الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيات المتقدمة
Ecole Nationale Supérieure des Technologies Avancées

Département génies des procèdes

Mémoire de master en vue de l'obtention du diplôme

D'INGENIEUR d'État

-Filière-

Génies des procèdes

-Spécialité -

Traitement des eaux

- Thème -

Étude du processus d'adsorption sur charbon actif pour le traitement des effluents pétroliers

Réalisé par :

Nom et Prénom : BOUSSEKINE Malak

Les membres de Jury :

OUARKOUB Samia	Président
ZEMMOURI Hassiba	Encadreur
CHEIKH Assira	Examinateur
RECHIDI Youcef	Co- Encadreur

Alger, le 20/ 06 /2024

Année universitaire 2024 –2023

Dédicace

Louange à Allah seul, et louange à personne d'autre. Louange à Allah qui m'a donné le don de la vie et le don de la connaissance, et aujourd'hui nous sommes à la dernière station universitaire. J'ai l'honneur de dédier cet humble travail à la source de ma force, au propriétaire d'un bon visage et de bonnes actions, à celui qui s'est sacrifié pour moi et n'a épargné aucun effort pour me rendre heureux ma mère Hafidha, qu'Allah la protège, à celui qui n'a pas lésiné sur moi tout au long de sa vie mon cher père Hassane, qu'Allah le protège. À mes chères sœurs Yassira et Nassika, je vous aime, à mon bras droit mon frère Nadir, à mon cher oncle Azzedine et à toute ma famille, à mes cher professeur Dr ZEMMOURI Hassiba et DR CHEIKH Assira, à mon amie et compagne qui était autrefois une collègue et qui est maintenant une chère sœur Aya pour son soutien moral, merci et que Dieu prolonge ta vie, à mes frères que ma mère n'a pas mis au monde [Amine et Imane,], à tous mes parents, collègues, amis, professeurs et à tous ceux qui sont dans mon cœur.



BOUSSEKINE Malak

Remerciement

Avant tout, nous voudrions remercier Allah Tout-Puissant pour son don de nous donner la grâce de la vie et la grâce de la connaissance pour accomplir ce travail. Nous tenons à remercier :

Notre encadreur Dr Z Hassiba, Pour l'aide précieuse qu'elle nous a apportée, sa patience, ses conseils et ses encouragements, Sa vision critique nous a été très précieuse pour la réussite de ce travail de recherche. Que Dieu prolonge sa vie et lui donne la santé.

A tous les membres du jury pour leur gentillesse et pour avoir accepté de juger notre travail.

A Madame Dr CHEIKH Assira, pour avoir accepté d'examiner ce travail, merci Madame, que Dieu vous protège .

J'adresses mes remerciements également à le directeur de la raffinerie d'Alger Monsieur Hakim Zemour et à Monsieur RECHIDI Youcef et à tous membres du laboratoire de la raffinerie d'Alger, chercheurs, techniciens et ingénieurs avec qui j'ai eu le plaisir de travailler.

Enfin, nous tenons également à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Je ne pense pas qu'il existe des expressions qui expriment l'étendue de mes remerciements et de ma gratitude à votre égard.

Merci Beaucoup



ملخص

تحتوي المياه الزيتية على مركبات عضوية متفاوتة الطبيعة والتركيز. إن تصريف هذه النفايات السائلة في البيئة أمر غير مرغوب فيه وهو مصدر الكثير من التلوث للمياه السطحية والجوفية. لذلك تهدف الأبحاث الحالية إلى الحد من هذا التلوث الصناعي من خلال اقتراح تقنيات بسيطة وأقل تكلفة.

الهدف من هذا العمل هو دراسة متوسط المحتوى الهيدروكربوني والجودة الفيزيائية الكيميائية للمياه الزيتية بعد معالجتها بالامتزاز على الكربون المنشط.

الكلمات المفتاحية : التكرير، التلوث ، النفايات ، الامتزاز ، الفحم، المياه الزيتية ، المواد الهيدروكربونية

Résumé

Les eaux huileuses contiennent des composes organiques de nature différente et de concentrations variables. Le rejet de tels effluents dans l'environnement est indésirable et est à l'origine de nombreuses contaminations des eaux de surface et souterraine. Les recherches actuelles visent donc à limiter cette contamination d'origine industrielle en proposant des technologies simples et moins coûteuses.

L'objectif de ce travail est l'étude de ce procédé des valeurs moyennes des teneurs en hydrocarbures et la qualité physico-chimique des eaux huileuses après traitement par adsorption sur charbon actif.

Mots clés : Raffinage, pollution, rejets, adsorption, charbon actif, les eaux huileuses, hydrocarbures

Abstract

Oily water contains organic compounds of varying nature and concentration. The discharge of such effluents into the environment is undesirable, and is the source of much surface and groundwater contamination. Current research therefore aims to limit this industrial contamination by proposing simple, less costly technologies.

The aim of this work is to study the average hydrocarbon content and physico-chemical quality of oily water after treatment by adsorption on activated carbon.

Key words: Refining, pollution, releases, adsorption, activated carbon, waste water, hydrocarbons

Table des matières

Liste des figures 1
Liste des tableaux 2
Liste des abréviations : 3
Introduction générale 4
Chapitre I : Généralités sue les eaux huileuses 6
I.1 Introduction 6
I.2 Définition et l'origine de la pollution des eaux 6
I.2.1 Origine domestique 6
I.2.2 Origine agricole 7
I.2.3 Origine industriels 7
I.3. Les eaux résiduaires industrielles 7
I.4. Les différents types d'eaux résiduaires industrielles 9
I.5 Définition des eaux huileuses 9
I.5.1 Eau normalement huileuse 9
I.5.2 Eau accidentellement huileuse 10
I.6 Présence des hydrocarbures dans l'eau 10
I.7 Paramètres de mesure de la pollution des eaux huileuses 10
I.7.1 Paramètres organoleptiques 11
I.7.2 Paramètres physiques 11
I.7.3 Paramètres chimiques 11
I.8 L'impact des rejets industriels résiduaires sur l'environnement 13
I.9 Normes des effluents rejetés en Algérie 13
I.10 Traitement des eaux huileuses 15
I.10.1 Traitement primaire 15
I.10.2 Traitement Secondaire 15
I.10.3 Le traitement tertiaire 17
I.11 Conclusion 18
Chapitre II : Application de l'adsorption par charbon actif dans traitement des effluents de la raffinerie 19
II.1 Introduction 19
II.2 Type d'adsorption 19
II.2.1 L'adsorption physique 19

II.2.2 Adsorption chimique 19
II.3 Description du mécanisme d'adsorption 21
II.4 Équilibre d'adsorption 22
II.4.1 Isotherme d'adsorption de Langmuir 22
II.4.2 Isotherme de Freundlich 23
II.4.3 Isotherme de B.E.T 23
II.5 Facture influençant l'adsorption 24
II.6 Les adsorbants 24
II.4.1 Les charbons actifs 24
II.4.2 Les zéolithes 25
II.5 Généralité sur charbon actif 25
II.6 Propriété physiques du charbon actif 25
II.7 Types des charbons actifs 26
II.7.1 Charbon actif en poudre (CAP) 26
II.7.2 Charbon actif en grain (CAG) 26
II.8 Facture influençant l'adsorption par charbon actif 27
II.8.1 Température 27
II.8.2 pH 27
II.8.3 Solubilité de l'adsorbat 27
II.8.4 Granulométrie 28
II.9 Application de l'adsorption par charbon actif dans traitement des effluents de la raffinerie 28
Conclusion Générale 31
Références Bibliographique 32

