



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

////// N° d'enregistrement

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم هندسة الطرائق

Département de Génie des Procédés

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Thème

**Préparation de charbon actif à partir des déchets de
Rhamnus, Application aux traitements des eaux.**

Soutenu publiquement le : 02/06/2024

Par

MOULAY ABDALLAH Ikram

MOULAY ABDALLAH Habiba

Devant le jury composé de :

HELLALI Naima	MCB	Univ. Ghardaïa	Président
BOUAMER Kheira	MCB	Univ. Ghardaïa	Examineur
LAGHOUTER Oum Kelthoum	MCB	Univ. Ghardaïa	Examineur
BENTARFA Djehad	MAB	Univ. Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2023/2024

Résumé

Les déchets de *Zizyphus lotus* (*Rhamnaceae*)(semence) de Metlili dans la wilaya de Ghardaïa-Alegria ont été investis dans ce travail pour préparer du charbon actif par activation chimique. Le charbon actif a été caractérisé en utilisant la Caractérisation Physique (Burn-off) et Microscope Electronique à Balayage (MEB) pour leur structure poreuse et leur morphologie, Caractérisation Chimique (Etude du groupe fonctionnel de surface, et FT-IR Analyse). Les expériences des tests d'adsorption ont été réalisées par l'effet de la masse, de la concentration initiale, du temps, du pH et de la température sur la capacité d'adsorption du Rouge Congo sur charbon actif a été étudié. Les modèle d'adsorption, les isothermes de Langmuir et Freundlich ont été adoptés. Pour étudier la cinétique d'adsorption, un modèle de pseudo-premier ordre, un modèle de second ordre ont été appliqués, finalement est le suivi la qualité physico-chimique des eaux usées après traitement par adsorption sur charbon actif, afin d'évaluer les performances épuratoires par cette méthode.

Les mots clés : adsorption, déchets de Rhamnus, charbon actif, activation chimique, rouge Congo, les eaux usées.

Abstract

Zizyphus lotus (*Rhamnaceae*)(seed)wastefrom Metlilil from Ghardaia city -Alegria was used in this work to prepare activated carbon by chemical activation. The activated carbon was characterized using Physical Characterization (Burn-off) and Scanning Electron Microscopy (SEM) for their porous structure and morphology, Chemical Characterization, (Surface Functional Group Study, and FT-IR Analysis). Adsorption experiments were carried out by studying the effect of mass, initial concentration, time, pH and temperature on the adsorption capacity of Congo Red on activated carbon. Adsorption models, Langmuir and Freundlich isotherms were adopted. To study the adsorption kinetics, a pseudo-first-order model and a second-order model were applied. Finally, the physico-chemical quality of wastewater after treatment by adsorption on activated carbon was monitored to assess the purification performance of this method.

Key words: adsorption, Rhamnus waste, activated carbon, chemical activation, Congo red, waste water

الملخص

استثمرت مخلفات السدر الزيزفون اللوتس (رامينوس) (بذور) منماتليبيولاية غرداية الجزائر في هذا العمل لتحضير الفحم المنشط عن طريق التنشيط الكيميائي. وقد تم توصيف الفحم المنشط باستخدام التوصيف الفيزيائي (الحرق) والمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) للتعرف على بنيتها المسامية ومورفولوجيتها، والتوصيف الكيميائي (دراسة المجموعة الوظيفية السطحية، وتحليل أجر يتتجار بالامتزاز من خلال دراسة تأثير الكتلة والتركيز الأولي والوقت والأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة على قدرة امتزاز الكونغو الأحمر ر على الفحم المنشط. تم اعتماد نماذج الامتزاز، متساوي الحرارة لانجموير وفروندليتش. لدراسة حركية الامتزاز، تم تطبيق نموذج الترتيب الأولي والرتبة الثانية. أخيراً، تمت مراقبة الجودة الفيزيائية والكيميائية لمياه الصر بالصحة بعد المعالجة بالامتزاز على الفحم المنشط من أجل تقييم أداء التنقية لهذه المياه ريقة.

الكلمات المفتاحية : الامتزاز، مخلفات السدر، الفحم المنشط، التنشيط الكيميائي، الكونغو الأحمر، مياه الصر بالصحة.

Dédicace

u, comme le méritent ton visage et ta grandeur
A Dieu avant tout Louange à Die
À celui dont le front est couvert de sueur et qui m'a appris que le succès ne vient qu'avec
la patience et la persévérance

urÀ la lumière qui a éclairé mon chemin et à la lampe qui ne s'éteint jamais dans mon cœ
A celui qui m'a donné la force et l'estime de soi et de qui j'ai tiré la force et l'estime de soi

(Mon cher père)

À celle qui a le paradis sous ses pieds et qui m'a facilité l'adversité par ses prières
ci-me voir un jour comme celui A la grande personne qui a toujours été heureuse de

(Chère maman)

À celle qui m'a dit : « Nous te renforcerons avec ton frère »

.A ma côte ferme et aux souhaits de mes jours, ils ont été mes sources à boire
es et sœurs Au meilleur de mes jours, à la prune de mes yeux, à mes chers frèr
À tous ceux qui m'ont aidé et soutenu sur ce chemin, aux amis et compagnons de longue
date.

À ceux qui m'ont fait part de leurs sentiments et conseils sincères, à ma famille.

toujours souhaité et Je vous dédie cet accomplissement et le fruit de ma réussite que j'ai
Puissant-dont j'ai aujourd'hui achevé et réalisé les premiers fruits par la grâce du Tout

Qu'Allah soit loué pour ce qu'Il m'a donné et qu'Il fasse de moi une bénédiction et qu'Il
nous aide où que je sois.

tneitbo'l » Celui qui dit « je suis pour

Louange à Allah, merci, amour et gratitude pour le début et la fin, et la dernière
supplication est que la louange soit à Allah, Seigneur des mondes.

Moulay Abdallah

Remerciement

Nous tenons à exprimer notre gratitude à la superviseure de mémoire, **Dr. BENTARFA Djehad**. On la remercie de s'être encadré, orienté, aidé et conseillé.

On adresse nos sincères remerciements à **Dr. HELLALI Naima** qu'elle nous a fait en acceptant de présider le jury de ce travail, on remercie **Dr. BOUAMER kheira** et **Dr. LAGHOUITER Oum Kelthoum** qu'elles ont en acceptant d'examiner de cette mémoire, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches.

On tient également à exprimer nos plus profondes gratitudee au Directeur Monsieur **BELKHALFA Hakim** (Centre de Recherche Physico - Analyse Chimique), et à tous ses employés, pour s'être offert toutes les possibilités de mener à bien nos travaux.

On adresse également nos remerciements particuliers à l'entreprise d'ONA qui nous a donné l'aide pour l'analyse de l'eau usée.

On remercie nos très chers parents, qui ont toujours été là pour nous. On remercie nos sœurs et nos frères pour leurs encouragements.

Enfin, on remercie nos amis qui ont toujours été là pour nous. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, on présente nos remerciements, mes respects et nos gratitudee.

Liste des abréviations

Symbole	Signification	Unité
Abs	Absorbance	nm
B	La constante de Temkin	J/mol
C	Constante de diffusion intra-particulaire	-
CAG	Charbon actif en grainula	-
CAP	Charbon actif en poudre	-
σ	Conductivité	ms/cm
DBO	Demande d'oxygène biochimique	mg/l
DCO	Demande chimique en oxygène	mg/l
DRT	La densité de remplissage tassée	-
EDX	Spectroscopie par Dispersion d'Énergie de rayons x	-
ERU	Les eaux résiduaires urbaines	-
FT-IR	Infrarouge	-
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry	-
K_1	La constante de vitesse d'adsorption	(min ⁻¹)
k_d	Constante de la vitesse de la diffusion intra-particulaire	mg/g.min ^{1/2}
K_e	Constante d'Elovich	L/mmol ⁻¹
K_f	La capacité d'adsorption	·[(mg/ g ⁻¹) (l/mg ⁻¹) ^{1/n}]
K_L	La constante d'adsorption de Langmuir	-
K_t	La constante d'équilibre d'adsorption	L/g ⁻¹
MEB	Microscope électronique à balayage	-
n	L'intensité d'adsorption	-
q_e	Quantité d'adsorption à l'équilibre	mg/g
q_{max}	La capacité maximale d'adsorption	(mg/g)
q_t	La capacité d'adsorption au temps t	mg/g
RBG	Rhumnus brute grain	-
RBP	Rhumnus brute poudre	-
RCG	Rhumnus charbon grainula	-
RCP	Rhumnus charbon poudre	-



Liste des tableaux

Tableau I- 1: Caractéristiques typiques des processus d'adsorption physique et de chemisorption [15]	6
Tableau I- 2: Caractéristique de principaux adsorbant industriels[44]	16
Tableau I- 3: Avantages et inconvénient de (CAP) :[51]	18
Tableau II-1: Nomenclature (nom vernaculaire)[69].....	30
Tableau II- 2: La nomenclature des fractions des particules obtenir après le tamisage des échantillons.....	32
Tableau II- 3: propriété de l'acide phosphorique [70]	33
Tableau II- 4: Les valeurs de Burn-off pour les deux charbons actifs	36
Tableau II- 5: les métaux existants dans les échantillons.....	38
Tableau II- 6: les propriétés physico-chimiques de rouge Congo[73]	41
Tableau II- 7: les concentrations préparer avec les volumes de fiole.....	41
Tableau II- 8: Valeurs obtenues pour l'établissement de La courbe d'étalonnage du rouge Congo $\lambda_{max} = 500 \text{ nm}$:.....	42
Tableau II- 9: les conditions opératoires sur l'effet de masse des grains brute et CA	44
Tableau II- 10: les conditions opératoires sur l'effet de masse de poudres brute et CA	44
Tableau II- 11: les valeurs opératoires sur l'effet concentration des grains brute et CA	45
Tableau II-12: les valeurs opératoires sur l'effet de concentration de poudres brute et CA	45
Tableau II-13: les conditions opératoires sur l'effet de temps des grains brute et CA.....	46
Tableau II-14: les conditions opératoires sur l'effet de temps de poudres brute et CA	47
Tableau II- 15: les conditions opératoires sur l'effet de pH des grains brute et CA	48
Tableau II- 16: les conditions opératoires sur l'effet de concentration de poudres brute et CA	48
Tableau II- 17: les conditions opératoires sur l'effet de température des grains brute et CA	50
Tableau II- 18: les conditions opératoires sur l'effet de température de poudres brute et CA	50
Tableau II-19: Paramètres obtenus à partir de l'isotherme de Freundlich du rouge congo sur à RCG, RBG, RCP et RBP25°C	51
Tableau II-20: Paramètres obtenus à partir de l'isotherme de Langmuir du Rouge Congo sur à RCG, RBG, RCP et RBP25°C	53



Listes des figures

Figure I- 1: Phénomène d'adsorption [13]	5
Figure I- 2: Adsorption physique et chimique. [14]	6
Figure I- 3: Mécanisme d'adsorption.[18].....	7
Figure I- 4: Classification des isothermes d'adsorption.[28].....	10
Figure I- 5: Structure des pores du charbon actif.....	21
Figure I-6: Eaux usées Domestique rejetées par une habitation[60]	23
Figure I- 7: Classification proposée des eaux usées domestiques émises par une habitation[60].....	24
Figure I- 8: Nature de la pollution des eaux.[64].....	25
Figure II- 1: RCG 20 um sur 100 kx	37
Figure II- 2: RBG 20 um sur 100 kx	37
Figure II- 3: RCP 20 um sur 100 kx.....	37
Figure II- 4: RBP 20 um sur 100 kx.....	37
Figure II- 5: Le FT-IR des Rhumnus brutes RBG et RBP	39
Figure II- 6: Le FT-IR des Rhumnus charbon RCG et RCP.....	39
Figure II- 7: structure de la molécule rouge Congo	40
Figure II- 8: Le courbe d'étalonnage de rouge Congo	42
Figure II- 9: effet de masse sur l'adsorption du rouge Congo	44
Figure II- 10: effet de concentration sur l'adsorption du rouge Congo	46
Figure II-11: effet de temps sur l'adsorption du rouge Congo	47
Figure II- 12: effet de pH sur l'adsorption du rouge Congo	49
Figure II-13: effet de T sur l'adsorption du rouge Congo.....	50
Figure II-14: diagramme de Freundlich pour l'adsorption du Rouge Congo sur RCG, RBG, RCP et RBP à 25 °C.	51
Figure II- 15: diagramme de Langmuir pour l'adsorption du Rouge Congo sur RCG, RBG, RCP et RBP à 25 °C.	52
Figure II-16: Diagramme de pseudo-premier ordre pour l'adsorption du Rouge Congo sur RCG ,RBG ,RCP et RBP à 25 °C	54
Figure II-17: diagramme de pseudo-second ordre pour l'adsorption du Rouge Congo sur RCG, RBG, RCP et RBP à 25 °C.....	55



Liste des images

Image II- 1: la plante de Rhumnus	29
Image II-2: L'organigramme de prétraitement de la matière première.....	32
Image II-3: la matière première en poudre	33
Image II- 4: la matière première en grainula	33
Image II- 5: L'activation	34
Image II- 6: Lavage et le séchage de matière premier.....	34
Image II- 7: la carbonisation.....	35
Image II- 8: Rouge Congo	40
Image II- 9: Les différentes concentrations afin de créer une courbe d'étalonnage	41
Image II- 10: processus d'adsorption pour la détermination de la masse	43
Image II-11: processus d'adsorption pour la détermination pH	48
Image II-12: processus d'adsorption pour la détermination de la température	49
Image II-13: Station de traitement des eaux usées de L'ONA.	56
Image II-14: L'analyse des paramètres physique des eaux usées de sortie	57
Image II-15: l'analyse des paramètres physique après l'ajoute des échantillons	58

Table des matières

Liste des abréviations.....	I
Liste des tableaux.....	II
Listes des figures	III
Liste des images.....	IV
Introduction générale	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	3
I.1. La pollution.....	3
I.1.1. Les types de pollution	3
I.2. Adsorption	4
I.2.1. Définition d'adsorption	4
I.2.2. Classification des phénomènes d'adsorption	5
I.2.2.1. Adsorption physique (physisorption).....	5
I.2.2.2. Adsorption chimique (Chemi-sorption).....	5
I.2.2.3. Mécanisme d'adsorption	6
I.2.2.4. Principaux facteurs influençant sur l'adsorption.....	7
I.2.2.5. Classification des isothermes d'adsorption.....	9
I.2.2.6. Modèles des isothermes	11
I.2.2.7. Cinétique d'adsorption.....	13
I.2.2.8. Les applications de l'adsorption.....	14
I.2.3. Les adsorbants	14
I.2.3.1. Généralité sur les adsorbants	14
I.2.3.2. Les critères de choix d'adsorbant	15
I.2.3.3. Les principaux adsorbant	15
I.3. Le charbon Actif	16

I.3.1.	Les Différent forme de charbon actif	17
I.3.1.1.	Charbon Actif en Grain (CAG)	17
I.3.1.2.	Charbon actif en poudre (CAP)	18
I.3.1.3.	Charbon actif extrudé.....	19
I.3.2.	Les différents types de charbon actif	19
I.3.2.1.	La biomasse	19
I.3.2.2.	La biomasse végétale	19
I.3.3.	Procédé de fabrication de CA	19
I.3.3.1.	La phase de carbonisation.....	19
I.3.3.2.	La phase d'activation.....	19
I.3.4.	Structure de charbon active	20
I.3.4.1.	Structure physique	20
I.3.4.2.	Structure chimique de charbon (CA).....	21
I.3.5.	Utilisation de charbon Actif (CA).....	21
I.4.	Traitement des eaux usée	21
I.4.1.	Généralité du l'eau usée	22
I.4.2.	Les sources des eaux usées	22
I.4.2.1.	Les eaux usées industrielle	22
I.4.2.2.	Les eaux usées domestiques	23
I.4.2.3.	Les eaux pluviales.....	24
I.4.3.	La pollution des eaux usées.....	25
I.4.3.1.	Types de pollution de l'eau usée	25
I.4.3.2.	Les caractéristiques des eaux usées	26
Chapitre II :	Matériels et Méthodes	29
II.1.	Matérielles et Méthodes.....	29
II.1.1.	La matière végétale.....	29
II.1.2.	Classement des plantes	29

II.2.	Avantages de la plante (Intérêt et usage)	30
II.3.	Préparation de charbon actif (CA)	31
II.3.1.	Prétraitement.....	31
II.3.2.	Activation	33
II.3.3.	Carbonisation.....	34
II.4.	Les méthodes de caractérisation	35
Chapitre III : Résultats et discussion		36
III.1.	Caractérisation	36
III.1.1.	Burn-off de charbon actif	36
III.1.2.	Microscopie électronique à balayage (MEB)	36
III.1.3.	Spectroscopie par Dispersion d'Énergie de rayons x (EDX).....	37
III.1.4.	Infrarouge (IR).....	38
III.2.	Tests d'adsorption	40
III.2.1.	Préparation de solution mère	41
III.2.2.	Protocole expérimentale d'adsorption.....	43
III.2.2.1.	Effet de masse	43
III.2.2.2.	Effet de concentration	45
III.2.2.3.	Effet de temps	46
III.2.2.4.	Effet de PH.....	48
III.2.2.5.	Effet de température	49
III.2.3.	Modèles d'adsorption	51
III.2.3.1.	Modèle de Freundlich	51
III.2.3.2.	Modèle de Langmuir	52
III.2.4.	Cinétique d'adsorption	53
III.2.4.1.	Le modèle du pseudo-premier ordre	54
III.2.4.2.	Le modèle du pseudo-second ordre.....	55
III.3.	Application au traitement des eaux usées	56

III.3.1. Prélèvement de l'eau à analyser	56
III.3.2. Paramètre physique	57
III.4. Conclusion de la partie expérimentale.....	59
Conclusion Générale.....	61
Référence bibliographique	63
Annexe	67

Introduction Générale

Introduction générale

Depuis des décennies, la problématique de l'eau et de ses réserves suscite l'intérêt des populations du monde entier. Les croissances démographiques, l'expansion de l'agriculture et le changement climatique sont parmi les nombreux exemples qui mettent en danger la sécurité alimentaire. Dans plusieurs pays, une part croissante de la demande est satisfaite grâce à la réutilisation des eaux usées. Cette pratique est en plein essor à l'échelle internationale depuis quelques décennies, notamment dans les pays arides ou semi-arides. Effectivement, les premières initiatives de réutilisation des eaux usées traitées ont été mises en place dans des zones où l'eau est rare.[1]

La pollution de l'eau est une dégradation du milieu naturel ou est un phénomène complexe, mais la question du traitement de l'eau est un problème universel. Les eaux dites (usées) ont connu une évolution significative en termes de quantité et de volume. Les émissions domestiques simples ont été complémentées par des produits plus complexes, et les réseaux d'assainissement présentent désormais des caractéristiques très variées car ils rassemblent des émissions industrielles, commerciales et artisanales.[2]

L'objectif du traitement des effluents est de diminuer leur niveau de pollution à un niveau considéré comme acceptable pour l'environnement qui les reçoit. Effectivement, les méthodes utilisées dans les installations traditionnelles sont souvent onéreuses et se composent de méthodes. Les mécanismes peuvent être mécaniques, biologiques ou physico-chimiques, comme l'adsorption, la précipitation, l'électrolyse, l'échange d'ions, la coagulation ou les processus d'oxydation. L'adsorption est l'une des techniques les plus couramment employées à l'échelle mondiale pour diminuer la concentration des ions métalliques dans les eaux usées et les réseaux d'eau potable. Par exemple, elle s'est révélée extrêmement facile et performante pour éliminer certains métaux lourds contenus dans certains déchets industriels.

Toutefois, la performance et l'efficacité de cette méthode d'adsorption sont fortement influencées par la nature de l'adsorbant employé.[3]

Son principe est d'éliminer les colorants par une matière solide qui s'appelle adsorbant. Le charbon actif est le plus couramment employé en tant qu'adsorbant en raison de sa capacité élevée à absorber les matériaux organiques. Cependant, l'utilisation de cet adsorbant est coûteuse et reste difficile à régénérer. La quête d'un autre individu. Il est donc intéressant de trouver un adsorbant efficace et moins coûteux. Dans ce sens, de nombreuses personnes.

