules adsorbées et la formation de nouveaux composés à la surface de l'adsorbant. Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une énergie élevée variant de 10 à 100 Kcal par mole [3,4].

Le tableau I.1 : présente les différences entre les deux types d'adsorption.

Tableau I.1: Différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique [3].

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Energie d'adsorption	5 à 10 Kcal/mole	10 à 100 Kcal/mole
Température Nature de liaison Energie d'activation Cinétique	Basse Physique Non appréciable Très rapide	Élevée Chimique Importante Lente
Etat de surface Désorption	Formation de multicouches Plus ou moins parfaite	Formation d'une monocouche Difficile

I.3. Mécanisme et cinétique d'adsorption

Le transfert d'une phase liquide contenant l'adsorbat vers une phase solide avec rétention de soluté à la surface de l'adsorbant se fait en plusieurs étapes (Figure I.2) dont une ou plusieurs peuvent être déterminante de la cinétique globale du processus :

1. Transfert de masse externe (diffusion externe) qui correspond au transfert du soluté du sein de la solution à la surface externe des particules.
2. Transfert de masse interne dans les pores (diffusion interne) qui a lieu dans le fluide remplissant les pores. En effet, les molécules se propagent de la surface des grains vers leur centre à travers les pores.
3. Diffusion de surface : pour certains adsorbants, il peut exister également une contribution de la diffusion des molécules adsorbées le long des surfaces des pores à l'échelle d'un grain d'adsorbant.
4. Adsorption proprement dite [5].

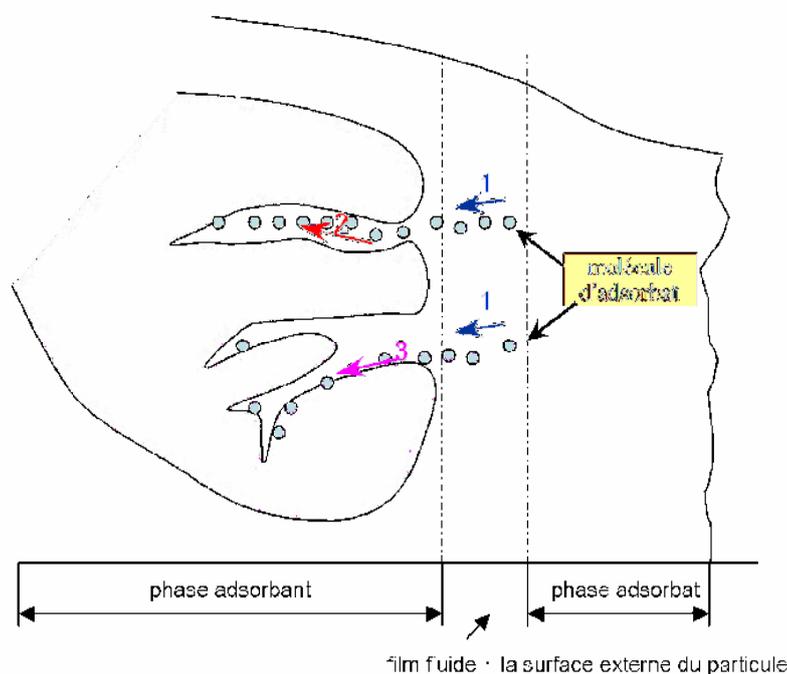


Figure I.2 : Mécanisme de transport de l'adsorbat au sein d'un grain

I.4. Facteurs influençant le phénomène d'adsorption

L'équilibre d'adsorption dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont :

- ✓ Les caractéristiques de l'adsorbant : polarité, volume poreux, surface spécifique et fonctions superficielles.
- ✓ Les caractéristiques de l'adsorbat : polarité, solubilité et poids moléculaire.
- ✓ Les paramètres physico-chimiques du milieu : température et pH [6,7].

I.5. Equilibre d'adsorption

I.5.1. Classification des isothermes d'adsorption

Pour décrire l'équilibre d'adsorption à l'interphase liquide/solide, il est recommandé de présenter la variation de la quantité de soluté adsorbée par unité de masse d'adsorbant (Q_e) en fonction de la concentration restante dans la solution (C_e) à l'équilibre à une température constante en employant l'équation suivante :

$$Q_e = (C_0 - C_e) \cdot V/m \quad \text{Eq (1)}$$

- V : volume de la solution (l).
- C_0 : concentration initial de l'adsorbat dans la phase liquide ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$).
- C_e : concentration de l'adsorbat dans la phase liquide à l'équilibre ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$).
- m : masse de l'adsorbant (g).

L'allure de l'isotherme varie selon le couple adsorbat - adsorbant étudié. Les isothermes d'adsorption ont été classées par Giles et coll. en quatre types principaux (Figure I. 3) :

- ✓ Les isothermes de types S s'obtiennent lorsque les molécules du soluté ne s'accrochent au solide que par l'intermédiaire d'un seul groupement.
- ✓ Les isothermes de type L (dites de Langmuir) se rencontrent dans le cas où l'adsorption du solvant est faible et lorsque les molécules de l'adsorbat sont orientées à plat.
- ✓ Les isothermes de type H (haute affinité) s'obtiennent lorsqu'il y a chimisorption du soluté indiquant une forte affinité entre l'adsorbat et l'adsorbant.

- ✓ Les isothermes de type C s'observent lorsqu'il y a compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites de l'adsorbant [7, 8].

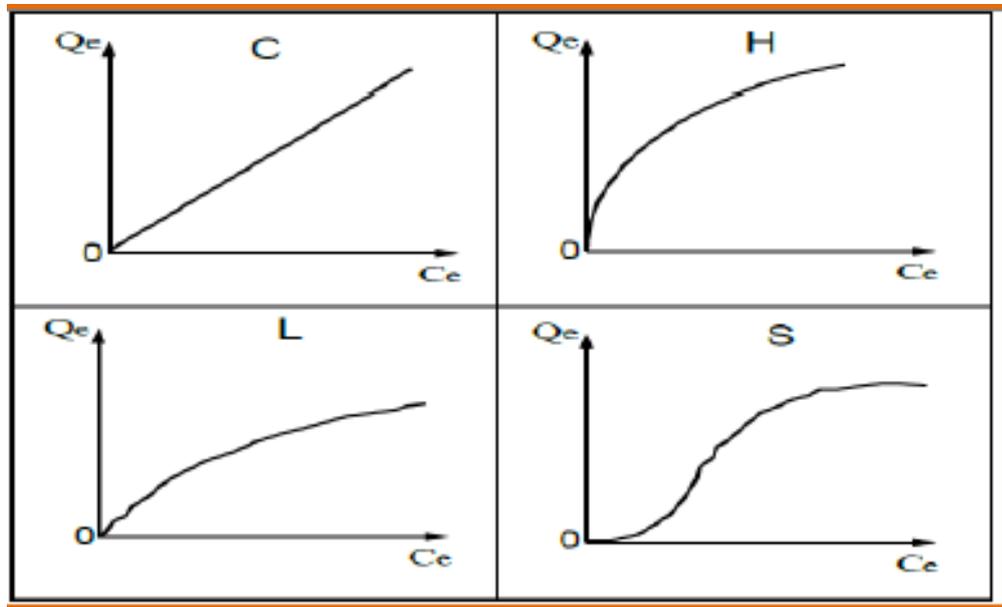


Figure I.3: Les types des isothermes d'adsorption

I.6. Modélisation de cinétique d'adsorption

La modélisation des cinétiques d'adsorption, c'est-à-dire la variation de la quantité de soluté adsorbé sur un support solide en fonction du temps, a pour but l'identification des mécanismes contrôlant la vitesse de l'adsorption [9].

I.6.1. Modèle pseudo-ordre 1

L'expression du modèle cinétique du pseudo-premier ordre, développée par Lagergren [10], est de la forme:

$$q = q_e (1 - e^{-k_1 t}) \quad \text{Eq (2)}$$

Où q_e et q (mg/g) représentent respectivement les quantités de colorant adsorbées à l'équilibre et à l'instant « t » ; k_1 ($l \cdot \text{min}^{-1}$) représente la constante cinétique de la réaction chimique.

I.6.2. Modèle pseudo-ordre 2

L'expression du modèle cinétique du pseudo-deuxième ordre dérivé de l'équation de Ho [11] est la suivante :

$$q = (q_e)^2 K_2 t / 1 + q K_2 t \quad \text{Eq (3)}$$

Où

K_2 ($\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$) représente la constante cinétique du deuxième ordre de la réaction d'adsorption.

I.7. Les modèles d'adsorption

Différents modèles mathématiques ont été établis pour représenter l'équilibre d'adsorption. Les modèles les plus souvent utilisés sont :

I.7.1. Le modèle de Langmuir

Etabli en 1918, ce modèle d'adsorption en monocouche est basé sur les hypothèses suivantes :

- La molécule est adsorbée sur un site bien défini de l'adsorbant (adsorption localisée).
- Chaque site ne peut fixer qu'une molécule.
- L'énergie d'adsorption est identique pour chaque site et indépendante de la présence de molécules adsorbées sur les sites voisins (pas d'interaction entre les molécules) [8,12]. L'équation de Langmuir s'écrit comme suit :

$$q_e = \frac{X}{m} = \frac{q_m K_L C_e}{(1 + K_L C_e)} \quad \text{Eq (4)}$$

Où

- q_e : quantité de l'adsorbat adsorbée par unité de masse de l'adsorbant ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$).
- X : masse de l'adsorbat adsorbés (mg).
- m : masse de l'adsorbant (g).

- q_m : capacité maximale de l'adsorbant appelée aussi capacité ultime (mg.g^{-1}).
- k_L : constante de Langmuir ($1/\text{mg}$).
- C_e : concentration de l'adsorbat dans la phase liquide à l'équilibre (mg.l^{-1}) [8,9].

La linéarisation de cette équation donne :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_m k_L} \quad \text{Eq (5)}$$

I.7.2. Le modèle de Freundlich

En 1926, Freundlich a établi une isotherme très satisfaisante qui peut s'appliquer avec succès à l'adsorption des gaz, mais qui a été principalement utilisée pour l'adsorption en solution dilués. Il a constaté que le mécanisme de ce processus est assez complexe, du fait de l'hétérogénéité de la surface, ce qui rend la chaleur d'adsorption variable. L'équation de Freundlich s'écrit comme suit:

$$q_e = \frac{X}{m} = k_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad \text{Eq (6)}$$

k_f et n sont des constantes de Freundlich qu'il faut évaluer pour chaque solution et pour chaque température et sont uniques pour un composé donné. k_f caractérise le pouvoir adsorbant du support et $1/n$ l'affinité du soluté pour l'adsorbant [8, 12].

