REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQ

UEUNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie des Procédés

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique

Présenté par :

Hafiane Rania

Thème

Traitement des eaux usées domestiques de la station d'épuration de HOUD BERKAOUI par charbon actif

Soutenu publiquement le :10/06/2024

Devant le jury composé de :

Mme. Benabdesselam Soulef	Professeur (UKM Ouargla)	Présidente
Mlle. Akchiche Zineb	MAB (UKM Ouargla)	Examinatrice
Mlle. Kachi Sacia	MAB (UKM Ouargla)	Encadreuse

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

Je voudrais exprimer ma gratitude en premier lieu envers Dieu, qui m'a accordé

La force, la patience, le courage et la détermination nécessaires pour menerà bien cette tâche.

Ce travail a été effectué au Laboratoire de Sonatrach de Haoud BERKAOUI. Tout d'abord, ce

Travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de

Dr. KachiSacia. Je la remercie pour la qualité exceptionnelle de son encadrement, ainsi que pour

Sa patience et sa rigueur dans ma préparation De Ce mémoire.

Je tiens à remercier tous les membres du jury de m'avoir fait l'honneur

D'examiner et d'évaluer mon travail. J'adresse également mes sincères

Remerciements à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Merci à vous tous...

الإهداء

إلى نفسي الطموحة جداً لقد ظننت أنني لا أستطيع ولكن من قال أنا لها نالها وإن أبت بها رغما عنها

إلى من جعل الله الجنة تحت أقدامها ،وأحتضنتني قلبها قبل يديها وسهلت لي الشدائد بدعائها، إلى القلب الحنون والشمعة التي كانت لي في الليالي المظلمات ، سر قوتي ونجاحي جنتي (أمي)

إلى من زين إسمي بأجمل الألقاب ،من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل إلى من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة ،داعمي الأول في مسيرتي وسندي وقوتي ملاذي بعد الله فخري وإعتزازي (أبي)

لايعلو فضل على فضلكما حفظكما الله لي وأطال بعمركم بالصحة و العافية

إلى الروح الطاهرة الغائبة عن الدنيا والحاضرة في قلبي ، سلاما إلى روح جدي الحسين

اللّهم طيب ثراه وأكرم مثواه وأجعل الجنة مستقره ومثواه

إلى الملائكة رزقني الله بهن لأعرف من خلالهن طعم الحياة الجميلة ، تلك الملائكة التي غيرن مفاهيم الحب و الصداقة وسند في حياتي أخواتي(سارة ،لوجين) جعلني وإياكن من الباريات

إلى ملهمي نجاحي صناع قوتي صفوة أيامي وسلوة أوقاتي إلى شموع التي تنير لي الطريق إلى من شد بهم الله عضدي فكانو خير معين إخوتي (عبدالحميد، وائل) دمتم لي سنداً لا عمر له

الى خيرة أيامي و صفوتها إلى من كان وجودهم قوة و عونا لي (عائلتي الكريمة) أهديكم هذا الانجاز و ثمرة نجاحي الذي طالما تمنيته فالحمد الله على ما وهبني

الى أولئك الذين يفرحهم نجاحي و إلى اللذين مهدو عثرات نجاحي بدعائهم وانسو صعابها بحبهم، إلى من كانو و اقفين خلفي مثل ظلا مهما طالت تخبطاتي صديقاتي (سرين،سندس،سارة،هاجر)

ولاأنسى رفقاء الدرب الذين شاركوني خطوات هذا طريق إلى من هوانو تعب الطريق إلى من شجعوني على مثابرة وإكمال المسيرة إلى رفقاء السنين ممتنة لكم

Liste des Figures

CHAPITRE I		
Figure I.1	Les eaux usées pluviales.	4
Figure I.2	Les eaux usées agricoles	4
Figure I.3	Les eaux usées industrielles	5
Figure I.4	Processus de coagulation-floculation et de sédimentation	10
Figure I.5	Filtre à sable de prétraitement	11
Figure I.6	Filtre à sable biologique	12
Figure I.7	Charbon actif en fibre et granulé	12
Figure I.8	Photos de Filtration des sédiments.	14
Figure I.9	Le processus de filtration des sédiments	14
Figure I.10	Charbon actif en granulaire	15
Figure I.11	Photo de filtre de charbon granulaire	15
Figure I.12	Mécanisme de travail du charbon actif granulaire.	15
Figure I.13	Image de la filtration à bloc de carbone (CAB).	16
Figure I.14	Mécanisme de travail du bloc de charbon actif	16
Figure I.15	Filtre à osmose inverse.	16
Figure I.16	Principe de l'osmose inverse	17
Figure I.17	Mécanisme de membranes en spirale.	18
Figure I.18	Filtre minéral	19
Figure I.19	Réservoir de stockage	19
CHAPITRE II		
Figure II.1	Structure des pores du charbon actif	21
Figure II.2	Différentes structures du charbon actif vues au microscope électronique à balayage.	21
Figure II.3	Sites actifs générés au cours d'un traitement thermique	22
Figure II.4	Charbon actif en poudre	26
Figure II.5	Charbon actif en grains	26
Figure II.6	Charbon actif en extrudes	27
Figure II.7	Production mondiale du charbon actif	28
CHAPITRE III		