Les adsorbants fabriqués à partir de matériaux naturels ou de déchets industriels ou agricoles tels que les déchets de Rhamnus, les noyaux d'olive et la bagasse de canne à sucre, les noyaux de pêche, les noyaux des dattes et la coquille d'œuf ..., ont suscité un vif intérêt de la part des chercheurs, afin de les utiliser comme substituts au charbon actif.[4]

Cependant, la fabrication de charbons actifs à partir de déchets végétaux de Rhamnus présente un intérêt économique considérable, car nous bénéficions, grâce à des transformations simples, d'une application directe de ces matériaux de base. De nombreuses études ont démontré que l'adsorption sur le charbon actif offre de bonnes performances.[5]

Cette étude comporte trois chapitres :

Chapitre I : présente une étude bibliographique relative à la notion de la pollution et à la description du phénomène de l'adsorption, les facteurs influençant ainsi que la modélisation de ce phénomène, et on termine cette étude par une définition des charbons actifs et leur caractérisation texturale.

Chapitre II : la deuxième concerne la description les matériels et méthodes qui consacrée à la préparation de charbon actif (adsorbant) à partir des matières premières **déchets de** Zizyphus lotus, on utilise l'acide phosphorique (H_3PO_4) un agent activant.

Chapitre III : Latroisième résume les caractérisations physiques et chimiques de ces adsorbants. Ensuite les caractérisations de ces charbons actifs (**adsorbant**) préparé, par l'adsorption de Rouge Congo. Finalement, ce chapitre est complété par une application de charbon actif au traitement des eaux usées.

Finalement on a une conclusion générale.

Chapitre I :
Synthèse
bibliographique



La pollution

Depuis une longue période, le terme "pollution" est utilisé pour désigner Toute modification causée par l'homme d'un écosystème par la diffusion directe ou indirecte de substances chimiques, physiques ou biologiques, qui altèrent la composition des composants naturels de l'environnement. Il est possible que cela soit toxique pour les êtres vivants. Dans une biocénose naturelle, l'introduction de telles substances ou d'espèces exotiques perturbe le flux d'énergie, l'intensité des rayonnements et la circulation de la matière, ce qui peut avoir des conséquences néfastes sur la santé humaine, la qualité des écosystèmes aquatiques et terrestres. En général, la pollution affecte notre environnement à différents niveaux, étant le résultat à part entière de l'activité humaine.[6]

Les types de pollution

On distingue trois familles principales [7]:

- **Pollution physique**

La Pollution physique est une modification dans la structure physique par divers facteurs elle résulte de différents éléments solides entraînés par les rejets domestiques et industriels. On distingue : Pollution solide, Pollution thermique et Pollution radioactive.

- **Pollution chimique**

Elle est causée par les substances chimiques organiques et minérales produites par les diverses activités humaines. Les solvants, les métaux (Zn, Pb, Cd, ...) les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobiphényles font partie de ce genre de pollution. (PCB), les médicaments, les pesticides, les sels, et ainsi de suite...

- **Pollution microbiologique**

Elle est issue de diverses sources telles que les déchets des hôpitaux, l'agriculture et les eaux usées. L'eau contient donc des micro-organismes pathogènes tels que des bactéries, des virus et des parasites, ce qui peut représenter un danger pour l'environnement et la santé humaine.

- **Les pollutions sols, eaux et air**

Chaque année, les usines, l'industrie, émettent des millions de tonnes de produits chimiques toxiques dans le sol, l'air et l'eau, ce qui entraîne une perte de plusieurs millions

d'acres de terres, des problèmes respiratoires et autres problèmes de santé, ainsi que la pollution de nos nappes, rivières, lacs, mers. Les trois principaux types de pollution sont les suivants :[8]

- **La pollution des sols** : La pollution du sol se réfère à la contamination de la surface du sol naturel par les activités industrielles, commerciales, domestiques et agricoles.
- **La pollution de l'air** : La pollution de l'air correspond à l'accumulation de matières dangereuses dans l'air
- **La pollution de l'eau** : Correspond à une modification néfaste du milieu naturel qui résulte entièrement ou en partie de l'action humaine, en modifiant les critères de répartition des flux d'énergie et des niveaux de concentration la radiation, la composition physicochimique de l'environnement naturel et la présence d'espèces vivantes, ainsi que l'abondance d'eau et de produits biologiques. Elles ont également la capacité de l'influencer en modifiant les objets physiques qu'il possède ou les capacités réactives du environnement.[9]

Adsorption

Les métaux toxiques et les matières organiques présents dans les eaux usées sont traités à l'aide de diverses techniques physico-chimiques et biologiques. L'adsorption est une solution technologique vise à traiter les polluants organiques des eaux et fait partie des méthodes de traitement les plus courantes, efficace et économique.

Définition d'adsorption

Le physicien allemand Heinrich Kayser (1853-1940) a été inventé le terme « adsorption» en 1881.[10]

L'adsorption est un phénomène de surface dans lequel des molécules de fluide (gaz ou liquide) se fixent sur les surfaces solides des adsorbants par divers processus plus ou moins intenses. Les forces d'attraction intermoléculaires, de nature et d'intensité variées, qui sont responsables de la cohésion des phases condensées, liquides ou solides, sont à l'origine de cela. Une molécule qui est inégalement attirée par les autres molécules de deux phases sera située à la surface de la phase qui l'attire le plus et sera connue sous le nom d'adsorbant. Les molécules qui ont été adsorbées constituent l'adsorbat.[11]

L'adsorption peut être physique ou chimique Selon les interactions entre l'adsorbant et sa surface. [12]

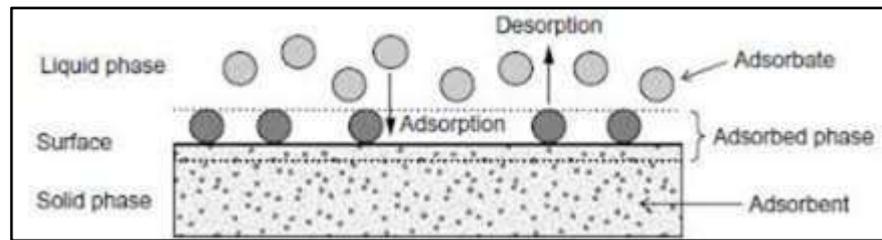


Figure I- 1: Phénomène d'adsorption[13]

Classification des phénomènes d'adsorption

Adsorption physique (physisorption)

La physisorption en raison des liaisons que ces atomes entretiennent avec les atomes voisins de la même substance. L'adsorption s'effectue sur de telles surfaces grâce à des forces d'attraction naturelles ou forces dites de Vander Waals. Ce type d'adsorption peut prendre la forme de plusieurs couches de matériau adsorbant sur la surface du matériau adsorbant lorsque des conditions appropriées de pression et de température sont disponibles. L'adsorbant et l'adsorbant, qui est estimé à moins de (40 kJ/mol), ce type d'adsorption n'a donc pas besoin de températures élevées et ne nécessite pas d'énergie d'activation et se produit à basse température similaire au processus de condensation des vapeurs sur les surfaces des matériaux liquides.[14]

Adsorption chimique (Chemi-sorption)

Ce type d'adsorption se produit sur des surfaces qui ne sont pas insaturées électroniquement, car ces surfaces ont tendance à former des liaisons chimiques avec les atomes ou les molécules adsorbées. En tant que première étape de la réaction chimique qui se produit entre la surface adsorbant et le matériau adsorbant, ce type d'adsorption nécessite une énergie d'activation élevée, et les températures qui l'accompagnent sont élevées et estimées en quantité supérieure à (40 kJ/mol), et ce type d'adsorption est spécifique et n'est pas inversé et limité par sa couche.[14]

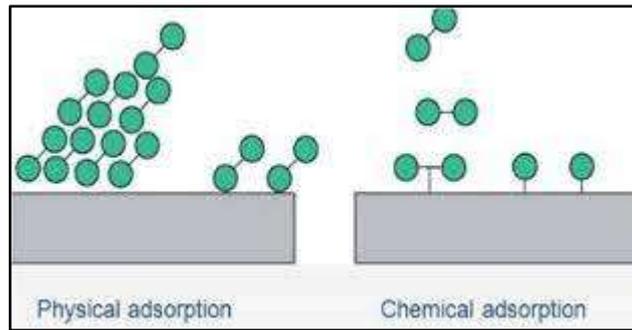


Figure I- 2: Adsorption physique et chimique.[14]

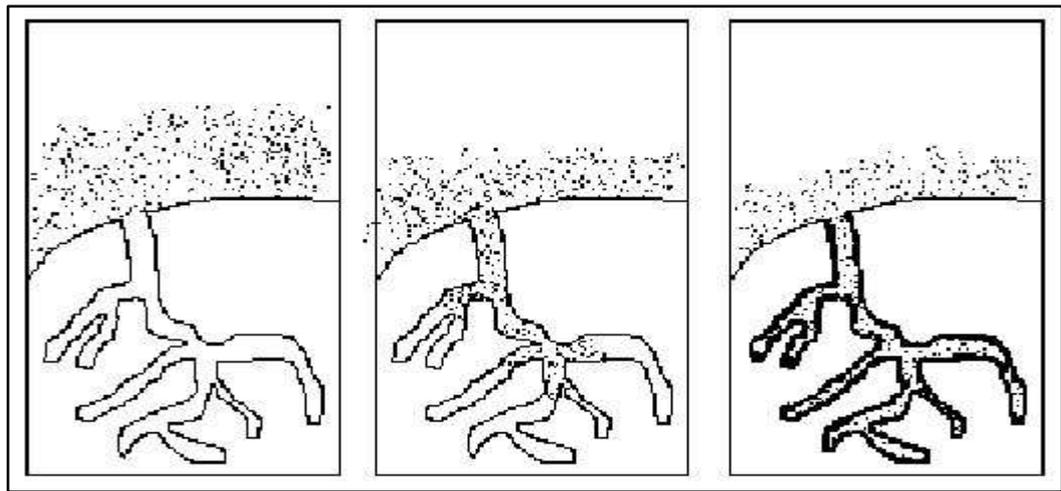
Tableau I- 1: Caractéristiques typiques des processus d'adsorption physique et de chemisorption [15]

Propriétés	Physisorption	Chemi-sorption
Types de liaison	Van der Waals	Chimique
Température du Processus	Relativement faible par rapport à la température d'ébullition de l'adsorbât	Plus élevé que la température d'ébullition de l'adsorbât
Individualité des Molécules	L'individualité des molécules est préservée.	Destruction de l'individualité moléculaire
Désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Rapide, indépendante de T	Très lente
Chaleur d'adsorption	Inférieur à 10 kcal/mole	Supérieur à 10 kcal/mole
Énergie mise en jeu	Faible	Élevée
Type de formation	Formation en multicouches	Formation en monocouche

Mécanisme d'adsorption

Les mécanismes d'adsorption peuvent être divisés en plusieurs étapes nécessitant appel des processus de diffusion, en particulier 3 étapes peuvent être distinguées :[16]

- **La diffusion externe** : implique le transfert du soluté (molécule de la phase liquide) à la surface externe des particules de la solution. Le transfert de matière externe dépend des conditions hydrodynamiques de l'écoulement d'un fluide dans un lit d'adsorbant.
- **Diffusion interne** : les particules de fluide entrent dans les pores. Elle est influencée par le gradient de concentration du soluté.
- La diffusion de surface: fait référence à la fixation des molécules à la surface des pores.[17]



1) Diffusion externe

2) Diffusion interne

3) Diffusion de surface

Figure I- 3: Mécanisme d'adsorption.[18]

Principaux facteurs influençant sur l'adsorption

Les propriétés physico-chimiques de l'adsorbat et l'adsorbant d'un matériau affectent sa capacité d'adsorption et celles du milieu.[19]

I.1.1.1.1. Facteurs caractérisant l'adsorbant

➤ La surface spécifique

Plus la surface est grande, plus l'adsorption sera efficace.[20]

➤ La structure de l'adsorbant

L'adsorption d'une substance est associée à une diminution de la taille des particules et des dimensions des pores de la substance adsorbant. Même si la surface de l'adsorbant a une grande affinité pour le composé, l'adsorption de ce composé sera négative si le diamètre des pores est inférieur au diamètre des molécules de l'adsorbat. La cinétique globale du processus d'adsorption est fortement influencée par la distribution des tailles des pores. [20]

➤ Porosité

La répartition de la taille des pores est liée à la porosité. Elle reflète les caractéristiques internes des adsorbants microporeux. Cependant, pour les composés dont les interactions avec le charbon soluté sont principalement physiques, le volume poreux, la surface spécifique et la taille des pores ont un impact plus important sur l'adsorption du soluté que la nature chimique de la surface de l'adsorbant.[21]



➤ **La polarité**

Une bonne adsorption nécessite d'abord une affinité entre le solide et le soluté. Les solides polaires adsorbent généralement principalement les autres corps polaires. Par contre, les solides qui ne sont pas polaires, adsorbent principalement des matériaux non polaires.[22]

I.1.1.1.2. Facteurs caractérisant l'adsorbat

La capacité d'adsorption est influencée par les caractéristiques de l'adsorbat, telles que :[23]

- La taille moléculaire,
- La solubilité dans l'eau,
- La forme moléculaire.

I.1.1.1.3. Facteurs liés à la physico-chimie de la solution

➤ **Le pH**

Le pH est le principal paramètre dans le processus d'adsorption. Il a un impact direct sur l'état de charge de l'adsorbant et de l'adsorbat. Il est fréquemment étudié pour déterminer son impact sur la rétention des contaminants. La plupart du temps, un pH faible favorise l'adsorption.[24]

➤ **La température**

L'adsorption peut se produire de manière endothermique ou exothermique en fonction du matériau adsorbant et de la nature des molécules qui y sont adsorbées. La littérature présente de nombreuses valeurs d'enthalpie d'adsorption qui démontrent la variabilité des processus thermique.[25]

I.1.1.1.4. Autres facteurs

➤ **La concentration**

L'adsorption augmente avec la substance. Cependant, cette augmentation ne correspond pas à la concentration sur la même substance.[3]

➤ **La Vitesse d'adsorption**

L'adsorption physique en phase liquide est nettement plus lente. La viscosité de la solution doit affecter la vitesse d'adsorption, et il est probable que la vitesse soit augmentée en

diminuant la viscosité par chauffage. C'est une des raisons pour lesquelles les adsorbants solides décolorent les solutions à température élevée.[26]

➤ **Les isothermes d'adsorption**

En fonction de la concentration en solution de l'adsorbat à l'équilibre, les isothermes d'adsorption sont des courbes qui indiquent la quantité d'adsorbat retenue par unité de masse ou de volume d'adsorbat. Une telle courbe est obtenue à partir des résultats des essais réalisés dans une température constante. Pour ce faire, des volumes de solution à traiter sont ajoutés à des quantités de solide connues, et la concentration résiduelle de la solution est mesurée après un temps de contact spécifique.

À l'aide de l'équation suivante On peut calculer la quantité adsorbée :

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times v}{m}$$

Où :

- q_e : quantité du soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant en mg/g à l'équilibre
- C_0 : concentration initiale du soluté adsorbé en mg/l
- C_e : concentration du soluté à l'équilibre dans la solution en mg/l
- m : masse de l'adsorbant en g
- V : volume de la solution (L).[27]

Classification des isothermes d'adsorption

La courbe isotherme a une apparence différente selon le couple adsorbat-adsorbant étudié. Les isothermes d'adsorption des solutés à solubilité limitée ont été classées en quatre principales classes par Giles et al, les isothermes de types : **S** : Sigmoide ; **L** : Langmuir ; **H** : Haute affinité **C** : partition Constante sont présentés sur la figure I. 5.[28]

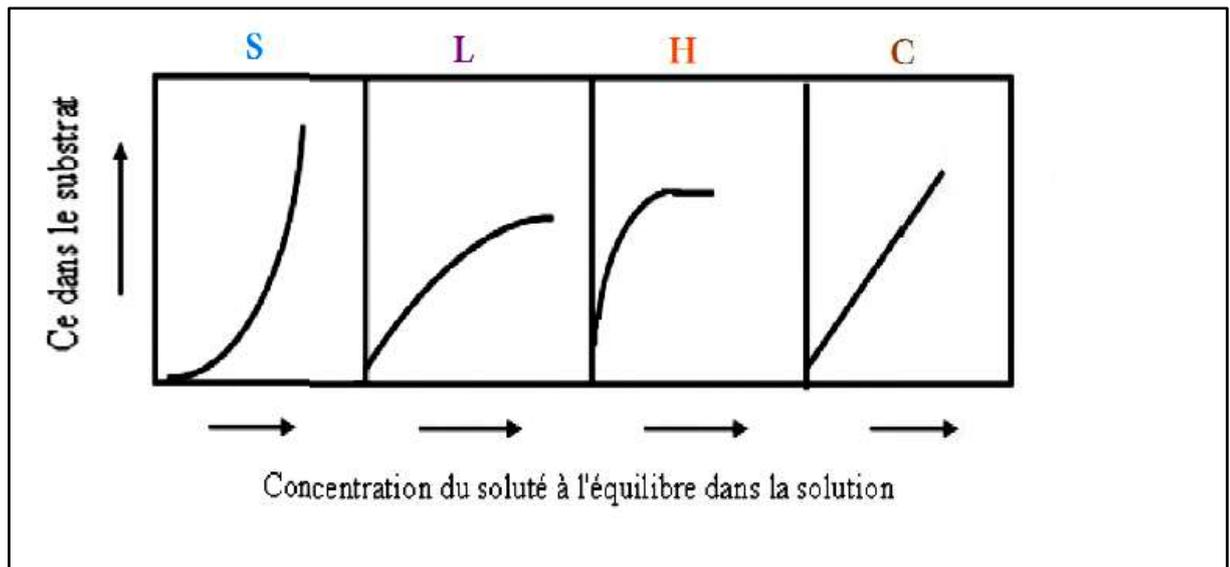


Figure I- 4: Classification des isothermes d'adsorption.[28]

Les isothermes de type S :

La plupart du temps, l'isotherme de type S décrit une adsorption coopérative, dans laquelle l'interaction entre l'adsorbat et l'adsorbant est plus forte que celle entre l'adsorbat et l'adsorbant. La courbe est de forme sigmoïde et présente donc un point de flexion. Ce type est présent dans les polluants organiques apolaires. [29]

Les isothermes de type L :

La courbe de type L correspond à une adsorption qui devient de plus en plus difficile à mesure que la concentration augmente et que les sites d'adsorption disponibles diminuent. [30]

Les isothermes de type H :

La partie initiale de l'isotherme est presque verticale, ce qui signifie que la quantité adsorbée est importante à une concentration du soluté dans la solution presque nulle. Lorsque les interactions entre la surface du solide et les molécules adsorbées sont très fortes. [31]

Les isothermes de type C :

L'isotherme de type C montre que les adsorbats ont une affinité relative constante pour l'adsorbant. La courbe est une droite qui traverse la source. En conséquence, le rapport entre la concentration de composé retenu sur la phase solide et la concentration de composé subsistant en solution est constant, quel que soit le niveau de concentration. [29]



Modèles des isothermes

I.1.1.1.5. Modèle de Langmuir

C'est le modèle le plus fréquemment utilisé pour décrire les résultats de l'adsorption des composés organiques en solution aqueuse. Voici un résumé de ses principales caractéristiques

- Les sites d'adsorption à la surface du solide ont tous la même quantité d'énergie ; Chaque site ne peut fixer qu'une seule molécule
- L'adsorption est effectuée en une seule couche.
- Les molécules adsorbées n'interagissent pas.[32]

L'équation est décrite ainsi :

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

Où :

- q_e : quantité du produit adsorbé par unité de masse d'adsorbant (mg/g)
- q_{\max} : La capacité maximale d'adsorption dépendant des conditions expérimentales (mg/g).
- k_l : la constante d'adsorption de Langmuir, est liée à la température et au système adsorbant-adsorbat
- c_e : concentration de l'adsorbat en phase liquide à l'équilibre (mg/L)

La forme linéaire de l'isotherme est :[33]

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

I.1.1.1.6. Modèle de Freundlich.