L'équation de Freundlich est cependant utile sous sa forme logarithmique, soit :

$$\log q_e = \log k_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad \text{Eq (7)}$$

I.8. Les types d'adsorbants

L'adsorption est un phénomène de surface d'où l'intérêt de connaissance des propriétés

Physique des matériaux adsorbants tel que, la porosité, la surface spécifique, la densité

apparente et réelle.

I.8.1. Les charbons actifs [13]

Les charbons actifs sont préparés par pyrolyse d'une matière contenant du carbone, charbon ou matériau végétal, pour conduire à un charbon de bois qui est ensuite oxydé par la vapeur d'eau dans des conditions contrôlées pour créer une structure microporeuse. Il existe plusieurs centaines de qualités de charbons actifs, suivant le précurseur et les conditions de traitement. On peut aussi trouver des charbons actifs dits « chimiques », car activés à chaud en présence d'agents chimiques déshydratants, acide phosphorique ou chlorure de zinc. Ce sont des adsorbants hydrophobes dont la surface spécifique se situe entre 500 et 1500 m² /g.

I.8.2. Les adsorbants minéraux

Les adsorbants minéraux peuvent exister à l'état naturel ou synthétisés.

I.8.2.1. Les argiles

Les argiles sont des aluminosilicates. Ce sont des produits naturels, qui sont activées pour avoir de meilleures propriétés adsorbantes.

I.8.2.2. Les zéolithes

Les zéolithes sont des adsorbants de squelette cristallin aluminosilicate tridimensionnel constitué de tétraèdres SiO₄ et AlO₄, de formule globale (AlO₂M, nSiO₂) où M représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalino-terreux et n ≥ 1. Il existe plus de 100 espèces de zéolithes, différant par la valeur de n et la structure cristallographique. Ils ont une structure microporeuse faite de cavités et de canaux qui leur confère des propriétés adsorbantes.

Ils sont sous forme de poudre, granulés ou extrudés. La surface spécifique ne dépasse pas 900 m² /g. mais, ils présentent une bonne sélectivité [14].

I.8.2.3. Les alumines activées

Les alumines activées sont obtenues par thermolyse flash du trihydroxyde d'aluminium Al(OH)₃ qui conduit à un produit de composition approximative Al₂O₃, 0.5 H₂O, possédant une structure poreuse résultant du départ de molécules d'eau. La surface des

pores est couverte de groupements Al-OH, et l'adsorption se fait préférentiellement par liaison hydrogène. Les alumines activées sont des adsorbants amorphes, moyennement polaires et hydrophiles. Ils ont une surface spécifique de $300 \text{ m}^2/\text{g}$ [15].

I.8.2.4. Les gels de silice

Les gels de silice sont préparés à partir de Si(OH)_4 en phase aqueuse, obtenu par acidification d'un silicate de sodium, ou bien à partir d'un sol de silice. Les groupements Si-OH conduisent à des liaisons hydrogène.

Il existe deux types de gels de silice : les microporeux, assez hydrophiles, et les macroporeux, versatiles, qui diffèrent par la taille des pores comme le nom l'indique. Leur surface spécifique peut être de 300 à $800 \text{ m}^2/\text{g}$ [16].

I.8.3. Les adsorbants à base de polymère

Ce sont pour la plupart des produits en développements qui n'ont actuellement que des applications très spécifiques et peu nombreuses. Le plus répandu est un copolymère du styrène et du divinylbenzène: le polystyrène forme des chaînes reliées entre elles par des ponts de divinylbenzène, ce qui confère une porosité interchaîne à la structure.

Une caractéristique importante de ces adsorbants est qu'ils sont très hydrophobes. Ces produits peuvent être utilisés tel quel ou subir une carbonisation. On obtient alors des adsorbants voisins des charbons actifs. Si le polymère initial est préparé en fibres, on peut le tisser et obtenir des tissus de charbon actif.

Le diamètre de fibre étant de l'ordre de 10 microns, le temps de transfert est beaucoup plus rapide que pour tous les autres adsorbants. Sa surface spécifique peut atteindre pour les tissus de charbon actif $2000 \text{ m}^2/\text{g}$ [17].

I.9. Applications d'adsorption

Le principal adsorbant utilisé en pratique est le charbon actif. L'adsorption est essentiellement utilisée pour le traitement de l'eau et de l'air.

I.9.1. L'eau

Le charbon actif est très utilisé dans les stations d'épuration et de traitement de l'eau.

C'est un très bon adsorbant qui peut stabiliser le pH, capter plusieurs types de polluants tels les matières organiques [18,19], les métaux lourds [20,21], les micropolluants [22], les colorants [23] et d'autres matières minérales (le chlore, les nitrates...), à condition que ces matières soit en faibles quantités puisque le charbon nécessite une régénération coûteuse et fréquente après saturation [24].

I.9.2. L'air

L'adsorption est également utilisée pour dépolluer l'air et de nombreux gaz émis de l'industrie. Le gaz doit parfois être prétraité par filtration, afin d'enlever les particules les plus grosses, risquant d'obstruer le lit adsorbant. Les applications l'élimination des odeurs désagréables provenant de la fabrication de produits alimentaires, de fabriques de cuirs et de textiles, et des installations de gaz naturel, et celles des solvants volatils. Aussi les charbons actifs sont utilisés pour dépolluer l'air de vapeurs d'essence, ce qui a une application immédiate en automobile, pour améliorer la qualité de l'air au niveau de l'habitable.

I.10. Utilisation industrielle de l'adsorption

Les trois manifestations de l'adsorption par les solides, ont des applications pratiques et nombreuses. On comprend que les phénomènes provoquant une modification de la composition d'un mélange gazeux, d'un mélange liquide, puissent avoir des développements industriels par contre, l'adsorption des gaz et vapeurs purs, présente moins d'intérêt pratique.

I.10.1. Application de l'adsorption en phase gazeuse

Dans l'utilisation pratique des phénomènes d'adsorption des mélanges gazeux en vue de leur fractionnement, il ne faut pas oublier que le fonctionnement d'une colonne d'adsorption ou adsorbent est par nature intermittent et doit comporter deux phases [3] :

- Une phase d'adsorption, qui doit être stoppée quand la zone de transfert de masse atteint la pureté recherchée, en sortie de la colonne: point de rupture ou point de fuite.

- Une phase consécutive de désorption ou régénération de l'adsorbant pour le rendre apte à une nouvelle phase d'adsorption et pour récupérer éventuellement l'adsorbât.

A titre d'exemple, on peut citer:

- Le stockage des gaz permanents.
- Fractionnement des mélanges gazeux.
- La récupération des solvants.
- Dessiccation des gaz.
- La purification de l'hydrogène.

I.10.2. Application de l'adsorption en phase liquide

On peut classer les applications de l'adsorption en phase liquide en deux domaines:

Celui du traitement des solutions diluées et celui du fractionnement des mélanges liquides, bien que, dans les deux cas, il s'agit toujours de séparation de composés chimiques.

Les applications industrielles concernant le traitement des solutions diluées (purification et extraction) sont extrêmement nombreuses. Les traitements les plus importants en tonnage concernent:

- La décoloration des jus sucrés.
- La purification de divers produits pétroliers et de matières grasses animales et végétales.
- Le traitement des eaux (élimination des métaux lourds, des odeurs, et de la matière organique)
- La dessiccation des produits organiques industriels.

I.11. Paramètres affectant l'adsorption : Un grand nombre de paramètres et de propriétés, du support et du substrat, peuvent influencer le processus d'adsorption et notamment la capacité et la cinétique de rétention d'une substance sur un support [27]. Il s'agit des paramètres suivants :

I.11.1. Caractéristiques de la molécule:

a. Taille des molécules adsorbant : D'un point de vue purement mécanique, il faut que la taille de la molécule soit inférieure au diamètre du pore d'adsorbant pour que celle-ci puisse diffuser rapidement dans le volume poreux et atteindre le site d'adsorption.

b. Solubilité : plusieurs chercheurs ont montré que les constantes d'adsorption ont tendance à être plus importantes quand la solubilité du composé diminue. D'autres chercheurs, présentent un certain nombre de relations entre la constante d'adsorption et diverses propriétés de la molécule organique.

c. pKa : un certain nombre de produits organiques sont caractérisés par des propriétés d'acides faibles ou de bases faibles. Le pH conditionne donc la forme sous laquelle se trouve la molécule (ionisée ou neutre). Ainsi, ce ne sont pas les mêmes éléments de la matrice qui interviendront dans le mécanisme d'adsorption. La majorité des études, montrent que la rétention est maximale lorsque le pH est égal au pKa [28, 25, 26].

d. Polarité et polarisabilité de la molécule adsorbée :

L'adsorption va être fortement influencée par les dimensions du composé à piéger (surface, volume), mais aussi par les groupements fonctionnels de la molécule (alcools, aldéhydes, cétones, acides carboxyliques, amines, soufre, halogène...) induisant des effets de polarisabilité plus ou moins marqués.

I.11 .2. Structure de l'adsorbant

Elle 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 alors augmenter son pouvoir de rétention. En outre, cette surface s'accroît lorsque le support est poreux.

Les adsorbants industriels (essentiellement les charbons actifs) développent des surfaces spécifiques énormes (600 à environ 1200 m².g⁻¹) [29]. D'autres facteurs, comme la température qui définit la nature de l'adsorption, peuvent également influencer la capacité d'adsorption [30].

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents

À mes frères et sœurs

À tous mes amis

À tous ce qui me sont chers



Farida

Références bibliographiques

- [1] L.NAIDJA, Elimination de la colorante orange en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption, mémoire de magistère en chimie, université de Mentouri Constantine, 2010.
- [2] I. BOUNOUR, Modélisation des isothermes d'adsorption dans le cas de : phénol et de bleu de méthyle sur le charbon actif en grain, mémoire d'ingénieur d'état, école nationale supérieure polytechnique, 2009.
- [3] S. ARRIS, CHEBIRA, Etude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sur des sous produits de céréales, thèse de doctorat, université de Mentouri Constantine, 2008 .
- [4] S.BENDOUCHE, Utilisation des argiles traitées pour la décoloration des bains de teinture, mémoire de magistère, université M'Hamed Bougera Boumerdes, 2009.
- [5] C.AYRAL, Elimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur charbon actif, thèse de doctorat, université de Toulouse, 2009.
- [6] A.REFFAS, Etude de l'adsorption de colorants organique (Rouge nylosan et bleu de méthylène) sur des charbons actifs préparés à partir de marc de café, thèse de doctorat, université de Mentouri Constantine, 2010.
- [7] S.HADDOUM, S.SELATNIA, Biosorption du plomb sur une biomasse (*Pleurotus Mutilus*), mémoire de magistère, école nationale supérieure polytechnique, 2005.
- [8] A. BOUCIF, ALLAM, Etude de la Co-adsorption de deux pesticides (Durion et Metribuzine) sur un charbon actif en poudre, mémoire d'ingénieur d'état en chimie industrielle, école nationale supérieure polytechnique, 2008.
- [9] N.Barka, A.Nouah, A.assabbane, Y.Aitachou (L'adsorption des colorants textiles sur l'hydroxyapatite mal cristallisée), COVAPHOS II, vol 4 (2006).
- [10] Lagergren, S., (Zur theorie der sogenannten adsorption geioster stoffe. Kunglinga Svenska Vetenskapsakademiens), Handlingar. 24, (1898), 1–39.
- [11] Ho, Y.S., McKay, G., The kinetics of sorption of basic dyes from aqueous solutions

by sphagnum moss peat, *Can. J. Chemical. Eng.*, 76, (1998), 822–826.

