

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 الري والهندسة المدنية
Département Hydraulique et Génie Civil

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: hydraulique

Spécialité: hydraulique urbaine

Traitement des eaux usées utilisant un charbon actif préparé à base des noyaux des dattes

Soutenue publiquement le 09/06/2024

Par :

BRIHMET Meriem

Devant le jury composé de:

CHEBIHI Lakhdar

MAA

Univ. Ghardaïa

Précédent de jury

BOUTELLI Med Hicham

MCB

Univ. Ghardaïa

Examineur

BENBITOUR Selma

MCB

Univ. Ghardaïa

Encadrant

Année universitaire : 2023/2024

Dédicace

Je dédie le fruit de mon modeste travail à :

Mes très chers parents, ma chère sœur, Mes frères, ma famille, mes professeurs.

Tous ceux qui m'ont encouragé et soutenu durant les périodes les plus pénibles avec tant d'amour. Et merci à Dieu pour ce succès.

Remerciements

Avant toute chose, nous remercions le bon Dieu le tout puissant, pour le courage qu'il nous a donnée de force pour mener ce travail jusqu'à la fin.

Deuxièmement, je tiens à remercier mon professeur vertueux « Ben Bitour Selma », qui a été un soutien et une raison de me guider sur la bonne voie et pour ses efforts et sa vigilance constante afin d'accomplir ce travail en haut.

Je tiens à témoigner toute ma gratitude à Mr CHEBIHI Lakhder qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de mémoire.

Il est pour moi un honneur de remercier Mr BOUTELLI Med Hicham d'avoir accepté de juger mon travail. Je lui en suis très reconnaissante de même que pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail.

Enfin je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué à l'achèvement du travail de l'intérieur ou de l'extérieur de l'université et tous les professeurs vertueux qui ont contribué à mon enseignement et à mon orientation tout au long de mes années d'étude.

المخلص :

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة إمكانية استخدام الكربون المنشط المحضر من المخلفات الزراعية المحلية لمعالجة مياه الصرف الصحي المحملة بالملوثات العضوية.

تم تحضير الكربون المنشط عن طريق التنشيط الكيميائي باستخدام حمض الفوسفوريك H_3PO_4 بتركيز "85%" من نوى التمر المحلية GARS من منطقة غرداية.

درسنا في هذا العمل إمكانية استخدام الكربون المنشط المصنوع من النفايات الزراعية المحلية لمعالجة مياه الصرف الصحي الغنية بالملوثات العضوية.

تم تشخيص المادة الممتازة المحضرة من خلال تحديد خصائصها الفيزيائية والكيميائية وخاصة الكثافة الظاهرية، ودرجة الحموضة، ومحتوى الرماد.

تتجلى جميع النتائج المتحصل عليها من معالجة مياه الصرف الصحي بمنطقة "كاف دخان" بمنطقة غرداية أن: أفضل معدلات التخلص من الملوثات هي 76.32% لـ PO_3^{-4} ، و83.87% بالنسبة لـ DCO، و87.55% لـ NH_4^+ ، و67.85% بالنسبة لـ DBO_5 ، يتم استخدام كتلة 1 جم من المادة المازة لكل 100 مل من الماء لمدة ساعتين مع سرعة تقليب تبلغ 200 دورة في الدقيقة.

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي، الكربون المنشط، نوى التمر، التنشيط الكيميائي، الامتزاز

Résumé :

Cette étude a pour objectif d'étudier le potentiel d'utilisation de charbon actif synthétisé par des déchets agricoles locaux pour le traitement des eaux usées chargées en polluants organiques.

Le charbon actif a été préparé par activation chimique en utilisant de l'acide phosphorique H_3PO_4 à une concentration « 85% », à partir des noyaux de dattes locaux GHARS de la région de Ghardaïa.

L'adsorbant préparé a été caractérisé par la détermination de ses caractéristiques physicochimiques notamment la densité apparente, le Ph, le taux de cendre.

L'ensemble des résultats obtenus de traitement des eaux usées de la zone de Atteuf "kef doukhane dans la région de Ghardaia, sont évidents que : les meilleurs taux d'élimination des polluants sont 76.32 % pour PO_3^{-4} ; 83.87% pour DCO et 87.55 % pour NH_4^+ ; 67.85% pour le DBO5. utilisant une masse de 1g d'adsorbant pour 100 ml d'eau, pendant 2 heures avec une vitesse d'agitation 200tr/min .

Mots clés : eaux usées, charbon actif, noyaux des dattes, activation chimique, adsorption.

Abstract :

This study aims to investigate the potential for using activated carbon synthesized from local agricultural waste for the treatment of wastewater loaded with organic pollutants.

The activated carbon was prepared by chemical activation using phosphoric acid H_3PO_4 at an "85%" concentration, from local GHARS date stones from the Ghardaïa region.

The adsorbent prepared was characterized by the determination of its physicochemical characteristics in particular the apparent density, the Ph, the ash content.

All the results obtained from the treatment of wastewater from the Atteuf "kef doukhane area in the Ghardaia region, are evident that: the best pollutant elimination rates are 76.32% for PO_3^{-4} ; 83.87% for DCO and 87.55% for NH_4^+ ; 67.85% for DBO_5 using a mass of 1g of adsorbent per 100 ml of water, for 2 hours with a stirring speed of 200 rpm.

Key words: activated carbon, date pits, chemical activation, adsorption, DCO, wastewater.

LISTE D'ABREVIATION

CA	Charbon Actif
DBO₅	Demande Biochimique en Oxygène de cinq jours
DCO	Demande Chimique en Oxygène
MES	Matières En Suspension
pH	Potentiel d'Hydrogène
ND	Noyaux de dattes
CAP	Charbon actif en poudre
CAG	Charbon actif en grain
MEB	Microscopie électronique à balayage
CGM	Charbon actif préparé à partir des noyaux les dattes de variété Ghars de la région de Mansoura (0.5)
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
ONA	Office National Assainissement
STEP	Une station d'épuration des eaux usées
H%	Teneur d'humidité
D	La densité apparente
C%	Le taux de cendre
R%	Rendement
Q	Quantité adsorbée
°C	Degrés Celsius
g	Gramme
Min	Minute

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1.1</i>	Différent procédés de traitement des eaux usées.....	9
<i>Figure 1.2</i>	différent diamètre des particules.....	10
<i>Figure 1.3</i>	Principe de la décantation.....	10
<i>Figure 2.1</i>	Mécanisme du transport d'un adsorbat au sein d'un grain du solide 1- diffusion externe 2- diffusion interne (dans les pores) 3- migration en surface.....	21
<i>Figure 2.2</i>	Classification des isothermes d'adsorption d'après Giles et Coll.....	23
<i>Figure 2.3</i>	Les étapes de la cinétique d'adsorption.....	25
<i>Figure 2.4</i>	Schéma de la structure d'un charbon actif.....	27
<i>Figure 2.5</i>	Les compositions de datte	28
<i>Figure 2.6</i>	Noyau de dattes.....	29
<i>Figure 2.7</i>	Les étapes de fabrication du charbon actif.....	31
<i>Figure 2.8</i>	Structure de pores d'un charbon actif.....	33
<i>Figure 2.9</i>	Une feuille de graphène.....	34
<i>Figure 2.10</i>	Représentation schématique des microstructures du charbon actif	34
<i>Figure 2.11</i>	charbon actif en poudre.	35
<i>Figure 2.12</i>	charbon actif en grain	36
<i>Figure 3.1</i>	L'entrée de la STEP Kaf Doukhane.....	44
<i>Figure 3.2</i>	Localisation et caractéristiques de la STEP Kaf Doukhane.....	45
<i>Figure 3.3</i>	Le variété Ghars.....	45
<i>Figure 3.4</i>	Les étapes de préparation de charbon actif à partir des noyaux de dattes.	47
<i>Figure 3.5</i>	protocole de détermination du DCO.....	50
<i>Figure 3.6</i>	protocole de détermination du DBO ₅	51
<i>Figure 4.1</i>	La couleur avant et après le traitement des eaux usées.....	58

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 4.2</i>	Le rendement d'adsorption de DCO sur différents masses de charbon actif.	60
<i>Figure 4.3</i>	Le rendement d'adsorption d'ammonium sur différents masses de charbon actif.....	61
<i>Figure 4.4</i>	Le rendement d'adsorption d'orthophosphate sur différents masses de charbon actif.	62
<i>Figure 4.5</i>	Le rendement de diminution de DBO ₅ sur différents masses de charbon actif.....	63
<i>Figure 4.6</i>	comparaison entre le rendement d'adsorption de DCO sur différents variétés de charbon.	64
<i>Figure 4.7</i>	comparaison entre le rendement d'adsorption d'ammonium sur différents variétés de charbon.....	65
<i>Figure 4.8</i>	comparaison entre le rendement d'adsorption d'orthophosphate sur différents variétés de charbon.....	66

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1.1</i>	Le diamètre et différents temps de décantation	11
<i>Tableau 1.2</i>	Procédés utilisés pour les traitements des polluants de l'eau	13
<i>Tableau 1.3</i>	Les normes des effluents rejetés en Algérie.....	14
<i>Tableau 2.1</i>	Distinction entre l'adsorption physique et chimique.....	19
<i>Tableau 2.2</i>	Les avantages et les inconvénients de l'activation chimique et physique.	32
<i>Tableau 2.3</i>	Distribution de la taille des pores selon l'IUPAC.	33
<i>Tableau 2.4</i>	Les avantages et inconvénients du charbon en poudre.....	35
<i>Tableau 2.5</i>	Les avantages et inconvénients du charbon en grain	36
<i>Tableau.3.1</i>	Les différents paramètres vérifiés dans les essais d'adsorptions.....	36
<i>Tableau 4.1</i>	valeurs des paramètres de pollution de l'entrée et la sortie de la STEP (ONA).....	55
<i>Tableau 4.2</i>	Caractérisations physicochimiques des charbons actifs	57
<i>Tableau 4.3</i>	Compositions des eaux usées de la commune de la STEP de « Kef EL Doukhane »	57
<i>Tableau 4.4</i>	Influence de la masse de charbons actif sur l'adsorption des polluants organiques.....	59
<i>Tableau 4.5</i>	Influence de la masse des charbons actifs sur l'adsorption de NH_4^+	60
<i>Tableau 4.6</i>	Influence de la masse des charbons actifs sur l'adsorption de PO_4^{3-}	62
<i>Tableau 4.7</i>	Influence de la masse des charbons actifs sur le DBO5.....	63

Table de matières

Dédicace

Remerciements

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Généralité sur les eaux usées et leurs traitements

1.1. Introduction.....	5
1.2. Les eaux usées.....	5
1.2.1. Définition.....	5
1.2.2. Nature et origine des eaux usées	5
1.2.2.1. Eaux usées domestiques.....	5
1.2.2.2. Eaux usées industrielles.....	5
1.2.2.3. Les eaux usées pluviales.....	6
1.2.2.4. Les eaux usées agricoles.....	6
1.3. La pollution des eaux.....	6
1.3.1. Pollution minérale.....	6
1.3.2. Pollution microbiologique.....	6
1.4. Caractérisation des eaux usées.....	7
1.4.1. Principaux indicateurs de pollution des eaux usées.....	7
1.4.1.1. La température.....	7
1.4.1.2. La turbidité.....	7

Table de matières

1.4.1.3. Le potentiel Hydrogène (pH).....	7
1.4.1.4. La conductivité.....	7
1.4.1.5. La matière en suspension (MES).....	7
1.4.1.6. La couleur et l'odeur.....	8
1.4.1.7. La demande chimique en Oxygène (DCO).....	8
1.4.1.8. La demande biochimique en Oxygène (DBO ₅)	8
1.4.1.9. Éléments traces et métaux lourds	8
1.4.1.10. Les matières azotées.....	8
1.4.1.11. Les matières phosphorées.....	8
1.5. Les étapes et les procédés de traitement des eaux usées urbaines.....	9
1.5.1. Le traitement physico-chimique.....	9
1.5.1.1. Les prétraitements.....	9
1.5.1.2. Traitement primaire.....	10
1.5.1.3. Traitement secondaire.....	12
1.5.1.4. Traitement tertiaire.....	12
1.8 Normes des effluents rejetés en Algérie	14

Chapitre 2 : Généralités sur le phénomène d'adsorption et le charbon actif

2.1. Introduction	17
2.2. Le phénomène d'adsorption.....	17
2.2.1. Définition.....	17
2.2.2. Les types d'adsorption.....	18
2.2.3. Les facteurs influençant l'adsorption.....	19
2.2.3.1. Facteurs liés à l'adsorbant.....	19
2.2.3.2. Facteurs liés à l'adsorbat.....	20

Table de matières

2.2.3.3. Facteurs liés aux conditions opératoires.....	20
2.2.4. Le mécanisme d'adsorption	21
2.2.5. Isotherme d'adsorption	22
2.2.5.1. Classification des isothermes d'adsorption.....	23
2.2.6. La Cinétique d'adsorption	24
2.2.7. Domaine d'application de l'adsorption.....	26
2.3. Le charbon actif.....	26
2.3.1. Définition.....	26
2.3.2. Origine.....	27
2.3.3. Les matières premières de préparation des charbons actifs.....	28
2.3.3.1. Les dattes et les noyaux des datte.....	28
2.3.4. Les processus de préparation de charbon actif.....	30
2.3.5. Structure et texture du charbon actif	32
2.3.5.1. Caractérisation texturale.....	32
2.3.5.2. Structure du charbon actif.....	33
2.3.6. Différents types de charbon actif.....	34
2.3.7. Utilisation du charbon actif	36
2.4. Adsorption par le charbon actif en système batch.....	37
2.4.1. Modélisation des isothermes d'adsorption	37
2.4.1.1. Isotherme de Langmuir	37
2.4.1.2. Isotherme de Freundlich	37
2.4.2. Modélisation de la cinétique d'adsorption	38
2.4.2.1. Modèle de pseudo premier ordre (modèle Lagergren)	38

Table de matières

2.4.2.2. Modèle de pseudo second ordre:.....	39
2.4.3. Traitement des eaux usées urbaines par le charbon actif	39
Chapitre 3 : Matériels et Méthodes	
3.1. Introduction	43
3.2. Présentation de la zone d'étude	43
3.2.1.Situation géographique	43
3.3. Préparation et caractérisation des charbons actifs	44
3.3.1. Les étapes de préparation les charbons actifs.....	44
3.3.1.1. Collecte les noyaux des dattes.....	45
3.3.1.2 Prétraitement des noyaux de dattes	45
3.3.1.3. L'activation chimique	45
3.3.1.4. La neutralisation de charbon	45
3.3.1.5. La carbonisation	46
3.3.2. Caractérisation de charbon actif	48
3.3.2.1. Le Ph.....	48
3.3.2.2. La teneur d'humidité	48
3.3.2.3. La teneur de cendre.....	48
3.3.2.4. La densité apparente.....	49
3.4. Traitement des eaux usées par les charbons actifs préparés	49
3.4.1. Prélèvement des eaux usées	49
3.4.2. Analyse des échantillons eaux usées	49
3.4.2.1. DCO « demande chimique en oxygène »	49

Table de matières

3.4.2.2. La DBO ₅	51
3.4.2.3. L'ammonium	51
3.4.2.4. Les nitrates	52
3.4.2.5. Les nitrites	52
3.4.2.6. Orthophosphate «PO ₃ ⁻⁴ »	52
3.4.2.7. Le pH	52
3.4.3. Essai d'adsorption de la demande chimique en oxygène, l'ammonium, l'orthophosphate par le charbon actif préparé.....	52
3.4.3.1. Calcul de la quantité adsorbée (Q)	52
3.4.3.2. Détermination du taux d'élimination des polluants	53
Chapitre 4 : Résultats et discussion	
4.1. Introduction	55
4.2. Performance de réduction de pollution de la STEP.....	55
4.3. Caractérisations des charbons actifs préparés.....	56
4.4. Les caractéristiques physico- chimiques.....	56
4.4.1. Le ph.....	56
4.4.2. Le taux d'humidité H (%)	56
4.4.3. Le teneur de cendre C (%)	56
4.4.4. La densité apparente D (%)	56
4.5. Adsorption des polluants par le charbon actif préparé.....	57
4.5.1. Qualité des eaux urbaines à traiter.....	57
4.6. Influence de la masse de l'adsorbant.....	58
4.6.1. La couleur.....	58

Table de matières

4.6.2. L'adsorption de DCO.....	59
4.6.3. L'adsorption d'Ammonium « NH ₄ ⁺ »	60
4.6.4. L'adsorption d'orthophosphate «PO ₄ ³⁻ »	61
4.6.5. DBO ₅	62
4.6.6. Comparaison des résultats avec les études précédentes	63
4.6.6.1.Comparaison entre le rendement d'adsorption de DCO sur différents variétés de charbon.....	63
4.6.6.2. Comparaison entre le rendement d'adsorption d'ammonium sur différents variétés de charbon	65
4.6.6.3. Comparaison entre le rendement d'adsorption d'orthophosphate sur différents variétés de charbon.....	65
Conclusion Générale.....	69
Références bibliographiques.....	72
Annexes.....	83

Introduction Générale

Introduction générale

Dans un monde confronté à des défis croissants en matière de gestion de l'eau et de préservation de l'environnement, le traitement efficace des eaux usées est devenu une priorité incontestable. Les techniques innovantes et durables sont recherchées pour répondre à cette demande croissante, et parmi celles-ci, L'adsorption est l'un des procédés les plus utilisés dans le monde en vue d'élimination des différents polluants dans les réseaux des eaux usées.

Les eaux usées, contaminées par divers polluants organiques et inorganiques, représentent une menace significative pour les écosystèmes aquatiques et la santé humaine. Le charbon actif, connu pour son exceptionnelle capacité d'adsorption, offre une méthode efficace pour éliminer ces contaminants de l'eau, améliorant ainsi sa qualité [1].

La valorisation des sous-produits organiques dans l'industrie agroalimentaire par des moyens chimiques a attiré l'intérêt de beaucoup de chercheurs pour deux buts principaux : protection de l'environnement et l'exploitation économique [2].

L'utilisation de noyaux de dattes comme matière première pour la production de charbon actif présente plusieurs avantages écologiques et économiques. Les noyaux de dattes, auparavant considérés comme des déchets agricoles, peuvent être transformés en un matériau précieux pour le traitement des eaux usées, offrant ainsi une alternative durable aux méthodes conventionnelles [1].

C'est dans le cadre de la valorisation de cette ressource que s'inscrit ce travail. Il s'agit de préparer un charbon actif à partir des noyaux de dattes locales et de l'utiliser dans l'épuration des eaux usées urbaines.

Le plan de travail de cette étude est articulé autour quatre chapitres :

- Le premier chapitre, nous présentons une généralité sur les eaux usées ; les problèmes et les sources de pollution et les concepts de base des indicateurs de qualité d'eau qui précise les différent types des eaux usées ainsi que on indique leurs procédés de traitement.
- Le deuxième chapitre de cette étude présente une étude bibliographique sur le phénomène d'adsorption.
- Dans le troisième chapitre on a présenté tous les matériels et les méthodes utilisées lors des expérimentations.

Introduction générale

- Les résultats expérimentaux ainsi que leur discussion sont présentés dans le quatrième chapitre, où on a étudié la performance de la station et on a présenté les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la station.

Puis on a examiné les performances de la méthode de préparation du charbon actif en présentant les propriétés physico-chimiques de charbon comme le Ph, le taux de cendre, le taux d'humidité, et d'une autre part l'évaluation de performance de méthode de traitement par adsorption sur le charbon actif aux eaux urbaines.

Une conclusion générale synthétisant les principaux résultats obtenus dans cette étude.

PARTIE I :
ΕΡΓΑΣΙΑ :

Synthèse bibliographique
ΣΥΝΤΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗΣ

Chapitre 1 :
Généralité sur les eaux usées et leurs
traitements

1.1. Introduction :

Les eaux usées sont des milieux très complexes qui sont altérés par les activités humaines à des fins domestiques, industrielles, agricoles ou autres. Parce qu'elles sont considérées comme polluantes, elles doivent être traitées pour répondre à certaines normes avant d'être réutilisées ou injectées dans l'environnement [1].