L'isotherme de Freundlich est un modèle empirique qui prend la couche mon moléculaire adsorbant l'interférence du soluté en considération. Néanmoins, elle repose sur l'hypothèse liaison ne sont pas similaires pour un système à composant unique.[34]

L'isotherme est décrite ainsi :

$$q_e = K_f C_e (1/n)$$

Avec :

- k_f : capacité d'adsorption [(mg/ g⁻¹) (l/mg⁻¹)^{1/n}]

- n : intensité d'adsorption.
- q_e : quantité de soluté adsorbée par unité de masse d'adsorbant à l'équilibre (mg/g).
- c_e : concentration du soluté dans la solution à l'équilibre (mg/l)

La forme linéaire de l'isotherme est :[35]

$$\ln q_e = \ln K_f + (1/n) \ln C_e$$

I.1.1.1.7. Isotherme d'Elovich

Ce modèle présente une équation cinétique. Elle se distingue de Langmuir par l'évolution du recouvrement des sites d'adsorption, ce qui entraîne une variation du nombre de sites disponibles.

De manière significative lors de l'adsorption, ce qui implique une adsorption en plusieurs couches, le modèle d'Elovich est représenté comme suit à l'équilibre.

$$\frac{q_e}{q_m} = k_e \times c_e \times e^{\left(-\frac{q_e}{q_m}\right)}$$

- c_e : Concentration à l'équilibre (mmol.g⁻¹)
- q_e : Quantité adsorbée à l'équilibre (mmol.g⁻¹)
- q_m : Capacité maximale d'adsorption (mmol.g⁻¹)
- k_e : Constante d'équilibre d'adsorption adsorbat-adsorbant (L. mmol⁻¹).

La forme linéaire du modèle d'Elovich est donnée sous la forme suivante :

$$\frac{\ln q_e}{c_e} = \ln k_e \times q_m - \frac{q_e}{q_m} [36]$$

I.1.1.1.8. Isotherme de Temkin

L'isotherme Temkin prend en considération que la chaleur d'adsorption de toutes les molécules de la couche de couverture diminue de manière linéaire avec la couverture en raison de la réduction des interactions entre l'adsorbant et l'adsorbat. La caractéristique de l'adsorption est Une répartition homogène des énergies liées à la surface. La formule suivante exprime l'isotherme Temkin :

$$q_e = \left(\frac{R_t}{b_t}\right) \times \ln(k_t \times c_e)$$

Ou sous la forme :

$$q_e = B_1 \ln k_t + B_1 \ln c_e$$

Avec :

$B_1 = \frac{R_t}{b_t}$ (J/mol), la constante de Temkin relative à la chaleur de sorption et k_t (L.g⁻¹), la constante d'équilibre d'adsorption correspondant à l'énergie de liaison maximale. [37]

Cinétique d'adsorption.

I.1.1.1.9. Modèle du pseudo-premier ordre

On exprime le pseudo-premier ordre en utilisant l'équation :

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

Avec :

- q_e et q_t représentent respectivement la capacité d'adsorption (en mg.g⁻¹) à l'équilibre et au temps t.
- k_1 : est la constante de vitesse d'adsorption (min⁻¹). [38]

Après intégration l'équation donne :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_t - k_1 \times \square$$

I.1.1.1.10. Modèle du pseudo-second ordre

On utilise fréquemment l'équation du pseudo second ordre pour décrire la cinétique de la réaction de fixation des polluants sur l'adsorbant.

Les cinétiques d'adsorption sont caractérisées par ce modèle du pseudo second ordre. En prenant en considération à la fois la fixation rapide des solutés sur les sites les plus réactifs et la fixation lente sur les sites d'énergie faible.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2$$

Par intégration de l'équation donne :



$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \times q_{e2}} + \frac{1}{q_e}$$

Avec :

- k : constantes de vitesse d'adsorption pour le pseudo second ordre ($\text{g.mol}^{-1}.\text{min}$) .
- q_e : quantité d'adsorbat à l'équilibre par gramme d'adsorbant (mg.g^{-1}).[39]

I.1.1.1.11. Modèle de diffusion intra-particulaire

Le modèle cinétique de diffusion intra-particulaire adopte une forme linéaire

$$q = k_d \times \frac{t_1}{2} + c$$

Avec :

- k_d : constante de la vitesse de la diffusion intra-particulaire ($\text{mg.g}^{-1}.\text{min}^{1/2}$).
- c : constant.[40]

Les applications de l'adsorption.

Il existe de nombreuses utilisations de l'adsorption, telles que :

- Le raffinage du pétrole
- Le séchage, la purification, la déshumidification et la désodorisation de l'air
- La catalyse.
- La récupération de solvants et d'alcool dans le processus de fermentation
- La décoloration des liquides
- La chromatographie gazeuse (méthode de fractionnement basée sur les différences de vitesse d'adsorption de substances différentes, sur un adsorbant donné).[41]

Les adsorbants

Généralité sur les adsorbants

Pour maximiser la capacité d'adsorption, les adsorbants sont des solides microporeux avec des surfaces importantes par unité de masse (de $100 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ jusqu'à plus de $1000 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$). De nombreux adsorbants existent. L'adsorbat et/ou le type d'opération souhaité détermineront le choix.

En général, tous les matériaux sont adsorbants, mais seuls ceux qui ont des capacités d'adsorption significatives sont intéressants pour des applications industrielles. La structure interne du matériau est en partie responsable de cette capacité d'adsorption, et les adsorbants intéressants ont un réseau poreux très développé et une grande surface spécifique. Les charbons actifs, les zéolithes, les gels de silice et les alumines activées sont les adsorbants les plus courants dans l'industrie.[42]

Les critères de choix d'adsorbant

Les adsorbants utilisés dans divers traitements doivent avoir les qualités suivantes :[16]

- Haute capacité d'adsorption.
- Grande efficacité pour adsorber des substances de faible concentration ;
- Sélectivité élevée ;
- Aptitude à être facilement régénérés et utilisés de nouveau ;
- Prix peu élevé

Les principaux adsorbant

Les principaux adsorbants utilisés dans la pratique sont, soit de la nature organique (végétale ou animale) ou bien minérale afin d'augmenter la porosité ; on divise les adsorbants en deux catégories polaire comme : le gel de silice, alumine... ETC , et l'adsorbants apolaire comme le charbon active .[43]

Parmi les adsorbants aux applications industrielles on trouve :

I.1.1.1.12. Tamis moléculaires

Les tamis moléculaires font partie de la famille de minéraux appelée zéolithes, qui fait partie du groupe des aluminosilicates cristallins. Leur structure cristalline est principalement constituée d'un squelette tridimensionnel de tétraèdre de SiO_4 et d' AlO_4 , qui sont reliés entre eux par la mise en commun d'atomes d'oxygène. Cela permet la séparation des molécules en mélanges en fonction de leur taille et de leur forme.

I.1.1.1.13. Le gel de silice

Le gel de silice présente sous forme des grains poreux. Il est obtenu en mélangeant de l'acide chlorhydrique avec une solution de silicate de sodium. Le gel de silice est

principalement utilisé pour déshydrater les gaz et les liquides, ainsi que pour fractionner les hydrocarbonés.

I.1.1.1.14. Alumine activée

L'alumine active est produite par la transformation thermique de l'oxyde d'aluminium précipité ou de la bauxite. Elle est utilisée pour sécher les gaz et les liquides.

Les argiles sont activées en ajoutant de l'eau à des qualités d'argile spécifiques telles que la bentonite, la kaolinite et la terre de Fuller, puis en incorporant la pâte obtenue grâce à une concentration d'acide chlorhydrique. Le processus est suivi d'un lavage et d'un séchage selon des conditions spécifiques. Il semble que les adsorbants ayant un rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ plus élevé ont une plus grande capacité de décoloration. L'utilisation de ce type d'adsorbant permet la décoloration et la purification des huiles minérales et végétales.[16]

Tableau I- 2: Caractéristique de principaux adsorbant industriels[44]

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

I.1.1.1.15. Le charbon Actif (CA)

Les charbons actifs sont des adsorbants organiques amorphes, leur structure n'est pas régulière, contrairement à celle d'un cristal. Ils présentent une répartition continue de la taille des pores, dont l'étalement peut aller jusqu'à plusieurs ordres de grandeur, contrairement à un cristal.[45]

Le charbon Actif

En 1991, et en 1995, que l'adsorption sur la surface du charbon actif est la meilleure technologie disponible pour répondre à chacune des eaux souterraines, l'eau de surface des composés suivants : les solvants organiques, les hydrocarbures polycycliques, les chlorures des phénols, des pesticides, des polluants dissous des métaux lourds.[46]

Les charbons actifs sont des principaux adsorbant obtenus à partir un matières première riches on carbone. La fabrication du charbon active nécessite l'identification et le choix de la matière première, qui peut être obtenue à partir d'une variété de matériaux (végétaux, animaux ou minéraux).[47]

a) Origine végétale

Il existe une variété de produits végétaux qui peuvent jouer un rôle dans la synthèse des charbons actifs et sous diverses formes :

- Déchets agricoles inutiles : noyaux de fruit ; coque de noix de coco ; bagasse de canne à sucre ; coque de fruit flamboyant ; coque de graines de palmiste...etc.
- Paille et céréales : blé de riz.

b) Origine animale

Les charbons activés sont principalement fabriqués à partir d'ossements d'animaux, mais également de leur sang ou même de leur chair.

c) Origine minérale

La plupart du charbon activé est fabriqué à partir de matériaux combustibles tels que le charbon minéral, le coke et la tourbe. Arber en copeaux ou en squire de bois : chêne ;eucalyptus ;lignite ...etc.[48]

Les Différent forme de charbon actif

Les ça existe en plusieurs variances : en grain ; en poudre ;55% de formation totale de (CA) commerciaux forme pulvérulente 35% GR et 10% de bâtonnet.[49]

La différence fondamentale entre le charbon en (CAG) et en (CAP) est la taille de particules :

Charbon Actif en Grain (CAG)

La forme granulaire du charbon est caractérisée par une taille de particule supérieure à 1 mm, un faible diamètre des pores et une grande surface interne et externe comparativement faible. En conséquence, les phénomènes de diffusion de l'intérieur des pores sont cruciaux dans le processus d'adsorption.

Tableau I-3 :Avantage et inconvénient de (CAG)

Avantage	Inconvénient
Le choix du type de charbon actif affecte également le rendement de l'élimination.	La durée de vie est limitée.
Il fonctionne bien dans une variété de conditions de température et d'humidité	Coût : Pour des concentrations élevées de contaminants, le charbon actif granulé est plus cher que le stripping car il est nécessaire de remplacer régulièrement le charbon épuisé.
Pour les substances organiques, en particulier les solvants, il a une grande capacité d'adsorption.	Les carburants dissous et les matières en particules peuvent rapidement encrasser le charbon, ce qui nécessite généralement un prétraitement.
Il retient simultanément plusieurs substances chimiques.	Le charbon dangereux doit être jeté entièrement car il ne peut être régénéré qu'une certaine quantité de fois, ou pas du tout. Si le charbon épuisé adsorbe des métaux ou des résidus d'explosifs, il peut être considéré comme un déchet dangereux.

Charbon actif en poudre (CAP)

Le charbon actif en poudre a une granulométrie inférieure à 100 micromètres et un diamètre moyen de 15 à 25 micromètres. Il ont une grande surface externe et une faible profondeur de diffusion, ce qui les rend extrêmement rapides en adsorption très rapide.[50]

Tableau I- 3: Avantages et inconvénient de (CAP) :[51]

Avantage	Inconvénient
Le coût du charbon actif en poudre est deux à trois fois inférieur à celui du charbon actif en granulé.	Il est impossible que le charbon actif en poudre soit régénéré par l'ajout de boues d'hydroxyde.
En cas de pointes de pollution inattendues ou temporaires, des quantités supplémentaires peuvent être ajoutées.	Il est difficile d'enlever les dernières traces d'impuretés sans ajouter une quantité significative de charbon actif en poudre.
L'adsorption est rapide car une grande partie de la surface de contact est directement accessible.	La détection des points de pollution est difficile et les concentrations applicables sont limitées.



Charbon actif extrudé

Le charbon activé extrudé présenté est de forme cylindrique avec un diamètre de 0,8 mm à 5 mm. Sa faible perte de charge, sa forte résistance mécanique et sa faible teneur en poussières le rendent principalement utilisé pour des applications en phase gazeuse.[49]

Les différents types de charbon actif

La biomasse

L'ensemble des êtres vivants (végétal ou animal) est appelé biomasse. Elle a Il peut être utilisé comme combustible solide ou transformé en liquide ou gazeux pour produire de l'électricité, de la chaleur, des produits chimiques ou des carburants. La biomasse Lignon cellulosique, également appelée déchets agricoles, est l'une des ressources renouvelables les plus abondantes au monde. Pendant des siècles, les humains ont utilisé la biomasse pour obtenir de l'énergie.

La biomasse végétale

Le charbon actif végétal est produit par pyrolyse de divers composés tels que le bois, les noyaux de fruits et la noix de coco. Le processus de carbonisation, qui se produit à des températures élevées sans oxygène et en présence d'un flux de gaz inerte, est suivie d'une activation en présence d'un agent actif afin d'augmenter la surface d'adsorption du charbon.[51]

Procédé de fabrication de CA

Il est fabriqué en deux étapes :

La phase de carbonisation

Dure 5 à 6 heures et consiste à éliminer les matières volatiles par voie thermique (500-700°C) en présence de sels métalliques.

La phase d'activation

L'activation physique permet d'augmenter la faible surface spécifique (de 5 à 6 m²/g au départ à 600 à 2000 m²/g). En présence de vapeur d'eau, de CO₂ ou d'oxygène, c'est une oxydation à température élevée (800-1000°C) pendant 24 à 72 heures.

L'activation chimique, la carbonisation et l'activation simultanées sont une autre méthode de fabrication.

Cette méthode utilise directement des agents déshydratants et des oxydants minéraux (H_3PO_4 , H_2SO_4 , Zn, Cl_2) à des températures élevées (400-600°C) sur le matériau brut pendant 5 à 24 heures.[61]

Structure de charbon active

Structure physique

a) La dureté

Est la solidité mécanique des grains. Les différences de dureté entre les différents types de charbons actifs vont dépendre de la matière première et sa porosité.

b) La densité de remplissage

La masse de charbon actif pour un volume donné est déterminée par la densité de remplissage tassée (DRT), qui est cruciale pour les extrapolations.

c) La distribution des tailles de particules

Est très importante à deux endroits. Dans la mesure où les étapes lentes ne sont pas liées à la vitesse d'adsorption sur les sites actifs mais à la diffusion interne ou externe, la taille de la particule détermine la "capacité dynamique d'adsorption" des liquides et des gaz. La taille de la particule est inversement proportionnelle à sa vitesse. En revanche, elle établit de charge dans le lit de grain, qui est inversement proportionnelle à la taille des particules et à la porosité de l'empilement selon la loi de Eugen.[52]

d) Le volume et la taille des pores

Un solide poreux peut être défini en calculant le volume de substance adsorbée nécessaire pour saturer tous les pores ouverts d'un gramme de solide. Le volume de substance adsorbée est généralement exprimé en ($cm^3 \cdot g^{-1}$).

Selon la classification IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), les tailles de pores sont classées en trois groupes.

Les micropores ont un diamètre inférieur à 2 nanomètres (2 nm), les méso pores ont un diamètre entre 2,5 nanomètres et 50 nanomètres, et les macropores ont un diamètre supérieur à 50 nanomètres.

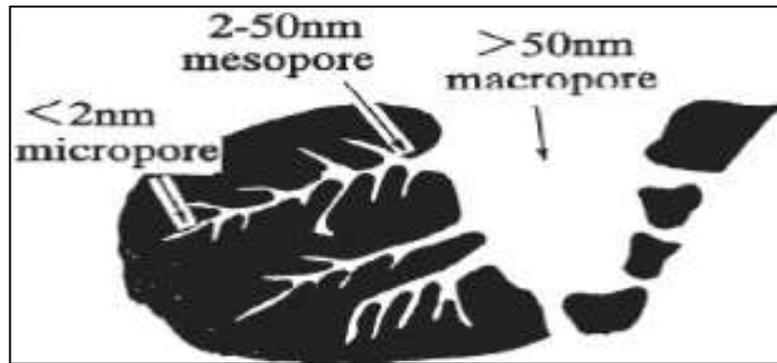


Figure I- 5: Structure des pores du charbon actif

e) La surface spécifique des pores

Une surface par unité de masse est la surface spécifique d'un adsorbant. Il est généralement représenté en $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. L'estimation est généralement basée sur des mesures de la capacité d'adsorption de l'adsorbant en question, qui correspond à un adsorbat spécifique.

Structure chimique de charbon (CA)

La structure chimique de base du charbon actif est très proche de celle du graphite pur. Le cristal de graphite est composé de couches d'hexagones fusionnés maintenus par de faibles forces de Van de Waals. Les couches sont maintenues par des liaisons carbone-carbone.

Le charbon actif est une forme désorganisée de graphite, en raison des impuretés et de la méthode de préparation (processus d'activation)

La structure des pores développée dans le charbon actif, et donc les propriétés finales du charbon actif, dépendent principalement de la matière première et du processus de production.[53]

Utilisation de charbon Actif (CA)

- Le charbon actif est utile notamment contre les intoxications et le cholestérol, ainsi que pour aider à la digestion.
- Il utilisée pour décoloration du sucre ou pour détacher les vins blancs
- Le charbon est la majeure des masques purifiants pour le visage
- Il est utile pour extrait de l'or ou stocker de l'hydrogène.[54]

Traitement des eaux usée

L'eau joue un rôle essentiel, mais elle est rare et vulnérable. Au niveau mondial, certaines régions font face à un problème majeur d'accès à l'eau potable. Cela implique que plus d'un milliard de personnes sont privées d'eau potable et que chaque année, 2 millions de personnes meurent en consommant de l'eau contaminée par des germes de choléra, de typhoïde et d'autres maladies dangereuses.[55]

Alors, d'après L'augmentation du volume des eaux utilisées est un véritable besoin écologique, tant pour l'environnement que pour la santé des êtres humains. Il est essentiel de traiter ces eaux afin d'éviter les conséquences néfastes sur la biodiversité et les maladies.[56]

Généralité du l'eau usée

Eau usée non traitée fait référence aux eaux égout qui n'ont pas été soumises à des processus de traitement physique ou chimique pour éliminer les déchets solides et les contaminants. Il est possible que ces eaux engendrent des problèmes de pollution tels que la propagation de substances chimiques.

Les substances toxiques, les bactéries qui transmettent des maladies et la prolifération algues. Le terme eau usée désigne eau résiduaire. Les eaux usées de la maison comprennent les eaux de toilettes, les eaux ménagères et les eaux de cuisine et de salle de bains.[57]

Les sources des eaux usées

Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue quatre catégories d'eaux usées :

Les eaux usées industrielle

Les déchets industriels (les rejets industriels) sont tous ceux qui découlent d'une utilisation de l'eau autre que domestique. Cette définition englobe les émissions des usines, ainsi que les émissions de déchets.

Activités faites à la main ou commerciales. Ces eaux présentent une grande diversité et peuvent présenter des dangers pour la vie aquatique ou être humain.

Cependant, il est possible de classer les principaux rejets industriels en fonction de la nature des inconvénients qu'ils entraînent :

- La pollution est causée par les matières.

- La pollution est causée par les matières en suspension minérales (comme le lavage de charbon, les carrières, le tamisage du sable et du gravier, les industries productrices d'engrais phosphatés...)
- La pollution est causée par les rejets hydrocarbonés et chimiques divers (comme les raffineries de pétrole...) organiques et les graisses (comme les industries agroalimentaires, les équarrissages, la pâte à papier...) .[57]

Les eaux usées domestiques

Une habitation jette des eaux usées domestiques. Les différents usages domestiques de l'eau dans les lieux de vie et de travail (maisons individuelles, campings, hôtels, restaurants, bureaux, ateliers, écoles, ...) produisent des eaux usées domestiques, qui sont collectées par le réseau d'eaux usées des bâtiments. Les eaux rejetées par les équipements sanitaires comprennent les douches, les lavabos, les éviers les machines laver et lave-vaisselle,

Les eaux usées domestiques sont classées en deux catégories :

- **Les eaux usées ménagères** : qui se trouvent dans les salles de bains, les douches, les cuisines, les machines à laver, les lavabos, les éviers, sont généralement chargées de détergents, de savons, de graisses, de solvants et de divers débris organiques.[58]

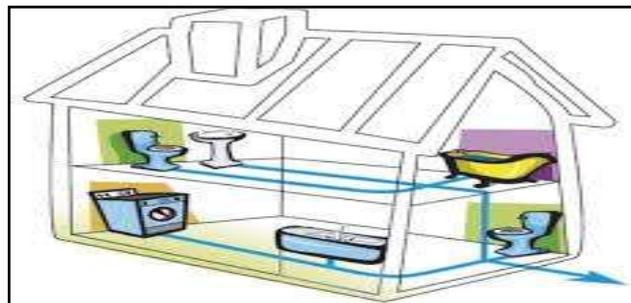


Figure I-6:Eaux usées Domestique rejetées par une habitation[59]

- **Les eaux-vannes** : sont les rejets des eaux-vannes, également appelées « eaux noires », sont des rejets des toilettes qui contiennent une variété de matières organiques azotées provenant des urines et des matières fécales, des germes fécaux potentiellement pathogènes, des produits cosmétiques et divers produits lessiviels utilisés pour nettoyer les cuvettes des toilettes. Les civils utilisés pour le nettoyage des cuvettes des WC.