Liste des figures

N°	Figure	Page
Figure I-1	Organigramme de différentes classes des eaux usées industriel	04
Figure I-2	Représentation schématique de la flottation à air dissous	10
Figure II-1	Mécanisme d'adsorption en phase aqueuse sur charbon actif	13
Figure II-2	charbon actif en poudre	18
Figure II-3	charbon actif en grain	19
Figure II-4	Les ports de charbon active en poudre sous microscope	20

Liste des tableaux

N°	Intitulé	Page
Tableau I.1	Les normes des effluents rejetés en Algérie.	08
Tableau II.1	Principales différences entre la physisorption et la chimisorption.	13

Liste des abréviations :

HCP	hydrocarbure pétrolier
pH	Potentiel d'Hydrogène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
CA	Charbon Actif
MES	Matières En Suspension
NTK	Nephelometric Turbidity Unit
HC	teneur des Hydrocarbure
BET	Brunauer-Emmett-Teller
DAF	Dissolved Air Flotation
CAP	charbon actif en poudre
CAG	charbon actif en grain
EH	Effluents huileux
COT	Carbone total organique

Introduction générale

L'industrie pétrochimique et pétrolière représente un secteur qui joue un rôle très important dans l'économie du pays. Cependant, ces différentes activités industrielles génèrent un quotidiennement de grandes quantités d'eaux contaminées par des hydrocarbures, des particules solides et des matières en suspension. Coelho et coll [1] ont documenté que, pendant la phase de production dans le traitement des raffineries de pétrole, la quantité d'eau consommée varie entre 0,4 et 1,6 fois le volume de pétrole traité. Le rejet de tels effluents dans l'environnement est à l'origine de nombreuses contaminations des eaux de surface et souterraine, érosion des sols, perturbation de l'écosystème et risque pour la santé humaine. Le traitement de ces effluents est devenue une des principales objectif des pays producteurs de pétrole. Elle constitue actuellement une composante essentielle dans la stratégie de développement des entreprises.

Pour atteindre cet objectif, de nombreuses technologies de traitement de l'eau ont été développées ces dernières années. notamment le traitement biologique [2], l'osmose inverse [3], les résines échangeuses d'ions [4], l'adsorption granulaire sur charbon actif. [5], la coagulation et à la coagulation [6], électrocoagulation [7], distillation catalytique sous vide [8] et oxydation électrochimique [9].

L'adsorption est l'une des procédures les plus efficaces pour réduire les produits chimiques organiques et inorganiques restant dans les effluents après un traitement conventionnel. Le procédé d'adsorption le plus répandu est basé sur l'adsorption par charbon actif [10]. Certains des avantages relatifs de l'adsorption par rapport à d'autres approches d'oxydation avancées comprennent : (1) Elle a la capacité d'éliminer les éléments organiques et inorganiques à des concentrations extrêmement faibles, (2) Il n'y a pas de formation de boue, (3) Il s'agit d'un simple et une méthode de fonctionnement sûre, et (4) l'adsorbant est régénérable et réutilisable. En outre, la procédure est abordable car elle utilise des matériaux facilement disponibles qui peuvent être utilisés comme adsorbants après un traitement approprié [11].Pour ces raisons, le travail que nous avons effectue a pour but de traiter des eaux usées par l'adsorption sur charbon actif.

Notre étude comporte deux chapitres : Dans le premier chapitre de cette thèse, nous avons présenté une synthèse bibliographique compilant les données de base sur la pollution

des eaux huileuses et les méthodes de traitement conventionnelles, et dans le deuxième chapitre, nous avons fourni des informations générales sur le processus d'adsorption sur charbon actif et son application dans le traitement des effluents pétroliers, en particulier ceux provenant des raffineries.

Chapitre I : Généralités sue les eaux huileuses

I.1 Introduction

De toutes les composantes de notre environnement, l'eau est sans doute l'élément fondamental de la vie quotidienne. L'eau s'apprête aujourd'hui aux usages les plus divers : domestiques, industriels, agricoles, énergétiques ou encore à certains moyens de transport.

Mais elle semble avoir été le premier milieu à montrer des signes visibles de pollution. Ainsi, le problème de la pollution des eaux est devenu un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel et pourrait constituer à long terme un réel danger pour l'avenir de l'humanité. par exemple, les eaux usées industrielles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute [12], et la matière organique, Les hydrocarbures et les huiles sont parmi les plus importants polluants en raison de ses propriétés intrinsèques et nocifs [13]. Alors, il est nécessaire de traiter les eaux usées avant leur évacuation dans le milieu récepteur.

I.2 Définition et l'origine de la pollution des eaux

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle ci en modifiant ses propriétés physique, chimique et biologique; Causée par des déversements de rejets et de dépôts directs ou indirects (produits toxiques, microorganismes, déchets industriels.....)[14].

L'agent polluant peut être d'origine :

I.2.1 Origine domestique

Provenant des habitations, elle est en général véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. La pollution domestique se caractérise par :

- ✓ Des germes fécaux ;
- ✓ De fortes teneurs en matières organiques ;
- ✓ Des sels minéraux (azote, phosphore, etc.) ;
- ✓ Des détergents [15] ;

I.2.2 Origine agricole

Il s'agit de rejets liquides agricoles issus du ruissellement d'eau d'irrigation qui entraîne des matières organiques (fumiers), d'engrais chimiques (nitrates et phosphates) et de pesticides très divers. Ces produits sont très rarement rejetés directement dans les eaux de surface, mais leur épandage en excès (pour des raisons d'agriculture intensive) entraîne leur lessivage par les eaux de pluie et une pollution diffuse des eaux de surface et des eaux souterraines [16].

I.2.3 Origine industriels

Les effluents industriels déterminent en grande partie la qualité et les niveaux de pollution des eaux usées. Ces effluents contiennent principalement des déchets organiques (industrie agroalimentaire, etc.), mais aussi de nombreux polluants chimiques tels que des hydrocarbures (pétrochimie, etc.), des métaux lourds (pétrochimie, métallurgie, mécanique, teinture, tannage, etc.), des solvants (tels que les phénols ....), et des produits azotés (industrie des engrais, explosifs, etc.)[16].

I.3. Les eaux résiduaires industrielles

Tous effluents ou rejets industriels obtenus lors de l'extraction et de la transformation des matières premières en produits industriels [17].

Les eaux résiduaires industrielles sont spécifiques par leur volume et leur composition. On distingue trois types de pollution de cette eau :

- **Pollution physique**

C'est une pollution due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau). On peut la répartir en trois classes: mécanique, thermique et radioactive [17].

- **Pollution chimique**

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle. La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories :

- ✓ Organiques (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols..) ;
- ✓ Minérales (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore…)

- **Pollution microbiologique**

Chapitre I : Généralités sur les eaux huileuses

L'eau peut contenir des microorganismes pathogènes (virus, bactéries, parasites) ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau [18].