1.2. Les eaux usées :

1.2.1. Définition :

Une eau usée est une eau qui a subi des modifications défavorables de ses propriétés physicochimiques et biologiques, produite directement ou indirectement par les activités humaines, les rendant impropres à l'utilisation normale établie [2]. Les eaux usées sont toutes les eaux provenant des activités domestiques, agricoles et industrielles qui contiennent des substances toxiques et qui pénètrent dans les canalisations d'assainissement. Les eaux de pluies et leur charge polluante font partie des eaux usées, qui causent diverses pollutions et nuisances dans les milieux récepteurs [2, 3].

1.2.2. Nature et origine des eaux usées :

On distingue quatre catégories d'eaux usées en fonction de l'origine et de la qualité des substances polluantes.

1.2.2.1. Eaux usées domestiques :

Ils proviennent des différents usages de l'eau dans les maisons. Ils sont principalement composés d'excréments humains, d'eaux ménagères de vaisselle contenant des détergents et des graisses, connues sous le nom d'eaux grises, et d'eaux de toilette contenant des matières organiques azotées, phosphatées et des germes fécaux, connues sous le nom d'eaux noires[4].

1.2.2.2. Eaux usées industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques. Selon leur origine industrielle, elles peuvent également contenir [5]:

- ❖ Des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage).
- ❖ Des hydrocarbures (raffineries).
- ❖ Des métaux (traitements de surface , métallurgie).

- ❖ Des acides ou des bases et divers produits chimiques (divers industries chimiques tanneries).
- ❖ De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques).
- ❖ Des matières radioactives (centrales nucléaires, des déchets radioactifs) [6].

1.2.2.3. Les eaux usées pluviales : :

Lorsqu'il pleut, les eaux s'écoulent, causant des accumulations de polluants, de poussières, de détritrus, de suies de combustion et d'hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluies, qui sont généralement recueillies avec les eaux usées et déversées dans les canalisations d'assainissement avant d'être acheminées vers une station d'épuration, sont fréquemment drainées dans les rivières, ce qui provoque une pollution importante du milieu aquatique [7].

1.2.2.4. Les eaux usées agricoles :

Les eaux contaminées par des produits agricoles tels que les engrais et les pesticides ont une origine agricole.

1.3. La pollution des eaux :

La pollution ou la contamination de l'eau est la dégradation de l'eau en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques par des déversements rejets de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels, etc ...[8] .

1.3.1. Pollution minérale :

Ces polluants peuvent provenir de diverses sources : La zone urbaine comprend les activités domestiques, les eaux d'égout et les eaux de cuisine, ainsi que les produits agricoles et les industries de la chimie-pharmacie, de la pétrochimie et du raffinage. La pollution des eaux usées peut être microbiologique ou minérale [2, 9].

1.3.2. Pollution microbiologique :

En général, le rejet urbain favorise la prolifération de certains germes pathogènes et d'organismes vivants. Les virus, les bactéries, les protozoaires, les vers et les microchampignons sont quelques exemples [10]. Les différents composants garantissent une masse constante de germes nécessaires à l'épuration par biodégradation [9].

1.4. Caractérisation des eaux usées :

Les eaux usées peuvent varier en fonction de leur provenance (industrielle, domestique, etc.). Ils peuvent contenir de nombreux micro-organismes et de nombreuses substances solides ou dissoutes. Ces substances peuvent être classées dans quatre groupes selon leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques : les micro-organismes, les matières en suspension, les traces minéraux ou organiques et les substances nutritives [11].

1.4.1. Principaux indicateurs de pollution des eaux usées :

1.4.1.1. La température :

Un facteur important dans l'environnement aquatique est la température. La vie aquatique peut être gravement perturbée par son élévation (pollution thermique). Elle est essentielle à la nitrification et à la dénitrification biologiques [12].

1.4.1.2. La turbidité :

La turbidité est un symbole de l'opacité d'un milieu trouble. C'est la diminution de la transparence d'un liquide en raison de la présence de matières en suspension fines comme les argiles, les limons et les microorganismes. La présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale peut également entraîner une faible part de turbidité [13].

1.4.1.3. Le potentiel Hydrogène (pH) :

Le pH, ou la concentration en ions H_3O^+ , peut être utilisée pour déterminer l'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse. En général, les eaux usées domestiques sont neutres ou basiques [14].

1.4.1.4. La conductivité :

La mesure de la conductivité permet d'identifier la salinité de l'eau. Plus la concentration ionique des sels dissous est grande et plus la conductivité est importante [9].

1.4.1.5. La matière en suspension (MES) :

La plupart des substances en suspension peuvent être biodégradables. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Les matières grossières (diamètre supérieur à $100 \mu m$) et les matières colloïdales sont les plus courantes. De plus, ils troublent l'eau, lui donnent un mauvais goût et une mauvaise odeur [13].

1.4.1.6. La couleur et l'odeur :

Les signes de pollution de l'eau comprennent la couleur et l'odeur. Bien que certains rejets industriels (teinture, papeterie, etc.) contiennent des colorants particulièrement stables, l'eau usée urbaine est grisâtre. Il existe plusieurs gaz qui, lors de la fermentation ou de la décomposition, donnent des odeurs particulières à l'eau, tels que $l'NH_3$, $l'H_2S$... [9].

1.4.1.7. La demande chimique en Oxygène (DCO) :

La quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau ou les conditions opératoires définies est connue sous le nom de demande chimique en oxygène. En fait, la mesure est une estimation des matières chimiquement oxydables dans l'eau, quelle que soit leur origine organique ou chimique. Elle exprime l'oxygène nécessaire pour leurs dégradations [15].

1.4.1.8. La demande biochimique en Oxygène (DBO₅) :

C'est la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes vivants pour assurer l'oxydation et la stabilisation de l'ensemble des matières organiques biodégradables (assimilables) en 5 jours à l'obscurité et à 20°C [16].

1.4.1.9. Éléments traces et métaux lourds :

Il existe de nombreuses sources de métaux dans les milieux aquatiques. Les sources d'origine naturelle et anthropique sont principalement distinctes. Les métaux sont naturellement présents dans les sols [17].

1.4.1.10. Les matières azotées :

L'azote total correspond à l'azote organique et à l'azote minéral. Les bactéries transforment l'azote organique en ion ammonium, qui est ensuite oxydé en nitrites puis en nitrates [18].

1.4.1.11. Les matières phosphorées :

Les eaux usées contiennent du phosphore sous forme de sels minéraux (ortho phosphate et poly phosphate) provenant principalement des lessives, ainsi que sous forme organique d'origine industrielle ou biologique. Ces composés sont soit dissous, soit fixés sur les matières colloïdales et en suspension [19].

1.5. Les étapes et les procédés de traitement des eaux usées urbaines :

Les différentes techniques de traitement des eaux usées urbaines actuelles ont tous pour but d'améliorer la qualité des effluents rejetés dans l'environnement, mais les différentes techniques n'ont pas la même efficacité, c'est pourquoi il convient le plus souvent de les utiliser ensemble. Par conséquent, la figure 1.1 décrit les processus courants de traitement des effluents urbains en stations d'épuration : le traitement physico-chimique (prétraitement et traitement primaire), le traitement biologique (secondaire) et la finition ou traitement tertiaires [20].

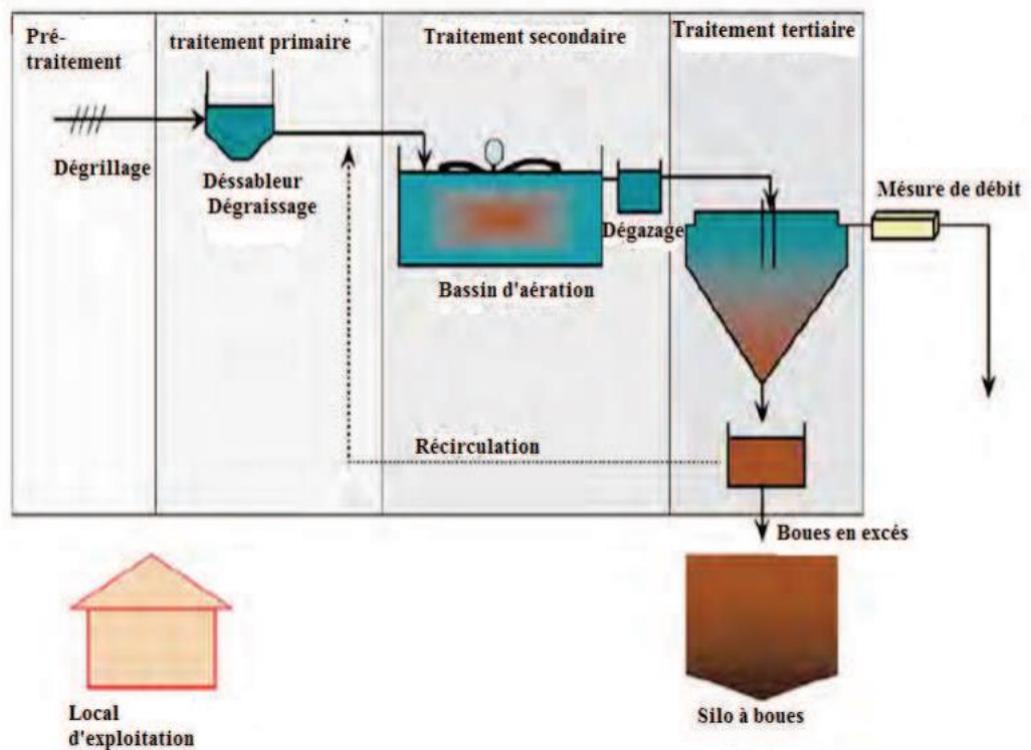


Figure 1.1. Différents procédés de traitement des eaux usées.

1.5.1. Le traitement physico-chimique :

1.5.1.1. Les prétraitements :

Le prétraitement physique est l'ensemble des opérations qui ont pour but d'éliminer les éléments solides ou particuliers les plus grossiers, le sable, les graisses et les huiles. Selon le diamètre des particules, on distingue :

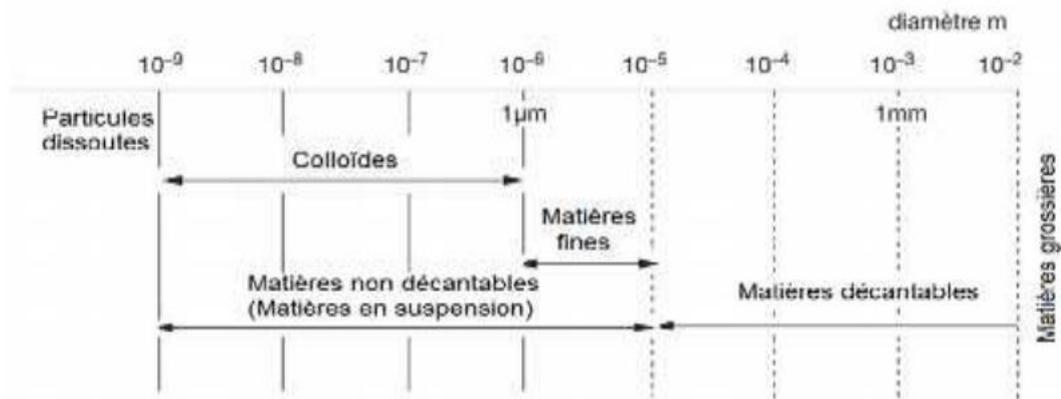


Figure 1.2 : différent diamètre des particules.

L'importance de ce traitement est de ne pas perturber les traitements ultérieurs et ne pas endommager les équipements cette opération passe par les étapes suivantes [21] :

❖ **Dégazage :**

La mise en contact intime d'eau et d'air est appelée dégazage. Il a pour but d'éliminer les gaz dissous y compris les traces éventuelles d'hydrocarbures légers, de façon à localiser le risque d'inflammation [22].

❖ **Le Dégrillage :**

La première étape du prétraitement est le dégrillage, qui consiste à éliminer les déchets importants tels que les branches, les feuilles d'arbre, les objets métalliques, les plastiques, etc. L'élimination mécanique L'importance de cette opération est de s'assurer que les autres installations ne sont pas bouchées [21].

❖ **Le dessablage :**

Le dessablage est effectué dans un bassin où la réduction de la vitesse d'écoulement permet la décantation du sable, qui sera récupéré par pompage. Les éléments grossiers et les sables de plus de 200 μ m sont retirés de l'eau par ce processus [23].

1.5.1.2. Traitement primaire :

❖ **Décantation :**

La décantation est une Opération physique une séparation solide liquide.

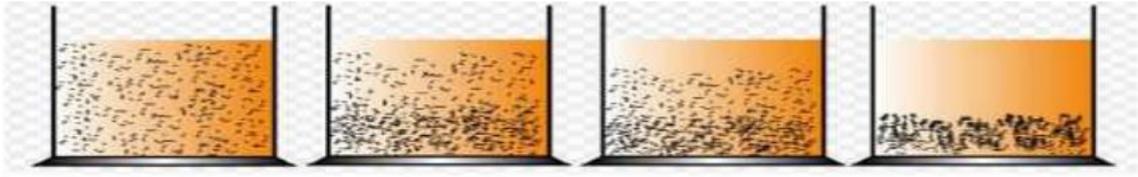


Figure 1.3: Principe de la décantation.

Leur vitesse de décantation est très faible, selon la loi de Stokes. Le tableau (1.1) indique la vitesse limite de sédimentation des particules sphériques dans un fluide avec une densité de 2.65.

Tableau 1.1 : Le diamètre et différents temps de décantation [24].

Diamètre de la particule	Nature de la particule	Temps nécessaire pour parcourir 1m
10mm	Gravier	1 seconde
1mm	Sable grossier	10 secondes
0.1mm	Sable fin	2 minutes
1 μ m	Bactéries	4 jours
0.1 μ m	Argile	2 ans
0.01 μ m	Colloïdes	10 ans

❖ Coagulation et floculation :

Le but de la technique de coagulation-floculation est de favoriser la croissance des particules colloïdales en les déstabilisant, puis en formant des floes par absorption et agrégation [25, 26]. Ces particules s'agglutinent pour former un floe qui peut être facilement éliminé grâce aux techniques de décantation et de filtration [27].

La coagulation est un processus consistant à ajouter un réactif à l'eau afin de déstabiliser les particules en suspension en neutralisant leurs charges négatives, ce qui permet de maintenir la suspension stable et d'annuler le potentiel zêta. Le mot coagulation provient du latin coagulum, qui signifie « agglomérer » [28].

Le processus de grossissement et d'uniformisation des petits flocons formés lors de l'introduction du coagulant est connu sous le nom de floculation. Elle vise à augmenter la probabilité de contacts entre les particules colloïdales déstabilisées et leur agglomération afin d'augmenter leur volume, leur masse et leur cohésion[26].

❖ **La filtration :**

C'est un processus physique qui consiste à passer un liquide contenant des matières solides en suspension à travers un milieu poreux pour le clarifier. La filtration, qui est généralement précédée de traitements de coagulation, de floculation et de décantions, permet une élimination efficace des bactéries, de la couleur de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs [29].

1.5.1.3. Traitement secondaire :

C'est la partie la plus importante du traitement car les composés organiques sont la majorité des polluants de l'eau usée domestique et ces composés sont extrêmement nocifs pour l'environnement.

La dégradation de ces composés implique une consommation de l'oxygène dissous nécessaire à la survie des animaux aquatiques.

L'objectif est d'éliminer le plus de composés organiques biodégradables possibles. Il est également recommandé d'éliminer le plus grand nombre de DCO biodégradables possibles.

Son objectif est de reproduire et d'accélérer le processus d'autoépuration naturel. En général, cela se produit par voie biologique. Il peut y avoir une voie physico-chimique. La biodégradation nécessite une biomasse épuratrice principalement composée de bactéries [21].

1.5.1.4. Traitement tertiaire :

Les traitements primaires et secondaires sont complétés par les traitements tertiaires, qui comprennent toutes les opérations physiques, chimiques ou biologiques telles que la désinfection et la déphosphoration. L'utilisation du chlore et de ses dérivés, de l'ozone et du rayonnement ultraviolet sont les méthodes de désinfection les plus courantes. La déphosphoration peut également être effectuée par des moyens physico-chimiques ou biologiques [30].

Un résumé des étapes effectuées pour chaque traitement et des opérations unitaires utilisées en fonction des impuretés à éliminer est présenté dans le **tableau 1.2** [31, 32].

Le tableau 1.2 : Procédés utilisés pour les traitements des polluants de l'eau [32].

Etapes	Imputés	Opérations unitaires	
Traitement préliminaire et primaire	Matières en suspension	dégrillage, dessablage, sédimentation filtration, flottation, addition de polymères chimiques, coagulation, sédimentation	
Traitement secondaire	Composés organiques biodégradables	Boues activées, réacteur à film fixé : lit bactériens et contacteurs, disque biologiques rotatifs, Lagunage, filtration sur sable, systèmes physico-chimiques	
	Composés organiques volatils	Stripping à l'air. Adsorption sur charbon actif.	
	Organismes pathogènes	Chloration, Ozonation, UV.	
Traitement tertiaire ou « avancé »	Nutriment	Azotés	Nitrification et dénitrification par croissance en suspension ou sur lit fixe. Stripping à l'ammoniaque. Echange d'ions. Chloration.
		Phosphores	Addition métaux/sels Chaulage + coagulation/sédimentation Elimination biologique du phosphore Elimination biologique et chimique du phosphore

I.8 Normes des effluents rejetés en Algérie :

Les valeurs limites des rejets industriels sont définies par la législation algérienne et ne peuvent pas être dépassée pour de nombreux paramètres.

Tableau 1.3 : Les normes des effluents rejetés en Algérie [33].

Paramètres	Unité	Valeurs maximales
Température	C°	30
Ph	-	5.5-8.5
MES	mg/l	30
DBO5	mg/l	40
DCO	mg/l	120
Azote Kjeldahl	mg/l	40
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
Plomb	mg/l	1
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

Chapitre 2 : Généralités sur le charbon actif et le phénomène d'adsorption

2.1. Introduction :

Pour choisir le meilleur procédé d'élimination ou de réduction des polluants dans l'eau, il est important de comprendre leur forme et leur nature. La pollution organique et métallique de l'eau peut être éliminée de différentes manières, telles que la réduction de l'oxydation, la précipitation, l'échange d'ions et l'adsorption sur les matériaux solides. Cette dernière méthode est la plus fréquemment utilisée car elle est plus efficace et évite la pollution par les produits secondaires [34].

L'adsorption est une méthode de traitement qui convient parfaitement à éliminer une grande variété de substances toxiques présentes dans notre environnement. Elle est principalement employée dans le domaine du traitement de l'eau et de l'air. Le charbon actif est l'adsorbant le plus fréquemment utilisé, mais il reste très coûteux et demande également une régénération, ce qui constitue un obstacle. Ainsi, cela a incité des recherches à se tourner vers des méthodes de traitement utilisant des matériaux naturels moins coûteux et facilement accessibles. Effectivement, les résultats et l'efficacité de cette méthode d'adsorption sont largement influencés par la nature du support utilisé comme adsorbant, son prix, son abondance, sa régénération, etc..... [35].

Cette recherche bibliographique se divise en quatre parties : La première parties présente une généralité sur le procédé d'adsorption : les types, les facteurs influents, les isothermes (gaz-solide, liquide-solide). Dans la deuxième partie, on aborde le charbon actif, en exposant sa préparation, ses principales propriétés et les méthodes de caractérisation. la troisième partie décrit l'adsorption en système batch par le charbon actif et étudie la modélisation d'isotherme et la cinétique d'adsorption. Dans la quatrième partie, on évoque l'utilisation des charbons actifs pour traiter les eaux usées urbaines.