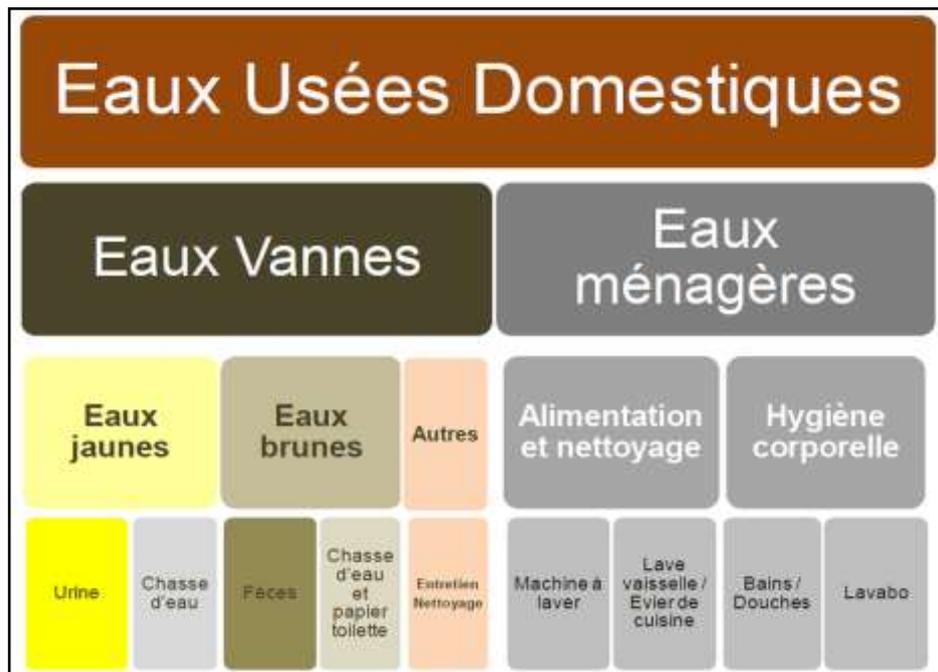


Figure I- 7: Classification proposée des eaux usées domestiques émises par une habitation[59]

Les eaux usées provenant des établissements agricoles englobent toutes les eaux non consommables qui ont été utilisées ou transformées, et qui sont directement ou indirectement issues de leurs activités.

En ce qui concerne un établissement d'élevage, ces eaux incluent : les eaux utilisées pour le nettoyage du matériel de traite et du réservoir à lait les eaux utilisées pour le nettoyage du pis (vache, chèvre, brebis Les eaux provenant des éviers sont utilisées pour nettoyer les planchers, les installations, les instruments et les camions de transport.

Les eaux pluviales

Une définition a été proposée par un séminaire d'experts européens en 1961, que je considérerai Les eaux usées comme juridique : « Un cours d'eau est considéré comme pollué lorsque la composition ou l'état de ses eaux sont altérés de manière à les rendre moins adaptées à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient être utilisées dans leur état naturel ou certaines d'entre elles ». Une définition plus précise et plus scientifique serait retenue : toute pollution de l'eau consiste à altérer, de manière défavorable, une ou plusieurs caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques de cette eau, causée par le rejet de substances liquides, solides ou gazeuses.[60]

La pollution des eaux usées

Une définition a été proposée par un séminaire d'experts européens en 1961, que je considérerai Les eaux usées comme juridique : « Un cours d'eau est considéré comme pollué lorsque la composition ou l'état de ses eaux sont altérés de manière à les rendre moins adaptées à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient être utilisées dans leur état naturel ou certaines d'entre elles ». Une définition plus précise et plus scientifique serait retenue : toute pollution de l'eau consiste à altérer, de manière défavorable, une ou plusieurs caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques de cette eau, causée par le rejet de substances liquides, solides ou gazeuses.[62]

Types de pollution de l'eau usée

Elle est générée par les humains grâce aux rejets d'eaux résiduelles, qui sont en grande partie d'origine industrielle. Cette pollution est principalement organique et, par fermentation, diminue sa teneur en oxygène dissout, perturbant ainsi la vie des poissons. Cette pollution se situe à partir des points de rejets, selon la charge polluante et le débit. Il est donc essentiel que les torrents de montage absorbent rapidement leur pollution, tandis que les eaux semi-stagnant à l'étage de certaines rivières se jettent à un certain degré sont exposées à un niveau de pollution élevé.[63]

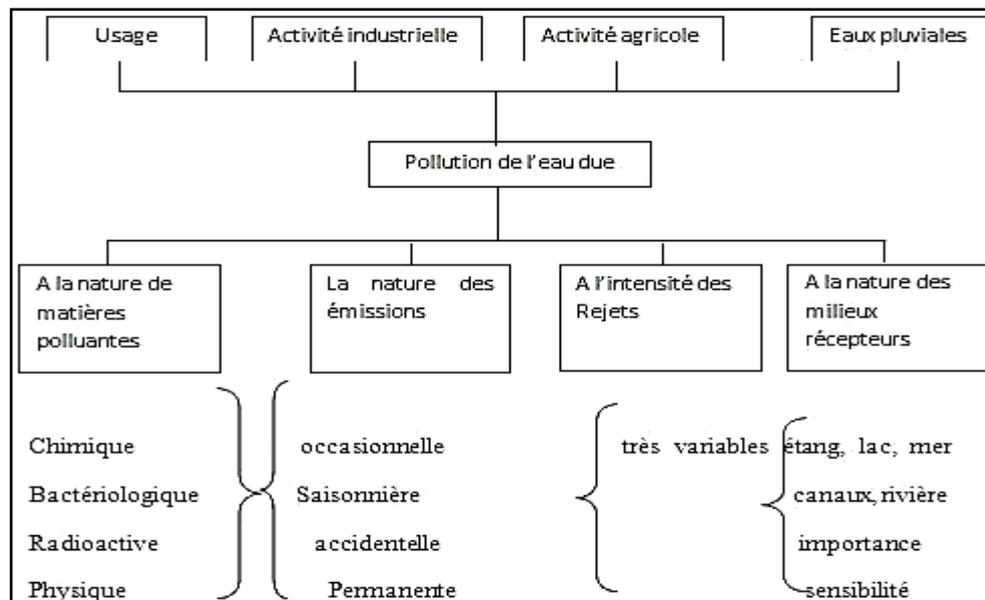


Figure I- 8: Nature de la pollution des eaux.[64]

Ces eaux peuvent être très polluées, surtout en début de saison, en raison de :



- a) La dissolution des fumées dans l'air ;
- b) Le lavage des routes grasses et des toitures remplies de poussière ;
- c) Le lessivage des zones agricoles.

Ces eaux peuvent renfermer des polluants tels que des substances organiques biodégradables ou non, des minéraux dissous ou en suspension, ou des substances toxiques être très polluées, surtout en début de saison

I.1.1.1.16. La pollution agricole

À la campagne, les précipitations entraînent la détérioration des terres agricoles, entraînant l'écoulement d'engrais et de pesticides vers les cours d'eau ou les nappes. Elles possèdent une grande fertilité.[65]

Les caractéristiques des eaux usées

Les eaux usées sont définies en se basant sur leur composition physique, chimique et biologique. En fonction du degré de pollution et des réglementations locales, un traitement physique, chimique et/ou biologique sera employé.

En général, les trois traitements sont combinés afin d'obtenir la meilleure qualité d'eau. Les eaux usées présentent des caractéristiques qui diffèrent grandement d'une industrie à l'autre. Ainsi, les caractéristiques spécifiques détermineront les méthodes de traitement à employer afin de répondre aux exigences en matière de conformité des rejets.

En raison du grand nombre de substances polluantes, il est courant de ne pas prendre en considération les caractéristiques de chaque substance. Les matières présentant des effets de pollution similaires sont regroupées en classes de polluants ou de caractéristiques.

a) Les caractéristiques physiques

On distingue quatre caractéristiques sont :

- 1) **La couleur** : les eaux fraîches doivent être brunes et jaunâtres, cependant, elles peuvent devenir noires avec le temps.
- 2) **Les matières en suspension** : elles sont solides, visibles à l'œil nu et insolubles en suspension dans un liquide.
- 3) **La température** : pour les eaux usées résiduaires, leur température est corrélée à la température extérieure.

- 4) **Turbidité** : les eaux usées ont une turbidité plus élevée à cause des matières en suspension.

b) Les caractéristiques chimiques

Les eaux usées comprennent divers produits chimiques ayant différentes formes :[66]

- 1) **Azote** : on le mesure sous ses diverses formes (nitrate, nitrite, ammoniac et azote organique).
- 2) **Phosphore** : on le mesure sous sa forme organique et minérale, le phosphore total.
- 3) Chlorures (Cl^-)
- 4) Sulfates (SO_4^{-2})
- 5) Métaux lourds.
- 6) **Demande d'oxygène biochimique (DBO)** : La demande en oxygène biochimique est principalement évaluée en fonction de la capacité des déchets à utiliser l'oxygène dissous pour décomposer les eaux usées. On retrouve fréquemment ce test dans le domaine des eaux usées. La DBO est calculée en utilisant la présence d'oxygène dissous dans les eaux usées au début de la période d'essai. Les eaux usées sont stockées à une température de 20 degrés Celsius et l'oxygène dissous est mesuré après 5 jours. En règle générale, la DBO est comprise entre 100 et 400 mg/l dans les eaux usées brutes.
- 7) **Demande d'oxygène chimique (DCO)** : La DCO permet de quantifier la production d'oxygène lors de l'oxydation chimique. Cela consiste à mesurer la quantité de matières organiques qui se trouve dans les eaux usées selon l'oxygène qui est nécessaire pour les oxyder. Les caractéristiques ne varient pas d'un matériau biologique qui peut être oxydé à un matériau qui ne peut pas être oxydé.

La relation entre DBO et DCO est généralement constante pour des déchets spécifiques. En règle générale, la DCO des eaux usées brutes varie de 200 à 700 mg/l. Le temps nécessaire pour l'oxydation lors du test DCO est de seulement 2 heures, tandis que la DBO peut prendre plusieurs semaines.

c) Caractéristique biologique

Il est essentiel d'avoir une compréhension approfondie des caractéristiques biologiques des eaux usées afin de reconnaître les différents types de micro-organismes qui y sont présents. Le niveau de micro-organismes dans les eaux de surface et usées, ainsi que ceux destinés au traitement biologique, doit être connu par l'ingénieur.



Presque tous les types de micro-organismes sont présents dans les eaux usées en raison de l'infiltration du sol, ce qui entraîne la présence de nombreux micro-organismes. Approche de 105 bactéries.

La demande en oxygène biochimique (DBO) correspond à la quantité d'oxygène requise pour stabiliser la matière organique grâce à la présence de micro-organismes. L'huile et la graisse sont issues des déchets alimentaires ainsi que des produits pétroliers. La vie des micro-organismes dans les eaux usées : Les microbes suivants sont présents dans les eaux usées :[67]

- Protozoaires Bactéries Champignons La présence de bactéries,
- Protozoaires, champignons, virus, algues rotifères et nématodes.

Chapitre II :

Matériels et Méthodes

Matérielles et Méthodes

La matière végétale

Le terme *Zizyphus* est dérivé du grec *Zizyphos*, et il pourrait être issu du nom arabe *Zizouf*. Près de 100 espèces, essentiellement présentes dans les régions tropicales et subtropicales de On trouve des espèces en Asie et en Amérique, ainsi que quelques espèces en Afrique et dans les régions tempérées. [68]

Différentes caractéristiques physiologiques et morphologiques des espèces de *Zizyphus* peuvent expliquer leur aptitude à s'adapter aux environnements arides. Le jujubier nécessite peu d'eaux. Cet arbrisseau grandit à une vitesse très lente et donne des fruits vers 4 ans.

Le *Zizyphus lotus* (jujubier) est une espèce d'arbustes fruitiers épineux de la famille des Rhamnacées. On le nomme communément en Afrique du Nord "Sedre". Ses touffes ont un diamètre de quelques mètres et peuvent atteindre 2 mètres de haut. Elle a des feuilles courtes, glabres, caduques alternes et ovales à marges entières. Ses touffes ont un diamètre de quelques mètres et peuvent atteindre 2 mètres de haut. Elle a des feuilles courtes, glabres, caduques alternes et ovales à marges entières. [68]



Image II- 1: la plante de (*Zizyphus lotus*)

À la base de chaque feuille, deux stipules se transforment en épine inégale et fragile. Fleurs de couleur jaune, pentamères, avec une inflorescence cymeuse.

Les fruits sont des drupes soudées avec un endocarpe mucilagineux, connu sous le nom de "Nbeg". [68]

Classement des plantes

- Embranchement : *organismes végétaux*
- Embranche : *Angiospermes*
- Classement : *Dicotylédones*
- Ordre : *Celastrales*
- Genre : *Rhamnacées*
- Species : *Zizyphus*
- *Zizyphus lotus* : est une espèce de lotus [68]

Avantages de la plante (Intérêt et usage)

- Les différentes parties de la plante ont été utilisées dans la médecine traditionnelle pour l'utilisation de *Zizyphus lotus*. Ces fruits sont considérés comme adoucissants et sont utilisés pour traiter la gorge et les irritations broncho-pulmonaires. De la même manière, on utilise la poudre des feuilles sèches et des fruits pour traiter les furoncles.
- Et aussi en Malformations telles que : les problèmes digestifs, la fatigue, les maladies du foie, l'obésité, les problèmes urinaires, le diabète, les infections cutanées, la fièvre, la diarrhée et l'insomnie.
- La consommation du jujubier peut être fraîche, conservée, confite, confiture, liqueur ou en pâte. Il est envisageable de le faire sécher afin de garantir une conservation plus longue.
- Les jujubes, consommés en état frais, sont couramment utilisés et recherchés dans le domaine de la confiserie (fruits confits) et de la pharmacie.
- Dans la médecine traditionnelle, on appliquait autrefois sur les blessures un mélange de cendres de bois de jujubier et de vinaigre ; En raison de leur concentration élevée en vitamines A et C,
- Les jujubes sont utilisés pour fabriquer une pâte pectorale délicieuse, ou des sirops qui font partie de divers médicaments et dont les préparations sont inscrites au codex pour soulager les irritations gastro-intestinales et la toux.
- Les écorces, les pousses et Le noyau de jujube brayé fournirait une huile spéciale de haute qualité et astringente. [68]

Tableau II-1: Nomenclature (nom vernaculaire)[69]

Langue	Nomenclature
Arabe	نبق
Anglais	Buckthorn
Français	<i>Rhamnacées (Zizyphus)</i>

Préparation de charbon actif (CA)

Prétraitement

Afin de valoriser les sous-produits locaux, nous avons utilisé comme précurseur les déchets de *Zizyphus lotus*.

Nous avons collecté le *Zizyphus lotus* au mois de Décembre 2023 dans la région de l'oasis de Metlili située à la wilaya de Ghardaïa (Sud Est Algérien).

Les quatre étapes principales de la préparation des matières premières des déchets de *Zizyphus lotus* sont : **lavage, séchage, broyage, tamisage**.

- ✓ **Lavage** : Consiste à débarrasser les déchets de *Zizyphus lotus* de toute impureté, il est réalisé par l'eau distillée jusqu'à être l'eau de lavage incolore.
- ✓ **Séchage** : Après lavage les déchets de *Zizyphus lotus* sont égouttés puis on laisse la matière sécher dans l'étuve à 100°C pendant 24 heures.
- ✓ **Broyage** : Le broyage à réaliser par moyen de broyeur mécanique afin de fragmenter les déchets en particules de différentes dimensions.
- ✓ **Tamisage** : Dans cette opération on doit tamiser les échantillons à l'aide des tamis aux différentes ouvertures afin d'obtenir deux grandes quantités de granules et poudre [75].

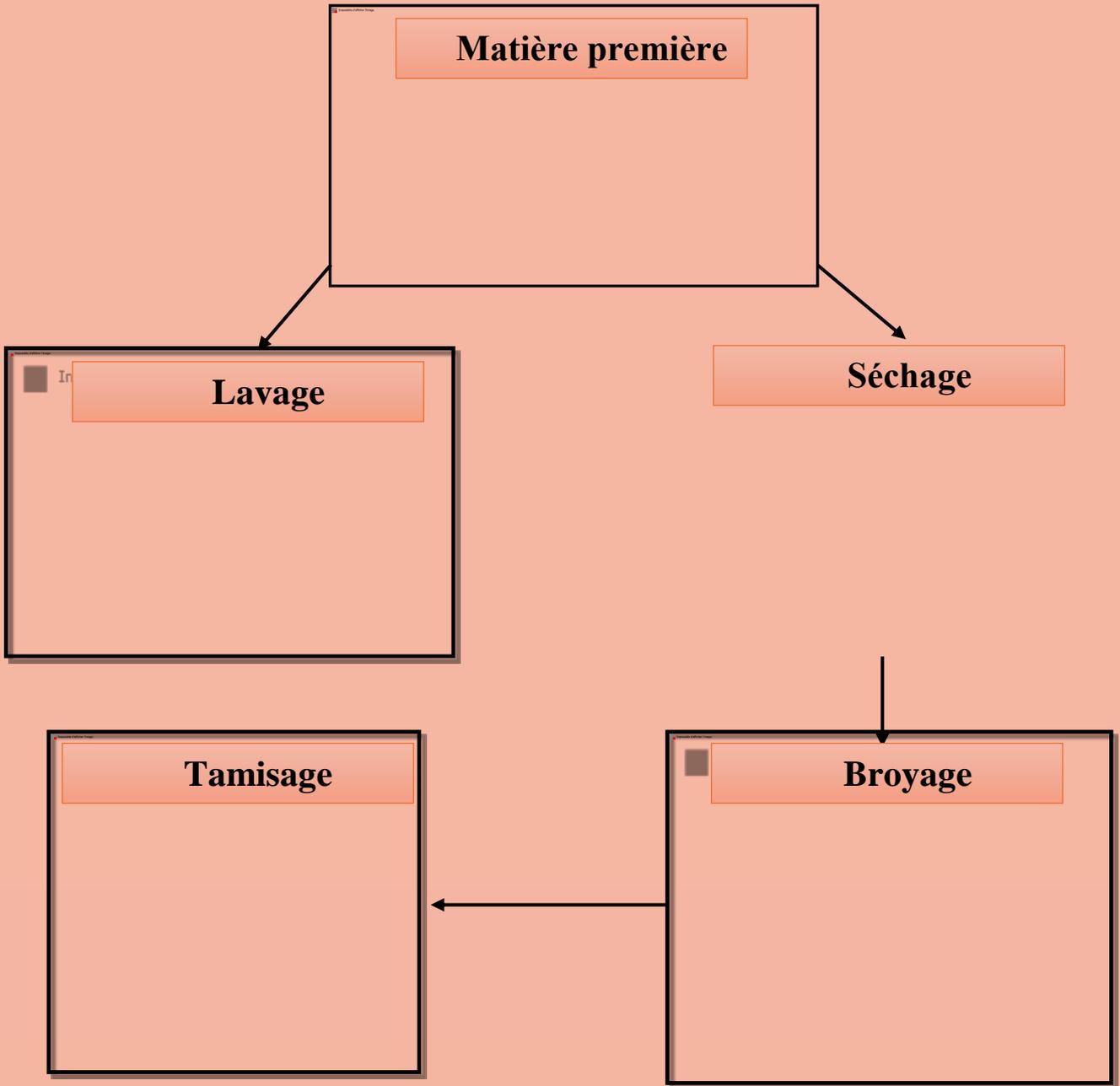




Image II-3: la matière première en poudre **Image II- 4:** la matière première en granula

Activation

Agent activant :

Dans notre travail nous avons utilisée l'acide orthophosphorique au simplement l'acide phosphorique comme agent activant, c'est un oxoacide trifonctionnel (triacide) important en chimie inorganique et fondamental en biochimie, il s'agit d'un acide minéral, Il a un pouvoir oxydant élevé et peut donc interagir avec des réducteurs tels que les métaux, ce qui entraîne la formation d'espèces avec des degrés d'oxydation plus bas[75].