I.4. Les différents types d'eaux résiduaires industrielles

On peut classer les eaux usées industriel selon leur utilisation :

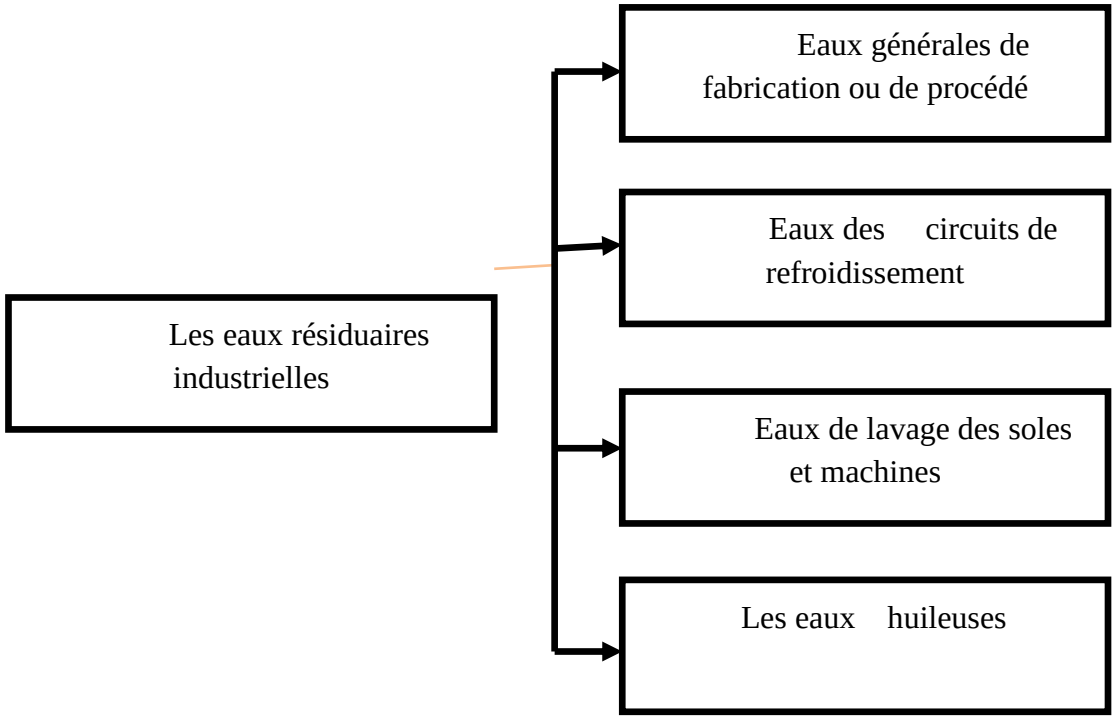


Figure I-1 : Organigramme de différentes classes des eaux usées industriel [19]

I.5 Définition des eaux huileuses

Les eaux huileuses sont des eaux usées qui contiennent des émulsions d'huile dans l'eau (O/W) et sont contaminées par des hydrocarbures générés dans de nombreux processus de l'industrie pétrolière. On distingue deux types, à savoir :

I.5.1 Eau normalement huileuse

Ce type d'eaux renferme une quantité importante d'hydrocarbures peut découler de :

-Drainage des bacs de stockage de brut ;

-Champ pétrolier ;

-Lavage des équipements utilisés lors de la production et de traitement d'huile [20].

I.5.2 Eau accidentellement huileuse

Cette catégorie d'eau huileuse est présente généralement en faible quantité. Elle provient des fuites et des eaux pluviales tombées à l'extérieur de l'unité de production. [21]

I.6 Présence des hydrocarbures dans l'eau

L'hydrocarbure est présent dans l'eau sous trois formes différentes :

- **Insoluble décantable:**

C'est une huile libre qui surnage rapidement à la surface de l'effluent sous l'effet de la densité.

- **Insoluble non décantable** :

Une émulsion est un mélange entre deux liquides non miscibles, ce qui donne une dispersion d'un de ces liquides en fines gouttelettes dans l'autre. L'émulsion est caractérisée par la présence de deux phases :

- ✓ Une phase dispersée ou discontinue (liquide sous forme de gouttelettes) ;
- ✓ Une phase dispersante ou continue (le deuxième liquide) [22].

Les trois paramètres essentiels qui influent sur la formation des émulsions sont :

-La nature du pétrole brut ;

-Les conditions du mélange ;

- La température.

- **Soluble : oléfine et paraffine légère.**

Ce sont des sous-produits de la distillation du pétrole qui s'évaporent à des températures élevées. Ces vapeurs peuvent avoir des effets très nocifs car elles sont facilement absorbées par les tissus humains [22].

I.7 Paramètres de mesure de la pollution des eaux huileuses

Pour traiter un problème de pollution des eaux usées industrielles rejetées vers l'environnement ou destinées pour un éventuel recyclage, il est nécessaire de définir et d'évaluer les éléments susceptibles d'altérer la qualité de ces eaux ainsi que les paramètres caractéristiques de la pollution de ces eaux[23].

I.7.1 Paramètres organoleptiques

a. La couleur

La couleur des eaux de production est généralement marron sombre qui tend vers le noir, signe de présence des hydrocarbures libres et en émulsion ainsi que des matières colloïdale en suspension [24].

b. L'odeur

Toute odeur est signe de pollution due à la présence de matières organiques en décomposition.

I.7.2 Paramètres physiques

b. Potentiel d'hydrogène

Sa valeur caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique. La valeur du pH altère la croissance des microorganismes existant dans l'eau (leur gamme de croissance est comprise entre 5 et 9) [25].

c. Turbidité

La turbidité est le non transparence de l'eau qui traduit la présence des matières en suspension, soit la teneur de l'eau en matières insolubles (particules solides, colloïdes, micro algues). La turbidité influe sur la température de l'eau, du fait qu'un liquide foncé absorbe la chaleur mieux qu'un liquide claire [25].

d. Matière en suspension (MES)

Ce paramètre exprimé en mg/l correspond à la pollution insoluble particulaire, c'est-à-dire la totalité des particules solides véhiculées par les eaux huileuses. Mesuré par peser après filtration ou centrifugation et séchage à 105°C. Les procédés de séparation par filtration font appel, soit à des disques en fibres de verre, soit à des couches d'amiante. La méthode par centrifugation est plus particulièrement réservée au cas où les méthodes par filtration ne sont pas applicables par suite d'un risque élevé de colmatage des filtres [26].

I.7.3 Paramètres chimiques

a. Demande chimique en oxygène (DCO)

C’est la quantité d’oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques y compris les matières biodégradables et non biodégradables par voie chimique.

b. Hydrocarbures (HC)

Ces composés C_x H_y ont pour propriétés d'être apolaires ou peu apolaires, d'avoir une solubilité variable dans l'eau, et d'être plus au moins réactifs vis-à-vis de l'acide sulfurique. L'hydrocarbure peut être présent dans l'eau sous plusieurs formes, il exige des traitements différents et son élimination est très complexe.

c. Carbone total organique COT

Détermine des propriétés variables du carbone organique dissous et particulaire, du carbone organique provenant de substances volatils et du carbone minéral dissous. Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO_2 à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon [27].