2.2. Le phénomène d'adsorption:**2.2.1. Définition :**

Chaque fois qu'un gaz ou un liquide entre en contact avec un solide, l'adsorption se produit ; celle-ci est captée par les atomes superficiels du solide et se concentre à sa surface. L'expression "adsorption" désigne un phénomène de surface et ne doit pas être confondue avec le terme "absorption" qui signifie que le fluide a pénétré dans la masse du solide. Le

solide est désigné sous le nom d'adsorbant et le fluide qui peut être retenu à la surface du solide est désigné sous le nom d'adsorbable. La désorption consiste à libérer les gaz ou les vapeurs qui ont été emprisonnés à la surface d'un solide par adsorption. Les interactions entre le solide adsorbant et le fluide adsorbable peuvent être causées par deux types de forces, ce qui entraîne généralement la distinction entre l'adsorption physique (ou physisorption) et l'adsorption chimique (ou chimisorption) [36].

2.2.2. Les types d'adsorption :

En fonction de l'interaction entre l'adsorbat et l'adsorbant, on peut identifier deux catégories d'adsorption : la physisorption et la chimisorption. Ces catégories se distinguent par la chaleur d'adsorption, la vitesse, la réversibilité et la spécificité [37].

a) Adsorption chimique (chimisorption) :

Dans ce cas, l'adsorption se produit lorsque l'adsorbant forme une liaison chimique covalente plus stable avec la surface de l'adsorbant. La chimisorption se démarque de la première méthode par son énergie d'adsorption plus élevée (2 à 100 Kcal mol⁻¹ contre quelques (Kcal mol⁻¹) et par l'immobilisation irréversible du réactif d'adsorption sur des sites d'adsorption spécifiques. On le favorise également à des températures élevées. Dans ce type d'adsorption, le temps de rétention est long et seule la première couche liée à la surface de l'adsorbant est adsorbée chimiquement, les couches restantes, le cas échéant, sont retenues par adsorption physique. Il est également important de noter que l'adsorption est la première étape des réactions qui requiert l'emploi d'un catalyseur solide. Il est possible que ce phénomène joue un rôle important dans la cinétique des réactions chimiques [38].

b) Adsorption physique (physisorption) :

La physisorption ne produit aucun transfert d'électrons. Elle n'est pas précise et peut avoir plusieurs couches. En général, l'adsorption physique est réversible en raison de la faible quantité d'énergie impliquée (environ quelques kilocalories par mole). Les forces impliquées sont des forces d'attraction de type VAN DER WALLS [39].

Tableau 2.1 : Distinction entre l'adsorption physique et chimique [40].

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Température du processus	Relativement basse	Plus élevée
chaleur d'adsorption	5 kcal/mol environ	10 kcal/mol environ
liaisons	Physique Van Der Wall	Chimiques
Cinétique	Rapide, réversible	Lent, irréversible
spécificité	Processus non spécifique	Processus très spécifique
Désorption	Facile	Difficile
Couche formées	Mono ou multicouches	Uniquement monocouches

2.2.3. Les facteurs influençant l'adsorption :

De nombreux facteurs influencent l'équilibre d'adsorption entre un adsorbant et un adsorbé. Les principaux facteurs influençant l'adsorption sont :

2.2.3.1. Facteurs liés à l'adsorbant :

Afin de déterminer si un contaminant est adsorbé et dans quel ordre de grandeur, il est nécessaire de tenir compte des caractéristiques suivantes de l'adsorbant :

A. Nature de l'adsorbât :

La structure chimique des corps dissous a également une influence sur l'adsorption, ainsi : Les composés aromatiques ont une adsorption plus efficace que les composés aliphatiques avec le même nombre de carbone.

En général, l'incorporation des composés du groupe hydroxyle diminue la capacité d'adsorption[41].

B. Surface spécifique :

La spécificité de la surface joue un rôle crucial dans la caractérisation des solides et des matériaux poreux. Il est évident que l'objectif est de donner aux adsorbants une surface spécifique importante, cette mesure étant donnée par la surface accessible rapportée à l'unité de poids [42].

C. Porosité :

La répartition de la taille des pores est associée à la distribution poreuse ou porosité, ce qui reflète la structure interne des adsorbants microporeux [43].

2.2.3.2. Facteurs liés à l'adsorbat :

La composition chimique des solutés a également un impact sur l'adsorption. Il est important de tenir compte des caractéristiques suivantes de l'adsorbant :

A. Nature de l'adsorbant :

La caractérisation complète d'un adsorbant pourrait se concevoir comme la connaissance de quatre paramètres essentiels qui sont : la distribution de la taille des particules, le facteur de forme, la distribution de la taille des pores et la surface spécifique [43].

B. Polarité :

Un soluté polaire présentera une plus grande affinité avec le solvant ou l'adsorbant, en fonction de celui qui est le plus polaire [44].

2.2.3.3 Facteurs liés aux conditions opératoires :

A. pH :

Au point isoélectrique, l'adsorption atteint son maximum, car les liaisons avec les molécules d'eau sont minimales. De même, une molécule neutre mieux adsorbée qu'une autre chargée [45].

B. Température :

L'adsorption est un processus exothermique et il est donc nécessaire de favoriser son déroulement en réduisant la température [46].

2.2.4. Le mécanisme d'adsorption :

Lorsqu'une espèce est adsorbée sur un solide, la masse des molécules est transférée de la phase fluide vers le centre de l'adsorbant. Ce processus se déroule dans un grain d'adsorbant à différentes étapes (**Figure 2.1**) [40].

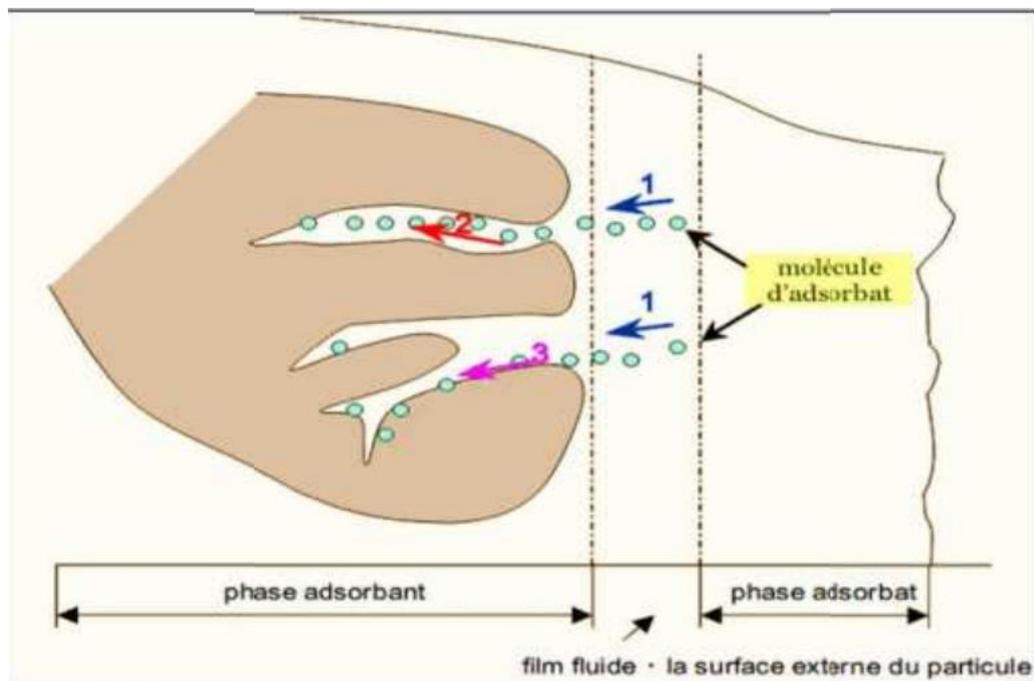


Figure 2.1: Mécanisme du transport d'un adsorbant au sein d'un grain du solide 1-diffusion externe 2- diffusion interne (dans les pores) 3- migration en surface.

- **Étape 01** : Transfert de masse externe (diffusion externe) qui correspond au transfert du soluté (molécules de la phase liquide) du sein de la solution à la surface externe des particules.
- **Étape 02** : Transfert de masse interne dans les pores (diffusion interne) qui a lieu dans le fluide remplissant les pores ,les molécules se propagent de la surface des grains vers leur centre à travers les pores.
- **Étape 03** : Diffusion de surface pour certains adsorbants, il peut exister également une contribution de la diffusion des molécules adsorbées le long des surfaces des pores à l'échelle d'un grain d'adsorbant [47] .

2.2.5. Isotherme d'adsorption :

Lorsqu'il s'agit d'un état d'équilibre (comme la physisorption mais nécessairement la chimisorption), le phénomène d'adsorption est généralement représenté par une courbe d'isotherme d'adsorption (ou isotherme). La courbe isotherme illustre la fluctuation de la quantité de soluté adsorbé par unité de masse d'adsorbant q_e (mg/g) en fonction de la concentration du soluté adsorbable en solution C_e (mg/L), à une température constante [48]. Il est possible d'obtenir les quantités de produit fixées en effectuant un calcul relativement simple. La relation suivante représente la quantité de produit adsorbé, exprimée en (μ moles, μ g ou mg) de soluté par gramme de solide adsorbant :

$$q_e = \left[\frac{C_0 - C_e}{m} \right] \times V \dots\dots\dots(2.1)$$

Avec :

q_e : quantité de polluant par unité de masse de l'adsorbant ($mg.g^{-1}$)

C_0 : : concentration initiale ($mg.L^{-1}$)

C_e : concentrations à l'équilibre ($mg.L^{-1}$)

V : volume de l'adsorbat (L)

m : masse de l'adsorbant (g)

On obtient l'isotherme d'adsorption du produit étudié en traçant la courbe d'évolution de (q_e) en fonction de (C_e) [49].

2.2.5.1. Classification des isothermes d'adsorption:

Quatre classes principales sont identifiées expérimentalement : S (Sigmoïde), L (Langmuir), H (Haute affinité) et C (partition Constante). La forme de chaque type d'isothermes est présentée dans la (**Figure 2.2**) [49].

Classe	S	L	H	C
Sous-groupe				
1				
2				
3				
4				
MAX				

Figure 2.2 : Classification des isothermes d'adsorption d'après Giles et Coll [50].

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

- A.** Le solvant s'adsorbe aux mêmes sites que le soluté. Cela signifie qu'il y a une compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté.
- B.** Lorsque la quantité adsorbée augmente, le nombre de sites qui peuvent accueillir les molécules de soluté à la surface du solide diminue.
- C.** Les molécules sont orientées vers la surface. Il est possible de mentionner le cas où les molécules sont adsorbées de manière verticale ou horizontale à la surface.
- D.** Finalement, on observe clairement les interactions attractives ou répulsives entre les molécules adsorbées lors du processus d'adsorption[51].

- **Type S (dit sigmoïdale)** : À faibles concentrations, les isothermes de cette catégorie présentent une cavité orientée vers le haut. Lorsque les molécules du soluté ne se fixent au solide qu'à travers un seul groupement, l'adsorption du solvant est appréciable. En effet, l'adsorption devient progressivement plus facile lorsque la quantité adsorbée augmente, ce qui crée un effet de synergie coopératif où les molécules adsorbées facilitent l'adsorption des autres molécules grâce à leur attraction latérale, créant ainsi une couche adsorbée où les molécules sont orientées verticalement. Il est préférable de favoriser cette configuration lorsque le solvant rivalise avec le soluté pour occuper les sites d'adsorption [50].

- **Type L (dit de Langmuir normal)** : Selon le modèle de Langmuir, une adsorption à plat de molécules bi fonctionnelles est indiquée. Lorsque la concentration du soluté augmente, le rapport entre la concentration dans la solution aqueuse et adsorbée diminue, ce qui entraîne une courbe concave qui indique une saturation progressive de l'adsorbant [52].

- **Type H (dit de haute affinité)** : La valeur positive ne commence pas à zéro, mais indique une affinité élevée, fréquemment observée pour des solutés absorbés sous forme de micelles. Cela indique que l'adsorption est totale à des concentrations faibles [53].

- **Type C (dit de partition constante)** : Les isothermes de cette catégorie se distinguent par une répartition constante entre la solution et le substrat jusqu'à un palier. L'observation de la linéarité révèle que le nombre de sites libres demeure constant pendant l'adsorption. Cela implique que les sites sont formés pendant l'adsorption. Les isothermes de cette catégorie sont obtenues lorsque les molécules de soluté ont la capacité de modifier la texture du substrat en ouvrant des pores qui n'avaient pas été ouverts auparavant par le solvant [49].

2.2.6. La Cinétique d'adsorption:

Il est essentiel de maîtriser la cinétique d'adsorption dans des opérations basées sur les phénomènes d'adsorption afin de mettre en place un adsorbant de manière optimale et de connaître les facteurs à optimiser pour fabriquer ou améliorer un adsorbant qui a une cinétique la plus rapide possible.

L'adsorption se déroule en suivant une série d'étapes qui déterminent la vitesse totale du processus [54].

- A. 1^{re} étape :** (la diffusion externe) : le transfert des molécules de soluté de la phase liquide externe vers la phase liquide liée à la particule solide (par diffusion et par convection).
- B. 2^{me} étape :** (la diffusion interne) : (la diffusion interne) : le transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface externe de l'adsorbant (caractérisé par le coefficient de transfert).
- C. 3^{me} étape :** Le gradient de concentration entraîne la diffusion de l'adsorbat à l'intérieur de la particule de l'adsorbant. La molécule adsorbée a la possibilité de se déplacer d'un site d'adsorption à un autre, que ce soit à l'état libre (après désorption) dans la phase liquide intra particulaire (migration caractérisée par un coefficient de diffusion D_f), ou à l'état adsorbé, d'un site d'adsorption vers un site adjacent (migration de surface caractérisée par un coefficient de diffusion D_S).
- D. 4^{me} étape :** l'adsorption [55].

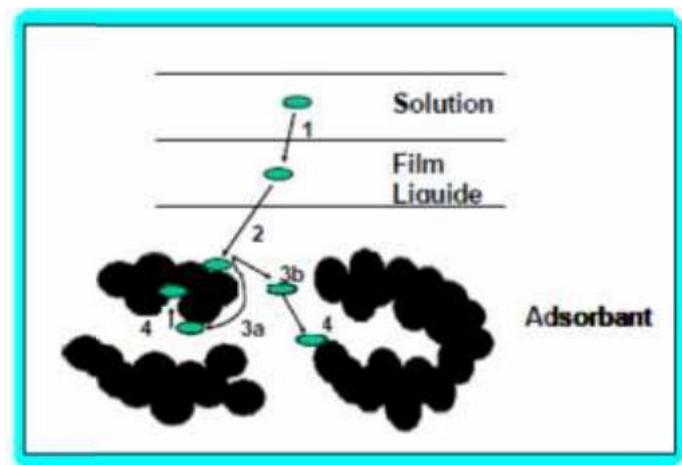


Figure 2.3 : Les étapes de la cinétique d'adsorption.

Lors de l'adsorption ou de la désorption, le transfert est principalement causé par une variation de concentration. Le taux d'adsorption peut donc être modifié en ajustant la concentration de l'adsorbant ou de l'adsorbat. Lorsque le taux de charbon dans la matrice augmente, il va absorber une quantité accrue de pesticides et de matière organique. En outre, ce processus est impacté par divers éléments, tels que les caractéristiques physico-chimiques du charbon, de l'adsorbat et des conditions extérieures. Les processus d'adsorption et de désorption se produisent immédiatement [47].

2.2.7. Domaine d'application de l'adsorption:

L'adsorption est utilisée dans de nombreuses applications techniques en raison de trois caractéristiques qui la distinguent des autres méthodes de séparation.

- A.** La rétention de particules très petites, telles que les colloïdes ;
- B.** La rétention des composants à très faible concentration, tels que les impuretés ou les molécules et ions métalliques, qui donnent au produit des couleurs, des odeurs ou des saveurs désagréables, voire une toxicité ;
- C.** L'adsorbant présente une sélectivité par rapport à certains éléments du mélange [56].

On peut citer parmi les applications :

- La catalyse de contact;
- La récupération des solvants volatils et de l'alcool dans le processus de fermentation;
- La déshumidification et la désodorisation de l'air;
- Le séchage, purification et désodorisation des gaz;
- Le raffinage des produits pétroliers;
- La décoloration des liquides;
- La chromatographie gazeuse [57].

2.3. Le charbon actif :

2.3.1. Définition :

Selon la définition donnée par le Conseil européen des fédérations de l'industrie chimique (C.E.F.I.C.) [70], les charbons actifs sont des produits carbonés avec une structure poreuse et une très grande surface de contact interne. Ces matériaux ont la capacité d'adsorber une large variété de substances sur leurs surfaces internes, ils sont en conséquence appelés adsorbants.

Dans sa signification la plus étendue, le charbon actif englobe une variété de matières carbonées amorphes qui ont une porosité élevée et une surface inter-particulaire étendue [58, 59].

Ces caractéristiques donnent au charbon actif un pouvoir d'adsorption considérable. L'utilisation de ce processus physico-chimique dans les filières d'eau permet de fixer les substances difficiles à éliminer par un traitement traditionnel, ainsi que d'éliminer les substances humiques (responsables de la couleur), les goûts, les odeurs, les phénols et les crésols, ainsi que diverses substances toxiques non biodégradables[60, 61].

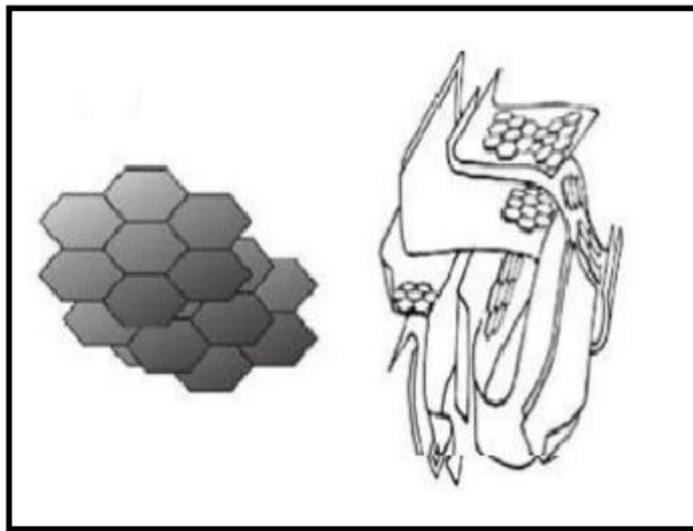


Figure 2.4 : Schéma de la structure d'un charbon actif [62] .

2.3.2. Origine :

À base de matières animales et végétales (coque de noix de coco, tourbe, houille...), les charbons actifs issus de ces derniers produits sont les plus couramment utilisés pour le traitement de l'eau naturelle ou résiduaire. Pour des recherches spécifiques, on peut avoir recours à des produits carbonisés comme le sucre qui donne du charbon actif chimiquement pur [63].

2.3.3. Les matières premières de préparation des charbons actifs :

Les matériaux de carbone poreux tels que les charbons actifs sont fabriqués à partir de matières premières végétales ou minérales. Il est possible de fabriquer des charbons actifs à partir n'importe quel matériau de bon marché, avec un taux élevé de carbone et un faible pourcentage de matière inorganique. Toutefois, l'utilisation des charbons actifs dans le domaine du traitement des eaux nécessite diverses qualités de produits afin de satisfaire aux diverses applications. Ces qualités varient selon la matière première. Les principales sources sont le bois, la noix de coco, le lignite et la tourbe. Les recherches actuelles se concentrent principalement sur l'utilisation de nouveaux précurseurs de charbon actif tels que des co-produits agricoles (noyaux d'olives, coquilles d'amandes, etc.) ou des déchets industriels (pneus usés). Actuellement, la mise en valeur de divers déchets, comme ceux provenant de l'industrie du pétrole et des huiles lubrifiantes, connaît actuellement un essor important [64].