[12] L.AMIROUCHE, OUTIOUA, Etude du pouvoir de sorption du Cuivre (II), du Zinc (II) et des polyphénols par les bentonites sous l'effet des irradiations micro-ondes, mémoire de magister, université Mouloud Mammeri de TIZI-OUZOU, 2011.

[13] Fiani. Adsorption de polluants gazeux sur des filtres à charbon actif. Modélisation des échanges couplés de matière et de chaleur. INPG-EMSE, Saint-Etienne, France (2000)

[14] Barrer. Zeolites and clay minerals as sorbents and molecular sieves. Academic Press.

[15] Industrial alumina chemicals. ACS Monograph 184. 1986.

[16] Moreno-castilla, C. Adsorption of organic molecules from aqueous solution on carbon materials, *carbon*, 42, 83, 94. 2004.

[17] Robert. L ; Dardel. F Adsorption J 2730 (1988). *Traité Génie des procédés.*

[18] J.F.fiset, J.F.Balais, R.Ben cheikh, R.Dayal Tyagi (Review on metal removal from effluents by adsorption on sawdusts and wood barks), *Revue des sciences de l'eau* 13/3 (2000), pp 325-349.

[19] D.Hamane, Z.Bendjama (Adsorption de Pb (II) par la sciure de bois d'Eucalyptus), *Récent progrès en génie des procédés*, n°92-2005, Paris, France.

[20] THERMYA (Le carbone sous tous ses formes-partie charbons actifs) ,2006.

[21] B.Hu, H.Luo, H.chen, T.Dong (Adsorption of chromate and para-nitrochlorobenzene on inorganic-organic montmorillonite), *Applied Clay Science* 51(2011), pp 198-201.

[22] M.Kessoum, V.Caqueret, O.Chedville, B.Cagnon, S.Bostyn, C.porte (Etude de la cinétique et de la thermodynamique d'adsorption de composés phénoliques en monosolutés et en mélange sur charbon actif), *Collaboration entre l'université d'Orléans et le laboratoire du génie des procédés pour l'environnement*, 2009.

[23] F.Bouchemal, S.achour (Essais d'adsorption de la Tyrosine sur charbon actif en grains et en poudre), *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°06, Décembre 2007, pp 81-89.

Références bibliographiques

- [24] S.Risuda Sae-Ung, V.Boonamnuyvitaya (Adsorption of formaldehyde vapor by using activated carbon prepared from coffee residue), Proceedings of the 2nd regional conference on Energy Technology Towards a clean Environment 12-14 February 2003, Phuket, Thailand.
- [25] Chiou C. T., Peters L. J., Freed V. H. J. Environmental science and technology (1979).
- [26] Karickhoff S. W., Brown D. S., Scott T. A., J. Water Research (1997).
- [27] Perrat C., Devenir des pesticides dans les sols : Validation des méthodes d'analyse et isothermes d'adsorption (2001).
- [28] Gao J. P., Maguhn J., Spitzauer P., J. Water Research (1998).
- [29] Houas A., Bakir I., Ksibi M., Elaloui E., J.Chim.Phys. (1996).
- [30] Slejko E. L. and Dekker M., Adsorption technology; A step by step approach to process evaluation and application (1985).
- [31] L. Meljac, 2004, Etude d'un procédé d'imprégnation de fibre de carbones activés- modélisation des interactions entre ces fibres et le sulfure d'hydrogène, Thèse de Doctorat, Université de Jean Monnet, St-Etienne.
- [32] J. Omlin, L. Chesaux, 2010, Evaluation de charbons actifs en poudre (CAP) pour l'élimination des micropolluants dans les eaux résiduaires urbaines, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- [33] H. Boulkrah «Etude comparative de l'adsorption des ions de plomb sur différents adsorbants», thèse de magister, Université de Skikda, 2008.
- [34] M.A.SLASLI, 2002, Modélisation de l'adsorption par les charbons microporeux: Approches théorique et expérimentale, Thèse de Doctorat, Université de Neuchâtel.
- [35] A. Elabed, 2007, Réactivité thermique et cinétique de dégradation du bois d'arganier application à l'élaboration de charbon actif par activation chimique à l'acide phosphorique, Thèse Doctorat, Université Mohammed V, Maroc.

Références bibliographiques

- [36] T. Ferrera de Oliveira, 2011, Etude d'un procédé de dépollution basé sur le couplage ozone / charbon actif pour l'élimination des phtalates en phase aqueuse, Thèse de Doctorat, Université d'Orléans.
- [37] Chenin Mouhad (préparation et caractérisation d'un charbon actif issue d'un déchet de café par voie chimique (effet de taux d'adjuvant)), Mémoire de Master 2011-2012, université d'Ouargla
- [38] Dabrowski A, Podkoscielny P, Hubicki Z, Barczak M. 2005. Adsorption of Phenolic compounds by activated carbon
- [39] Rodriguez-Reinoso F, Molina-Sabio M. 1998. Advances in Colloid and Interface Science.
- [40] Belferrag Allaoua (Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes) - 20/06/2006
- [41] Conférence des Parties à la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination. Cartagena, Colombie, 17–21 octobre 2011 .UNEP/CHW.10/6/Add.1/Rev1
- [42] LANGUEDOC R. "Guide pratique des déchets"
- [43] JOËL F. "Rôle du pneumatique dans le phénomène d'adhérence", Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC) ! 255, Avr - Mai –Juin. 2005.
- [44] SANDRA B., ANACLET T., LOINS GRANJU J. "Un composite cimentaire résistant à la fissuration : synergie « Granulats en caoutchouc – renfort par des fibres »", Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC) ! 250-251, Mai-Juin-Juil-Aout.2004
- [45] H.L. Needles, Textile fibers, dyes, finishes, and processes, Noyes Publications, New Jersey, 1986.
- [46] Slimane Merouani. (Dégradation sonochimique de la Rhodamine B en solutions aqueuses: Effets des ions hydrogénocarbonates et carbonates et des matrices complexes) ; Ingénieur d'état en génie chimique, université Badji Mokhtare – Annaba ; 2010

Références bibliographiques

- [47] E.Z. Guivacrch, Traitement des polluants organiques en milieux aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancé "Electro-Fenton": application à la minéralisation des colorants synthétiques, Thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée, 2004.
- [48] J.J. Donzé, Colorants textiles, Techniques de l'Ingénieur, K 350, 2008.
- [49] S.D. Richardson, C.S. Wilson, K.A. Rusch, Use of rhodamine water tracer in the marshland upwelling system, *Ground Water* 42 (2004) 678-688.
- [50] J. Rochat, P Demenge, J.C. Rerat, Toxicologic study of a fluorescent tracer: Rhodamine B, *Toxicological European Research* 1 (1978) 23-26
- [51] Fiche de sécurité de la Rhodamine B selon (1907 /CE, article 21, [http://www.Alfa.com /content/msds/French/A13572](http://www.Alfa.com/content/msds/French/A13572).
- [52] R. Jain, M. Mathur, S. Sikarwar, A. Mittal, Removal of the hazardous dye Rhodamine B through photocatalytic and adsorption treatments, *Journal of Environmental Management* 85 (2007) 956-964.
- [53] Evaluation de la toxicologie d'un certain nombre de colorants illégalement présents dans l'alimentation au sein de l'UE, *The EFSA Journal* (2005) 263.
- [54] X. Xuea, K. Hannab, N. Denga, Fenton-like oxidation of Rhodamine B in the presence of two types of iron (II, III) oxide, *Journal of Hazardous Materials* 166 (2009) 407-414.
- [55] Nour Bouanimba (Modélisation et optimisation de la cinétique de dégradation photo catalytique de polluants organique en solution aqueuse) 24 juin 2009-magistère en chimie – université mentouri –Constantine
- [56] MV.Lopez-Ramon, F.stoeckli, C.Moreno-Castilla, F.Carrasco-Marin « On the characterization of acidic and basic surface sites on carbons by various techniques », *Carbon* 37 (1999), pp 1215-1221.
- [57] S.Delpeux, E.Raymundo-Pinero, F.Beguin, M.L.Saboungi «L'adsorption physique du gaz-BET», Centre de recherche sur la matière divisée, Université d'Orléans, 2010

Références bibliographiques

[58] H.Nadji, P.N.Diouf, A.Benaboura, Y.Bedard, B.Riedl, T.Stevanovic «Comparative study of linins isolated from Alfa grass (*Stippa tenacissima* L) », *Bioresource Technology* 100 (2009) 3585-3592.

[59] Jian-Han Huang, Ke-Long, Su-Qin Liu, A-Tingwang, Chen Yan (Adsorption of Rhodamine B and Methyl Orange on a hypercrosslinked polymeric adsorbent in aqueous solution). College of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, Changsha 410083, People's Republic of China -2008 Elsevier

II. Le charbon actif

II .1. Historique

L'exploitation des propriétés filtrantes du charbon de bois pour la purification et en médecine débute avec les égyptiens en l'an 1500 avant Jésus Christ. Quant aux anciens hindous, ils filtraient déjà leur eau avec des charbons pour la rendre potable.

L'industrialisation du charbon actif proprement dit commence au début du XXème siècle pour répondre aux besoins des raffineries de sucre. Le charbon actif est alors utilisé comme décolorant.

La production des charbons actifs s'intensifie pendant la première guerre mondiale en raison de la prolifération des gaz toxiques et du développement des masques à gaz.

Aujourd'hui, la production mondiale annuelle en charbons actifs atteint 420 000 tonnes.

Le faible coût des charbons actifs et leur caractère non sélectif leur assurent leur place sur le marché des adsorbants, en dépit de l'apparition récente des nombreux concurrents décrits précédemment et en particulier des zéolites, les principales rivales des charbons actifs qui présentent les mêmes propriétés que les charbons actifs en termes de conductivité et de résistance à la chaleur avec une répartition de taille de pores très étroite [31].