I.8 L'impact des rejets industriels résiduaires sur l'environnement

Le rejet d'eaux huileuses en particulier par les stations-service et les activités de l'industrie pétrolière, a de graves répercussions sur l'écosystème. Ces rejets introduisent des contaminants tels que l'huile, la graisse et les déchets dangereux dans l'environnement, mettant en péril les écosystèmes aquatiques et terrestres [28]. La pollution par les hydrocarbures, qu'elle soit due à des déversements d'hydrocarbures dans les écosystèmes marins ou sur terre, peut entraîner des dommages importants pour la vie marine, en affectant la respiration, l'alimentation et la thermorégulation des organismes aquatiques, ainsi qu'en causant des pertes économiques pour les agriculteurs et les gouvernements [29]. En outre, les déversements d'hydrocarbures peuvent pénétrer dans le plumage des oiseaux et le pelage des mammifères, perturbant leurs fonctions isolantes et les rendant vulnérables aux fluctuations de température, ce qui peut entraîner leur mort. Les conséquences de la pollution par les hydrocarbures s'étendent à la pollution des eaux souterraines, à la diminution de la qualité de l'eau et à la perte de biodiversité, ce qui met en évidence les impacts négatifs considérables à différents niveaux de l'écosystème. Les efforts de prévention et d'atténuation de la pollution pétrolière sont essentiels à la sauvegarde de l'environnement et de ses habitants [30].

I.9 Normes des effluents rejetés en Algérie

La législation algérienne précise les valeurs limite, pour les rejets industriels, et ne peut pas les dépasser pour un grand nombre de paramètres.

Tableau (I-1) : Les normes des effluents rejetés en Algérie [25].

Paramètres	Unité	Valeurs maximales
Temperature	°C	30
Ph	-	5.5-8.5
MES	mg/l	30
DBO5	mg/l	40
DCO	mg/l	120
Phosphates	mg/l	2
Cyanures	mg/l	0,1
Aluminiums	mg/l	5
Cadmium	mg/l	0,2
Chrome III	mg/l	0,3
Chrome VI	mg/l	0,1
Fer	mg/l	5
Manganèse	mg/l	1
Mercure	mg/l	0.01
Nickel	mg/l	5
Cuivre	mg/l	3
Zinc	mg/l	5
Huile et graisse	mg/l	20
Hydrocarbure	mg/l	20
Phénol	mg/l	0,5
Solvant organique	mg/l	20
Détergeant	mg/l	2
Tensioactif anionique	mg/l	10

I.10 Traitement des eaux huileuses

I.10.1 Traitement primaire

Les traitements physiques sont appliqués pour une simple séparation mécanique solide-liquide

a. Séparation par gravité

Il s'agit de la méthode la moins chère et la plus couramment utilisée pour éliminer les huiles libres des eaux usées huileuses. Cette étape consiste à des étapes de séparation physique utilisées principalement pour éliminer l'huile libre et certains des solides présents, basant sur les différences de densité.. L'huile remonte à la surface du réservoir et est ensuite écumée. L'efficacité du séparateur par gravité dépend de la conception hydraulique appropriée et du temps de rétention des eaux usées.

b. Séparations par centrifuges

La centrifugation est une méthode très efficace par rapport à la séparation par gravité car moins d'espace et de temps de fonctionnement sont nécessaires. La centrifugation permet de traiter de grands volumes d'eaux usées à faible coût d'exploitation.

Dans les centrifugeuses, le liquide s'écoule dans un chemin circulaire en raison du mouvement de rotation de l'appareil : la phase aqueuse plus lourde est projetée vers la région extérieure par la force centrifuge, tandis que la phase huileuse plus légère est collectée près du noyau vortex et elle est ensuite éliminée [31].

I.10.2 Traitement Secondaire

Le but de cette étape est de casser les émulsions H / E et d'éliminer l'huile dispersée. Ces opérations peuvent être largement classées comme des méthodes chimiques, physiques ou électriques [31].

a. Traitement chimique

Le traitement chimique peut être utilisé avec les eaux usées huileuses pour éliminer l'huile en suspension ou colloïdale. Les gouttelettes d'huile dans un milieu aqueux portent une charge de surface et lorsque deux gouttelettes se rencontrent, la répulsion électrostatique les empêche de former des agrégats plus importants. L'utilisation d'additifs chimiques déstabilise la phase dispersée en réduisant la charge à la surface des gouttelettes d'huile, ce qui rompt l'émulsion et

favorise la coalescence des gouttelettes. L'agrégation dans la phase dispersée (huile) peut être obtenue par deux mécanismes : La coagulation et la floculation [31].

La coagulation permet de se débarrasser et de déstabiliser les MES et les particules colloïdales qui ne peuvent décanter par elles-mêmes. Pour faciliter leur prise en masse, on utilise un agent chimique (coagulant) qui est le chlorure ferrique qui permet l'accroissement de la taille des particules à l'aide d'un mélange rapide.

Quant à La floculation, elle a pour objectif de favoriser les contacts entre les particules déstabilisées et ceci à l'aide d'un mélange lent. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par décantation. Cette dernière est réalisée avec un polymère anionique (polyélectrolyte) qui est préparé sur site [32].

a. La Flottation

Flottation à l'air dissous (FAD) Aussi dénommé DAF (Dissolved Air Flotation), c'est le système le plus employé et le plus efficace pour la rétention des MES, Elle peut être considérée comme une méthode physico-chimique d'élimination des huiles émulsifiées. De minuscules bulles d'air sont introduites dans les eaux usées et leur adhésion aux gouttelettes d'huile ou même aux solides légers en suspension augmente leur flottabilité, qui est éliminée sous forme de mousse aérée[31].

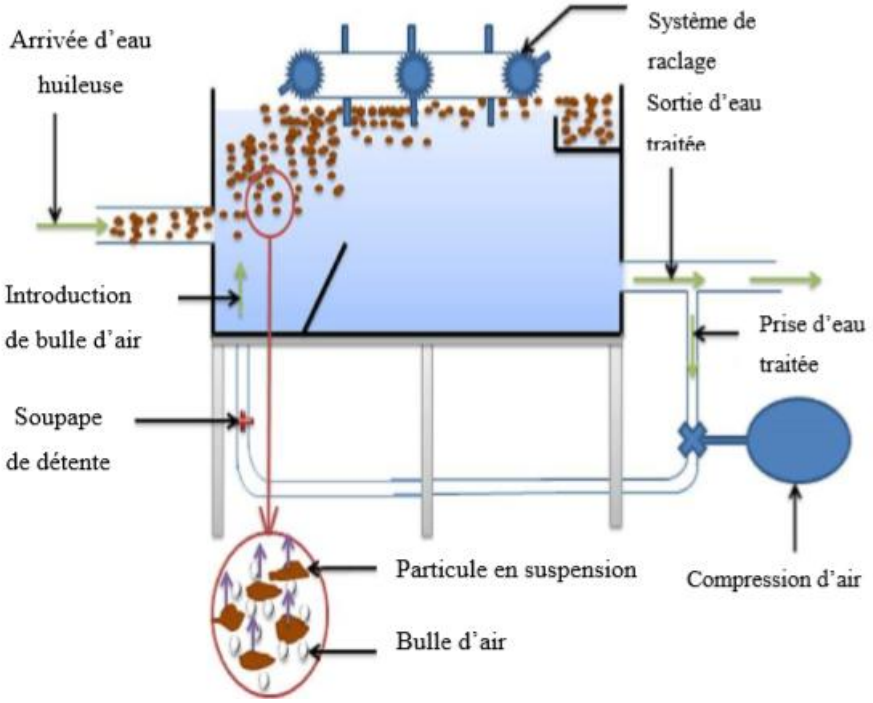


Figure I.2: Représentation schématique de la flottation à air dissous

b. La filtration

La filtration a été largement utilisée pour la séparation des huiles libres et émulsionnées. Dans ce processus les eaux usées huileuses passent à travers un lit filtrant de matériau granulaire qui adsorbe les gouttelettes d'huile ou améliore la coalescence des gouttelettes (filtration-coalescence). Normalement une configuration avec une taille de pore d'environ 0,1 à 0,5 µm est utilisée à cet effet [33].