2.3.3.1. Les dattes et les noyaux des dattes :

- **Définition :**

- A. **Les dattes :**

Le palmier dattier a été dénommé *Phoenix dactylifera* par Linné en 1734 [65]. Chez les Grecs de l'Antiquité, le nom de Phoenix viendrait du dattier phoinix, qu'ils considéraient comme l'arbre des Phéniciens [66]. Le palmier dattier (datte) produit un fruit qui présente une forme allongée, oblongue ou arrondie [67]. contenant deux parties sont présentées dans la **figure 2.5 :**

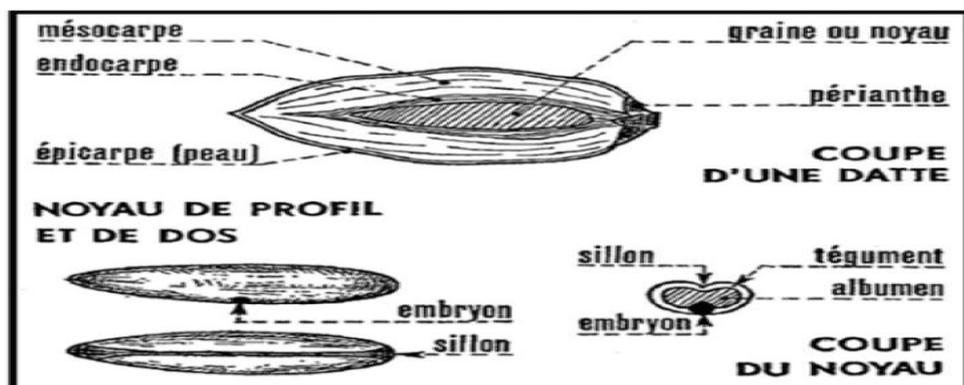


Figure 2.5: Les compositions de datte .

❖ Les variétés de dattes :

Elles se distinguent par leur goût, leur forme, leur couleur, leur poids et leurs dimensions [68]. En Algérie, il existe plus de 940 cultivars de dattes[69] , les principales variétés cultivées sont :

- **La Deglet Nour** : La datte demi-moelle est une variété commerciale très prisée, considérée comme la meilleure variété de datte en raison de son aspect. Son onctuosité et sa saveur. Lorsqu'elle est mature, la datte est d'un brun ambré avec un épicarpe lisse, légèrement plissé et brillant, tandis que le mésocarpe présente une texture fine et légèrement fibreuse [65].
- **Les variétés communes** : Ces variétés sont moins importantes sur le plan économique que Deglet Nour. Les plus répandues sont : Ghars, Degla Beida et Mech Degla.

On retrouve principalement en Algérie les variétés de dattes suivantes : Degla Beida, Mech Degla et Deglet Nour [65].

B. Noyaux de dattes (ND) :

Un endocarpe parcheminé entoure le noyau, qui est allongé, plus ou moins volumineux. lisse ou pourvu de protubérances latérales en arêtes ou ailettes, avec un sillon ventral; l'embryon est dorsal, sa structure est solide et cornée. (**Figure 2.6**) Le noyau possède un albumen (endosperme) dur et corné dont l'embryon dorsal est toujours très petit par rapport à l'albumen (2 à 3 mm) [70].

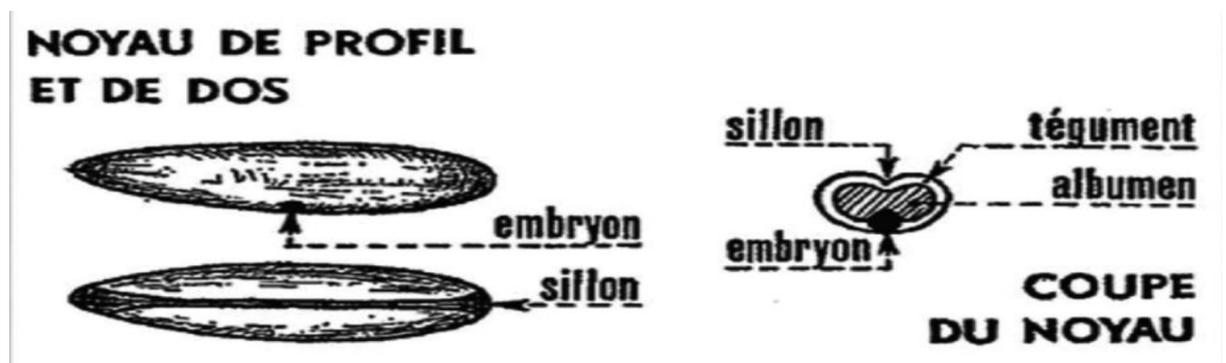


Figure 2.6 : Noyau de dattes.

Phoenix dactylifera L. est une famille de plantes tropicales appartenant à la famille des Monocotyledones (Palmoe ou Arecaceae) est représentée 200 genres et 2700 espèces réparties en six sous-familles, dont la sous-famille des Coryphoideae elle-même est divisée en trois tribus. Le palmier dattier est une espèce de palmiers dioïques. Il a les pieds masculins et les pieds féminins (nakhla). Il se propage à la fois par implantation de graines (noyau) et par plantation de rejets [70].

Chaque année, l'Algérie génère environ 450 000 tonnes de dattes qui peuvent contenir au moins 10 % (45000 tonnes) de noyaux. L'utilisation de cette fraction est raisonnable pour l'installation de leurs transformations en matière première dans la production de charbon actif. La technique de traitement est économique, peu coûteuse [70].

2.3.4. Les processus de préparation de charbon actif :

La préparation d'un charbon actif comprend les deux étapes suivantes :

1. La carbonisation: La carbonisation ou la pyrolyse est une décomposition thermique appliquée sur la matière première à haute température dans l'intervalle de (400°C à 1000°C) dans un four sous vide, dans un four sous vide ou avec un courant continu d'un gaz inerte, dans le but de réduire au minimum le contact entre les produits carbonés et les produits volatils.

En raison de l'effet de chaleur, des gaz volatils seront libérés, ce qui entraînera une augmentation de la teneur en carbone dans la substance restant.

L'objectif de la carbonisation est de produire un produit très carboné, grâce à la libération des gaz volatils et des hétéroatomes (H, O), mais sa structure poreuse demeure très restreinte, ce qui demande une activation pour développer la structure poreuse [71].

2. L'activation: L'activation consiste à développer la structure poreuse en éliminant les goudrons qui obstruent les pores, et à créer des fonctions de surface (généralement oxydées) qui sont responsables des interactions entre le solide et les molécules adsorbées. Elle peut être physique ou chimique [72].

- **L'activation physique** : Il se produit lorsque le charbon est oxydé thermiquement à une température comprise entre 300 °C et 1000 °C en présence d'oxygène, de gaz carbonique ou de vapeur d'eau. Ce processus est plutôt long et peut prendre de 10 à 48 heures même plus [73].

- **Activation chimique**: met en jeu un agent chimique tel que le chlorure de zinc, l'acide phosphorique ou sulfurique, le KOH,...etc, Elle favorise la déshydratation puis une réorganisation structurale à des températures comprises entre (400°C et 800°C), ce qui est inférieur à celles du processus physique [74].

Ces traitements d'activation ont pour but de développer et de moduler la structure poreuse du charbon et conduisent à une très forte augmentation de sa surface spécifique [71].

Les étapes de fabrication du charbon actif sont résumées dans le tableau ci-dessous :

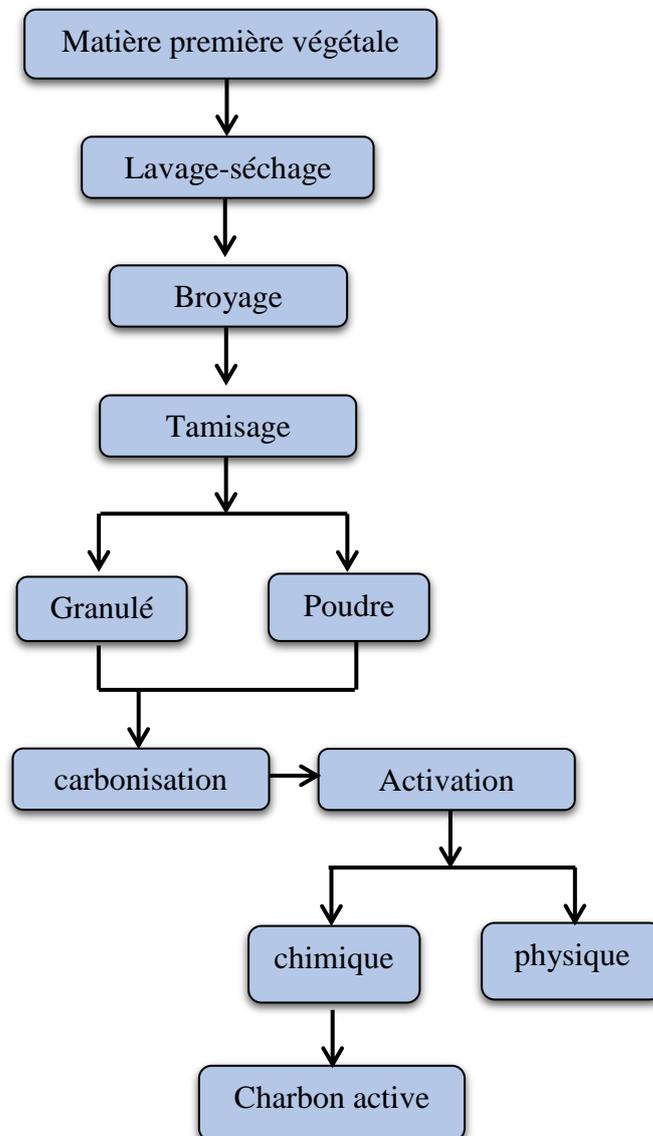


Figure 2.7: Les étapes de fabrication du charbon actif [75,76].

C- Les avantages et les inconvénients de l'activation chimique et physique :

Les avantages et les inconvénients de deux types d'activations de fabrication de charbon actif a été résumé dans **le tableau 2.2** :

le tableau 2.2 :Les avantages et les inconvénients de l'activation chimique et physique[77].

	Avantages	Inconvénients
Activation chimique	<ul style="list-style-type: none"> -Temps d'activation plus courts -Températures de pyrolyse plus basses (400 °C à 800 °C) -Un meilleur contrôle des propriétés texturales -Haut rendement -Grande surface spécifique -Microporosité bien développé -Distributions de taille des micropores étroites -Réduction de la teneur en matières minérales 	<ul style="list-style-type: none"> -Processus corrosif -Exige d'étape de lavage -Les impuretés inorganiques -Plus cher
Activation physique	<ul style="list-style-type: none"> -Absences des impuretés -Processus non corrosif -Moins cher 	<ul style="list-style-type: none"> -Deux étapes de préparation -Températures d'activation plus élevées de(800 °C-1000 °C) -Mauvais contrôle de la porosité

2.3.5. Structure et texture du charbon actif:

2.3.5.1. Texture du charbon actif :

La texture du charbon actif est principalement caractérisée par deux paramètres : l'aire spécifique et la porosité. Ils jouent un rôle crucial pour la détermination des capacités et des cinétiques d'adsorption. [78]. **Tableau 2.3** et **la figure 2.8** , on trouve la classification des pores selon Dubinin [79, 80].

Tableau 2.3: Distribution de la taille des pores selon l'IUPAC.

	Macropore	Mésopore	Micropore
Rayon <i>nm</i>	50-100	1.8-2	Inferieur 1.8
Volume <i>cm³/g</i>	0.2-0.8	0.02-0.1	0.15-0.5
Surface massique <i>m²/g</i>	0.5-2	25-75	95% surface totale

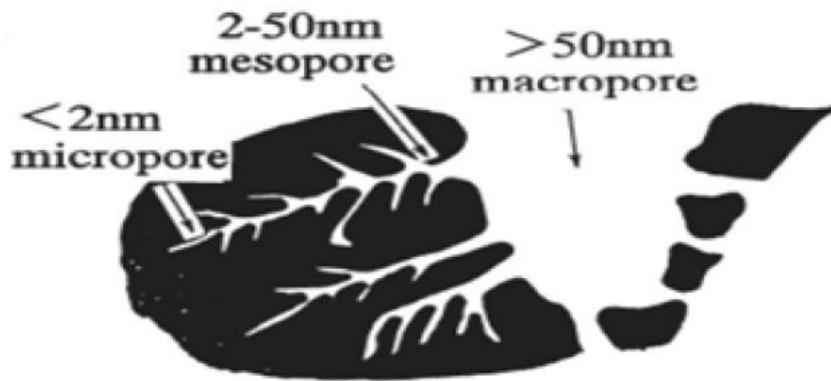


Figure 2.8 : Structure de pores d'un charbon actif.

L'adsorption n'est pas influencée par les micropores, alors que les micropores représentent 95 % de la surface totale du charbon, ce qui en fait les zones d'adsorption[81].

2.3.5.2. Structure du charbon actif :

Les charbons actifs sont caractérisés par une combinaison aléatoire de plans d'atomes de carbone. Les atomes sont structurés en cycles aromatiques qui forment des feuillets de carbone connus sous le nom de graphène. Les atomes de carbone du graphène présentent une structure bidimensionnelle qui rappelle celle d'un nid d'abeille (Figure 2.9). Les électrons π délocalisés sur ces cycles confèrent au charbon sa qualité d'agent adsorbant exceptionnelle. Les plans de cycles aromatiques sont organisés de manière irrégulière, ce qui crée des

interstices appelés pores entre les feuilles, ce qui explique la grande surface spécifique des charbons actifs (Figure 2.10) [82].

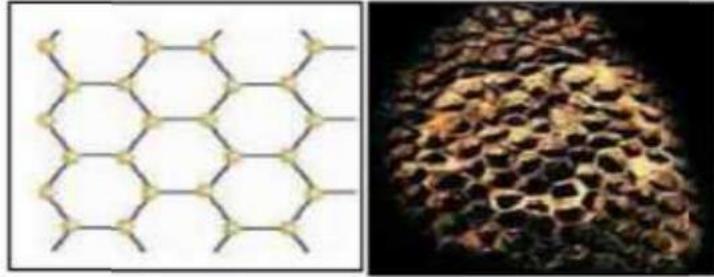


Figure 2.9: Une feuille de graphène [83].

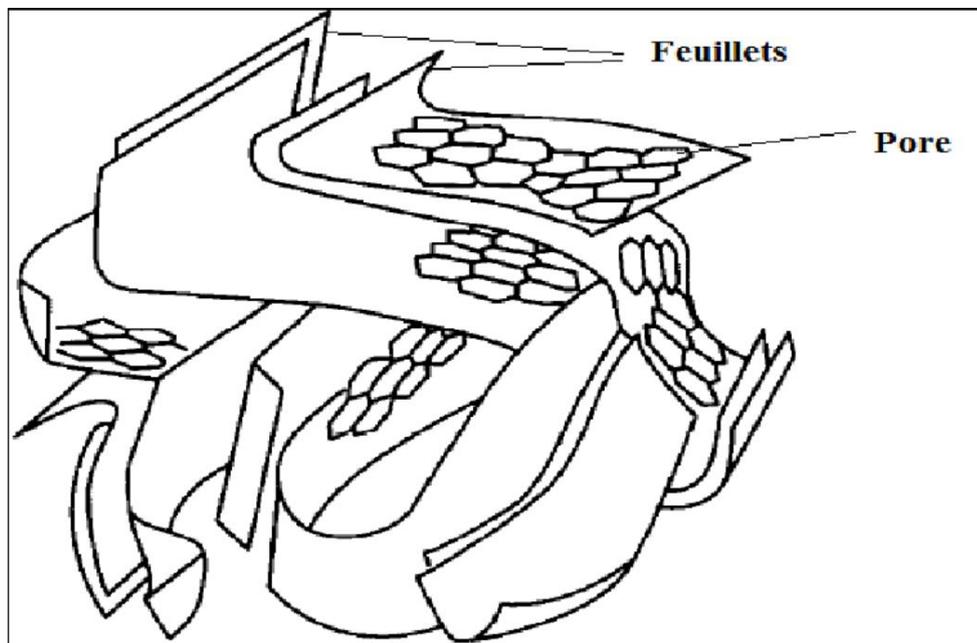


Figure 2.10: Représentation schématique des microstructures du charbon actif [82].

2.3.6. Différents types de charbon actif :

Le charbon actif est principalement disponible sous deux formes différentes : en poudre ou en grain.

A. Charbon actif en poudre (CAP): La poudre de charbon actif se présente sous la forme de grains de taille allant de 10 à 50 μm . Il est fréquemment utilisé pour le traitement de l'eau et du gaz sous cette forme. Dans le premier cas, il est souvent utilisé en

complément d'un traitement clarificateur afin d'accroître la durée de contact entre le charbon et l'eau[84].



Figure 2.11: charbon actif en poudre[84].

tableau 2.4 : Les avantages et inconvénients du charbon en poudre[85,86].

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Les CAP sont environ 2 à 3 fois moins chers que les CAG (peu coûteux). • Leur dosage en quantité réglable peut suivre la concentration des polluants si celle-ci est connue. • Leur cinétique d'adsorption est rapide. • Favorise la décantation. • Leur emploi ne nécessite qu'un investissement réduit quand le traitement ne comporte qu'une étape de floculation décantation 	<ul style="list-style-type: none"> • La régénération est impossible. • Il est difficile d'éliminer les dernières traces d'impuretés sans addition d'un excès. • La détection des points de pollution est problématique. • La concentration applicable est limitée à 80 mg/l. • Il est utilisé essentiellement à l'occasion de dosages discontinus ou de faible importance.

B. Charbon actif en grain (CAG) : Le CAG présente une forme irrégulière et sa taille varie de 0.2 à 5 mm . On l'utilise principalement pour éliminer les micro-polluants organiques et la matière organique présente dans les eaux. Cependant, cela est également utilisé pour le traitement des gaz. Les propriétés physiques du CAG diffèrent grandement en fonction des matériaux utilisés et du processus de fabrication [84].



Figure 2.12: charbon actif en grain[84].

tableau 2.5 : Les avantages et inconvénients du charbon en grain[86].

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Le CAG est utilisé sous forme de lit filtrant. • Il est facile à manipuler . • Sa régénération est possible. 	<ul style="list-style-type: none"> • La cinétique d'adsorption est lente. • Il est plus couteux que le CAP.

2.3.7. Utilisation du charbon actif :

Les applications des charbons actifs sont multiples et diversifiées :

- Séparation de composés minéraux et organiques,
- Purification d'effluents liquides et gazeux par extraction de polluants,
- Traitement des odeurs, décoloration, récupération de métaux précieux, l'or en particulier... En médecine [87].
- Le charbon actif peut jouer un rôle de catalyseur ou de support pour les catalyseurs à base de métaux précieux lors de la synthèse chimique et du craquage catalytique.

- Support bactérien: ces dernières années, l'utilisation du charbon actif s'est élargie aux traitements des eaux usées en raison non seulement de ses qualités d'adsorbant mais aussi du rôle épurateur joué par les bactéries qui y sont fixées [88].

2.4. Adsorption par le charbon actif en système batch :

2.4.1. Modélisation des isothermes d'adsorption :

2.4.1.1. Isotherme de Langmuir :

Le modèle de Langmuir d'adsorption est caractérisé par une capacité d'adsorption maximale qui est associée à la couverture des sites de surface par une monocouche. S'il a d'abord été établi en prenant en compte des critères cinétiques (égalité des vitesses d'adsorption et de désorption)[89]. Ce modèle est basé sur les hypothèses suivantes :

- La surface présente une énergie homogène,
- Le nombre de points d'accès sur la surface adsorbant est constant,
- Chaque site d'adsorption possède une énergie identique.
- l'adsorption est réversible,
- L'adsorption est réalisée en mode monocouche, ce qui implique que chaque site d'adsorption ne fixe qu'une seule molécule d'adsorbat [90].

L'isotherme de Langmuir est représentée par l'équation suivante[91] :

$$Q_e = Q_{\max} + \frac{K.C_e}{1+K.C_e}$$

Avec :

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

Q_e : La quantité de soluté dans la solution à l'équilibre.

Q_{\max} : La capacité maximale d'adsorption en mg/g.