Tableau II- 3: propriété de l'acide phosphorique [70]

Propriété chimique	Acide phosphorique
Formule brute	H_3PO_4
Masse molaire ($g.mol^{-1}$)	97.9952 ± 0.0014
Masse volumique ($g.cm^{-1}$)	1.834 à 18 °c
Pka	2.12 – 7.21 – 12.67

Mode opératoire :

- ❖ Après le tamisage, les échantillons premiers de diamètres $200\mu m < D < 400\mu m$ pour les matières poudres et $800\mu m < D < 1m$ pour les matières granula sont activés par l'agent activant H_3PO_4 (50%) préparé[75].
- ❖ Puis on apprendre un volume de l'agent activant H_3PO_4 50% et on ajoute volume égale à 840 ml à la masse de poudre 400g de *Zizyphus lotus*[75].

Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer Heading 1 au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.

- ❖ Et on ajoute un volume de 120 ml de l'agent activant H_3PO_4 50% à la masse de grain de 200g, et sont ensuite mélangées jusqu'à la formation d'une pâte, puis on laisse activée à 25 pendant 24 h[75].



Image II- 5: L'activation

Lavage : Une fois filtré les deux matières (poudre et granula) à chaque récipient préparer après on laver par l'eau chauffer puis suivis de plusieurs lavages par l'eau distiller jusqu'à l'obtention d'un pH neutre entre (6 et 7) puis on laisse sécher à l'étuve à 105 °C[75].



Image II- 6: Lavage et le séchage de matière premier

Carbonisation

Après le séchage, les matières poudres et grains sont mettre dans dessiccative avec une bonne couverture puis en les placés dans un four, l'activation a été effectuer à une température 600°C pendant 2h pour la carbonisation[75].



Image II- 7: la carbonisation

Les méthodes de caractérisation

Pour caractériser notre charbon actif on a fait les analyses suivantes :

- Le MEB: Pour caractériser la morphologie de la surface
- EDX: pour identifier les éléments chimiques
- FT-IR: pour identifier les groupements fonctionnels
- Les tests d'adsorption à différents masses, concentrations, temps, pH, et température.
- Finalement on a la partie d'application aux traitements des eaux usées par mesurer les paramètres physico-chimiques avant et après traitement par charbon actif.

Chapitre III :

Résultats et discussion

Caractérisation

Burn-off de charbon actif

L'étape de Burn-off correspond à la diminution de la masse de la matière imprégnée par un agent chimique en raison du traitement thermique lors de l'activation.

$$\text{Burn-off \%} = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} * 100$$

Avec : m_0 : masse initiale de l'adsorbant et m_f : masse finale de l'échantillon (après rinçage) exprimées en (g).[74]

Tableau II- 4: Les valeurs de Burn-off pour les deux charbons actifs

Charbons actifs	CAG	CAP
Burn off %	79.12	56.30

Microscopie électronique à balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage est l'un des moyens d'investigation analytiques les plus puissants parmi toutes les techniques de caractérisation des matériaux. Il s'agit d'une méthode efficace pour observer la topographie des surfaces et analyser leur chimie.

Dépôts en fines couches. Elle est inoffensive et offre la possibilité d'observer la surface avec une résolution de quelques nanomètres et une profondeur de champ très élevée. Le microscope électronique à balayage est un instrument d'analyse qui permet d'obtenir des données sur la structure et la composition chimique d'un échantillon analysé. Un détecteur de rayons X est intégré au microscope électronique à balayage (MEB) afin de réaliser une analyse qualitative et quantitative ponctuelle des échantillons. L'analyse EDX (spectroscopie à dispersion d'énergie) est une technique connue. Quand on bombarde la surface d'un solide.[71]

Les figures suivantes présentent les images de microscopie électronique à balayage de la surface externe des charbons actifs préparés.

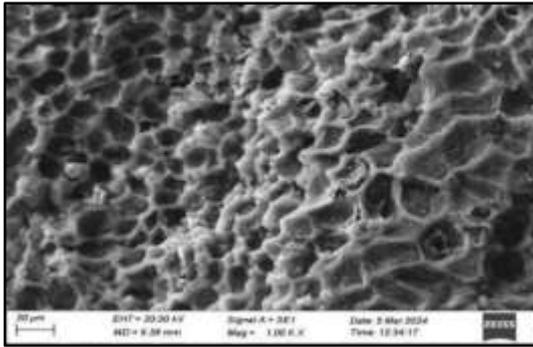


Figure II- 1: RCG 20 um sur 100 kx

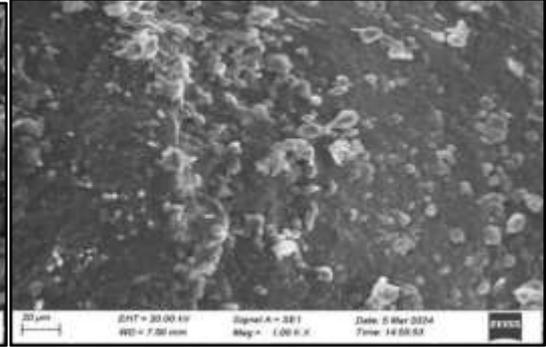


Figure II- 2: RBG 20 um sur 100 kx

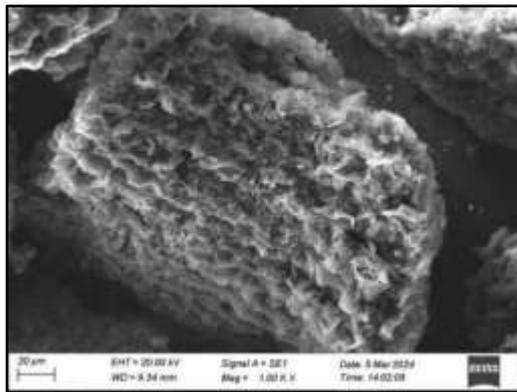


Figure II- 3: RCP 20 um sur 100 kx

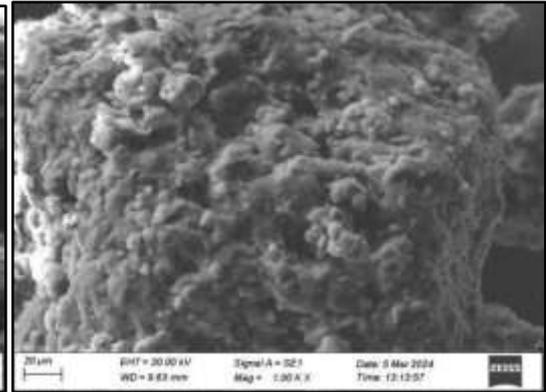


Figure II- 4: RBP 20 um sur 100 kx

Les images de microscopie électronique à balayage de la surface externe des charbons actifs et de brute poudre et grainula obtenus sont présentées sur les Figures présentent divers types de pores clairement identifiés et démontre la continuité des cavités au sein des pores à différentes échelles. De plus, on observe différents types de pores qui se distinguent par des fissures.

Cette dernière montre la présence des pores sous forme micropore et méso-pore à cause des étapes de préparation de charbon actif l'activation et la carbonisation.

On peut remarquer existence de fractures macro et la présence d'une multitude de particules fines attachées aux échantillons. Les particules sont nettement plus apparentes sur tous les charbons RCG et RCP, ce qui peut être dû à des impuretés obtenues lors de la production. À la fois une préparation et une référence à l'origine végétale du charbon.

Spectroscopie par Dispersion d'Énergie de rayons x (EDX)

Le dispositif de microanalyse aux rayons X (EDX) utilisé dans cette étude offre des données quantitatives sur la composition chimique de la surface étudiée des couches minces obtenues. Cette méthode implique d'examiner les données.

Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer Heading 1 au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.

Un échantillon placé sous le faisceau d'électrons du MEB produit des rayons X. L'interaction entre les rayons X et la matière de l'échantillon donne lieu à un spectre discret de raies X dont les longueurs d'onde et les énergies sont propres à l'élément excité.[71]

Après l'analyse des échantillons de chaque matériau préparé par EDX, pour connaître la nature et la proportion des espèces présentes à la surface des matériaux.

Le tableau ci-dessous montre les pourcentages de chaque espèce dans la surface du matériau (RCG, RBG, RCP, RBP)

Tableau II- 5: les métaux existants dans les échantillons

Échantillons	Masse %		
	C	O	Ca
RCG	67.83	13.07	0.97
RBG	40.92	22	2.12
RCP	76.12	40.62	1.43
RBP	55.26	11.11	0.72

Nous observons clairement la présence des différents éléments atomiques constituant les adsorbants qui a montré l'existence des hétéroatomes tel que : le carbone, l'oxygène, le calcium en quantités différentes, ces hétéroatomes sont hérités de la matière première à partir de laquelle le charbon a été produit.

Infrarouge (IR)

Les spectres IRTF ont été réalisés à l'aide d'un spectromètre à transformée de Fourier, est l'une de méthode qui peut être identifiés les groupements fonctionnels, qui utilise un spectromètre à transformée de Fourier couplé et un ordinateur numérique qui permet de tracer des spectres entre $[4000 \text{ et } 400 \text{ cm}^{-1}]$. [72]

❖ Pour la brute

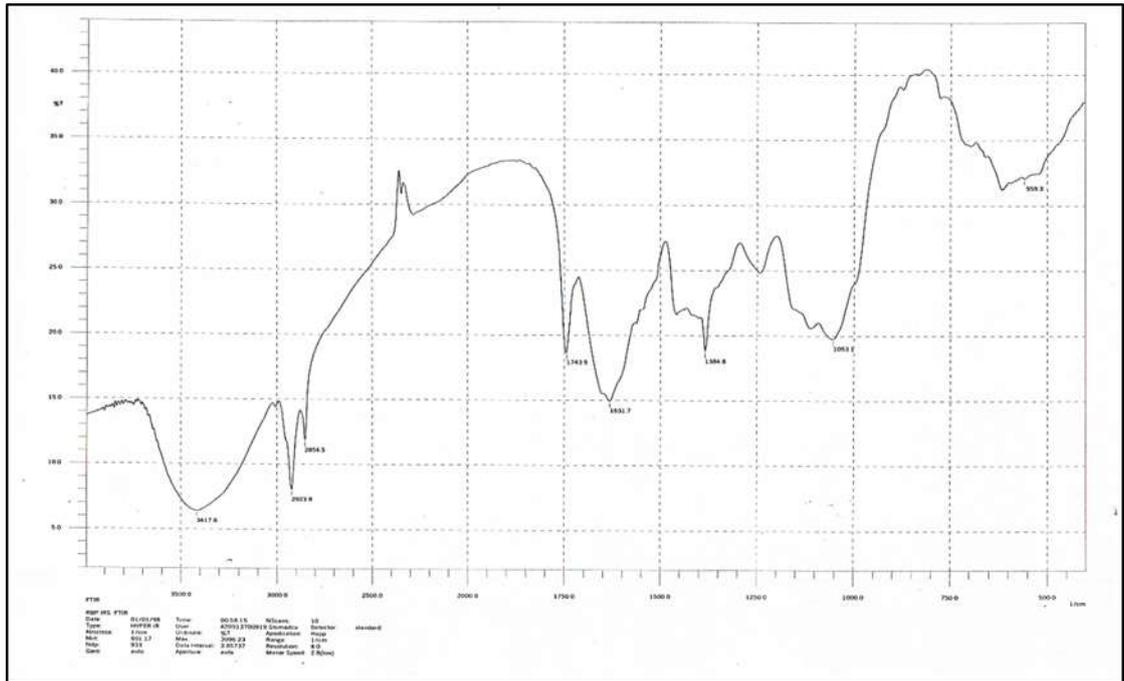


Figure II- 5: Le FT-IR des Rhumnus brute

❖ Pour le charbon actif

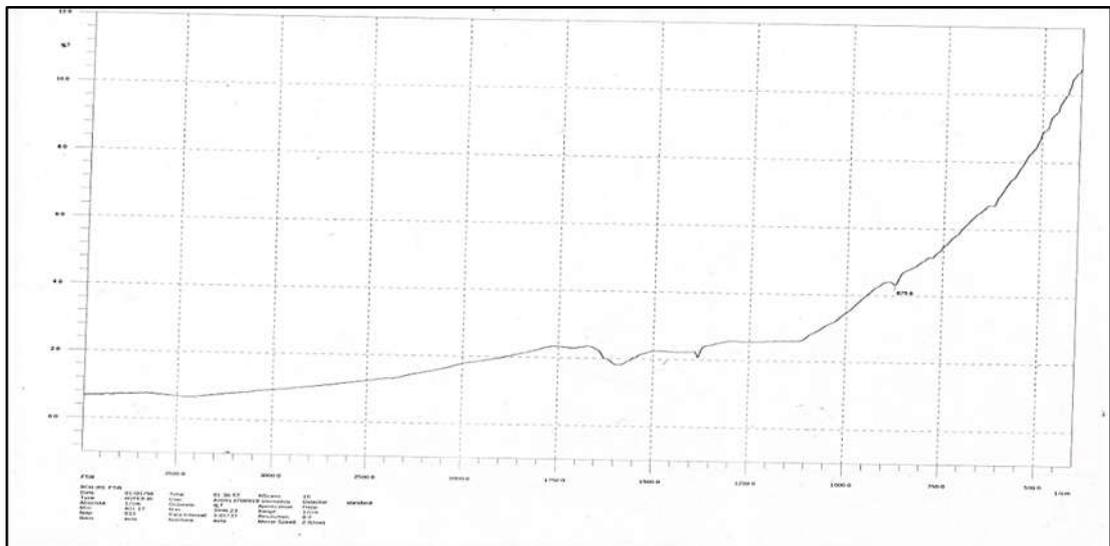


Figure II- 6: Le FT-IR des *Zizyphus lotus* charbon actif.

Les spectres d'analyse montrent la présence de nombreux groupements fonctionnels à la surface des adsorbants préparés.

➤ Pour la brute granula et poudre :

- Une bande d'absorption très large à 3417.6 cm^{-1} correspondant à la liaison OH,

Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer Heading 1 au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.

- À 2 854.5 et 2 923.9 cm^{-1} , apparaissent des pics d'absorption correspondant aux vibrations de liaison de valence C-H,
- Un pic à 1 743.5 cm^{-1} correspondant à liaison C=C,
- La bande d'absorption située à 1 631.7 cm^{-1} correspondant à liaison C=C,
- Un pic à 1384.8 correspondants à vibrations squelettiques de C-O,
- À 1053.1 cm^{-1} , ce pic de faible intensité correspondants à vibrations squelettiques de C-C, Dans les domaines 500 à 1000 on remarque plusieurs bandes d'absorption correspondant aux vibrations d'élongation des liaisons CH arôme.

➤ **Pour le charbon actif granula et poudre :**

- Une bande d'absorption situé à 1600 cm^{-1} correspondant les liaisons C=O des fonctions acides carboxyliques.
- À 1375 cm^{-1} , bande d'absorption correspondante aux liaisons C-H.
- Une bande d'absorption situé à 875.6 cm^{-1} qui correspondante aux vibrations de déformation angulaire des groupements (C - H).

Tests d'adsorption

Parmi les polluants les plus dangereux que nous avons choisis dans notre travail est le Rouge Congo.

Rouge Congo : qui est produit par certaines industries telles que les textiles, l'impression et la teinture, le papier, le caoutchouc et les industries plastiques. De nombreux organismes sont exposés à sa toxicité, ce qui en fait un cancérigène douté et un colorant mutagène, ce colorant a reçu son nom en hommage à l'exploration du fleuve Congo par Stanley l'année de sa découverte.[73]

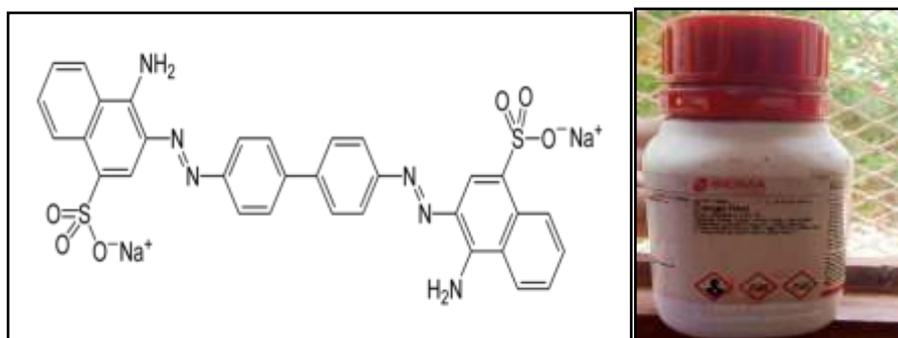


Figure II- 7: structure de la molécule rouge Congo

Image II- 8: Rouge Congo

Tableau II- 6: les propriétés physico-chimiques de rouge Congo[73]

Nom	Rouge Congo
Formule chimique	$C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$
Masse molaire	696.67g/mol
Soluble dans l'eau	25g/l à 25°C
Point de fusion	360°C

Préparation de solution mère

Pour tous les composés étudiés, on a utilisé la même méthode qui consiste à préparer d'abord une solution mère de concentration égale à 100 ppm (mg/l) en dissolvant 25 mg du solide (Rouge Congo) dans une fiole 250 ml et continue avec l'eau distillée jusqu'à d'un trait.

À fin de créer une courbe d'étalonnage pour le rouge Congo nous avons préparé par dilution successive de solution mère des concentration différents (2, 4, 6, 10, 15, 20, 25 ppm).

Tableau II- 7: les concentrations préparer avec les volumes de fiole

Échantillon	1	2	3	4	5	6	7
C (ppm)	2	4	6	10	15	20	25
V de fiole (ml)	25	25	50	50	50	50	100



Image II- 9: Les différentes concentrations afin de créer une courbe d'étalonnage

Chaque concentration on cherche ce nouveau volume v_{sm} à partir la solution mère de rouge Congo.

On a: 100mg/l \rightarrow ?

2mg/l \rightarrow 25 ml donc $V_{sm} = 0.5$ ml

Et par la suite nous avons analysé les échantillons par UV-Visible spectrophotomètre (Uviline 9400 C) à longueur d'onde égale à $\lambda_{max} = 500$ nm pour établir le courbe étalonnage représentant l'absorbance en fonction de concentration de la solution.

Tableau II- 8: Valeurs obtenues pour l'établissement de La courbe d'étalonnage du rouge Congo $\lambda_{\max} = 500 \text{ nm}$:

Échantillon	1	2	3	4	5	6	7	8
C(ppm)	0	2	4	6	10	15	20	25
Abs(nm)	0	0.092	0.188	0.283	0.406	0.686	0.904	1.101

On trace la courbe d'étalonnage $f(C) = \text{abs}$

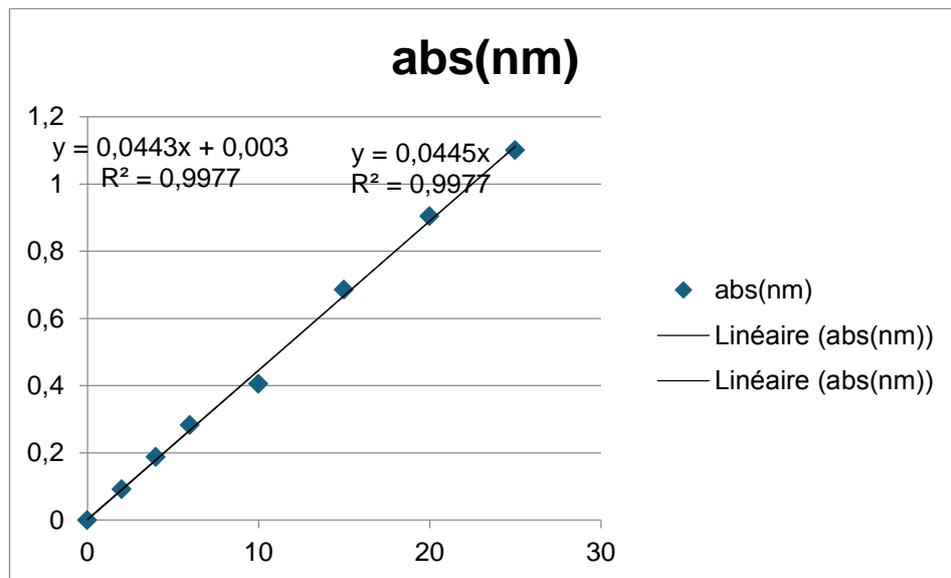


Figure II- 8: Le courbe d'étalonnage de rouge Congo

L'équation de la droite donnant l'absorbance en fonction de la concentration du rouge Congo est : $A = 0.0445 \times C$, avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0.9977$, ce qui peut être considéré comme un bon ajustement linéaire.