I.10.3 Le traitement tertiaire (Traitement biologique)

L'utilisation de traitements biologiques devient de plus en plus populaire dans le domaine des eaux usées huileuses caractérisées par une forte teneur en matières organiques et des hydrocarbures pétroliers, même si la présence de fortes concentrations d'une phase huileuse séparée nécessite généralement des prétraitements appropriés [34].

- **Traitement biologique par boues actives :**

Les boues activées dans les bassins d'aération utilisent le vecteur de l'état actuel comme microorganismes purificateurs, par adsorption, et concentrées à la surface des microorganismes des boues activées pour décomposer la matière organique[34].

- **Les bio-filtres :**

La méthode du filtre biologique à bio-filtre est à l'intérieur de sorte que les microorganismes adhèrent au filtre, les eaux usées du haut descendent à travers la surface du filtre et les polluants organiques adsorbés sont décomposés par les micro-organismes [34].

I.11 Conclusion

Les eaux huileuses est un problème environnemental grave, affectant la biodiversité aquatique et les écosystèmes. Pour traiter cette pollution, plusieurs méthodes sont utilisées, telles que la séparation gravitationnelle, les techniques de dépollution chimique et biologique, ainsi que les méthodes de confinement et de récupération. les traitement qui existent peuvent réduire les concentrations des polluants sous toutes leurs formes, à des niveaux qui sont considérés comme non dangereux .

Chapitre II : Application de l'adsorption par charbon actif dans traitement des effluents de la raffinerie

II.1 Introduction

L'adsorption est un phénomène physico-chimique de transfert de matière d'un fluide ou un gaz vers la surface d'un solide. Le phénomène est général pour toutes les surfaces mais on cherche à l'exploiter en employant des solides à porosité élevée.

Nous limiterons cette étude à l'adsorption solide/liquide, car elle concerne notre travail. Le support solide est l'adsorbant, tandis que le composé fixé est appelé adsorbât. L'interaction entre l'adsorbât et l'adsorbant met en jeu des forces de natures différentes de type physique et/ou chimique [35].

II.2 Type d'adsorption

L'adsorption proprement dite résulte des liaisons qui se forment entre l'adsorbat et l'adsorbant. Ces interactions peuvent donner lieu préférentiellement à deux types d'adsorption [36] :

II.2.1 L'adsorption physique

L'adsorption physique est caractérisée par de faibles forces d'interaction adsorbat- adsorbant, elles sont de type Van Der Waals ou pont hydrogène. La physisorption est un processus qui ne requit que des énergies (10 à 100 kJ.mol-1).Le procédé est donc généralement réversible. Elle se caractérise par son caractère exothermique ; IL s'établit rapidement tout en permettent l'adsorption de 3 à 4 couches superposées sur la surface de l'adsorbant [37].

II.2.2 Adsorption chimique

Dans la chimisorption, la formation des liaisons adsorbant – adsorbat covalent ou ionique résulte d'un transfert d'électrons entre la substance adsorbée et le solide (liaisons chimiques). Les énergies mise en jeux sont plus élevées allant de 100 à 1000 kJ.mol-1. Ce processus nécessitant obligatoirement une activation appréciable est favorisé par l'accroissement de température à plus de 100 °C. Il est spécifique, irréversible et souvent exothermique bien qu'il soit possible de rencontrer des cas endothermiques. [37].

Le tableau ci-après résume les principales différences entre les deux types d'adsorption.

Tableau II.1: Principales différences entre la physisorption et la chimisorption [38].

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Liaison adsorbant-adsorbat	Faible de type de Van Der Waals ou pont d'hydrogène	Forte de type covalent ou ionique
Chaleur d'adsorption	≤ 10 kcal/mole	0 -100 kcal /mole
Etat de surface	Formation de multicouches	Formation d'une monocouche
Température du processus	Favorisée par un abaissement de température.	Favorisée par accroissement de température
Spécificité	Non spécifique	Spécifique
Cinétique d'adsorption	Rapide	Lente
Désorption	Facile	Difficile

II.3 Description du mécanisme d'adsorption

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes. La figure II.1 représente un matériau microporeux (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganique (adsorbat) qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide.

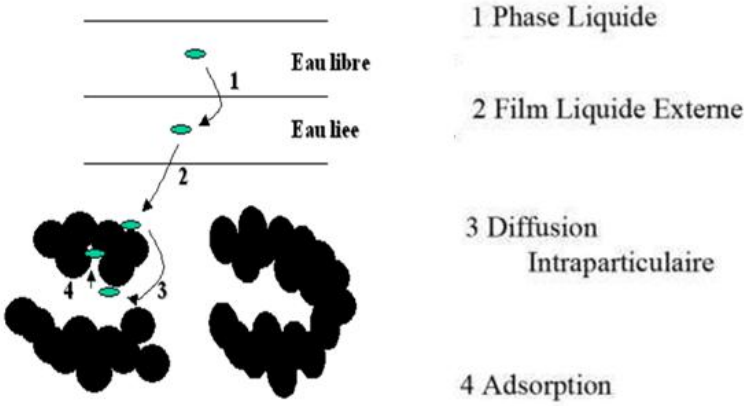


Figure II. 1:Mécanisme d'adsorption en phase aqueuse sur charbon actif

Avant son adsorption, le soluté passe par quatre étapes :

- ✓ Diffusion de l'adsorbat de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant ;
- ✓ Diffusion extra granulaire de la matière (transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface des grains) ;
- ✓ Transfert intra granulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface des grains) ;
- ✓ Réaction d'adsorption au contact des sites actifs [38].

II.4 Équilibre d'adsorption

Définition de l'isotherme

Une isotherme est une courbe qui représente la variation de la quantité de soluté adsorbée par unité de masse d'adsorbant en fonction de la concentration à l'équilibre Ce.

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

- ✓ q_e : quantité de soluté adsorbée par unité de masse d'adsorbant (mg/g).
- ✓ V : volume de la solution (L).
- ✓ C_0 : concentration initial de l'adsorbat dans la phase liquide (mg/L).
- ✓ Ce : concentration de l'adsorbat dans la phase liquide à l'équilibre (mg/L).
- ✓ m : masse de l'adsorbant (g) [39].

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

II.4.1 Isotherme d'adsorption de Langmuir

L'équation de Langmuir suppose que l'adsorption a lieu sur des sites de même énergie et qu'il n'y a pas d'interaction entre les molécules adsorbées. Elle est applicable à l'adsorption mono moléculaire et s'exprime par :

$$q = \frac{X}{m} = q_m \times \frac{bC_e}{1 + bC_e}$$

Où :

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

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

Ce : concentration du soluté dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l).

b : constante de Langmuir.

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

II.4.2 Isotherme de Freundlich

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

$$q = kC_e^{1/n}$$

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

Cette isotherme est une isotherme empirique qui, contrairement à celle de Langmuir, tient compte de l'inégalité d'énergie d'adsorption des différents sites [39].