II .2. Définition

Le charbon actif est un carbone microporeux inerte qui a subi un traitement pour augmenter sa surface. Il possède ainsi une très grande surface spécifique pouvant aller de 100 à 2000 m² .g⁻¹ d'où sa grande capacité d'adsorption.

La structure du charbon actif est proche de celle du graphite, ordonnée sous la forme d'un empilement de couches successives planes d'atomes de carbone disposés en hexagones réguliers [32].

Le charbon actif est un adsorbant non spécifique avec une structure poreuse bien développée formée majoritairement par des micropores et des mésopores de différents diamètres [31], comme représenté sur la figure II.1.



Figure II.1 : Structure du charbon actif vu sous un microscope électronique [32].

II .3. Différentes formes du charbon actif

Les formes du charbon actif les plus utilisés sont:

✓ Le charbon actif extrudé

Le charbon actif extrudé est de forme cylindrique avec des diamètres allant de 0.8 à 5 mm. Il est principalement utilisé pour des applications en phase gazeuse à cause de sa faible perte de charge, de sa grande résistance mécanique et de sa faible teneur en poussières.



Figure II.2. L'aspect du charbon actif extrudé

✓ **Le charbon actif en poudre**

Les charbons actifs en poudre présentent une granulométrie inférieure à 100 μ m avec un diamètre moyen situé entre 15 et 25 μ m. Ils ont une large surface externe et une faible profondeur de diffusion, ce qui engendre une vitesse d'adsorption très rapide.



Figure II. 3. L'aspect du charbon actif en poudre

✓ **Le charbon actif en grain**

La forme granulaire du charbon est caractérisée par une taille des particules supérieure à 1mm, un faible diamètre des pores, une grande surface interne et une externe relativement faible. Il en résulte que les phénomènes de diffusion à l'intérieur des pores prennent une grande importance dans le processus d'adsorption.



Figure II.4. L'aspect du charbon actif en grain

II .4. Caractéristiques de charbon actif

II.4.1. Le volume poreux et la taille des pores

Un solide poreux peut être défini à partir du volume de substance adsorbée nécessaire pour saturer tous les pores ouverts d'un gramme de ce solide.

Un pore ouvert débouche la surface du grain et est donc accessible au fluide. Ce volume poreux est donc caractéristique de la porosité ouverte uniquement. Il est habituellement exprimé en centimètres cube par gramme d'adsorbant, il varie généralement pour les charbons actifs entre 0.2 jusqu'à 1.2 cm³/g [33].

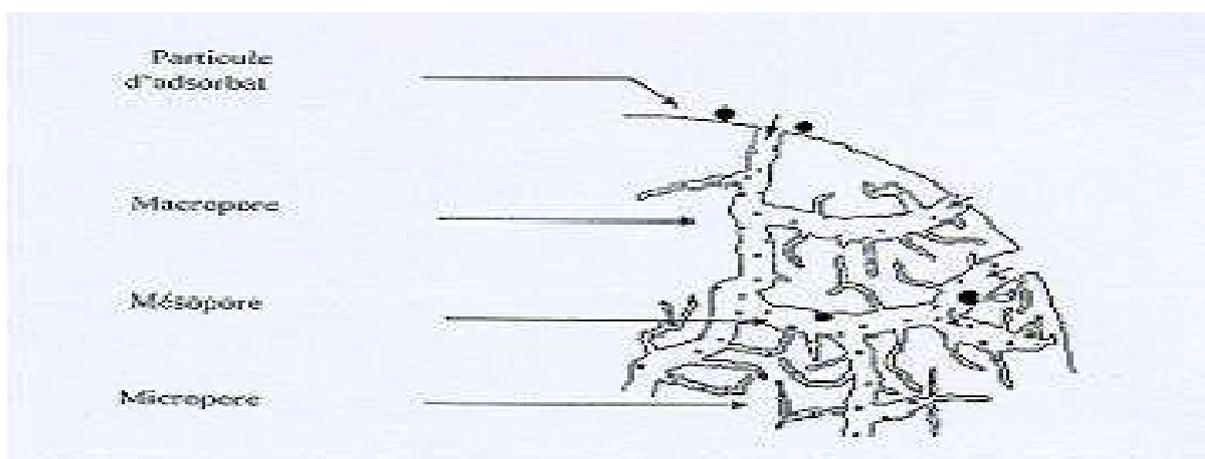


Figure II .5. Représentation schématique d'un grain de charbon actif

Les macropores permettent au fluide d'accéder à la surface interne du charbon actif, les

mésopores favorisent le transport de ce fluide et les micropores sont les sites de l'adsorption.

La présence de macropores crée une résistance au transfert de matière, généralement c'est un facteur limitant dans le cas des adsorbants en grain [1].

II.4.2. Surface spécifique

La surface spécifique d'un adsorbant est une surface par unité de masse. Elle est généralement exprimée en $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$. Son estimation est conventionnellement fondée sur des mesures de la capacité d'adsorption de l'adsorbant en question, correspondant à un adsorbat donné [34]. Pour les charbons actifs, cette surface varie entre 100 et 2000 $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$.

Le tableau ci-dessous résume quelques surfaces spécifiques de certains adsorbants

Tableau II. 1 : Surfaces spécifiques de quelques matériaux adsorbants [35]

Matériaux adsorbants	Surfaces spécifiques ($\text{m}^2.\text{g}^{-1}$)
Alumine activée	200-400
Tamis moléculaires carbonés	300-600
Adsorbants à base de polymère	100-700
Zéolites	500-800
Gel de silice	600-800
Charbons actifs	400-2000

Il est nécessaire de distinguer la surface interne de la surface externe d'un adsorbant.

La première est la surface microporeuse représentée par les parois des micropores ; elle peut atteindre plusieurs mètres carrés par gramme.

La deuxième est la surface non microporeuse qui comprend les parois des mésopores et des macropores, ainsi que la surface des feuillets aromatiques [34], comme représenté sur la figure II.6.

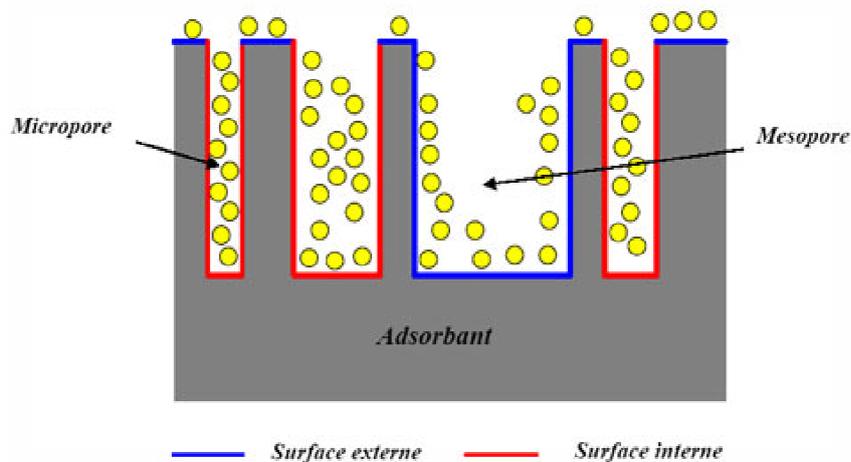


Figure II.6 : Représentation de la surface interne et externe d'un matériau poreux (adsorbant) [34].

II .4 .3. Densité apparente

Elle rend compte de la masse de matériau contenue dans un volume donné, comprenant le volume d'air interstitiel. Une valeur élevée de densité apparente indique une meilleure qualité de charbon actif. Elle est exprimée en kg. m^{-3} .

II .4.4.Granulométrie

Elle conditionne la vitesse d'adsorption, plus le grain est petit, plus le transfert vers le centre est rapide [32].

II.5.Préparation de charbon actif

En général, le charbon est un matériau carboné poreux, il peut être préparé à partir de plusieurs types de matières premières telles l'anthracite, les schistes bitumineux, le bois, la lignine, la coque de noix de coco, la coque d'amande, le grignon et les noyaux d'olives, la pulpe de pomme, les pépins d'oranges, les noyaux de dattes, les grains de café, les noyaux d'abricots, les polymères et les déchets carbonés [35].

II.6. Activation de charbon actif

Les charbons actifs sont produits à partir de deux méthodes d'élaboration différentes : l'activation physique (deux traitements thermiques successifs : la carbonisation et l'activation) et l'activation chimique (un seul traitement thermique suivi de la mise en contact avec un agent activant).

a. Activation physique : elle se déroule en deux étapes :

a.1. La carbonisation de la matière première : Elle permet l'élimination des atomes autres que le carbone (N, H, O, S) contenus dans la matière première pour donner un matériau carboné avec une structure poreuse rudimentaire appelée carbonisât.

Cette étape du procédé est réalisée dans une atmosphère inerte à des températures inférieures à 1000°C (comprises entre 600°C et 900°C en fonction de la matière première). Elle fournit des matériaux ayant une structure poreuse limitée (surface spécifique comprise entre 10 m². g⁻¹ et 100 m². g⁻¹), qui est ensuite développée durant le processus d'activation.

a.2. L'activation physique : est une oxydation ménagée du carbonisât réalisée à haute température (entre 700°C et 1000°C) par un gaz oxydant pendant un temps donné en fonction de la porosité désirée. Les gaz les plus utilisés sont la vapeur d'eau (H₂O) et le dioxyde de carbone (CO₂).

b. Activation chimique

L'activation chimique est généralement réalisée en plusieurs étapes mais elle ne comporte qu'un seul traitement thermique. Dans un premier temps, il s'agit de mettre en contact l'agent activant et la matière première, les agents oxydants les plus utilisés sont l'acide phosphorique (H₃PO₄), la potasse (KOH) et le chlorure de zinc (ZnCl₂). Les mélanges solides obtenus subissent un traitement thermique, sous un flux de gaz inerte (généralement l'azote) à des températures comprises entre 500°C et 900 °C.

Les conditions du traitement thermique dépendent du précurseur et de l'agent activant utilisé. Le CA est ensuite lavé (par exemple à l'acide nitrique HNO₃) puis rincé à l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'un filtrat neutre [36].

II.7. La capacité d'adsorption d'un charbon actif

Plusieurs essais standardisés ont été définis pour caractériser la capacité d'adsorption d'un charbon actif notamment :

- L'indice de phénol déterminant l'efficacité d'un charbon actif pour l'élimination des goûts et odeurs.
- L'indice d'iode caractérise les performances du charbon actif pour l'élimination des composés à faible poids moléculaire (diamètre effectif de la micro pores inférieure à 40 Å) [37].