K : Constante cinétique de Langmuir qui est égale le rapport entre la constante cinétique d'adsorption et la constante cinétique de désorption .

2.4.1.2. Isotherme de Freundlich :

Selon ce modèle, il est suggéré que différents sites participent à l'adsorption avec des énergies différentes, tout en maintenant une entropie constante. La répartition de ces sites est exponentielle en fonction de la chaleur d'adsorption. La densité des sites varie également exponentiellement [92]. L'isotherme d'adsorption de Freundlich repose sur l'équation empirique :

$$Q_e = K.C_e^{1/n}$$

Avec :

C_e : Concentration de l'adsorbat dans la solution à l'équilibre.

Q_e : Quantité d'adsorbat adsorbée par l'adsorbant à l'équilibre.

K : Est le premier coefficient de l'équation de Freundlich qui représente la capacité d'adsorption.

n : Est le second coefficient de l'équation de Freundlich qui représente l'intensité de l'adsorption.

2.4.2. Modélisation de la cinétique d'adsorption :

2.4.2.1. Modèle de pseudo premier ordre (modèle Lagergren) :

Si une réaction est d'ordre pseudo, la vitesse d'adsorption de l'est [93].

$$\frac{dQ_t}{dt} = K_1(Q_e - Q_t)$$

Avec :

K_1 : La constante de vitesse pour une cinétique du pseudo premier ordre ($1/min$).

Q_e : La capacité d'adsorption à l'équilibre (mg/g).

Q_t : La capacité d'adsorption à l'instant t (mg/g).

L'intégration de l'équation pour les conditions avec des limites ($Q_t = 0$ à $t = 0$, $Q_t = Q_e$ à $t = t$) devient :

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - \frac{K_1}{2.303} t$$

2.4.2.2. Modèle de pseudo second ordre:

L'équation du pseudo second ordre est fréquemment employée pour décrire la cinétique de la réaction de fixation des polluants sur l'adsorbant [94]. La formule suivante représente le modèle du pseudo seconde ordre :

$$\frac{dQ_t}{dt} = K_2(q_e - q_t)^2$$

Avec :

K_2 : La constante de vitesse d'adsorption du modèle de pseudo- deuxième -ordre ($g \cdot mg^{-1} \cdot min^{-1}$).

Q_t : La capacité d'adsorption à l'instant t .

Q_e : La capacité d'adsorption à l'équilibre.

L'intégration de l'équation pour les conditions aux limites ($Q_t = 0$ à $t = 0$, $Q_t = Q_e$ à $t = t$) devient :

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{K^2 \cdot Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} \cdot t$$

2.4.3. Traitement des eaux usées urbaines par le charbon actif :

Différentes méthodes chimiques et biologiques ont été employées pour éliminer les composés organiques présents dans les eaux usées, mais elles ont connu un succès limité en raison de la quantité et de la diversité des polluants chimiques qui augmentent en raison du développement des industries chimiques, pharmaceutiques et des activités humaines. De cette manière, un effort important a été déployé afin de développer des technologies plus performantes pour leur élimination, notamment le charbon actif, en raison de leur surface

Chapitre 2 : Généralités sur le phénomène d'adsorption et le charbon actif

spécifique élevée, de leur structure très microporeuse et de leur grande réactivité, est considéré comme adsorbants potentiels pour l'élimination des différents composés organique et espèces inorganiques des eaux usées tels que la demande chimique en oxygène DCO les composés phénoliques , les colorant , les métaux [77].

PARTIE II :
PARTIE II :

Partie Expérimentale
PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre 3 :
Matériels et Méthodes

3.1. Introduction :

Les adsorbants microporeux sont couramment utilisés pour traiter les dévers polluants des eaux usées urbaines en raison de leur capacité d'adsorption exceptionnelle due à leur surface spécifique élevée et au développement de leur porosité. A cet effet, le charbon actif est, le premier matériau adsorbant utilisé à grande échelle.

On utilise dans cette étude les noyaux des dattes de la région de Ghardaïa « Ghars » pour préparer un charbon actif pour le but d'éliminer une quantité de polluants dans les eaux usées des wilaya Ghardaïa de sud d'Algérie.

La partie expérimentale de ce travail a été réalisée dans les laboratoires des établissements suivants : université de Ghardaïa, centre de recherche de Ouargla, ADE de Ghardaïa .

3.2. Présentation de la zone d'étude :

3.2.1. Situation géographique :

La station d'épuration de Ghardaïa est construite pendant la période 2008-2012 par AMENHYD SPA : entreprise de réalisation avec collaboration de BG et AQUATECH-AXOR (Canada) : bureau d'étude de contrôle et suivi. Elle a été mise en service en novembre 2012. Elle traite les eaux usées, par le procédé du lagunage naturel avec prétraitement, traitement primaire et traitement secondaire pour la filière eau, et déshydratation dans les lits de séchages pour la filière boues.

Aujourd'hui (2024), la station a une capacité de traitement de $35000 \text{ m}^3/\text{j}$, correspondant à $180\,323 \text{ éq/hab}$ et $46\,400 \text{ m}^3/\text{j}$, correspondant à $331\,700 \text{ éq/hab}$ à l'horizon de 2030, elle traite des eaux usées d'origine urbaines. Le milieu récepteur des eaux usées épurées est l'oued M'Zab. Actuellement la station est gérée par l'ONA (Office National de l'Assainissement), les communes raccordées à la STEP sont: *Ghardaïa, Bounoura, El-atteuf, Dayet Ben-Dahoua*, par un réseau d'assainissement de type unitaire.



Figure 3.1 : L'entrée de la STEP Kaf Doukhane.

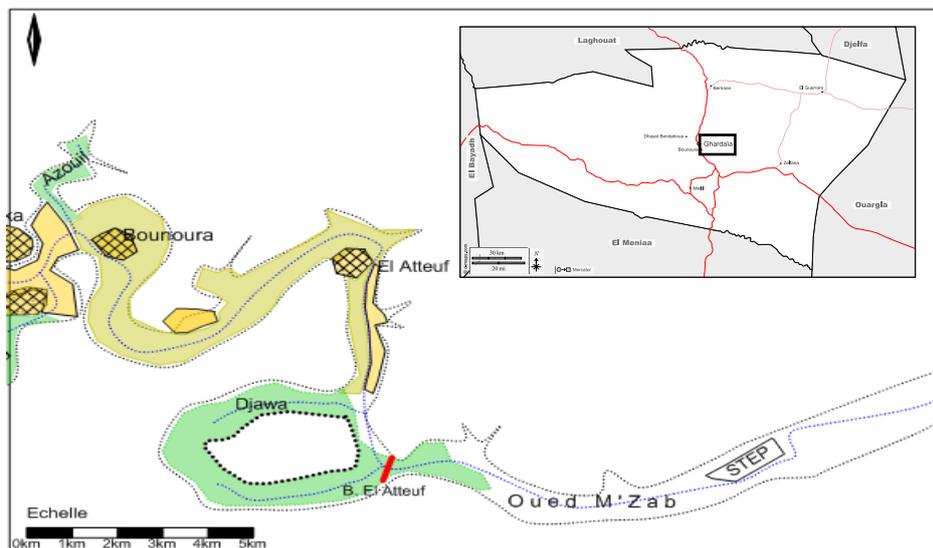


Figure 3.2 : Localisation et caractéristiques de la STEP Kaf Doukhane.

3.3. Préparation et caractérisation des charbons actifs :

3.3.1. Les étapes de préparation les charbons actifs :

Comme mentionné dans le chapitre 2 (2.3.3), la préparation de charbon actif de grande surface spécifique réalisée par activation chimique. Dans cette étude, nous avons utilisé l'acide phosphorique H_3PO_4 comme agent d'activation, en suivant les étapes suivantes:

3.3.1.1. Collecte les noyaux des dattes :

Dans le but de valoriser les matériaux locaux en charbon actif, nous avons utilisé comme référence les noyaux de dattes provenant de région du sud algérien Ghardaïa Metlili (Mansoura), qui est connue par la très bonne qualité de ses dattes en lieu durant décembre-janvier 2024 de collection.



Figure 3.3 : Le variété Ghars.

3.3.1.2. Prétraitement des noyaux de dattes :

Après séparation des noyaux de dattes de la pulpe, nous avons lavés les noyaux abondamment à l'eau distillée pour éliminer toutes les matières puis séchés à l'étuve à 105°C pendant 24 heures.

Ensuite, on broyés et tamisés les noyaux de dattes pour obtenu la fraction comprise entre 0,5 et 1 mm à l'aide de Broyeur, Le broyât est retenu et conservé à l'abri de l'air dans des flacons Fermés Hermétiquement.

3.3.1.3. L'activation chimique :

Nous avons utilisées l'acide phosphorique concentré (85 %) comme agent activant, on Imprégné une masse déterminé de broyât de noyaux des dattes (masse de broyât = masse d'acide) dans une mélange de rapport volumique eau-acide de 1/1.

Le mélange réactionnel est maintenu à 100°C pendant un temps de contact de 1 heure.

Le début du temps de contact est fixé à partir de l'instant où la température atteint 100°C .

3.3.1.4. La neutralisation de charbon :

Un lavage abondant à l'eau distillée jusqu'à neutralisation de l'eau de rinçage par vérification régulière du Ph.

Le charbon ainsi traité est séché à l'étuve à 105°C pendant au moins 24 heures.

3.3.1.5. La carbonisation :

La carbonisation est réalisée dans l'enceinte d'un four électrique préchauffé à 600°C , le charbon obtenu est mis dans des capsules en porcelaine fermées.

Cette température est maintenue pendant une durée de *3 heures* pour obtenir un résidu sec.

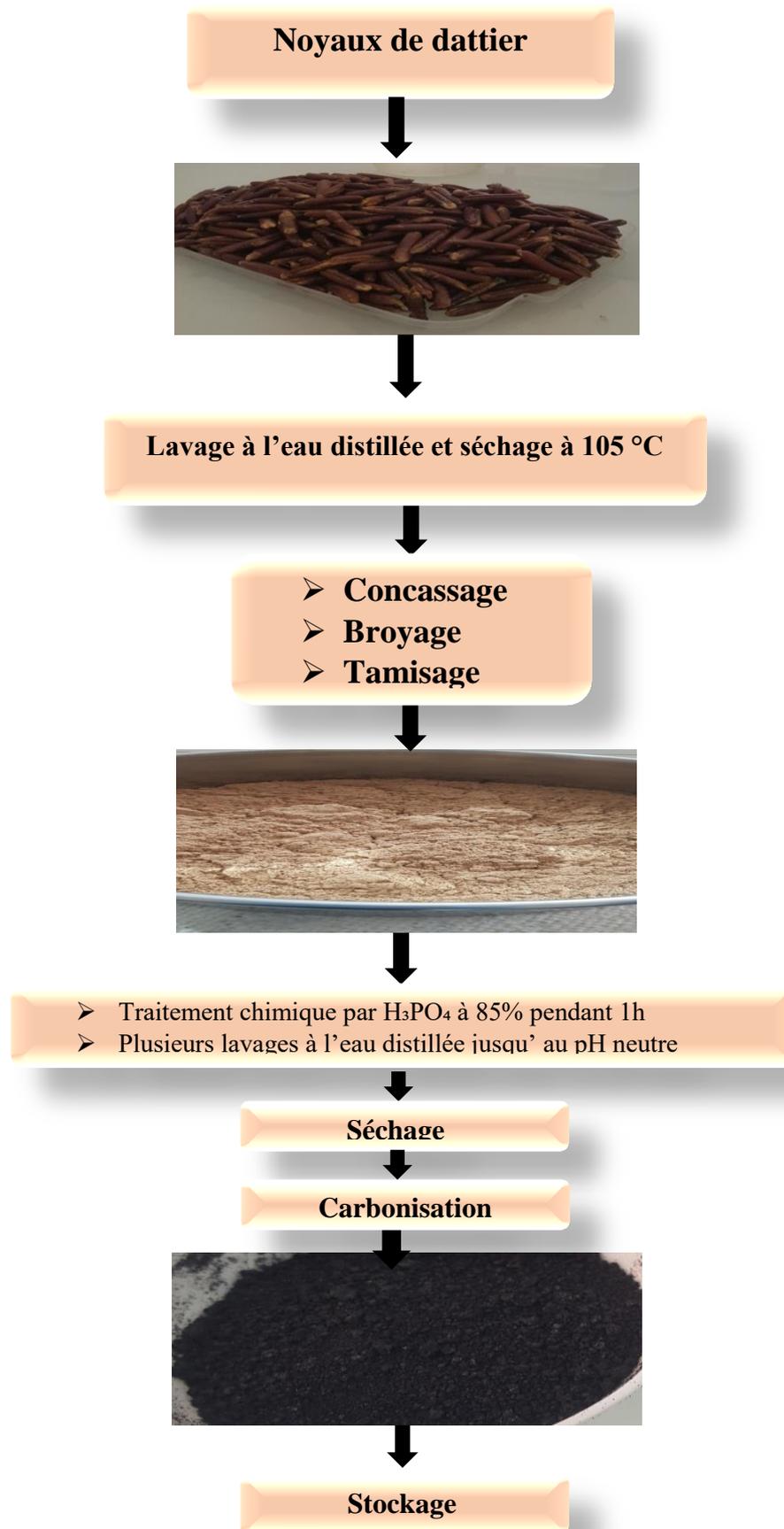


Figure 3.4: Les étapes de préparation de charbon actif à partir des noyaux de dattes.

3.3.2. Caractérisation de charbon actif :

3.3.2.1. Le pH:

Selon Egwaikhide et al., le pH du charbon actif a été déterminée par immersion de l'échantillon de 1 g dans 100 ml d'eau distillée et en agitant pendant 1 heure. La mesure a été réalisée à l'aide d'un pH-mètre [95].

3.3.2.2. La teneur d'humidité :

Quand les charbons actifs préparés sont en contact permanent avec l'air ou lors leurs stockages, les solides se chargent par une certaine humidité due à la diffusion des molécules d'eau dans la structure et sur la surface du solide. Le taux d'humidité peut être un indicateur de l'hydrophilie de ce solide. 5 g de charbon actif sont placés dans un creuset pèse P_1 , puis l'échantillon est placé dans une étuve à une température de 105°C pendant une heure. On le laisse ensuite refroidir dans un dessiccateur pendant une demi-heure. Après on le repese P_2 , La relation suivante permet d'obtenir le taux d'humidité H (%) relatif pour les différents charbons actifs préparés [96].

$$H(\%) = (P_1 - P_2) * 100 / P_1$$

3.3.2.3. La teneur de cendre:

Il s'agit de la partie inorganique, inerte, amorphe et inutilisable, présente dans le charbon actif, le taux de cendre est déterminé par la méthode décrite en littérature [97]. Un morceau de 0.5g de charbon actif est séché pendant 24 heures dans une étuve à une température de 80°C , puis placé dans un creuset en céramique. Ce creuset est ensuite placé dans un four réglé à 650°C et maintenu à cette température pendant 3 heures. Une fois refroidi à température ambiante, le creuset est à nouveau pesé. Le taux de cendre C (%) est calculé comme suit :

$$C(\%) = (P_3 - P_2) * 100 / P_2$$

Avec :

P_1 : la masse initiale du charbon actif utilisée en (g).

P_2 : la masse du creuset avant carbonisation en (g).

P_3 : la masse du creuset rempli après carbonisation en (g) [97].

3.3.2.4. La densité apparente:

La densité apparente est l'ensemble des fractions solides et poreux. On l'évalue en utilisant la méthode de l'éprouvette graduée. On pèse une éprouvette vide. Ensuite, on la recouvre de solide jusqu'à atteindre *100 ml*. Par la suite, nous avons repesée. La relation ci-dessous permet de calculer la densité apparente $D (\%)$ [98] :

$$D(\%) = (P_1 - P_0)/100$$

P_1 : le poids de l'éprouvette remplie (g).

P_0 : le poids de l'éprouvette vide (g).

3.4. Traitement des eaux usées par les charbons actifs préparés :

Afin d'appliquer le deux objectifs de notre travail, qui est l'étude de capacité de nos charbons actifs d'éliminer quelques polluants des eaux usées urbains.

3.4.1. Prélèvement des eaux usées :

Le prélèvement des échantillons est réalisé à l'aide d'un échantillonneur automatique des eaux usées. les échantillons sont prélevés à l'entrée de la station après le dégrillage et le dessablage. Les flacons d'eaux usées sont fermés et transportés au laboratoire à la température de $4^{\circ}C$ dans une glacière. Les prélèvements et la conservation des échantillons sont effectuées selon les indications de Rodier [1].

3.4.2. Analyse des échantillons eaux usées :**3.4.2.1. DCO « demande chimique en oxygène » :**

La demande chimique en oxygène c'est la consommation en dioxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau.[82]on peut dire par autre définition DCO c' est la concentration, de dioxygène O_2 , équivalente à la quantité de dichromate $Cr_2O_7^{-2}$ consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans les conditions définies[85].

-Mode opératoire : On ajoute 2 ml de l'échantillon des eaux usées après filtration sur un filtre 0.45 μm (soit avant ou après traitement par le charbon actif), on fait une agitation et on place les tubes dans un thermostat ,Après le chauffage de l'échantillon jusqu'à 148°C pendant 2 heures, on les refroidit à l'air libre pendant 15 minutes, puis on fait la lecture dans la spectrophotomètre [85].

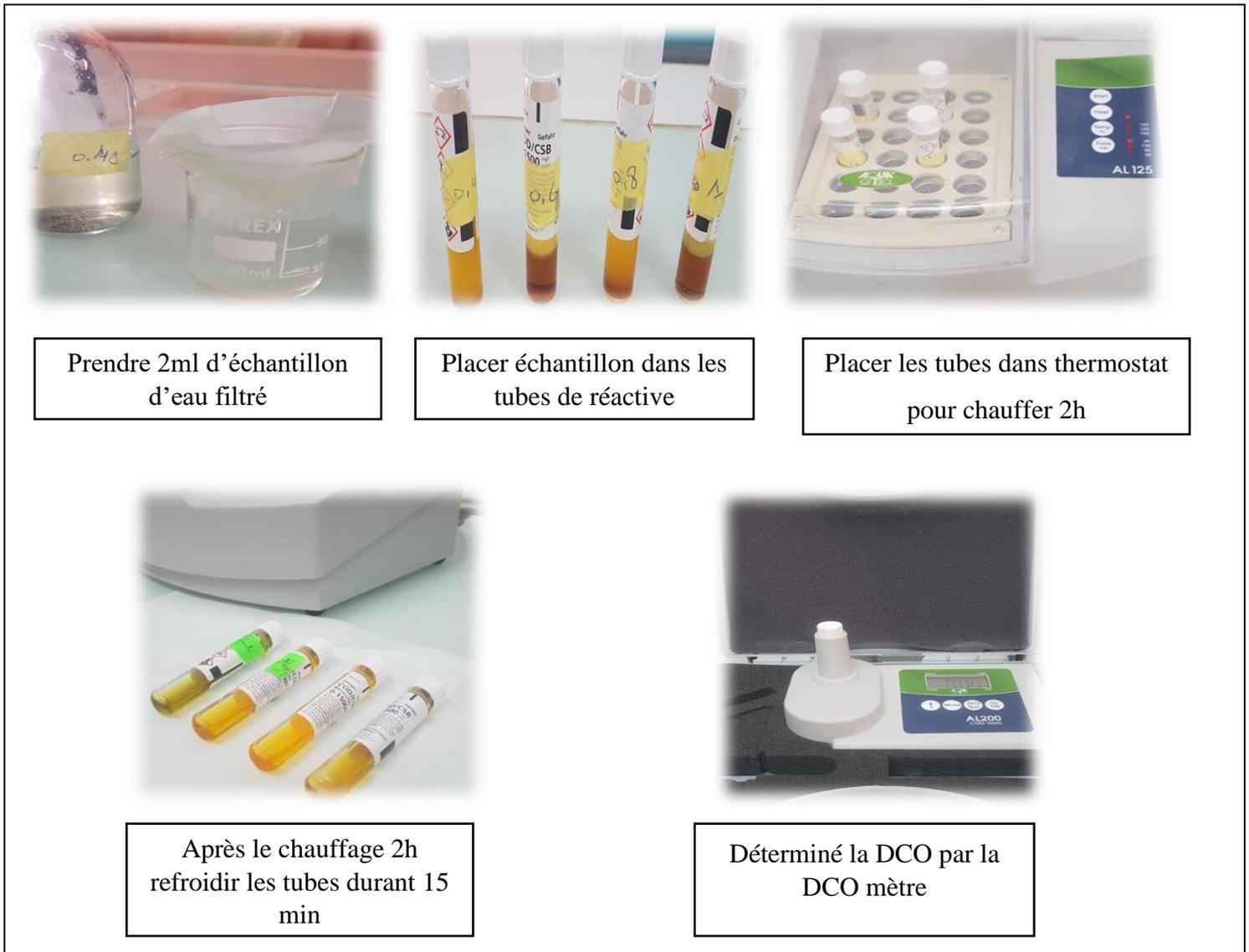


Figure 3.5 : protocole de détermination du DCO.