L'équation suivante est utilisée pour déterminée la concentration de rouge Congo :

$$C_e = \frac{\text{abs}}{0,0445}$$

Où :

- abs: Absorbance
- c_e : la concentration d'équilibre.

La quantité de rouge Congo adsorbée par l'CA a été calculée par l'équation suivante :

$$q_t = \frac{(c_0 - c_e)}{m} \times v$$

Où:

- c_0 et c_e sont les concentrations en phase liquide (mg.l^{-1}) de RC au début et à l'équilibre, respectivement.
- V est le volume (l) de la solution et m est la masse (g) d'adsorbant sec utilisé.

$$\text{Rendement de RC \%} = \frac{(c_0 - c_t)}{c_0} \times 100$$

Avec :

- c_0 : est la concentration initiale (mg.l^{-1}) et c_t est la concentration au temps t .
- La quantité d'adsorption à l'équilibre, q_e (mg.g^{-1}).

Protocole expérimentale d'adsorption

Dans cette étude nous avons déterminé des plusieurs paramètres ayant une influence sur le phénomène d'adsorption : la masse d'adsorbant, la concentration, pH de milieu, le temps et la température.

Effet de masse

On fait varier la quantité initiale de l'adsorbant, on a préparé une solution à concentration fixe (C_0 égale à 25 mg.l^{-1} de RC) avec différentes masses d'adsorbant grainula et poudre pendant 2h, 250 tr/min d'agitation à température ambiante.

Les résultats sont donnant le rendement et la quantité d'adsorbant en fonction de masse sous forme de courbe. Le tableau ci-dessous représente les conditions opératoires :

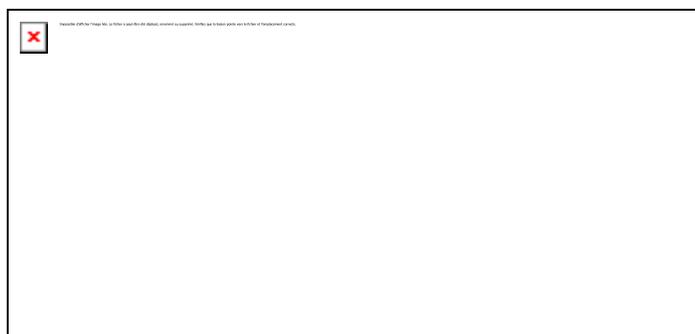


Image II- 10: processus d'adsorption pour la détermination de la masse

❖ Pour les échantillons granula brute et charbon actif :

Tableau II- 9: les conditions opératoires sur l'effet de masse des grains brute et CA

C_0 (mg/l)	25
V_0 (ml)	30
m (mg)	5, 10, 15, 20, 25, 30
Temps d'agitation à 25°C	2h, 250 tr/min

❖ Pour les échantillons poudre brute et charbon actif :

Tableau II- 10: les conditions opératoires sur l'effet de masse de poudres brute et CA

C_0 (mg/l)	25
V_0 (ml)	30
m (mg)	25, 30, 35, 40, 45
Temps d'agitation à 25°C	2h, 250 tr/min

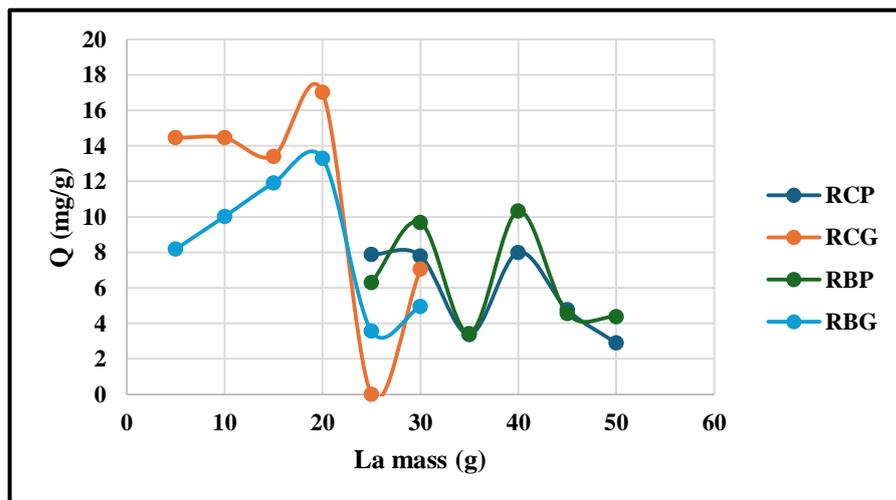


Figure II- 9: effet de masse sur l'adsorption du rouge Congo

D'en haut deux Figure II-9, on remarque ce qui suit :

Pour le grainula, la masse optimale pour une meilleure adsorption est de 20 mg dans les deux échantillons RCG et brute RBG.

Comme pour la poudre, la masse idéale pour la meilleure adsorption est différent de grain égale à 40 mg dans les deux échantillons RCP et RBP.

Cette différence de masse est due aux propriétés physiques des polluants et l'adsorbant, la taille et les diamètres des pores, etc., parce que chaque adsorbant a une capacité d'adsorption limitée.

Effet de concentration

Après l'adaptation de quantité de charbon actif et brute des deux échantillons grainula et poudre, on a fixé la concentration de chaque masse. La concentration est important dans l'adsorption, nous avons testé les concentration suivants ($C_0 = 5, 10, 15, 20, 25 \text{ mg.l}^{-1}$ de RC) avec optimale masses d'adsorbant grain et poudre. Les résultats sont donnés le R et la Q en fonction de la concentration sous forme de courbe, le tableau ci-dessous représente les conditions opératoires.

❖ Pour les échantillons grainula brute et CA :

Tableau II- 11: les valeurs opératoires sur l'effet concentration des grains brute et CA

C_0 (mg/l)	5, 10, 15, 20, 25, 30
V_0 (ml)	30
m (mg)	20
Temps d'agitation à 25°C	2h, 250 tr/min

❖ Pour les échantillons poudre brute et CA :

Tableau II-12: les valeurs opératoires sur l'effet de concentration de poudres brute et CA

C_0 (mg/l)	5, 10, 15, 20, 25, 30
V_0 (ml)	30
m (mg)	40
Temps d'agitation à 25°C	2h, 250 tr/min

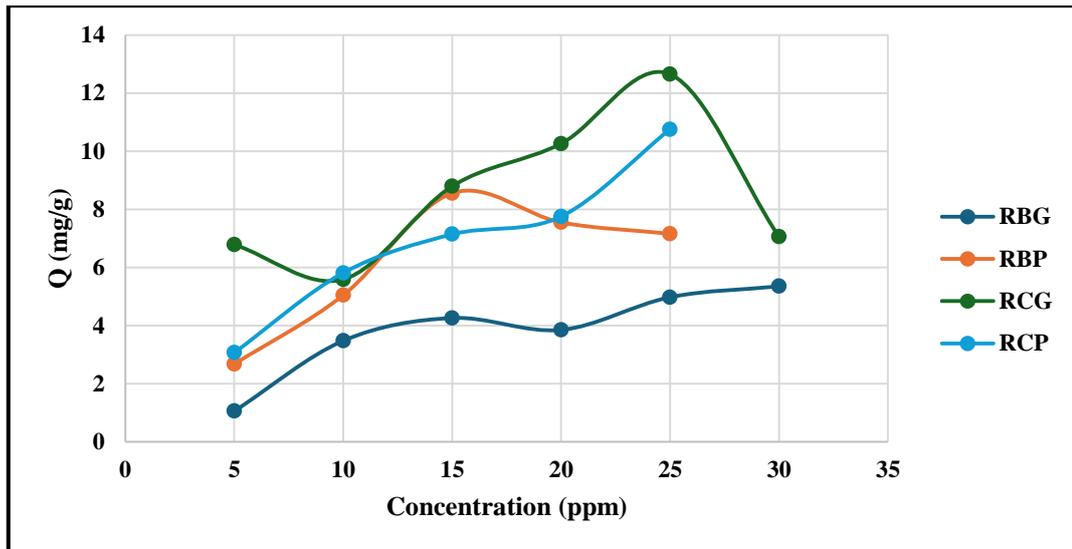


Figure II- 10: effet de concentration sur l'adsorption du rouge Congo

Les résultats montrent que la quantité de RC adsorbée par les échantillons utilisés, lors de cette étude à l'équilibre est d'autant plus importante, nous observons que les valeurs de concentration optimales sont différentes dans chaque échantillon Pour le RCP et RCG la concentration optimum pour meilleur adsorption égale à 25 ppm, Comme pour la brute graine RBG et brute poudre RBP les concentrations idéals sont respectivement différents C égale 30, 15 ppm. Cette disparité de valeur à cause de la disponibilité des sites actifs sur la surface du charbon préparé. Jusqu'à la stabilisation de phénomène, donc il y a une saturation des sites actifs par le polluant (rouge Congo).

Effet de temps

À fin de déterminer le temps de contact nécessaire pour obtenir l'équilibre d'adsorption de la solution concernée de concentrations connues choisies pour le RC, les échantillons sont agités à des temps d'agitation différents, les résultats sont exprimés sous forme de courbe donnant le R et la Q en fonction de temps., le tableau ci-dessous représente les valeurs opératoires.

❖ Pour les échantillons grainula brute et CA :

Tableau II-13: les conditions opératoires sur l'effet de temps des grains brute et CA

C_0 (mg/l)	Brute : 30 / CA :25
V_0 (ml)	30
m (mg)	20
Temps d'agitation à 25°C ,250 tr/min	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90

❖ Pour les échantillons poudre brute et CA:

Tableau II-14: les conditions opératoires sur l'effet de temps de poudres brute et CA

C_0 (mg/l)	Brute : 15 / CA :25
V_0 (ml)	30
m (mg)	40
Temps d'agitation à 25°C ,250 tr/min	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90

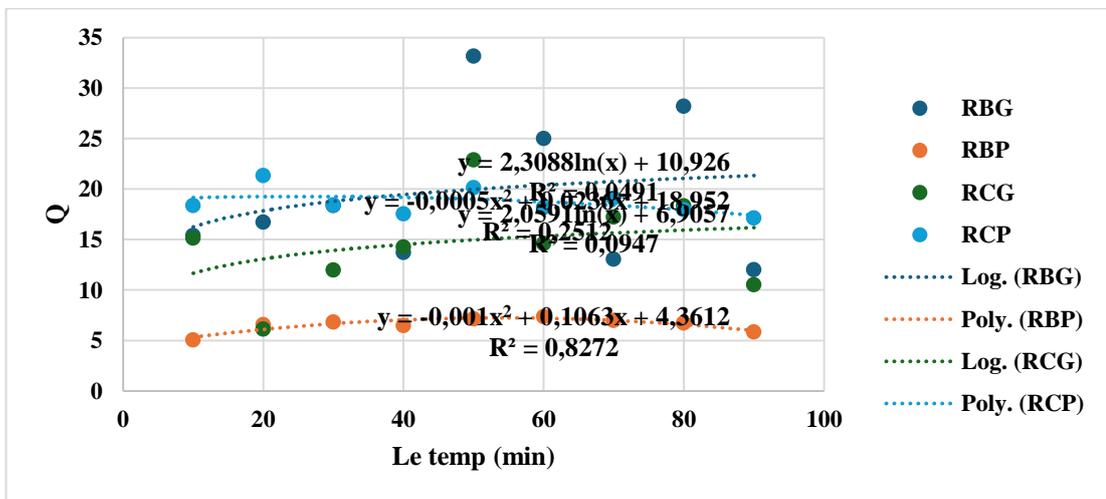


Figure II-11:effet de temps sur l'adsorption du rouge Congo

Le temps d'équilibre est l'un des paramètres les plus importants dans la conception de systèmes de traitement des eaux usées. Ces expériences ont été réalisées à des variations de temps de contact. Après chaque temps de contact, l'échantillon a été retiré et filtré immédiatement et le filtrat a été analysé.

La (figure II-12) montrent le tracé de la quantité de RC adsorbé en fonction du temps sur le charbon actif RBG, RCG, RBP et RCP à 25°C.

Le résultat a montré que l'adsorption à la fois du RC initialement augmente avec l'augmentation du temps de contact et ensuite la capacité d'adsorption est presque constante, l'adsorption atteint l'équilibre. Le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre était 50 minutes pour le RGC et RBG.

Comme pour le RCP le temps maximal pour meilleur adsorption égale à 90 min, et pour RBP a une temps idéal égale à 60min.

Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer Heading 1 au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.

On observe également que RGB présente une adsorption plus élevée que les autres échantillons.

Effet de PH

Le pH joue un rôle important dans tous les processus d'adsorption. Pour cela nous avons fixé la valeur de pH. Cette dernière est modifiée par NaOH (0,1 M) et HCl (0,1 M). Les résultats sont exprimés sous forme de courbe donnant le R et la Q en fonction de pH., le tableau ci-dessous représente les valeurs opératoires.



Image II-11: processus d'adsorption pour la détermination pH

❖ **Pour les échantillons granula brute et CA :**

Tableau II- 15: les conditions opératoires sur l'effet de pH des grains brute et CA

pH	2, 4, 6, 8, 10, 12
C ₀ (mg/l)	Brute : 30 / CA :25
V ₀ (ml)	30
m (mg)	20
Temps d'agitation à 25°C	2h, 250 tr/min

❖ **Pour les échantillons poudre brute et CA:**

Tableau II- 16: les conditions opératoires sur l'effet de concentration de poudres brute et CA

pH	2, 4, 6, 8, 10, 12
C ₀ (mg/l)	Brute : 15 / CA :25
V ₀ (ml)	30
m (mg)	40
Temps d'agitation à 25°C	2h, 250 tr/min

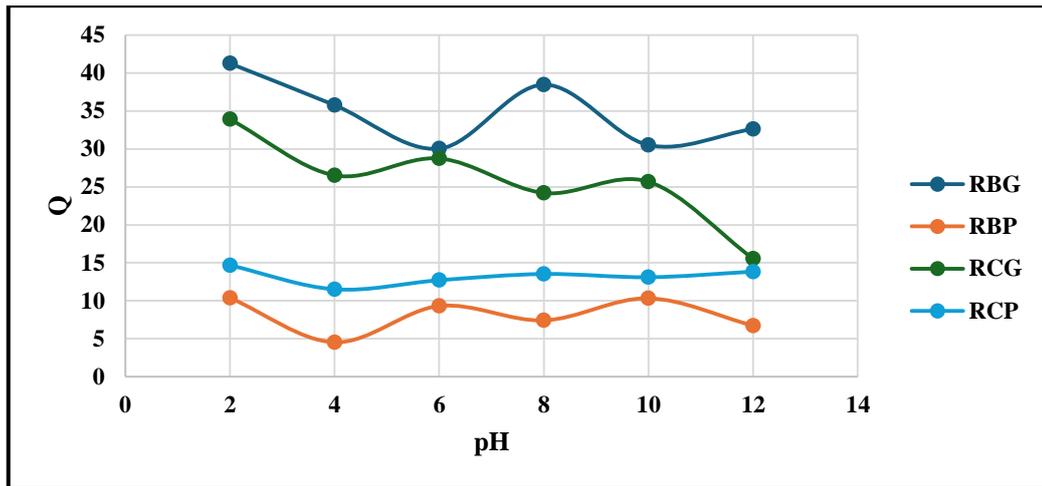


Figure II- 12: effet de pH sur l'adsorption du rouge Congo

À partir de la Figure II-12 nous pouvons voir les quantités optimales de RC retenues par les adsorbants RBG, RCG, RBP et RCP à partir de différentes solutions de pH ont été trouvées en milieu acide de même valeur pH égale à 2, Puis on remarque une diminution légère d'efficacité avec l'augmentation du pH jusqu'à pH 12.

Effet de température

La variation de température joue également un important dans l'adsorption du RC sur les échantillons, donc afin de mesurer meilleur T nous avons utilisé un incubateur, les résultats obtenus sont présentés sous forme des courbes donnant le R et la Q en fonction de T dans les figures suivantes, On teste l'influence de la température dans les conditions suivantes :

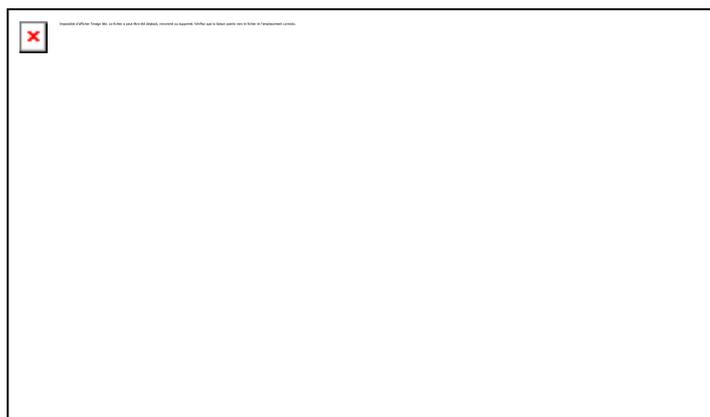


Image II-12: processus d'adsorption pour la détermination de la température

❖ Pour les échantillons grainula brute et CA :

Tableau II- 17: les conditions opératoires sur l'effet de température des grains brute et CA

PH	2
C ₀ (mg/l)	Brute: 30 / CA:25
V ₀ (ml)	30
m (mg)	20
Temps d'agitation 250 tr/min	50
Température °c	25,30,35,45,55

❖ Pour les échantillons poudre brute et CA :

Tableau II- 18: les conditions opératoires sur l'effet de température de poudres brute et CA

pH	2
C ₀ (mg/l)	Brute : 15 / CA :25
V ₀ (ml)	30
m (mg)	40
Temps d'agitation 250tr/min	Brute : 60 / CA :90
Température °C	25, 30, 35, 45, 55

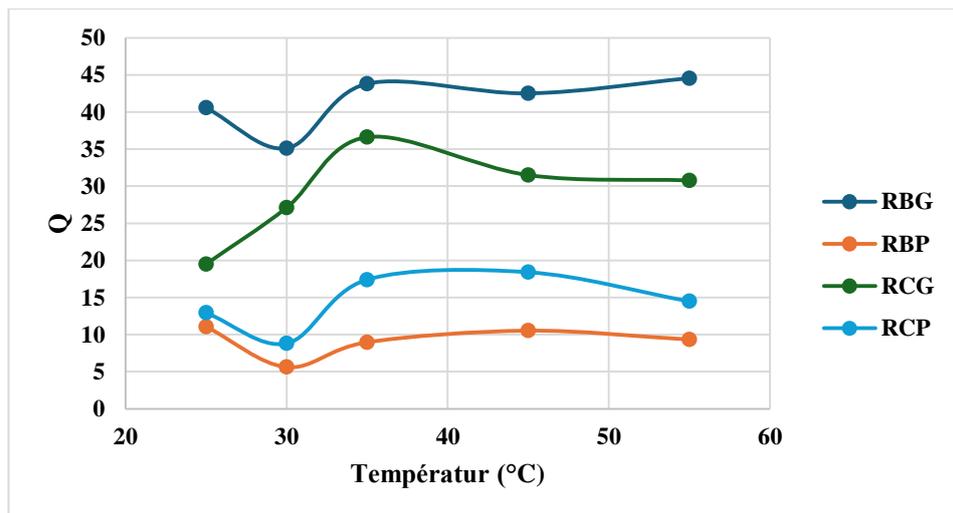


Figure II-13: effet de T sur l'adsorption du rouge Congo

Les résultats montrent la quantité de RC adsorbée par les échantillons utilisés, On remarque que les valeurs de température optimales sont différentes pour meilleure adsorption dans chaque échantillon.