II .8 . Les utilisations du charbon actif

Les CA sont des adsorbants à très large spectre, très efficaces pour adsorber la matière organique et la micropollution dissoute (organique ou inorganique). Par exemple, les CA permettent d'éliminer la couleur, la pollution dissoute (pesticides, organo-halogénés) ou non (hydrocarbures), les odeurs, le goût. Ces adsorbants sont aussi utilisés pour purifier l'air dans des espaces clos (désodorisation), récupérer des solvants dans l'industrie chimique ou des métaux précieux (or, argent...) et d'autres composés inorganiques dans l'industrie hydro-métallurgique. Dans le traitement des eaux, les charbons actifs sont utilisés pour produire de l'eau destinée à la consommation humaine, pour traiter des eaux de « process » et des eaux résiduaires urbaines ou industrielles, et également chez le particulier. Dans la filière de potabilisation d'une eau, les charbons sont utilisés pour traiter, par exemple, des pollutions accidentelles ou saisonnières de la ressource en eau, ou pour l'affinage de la qualité de l'eau dans un traitement tertiaire [37].

II .9. Les applications de charbon actif

A cause de ses propriétés physico-chimiques et sa surface spécifique importante, il est utilisé comme :

II.9.1 . Adsorbant

Grace a ses propriétés particulières (grande surface spécifique, hétérogénéité chimique et structurale), le charbon actif est capable d'adsorber toute sorte de composés organiques et inorganiques.

Cependant, l'adsorption est un phénomène qui dépend non seulement de la nature physique et chimique de l'adsorbant, mais aussi de la nature de l'adsorbat (pKa , groupe fonctionnels présents, polarité, poids moléculaire, taille) et de la solution (pH, force ionique, concentration en adsorbat) [38].

II.9.2. Support catalytique

Le charbon actif dispose de plusieurs avantages permettant de l'utiliser comme support catalytique : surface spécifique élevée, résistance a l'attrition, stabilité chimique a la fois en milieu acide et basique, stabilité thermique relativement importante, variété de formes (Poudre, granules, extrudés, tissus, fibres, ...) et de propriétés physico-chimiques (distribution de taille de pores, polarité de surface ...). De plus, après réaction, le charbon actif peut être brûlé pour récupérer les métaux qui s'accumulent dans les cendres [39].

II.9.3. Catalyseur

Le charbon peut agir comme catalyseur de différentes réactions (hydrogénation, oxydation et polymérisation) du fait de ses propriétés électroniques tantôt de conducteur, semi-conducteur ou d'isolant.

II.10. Les déchets synthétique (pneu)**II.10.1. Historique**

Un pneu de voiture ou d'engin est composé principalement d'un mélange de caoutchouc, de noir de carbone, d'aciers et de textile divers. Les pneus usés ne sont pas catégorisés comme déchets toxique ou dangereux, mais en cas d'incendie un dépôt de pneus présente un danger pour la santé et l'environnement. Mis en décharge, les pneus provoquent une instabilité du sol de la décharge, se dégradant très lentement et créant des lieux propices à la nidification des moustiques et des rats. De plus, cela constitue un énorme gaspillage vu

qu'un pneu à un pouvoir calorifique élevé. Une directive européenne interdit la mise en décharge de pneus entiers à partir de 2003 [40].

A cet effet, il est grandement intéressant de savoir qu'il est difficile et coûteux à la fois d'assurer une bonne gestion des déchets quelque soit sa nature et en particulier les pneus, tout en respectant l'environnement. Mais de part le monde la création des entreprises homologuées devient une nécessité incontournable pour collecter les pneus usés afin de les valoriser. Jusqu'à la décade précédente, le développement et la protection de l'environnement étaient des tendances qui apparaissaient comme de grande contradiction idéologique c'est ainsi que dans les années quatre-vingts, un certain nombre de catastrophes comme les forêts mortes, les lacs atrophiés, les accidents des entreprises chimiques et la disparition de certaines espèces animales, ont fini par changer l'opinion publique mondiale. On commençait alors à reconnaître que les investissements en faveur de la protection de l'environnement, ne sont plus des pertes pour la communauté et peuvent constituer une contribution positive dans le développement économique (réalisation de profit en termes de bilan) et la protection sociale (lutte contre le chômage) [40].

Dans cette ordre d'idée de développement économique et de la promotion sociale, les statistiques faites au niveau de la wilaya de Ouargla qui présente une zone d'activité industrielle très importante, est en particulier le secteur d'hydrocarbure qui couvre la totalité du budget national, ayant un parc roulant qui est estimé à un chiffre global toutes catégories confondues de l'ordre de 60.000 pneus. Arrêté au 31/11/2003 par les services de mines de la wilaya, on peut conclure qu'elle présente une source intarissable. Qui demande une gestion rationnelle pour en tirer profit.

II.10.2. Définition et caractéristiques physiques des pneus [41]

1. Les structures diagonale (nappes croisées), diagonale ceinturée et radiale sont les plus courantes.
2. Près de 80 % de tous les pneus vendus sont à carcasse radiale.
3. Les pneus portent sur leurs flancs des informations, qui varient d'une législation nationale et d'un fabricant à l'autre, pour permettre aux acheteurs de vérifier que le produit répond bien à leurs besoins

- a. « **Bande de roulement** » (1) : partie du pneu conçue pour entrer en contact avec le sol
- b. « **Rainure** » (2) : espace entre deux nervures ou deux pavés adjacents des sculptures du pneu
- c. « **Flanc** » (1) : partie située entre la bande de roulement et la zone de contact du pneu avec le rebord de la jante
- d. « **Nappe** » ou « **pli** » (4, 5) : couche de gomme armée de câbles disposés parallèlement les uns aux autres. Dans les pneus à carcasse radiale, les nappes jouent un rôle de stabilisation
- e. « **Câbles** » (6) : faisceaux de fils toronnés constituant la « trame » ou « toile » des nappes.
- f. « **Carcasse** » (7) : élément structural autre que la bande de roulement et la couche extérieure de gomme recouvrant les flancs qui, lorsque le pneu est gonflé, supporte la charge
- g. « **Largeur du boudin** » ou « **largeur (de section) du pneu** » (8) : dimension extérieure mesurée d'un flanc à l'autre du pneu lorsque celui-ci est monté sur la jante de mesure spécifiée et gonflé, épaisseurs des marquages, décorations et bandes ou bourrelets de protection non compris;
- h. « **Ceinture** » (9) : nappe(s) à armature sensiblement parallèle au plan de rotation de la roue qui, située(s) en dessous de la bande de roulement, enserre(nt) le pourtour de la carcasse des pneus à architecture radiale ou diagonale ceinturée pour limiter leur dilatation circonférentielle
- i. « **Talon** » (10) : partie permettant au pneu, grâce à sa forme et à sa structure, d'épouser le contour de la jante et de se maintenir sur celle-ci
- j. « **Bande de renfort du talon** » ou « **bandelette talon** » (11) : partie du talon servant à protéger la carcasse contre l'usure par frottement ou abrasion sur le rebord de la jante.

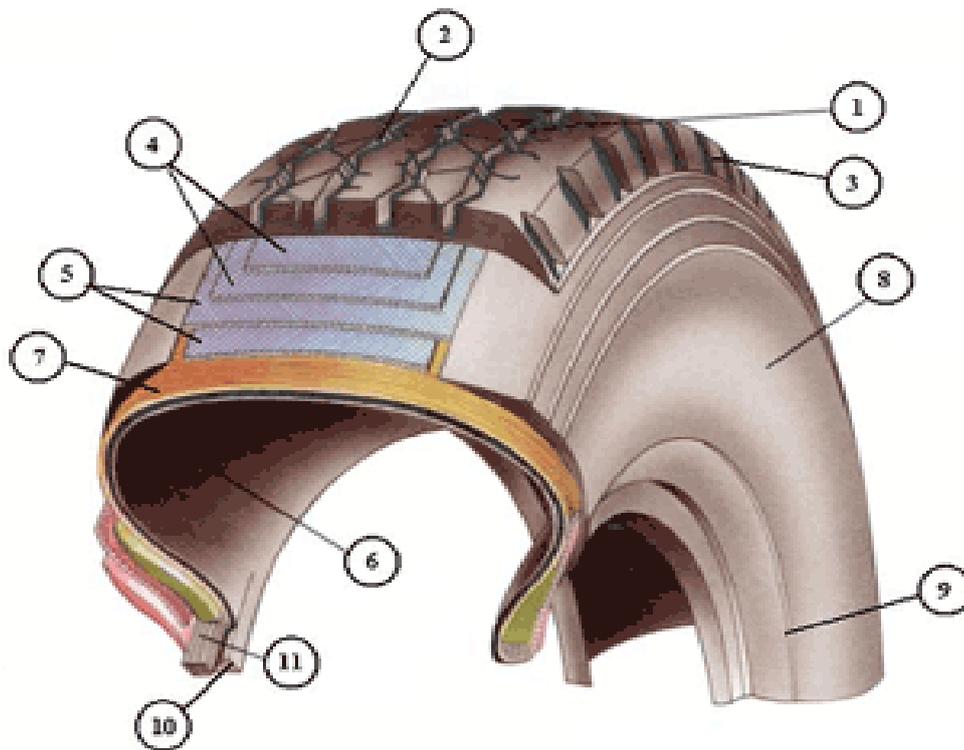


Figure II.7. Coupe de pneu

II.11. Caractéristiques physiques des pneus :

Sur le plan chimique, un pneu est un mélange à base de caoutchouc synthétique ou naturel, dans lequel sont ajoutées des éléments améliorant les qualités de résistance et de sécurité, tels les plastifiants, les charges renforçant (noir de carbone), et les agents vulcanisant (dont le soufre).