II.4.3 Isotherme de B.E.T

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

a- Plusieurs couches successives de molécules peuvent être fixées sur l'adsorbant.

b- Les sites d'adsorption sont distribués uniformément à la surface de l'adsorbant.

c- Chaque site est indépendant des sites voisins

d- L'énergie d'adsorption retient la première couche de molécule, alors que l'énergie de condensation retient les couches successives suivantes. [39]

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

$$q = \frac{AC_eQ_m}{(C_S - C_e) \times \left(1 + (A-1)\frac{C_e}{C_S}\right)}$$

Où :

Q_m : capacité ultime d'adsorption (mg/g).
C_e : concentration du soluté dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l).
C_s : concentration de la matière dissoute à l'état de saturation (mg/l).
A : constante liée à l'énergie d'interaction avec la surface.

II.5 Facture influençant l'adsorption

L'efficacité d'un adsorbant vis-à-vis d'un adsorbât dépend d'un nombre important de paramètres dont les principaux sont:

1. Les caractéristiques de l'adsorbant : polarité, volume poreux, surface spécifique, fonctions superficielles….
2. Les caractéristiques de l'adsorbât : polarité, solubilité, poids et saturation moléculaire…
3. Les paramètres physiques : tels que la température et le pH qui ont une influence considérable sur le phénomène d'adsorption.

II.6 Les adsorbants

Au sens strict, tous les solides sont des adsorbants. Cependant, seuls les adsorbants ayant une surface spécifique suffisante (surface par unité de masse) peuvent avoir des intérêts pratiques. Nous ne distinguerons dans cette étude que deux principaux types d'adsorbants : les charbons actifs et les zéolithes. Néanmoins, d'autres types d'adsorbants peuvent être utilisés : gels de silice, alumines activées, adsorbants à base de polymères, etc[40].

II.4.1 Les charbons actifs

Les charbons actifs sont de loin les adsorbants les plus fabriqués et utilisés industriellement. Ils peuvent être obtenus à partir d'un grand nombre de matériaux carbonés (bois, charbon, noix de coco, résidus pétroliers, etc.), par des processus de carbonisation suivis de processus d'activation. La surface des charbons actifs est essentiellement non polaire, même si une légère polarité peut se produire par une oxydation de surface. En conséquence, ils adsorbent de préférence les composés organiques non polaires ou faiblement polaires. Ils sont fréquemment utilisés pour la récupération des vapeurs de solvants et d'hydrocarbures, la décoloration de sucres, la purification d'eau, l'élimination d'odeurs, etc[40].

II.4.2 Les zéolithes

Les zéolithes sont des aluminosilicates de formule brute : $[Mn^{+}(Al^{-}O_2)_x(SiO^{2})_y]$ avec M^{n+}, cations compensateurs de charge, relatifs à la substitution des atomes de silicium tétravalent (Si^{4+}) par des atomes d'aluminium trivalent (Al^{3+}). Le rapport Si/Al définit le caractère hydrophile ou hydrophobe des zéolithes. La transition se fait pour un rapport égal à 8 ou 10. Ce rapport varie de 1 pour les zéolithes hydrophiles à 3000 pour les plus hydrophobes. Toutefois, à partir d'un rapport égal à 100, la zéolithe peut être considérée comme totalement hydrophobe[40].

II.5 Généralité sur charbon actif

Parmi les différentes formes de carbone il en existe seulement deux qui soient cristallines, le diamant et le graphite. Les autres espèces : noir de carbone, charbon actif et cokes, sont moins bien cristallisées et possèdent des propriétés adsorbants .L'expression « charbon actif » désigne tout matériau carboné d'origine animale ou végétale ayant subi des traitements spéciaux (carbonisation, activation), sa surface interne peut atteindre 2000-4000 m²/g [41]. Le conseil Européen des fédérations de l'industrie chimique (C.E.F.I.C) les définit comme suit : « Les charbons actifs sont des produits carbonés dotés d'une structure poreuse présentant une très grande surface de contact interne. Ces matériaux issus des procédés industriels peuvent adsorber une large variété de substances qui se fixent sur leurs surfaces internes, ils sont par conséquence appelés adsorbants » [42].

II.6 Propriété physiques du charbon actif

Le charbon actif présente plusieurs qualités uniques, notamment une surface interne élevée, des propriétés chimiques et un excellent accès aux pores internes. Il existe trois types de pores : les macropores (diamètre supérieur à 50 nm), les mésopores (diamètre compris entre 2 et 50 nm) et les micropores (diamètre inférieur à 2 nm) [43]. Les micropores représentent généralement une partie importante de la surface intérieure. Les macro et micropores peuvent être considérés comme des entrées vers la particule de carbone [43].

Le charbon actif a la capacité d'éliminer les éléments organiques et inorganiques à des concentrations extrêmement faibles, Il n'y a pas de formation de boue, Il est simple et sûr à

utiliser, renouvelable et réutilisable. En outre, il est abordable car il est fabriqué à partir de matériaux facilement disponibles et peu coûteux [44].

II.7 Types des charbons actifs

II.7.1 Charbon actif en poudre (CAP)

Le charbon actif en poudre ou CAP prend la forme de grains de taille comprise entre 10 et 50 μm et il est généralement utilisé en combinaison avec un traitement clarificateur. Le PAC est ajoutée continuellement avec l'eau à traiter avec des agents floculant. Il est recommandé d'utiliser des clarificateurs pour augmenter le temps de contact entre le charbon et l'eau[45].



Figure (II-2) : charbon actif en poudre

II.7.2 Charbon actif en grain (CAG)

Le charbon actif en grain CAG (0.4 à 4 mm):.est employé sous forme de lit filtrant permettant d'utiliser dans un même ouvrage les propriétés filtrante et adsorbant du charbon. La performance de ces filtres dépend de leurs profondeurs et du taux d'échange L'utilisation du charbon actif en grain à l'échelle industrielle est plus fréquente que celle du charbon actif en poudre, malgré la bonne performance de ce dernier du point de vue cinétique d'adsorption. Il est utilisé pour l'élimination d'une partie des micropolluants qui résistent aux traitements physico-chimiques classiques [45].



Figure (II-3): charbon actif en grain

II.8 Facture influençant l'adsorption par charbon actif

II.8.1 Température

L'adsorption physique s'effectue à des basses températures (phénomène exothermique), alors que l'adsorption chimique demande des températures plus élevées (phénomène endothermique). Ce qui nécessite de fixer la température du processus dès le départ [45].

II.8.2 pH

Brasquet et al, [40] a mené une étude sur l'influence du pH sur l'adsorption de phénol sur des charbons actifs en grains. Une meilleure adsorption a été observée pour un pH acide compris entre 3 et 6. Deux phénomènes expliquent ce résultat : une augmentation de la quantité d'espèces neutres et la modification de la charge de surface du charbon actif. Aux pH basiques la surface des charbons actifs est chargée négativement et une répulsion se produit entre cette surface négative et les solutés dissociés sous forme d'ions[40].

II.8.3 Solubilité de l'adsorbat

La solubilité d'un adsorbat joue un rôle important lors de son adsorption. Plus la solubilité est grande, plus faible sera l'adsorption. Ils ont constaté que Les capacités d'adsorption suivent l'ordre inverse des solubilités.

II.8.4 Granulométrie

La granulométrie est un facteur jouant sur la cinétique d'adsorption. Ainsi l'équilibre est atteint plus rapidement avec des grains de plus petite taille car les limitations diffusionnelles internes et externes sont plus faibles. Pour le diméthylphénol l'équilibre est atteint entre 30 min et 13 h (0,044 mm et 0,6 mm) (Randtke et al.)[40].