Figure III.1	Phénomène D'adsorption	29
Figure III.2	Le mécanisme d'adsorption	31
Figure III.3	Les différentes courbes des isothermes d'adsorptions (d'après Giles et al, 1960).	34
Figure III.4	**(a).** Isotherme d'adsorption de Langmuir **(b).** Modélisation d'isotherme de Langmuir	35
Figure III.5	**(a).** Isotherme d'adsorption de Freundlich. **(b).** Modélisation d'isotherme de Freundlich.	36
Figure III.6	Le volume poreux et la taille des pores.	37
Figure III.7	Représentation schématique de la surface interne et externe d'un adsorbant	37
CHAPITRE IV		
Figure IV.1	Situation géographique de la région HaoudBerkaoui	41
Figure IV.2	Station d'épuration des eaux usées HBK.	43
Figure.IV.3	**(a).** Dessableur /déshuileur **(b).** Dégrillage.	43
Figure IV.4	Bassin d'aération.	44
Figure IV.5	Épaississement des boues	46
Figure IV.6	Lits de séchage.	46
Figure IV.7	PH-mètre de laboratoire	47
Figure IV.8	Le Turbidimètre.	48
Figure IV.9	Le conductimètre	48
Figure IV.10	Dessiccateur.	49
Figure IV.11	Étuve réglable à '100~105 °C'	49
Figure IV.12	Dispositif de filtration sous pression.	49
Figure IV.13	Appareil de mesure des Nitrates**.**	50
Figure IV.14	Photos duFour, balance et agitateur	52
Figure IV.15	L'entrée de l'eau	53
Figure IV.16	La sortie de l'eau.	53
Figure IV.17	Lit de séchage des boues sèches.	54
CHAPITRE V		
Figure V.1	Traitement des eaux usées domestiques par traitement biologique par O_2	58
Figure V.2	Diminution de la valeur de pH en fonction du temps	59

Figure V.3	Le traitement des eaux usées domestiques par adsorption sur le CA-NaOH-15.	61
Figure V.4	Comparaison du traitement des eaux usées domestique avec le traitement biologique par O_2 et celui par charbon actif CA-NaOH-15.	62

Liste des tableaux

CHAPITRE IV		
Tableau IV.1	Normes des rejets des eaux usées appliquées au niveau de la région Haoud Berkaoui fixées par la législation Algérienne	45
CHAPITRE V		
Tableau V.1	Résultats de l'analyse de l'eau usée domestique brute	56
Tableau V.2	Résultats de l'analyse des eaux usées domestiques par traitement biologique	57
Tableau V.3	La diminution de la valeur de pH en fonction du temps.	59
Tableau V.4	Résultats de l'analyse de l'eau domestique traitée par adsorption sur charbon actif : CA-NaOH-15	60
Tableau V.5	Comparaison des résultats entre traitement par O_2 et par CA-NaOH-15.	62

pH	Le potentiel Hydrogène	//////////
MES	Les matières en suspension	mg/l
MVS	Les matières volatiles en suspension	mg/l
MM	Les matières minérales	mg/l
DCO	La demande chimique en oxygène	mg/l
DBO_5	La demande biochimique en oxygène	mg/l
CAG	Charbon actif en granulaire	///////////////
CAB	Bloc de charbon actif	//////////////////
COV	Les composés organiques volatils	//////////////////
CA	Le Charbon Actif	//////////////////
CAP	Charbon actif en poudre	///////////////////////////
CAE	Charbon actif en extrudés	//////////////////////////
BET	La surface spécifique	m2/kg
T	Température	°C
CE	Conductivité	µS/cm
////	Turbidité	NTU

Sommaire

Remerciements……....	I
Décédas ……	II
Liste des figures……	III
Liste des tableaux……...	VI
Liste des abréviations……	VII
INTRODUCTION GENERALE……	1

Chapitre I. Généralités sur les eaux usées	
I.1. Introduction ……	3
I.2. Définition des eaux usées ……	3
I.3. Les types des eaux usées ……	3
I.3.1. Les eaux usées domestiques ……	3
I.3.2. Les eaux usées pluviales……	4
I.3.3. Les eaux usées agricoles……	4
I.2.4. Les eaux usées industrielles ……	5
I.4. Eaux usées huileuses……	5
I.5. Paramètres de mesure de la pollution des eaux usées ……	5
I.5.1. Paramètres organoleptiques……	5
A. La couleur …….	5
B. L'odeur …….	6
I.5.2. Paramètres physico-chimiques……	6
A. La température ……	6
B. Le potentiel Hydrogène (pH) ……	6
C. La conductivité ……	6
D. Les matières en suspension (MES) : ……	7
E. La turbidité ……	7
F. Les hydrocarbures	7

G. La demande chimique en oxygène DCO ……	7
H. La demande biochimique en oxygène DBO_5……	8
I.6. Traitement de L'eau ……	8
I.6.1. Objectifs du Traitement ……	8
I.6.2. Les Etapes du Traitement de L'eau……	8
A. Dégrillage et tamisage ……	8
B. Oxydation ……...	8
C. Clarification ……	9
C.1. Coagulation-Floculation ……	9
C.2. Décantation ……	9
C.3. Flottation ……	10
C.4. Filtration ……	10
C.4.1. Filtration sur sable …….	11
C.4.2. Filtration a charbon actif ……	12
D. Désinfection …….	13
E. Stérilisation ……	13
F. Autres traitements ……...	13
I.7. Les Types des filtres à Eau domestique …….	13
I.7.1. Filtration des sédiments ……	14
I.7.2. Filtration au charbon actif ……	15
A. Charbon actif en granulaire (CAG) ……	15
B. Filtration au bloc de charbon actif (CAB) ……	16
C. Filtre à osmose inverse ……	16
C.1. Osmose inverse Membrane ……	18
C.2. Systèmes de membranes en spirale…….	18
D. Le filtre minéral ……	19
E. Réservoir de stockage ……	19
I.8.Conclusion ……	19
Chapitre II : Notions de base sur le charbon actif	