3.4.2.2. La DBO₅ :

La DBO₅ est mesurée par l'incubation d'un volume déterminé d'eaux usées auxquelles on ajoute deux capsules d'hydroxyde de sodium (pour absorber le CO₂ dégagé par les microorganismes) et quelques gouttes de l'inhibiteur de nitrification dans l'obscurité à 20°C dans une armoire thermostatique pendant cinq jours, il se produit une dépression proportionnelle à la quantité d'oxygène consommée. Cette différence de pression est convertie en DBO₅ (mg/l) une fois multipliée par le facteur de dilution [1].

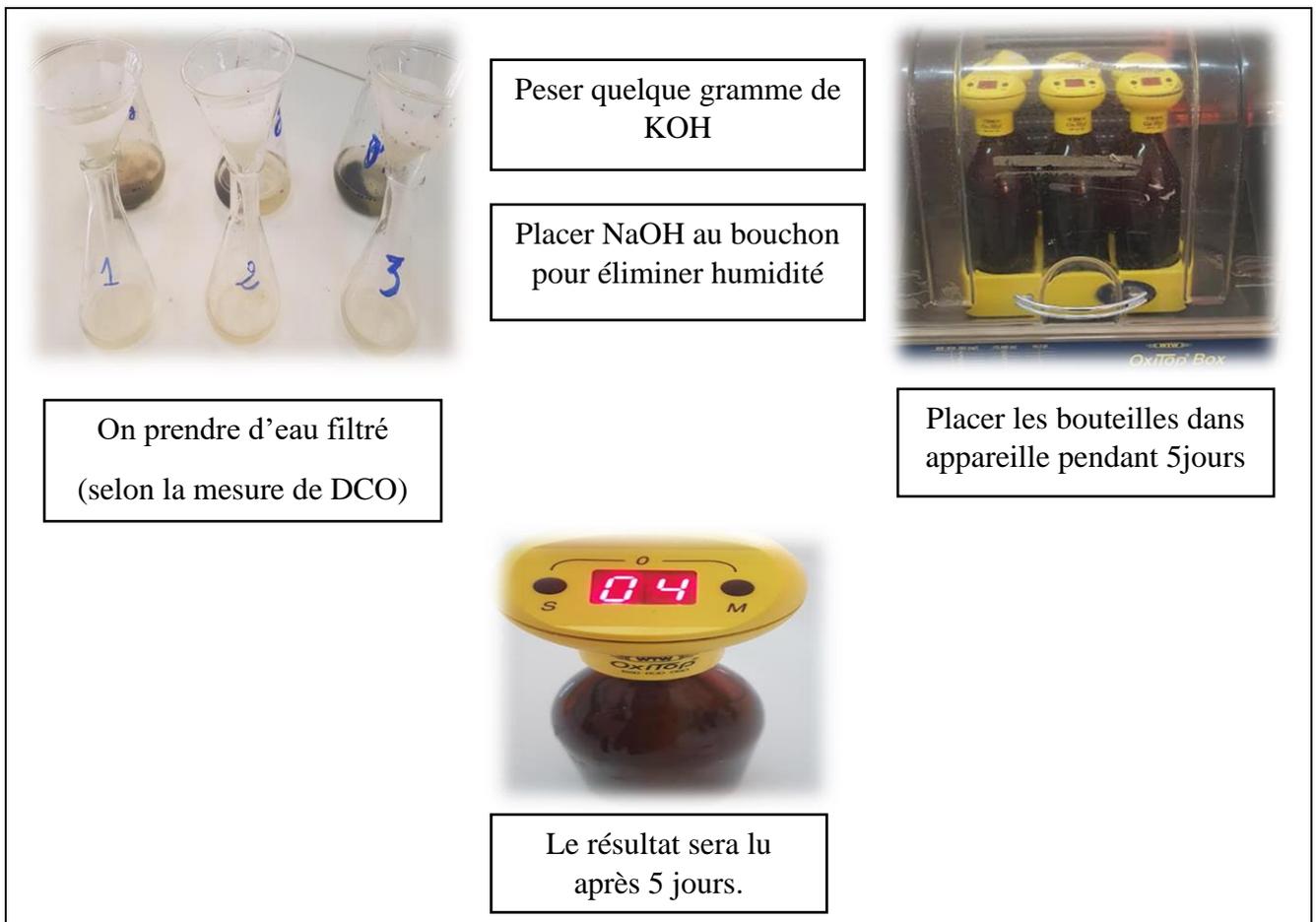


Figure 3.6 : protocole de détermination du DBO₅.

3.4.2.3. L'ammonium :

On ajoute 0.2ml de l'échantillon des eaux usées au test en cuve LCK 303 de la gamme 2–47 mg/L de N-NH₄, on agite et on refroidit à l'air libre pendant 15 minutes avant la lecture sur le spectrophotomètre DR 2800. En présence de sodium nitroprussique agissant comme

catalyseur et à une valeur du pH d'environ 12.6, les ions ammonium réagissent avec les ions hypochloreux et salicyliques et donnent une coloration bleue indophénol [173, 174].

3.4.2.4. Les nitrates :

La teneur en nitrate est mesurée à l'aide d'un test en cuve *LANGE LCK 339* de gamme 5 –35 mg/L : dans une solution d'acide sulfurique et phosphorique, les ions nitrates réagissent avec le 2.6-diméthylphénol pour donner du 4-nitro-2.6-diméthylphénol [173,174].

3.4.2.5. Les nitrites :

La détermination de la teneur de nitrite est mesuré par test en cuve *LANGE LCK 341* de gamme(0.015-0.6 mg/l de N – NO₂) et *DR 2800* : le principe est basée sur la réaction de nitrites avec des amines aromatiques dans une solution acide pour former les sels diazonium. Ceux-ci se combinent avec des composés aromatiques qui contiennent un groupe amino ou un groupe hydroxyle pour former un azoïque de couleur intense[173, 174].

3.4.2.6. Orthophosphate «PO₃⁻⁴» :

Dans des fioles on prend des volume d'échantillon « 5 /10/20/40 ml » puis on ajoute « 1ml » d'acide ascorbique avec « 2ml » d'acide molybdate, on observe un coloration entre bleu et bleu indigo, laisser reposer 20 minutes après faire le lecteur dans spectrophotomètre .

3.4.2.7. Le pH :

Le pH est mesuré par le PH- mètre On ajuste les valeurs du pH par le hydroxyde de sodium NaOH (0.1 N) et l'acide nitrique HNO₃ (0.1 N).

3.4.3. Essai d'adsorption de la demande chimique en oxygène, l'ammonium, l'orthophosphate par le charbon actif préparé :

3.4.3.1. Calcul de la quantité adsorbée (Q) :

La quantité et le rendement d'adsorption de la demande chimique en oxygène DCO par les charbons actifs ont été calculé par les équations suivantes :

$$Q_t(\text{mg/g}) = (C_0 - C_e) \cdot V/m$$

Ou :

Q : Quantité du polluant adsorbée par l'adsorbant (*mg/g*).

C₀ : Concentration initiale du polluant en phase aqueuse (*mg/L*).

C_s : Concentration résiduelle du polluant en (*mg/L*).

m : Masse d'adsorbant (*g*)

3.4.3.2. Détermination du taux d'élimination des polluants :

Le taux d'élimination est défini comme étant le rendement de la réaction d'adsorption. C'est le rapport de la quantité du polluant adsorbé à l'instant t donné sur celle qui s'y trouve initialement dans la solution aqueuse.

$$\mathbf{R(\%) = (C_0 - C_e) \cdot 100/C_0}$$

Ou :

C₀ : la concentration initiale a *t = 0*.

C_e : La concentration à temps d'équilibre.

V : volume des eaux usées urbain à traité.

Chapitre 4 :

Résultats et Discussion

4. Résultats et discussion

4.1. Introduction :

Ce chapitre a traité premièrement la performance de réduction de pollution de la STEP de kef doukhane de la présentation des caractéristiques physico-chimiques de charbon actif préparé dans cette recherche. Deuxièmement on présente la qualité physico-chimique des eaux usées de la step de kef doukhan et nous avons présenté les essais de traitement des eaux usées par l'application de charbon dans l'adsorption des micropolluants en milieu aqueux pour connaître leurs capacités d'adsorption et rendre compte de leurs efficacités et on a termine notre travail par une comparaison des résultats avec des études précédentes

4.2. Performance de réduction de pollution de la STEP

Tableau 4.1: valeurs des paramètres de pollution de l'entrée et la sortie de la STEP (ONA).

	Eau d'entrée (mg/l)	Eau de sortie (mg/l)
DCO	310	114
DBO₅	228	56
NH₄⁺	35.6	30
NO⁻²	0.11	0.14
NO⁻³	0.24	0.54

Les réductions de la DCO et la DBO₅ sont respectivement (63.22 % et 75.44 %), mais la concentration de DCO et DBO₅ reste supérieure à la norme nationale d'irrigation, en revanche on remarque que la teneur de NH₄⁺ (réduction de 15.7%) et des nitrites et nitrates reste très élevée des valeurs enregistrées supérieures aux limites autorisées, l'augmentation des ces concentrations est due à la forte présence des algues dans les bassins où la couleur de l'eau traitée apparaît en vert et pour résoudre ce problème nous avons étudié la capacité d'adsorption de pollution par le charbon actif préparé .

4.3. Caractérisations des charbons actifs préparés :

Les charbons actifs sont des matériaux non toxiques, traités avec du carbone, qui présentent une structure poreuse et une surface interne importante. Ces matériaux peuvent absorber une grande diversité de substances organiques et inorganiques.

La variété Ghars de la région de Ghardaïa de diamètre 0.5 mm a été préparée à partir des noyaux des dattes par activation chimique par l'acide phosphorique.

4.4. Les caractéristiques physiques:

Les tests de la détermination, des propriétés physiques sont regroupés dans le tableau 4.2.

4.4.1. Le Ph:

Le pH de charbon actif préparés est rassemblé dans le tableau 4.2. La présence de résidus d'acide phosphorique après le lavage pourrait être responsable de cette valeur de Ph.

4.4.2. Le taux d'humidité H (%) :

Le taux d'humidité H(%) de charbon actif préparés est présenté dans le tableau 4.2.

Le taux d'humidité 7.82 %, Ceci est dû au séchage et à la bonne conservation des échantillons

4.4.3. Le teneur de cendre C (%) :

Le teneur de cendre C (%) de charbon actif est rassemblé dans le tableau 4.2.

La teneur en cendre peut affecter le charbon actif car la cendre constitue une charge inactive qui réduit l'activité globale du charbon actif. Et qui restreint également l'efficacité de réaction dont la capacité d'adsorption du charbon actif, en n' obstruant les pores et en occupant la surface d' adsorption [79]. Selon de nombreux auteurs, les meilleurs charbons actifs sont ceux qui procèdent les teneurs de cendre basses [74].

4.4.4. La densité apparente D (%) :

La densité de charbon actif est été mesurée par la méthode décrite dans le chapitre précédent, le résultat est rassemblé dans le tableau 4.2.

La valeur de la densité de charbon est similaire aux résultats obtenus dans des études précédentes [77], Dans cette étude le charbon actif a une densité égale à 0.27 %.

Tableau 4.2: Caractérisations physicochimiques des charbons actifs.

	pH	H (%)	C (%)	D (%)
CGM	6.4	7.82	0.99	0.27

4.5. Adsorption des polluants par le charbon actif préparé:

4.5.1. Qualité des eaux urbaines à traiter :

Avant de commencer le traitement, nous avons effectué une mesure des compositions des eaux usées de la région Atteuf « Kef EL Doukhane ». La composition des eaux usées de la station est présentée dans le tableau 4.2, La composition et la quantité des eaux usées sont liées à divers facteurs notamment au mode de vie ainsi qu'aux activités humaines:

Tableau 4.3 : Compositions des eaux usées de la commune de la STEP de « Kef EL Doukhane » .

Composition (mg/l)	Valeurs (avril 2024) (mg/l)	Normes (mg/l)
T	15.1	30
Ph	8.07	8.5
Conductivité (ms/cm)	3.13	3
Turbidité(mg/l)	19.6	25
O ₂ -dissous(mg/l)	1.22	
DCO	710	120
DBO ₅	700	35
PO ₄ ³⁻	3.21	10
NO ₃	0.24	

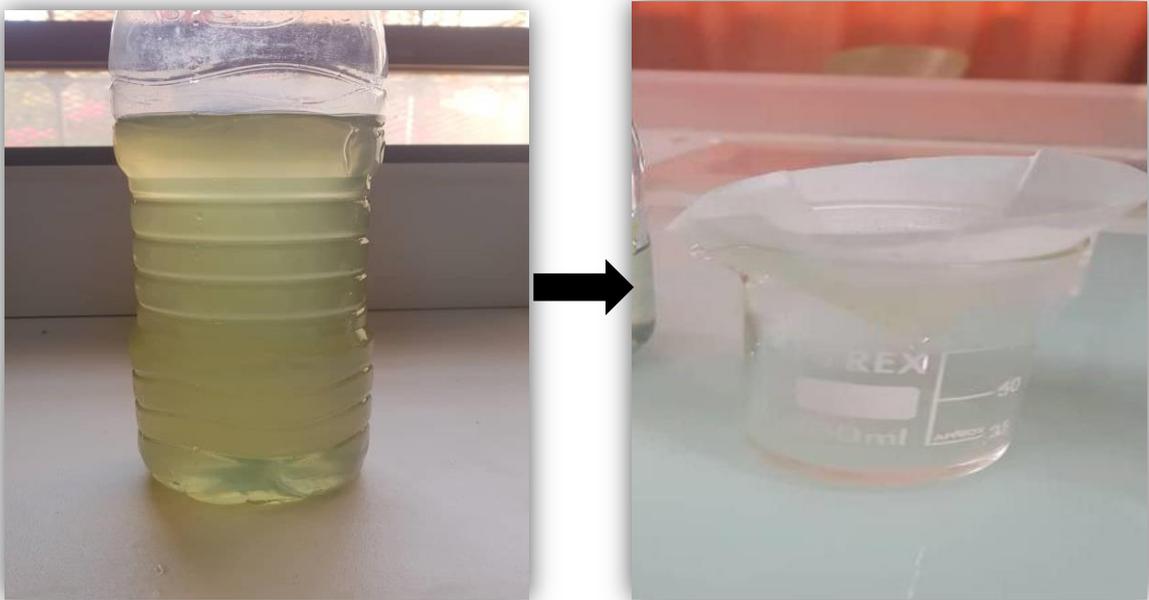
NO^{-2}	1.344
NH_4^{+}	46.2

Les résultats de composition trouvés indiquent que l'eau présente une pollution très élevée.

Au cours de test d'adsorption des polluants, on a étudié l'influence de masse d'adsorbant sur adsorption de DCO, DBO_5 , NH_4^{+} , PO_3^{-4}

4.6. Influence de la masse de l'adsorbant :

4.6.1. La couleur :



Avant le traitement (avec CA)

Après le traitement(avec CA)

Figure 4.1 : La couleur avant et après le traitement des eaux usées.

La différence de couleur entre les eaux usées et l'eau traitée peut être significative et est souvent un indicateur de la qualité du traitement.

D'après la figure 4.1. on remarque que l'eau traité après avoir subi un processus de traitement par charbon actif est clair et sans couleur.

4.6.2. L'adsorption de DCO:

Dans le but d'étudier l'influence de la masse de charbon sur l'adsorption de la DCO, on utilise différentes masses de charbon actif 0.25 à 1 g dans 100 ml d'eau usée.

La solution est maintenue sous l'agitation de 200 *tr/min*, pendant 2heure.

La concentration de DCO au point d'prélèvement de sortie est de $C_0(mg/l)=310 mg/l$.

Tableau 4.4 : Influence de la masse de charbons actif sur l'adsorption des polluants organiques.

Masse de charbon (g)	Résultats (mg/l)	Qe(mg/g)	rendement R (%)
0.25	170	56	45
0.5	110	40	64.5
0.75	50	16	83.8
1	51	25.9	83.5

La figure 4.2 : suivante présente la variation de pourcentage de réduction du polluant organique DCO en fonction de la dose pour le charbon actif :

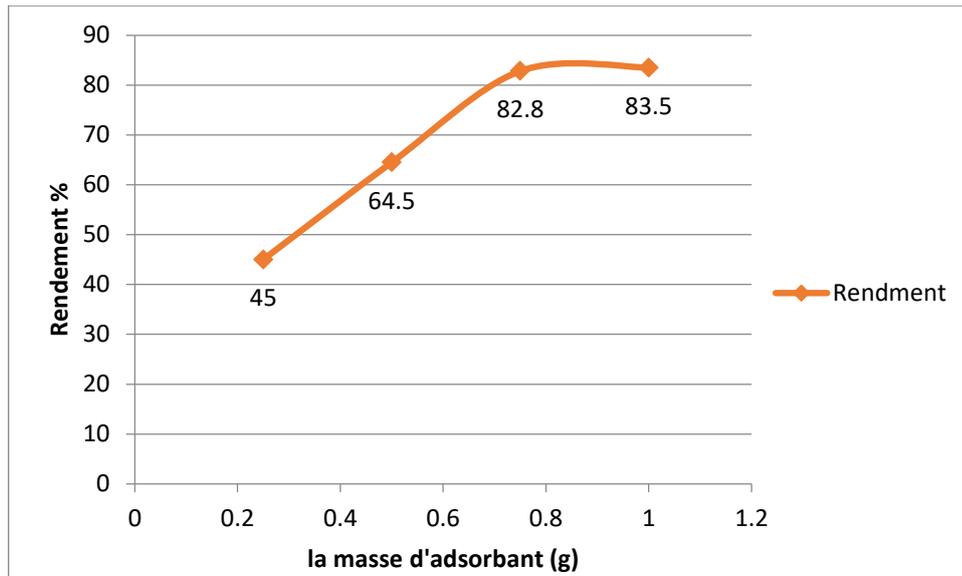


Figure 4.2 : Le rendement d'adsorption de DCO sur différents masses de charbon actif.

Les concentrations obtenus sont inférieurs aux normes internationale des rejets donc le phénomène d'adsorption est très efficace.

L'élimination de la DCO est augmentée avec l'augmentation de la quantité d'adsorbant jusqu'à 0,75 g exprime l'augmentation des sites actifs de charbons conduit à taux accru d'absorption de la DCO. Par la suite, on observé que la quantité d'adsorbant n'a exercé aucune augmentation de l'enlèvement de la DCO (presque constante).

Le pourcentage d'élimination de quantité de DCO « 83,87% » trouvés reste très important par comparaison aux résultats d'autre chercheurs [103].