D'autres composés chimiques sont ajoutés pour rendre plus performante la délicate opération de vulcanisation (accélérateur ultra accélérateur, activateurs, oxyde de zinc-odorants) [42]. Cependant, il faut savoir que la composition réelle des pneus est largement gardée secrète par les manufacturiers, rendant par là même, leurs recyclages plus difficiles. Le tableau (II.2), donne la composition moyenne d'un pneu pour véhicule léger (VL)

Tableau II.2. Composition moyenne d'un pneu VL en Europe [40]

Matériaux /éléments	Pourcentage massique
Caoutchoucs	48%
Noir de carbone	22%
Acier	15%
Textile	5%
Oxyde de zinc	1%
Soufre	1%
Additif	8%

Le tableau (II.3.), présente aussi d'autres caractéristiques des pneus telles que :

Tableau II. 3. caractéristiques physiques d'un pneu [40]

caractéristiques	Tourisme (VL)	Poids lourds (PL)
Poids moyen	7Kgs	50Kgs
Densité moyenne	0.2 entier	0,4déchiqueté
Nombre de pneu /m ³	20	3
Présence de métal	15%	25%

II.12. Les fonctions et la structure du pneumatique :

La structure radiale du pneumatique est constituée d'une carcasse textile très souple verticalement afin de permettre un contact optimal à pression uniforme du pneumatique sur le sol, et d'une ceinture métallique très raide longitudinalement et transversalement, qui permet d'engendrer des efforts longitudinaux et transversaux aussi élevés que possible pour les fonctions de transmission et de guidage. La zone basse, constituée d'une tringle et

d'un talon, permet d'assurer le montage de l'enveloppe sur la jante; l'étanchéité est assurée par une gomme intérieure très imperméable à l'air. [43]

II.13. Valorisation est domaine d'application des pneumatiques :

Les problèmes engendrés par la dispersion de déchets de pneus rendent difficiles leur collecte et leur valorisation. Ces déchets constituent alors une menace de nuisance pour notre environnement : dépôts sauvages, émission de fumées toxiques dues au brûlage; la mise en décharge constitue un gaspillage de matière et d'énergie. Cependant les pneus usagés peuvent suivre différentes filières de valorisation : [40]

a. Le réemploi :

Rechapage, revente d'occasion, réutilisation en ensilage par les agriculteurs.

b. La valorisation énergétique :

Le caoutchouc a un pouvoir calorifique élevé. Les déchets de pneus peuvent donc servir de combustible de qualité dans les cimenteries et chaudières industrielles. [40]

c. La valorisation en matière :

Broyage en poudre pour une utilisation en revêtement de sol. [40]

d. La valorisation en travaux publics :

Le broyage de pneus utilisés comme : remblais, confortement de digue et le recyclage sous forme de déchiquetés, granulats dans les applications du type enrobés, etc.

Utilisation de granulats en caoutchouc issus de broyage de pneus usagés, en substitution volumique des granulats naturels dans la confection du béton [44].

e. les fibres métalliques peuvent être utilisées comme renfort, c'est l'objectif de notre étude.

III.1. Généralités sur les colorants

III.1.1. Définition

Les colorants sont des composés généralement organiques, naturels ou synthétiques, qui ont la propriété de colorer durablement le support sur lequel ils sont appliqués [45,46]. Ils sont caractérisés par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (380 à 750 nm) [46]. En général, les colorants consistent en un assemblage de groupes chromophores, auxochromes et de structures aromatiques (Tableau III.1) [47]. Ils sont utilisés pour colorer les textiles, les encres, les peintures, les vernis, les produits alimentaires, ... etc.

Tableau III.1 : Principaux groupes chromophores et auxochromes classés par intensité croissante [47].

Groupes chromophores	Groupes auxochromes
Azo ($-N=N-$)	Amino ($-NH_2$)
Nitroso ($-NO$ ou $-N-OH$)	Méthylamino ($-NHCH_3$)
Carbonyl ($=C=O$)	Diméthylamino ($-N(CH_3)_2$)
Vinyl ($-C=C-$)	Hydroxyl ($-HO$)
Nitro ($-NO_2$ ou $=NO-OH$)	Alkoxy ($-OR$)
Sulfure ($>C=S$)	Groupes donneurs d'électrons

III.1.2. Classification

Les principaux modes de classification des colorants reposent soit sur leur constitution chimique (classification chimique), soit sur leurs méthodes d'application aux différents substrats (classification tinctoriale) [47,48]. Le classement d'après la structure chimique (Tableau III.2) s'appuie principalement sur la nature du chromophore, qui constitue le squelette nécessaire à la coloration de la molécule [46]. Cependant, les autochromes définissent la classe tinctoriale (Tableau III.3) [47]. Ces deux modes de classification sont loin d'être identiques; la preuve en est le cas des colorants réactifs, qui se distinguent par la possibilité d'établir une véritable liaison, covalente avec le substrat, mais dont les chimies de colorants, en particulier les familles azoïques, anthraquinoniques et phtalocyanines [47].

Tableau III.2 : Classification chimique des colorants [47,45]

Colorants	Caractéristiques et propriétés générales
Azoïques	<ul style="list-style-type: none"> - Présence du groupe fonctionnel AZO ($-N=N-$) qui peut être répété plusieurs fois dans la molécule pour former les diazoïques, trisazoïques, ... etc. - Toxiques, cancérigènes et récalcitrants aux traitements biologiques. - Constituent 50 % de la production mondiale des colorants. - Se répartissent en colorants acides, basiques, directs et réactifs solubles dans l'eau, dispersés, ... etc.
Anthraquinoniques	<ul style="list-style-type: none"> - Les plus importants après les colorants azoïques. - Forme générale dérivée de l'antracène. - Leur chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher de groupes hydroxyles ou amino. - Couvrent toute la gamme de nuances jaune-orange-rouge - Solidité à la lumière et vivacité des coloris surtout dans le bleu et le turquoise.
Indigoïdes	<ul style="list-style-type: none"> - Forme générale dérivée de l'indigo. - Résistance remarquable aux traitements de lavage. - Faible solidité à la lumière.
Polyméthiniques	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de groupements hétérocycliques donneurs et accepteurs d'électrons aux extrémités d'une chaîne polyméthiniques - Faible résistance à la lumière et bons sensibilisateurs photographiques (particulièrement les cyanines).
Nitrés et nitrosés	<ul style="list-style-type: none"> Présence d'un groupe nitro ($-NO_2$) en position ortho par rapport à un groupement électrodonneur (hydroxyle ou groupes aminés). - Structure simple, très limité en nombre et relativement pas cher.
Xanthènes	<ul style="list-style-type: none"> - Intense fluorescence. - Marqueurs lors d'accident maritime ou traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines.
Thiazines	<ul style="list-style-type: none"> - Présence d'un anneau de quatre carbones, un azote et un atome de soufre.
Phtalocyanines	<ul style="list-style-type: none"> - Structure complexe basée sur l'atome central de cuivre. - Employés dans l'industrie de pigments pour peinture et dans la teinture des fibres textiles.

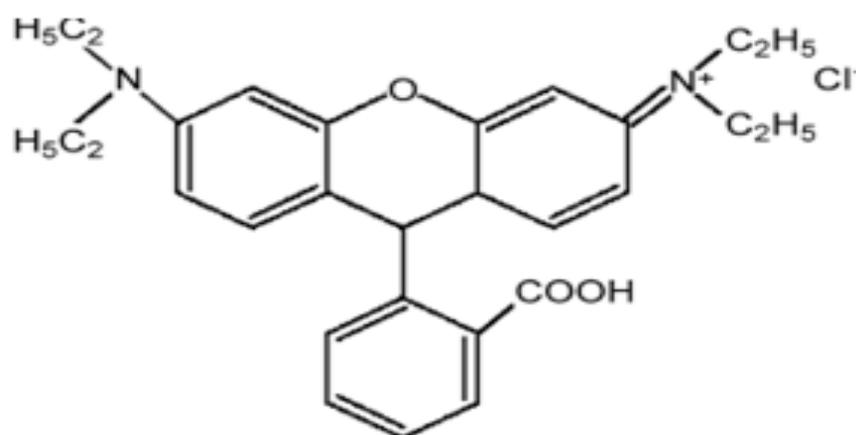
Tableau III.3 : Classification tinctoriale des colorants [46, 47,48].

Colorants	Caractéristiques et propriétés générales
Directs	<ul style="list-style-type: none"> - Capables de former des charges positives ou négatives électrostatiquement attirées par les charges des fibres. - Affinité élevée pour les fibres cellulosiques sans application de mordant (teindre directement le coton). - Prix modéré, facilité d'application et faible solidité aux traitements de lavage.
Colorants de cuve	<ul style="list-style-type: none"> - Insolubles dans l'eau. - Utilisés pour l'application de l'indigo qui nécessite la préparation d'une cuve de bonne résistance aux agents de dégradation.
Réactifs	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïques, anthraquinoniques et phtalocyanines - Présence d'une fonction chimique réactive de type triazinique ou vinylsulfone assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres. -Solubles dans l'eau.
Colorants à mordant	<ul style="list-style-type: none"> -Présence d'un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile.
Basiques ou cationiques	<ul style="list-style-type: none"> - Solubles dans l'eau (car ils sont des sels d'amines organiques). - Forment des liaisons entre leurs sites cationiques et les sites anioniques des fibres. - Faible résistance à la lumière.
Dispersés	<ul style="list-style-type: none"> - Très peu solubles dans l'eau. - Application sous forme d'une fine poudre dispersée dans le bain de teinture.

III.2. Rhodamine B

La Rhodamine B, le composé modèle de cette étude, est un colorant basique de la classe des xanthènes. Elle se présente sous forme de cristaux d'un vert sombre. Elle est largement utilisée comme colorant dans l'industrie textile et alimentaire, et comme traceur fluorescent dans l'eau pour déterminer la vitesse et la direction des écoulements des rivières souterraines [49].

La Rhodamine B est un colorant nocif en cas d'ingestion, irritant pour les voies respiratoires et la peau [50,51]. Elle peut provoquer des lésions oculaires graves en cas de contact avec les yeux [51]. En outre, elle est potentiellement génotoxique, neurotoxique et cancérigène [52,53]. Les effets mutagènes de la Rhodamine B sur les animaux, les bactéries et les insectes sont bien établis [51]. Des expériences faites sur des animaux de laboratoire ont montré que la Rhodamine B peut provoquer des effets reproductifs et tumoraux [51]. La structure moléculaire de la Rhodamine B est présentée sur la Figure III.1. Les principales caractéristiques physiques et chimiques de la Rhodamine B sont regroupées dans le Tableau III.4.



Rhodamine B
 $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$

Figure III.1: Structure moléculaire de la Rhodamine B.

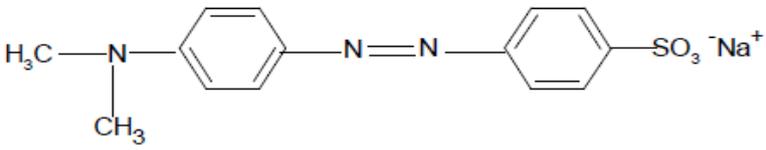
Tableau III.4 : Caractéristiques physiques et chimiques de la Rhodamine B [51-54]

Identification du produit		Propriétés physiques et chimique	
Formule chimique	$C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$	Aspect	Solide vert
Abréviation	RhB	Couleur	Rouge
Autre nom (IUPAC)	N-[Carboxyphényl]-6-(Diéthylamino) 3H-xanthén-3-ylide] Diéthylammonium chloride	Odeur	Inodeur
		Solubilité dans l'eau	34g/l à 20°C
		Solubilité dans l'éthanol	Parfaitement soluble
Numéro CAS	81-88-9	Densité	0,79 g/cm ³ à 20°C
Masse moléculaire	470,02 g/mole	pK _a	3,7
		ϵ (L mol ⁻¹ cm ⁻¹)	1,15×10 ⁵ à pH 7
		λ_{max} (nm)	551- 555

III.3. Méthyle orange MO

L'hélianthine, autrement appelée méthylorange(MO), orangé III ou encore orangé de méthyle, est un indicateur coloré utilisé en chimie pour marquer la présence d'un milieu acide (il vire en rose-rouge) ou d'un milieu basique (il vire en jaune-orangé). On l'utilise donc pour les dosages acido-basiques. Sa formule chimique est $C_{14}H_{14}N_3O_3SNa$ lorsqu'il est sous forme de sel. Le couple acide-base correspondant est $C_{14}H_{14}N_3O_2S-OH / C_{14}H_{14}N_3O_2S-O^-$.