II.1. Introduction ……...	20
II.2. Historique ……	20
II.3. Définition du charbon Actif …….	20
II.4. Structure et nature chimique de la surface des charbons actifs ……	21
II.4.1. Structure poreuse du charbon activé ……	21
II.4.2. Nature chimique de la surface d'un charbon activé ……...	22
II.4.3. Formation de sites actifs à partir des groupements fonctionnels ……	22
II.5. Les précurseurs utilisés pour la préparation du charbon actif ……...	23
II.5.1. Précurseurs d'origine synthétique ……...	23
II.5.2. Précurseurs d'origine naturelle ……	23
II.6. Fabrication des charbons actifs …….	24
II.6.1. Phase de Carbonisation ……	24
II.6.2. Phase d'activation ……	24
II.6.3. L'oxydation	25
II.7. Comparaison des deux procédés d'activation ……	25
II.8. Description et propriétés des charbons actifs	26
II.8.1. Charbon actif en poudre (CAP) ……	26
II.8.2. Charbon actif en grains (CAG) ……	26
II.8.3. Charbon actif en extrudés (CAE) ……	26
II.9. Régénération du charbon actif ……..	27
II.9.1. Régénération physique …….	27
II.9.2. Régénération chimique ……	27
II.9.3. Régénération biologique ……	28
II.10. Production mondiale du charbon actif ……	28
II.11. Conclusion ……	28

Chapitre III : Compréhension du phénomène d'adsorption	
III.1. Introduction ……	29
III.2. Définition de l'adsorption ……	29
III.3. Principe de l'adsorption ……	30
III.4. Les différents types d'adsorption ……	30
III.4.1. Adsorption physique ……	30
III.4.2. Adsorption chimique……....	30
III.5. Le mécanisme d'adsorption ……. …….	31
III.6. Facteurs influençant les paramètres d'adsorption…….....	32
III.6.1. Vitesse d'adsorption ……...	32
III.6.2. Nature de l'adsorbant……	32
III.6.3. Nature de l'adsorbat …….	32
III.6.4. Paramètres physico-chimiques du milieu ……	32
III.7 Classification des Isothermes d'adsorption ……	33
III.8. Expressions mathématiques de quelques isothermes ……	34
III.8.1. Modèle de Langmuir ……	34
III.8.2 Modèle de Freundlich……	35
III.9. Charbon actif comme adsorbant……	36
III.10. Les propriétés des adsorbants……	36
III.10.1. La surface spécifique (BET) ……	37
III.11. Propriétés du charbon actif……	38
III.11.1. L'indice d'iode ……	38
III.11.2. Indice de mélasse……	38
III.11.3. Indice Tanin ……	38
III.11.4. Indice de bleu de méthylène ……	38
III.11.5 Indice de butane ……	38

III.11.6 Indice de tétrachlorure de carbone……	39
III.11.7. Longueur de demi-valeur de dé chloration ……	39
III.11.8 Densité ……	39
III.11.9. Dureté / Nombre d'abrasion ……	39
III.11.10. Teneur en cendre ……	39
III.11.11. Porosité ……	39
III.11.12. Répartition granulométrique ……	39
III.12. Conclusion ……	40
Chapitre IV : Partie expérimentale	
IV.1. Introduction …….	41
IV.2. Présentation de la région Haoud Berkaoui ……..	42
IV.3. Principaux champs de HaoudBerkaoui …….	42
IV.4. Description de la station d'épuration des eaux usées HBK	42
IV.4.1. Prétraitement	43
IV.4.2. Traitement secondaire (Traitement biologique)	44
IV.4.3. Traitement tertiaire.....	45
IV.4.4. Traitement des boues	46
IV.5. Matériels, produits et méthode	47
IV.5.1. Appareillage	48
IV.6. Échantillonnage	53
IV.6.1. Échantillonnage des eaux domestiques	53
IV.6.2. Échantillonnage des boues sèches	54
IV.7. Préparation des adsorbants	54
IV.7.1. Préparation de la boue naturelle	54
IV.7.2. Préparation du charbon actif	54
IV.7.3. Mode opératoire	54
IV.8. Conclusion ……	55

Chapitre V : Résultats et discussions	
V.1. Introduction …….	56
V.2. Qualité des eaux usées domestiques **…**……..	56
V.3. Traitement des eaux usées domestiques par traitement biologique ……..	57
V.3.1. Efficacité du traitement avec l'oxygène O_2	57
V.4.Traitement des eaux usées domestiques par adsorption sur charbon actif CA-NaOH-15	59
V.4.1. Réduction du pH de charbon actif CA-NaOH **.....**	59
V.4.2. Efficacité du traitement avec le charbon actif : CA-NaOH-15	60
. V.4.3. Comparaison des eaux usées domestiques entre le traitement biologique et celui du charbon actif (CA-NaOH-15)	62
V.5. Conclusion ……	63
Conclusion Générale ……	65

Introduction générale

Introduction générale

L'eau utilisée dans les maisons pour boire, cuisiner, se laver et se laver est appelée eaux usées domestiques. Après avoir été utilisée, cette eau renferme des déchets organiques et des produits chimiques qui sont transportés par l'eau, et elle renferme différents polluants tels que des graisses, du savon, des bactéries et le reste, sachant qu'elles représentent un défi majeur en matière de préservation de l'environnement et de la santé publique. Avec l'urbanisation croissante et l'augmentation de la population, la gestion efficace des eaux usées est devenue une priorité mondiale.

Afin d'y parvenir, il est nécessaire de les nettoyer et de les utiliser pour l'irrigation. La purification des eaux usées domestiques peut être réalisée de différentes manières, dans ce contexte, le rôle vital du charbon actif dans le traitement des eaux domestiques a émergé comme une solution cruciale. Le charbon actif, grâce à ses propriétés uniques d'adsorption et de filtration, offre une méthode efficace pour éliminer les contaminants organiques, les produits chimiques et les composés toxiques présents dans les eaux usées.