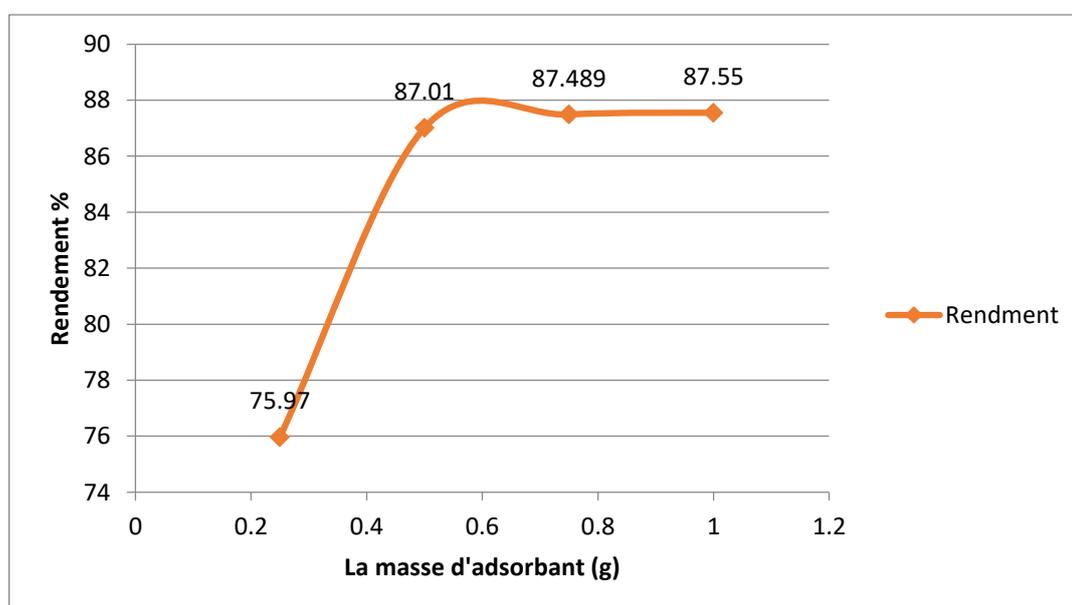
4.6.3.L'adsorption d'Ammonium « NH_4^+ » :

Tous les paramètres sont soumis aux mêmes conditions opératoires pour déterminer le rendement d'élimination de DCO.

La concentration de NH_4^+ au point d'prélèvement est de $C_0 \text{ (mg/l)} = 46,20 \text{ mg/l}$.

Tableau 4.5 : Influence de la masse des charbons actifs sur l'adsorption de NH_4^+ .

	Masse (g)	Rendement %	Q (mg/g)
CGM1	0.25	75.97	14,04
CGM2	0.5	87.01	8,04
CGM3	0.75	87.489	5,39
CGM4	1	87.55	4,05

**Figure 4.3** : Le rendement d'adsorption d'ammonium sur différents masses de charbon actif.

D'après le tableau 4.5 on peut conclure que le rendement maximal est de « 87.55% » pour le charbon préparée, et la meilleure quantité adsorbés été marqué avec une masse de 1g de charbon.

La concentration de NH_4^+ diminue jusqu'à 5.75 mg/l avec une masse de charbon de 1g.

La diminution de la teneur en ion ammonium pourrait s'expliquer par d'une part l'efficacité de ce matériau et d'autre part la bonne oxygénation des eaux au moment l'agitation entraînant l'oxydation de l'ammonium [104].

4.6.4. L'adsorption d'orthophosphate « PO^{3-}_4 » :

Le tableau ci-dessous présente les résultats d'adsorption et les rendements et les quantités absorbées avec une concentration initiale de PO^{3-}_4 $C_0 = 3.21$ (mg/l).

Tableau 4.6 : Influence de la masse des charbons actifs sur l'adsorption de PO^{3-}_4 .

	Masse (g)	Résultats (mg/l)	E%	Q (mg/g)
Echantillon « CGM »				
CGM1	0.25	1,2	62,62	0,804
CGM2	0.5	0,39	72,90	0,468
CGM3	0.75	0,37	73,21	0,31333333
CGM4	1	0,4	76,32	0,245

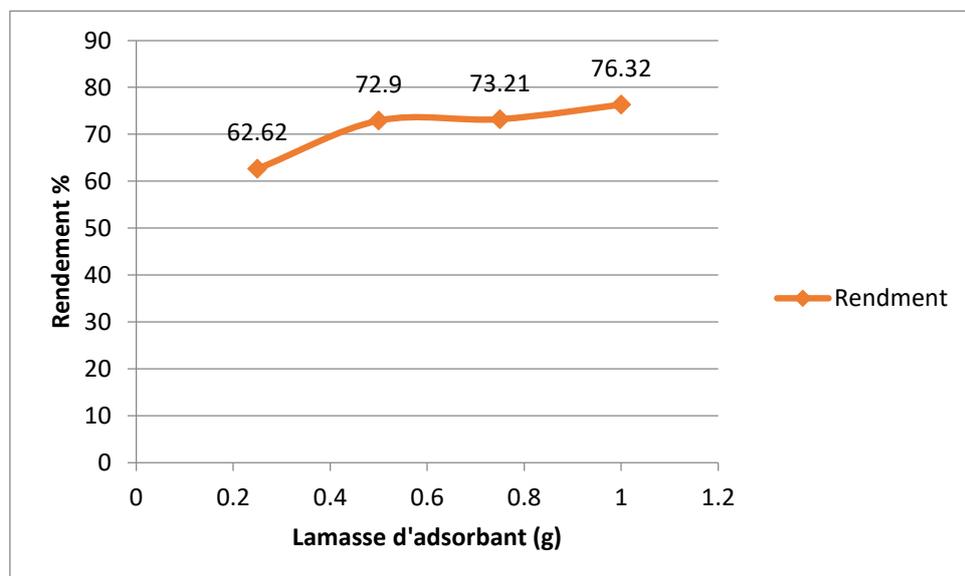


Figure 4.4 : Le rendement d'adsorption d'orthophosphate sur différentes masses de charbon actif.

D'après le tableau on remarque une diminution dans le rendement d'adsorption d'orthophosphate cela relié peut être à la méthode d'activation de charbon, car nous avons utilisé un agent d'activation de l'acide phosphorique avec une concentration de 85%.

4.6.5.DBO₅ :

Tableau 4.7 : Influence de la masse des charbons actifs sur le DBO₅ :

	MASSE	RESULTATS	RENDEMENT%
CGM1	0.25	250	64,28
CGM2	0.5	275	60.71
CGM3	0.75	225	67.85
CGM4	1	225	67.85

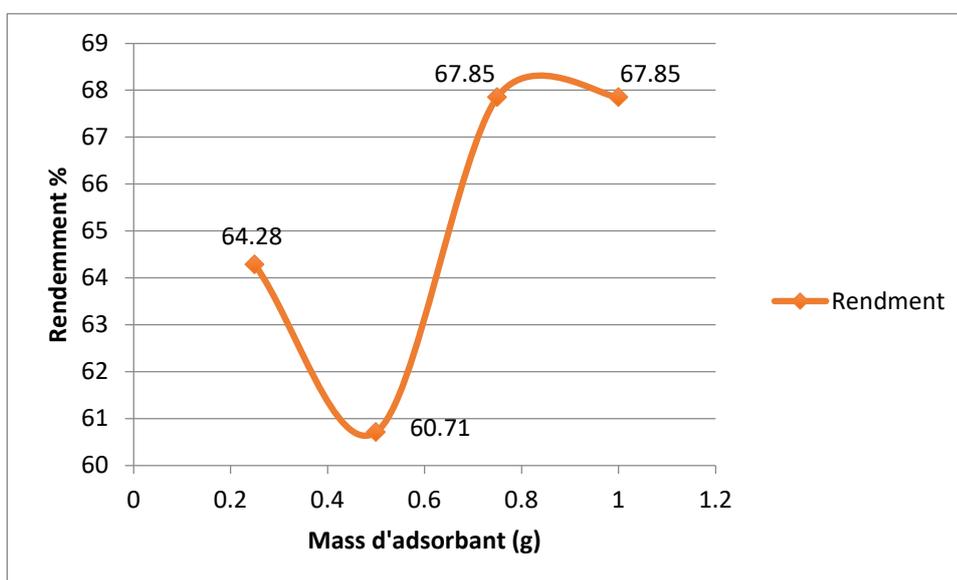


Figure 4.5 : Le rendement de diminution de DBO₅ sur différents masses de charbon actif.

Les valeurs de pollution organique exprime en DBO₅ pour l'eau brute est 700 mg/l, cette valeur dépasse la norme des eaux de rejet.

A partir de la figure au-dessous le rendement de diminution de DBO_5 dans le traitement par charbon atteint 67.85% pour 0.75g de charbon ,cette valeur reste constante pour 1g de charbon.

4.6.6. Comparaison des résultats avec les études précédentes :

4.6.6.1. Comparaison entre le rendement d'adsorption de DCO sur différents variétés de charbon

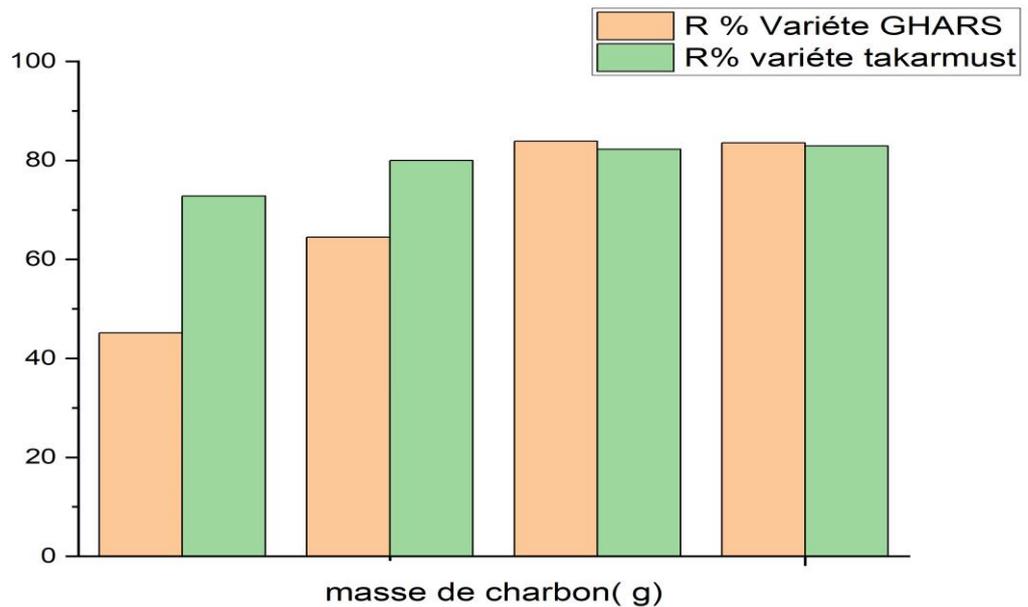


Figure 4.6: comparaison entre le rendement d'adsorption de DCO sur différents variétés de charbon.

On remarque que la quantité de la demande chimique en oxygène DCO adsorbée demeure constante, la grande capacité de l'adsorption maximale est égale 34.67 mg/g pour le charbon de GHARS correspondant à un taux d'élimination maximale de 83.87 % supérieure à le rendement d'adsorption pour le charbon DE TAKARMUST[103].

4.6.6.2. Comparaison entre le rendement d'adsorption d'ammonium sur différents variétés de charbon :

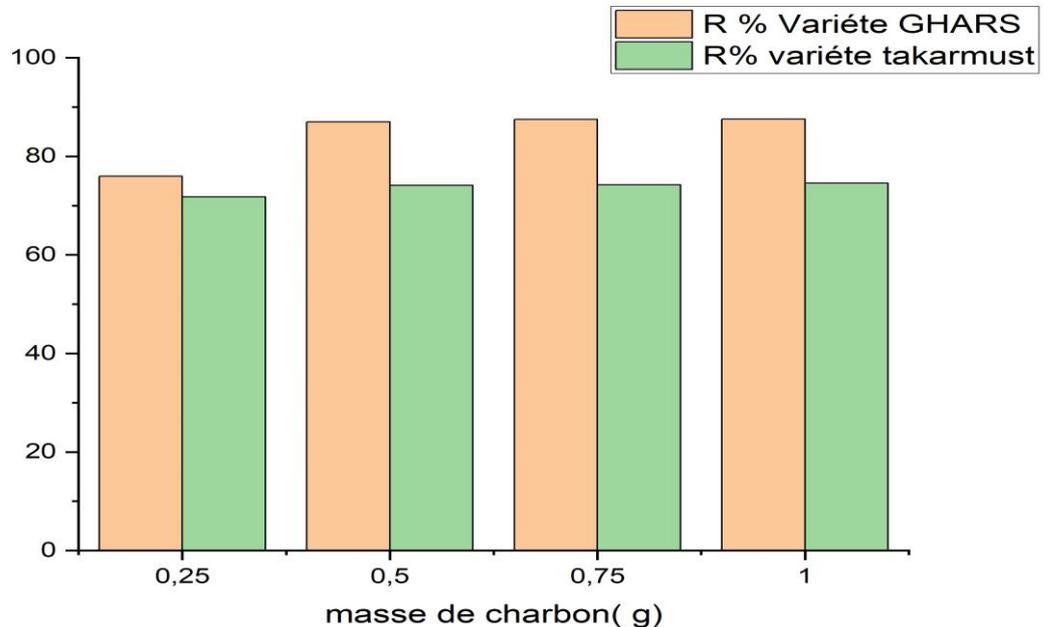


Figure 4.7: comparaison entre le rendement d'adsorption d'ammonium sur différents variétés de charbon.

A l'issu de ces résultats on peut dire que l'adsorption d'ammonium par le charbon actif préparé de GHARS est efficace par rapport le charbon préparé à partir des noyaux de TAKARMUST.

4.6.6.3. Comparaison entre le rendement d'adsorption d'orthophosphate sur différents variétés de charbon.

D'après la figure 4.8 on peut dire que le rendement d'adsorption de charbon GHARS est très proche d'autre variété.

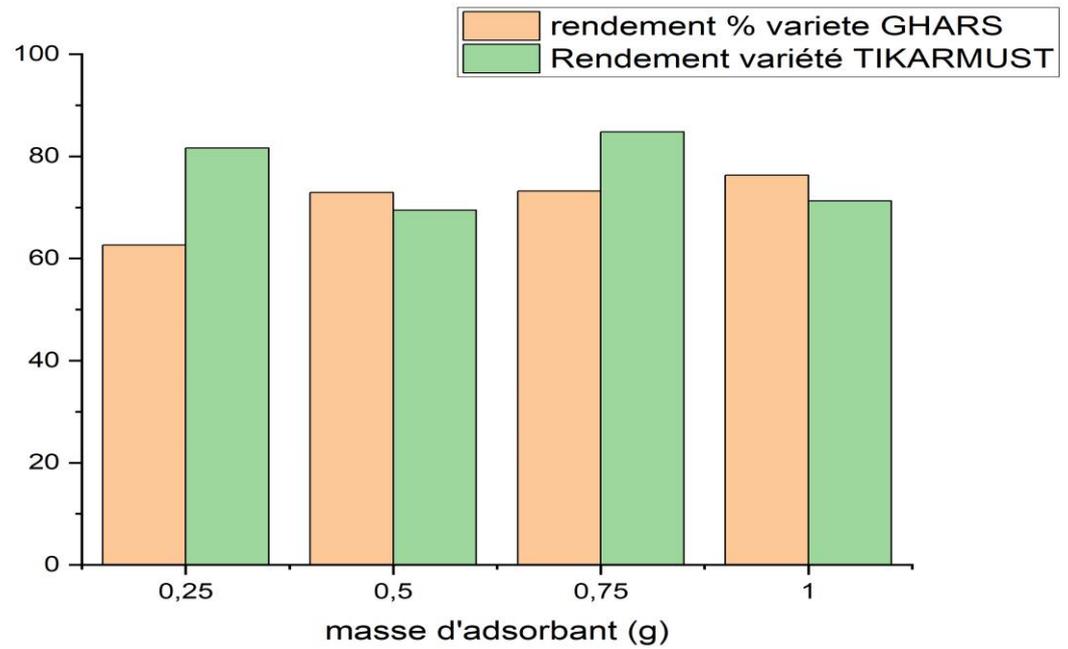


Figure 4.8 : comparaison entre le rendement d'adsorption d'orthophosphate sur différents variétés de charbon.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Nous avons tenté à travers ce travail de déterminer la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel EL ATTEUF KAF DOUKHANE par l'analyse des paramètres globaux d'estimation de la pollution des eaux usées.

Les résultats d'analyse des eaux usées urbaines montrent l'existence d'une pollution caractérisée par une forte charge organique.

Les réductions de la DCO et la DBO₅ sont respectivement (63.22 % et 75.44 %), mais la concentration de DCO et de DBO₅ reste supérieure à la norme nationale d'irrigation, en revanche on remarque que la teneur de NH₄⁺ (réduction de 15.7%) et des nitrites et des nitrates reste très élevée, des valeurs enregistrées supérieures aux limites autorisées.

À cet égard, nous avons décidé de traiter l'eau de manière à ce que l'objectif soit de purifier les eaux usées et de les transformer en eau d'irrigation pour cela nous avons préparé un charbon de résidus naturels à partir des noyaux des dattes de variété « GHARS » de la région de Ghardaïa.

Pour le charbon on a utilisé la méthode de l'activation chimique par l'acide phosphorique avec une concentration de 85 %.

La caractérisation des charbons actifs préparés a porté sur une caractérisation physique ou Le taux d'humidité 7.82 % dû au séchage et à la bonne conservation des échantillons avec une teneur de cendre basse et une densité égale à 0.27% ou cette valeur est similaire aux résultats obtenus dans des études précédentes

La capacité d'adsorption de charbon préparé a été testée par des essais d'élimination des polluants des eaux usées urbaines au niveau de laboratoires de recherche a OUARGLA, et a l'ONA

Les résultats de traitement des eaux usées par le charbon est donnés des bonnes résultats, On a remarqué que le charbon actif préparé à base des noyaux des dattes constitue une source magnifique pour la production d'un charbon actif efficace pour l'élimination des polluants.

On a pu montrer que le rendement d'adsorption atteint 83.8 % pour le DCO, 87.55% pour l'ammonium qui pourrait s'expliquer par l'efficacité de ce matériau

Conclusion Générale

Les orthophosphates diminuent avec un taux de 76.32%, et 67.85% pour le DBO₅.

La comparaison de nos résultats avec ceux obtenus par le traitement dans la station d'épuration montre que le traitement des eaux usées par le charbon actif préparé à partir d'un résidu naturel est plus efficace.

A l'issue de ces résultats on peut dire que notre résultats sont très proche et parfois meilleur des études précédents.

L'épuration des eaux usée par le charbon actif va nous permettre non seulement de réduire le coût d'épuration mais aussi de contribuer à la préservation de l'environnement.

Références bibliographique

Références Bibliographiques

- [1] METHARI MOHAMMED SAID, Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou, thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou. 2012.
- [2] GEORGE Tchobanoglous, Franklin L Burton, and H David Stensel. Metcalf & eddy, inc. Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, Reuse, 2003.
- [3] ANGELIQUE Léonard. Etude du séchage convectif de boues de station d'épuration Suivi de la texture par microtomographie à rayons X. PhD thesis, Université de Liège, 2007.
- [4] KENDOUCI MOHAMMED AMIN. (Étude De Risque De Pollution Des Eaux Souterraines De La Ville De Béchar Et Valorisation Du Sable En Vue De Son Utilisation En Traitement Des Eaux Usées). Thèse de doctorat en Sciences. Université l'Oran, 2018.
- [5] GREGORIO CRINI and Pierre-Marie Badot. Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique. Presses Univ. Franche-Comté, 2007.
- [6] FRITZ MEINC, Hans Stooff, Heinrich Kohlscgütter, and André Gasser. Les eaux résiduaires industrielles. Masson, 1977.
- [7] HELAL NEDJOUA, AZZOUZ NOUSSAIBA, (Diagnostic de la station de traitement des eaux usées de la ville de M'sila , propositions pour améliorer son efficacité et son rendement), Mémoire de master académique. Université M'sila, 2020.
- [8] S TAKRAHIDE. Kurita handbook of water treatment. Kurita Water Industries, Ltd., Tokyo, 1999.
- [9] JEAN RODIER, Bernard Legube, Nicole Merlet, and Régis Brunet. L'analyse de l'eau 9ème édition-Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod, 2009.
- [10] NATALJIA KOPRIVANAC and Hrvoje Kušić. Hazardous organic pollutants in colored wastewaters. Nova Science Publishers, Inc., 2009.
- [11] CHEIKH, SID AHMED, AND EL HOUSSEY ZERRIAHEN. (Etude Comparative D'Adsorption Des Chlorophénols Par Des Biomatériaux A Base De Chitosane Et Alginate). 2021.