Tableau III.5 : Propriété physico-chimique du méthyle orange MO [55]

Composé	Propriétés Physico – Chimique
Structure	
Masse Moléculaire (g.mol ⁻¹)	327,34
pK _a	3,7
Solubilité	5,2 g/l dans l'eau à 20° C 1.0 g/l dans l'éthanol à 20° C
Couleur	Rouge orange à pH <3 ,2 et Jaune à pH >4 ,4
Fonction	Sulfonâtes de Sodium (SO ₃ Na), groupement Azo (N=N) et Amine tertiaire
DL50 (mg/kg)	4100

IV.1. Méthode de préparation des charbons actifs à base de déchets synthétiques (pneus)**IV. 1.1. Matériels**

Les déchets de pneus utilisés dans ce travail proviennent des pneus usés d'une même voiture (Michelin 17565R1482T). L'acide phosphorique concentré (85%) est utilisé comme agent d'activation.

IV.1.2. Méthodes**IV.1.2.1. Echantillonnage**

Le précurseur a été abondamment lavé à l'eau distillée puis séché à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. Il est ensuite broyé et tamisé pour ne retenir que la fraction choisie.

IV.1.3. Préparation des charbons actifs par activation chimique

Dans ce type d'activation, la carbonisation et l'activation sont menées en une seule étape. Le matériau de base est d'abord imprégné avec un agent chimique (H_3PO_4).

La porosité dépendra de la nature du précurseur, celle de l'adjuvant chimique et de son taux d'imprégnation.

L'imprégnation est réalisée pour la poudre des déchets synthétiques de diamètre $d < 100 \mu m$ à raison de 2ml/g. Le mélange est porté à reflux pendant deux heures ; temps estimé suffisant pour que l'acide phosphorique puisse occuper toute la surface du substrat. Le mélange est ensuite placé à la température voulue dans un four tubulaire programmable sous flux de N_2 , avec une montée de température de 5°C/min. L'activation est maintenue pendant 1 heure, à une température de 550°C.

Enfin, le charbon est lavé à l'aide d'un soxhlet puis filtré, en suite sécher dans une étuve à 120°C durant deux heure

IV.2. Caractérisation physico-chimique des charbons actifs préparés**IV.2.1. Caractérisation texturale****IV.2.1.1. Le titrage de masse****Définition du concept**

Lorsqu'un liquide est en contact avec une surface, celle-ci se charge à cause de la dissociation des molécules de surface, cette dissociation dépend des espèces présentes dans la solution, de son pH...etc. [3].

Le potentiel zêta du charbon actif permet une estimation de la charge de surface portée par celle-ci et par conséquent, peut conduire à une interprétation des résultats obtenus lors de l'adsorption de composés polluants.

Le pH pour lequel la surface du charbon a une charge nulle, noté PZC, peut expliquer le comportement du charbon à travers le polluant dissout dans la solution. Si le pH de solution est inférieur au pHPZC, le comportement sera basique, ce qui favorise l'adsorption des espèces anioniques. Mais si le pH est supérieur, la surface présente une charge négative, ce qui favorise l'adsorption des espèces cationiques [56]

IV.2.1.2. La surface spécifique par méthode de BET

C'est une technique non destructive qui a été proposée par Brunauer, Emmet et Teller en 1938, elle a pour but de mesurer la surface spécifique des matériaux divisés, ainsi que de déterminer leur structure poreuse (micro et mésoporosité) [57].

IV.2.1.2.1. Définition de la surface spécifique

La surface spécifique est la surface développée par unité de masse du solide poreux, elle tient compte de toutes les irrégularités de surface qui existent à l'échelle moléculaire. Plus cette surface est grande, plus la quantité de matière adsorbée est importante.

IV.3. Produit et appareillage**IV.3.1. Produits chimiques**

- Rhodamine B.
- Méthyle orange.
- Charbon actif préparé à partir des déchets synthétiques (pneu)
- Charbon actif commercial (Darco , produit Aldrich) .
- Hydroxyde de sodium NaOH (PANREAC QUIMICA).
- Acide chlorhydrique HCl (PANREAC QUIMICA).

IV. 3.2. Appareillage

- Balance analytique de marque (KERN ALS 220-4N).
- ErlenMayer.
- pH mètre (HANNA PH 211).
- Etuve (WST 5020).
- UV/VIS (UV-6800 SPECTROPHOTOMER) ; Jenway.
- Agitateur magnétique.
- Secoueur (Edmud Buhler GmbH SM-30)
- Eprouvette
- Fiole jugé

IV.4. Application à l'adsorption**IV.4 .1. Cinétique d'adsorption**

Cette étude permet de suivre les variations de concentration de polluant en fonction du temps de contact. Le temps de saturation (ou d'équilibre) correspondant aux charbons est donc déterminé. Il s'agit du temps à partir du quel la concentration n'évolue plus. Cela est obtenu en traçant le rendement d'adsorption an fonction du temps t.

- **Démarche expérimentale**

Préparation des solutions

Les solutions ont été préparées en mélangeant des volumes de 50 ml de solutions des colorants à des concentrations variant entre 5 et 100 mg/L, avec une masse de 0,05 g du charbon actif, puis elles ont été filtrées afin d'éliminer les particules non solubilisées ensuite mises dans des flacons afin de les protéger contre les effets de la lumière.

L'homogénéisation des mélanges est assurée par un agitateur à barreau magnétique avec une agitation constante de 200 tr/min. Des prélèvements ont été effectués à différents intervalles de temps (5, 10, 20, 30, 60, 120, 240, et 360 min), et après séparation de l'adsorbat par filtration, la concentration du colorant a été déterminée par spectrophotométrie avec longueur d'onde ($\lambda = 553$ nm pour la Rhodamine et $\lambda = 463$ nm pour le méthyle orange) [58].

IV.4.2. Etablissement de l'isotherme d'adsorption

L'étude de l'isotherme d'équilibre d'adsorption est fondamentale pour la détermination de la capacité et de la nature d'adsorption. Une isotherme d'adsorption est la représentation à température et pression constantes de la quantité Q_e d'entités à l'équilibre sur un matériau en fonction de leur concentration en solution C_{eq} .

Pour quantifier la relation entre Q_e et C_{eq} , deux modèles vont être étudiés à savoir le modèle de Freundlich et de Langmuir.

IV.4.2.1. Effet de la masse de l'adsorbant

Les essais ont été réalisés par agitation de 50 ml de solutions des colorants à 50 mg/L, avec différentes masses de charbon actif (0,02 - 0,03 - 0,04 - 0,06 - 0,08 - 0,1 et 0,12g), sous une agitation constante de 200 tr/min, pendant 300 min, à température 25°C en protégeant les échantillons contre les effets de la lumière. Des petits volumes de chaque échantillon ont été soutirés, centrifugés et la concentration résiduelle du colorant a été déterminée.

IV.4.2 .2 . Effet du pH

Des échantillons de charbon actif de masses toutes égales à 0,05 g ont été mélangés avec des volumes 50 ml des deux solutions, l'une avec la Rhodamine et l'autre avec le méthyle orange à 50 mg/L, dans des bouteilles recouvertes. Le pH des solutions a été ajusté pour des valeurs suivantes : 1, 3, 5, 7, 9 et 11 en ajoutant soit quelques gouttes de solutions concentrées de HCl ou NaOH 0,1 M. Les mélanges ont été ensuite agités pendant 300 min à 200 tr/min, à température ambiante.

Les concentrations résiduelles des colorants ont été déterminées par spectrophotométrie UV-Visible à la longueur d'onde ($\lambda = 553$ nm pour le Rhodamine et $\lambda = 463$ nm pour le méthyle orange).

Introduction

L'eau est un élément essentiel dans notre vie. De ce fait sa pollution constitue le danger le plus redoutable pour l'humanité.

Les polluants qui altèrent la qualité des eaux sont divers et diversifiés notamment les colorants synthétique. Leur toxicité remarquablement élevée à inciter les services chargée de la protection de l'environnement à normaliser sa concentration dans l'eau afin de réduire ses impacts sur l'homme et l'environnement.

De nombreuses méthodes ont été développées pour le traitement des eaux polluées par les colorants synthétique. Toutefois, l'adsorption s'avère la technique de choix pour l'élimination de ce polluant.

L'avantage majeur de cette technique est sa possibilité d'employé plusieurs type d'adsorbant. Les charbonsactif, surtout activées ont prouvées une efficacité impressionnante dans l'élimination du colorant synthétique.

C'est dans ce contexte général que se propose cette étude ayant pour objectif d'évaluer l'efficacité d'élimination des colorants présents dans l'eau par adsorption sur charbons actifs comme solide de référence, l'étude a porté sur l'élimination de ces deux colorants en fonction des différents facteurs susceptibles d'affecter le rendement de cette réaction et aussi de comparer les performances de cette adsorption sur notre charbon actif préparé à partir de déchet synthétique (*Le pneu*) avec un charbon actif commercial.

Ainsi, notre travail comporte trois chapitres :

- Le premier chapitre, est consacré à une étude bibliographique où un bref rappel sur l'adsorption est donné.
- Le deuxième chapitre sur les matériaux adsorbants (charbons actifs).
- Le troisième chapitre décrit les différents colorants utilisés.
- Le quatrième chapitre présente des méthodes et matériels expérimentales.
- Le dernier chapitre expose les différents résultats obtenus, leur discussion.

Enfin, une conclusion générale rassemble les principaux résultats de cette étude

Résumé

Le développement des procédés s'adsorption sur charbon actif a mené les chercheurs à élaborer des charbons de plus en plus spécifiques. Le charbon actif non traité n'a pas des propriétés adsorbantes particulièrement intéressantes. Par contre, s'il subit un traitement adapté, les modifications de la physico-chimie de surface lui octroient de nouvelles caractéristiques.

L'objectif du présent travail est de donner une étude comparative entre le charbon actif commercial CAC et le charbon actif préparé à partir de déchet synthétique (*le pneu*) CAP dans l'adsorption de la rhodamine B et le méthyle orange. Cette étude d'adsorption a été effectuée pour les deux colorants en phase aqueuse avec une température de 25°C sous agitation constante pour les deux sortes de charbon actif. L'équilibre est atteint presque en même temps pour les deux charbons actifs.