Cependant, malgré ses avantages indéniables, le recours au charbon actif pose également des défis et des questions essentielles. Comment pouvons-nous optimiser l'utilisation du charbon actif pour garantir un traitement efficace et durable des eaux domestiques ? Quels sont les coûts associés à cette technologie et comment peuvent-ils être réduits pour la rendre plus accessible à grande échelle ? Comment pouvons-nous surmonter les limitations techniques et environnementales liées à l'utilisation du charbon actif dans le traitement des eaux domestiques ? Cette étude explorera ces problématiques fondamentales tout en examinant les mécanismes et les applications du charbon actif dans le domaine du traitement des eaux.

Notre projet de recherche, entre dans le cadre du traitement des eaux polluées à domicile, avec la technique d'adsorption par l'utilisation du charbon actif. Nous présentons ce travail en cinq chapitres.

À la suite de cette introduction générale :

- Le premier chapitre aborde les connaissances théoriques sur les généralités des eaux usées.

- Le deuxième chapitre traite des concepts fondamentaux relatifs au charbon actif.

- Le troisième chapitre se concentre sur les notions nécessaires pour comprendre le phénomène d'adsorption.

- Le quatrième chapitre présente des données empiriques sur le traitement de l'eau par charbon actif.

- Dans le cinquième chapitre, nous analyserons et discuterons les résultats de ce travail.

- Enfin, nous conclurons notre mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées

I.1. Introduction :

Les eaux usées sont une réalité incontournable de notre vie moderne, résultat de nos activités quotidiennes et industrielles. Elles englobent une diversité de liquides pollués provenant des ménages, des entreprises et des installations industrielles. Ces eaux chargées de contaminants représentent un défi majeur pour l'environnement et la santé publique. Dans cette introduction, nous explorerons les caractéristiques, les sources et les impacts des eaux usées, ainsi que les enjeux cruciaux liés à leur traitement et à leur gestion durable.

I.2. Définition des eaux usées :

La notion d'eau usée désigne une eau qui contient des substances minérales ou biologiques provenant de l'activité humaine, ce qui entraîne une concentration anormale. Les eaux usées comprennent les déchets domestiques (eaux vannes et eaux ménagères), ainsi que les eaux provenant de l'industrie. Les eaux usées et les déchets industriels (eaux usées provenant des usines) **[1]**.

I.3. Les types des eaux usées :

Différents types d'eaux usées peuvent être rencontrés, et voici quelques-uns des types d'eaux usées qui nécessitent un traitement et un filtrage avant d'être réutilisées ou éliminées en toute sécurité dans le milieu:

I.3.1. Les eaux usées domestiques :

Comme le nom l'indique, il s'agit des eaux contaminées par toutes les activités domestiques, c'est-à-dire à la maison. On peut y observer :

Les eaux grises désignent les eaux utilisées pour la douche et la cuisine. En général, elles renferment des matières grasses, des tensioactifs (savons, lessive), des solvants, des restes alimentaires, et ainsi de suite. Les eaux noires désignent les eaux provenant des toilettes. Elles sont constituées d'urine, de matières fécales et de papier. La pollution de ces eaux domestiques est facile à estimer dans un projet d'assainissement d'une zone, dès lors que l'on connaît le nombre d'habitants. Effectivement, il y a des abaques qui contribuent à la pollution quotidienne générée par chaque individu **[2]**.

I.3.2. Les eaux usées pluviales :

Les eaux de pluie contiennent également des polluants et peuvent causer des dommages aux cours d'eau, en particulier pendant les périodes d'orage. Ces eaux sont utilisées pour éliminer les impuretés présentes dans l'air (fumées industrielles, résidus de pesticides...) ainsi que les déchets qui se trouvent sur les toits, les trottoirs et les routes des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus, métaux lourds, mégots de cigarette...). Lorsque le système d'assainissement est « unitaire », les eaux pluviales sont combinées avec les eaux usées de la maison. Si les précipitations sont abondantes, les établissements de dépollution peuvent réaliser un délestage exceptionnel de ces eaux dans l'environnement naturel pour maintenir leur fonctionnement. Il est également possible de collecter séparément les eaux pluviales. Il est alors question de réseau unitaire ou séparatif **[3]**.

Le flux d'eau pluviale est influencé par :

- La pente et la superficie du bassin versant;
- De sa capacité à être imperméable;
- De la precipitation locale.

Figure I.1 : Les eaux usées pluviale [3].

I.3.3. Les eaux usées agricoles :

La notion d'eaux usées des établissements agricoles englobe toutes les eaux non consommables ayant été utilisées ou transformées et qui sont issues directement ou indirectement de leurs activités.

En ce qui concerne un établissement d'élevage, ces eaux incluent **[4]** :

- Les eaux utilisées pour nettoyer le matériel de traite et le réservoir à lait;
- Les liquides utilisés pour lavage du pis (vache, chèvre, brebis);
- Les eaux de toilette ;
- Les eaux employées pour le nettoyage des sols, des équipements, des instruments et des véhicules.

Figure I.2 : les eaux usées agricoles [4].

I.2.4. Les eaux usées industrielles :

Figure I.3 : les eaux usées industrielles [5].

Le concept d'eau industrielle désigne l'eau employée dans l'industrie lors des étapes de production et de transformation. Cela englobe notamment l'eau employée pour le nettoyage des surfaces, la préparation de rinçages, de décapants ou de bains actifs, ainsi que bien d'autres utilisations. Après avoir accompli son rôle dans la production, l'eau industrielle se transforme en eau usée industrielle contaminée.

Il n'y a pas de réglementation sur la composition des eaux industrielles : Elle est déterminée par les besoins de la production concernée et peut être aussi bien de l'eau déminéralisée (eau entièrement déminéralisée/distillée) que, par exemple, de l'eau de ville tout à fait normale venant du robinet. Il n'est pas possible de généraliser la composition des eaux usées industrielles non plus. Elle n'est pas moins singulière que les productions de l'industrie **[5]**.