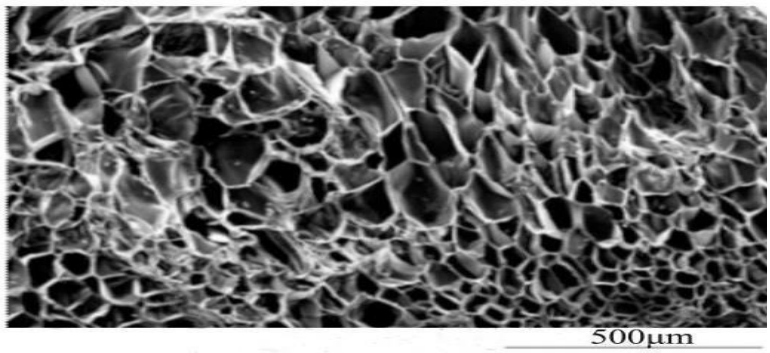


Figure (II-4):Les ports de charbon active en poudre sous microscope

II.9 Application de l'adsorption par charbon actif dans traitement des effluents de la raffinerie

L'adsorption est l'une des procédures les plus efficaces pour réduire les produits chimiques organiques et inorganiques restant dans les effluents après un traitement conventionnel. L'utilisation de systèmes de contact par adsorption pour le traitement des effluents issus des industries pétrolières et de raffineries est devenue plus répandue ces dernières années. Le charbon actif est l'adsorbant le plus fréquemment utilisé dans les applications d'adsorption [46]. Prix. et al., [47] ont vérifié une méthode de paires appariées utilisant du charbon actif (AC) pour le traitement des eaux usées des raffineries et ont réalisé une puissante élimination de la DCO (90 %). De nombreux travaux ont été menés pour le traitement des eaux usées des procédés de raffinage du pétrole à l'aide de charbon actif [48]. La plupart de ces travaux ont adopté un mode de fonctionnement discontinu ou continu dans

l'adsorption. Cependant, de nombreux scientifiques se sont tournés vers l'utilisation d'un réacteur avec un mode de recirculation discontinue comme réacteur hautement adaptable à

l'échelle du laboratoire [49].Ail et al[50]. ont étudié l'efficacité de l'élimination du DCO des eaux huileuses des raffineries de pétrole par une technique d'adsorption sur charbon actif granulaire. Les conditions optimales étaient un niveau de garnissage en charbon actif de 80 %, un pH de 5,7 et un temps d'adsorption de 73 minutes environ, ce qui a permis d'obtenir une efficacité d'élimination de la DCO de 96,70 %. Les résultats indiquent que le niveau de remplissage du charbon actif a un effet majeur sur l'élimination de la DCO, suivi par le pH, tandis que le temps a un effet mineur. La présente étude démontre que le système d'adsorption par charbon actif est une méthode efficace pour le traitement des eaux huileuses des raffineries de pétrole [50].

Chapitre II : Application de l'adsorption par charbon actif dans traitement des effluents de la raffinerie

.

Conclusion Générale

Le travail réalisé au cours de ce mémoire s'inscrit dans le cadre général de la dépollution des eaux huileuses. Il a eu pour objectif d'étudier la possibilité d'utiliser le charbon actif pour l'adsorption des polluants organiques (hydrocarbures).

Le charbon actif du commerce est considéré comme matériau de référence pour l'adsorption des polluants organiques et cela grâce à sa capacité d'adsorption élevée. Dans étude fait par Mohammed et al[51], le rendement de l'adsorption des polluants par charbon active 98 %, ce dernier est obtenu dans les conditions opératoires suivantes: temps de contact = 60 min, vitesse d'agitation = 300 tr/min, la quantité de charbon actif utilisé = 0.5 ml/g et pH= 2 à température ambiante moyenne (25°C)[51].

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

Ce travail constitue une ébauche pour des études approfondies sur l'adsorption des polluants organiques et inorganique sur le charbon actif en vue de la dépollution des eaux usées industrielles

Dans l'avenir on propose une étude expérimentale d'activation physique et chimique sur le charbon actif dans le but d'améliorer son efficacité et augmenter son rendement pour traitement des eaux huileuses des concentration plus élève.

Références Bibliographique

Références Bibliographique

[1] Coelho, A., Castro, A.V. Dezotti, M. & Sant'Anna Jr, G.L. (2006). Treatment of petroleum refinery sourwater by advanced oxidation processes. Elsevier Journal of Hazardous Materials, 137(1), 178–184.

[2] Hamoda MF, Al-Haddad AA. Investigation of petroleum refinery effluent treatment in an aerobic fixed-film biological system. Water Environ J 1987;1:239– 46.

[3] Chianese A, Ranauro R, Verdone N. Treatment of landfill leachate by reverse osmosis. Water Res 1999;33:647–52.

[4] Fiskum SK, Blanchard Jr DL, Arm ST, Peterson RA. Cesium removal from simulated and actual Hanford tank waste using ion exchange. Sep Sci Technol 2005;40:51–67.

[5] El-Naas MH, Al-Zuhair S, Alhaija MA. Reduction of COD in refinery wastewater through adsorption on date-pit activated carbon. J Hazard Mater 2010;173:750–7.

[6] Demirci S, Erdogan B, Zcimder R. Wastewater treatment at the petroleum refinery, Kirikkale, turkey using some coagulants and Turkish clays as coagulant aids. Water Res 1997;32:3495–9.

[7] Abdelwahab O, Amin NK, El-Ashtoukhy ES. Electrochemical removal of phenol from oil refinery wastewater. J Hazard Mater 2009;163:711–16.

[8] Yan L, Ma H, Wang B, Mao W, Chen Y. Advanced purification of petroleum refinery wastewater by catalytic vacuum distillation. J Hazard Mater 2010;178:1120–4.

[9] Jawad, S., & Abbar, A. H. (2019). Treatment of petroleum refinery wastewater by electrochemical oxidation using graphite anodes. Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences, 12(3), 144-150. https://doi.org/10.30772/qjes.v12i3.609.

[10] Elkady, M.; Shokry, H.; Hamad, H. New Activated Carbon from Mine Coal for Adsorption of Dye in Simulated Water or Multiple Heavy Metals in Real Wastewater. Materials 2020, 13, 2498. https://doi.org/10.3390/ma13112498.

[11] D.A. Aljuboury, H.B. Abdul Aziz, S. Feroz, Treatment of petroleum wastewater by conventional and new technologies – a review, Global Nest J., 19 (2017) 439– 452.

Références Bibliographique

[12] Ounoki S and S. Achour, Evaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux usées brutes et épurées de la ville d'Ouargla. Possibilité de leur valorisation en irrigation. 2014(20): p. 2.

[13] Fella, B. and K. Meriem, traitement des eaux huileuse de l'unité de déshuilage de Hassi R'mel par la photocatalyse hétérogéne. 2017, Mémoire mastère,Université M'hamed bougara, Boumerdes p. 1,4,8,24,29,41,42.

[14] Bretagne, D., La pollution de l'eau d'origine industrielle-panorama 2007.

[15] Joseph PRONOST , Rakha PRONOST ET all. Office internationale de l'eau Décembre 2002 .