Le pseudo deuxième ordre est plus représentatif sur les deux types de charbons dans la modélisation de la cinétique.

Les isothermes d'adsorption sont toutes du type L, la modélisation par Freundlich présente le meilleur coefficient de corrélation.

Mots clés : adsorption, Charbon actif, le pneu, rhodamine B, méthyle orange

Abstract

The development of adsorption's processes on the activated carbon leads the researchers to prepare the carbons more specific. The activated carbon non-treated hasn't good properties. But if we treat it, the modification of the physico-chemical of the area surface will give new characteristics.

Summary the objective of this work is to give a comparative study between the activated carbon commercial CAC and the activated carbon prepared starting from CAP synthetic waste (the tire) in the adsorption of rhodamine B and methyl orange. This study of adsorption was carried out for the two dyes in an aqueous phase with a temperature of 25°C under constant agitation for the two kinds of activated carbon. Balance is reached almost at the same time for the two activated carbon. The pseudo second order is more representative on the two types of coals in the

modeling of the kinetics. The isotherms all of adsorption of the type L, modeling by Freundlich presents the best coefficient of correlation.

Keywords: adsorption, Activated carbon, the tire, rhodamine B, orange methyl

ملخص

إن تطور أساليب الامتزاز على الفحم النشطة قادت الباحثين لتحضير فحوم ذات خصائص فريدة. إن الفحم غير المعالج ليست له خصائص ذات فائدة مهمة. في حين أننا أخضعناها إلى معالجة مكيفة , فان التغييرات الفيزيو-كيميائية للسطح سوف تكسبه خصائص جديدة .

و الهدف من هذا العمل هو إعطاء دراسة مقارنة بين الفحم المنشط التجاري و الفحم المنشط الذي اعد من النفايات الصناعية (العجلات المطاطية) في امتزاز رودامين ب و الميثيل البرتقالي . و قد اعد الفحم المنشط بالتنشيط الكيميائي للعجلات المطاطية مع حامض الفوسفوريك في 550 درجة مئوية و قد أجريت هذه الدراسة الامتزاز في المرحلة المائية مع درجة حرارة 25 درجة مئوية مع التحريك المستمر لنوعين من الكربون المنشط. يتم التوصل إلى توازن في نفس الوقت تقريبا لكلا الفحم النشطة. و الايسوترم الأكثر تمثيلا هو فرنديتش

Annexe A

1. Tableaux de récapitulation de la courbe d'étalonnage

Rhodamine B

<i>CC (mg/l)</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>1,5</i>	<i>2</i>	<i>2,5</i>	<i>3</i>	<i>3,5</i>	<i>4</i>
<i>Abs</i>	<i>0</i>	<i>0.2665</i>	<i>0.3669</i>	<i>0.4937</i>	<i>0.537</i>	<i>0.5437</i>	<i>0.8377</i>	<i>0.8948</i>

Méthyle orange

<i>CC (mg/l)</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>1,5</i>	<i>2</i>	<i>2,5</i>	<i>3</i>	<i>3,5</i>	<i>4</i>
<i>Abs</i>	<i>0</i>	<i>0.4828</i>	<i>0.5953</i>	<i>0.6888</i>	<i>0.841</i>	<i>0.9449</i>	<i>-</i>	<i>-</i>

Les Annexes

Annexe C

3. Tableaux récapitulatifs de l'effet de la concentration sur la cinétique d'adsorption pour CAP

Rhodamine B

<i>T (min)</i>	<i>Q (mg/g)</i>		
	<i>25</i>	<i>50</i>	<i>100</i>
<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>5</i>	<i>12,981</i>	<i>36,576</i>	<i>60,135</i>
<i>10</i>	<i>16,747</i>	<i>40,797</i>	<i>64,729</i>
<i>20</i>	<i>17,509</i>	<i>41,067</i>	<i>66,441</i>
<i>30</i>	<i>18,270</i>	<i>41,333</i>	<i>71,891</i>
<i>60</i>	<i>19,328</i>	<i>41,968</i>	<i>78,513</i>
<i>120</i>	<i>20,684</i>	<i>42,684</i>	<i>80,135</i>
<i>240</i>	<i>22,040</i>	<i>43,545</i>	<i>85,045</i>
<i>360</i>	<i>22,504</i>	<i>43,783</i>	<i>88,693</i>

Méthyle orange

<i>T (min)</i>	<i>Q (mg/g)</i>		
	<i>25</i>	<i>50</i>	<i>100</i>
<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>5</i>	<i>17,747</i>	<i>40,674</i>	<i>73,478</i>
<i>10</i>	<i>18,829</i>	<i>41,730</i>	<i>77,950</i>
<i>20</i>	<i>19,099</i>	<i>42,258</i>	<i>81,868</i>
<i>30</i>	<i>19,170</i>	<i>45,865</i>	<i>85,079</i>
<i>60</i>	<i>20,140</i>	<i>46,627</i>	<i>89,410</i>
<i>120</i>	<i>20,598</i>	<i>46,832</i>	<i>95,275</i>
<i>240</i>	<i>20,832</i>	<i>48,269</i>	<i>95,882</i>
<i>360</i>	<i>21,510</i>	<i>49,120</i>	<i>96,313</i>

Annexe B

2. Tableaux récapitulatifs de la cinétique d'adsorption:

Rhodamine B

	<i>t</i> (min)	<i>0</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>60</i>	<i>120</i>	<i>240</i>	<i>360</i>
<i>50m</i> <i>g/l</i>	<i>Q</i> (mg/g) <i>CAP</i>	<i>0</i>	36,576	40,797	41,067	41,333	41,968	42,684	43,545	43,783
	<i>Q</i> (mg/g) <i>CAP</i>	<i>0</i>	30,364	38,810	40,067	41,175	42,432	43,689	43,900	44,590

Méthyle orange

	<i>T</i> (min)	<i>0</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>60</i>	<i>120</i>	<i>240</i>	<i>360</i>
<i>50</i> <i>mg/l</i>	<i>Q</i> (mg/g) <i>CAP</i>	<i>0</i>	42,777	43,724	44,184	45,263	45,891	46,123	46,193	46,739
	<i>Q</i> (mg/g) <i>CAC</i>	<i>0</i>	40,674	41,730	42,258	45,865	46,627	46,832	48,269	49,120

Annexe F

6. Tableaux récapitulatifs de l'isotherme d'adsorption :

Rhodamine B

CAP

<i>Ce (mg/l)</i>	<i>0</i>	<i>12,248</i>	<i>12,144</i>	<i>7,230</i>	<i>2,275</i>	<i>1,897</i>	<i>1,456</i>	<i>0,921</i>
<i>Qe (mg/g)</i>	<i>0</i>	<i>94,379</i>	<i>63,092</i>	<i>53,462</i>	<i>39,770</i>	<i>30,064</i>	<i>24,271</i>	<i>20,449</i>

CAC

<i>Ce (mg/l)</i>	<i>0</i>	<i>11,371</i>	<i>9,366</i>	<i>2,814</i>	<i>2,144</i>	<i>1,645</i>	<i>0,912</i>	<i>0,197</i>
<i>Qe (mg/g)</i>	<i>0</i>	<i>96,571</i>	<i>67,723</i>	<i>58,981</i>	<i>39,879</i>	<i>30,221</i>	<i>24,543</i>	<i>20,750</i>

Annexe F

6. Tableaux récapitulatifs de l'isotherme d'adsorption :

Méthyle orange

CAP

Ce (mg/l)	0	11,521	8,531	7,902	4,514	1,202	1,018	0,433
Qe(mg/g)	0	96,196	69,114	52,622	37,904	30,498	24,490	20,652

CAC

Ce (mg/l)	0	8,016	5,602	3,929	1,202	1,141	0,532	0,500
Qe (mg/g)	0	104,959	73,995	57,588	40,660	30,536	24,733	20,624

Annexe E

5. Tableaux récapitulatifs de l'effet du pH sur l'adsorption :

Rhodamine B

pH	1	3	5	7	9	11
Q (mg/g) CAP	49,776	49,776	49,392	47,855	48,941	48,974
Q (mg/g) CAC	49,650	49,792	49,276	49,681	49,769	49,861

Méthyle orange

pH	1	3	5	7	9	11
Q (mg/g) CAP	49,903	49,861	49,081	49,029	49,973	49,696
Q (mg/g) CAC	49,925	49,918	49,948	49,896	49,862	49,786

Annexe G

7. Tableaux récapitulatifs des rendements de la cinétique d'adsorption de CAP

Rhodamine B

<i>t (min)</i>	<i>0</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>60</i>	<i>120</i>	<i>240</i>	<i>360</i>
<i>R(%) CAP</i>	<i>0</i>	<i>73,153</i>	<i>81,594</i>	<i>82,135</i>	<i>82,666</i>	<i>83,936</i>	<i>85,369</i>	<i>87,09</i>	<i>87,567</i>
<i>R(%) CAC</i>	<i>0</i>	<i>60,729</i>	<i>77,621</i>	<i>80,135</i>	<i>82,351</i>	<i>84,864</i>	<i>87,378</i>	<i>87,801</i>	<i>89,180</i>

Méthyle orange

<i>t (min)</i>	<i>0</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>60</i>	<i>120</i>	<i>240</i>	<i>360</i>
<i>R(%) CAP</i>	<i>0</i>	<i>85,554</i>	<i>87,448</i>	<i>88,369</i>	<i>90,527</i>	<i>91,782</i>	<i>92,246</i>	<i>92,387</i>	<i>93,478</i>
<i>R(%) CAC</i>	<i>0</i>	<i>81,348</i>	<i>83,460</i>	<i>84,516</i>	<i>91,730</i>	<i>93,255</i>	<i>93,665</i>	<i>96,539</i>	<i>98,240</i>

Annexe D

4. Tableaux de récapitulation de l'effet de masse sur l'adsorption

Rhodamine B

<i>m(g)</i>	<i>0,02</i>	<i>0,03</i>	<i>0,04</i>	<i>0,06</i>	<i>0,08</i>	<i>0,10</i>	<i>0,12</i>
<i>R(%) CAP</i>	75,459	75,666	85,513	95,441	96,198	97,081	99,603
<i>R(%) CAC</i>	77,216	81,234	94,360	95,702	96,702	98,171	99,603

Méthyle orange

<i>m(g)</i>	<i>0,02</i>	<i>0,03</i>	<i>0,04</i>	<i>0,06</i>	<i>0,08</i>	<i>0,10</i>	<i>0,12</i>
<i>R(%) CAP</i>	76,957	82,937	84,195	90,971	97,959	97,963	99,133
<i>R(%) CAC</i>	83,967	88,794	92,141	97,717	98,935	98,595	98,999