I.4. Eaux usées huileuses :

Les eaux usées huileuses sont des eaux dont le taux d'huiles et de graisses est élevé, provenant de leur utilisation dans des processus industriels ou commerciaux. Il est important d'effectuer une manipulation minutieuse de cette eau et de retirer les huiles et graisses avant de les rejeter dans l'environnement ou de les réutiliser de manière sûre et durable. En général, les usines de traitement spécialisées sont utilisées pour traiter les eaux usées huileuses afin de supprimer et purifier les huiles et les graisses, puis de les éliminer en toute sécurité.

On distingue deux types : les eaux normalement huileuses et les eaux accidentellement huileuses.

I.5. Paramètres de mesure de la pollution des eaux usées :

I.5.1. Paramètres organoleptiques :

A. La couleur :

La teinte des eaux huileuses est habituellement un brun foncé qui vire vers le noir, ce changement de couleur résulte de la présence d'hydrocarbures libres et en émulsion, ainsi que de matières colloïdales en suspension.

B. L'odeur :

L'arôme indique la présence de pollution résultant de la dégradation de matières organiques **[6]**.

I.5.2. Paramètres physico-chimiques :

A. La température :

Il est crucial d'obtenir une mesure précise de la température de l'eau, car cela influe significativement sur divers processus. Par exemple, la température affecte la solubilité des sels et des gaz, ainsi que la dissociation des sels dissous, ce qui à son tour influence la conductivité électrique. De plus, la température joue un rôle dans la détermination du pH de l'eau, ainsi que dans la compréhension de son origine et des éventuels mélanges.

B. Le potentiel Hydrogène (pH) :

Le pH, ou potentiel hydrogène, représente un paramètre crucial de l'eau, étroitement lié à sa température. À l'équilibre, il est déterminé par l'activité des protons (aH) selon la formule :

$$\mathbf{pH = - \log_{10}(aH)}$$

Reflétant ainsi l'ensemble des couples acido-basiques présents dans l'eau. Les pH-mètres portables actuels sur le marché intègrent une compensation automatique de la température, offrant une grande stabilité et une précision élevée (± 0.01 unité selon la méthode normalisée NF EN ISO 10523). La figure 4 présente une sonde industrielle de mesure de pH en exemple. Dans le traitement des eaux usées, une fois décontaminées, le réajustement du pH avant le rejet dans l'environnement est une étape essentielle, étroitement dépendante de la méthode de décontamination utilisée. En accord avec la réglementation, ces rejets doivent maintenir un pH compris entre 6.5 et 9, **[7]**.

C. La conductivité :

La conductivité évalue la capacité de l'eau à conduire l'électricité entre deux électrodes. Étant donné que la plupart des substances dissoutes dans l'eau se présentent sous forme d'ions électriquement chargés, la mesure de la conductivité fournit une estimation de la concentration des sels dissous dans l'eau **[8]**.

D. Les matières en suspension (MES) :

Les matières en suspension (MES) se réfèrent à de minuscules particules solides perceptibles à l'œil nu, insolubles dans l'eau. Souvent exprimées en mg par litre **[9]**. Ces MES comprennent des particules d'un diamètre supérieur à 1µm, qu'elles soient organiques ou minérales. Elles sont généralement divisées en deux catégories :

- Les matières volatiles en suspension (MVS) représentent la part organique des MES. Leur quantification implique la calcination à 550°C d'un échantillon dont la teneur en MES est déjà connue. Dans les eaux usées urbaines, elles constituent environ 70 à 80 % des MES.
- Les matières minérales (MM) correspondent à la différence entre les MES et les MVS. Elles se matérialisent donc par le résidu de la calcination et englobent la présence de sels, de silices, de poussières, entre autres **[10]**.

MES (mg/*l*) = MM (mg/*l*) + MVS (mg/*l*)

E. La turbidité :

La turbidité est une mesure de l'aspect trouble de l'eau, qui est l'opposé de la limpidité. Fondamentalement, elle résulte de la présence de particules en suspension, qu'elles soient minérales, organiques, vivantes ou détritiques. Une concentration élevée de biomasse phytoplanctonique ou de particules sédimentaires accentue la turbidité d'une eau. Celle-ci impacte la pénétration de la lumière et des ultraviolets, influençant ainsi divers processus tels que la photosynthèse, le développement bactérien, la température, l'oxygénation, l'évaporation et la salinité de l'eau **[11]**.

F. Les hydrocarbures :

Les hydrocarbures sont des molécules composées des atomes de carbone et d'hydrogène. Ils ont une solubilité variable dans l'eau dépendant de leurs structures **[12]**.

G. La demande chimique en oxygène DCO :

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) évalue la quantité d'oxygène requise pour la décomposition chimique de l'ensemble des matières organiques, qu'elles soient biodégradables ou non, présentes dans l'eau. Cette mesure se réalise à l'aide du bichromate de potassium à une température de 150°C et est exprimée en mg O2/*l*, **[13]**.

H. La demande biochimique en oxygène DBO_5 :

La Demande Biochimique en Oxygène (DBO) est un indicateur de la pollution organique et carbonée biodégradable dans l'eau. Elle mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader les matières organiques biodégradables présentes dans l'eau. La méthode standard consiste à mesurer la quantité d'oxygène consommée après une période de 5 jours d'incubation, appelée DBO5. Ce paramètre est largement utilisé pour évaluer la qualité des eaux et fournir une estimation indirecte de la quantité de matières biodégradables, principalement organiques, présentes dans l'eau. **[14]**.