Pour le grain RCG et RBG la température optimale pour une meilleure adsorption est de 35, 55 °C respectivement.

Comme pour la brute poudre RBP et charbon poudre RCP la température idéale est différent 25, 45 °C respectivement.

Modèles d'adsorption

Pour équilibrer les résultats expérimentaux, deux types de modèles isothermes (Langmuir et Freundlich) ont été installés. Leur corrélation avec notre processus d'adsorption a été jugée par les valeurs du coefficient de corrélation (R^2).

Modèle de Freundlich

Diagramme de Freundlich pour l'adsorption du RC sur RBG, RBP, RCP et RCG à 25°C est indiqué dans la figure II-14.

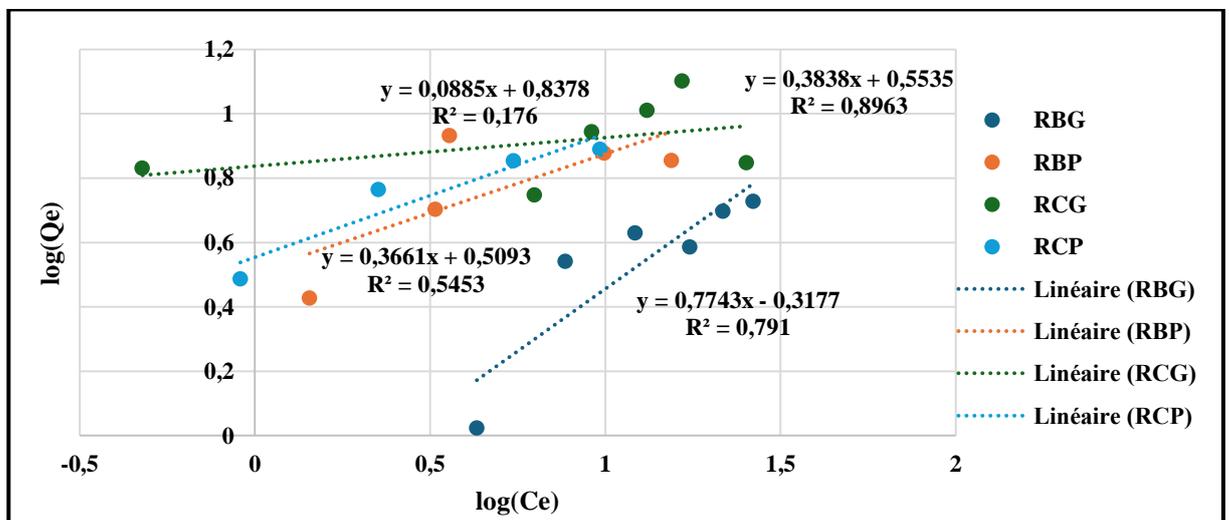


Figure II-14: diagramme de Freundlich pour l'adsorption du Rouge Congo sur RCG, RBG, RCP et RBP à 25 °C.

Les résultats obtenus pour les équations isothermes de Freundlich du Rouge Congo sont répertoriés dans le Tableau II-19.

Tableau II-19: Paramètres obtenus à partir de l'isotherme de Freundlich du rouge congo sur à RCG, RBG, RCP et RBP 25°C.

Adsorbant	Isotherme de Freundlich		
	n	$K_f [(mg \cdot g^{-1}) (l \cdot mg^{-1})^{1/n}]$	R^2
RBG	1.29	0.48	0.79
RBP	2.73	3.23	0.55
RCG	11.3	6.88	0.18
RCP	2.61	3.58	0.89

En général, la valeur n de Freundlich d'un adsorbant efficace est situé entre 1 et 10. Il on a constaté que la valeur de n était pour le rouge Congo : 1.29, 2.73, 11.29, et 2.60 respectivement. Les valeurs de $n > 1$ représentent des conditions d'adsorption favorables, indiquant l'adsorption favorable de RC sur les RBG, RBP, RCG, RCP.

Modèle de Langmuir

Diagramme de Langmuir pour l'adsorption du RC sur RBG, RBP, RCP et RCG à 25°C est indiqué dans la figure II-15.

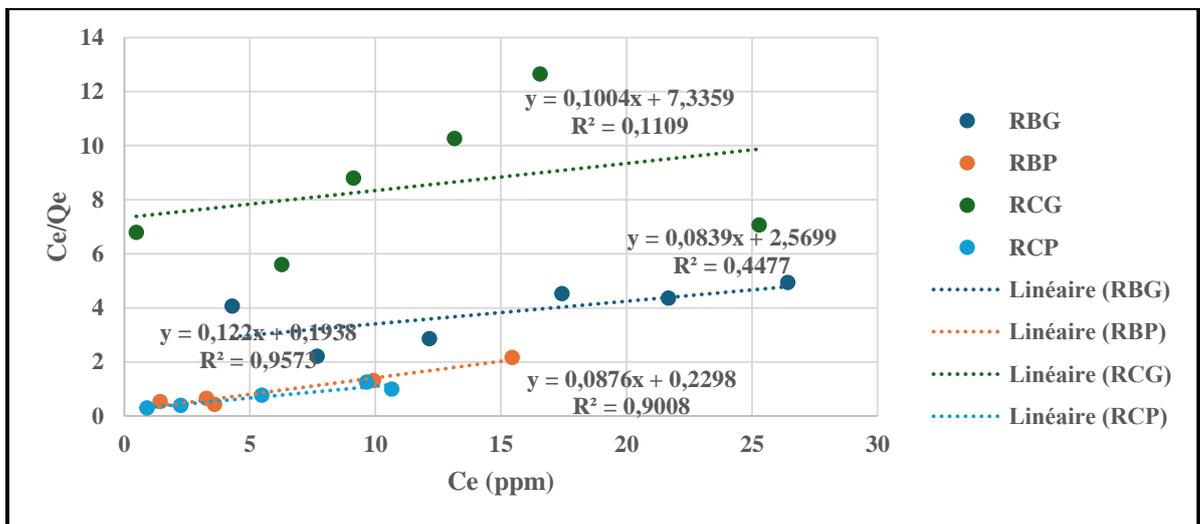


Figure II- 15: diagramme de Langmuir pour l'adsorption du Rouge Congo sur RCG, RBG, RCP et RBP à 25 °C.

Les résultats obtenus pour les équations isothermes de Langmuir du rouge Congo répertorié dans le Tableau II-20.

Tableau II-20: Paramètres obtenus à partir de l'isotherme de Langmuir du Rouge Congo sur à RCG, RBG, RCP et RBP25°C

Adsorbant	Isothermes de Langmuir			
	q_{\max} (mg.g ⁻¹)	b (l/mg)	$K_L=1/(1+bC_0)$	R^2
RBG	11.92	0.0326	0.5051	0.45
RBP	8.20	0.6295	0.0502	0.96
RCG	9.96	0.0137	0.7089	0.11
RCP	11.42	0.3812	0.0804	0.90

Les paramètres tels que le K_L , la constante d'équilibre d'adsorption, qui est liée à l'énergie libre d'adsorption et correspond à l'affinité entre la surface adsorbant et l'adsorbat, sont donnés par le modèle de Langmuir. Ainsi que le maximum quantité d'adsorption (q_{\max}) combinée à la quantité de rouge Congo adsorbée sur pour compléter une monocouche, une couverture complète est obtenue lorsque tous les sites existants ont été remplis.

Les valeurs du modèle q_{\max} Langmuir d'RBG, RBP, RCG, RCP étaient trouvé : 11.91, 8.19, 9.96 et 11.41 mg.g⁻¹, respectivement . Dans la présente expérience, les facteurs (K_L) se sont révélés être pour le Rouge Congo : 0.50, 0.050, 0.70 et 0.080, respectivement. Tous les K_L les valeurs indiquent que l'adsorption était favorable ($0 < K_L < 1$).

Ces résultats indiquent que les modèles isothermes de Langmuir et de Freundlich peuvent tous décrire de manière adéquate les données d'adsorption. L'applicabilité des deux modèles isothermes aux systèmes étudiés implique que l'adsorption monocouche (c'est-à-dire que seul un nombre limité de sites de surface sont des sites d'adsorption pour le Rouge Congo) est possible et que des conditions de surface hétérogènes existent dans les conditions expérimentales étudiées.

Cinétique d'adsorption

Afin d'analyser le taux d'adsorption et le mécanisme d'adsorption possible de RC sur des échantillons de charbons actifs et brute, les modèles pseudo-du premier ordre et pseudo-du second ordre ont été appliqués aux données d'adsorption.

Le modèle du pseudo-premier ordre

Diagramme de pseudo-du premier ordre pour l'adsorption du Rouge Congo sur RBG, RBP, RCG et RCP à 25°C est illustré à la figure II-16, et leurs constantes sont données dans le tableau II-21.

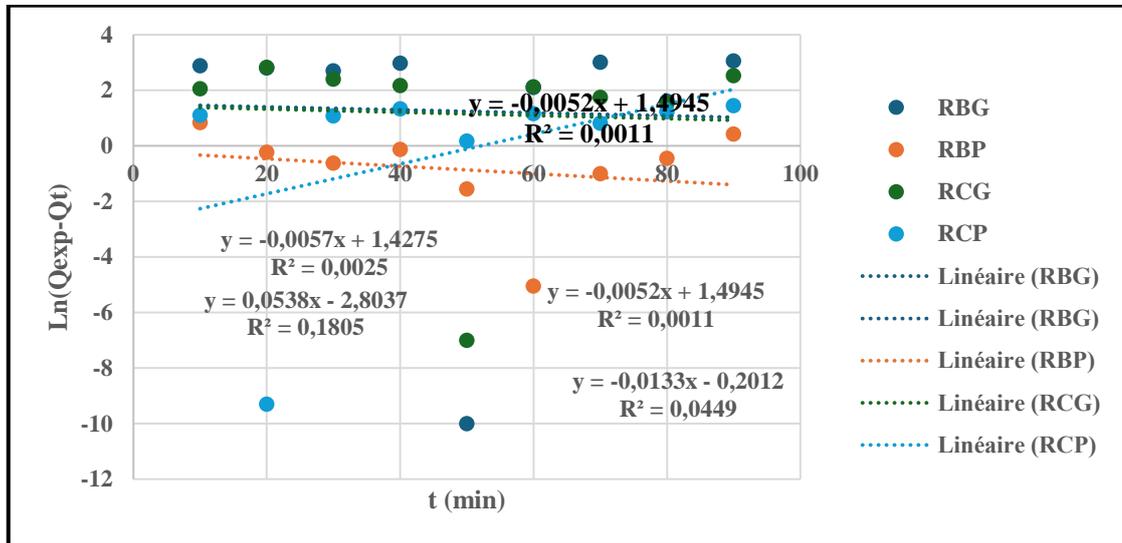


Figure II-16: Diagramme de pseudo-premier ordre pour l'adsorption du Rouge Congo sur RCG, RBG, RCP et RBP à 25 °C

Les résultats obtenus pour les Constantes d'adsorption de pseudo-premier ordre du rouge Congo répertorié dans le Tableau II-21.

Tableau II-21 : Constantes d'adsorption de pseudo-premier ordre du rouge Congo sur des RBG, RBP, RCG, RCP à 25°C.

Adsorbant	Pseudo-premier ordre			
	Q _{e,exp} (mg.g ⁻¹)	Q _{e,cal} (mg.g ⁻¹)	k ₁	R ²
RBG	33.17	4.46	0.0052	0.0011
RBP	7.37	0.82	0.0133	0.0449
RCG	22.91	4.17	0.0057	0.0025
RCP	21.34	0.06	0.0538	0.1805

D'après le tableau II-11, le coefficient de corrélation R² des RBG, RBP, RCG et RCP est respectivement de 0.0011, 0.0449, 0.0025, et 0.1805. Il convient de noter qu'il s'agit de valeurs faibles indésirables, et les valeurs des capacités d'adsorption calculées (Q_{e,cal} calculée) étaient bien inférieures aux valeurs expérimentales (Q_{e,exp} expérimentale), où elles sont

estimées à environ un tiers, ce qui suggère que le processus d'adsorption ne correspond pas au modèle du pseudo-premier ordre.

Le modèle du pseudo-second ordre

Les diagrammes de pseudo-second ordre pour l'adsorption du rouge Congo sur RBG, RBP, RCG et RCP à 25°C sont présentés dans la figure II-17, et leurs constantes sont données dans le tableau ci-dessous. Tableau II-22.

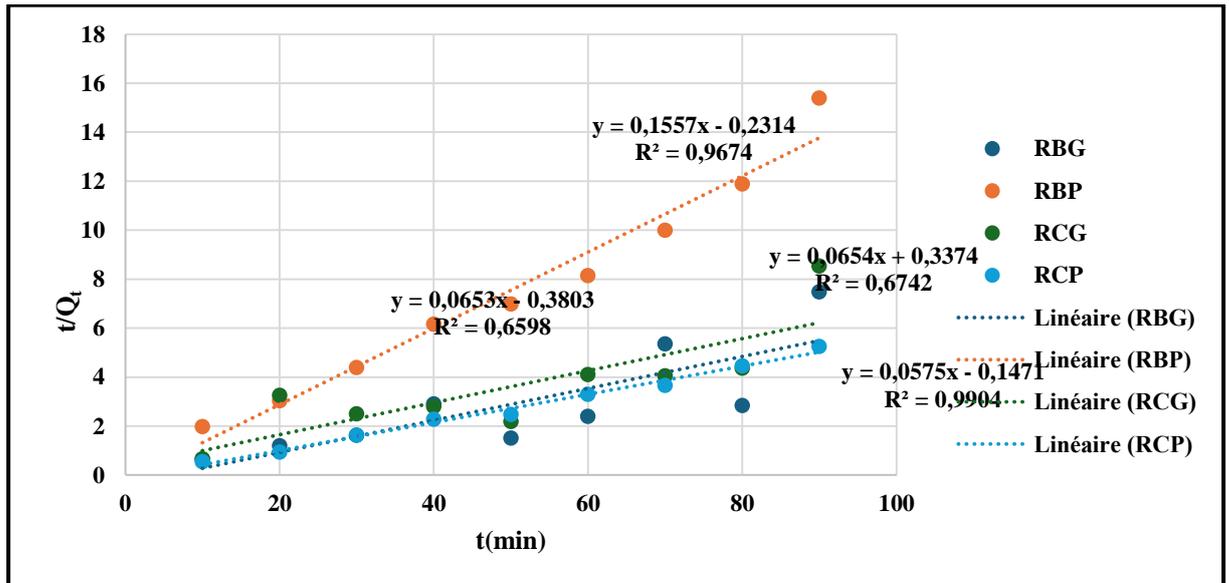


Figure II-17: diagramme de pseudo-second ordre pour l'adsorption du Rouge Congo sur RCG, RBG, RCP et RBP à 25 °C.

Les résultats obtenus pour les Constantes d'adsorption de pseudo-seconde ordre du rouge Congo répertorié dans le Tableau II-22.

Tableau II- 22 : Constantes d'adsorption de pseudo-second ordre du rouge Congo sur des RBG, RBP, RCG, RCP à 25°C.

Adsorbant	Pseudo-second ordre			
	$Q_{e,exp} (mg \cdot g^{-1})$	$Q_{e,cal} (mg \cdot g^{-1})$	$K_2 (g \cdot mg^{-1} \cdot min^{-1})$	R^2
RBG	33.17	15.31	-0.0112	0.66
RBP	7.37	6.42	-0.1048	0.97
RCG	22.91	15.29	0.0127	0.67
RCP	21.34	17.39	-0.0225	0.99

Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer Heading 1 au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.

D'après le tableau II-22, le coefficient de corrélation R^2 des RBG, RBP, RCG et RCP est respectivement de 0.65, 0.96, 0.67 et ,0.99 pour le rouge Congo. Il convient de noter qu'il s'agit d'excellentes valeurs souhaitables. La différence entre les valeurs des capacités d'adsorption calculées ($Q_{e,cal}$ calculée) et les valeurs expérimentales ($Q_{e,exp}$ expérimentale) n'est pas très grande, puisqu'elles sont presque égales, ce qui suggère que le processus le modèle du pseudo-second ordre.

Les travaux ont montré que le modèle du pseudo-premier ordre n'est pas adapté à l'adsorption du rouge Congo.

L'adsorption du rouge Congo, tandis que le modèle du pseudo-second ordre montré des résultats indiquant son association avec leur adsorption.

Application au traitement des eaux usées

Dans toute station d'épuration des eaux usées il est nécessaire d'effectuer des analyses de l'eau brute (l'entrée) et de l'eau traitée (la sortie), dans notre travail nous avons déterminer les paramètres physico-chimiques des eaux usées de la sortie après les traitements primaires afin adapter l'influence de nos charbon actif et brute pour l'élimination des pollutions.



Image II-13: Station de traitement des eaux usées de L'ONA.

Prélèvement de l'eau à analyser

Le prélèvement se fait de la région de Ghardaïa rejet d'eau usée domestique, dans la commune de wilaya de Ghardaïa.

Les eaux de la sortie doivent être prélevées dans des flacons stériles. On apprendre Deux bouteilles de 1 L pour l'analyse physico-chimique et pour l'analyse de DBO avant et après l'ajoute de CA et la brute.

Paramètre physique

On a pris 350 ml d'eau de la sortie avant d'ajouter les échantillons CA et brute pour l'analyse.



Image II-14: L'analyse des paramètres physiques des eaux usées de sortie

Le tableau ci-dessous représente les résultats obtenus.

Tableau II-23 : les résultats d'analyse des eaux usées au niveau de la station L'O.N. A à la sortie

Les paramètres	Résultats
O ₂ (mg/l)	4.93
T (°c)	25.1
Conductivité (ms/cm)	3.52
Salinité (mg/l)	1.9
pH	7.39
DBO (mg/l)	63.5

On remarque d'après le tableau (II-23) que les résultats obtenus (O₂, T, conductivité, salinité, pH et turbidité) sont dépendants des conditions d'exploitations des puits et des unités de traitements des eaux à savoir :

- O₂ : inférieur
- pH : selon la maîtrise du procédé de traitement.
- T : selon le climat.
- Conductivité, Salinité : Plus la conductivité est élevée, plus il y a de sels

Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer Heading 1 au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.

- DBO : très élevée.

Nous avons préparé les conditions opératoires de chaque échantillons RBG, RCG, RBP, RCP et on ajoute 350 ml d'eau usée de la sortie à chaque flacon.



Image II-15: l'analyse des paramètres physique après l'ajoute des échantillons

Le tableau suivant donnant les résultats d'analyse.

Tableau II-24 : Analyse d'échantillons d'eaux usées après traitement par adsorption sur RBG, RBP, RCG, RCP.

Les échantillons	Les paramètres					
	O ₂ (mg/l)	T (°C)	σ (ms/cm)	Salinité (mg/l)	pH	DBO (mg/l)
RBG	6.64	25	2.97	1.8	7.51	27
RCG	6.82	25	2.97	1.8	7.38	0.1
RBP	6.48	25	3.02	1.9	7.52	27
RCP	6.72	25	2.95	1.8	7.49	7.9

D'après les résultats analytiques résumés dans le tableauII-24 précédent, on remarque que les échantillons ont un effet efficace sur l'adsorption caractérisé par :

- ✓ Valeur d'Oxygène dessous est parfait.
- ✓ Conductivité moins inférieure.
- ✓ Salinité faible.
- ✓ pH constante.
- ✓ En note que la meilleur valeur DBO pour RCG et RCP, et la même valeur pour RBG et RBP.

Enfin, il est possible de conclure que les résultats des analyses obtenus après le traitement par adsorption sur RCG, RBP, RBG et RCP indiquent que l'eau peut être rejetée sans danger pour l'environnement naturel, en respectant les normes de rejet. Les particules en suspension peuvent être concentrées ou réutilisées à des fins industrielles.