[16] sennen, c., Fiche 6 - enseignant: La pollution des eaux. p. 1.

[17] A. MIZI. Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. ANNABA. 2006.

[18] Alain BOTTA. Laurence BELLON. Pollution de l'eau et santé humaine. Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale. Université Euroméditerranéen TEHYS. Avril 2001.

[19] Ikram, B. and K.M. Hayet, Optimisation des paramètres physico-chimique dans le processus du traitement des eaux huileuses. 2016, Mémoire mastèr, Université Abderrahmane Mira, Bejaia. p. 19,21,22,73,74.

[20] DJEZZAR Faten et BRIK Fatima Zohra Valorisation des boues d'épuration dans le traitement des eaux huileuses au niveau de la région de HAOUD BERKAOUI Mémoire de Master Académique en génie Chimique, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2020, p 5.

[21] MOUSSAOUI Haroun et ELALAOUI MOULAY Cherif : Élimination des huiles de la station de déshuilages de Haoud BERKAOUI par procèdes de coagulation- floculation et adsorption par charbon actif. Mémoire de Master en traitement des eaux, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018, p 6.

[22] E. fournier, MC Gill «Coagulation, Floculation et Sédimentation, Filtration»,university and EPFL, Mars(2008).

[23] Meriem, B., Analyse de la performance du traitement de l'unité de déshuilage de Hassi R'mel et application du traitement par photocatalyse hétérogène solaire aux eaux huileuses. 2016, Mémoire mastèr, Université M'hamed Bougara, Boumerdès. p. 6,7,11,12

Références Bibliographique

[24] BENGUETTANE Halima : Analyse des eaux industrielles de la station déshuilage de la zone HBK. Mémoire de Master en génie d'environnement, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016, 43 p.

[25] F. MECHATI. Etude des paramètres physico-chimique avant et après traitements des rejets liquides de la raffinerie de SKIKA. Mémoire de magister. 2006.

[26] Traitement physicochimique de la pollution soluble. Technique de l'ingénieur. Volume G1270.

[27] Brigitte DONNIER. La pollution chimique en méditerrané. Laboratoire. C. E. R. B. O. M. Nice. France.

[28] "Impact of Discharge of Wastewater and Used Oil from Motor Service Stations on Groundwater Quality of Dehradun City of Outer Himalaya Region." undefined (2022). doi: 10.1007/978-3-031-05335-1_22

[29] R., Akhmiyeva. "Environmental consequences of pollution of the natural environment with oil products." Intersections Between Particles and Nuclear Physics, undefined (2022). doi: 10.1063/5.0116290

[30] Ankita, Thakur., Bhupendra, Koul. "Impact of oil exploration and spillage on marine environments." undefined (2022). doi: 10.1016/b978-0-323-89978-9.00018-5

[31] Coca, J., G. Gutiérrez, and J. Benito, Treatment of oily wastewater, in Water Purification and Management. 2011, Springer. p. 1-55.

[32] Odeigah, P., O. Nurudeen, and O. Amund, Genotoxicity of oil field wastewater in Nigeria. 1997. 126(2): p. 161-167.

[33] Gupta Vinod K, et al., Chemical treatment technologies for waste-water recycling4 an overview. journal Royal society of chemistry Advances, 2012. 2(16): p. 6380-6388.

[34] Yu, L., M. Han, and H. Fang, A review of treating oily wastewater. Arabian journal of chemistry, 2017. 10: p. S1913-S1922.

[35] EMILIAN Koller, Génie chimique L'usine Nouvelle, Robert L., « Techniques de l'ingénieur - Génie des procédés », Adsorption. Ruthven D. M., Principles of adsorption and adsorption process, John Wiley, 1984 p 397

Références Bibliographique

[36] MOUMENINE Sarah, Elimination de polluants des eaux d'usines par adsorption sur charbon de chêne en combinaison avec un désinfectant, mémoire d'ingénieur d'état en chimie, Université Abou Bekr Belkaid – TLEMCEN, 2011

[37] EMILIAN Koller, Génie chimique L'usine Nouvelle, Robert L., « Techniques de l'ingénieur - Génie des procédés », Adsorption. Ruthven D. M., Principles of adsorption and adsorption process, John Wiley, 1984 p 397.

[38] A.KHARFALLAH : Les caractéristiques cinétiques, thermodynamique et d'équilibre de l'adsorption du bleu de méthylène sur le sable de mer. Mémoire de master en Chimie de matériaux, Université Larbi Ben M'hidi-Oum El Bouaghi, 2003, pp 6 - 7.

[39] A.BOUCIF et ALLAM : Etude de la Co-adsorption de deux pesticides (Durion et Metribuzine) sur un charbon actif en poudre, Mémoire d'ingénieur d'état en Chimie industrielle, Ecole nationale supérieure polytechnique, 2008, pp 13-14.

[40] Lesage, Nicolas. Etude d'un procédé hybride Adsorption/Bioréacteur à membranes pour le traitement des effluents industriels. Diss. PhD dissertation, INSA de Toulouse, France, 2005.

[41] BAMBA Drissa, Elimination du DIURON des eaux par des techniques utilisant les ressources naturelles de la côte d'ivoire : photocatalyse solaire et charbon actif de coques de noix de coco, thèse de doctorat, 2007

[42] F.R.REINOSO et al : The role of carbon materials in heterogeneous catalysis. Carbon 36 (1998) 159 - 175.

[43] Borislav D. Zdravkov; Jiří J. Čermák; Martin Šefara; Josef Janků (2007). Pore classification in the characterization of porous materials: A perspective. , 5(2), 385–395. doi:10.2478/s11532-007-0017-9.

[44] Essa, Mohammed Hussein (2008). Production of activated carbon from date palm pits and its use in industrial wastewater treatment. PhD thesis The Open University

[45] YAHIAOUI Nouara, Etude de l'adsorption des composes phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium, hydroxyapatite et charbon actif, Mémoire de Magister, 2012.

[46] Liu, C. H., Wu, J. S., Chiu, H. C., Suen, S. Y., and Chu, K. H. (2007). Removal of ionic reactive dyes from water using anion exchange membranes as adsorbers. Water Research, 41(7), 1491-1500.

Références Bibliographique

[47] S.M. Alardhi, J.M. Alrubaye, T.M. Albayati, Adsorption of methyl green dye onto MCM-41: equilibrium, kinetics, and thermodynamic studies, Deal. Water Treat., 179 (2020) 323–331.

[48] El-Naas MH, Al-Zuhair S, Alhaija MA. Reduction of COD in refinery wastewater through adsorption on date-pit activated carbon. J Hazard Mater 2010;173:750–7.

[49] Manivasagan, V., Basha, C.A., Kannadasan, T., & Saranya, K. (2012). Degradation of Parachlorophenol by Electro-Fenton and Photo-Fenton Process Using Batch Recirculation Reactor. Portugaliae Electrochimica Acta, 30, 385393

[50] Ali, N., Kassob., Ali, H., Abbar. "Treatment of petroleum refinery wastewater by adsorption using activated carbon fixed bed column with batch recirculation mode." Mağallaẗ al-qādisiyyaẗ li-l-ʻulūm al-handasiyyaẗ, undefined (2022). doi: 10.30772/qjes.v15i2.820

[51] DOUADI, Mohammed, and Abderrahmane MEDAKENE. Etude de l'adsorption d'une eau polluée par des hydrocarbures sur charbon actif. Diss. 2017