I.6. Traitement de L'eau :

I.6.1. Objectifs du Traitement :

Ceux-ci peuvent être répartis en deux groupes :

- la santé publique, qui implique que l'eau distribuée ne doit apporter aux consommateurs ni substances toxiques (organiques ou minérales) ni organismes pathogènes. Elle doit donc répondre aux normes physicochimiques et bactériologiques ;
- la protection du réseau de distribution, et aussi des installations des usagers (robinetterie, chauffe-eau…) contre l'entartrage et/ou corrosion. Dans tous les pays, ces objectifs se traduisent par une réglementation officielle. Cette dernière est fonction de critères de santé publique, du degré de développement du pays considéré et des progrès de la technologie **[15]**.

I.6.2. Les Etapes du Traitement de L'eau :

Le traitement d'une eau brute après son captage dépend de sa qualité et de ses Constituants, critères qui varient dans le temps. L'eau puisée dans l'environnement doit donc être analysée en continu avant de subir le traitement de potabilisation approprié.

Ce contrôle exécuté, l'eau subit plusieurs traitements avant d'être distribuée dans les circuits d'eau potable **[16]**.

A. Dégrillage et tamisage :

Le passage de l'eau captée à travers des grilles et tamis élimine les plus gros débris **[16].**

B. Oxydation :

Si la charge organique est très importante ou s'il y a de l'ammoniaque, du fer ou du manganèse en solution, l'oxydation facilite leur élimination lors de la phase de clarification. Cette étape d'oxydation peut se faire avec du chlore ou de l'ozone [**16]**.

C. Clarification :

La clarification regroupe les procédés de coagulation-floculation, décantation ou flottation et de la filtration. Le but est d'éliminer les MES (matières en suspension) minérales et organiques d'une eau brute ainsi qu'une partie des matières organiques dissoutes, fraction floculable. Suivant les concentrations des différents éléments indésirables, plusieurs techniques peuvent être mises en œuvre **[17]**.

C.1. Coagulation-Floculation :

Pour une eau brute présentant une légère turbidité, et/ou légèrement colorée, on ajoute un coagulant et éventuellement un floculant. Les doses utilisées doivent être faibles, car ces réactifs diminuent la durée des cycles de filtration entre deux lavages. Le processus de coagulation implique d'ajouter du fer ou de l'aluminium à l'eau comme du sulfate d'aluminium, sulfate ferrique, chlorure ferrique ou des polymères. Ces produits chimiques s'appellent des coagulants et ont une charge positive. La charge positive du coagulant neutralise la charge négative des particules dissoutes et suspendues dans l'eau. Quand cette réaction se produit, les particules se lient ensemble ou se coagulent (ce processus peut également s'appeler floculation). Les particules plus grosses ou plus lourdes se retrouvent rapidement au fond de l'approvisionnement en eau.

Ce processus s'appelle la sédimentation. Le diagramme suivant (Figure I.4) illustre les réactions et les processus de bases qui se produisent durant la coagulation. La coagulation peut enlever un grand nombre de particules organiques. La coagulation peut également enlever les particules suspendues, y compris les précipités inorganiques, tel que le fer. Par Contre, elle n'enlève pas tous les virus et bactéries dans l'eau et elle ne peut pas produire de l'eau potable sûre. C'est, cependant, une étape primaire importante dans le processus de traitement de l'eau parce qu'elle enlève des particules, telle que le carbone organique dissout. Ainsi, moins de chlore est nécessaire pour désinfecter l'eau **[17]**.

Après avoir subi le traitement de coagulation, l'eau va être transférée dans un autre bassin. C'est dans ce bassin où va commencer véritablement l'accrétion. En effet, rien ne s'oppose plus alors au rassemblement des colloïdes neutralisés. Il faut donc maintenir une agitation lente pour favoriser les accrétions. Celle-ci est accélérée par l'ajout d'un polymère c'est-à-dire d'une grande molécule constituée par la répétition d'un motif de base qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées et formant ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. C'est le floc. Elle est aussi accélérée par une régulation d'un pH optimum pour obtenir la meilleure précipitation

possible de l'ensemble des hydroxydes métalliques qui viennent d'apparaître grâce à la réaction de coagulation **[18]**.

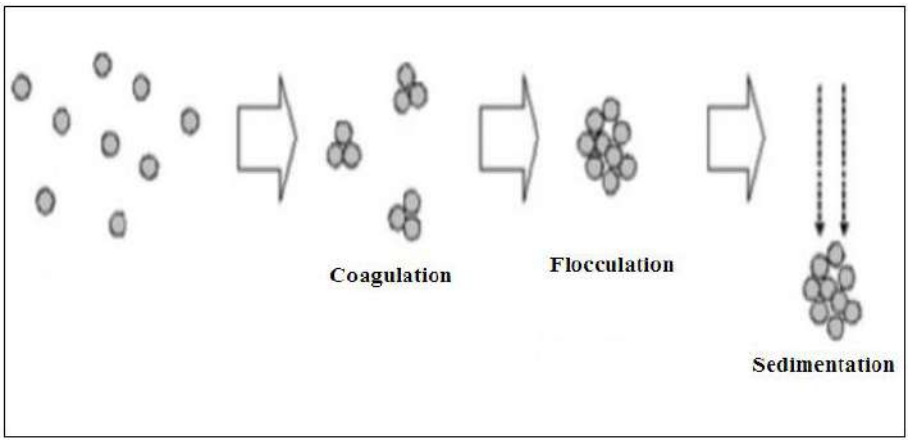

Figure I.4 : Processus de coagulation-floculation et de sédimentation [18].

C.2. Décantation :

Après avoir rassemblé les différentes petites particules en beaucoup plus grosses, il va maintenant falloir faire décanter tout ceci. Dans un corps d'eau immobile, les particules en suspension plus lourdes que l'eau sont soumises à leur poids apparent.