Conclusion de la partie expérimentale

Au cours de ce travail expérimental, ont commencé par la préparation du charbon actif (traitement primaire et activation chimique) puis la caractérisation des échantillons brute et de charbon actif (caractérisation physico-chimique et propriétés d'adsorption) et d'application du charbon actif et brute pour le traitement des eaux usées.

❖ Les résultats globaux du travail expérimental sont les suivants :

Les déchets de Rhamnus conviennent à la préparation d'un charbon actif réussi avec une excellente surface et les meilleures propriétés, elles peuvent être utilisées efficacement comme matière première pour la production de charbon actif RCA.

- La caractérisation physique nous permet de constater que :
 - Le Burn-off le plus élevé est de 79.12 % en poids pour le grainula, 56.30 % pour la poudre ce qui signifie qu'il a la plus grande surface et le plus grand volume de pores.
 - Des structures de micropores bien développées avec différentes morphologies de déchets de Rhamnus après les processus d'activation ont été trouvées par l'image MEB. Tandis que le EDX indique que la matière brute et les échantillons de charbon actif sont constitués d'éléments communs tel que le calcium (ca), le carbone (c) et l'oxygène (O₂).
 - L'étude FTIR des RB et des RCA a été réalisée et a révélé que les groupes fonctionnels communs sont les suivants : C= C acétone, C-H de (bande CH₃) alcane, C-O éther, C-O-C, C-H aromatique.
 - Les tests d'adsorption comprennent (isothermes d'adsorption, modèles et cinétique).
- Mentionnons les résultats les plus importants :
 - L'élimination du rouge Congo d'une solution aqueuse à l'aide d'RCA et RB préparés à partir de déchets de Rhamnus a été étudiée de manière très efficace.

Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer Heading 1 au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.

- La quantité d'adsorption maximale du RC sur les RCA RB a été observée pour la brute granula 33.17 mg.g^{-1} et pour le charbon poudre 21.34 mg.g^{-1}

En conclusion, nous avons appliqué les échantillons CA et brute aux traitements des eaux usées on a obtenu que le charbon actif en grain est un bon adsorbant pour les polluants organiques.

Conclusion Générale



Conclusion Générale

Le monde d'aujourd'hui se besoin beaucoup d'eau pour se développer et leur croissance. Le travail réalisé au cours de ce mémoire s'inscrit dans le cadre général de la dépollution des eaux usées et pour trouver des solutions.

L'objectif de notre travail est de préparé charbon actif à partir des déchets végétaux pour la possibilité d'utiliser dans l'adsorption des polluants organiques et l'application de purifier l'eau usées, et on a obtenir des résultats très satisfaisants.

L'étude porte sur l'exploitation des déchets de *Zizyphus lotus* provenant des oasis de Metlili wilaya de Ghardaïa - Algérie afin de préparer du charbon actif par activation chimique en utilisant le H_3PO_4 comme agent activant.

Nous avons obtenu des échantillons de charbon actif en un temps record et à moindre coût, en deux étapes : **activation chimique** puis **carbonisation** à $600^\circ C$, Nous avons obtenu deux échantillons de charbon actif **granula** et **poudre**.

La caractérisation des échantillons à travers plusieurs méthodes nous a donné les résultats suivants :

- Les images MEB des matières premières et des échantillons CA et brute ont montré que les processus de carbonisation et d'activation chimique ont entraîné le développement d'une porosité et une grande surface d'adsorption.
- Le EDX a montré que les échantillons de charbon actif et les déchets brute sont constitués d'éléments communs tels que le calcium (Ca), le carbone (C), l'oxygène (O_2)
- Le spectre FTIR du RB et de l'RCA a révélé les groupes fonctionnels communs suivants : C= C acétone, C-H de (bande CH_3) alcane, C-O éther, C-OC, C-H aromatique, à l'exception de la fonction OH, due à l'humidité des matières première (BR) après le processus de lavage.

L'effet de la masse, de la concentration initiale, du temps, du pH et de la température sur la capacité d'adsorption du Rouge Congo sur le charbon actif RBG, RBP, RCG et RCP ont été étudiés.

- La classification des isothermes d'adsorption du Rouge Congo est la courbe H selon Giles et al qui implique que les interactions entre la surface du solide et les molécules adsorbées sont très fortes.

- Les isothermes de Langmuir et de Freundlich ont été étudiées pour tous les échantillons les deux étaient faibles.

- Deux modèles ont été appliqués : un modèle de pseudo-premier ordre et un modèle de pseudo-second ordre sur l'adsorption du rouge Congo, ce qui correspond à un modèle de pseudo-second ordre. Correspondait davantage à un modèle de pseudo-second ordre.

- finalement nous avons appliqué des échantillons CA et brute aux traitements des eaux usées, dans les meilleures conditions opératoires de chaque paramètre pour le granula et poudre les résultats sont les suivantes : pour le grain, la masse 40mg, la concentration de RBG et RCG est 30 et 25 ppm, temps de contact de 50 min, pH égale à 2 et température de 35°C pour RCG et 55°C pour RBG à une vitesse d'agitation 250 tr/min.

Pour la poudre, la masse 20 mg, la concentration de RBP et RCP 15 et 25 ppm, temps de contact 60 et 90 min, pH 2 et la température égale à 45°C pour RCP et 25 °C pour RBP à une vitesse d'agitation 250 tr/min.

Donc en conclusion on peut dire que le charbon actif en granula est un bon adsorbant pour les polluants organiques. L'adsorption des polluants organiques sur le CA est favorisée.

Dans la partie d'application de traitement des eaux on conclut que tous les échantillons à modifié les paramètre physique et chimique positivement en particulier l'échantillon RCG.

Il convient de noter que l'application des charbons actifs ne se limitent pas aux traitements des eaux seulement, mais nous pourrons les exploiter dans de nombreuses autres applications à l'avenir comme des détecteurs dans plusieurs domaines (médical, agricole, environnemental...) à partir outre matière pour fabrication autre type d'adsorbant.

On peut noter que notre étude accepte un continu comme le choix d'activation physiquement ; caractérisation par exemple BET ; DCO. Le résultat qui a obtenir accepte une comparaison par un autres études pour meilleur qualité de charbon.

Référence bibliographique

1. Khelif, S., *Impact de l'irrigation avec les eaux usées sur la qualité des sols agricoles et des eaux souterraines de la région de Fesdis-Région nord de Batna*, 2018, UB1.
2. Hamidouche, S., *Etude l'adsorption compétitive de mélanges de composés organiques sur les argiles pontées organophiles et géomatériaux*. 2016.
3. Temmar, A., *Synthèse d'un support polypyrrole intercalé dans la bentonite. Applications à l'élimination des métaux lourds (Cr⁶⁺, Pb²⁺, Zn²⁺, Cd²⁺)*, 2016, Université M'Hamed Bougara: Faculté des sciences de l'ingénieur.
4. Benmeziane, K. and S. Lehllali, *Etude de phénomène d'adsorption de bleu de méthylène sur les coquilles des amandes*. Mémoire de master. Université Amira-BEJAIA, 2017: p. 34-53.
5. Ibrahim, A.H.B.B., *EFFET DE LA CONCENTRATION DE H₃PO₄ SUR L'ACTIVATION*. MEMOIRE DE MASTER; Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem 2021.
6. Abdurramane Rahmata Cássimo, M.K. and O.R. Labiod Idris, *Les agents responsable de la bioremédiation de l'environnement*. 2022.
7. Benkaddour, B., *Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie)*, 2018, Université de Perpignan; Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
8. <https://www.alcor-controles.fr/pollutions-sol-eau-air/>.
9. DU, A.S.-S., M. DE BOUSSEDRA, and E. BOUNI, *Mémoire de Master*. 2015.
10. Vo, T.S., et al., *Heavy metal removal applications using adsorptive membranes*. Nano convergence, 2020. **7**(1): p. 36.
11. Krou, N.J., *Etude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel AD-OX d'élimination de polluants organiques*, 2010.
12. LAREDJ, L.L.O., *Elimination du bleu de méthylène par adsorption sur des coquilles de noix et de cacahuètes activées par voie chimique*. Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie de l'environnement ; Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2017.
13. Hytef, T., *Adsorption de trichlorophénol par une dolomie modifiée*. MEMOIRE DE MASTER ,université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem 2019.
14. Aljamali, N.M., R. Khdur, and I.O. Alfatlawi, *Physical and chemical adsorption and its applications*. International Journal of Thermodynamics and Chemical Kinetics, 2021. **7**(2): p. 1-8.
15. HAMDOD, A. and A. SALHI, *Etude bibliographique sur l'adsorption de quelques colorants par des bio-adsorbant*, Université KASDI-MERBAH Ouargla.
16. BENARIMA, A.E.H. and M.R. KOUADRI, *Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir de coquilles d'œufs*, 2017.
17. Zineb, B. and A. Amal, *ELIMINATION DU CHLOROPHÉNOL PAR ADSORPTION SUR DES MATÉRIAUX ISSUS DES FRUITS DE Ceratonia siliqua L.(LES CAROUBES)*, 2017, 10-05-2022.
18. Jaafar, S.N.S., *Adsorption study-dye removal using clay*, 2006, Kuktem.
19. Lefki, N., *Etude de l'adsorption du bleu de méthylène sur la poudre des feuilles d'olivier*, 2017, UMMTO.

20. Lamia, D.A.O.M., *Valorisation des déchets des épluchures de pomme de terre pour l'élimination de bleu de méthylène*. Mémoire de maste ; Université de A.M.OULHADJ Bouira, 2016.
21. Badreddine, B.I.O., *Adsorption d'un colorant par un nano ferrite dans l'eau* MEMOIRE DE MASTER ,Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2019.
22. NORDINE, N., *Etude expérimentale du potentiel d'adsorption de polluants métalliques sur la sciure de bois brute et modifiée. Analyse cinétique et thermodynamique*, 2018.
23. Boualla, N. and A. Benziane, *Étude expérimentale sur l'élimination des nitrates par adsorption sur des argiles activées et non activées de la sebkha d'Oran*. Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie, 2011. 7(2).
24. Bentahar, Y., *Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines: application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse*, 2016, Université Côte d'Azur (ComUE).
25. Messemeche, F., *Etude qualitative et quantitative de l'adsorption d'un colorant organique sur le charbon actif*, 2014.
26. MANSOURI Houssam, L.H.E., ... *limination des polluants organiques des eaux usées par un bio-adsorbant*. 2023.
27. BELLAL, K. and B. WALID, *Mémoire de fin d'étude*.
28. Khedda Aicha, M.K., *Etude de la cinétique et isotherme d'adsorption de bleu de méthylène sur les nanotubes d'halloysites*. 2019.
29. zohra, K.C.G.F., *ELIMINATION D'UN COLORANT DE TEXTILE PAR LES HYDROXYDES DOUBLE LAMELLAIRES MgAl-HDL EN SOLUTION AQUEUSE*. Mémoire de master ;Université de Abdel Hamid Ibn Badis Mostganem, 2022.
30. Aouatef, M.D. and M. BENMERZOUKA, *MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE*.
31. Ait Salem, D., *Adsorption d'un colorant sur un matériau naturel*, 2018, UMMTO.
32. FEDDAL, I., *Contribution à l'élimination d'un polluant organique, en milieu hydrique: bleu de methylene (BM), sur des materiaux argileux modifies*, 2016.
33. Fatma, S.O.K., *Modélisation de l'adsorption : Application à la dépollution des eaux*. MÉMOIRE DE MASTER ;Université Mohamed Khider de Biskra, 2019.
34. Ugwu, E., et al. *Adsorption mechanisms for heavy metal removal using low cost adsorbents: A review*. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. IOP Publishing.
35. Dib, F. and A. Sahki, *Traitement des margines par adsorption sur DEAE-cellulose*, 2014, UMMTO.
36. Benfredj, L. and S. Bekkouche, *Modélisation des Isothermes d'Adsorption Expérimentales du Colorant Jaune Basique 28 (BYE 28) sur Trois Photocatalyseurs (TiO2, ZnO et Fe2O3) par des Modèles à Deux, Trois, Quatre et Cinq Paramètres*. 2018.
37. Baelhadj, B.K.A., *Elimination de composés phénoliques et vert malachite par adsorption sur des billes d'alginate/ charbon actif*. Mémoire de Master ; Université de Ghardaïa, 2021.
38. Malika, A., *TRAITEMENT DES MARGINES PAR IRRADIATION GAMMA ET PAR ADSORPTION SUR DIFFERENTS SOL DANS LES CONDIMONS CONVENTIONNELES ET SOUS IRRADIATION DES MICRO-ONDES. ANALYSE ET CARACTERISATION ; thèse de doctorat, 2021, MOULUOD MAMMER TIZI OUZOU*.

39. Samiya, M.L.S.K.S., *Exploitation des propriétés adsorbantes de la vermiculite dans le domaine de traitement des eaux* Mémoire de Master ; Université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2019.
40. TLIDJANE, L. and H. BEHLOUL, *Mémoire de master.*
41. TiCHOUDAD, A. and F. Tamoum, *Préparation et caractérisation d'une argile modifiée. Application à l'adsorption d'un colorant*, 2019.
42. Khadîdja, G.H.K.G., *ISOTHERMES D'ADSORPTION D'UNPOLLUANT DEL'INDUSTRIE TEXTILE.* Mémoire Master ASJP ;Université ABDELHAMID MOSTRANEME . 2021.
43. Catherine, A., *Elimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur charbon actif*, 2009, Thèse de doctorat es-sciences.
44. SOUIGAT, S., *étude comparative de la capacité adsorbant de deus type de charbon actif a partir des fibres de palmier dattier.* Mémoire de Master ;université de Ouargla2017.
45. samiha, B.-R.c., *étude de l'efficacité absorbants du charbon active issue des déchet agricole.* mémoire de master université Biskra, 2021.
46. Wassim , K.B.B.R., *Adsorption des polluants organique par les charbon actifs* mémoire de master ;université Mohammed El Ibrahim de Bordj Bou Arréige 2020.
47. Mbaye, G., *Synthèse et étude des charbons actifs pour le traitement des eaux usées d'une tannerie.* Mémoire de master en énergie et procédés industriels. 2iE, Burkina Faso, 2009.
48. Gharbi-Guentrah, *Isotherme d'adsorption d'un polluants de l'industrie textile.* Mémoire de Master ;Université de MOSTAGANEM2021.
49. hadjer, A.k.B., *Préparation et caractérisation d'un charbon de mark de café.* Mémoire de Master; Université Larbi TEBESSI-Tébessa2020.
50. [http ://WWW.alfatestlab .COM](http://WWW.alfatestlab.COM).
51. MAHBOUB, M. and N. HAFIANE, *Préparation et Caractérisation d'un charbon actif à partir des tiges des roseaux par voie chimique*, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA.
52. Poisson, R., *La guerre des terres rares.* L'Actualité chimique, 2012. **47**.
53. BENAMOR, R. and N.e.I. NEDJAA, *Étude de l'effet de la réactivation par voie chimique d'un charbon active commercial-Application environnementale*, Université KASDI-MERBAH Ouargla.
54. /carte-didentite-du-charbon-actif, U.f.j.
55. Maxicours.cours .com/se/cours/I-accéce-a-i-eau-dans-le-monde/.
56. –eaux-usees-et-leur-traitement, J.f.b.-l.
57. TEBIB, F. and S. KALLOUM, *Evaluation des performances épuratoires de la STEP de Groupement Reggane Nord GRN*, 2020, universite Ahmed Draia-ADRAR.
58. Eme, C. and C. Boutin, *Composition des eaux usées domestiques par source d'émission à l'échelle de l'habitation.* Publication Onema, 2015.
59. <https://provencegeoconseils.com/quest-ce-que-les-eaux-usees-domestiques/>.
60. <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/Agroenvironnement/fertilisants/Pages/eauxusees.aspx>.
61. Bengue-Abdelkader, *optimisation par plan d'expérience d'un préparation de charbon active.* Mémoire de Master ;Université Abdelhamid ibn bardis mostaganem, 2020.
62. Chartier, M., *Les types de pollutions de l'eau.* Norois, 1974. **82**(1): p. 183-193.

63. Muckensturm, F., *La pollution des eaux en Provence-Côte d'Azur*. Méditerranée, 1973. **12**(1): p. 81-93.
64. Larbi, B.M.E.B.M., *Impact de la taille du bassin versant sur la performance du réseau d'eau pluviale Zone d'étude : DRAA-ERRICH*.
- Annaba Mémoire de Master; Université BADJI MOKHTAR – ANNABA, 2020.
65. OTHMANI, S. and S. GHORMA, *Evaluation du rendement épuratoires de la station d'épuration de la ville de ILLIZI*.
66. Rachid, C., *TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES*, 2020/2021.
67. *testbook; Quality and Characteristics of Sewage: Physical, Chemical, Biological*. 18/5/2023 [cited 2024; Available from: <https://testbook.com/environmental-engineering/quality-and-characteristics-of-sewage>].
68. Nadjat, N.A.D., *Utilisation des résidus végétaux secs (noyaux de Rhamnus d'une zone de Hodna. M'sila. Algérie) dans le domaine préservation environnemental*. Mémoire de Master ; UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2018.
69. BENCHIHA, W., *Phyto-écologie et étude biochimique des composants phénoliques (traitement in vivo contre hépatite) de Rhamnus alaternus L. des monts de Tessala wilaya de Sidi Bel Abbes*, 2016.
70. *Acide phosphorique - Définition*. [cited 2024; Available from: <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Acide-phosphorique.html>].
71. BOUDJEHEM, H., *Synthèse et caractérisation des couches minces Ni-Mo et Ni-Mo-W pour application à la réaction de dégagement d'hydrogène en milieu alcalin*, 2021.
72. Ouikene, S. and N. Chemeur, *Etude comparative entre un adsorbant utilisé à la station de traitement des eaux de Taksebt et des adsorbants préparés à base de grignon d'olive*, 2015, UMMTO.
73. Mohamed, B.M.I.A.A., *Etude d'adsorption d'un biosorbant naturel à base de coquillage de moule comme support fixateur du rouge congo*. mémoire de master ; Université de Blida I., 2018.
74. Mama, B.S.B., *Activation d'un déchet végétal par diverse méthode*. mémoire de master ; Université Abdelhamid Ibn Badis University – Mostaganem, 2023.
75. Bentarf, Djehad & Sekirifa, Mohamed Lamine & Hadj Mahammed, Mahfoud & Richard, Dominique & Pallier, Stephanie & Bachari, K. & Hakim, Belkhalifa & Al-Dujaili, Ammar. (2021). Characterization of activated carbon prepared from dates palm fibers by physical activation to the removal of phenol from aqueous solutions. *DESALINATION AND WATER TREATMENT*. 236. 190-202. 10.5004/dwt.2021.27711.

Annexe



Annexe 1: Moyenne de broyage



Annexe 2: Tamiseur



Annexe 3: Etuve



Annexe 4: Balance

Annexe



Annexe 5: Plaque chauffante



Annexe 6: Four



Annexe 7: incubateur



Annexe 8: centrifugation



Annexe 9: UV-visible



Annexe 10: PH-mètre

Annexe



Annexe 11 : Incubateur -Tcheker



Annexe 12 : DBO-mètre

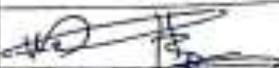


Annexe 13: Microscope électronique à balayage(MEB)



Annexe 14: Infrarouge à transformée de Fourier (ATR-FTIR) spectromètre

Autorisation d'impression finale d'un mémoire de master

	Nom et prénom	Signature
Le président de jury	Hellali Naima	
Examineur 1	BOUAMER Kheira	
Examineur 2	LAGHOUITER Oum Keltoum	
Encadrant	BENTARFA djehad	

Soussigne Dr : Hellali Naima.

Président de jury des étudiant (s) - MOULAY ABDALLAH Ikram
 - MOULAY ABDALLAH Habiba

Filière : Génie des procédés ; Spécialité : Génie chimique

Thème : Préparation de charbon actif à partir les déchets de Rhamnacées (Application aux traitements des eaux).

Autorise-le (s) étudiant (s) mentionné (s) ci-dessus à imprimer et déposer leur (s) manuscrit final au niveau du département.

Le président de jury



Ghardaïa le: 25/06/2024
 Le chef de département
 رئيس قسم هندسة الطرائق -1
 بوعمامر
 * قسم هندسة *
 * قسم هندسة الطرائق -1 *