Références Bibliographiques

- [12] ZAHIR BAKIRI. (Analyse et optimisation des eaux usées urbaines par boues activées : application au décanteur secondaire), Thèse Doctorat. Université Ferhat Abbas Sétif, 2014.
- [13] ZEGHOUD MOHAMED SEIFEDDINE : « Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel d village de Méghibra », master diagnostic et conception des systèmes d'AEP et d'assainissement, Université d'EL-OUED, (2014).
- [14] BEN CHEHEM MERIEM, LABBAZ LAMIA et BOUAZZA HANANE : « inventaire des études scientifiques relatives à la réutilisation des eaux usées dans le domaine piscicole », Licence pisciculture saharienne, Université Kasdi merbah Ouargla, (2014) .
- [15] RODIER.J : « analyse de l'eau » ; Editions Dunod, 8ème Edition, (1996), 1383p.
- [16] THOMAS.O : Météorologie des eaux résiduaires ; Ed. Cedeboc,(1995), 135p.
- [17] KHERROUBI FATMA, DEBBOUNE ZINEB. (Etude des performances épuratoires de la station d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage aéré de la ville de Sidi Khouiled(Ouargla), mémoire de master, Université kasdi merbah-Ouargla; 2016.
- [18] SCHRIVER-MAZZOULI L : la gestion durable de l'eau (ressources-qualité) ; 2ème française, (2012), 1137p.
- [19] BECHAC.J.P et BOUTINE P et MERCIER.B et NUER P : traitement des eaux usée. Éditions EYROLLES, (1983), 31p.
- [20] DINESH MOHAN, Kunwar P Singh, and Vinod K Singh. Wastewater treatment using low cost activated carbons derived from agricultural byproducts—a case study. Hazardous materials, 152(3) :1045–1053, 200.
- [21] Mr BEBBA .A.Abde lhafid cours 2eme année master .génie d'environnement 2016/2017.
- [22] MERAIR Nesrine ,SALMI Asmaa, Etude de la biodégradation des eaux usées dans le réacteur à batch séquentiel et l'impact du solvant furfural dans le traitement biologique , Mémoire De Fin d'Etudes Pour l'obtention de diplôme de master, Université des sciences et de la technologie Mohamed Bodiafe d'Oran 2014.
- [23] RENE MOLETTA and Michel TORRIJOS. Traitement des effluents de la filière laitière. Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire, 2(F1501) :F1501–1, 1999.
- [24] PR. AMAR MESAITFA , traitement des eaux potable, cour première année master .

Références Bibliographiques

- [25] C CARDOT. Génie de l'environnement, les traitements de l'eau, procédés physicochimiques et biologiques. Ellipes Editions Marketing, Paris, pages 169–180, 1999.
- [26] SEKHAR AYYALA, Robert J Pugh, and ERIC J FORSSBERG. Aggregate characteristics in coagulation and flocculation. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 12(2-4) :165–184, 1993.
- [27] RIAD AYECHÉ . Treatment by coagulation-flocculation of dairy wastewater with the residual lime of national algerian industrial gases company (nigc-annaba). Energy Procedia, 18 :147–156, 2012.
- [28] EZICHIEL GODERT David Cohen. Fundamental problems in statistical mechanics VI. Amsterdam ; New York : North-Holland ; New York, N.Y., U.S.A. : Sole distributor for the U.S.A. and Canada, Elsevier Science, 1985.
- [29] RAYMOND Desjardins. Le traitement des eaux. Presses inter Polytechnique, 1997.
- [30] NICHOLAS P Cheremisinoff. Biotechnology for waste and wastewater treatment. Elsevier, 1997.
- [31] GEORGE Tchobanoglous, Franklin L Burton, and H David Stensel. Metcalf & eddy, inc. Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, Reuse, 2003.
- [32] ADRIAN RODRIGUEZ GARCIA. Etude de la congélation comme technique de traitement des eaux : applications spécifiques. PhD thesis, INSA Toulouse, 2004.
- [33] JOURNAL OFFICIEL de la république Algérienne N° :26 .23/4/2006.
- [34] FATIMA HATTAB. Etude de l'adsorption des métaux lourds (Cr+6, Cd+2) par le charbon de bois : introduction. Université Ibn Khaldoun : Tiaret. 2004
- [35] BELHIRECHE NABILA.BELEDJALE ISMAHANE. Contribution à la préparation des matériaux adsorbant à partir des sous produits du palmier dattier. Université Echahid Hamma Lakhdar. El Oued . 2015/2016.
- [36] F.ROUQUEROL, L.LUCIANI, P.LLEWELLYN, R.DENOYEL et J.ROUQUEROL, Texture des matériaux pulvérulents ou poreux, Techniques de l'Ingénieur, traité Analyse et Caractérisation .pp 1 050 – 5

Références Bibliographiques

- [37] CHAOUCH NOURA. Utilisation des sous-produits du palmier dattier dans le traitement physicochimique des eaux polluées. Université hadj Lakhdar : Batna 2013/2014.
- [38] Melle NOUZHA BOUZIAN. Élimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre. Université mentouri de Constantine. 30 mai 2007.
- [39] OUMENINE 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 – TLEMCEM, 2011.
- [40] N.YAHIAOUI, Etude de l'adsorption des composés phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium, hydroxyapatite et charbon actif, Mémoire de Magister, Université de Tizi Ouzou,(2012).
- [41] S.BENDOUI, utilisation des argiles traitées pour la décoloration des bains de teinture, diplôme de magistère, Université M'hamed Bougara-Boumerdes, (2009).
- [42] N.BOUGDAH, Etude de l'adsorption de micropolluants organiques sur la bentonite, Mémoire de Magister, l'Université 20 Août 55, Skikda, (2007)
- [43] M.ABBAS, Valorisation du noyaux d'abricot dans la dépollution des eaux, Thèse de Doctorat, Université M'hamed Bougara-Boumerdes, (2015)
- [44] M. ZAMOUCHE, Utilisation d'un nouveau sorbant à faible coût, les pommes de cèdre, pour l'enlèvement d'un colorant cationique à partir de solutions aqueuses, diplôme de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, (2010)
- [45] Z .BELKEBIR, Valorisation des déchets agro-alimentaires cas des grignons d'olives. Diplôme de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, (2007).
- [46] A RAMESH, DJ Lee, and JWC Wong. Thermodynamic parameters for adsorption equilibrium of heavy metals and dyes from wastewater with low-cost adsorbents. Colloid and interface science, 291(2) :588–592, 2005.

Références Bibliographiques

- [47] S.GUESMIA, L'adsorption des colorants (bleu de methylene et chrome III) sur la bentonite, diplôme de Master, Université Mohamed Khider – Biskra, (2015).
- [48] M. ZAMOUCHE, Utilisation d'un nouveau sorbant à faible coût, les pommes de cèdre, pour l'enlèvement d'un colorant cationique à partir de solutions aqueuses, diplôme de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, (2010)
- [49] A.BENALI, Préparation des composites argile chitosane, Application a la retention des colorants, Mémoire de Master, Université Abou-Bakr Belkaid – Tlemcen,(2013).
- [50] BEKKARI KAOUTHAR et Djaborebbi Zahia,Élimination des ions de Hg^{+2} dans un milieu aqueux par charbon actif préparés à base des plantes des roseaux, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA, 2022/2023
- [51] C.H. Giles, D. Smith, J. Colloid Interf. Sci. 47 pp755-765 (1974)
- [52] E.ERRAIS, Réactivité de surface d' argiles naturelles Etude de l' adsorption de colorants anioniques, diplôme de Docteur, Université de Strasbourg, (2011)
- [53] S.ARRIS , E.CHEBIRA, Etude expérimentale de l'élimination des Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Sous Produits de Céréales, Mémoire de Doctorat, Université Mentouri-Constantine, (2008).
- [54] C.BOUCHELTA, Etude de l'adsorption des métaux Hg^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{6+} sur charbon actif en grain, Modélisation, Diplôme de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, (2003).
- [55] N. BOUZIANE, Elimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre, Diplôme de magister en chimie, Université Mentouri-Constantine, (2007).
- [56] E.GUECHI, Enlèvement de colorants à partir de solutions aqueuses par des matériaux sorbants non conventionnels et à faible coût, Diplôme de Doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba, (2013) .
- [57] N. SEDIRA, Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes. diplôme de Magister, Université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras,

Références Bibliographiques

(2012-2013).

[58] EDUARDO J Bottani and Juan MD Tascón. Adsorption by carbons : novel carbon adsorbents. Elsevier, 2011.

[59] Roop Chand Bansal and Meenakshi Goyal. Activated carbon adsorption. CRC press, 2005.

[60] MA DEL RPSARIO MORENO-VIRGEN, Rigoberto Tovar-Gomez, Didilia I MendozaCastillo, and Adrian Bonilla-Petriciolet. Applications of activated carbons obtained from lignocellulosic materials for the wastewater treatment. LIGNOCELLULOSIC PRECURSORS USED IN THE SYNTHESIS OF ACTIVATED CARBON, page 57, 2012.

[61] RICHARD I MASEL. Principles of adsorption and reaction on solid surfaces, volume 3. John Wiley & Sons, 1996.

[62] STOECKLI H.F., 1999. Microporous carbons and their characterization : the presence state of the art. Carbon. 37, p 335-346.

[63] S. HAZOURLI, « adsorption et electrosorption de composés organiques sur charbon actif en grains », Thèse de doctorat, USTHB 1991.

[64] OMAR KHELIFI. Etude de l'adsorption du nickel et du cuivre sur un charbon actif préparé à partir des boues de station d'épuration .Université 8 Mai 1945 Guelma.2017 / 2018.

[65] PIERRE MUNIER. Le palmier-dattier. Techniques agricoles et productions tropicales, 24, 1973.

[66] MURIEL Gros-Balthazard, Claire Newton, Sarah Ivorra, Margareta Tengberg, JeanChristophe Pintaud, and Jean-Frédéric Terral. Origines et domestication du palmier dattier (phoenix dactylifera l.). état de l'art et perspectives d'étude. Revue d'ethnoécologie, 4, 2013.

[67] A-C Benchelah and M Maka. Les dattes : intérêt en nutrition. Phytothérapie, 6(2) :117–121, 2008.

[68] BUELGUEDJ. Caractéristiques des cultivars de dattiers dans les palmeraies du sud-est algérien. Revue annuelle, 11, 2001.

[69] HANNACHI KHITRI, A Benkhalifa, and DE LA PERRIERE RA BRAC. Inventaire variétal de la palmeraie algérienne. Ministère de l'agriculture et de la pêche, Ministère de l'enseignement

Références Bibliographiques

et de la recherche scientifique. Ed. CDARS-URZA, Algérie, 225p, 1998

[70] HARROUCHE Abdelmadjid, Elimination des phosphates sur un charbon actif préparé à partir des noyaux de dattes, Université Mohamed Khider de Biskra, 2017 - 2018.

[71] A. Boutalbi et A. Saker, (Préparation de charbon actif à base de Résidus agricole et leur application à l'élimination des colorants), Master, Université Echahid Hamma Lakhdar. El Oued, 2017/2018

[72] C. AYRAL, Elimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur charbon actif. diplôme de Doctorat, L' Université de Toulouse, (2009)

[73] N. CHAOUCH, Utilisation des sous-produits du palmier dattier dans le traitement physico-chimique des eaux polluées, Diplôme de Doctorat, Université Hadj Lakhdar – Batna, (2014).

[74] HALIMI Noussiba, DRIK Tassadit, Elimination de fer par adsorption sur charbon actif préparé à base de noyaux des dattes, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2019 / 2020.

[75] N. SEDIRA, (Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes), Magister, Université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras, 2012-2013

[76] C. Sakher, (Préparation d'une nouvelle phase adsorbant et étude comparative), Master, Université Larbi Tébessi- Tébessa, 29/05/2016.

[77] BELAID OUAHIBA, UTILISATION D'UN CHARBON ACTIF PREPARE A PARTIR DES NOYAUX DE DATTES LOCALES DANS L'EPURATION DES EAUX USEES URBAINES. INFLUENCE DE LA VARIETE DE DATTES, UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 2016 – 2017.

[78] N. BOUZIANE, Elimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre, Diplôme de magister en chimie, Université Mentouri-Constantine, (2007)

[79] AMES B CONDON. Surface area and porosity determinations by physisorption : measurements and theory. Elsevier, 2006.

[80] KENNETH SW RING. Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (recommendations 1984). Pure and applied chemistry, 57(4) :603–619, 1985

[81] SATISH M Manocha. Porous carbons. Sadhana, 28(1-2) :335–348, 2003.

[82] F. BENAMRAOUI, Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture, Diplôme de Magister, Université Ferhat

Références Bibliographiques

Abbas Setuf-1 Ufas (Algérie), (2014) .

[83] A. ABDESSEMED, Etude de l'élimination de l'éthyle violet par adsorption sur la kaolinite et le charbon actif et par des méthodes photochimiques en milieu aqueux, Diplôme de magister , Université Mentouri-Constantine, (2009).

[84] LU Jinyan,(Etude comparative sur les charbons actifs), Synthèse technique, Office international de l'eau–SNIDE, Février 2005.

[85] N.SEDIRA,(Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes), Magister, Université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras, 2012-2013

[86] C. SAKHER,(Préparation d'une nouvelle phase adsorbant et étude comparative), Master,Université Larbi Tébéssi- Tébéssa, 29/05/2016

[87] L. MELJAC, Etude d'un procédé d'imprégnation de fibres de carbone activées Modélisation des interactions entre ces fibres et le sulfure d'hydrogène, Grade de docteur, Université Jean Monnet de Saint Etienne,(2004) .

[88] M .ZIATI, Adsorption et électrosorption de l'arsenic (III) sur charbon à base de noyaux de dattes activés thermiquement et chimiquement, diplôme de Doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba, (2012).

[89] M.CHENINE, Préparation et caractérisation d'un charbon actif issu d'un déchet de café par voie chimique (effet de taux d'adjuvant), Mémoire master, Université Kasdi MERBAH OUARGLA, (2012).

[90] BEKKARI KAOUTHAR et Djaborebbi Zahia,Élimination des ions de Hg^{+2} dans un milieu aqueux par charbon actif préparés à base des plantes des roseaux,UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA, 2022/2023.

[91] IRVING Langmuir. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. part i. solids. The American Chemical Society, 38(11) :2221–2295, 1916.

[92] H.M.F. Freundlich, «Over the adsorption in solution», J. Physical. Chem. N°57, pp 385-471(1906).

[93] SVENSKA Lagergren. About the theory of so-called adsorption of soluble substances.Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, 24(4) :1–39, 1898.

[94] Ho Y.S., McKay G. (1999). Competitive Sorption of Copper and Nickel Ions from Aqueous Solution Using Peat. Adsorption 5: 409-417.

Références Bibliographiques

- [95] PA Egwaikhide, EE Akporhonor, and FE Okieimen. Utilization of coconut fibre carbon in the removal of soluble petroleum fraction polluted water. *International Journal of Physical Sciences*, 2(2) :047–049, 2007.
- [96] FAOUZIA BENAMROUI. Élimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture. PhD thesis, Université Setif, 2015.
- [97] MOHAMED Anas Nahil and Paul T Williams. Pore characteristics of activated carbons from the phosphoric acid chemical activation of cotton stalks. *Biomass and Bioenergy*, 37 :142–149, 2012.
- [98] R BACCAR, J Bouzid, M Feki, and A Montiel. Preparation of activated carbon from tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions. *Hazardous Materials*, 162(2) :1522–1529, 2009.
- [99] JEAN RODIER, Bernard Legube, Nicole Merlet, and Régis Brunet. L'analyse de l'eau 9^{ème} édition-Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod, 2009.
- [100] WATER Environmental Federation, American Public Health Association, et al. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA) : Washington, DC, USA, 2005.
- [101] N GEORGIEVA, Z Yaneva, and L Dospatliev. Ecological monitoring of the fresh waters in stara zagora region, bulgaria : I. quality analyses of nitrogen compounds contents. *Desalination*, 264(1) :48–55, 2010.
- [102] SONYA Dimitrova, Nadejda Taneva, Kapka Bojilova, Vesela Zaharieva, Svetlana Lazarova, Mariana Koleva, Rumen Arsov, and Tony Venelinov. Comparison of spectrophotometric methods using cuvette tests and national standard methods for analysis of wastewater samples. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 5(8) :482–488, 2013.
- [103] BENKOUMAR Kaouter & DAOUDI Dahman, Utilisation D'un Charbon Actif Préparé A Partir Des Noyaux De Dattes Locales Dans Le Domaine D'adsorption, Université de Ghardaïa, 2021 /2022.

Références Bibliographiques

[104] KAMAL AM, El Halouani H, Alnedhary AA, Dssouli K., Gharibi E., Qaid Alansi R., al-Nahmi F., (2016). Etude de l'impact des rejets d'eaux usées brutes et épurées sur la qualité de l'Oued Bani Houat (Bassin de Sanaa) : Etude spatio-temporelle (Impact des eaux usées brutes et traitées sur la qualité des eaux de surface de Wadi Bani Houat (Sanaa Bassin) Etude spatiale – temporelle). J. Mater. Environ. Sci. 7 (5) ; 1516-1530.

Annexes

Annexes 01 : Le charbon actif obtenu .



Annexes 02 : Les matériels utilisés durant la préparation de charbon actif.



Etuve de séchage



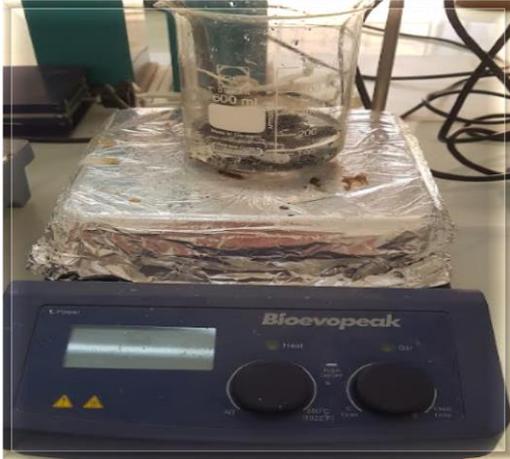
Les tamis



pH mètre



Balance



Agitateur



plaque chauffante



Etuve de carbonisation

Annexe 3 : Cendre de charbon .



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'enseignement Supérieur et de La recherche Scientifique

Université de Ghardaïa
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'hydraulique et de génie civil



إذن بطباعة مذكرة ماستر

بعد الاطلاع على التصحيحات المطلوبة لمحتوى المذكرة المنجزة من طرف الطالب (ة): بريهمات مريم تخصص ري حضري

نمنح نحن الأساتذة:

الاسم والنقشب	الرتبة والجامعة الأصلية أو المؤسسة	الصفة	الامضاء
شبيحي لخضر	أستاذ مساعد أ بجامعة غرداية	مصحح 1	
بوتلي محمد هشام	أستاذ محاضر ب بجامعة غرداية	مصحح 2	
بن بيتور سلمى	أستاذ محاضر ب بجامعة غرداية	مؤطر	

الإذن بطباعة النسخة النهائية لمذكرة الماستر تحت عنوان:

Traitement des eaux usées utilisant un charbon actif préparé a base des noyaux des dattes.

امضاء رئيس القسم

بوعزيز الطيب
رئيس قسم الري
و الهندسة المدنية