C.3. Flottation :

Elle permet de séparer les matières rassemblées en floc comme pour la décantation, mais s'applique aux matières qui ne décantent pas ou très lentement telles que les graisses, hydrocarbures **[19]**.

C.4. Filtration :

Le système de filtration est composé de filtres avec des tailles différentes et se composent la plupart du temps de gravier, sable et de charbon de bois. Il y a deux types de filtration de base par le sable : la filtration lente par le sable et la filtration rapide par le sable. La filtration lente par le sable est un processus biologique parce qu'elle emploie des bactéries pour traiter l'eau. Les bactéries forment une couche sur la partie supérieure du sable et nettoient l'eau pendant qu'elle traverse, en digérant les contaminants dans l'eau. La couche de bactéries s'appelle le bio film. La filtration rapide par le sable est un processus physique qui enlève les solides en suspension dans l'eau. Cette filtration rapide est beaucoup plus répandue parce que les filtres de sable rapide ont des débits assez élevés et exigent peu d'espace pour fonctionner. Durant la filtration, le taux d'écoulement de l'eau peut aller jusqu'à 20 mètres par heure. Les filtres sont généralement nettoyés 2 fois par jour.

Les particules qui sont enlevées dans l'eau durant la filtration dépendent de la taille des filtres qui sont utilisés. La filtration lente enlève les bactéries, les virus et les protozoaires et produit essentiellement de l'eau propre. Il est recommandé d'employer un désinfectant comme mesure conservatoire. La filtration rapide enlève les particules suspendues, comme les bactéries, les virus et les protozoaires. Dans les installations de traitement, la filtration enlève un grand nombre de contaminants, mais exige toujours la désinfection pour produire de l'eau potable sûre. Même si la filtration rapide ne peut pas enlever toutes les bactéries et les virus, c'est une étape importante dans le processus de traitement. La coagulation et la filtration peuvent enlever les matières en suspensions et dissoutes, de sorte que la désinfection soit plus réussie avec une quantité réduite de chlore. Le principe du filtre sous gravier est d'imiter le cycle d'épuration de la nature en utilisant le fond sableux de l'aquarium. L'eau chargée d'impuretés organiques (essentiellement des déchets solides, des substances ammoniaquées et des nitrites) est entraînée par un courant lent descendant à travers l'épaisseur de gravier. L'eau abandonne au passage ses impuretés solides dans le gravier **[19- 20]**.

C.4.1. Filtration sur sable :

Il en existe deux types :

- ***Le Filtre à sable de prétraitement :***

Ce filtre est très simple à mettre en œuvre. Mais seul, il ne permet qu'un traitement sommaire de l'eau. Il consiste à remplir un récipient, souvent un simple bac de béton pourvu d'un robinet ou d'un moyen de vidange, d'une couche de graviers plutôt assez fins et d'une couche beaucoup plus importante de sable sur laquelle on verse l'eau à traiter qu'il suffit de recueillir au bas du récipient.

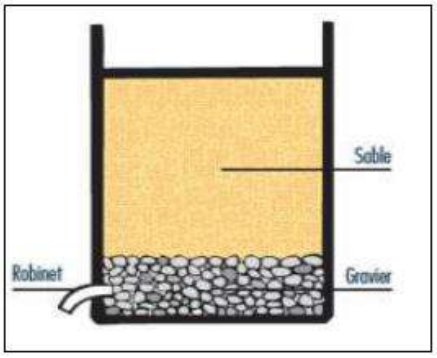

Figure I.5 : Filtre à sable de prétraitement [21].

Il est vraiment efficace lorsqu'il est utilisé en prétraitement d'autres méthodes de désinfection (par rayonnement solaire, par chloration ou par ébullition) lorsque l'eau brute dont on dispose est un peu trouble, mais ne suffit pas à lui seul **[21]**.

- ***Le Filtre à sable biologique :***

Les filtres à sable biologiques permettent un traitement complet et très efficace de l'eau. Grâce à un niveau de l'eau maintenu constant à l'intérieur du filtre, il y a installation d'une activité biologique qui élimine les germes pathogènes. Le filtre n'est pas efficace pendant les premières utilisations, car le filtre biologique n'a pas encore eu le temps de se former. Il faut environ 3 semaines à la couche biologique pour parvenir à sa complète maturité. Le filtre possède une plaque de diffusion servant à éviter de creuser le sable quand on y verse l'eau.

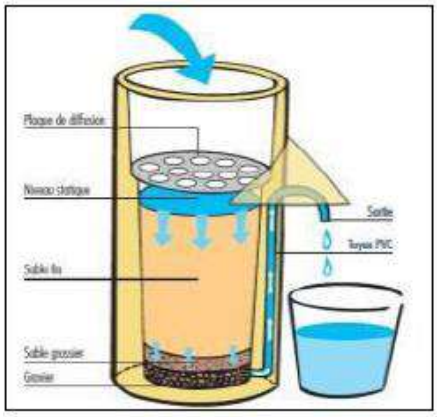

Figure I.6 : Filtre à sable biologique [23].

L'eau s'écoule à travers du sable fin. Le bas du filtre est composé d'une couche de sable grossier et d'une couche de graviers. Un tuyau en PVC remonte jusqu'à la hauteur du haut de la couche de sable, afin de maintenir le niveau d'eau constant à l'intérieur du filtre. Le principal inconvénient de ce filtre est que l'eau s'écoule de plus en plus lentement au fur et à mesure qu'on l'utilise. Lorsque le traitement devient trop lent, il faut remplacer le sable **[23]**.

C.4.2. Filtration a charbon actif :

Le charbon actif est utilisé depuis des siècles pour filtrer l'eau destinée à la consommation humaine. Toutes nos fontaines à eau sont équipées d'un système de filtration de l'eau au charbon actif qui garantit une eau plus propre et plus agréable à boire qu'à son arrivée dans la machine. Les filtres au charbon actif agissent sur la qualité organoleptique de l'eau en lui retirant le chlore, les contaminants, les particules et les autres facteurs de goûts et d'odeurs indésirables. Boire de l'eau filtrée est un premier pas dans la démarche de l'eau pure.

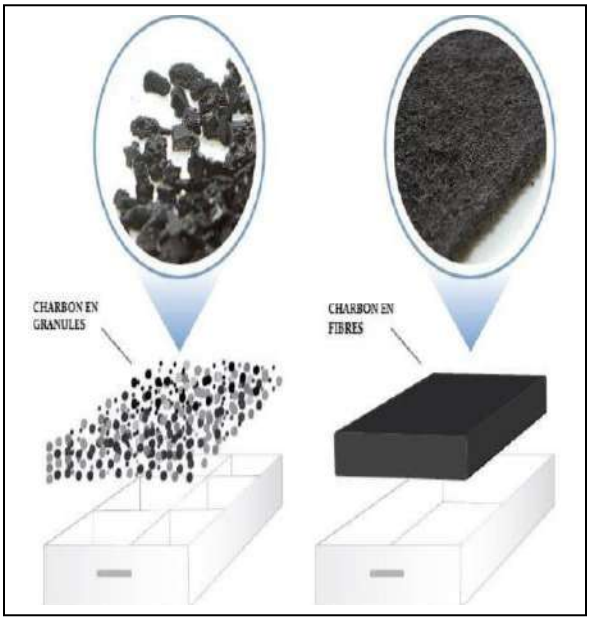

Figure I.7 : Charbon actif en fibre et granulé [22].

Et la bonne nouvelle, c'est que les nutriments essentiels sont conservés. Les minéraux naturels traversent le filtre pour vous apporter tous leurs bienfaits **[22]**.

D. Désinfection :

Les bactéries et virus pathogènes qui demeurent dans l'eau sont éliminés lors de l'étape de désinfection. On utilise pour cela du chlore, de l'ozone ou des ultraviolets. Une petite quantité de chlore reste dans l'eau produite pour éviter un développement bactérien plus en aval, dans le réseau d'eau **[19]**.

E. Stérilisation :

Stérilisation est la destruction de tous les organismes vivants. L'eau est stockée dans de grands réservoirs de stockage pour être ensuite distribuée **[23]**.

F. Autres traitements :

Éventuellement, la dureté de l'eau est corrigée pour éviter la corrosion ou l'entartrage des canalisations. En cas de pollutions spécifiques, aux nitrates ou aux pesticides par exemple, des traitements de dépollution supplémentaires sont appliqués. À la sortie de l'usine de potabilisation, l'eau est acheminée vers des réservoirs (châteaux d'eau) puis jusqu'aux robinets **[19]**.

I.7. Les Types des filtres à Eau domestique :

Les systèmes de filtration d'eau domestique étaient généralement composés de 3. 4 ou 5 étapes de filtration. Chaque système de filtration d'eau domestique contient un filtre à sédiments, un filtre à charbon et un filtre R.O.

Chaque système de filtration contient un ou plusieurs filtres : Filtre à sédiments : réduit les particules telles que la saleté, la poussière et la rouille.

- ✓ **Le filtre à charbon :** réduit les composés organiques volatils (COV), le chlore et d'autres contaminants qui donnent à l'eau un mauvais goût ou une mauvaise odeur.
- ✓ **Membrane semi-perméable :** élimine jusqu'à 98 % des solides dissous totaux (SDT).
- ✓ **Filtre minéral :** ce filtre améliore la qualité de l'eau en lui apportant certains minéraux indispensables à notre santé : calcium, magnésium, sodium, potassium.

1. Lorsque l'eau pénètre pour la première fois dans les systèmes de filtration d'eau domestique, elle passe généralement à travers un filtre à charbon et à sédiments pour éliminer les sédiments et le chlore qui pourraient obstruer. Ou en dommager la membrane d'osmose inverse.

2. L'eau passe ensuite à travers la membrane d'osmose inverse où les particules dissoutes (même trop petites à l'échelle microscopique) ont été éliminées.

3. Après filtration, l'eau s'écoule vers le réservoir de stockage, où elle est retenue jusqu'à ce qu'elle soit nécessaire. Les systèmes de filtration d'eau continuent de filtrer l'eau jusqu'à ce que le réservoir de stockage soit plein, puis s'arrêtent.

4. Une fois que vous ouvrez votre robinet d'eau potable, l'eau sort du réservoir de stockage à travers un autre post-filtre pour polir l'eau potable avant qu'elle n'arrive à votre robinet.

I.7.1. Filtration des sédiments :

Le filtre à sédiments élimine les matières en suspension telles que le sable, le limon, l'argile ou la matière organique de l'eau et d'autres grosses particules dans l'eau. Le filtre à sédiments peut être constitué de divers matériaux, tels que le papier : céramique, polypropylène, fibre acrylique, fibre de verre, polyester et cellulose filée **[24]**. Habituellement, un filtre à sédiments est utilisé comme prétraitement pour d'autres processus tels que la filtration au charbon actif (CA) et l'osmose inverse pour les protéger du colmatage par de grosses particules.

Figure I.8 : Photos de Filtration des sédiments [24].

- ***Mécanisme :***

L'eau s'écoule dans le boîtier du filtre, la pression pousse l'eau à travers les boîtiers (tige en fibre) jusqu'à l'ouverture intérieure qui mène au robinet. Les fibres filtreront alors les particules plus grosses telles que la matière organique, le sable, l'argile et le limon. Le débit est aussi élevé à haute pression, les contaminants d'une taille inférieure à 5 microns passeront librement à travers le filtre à sédiments **[25]**.

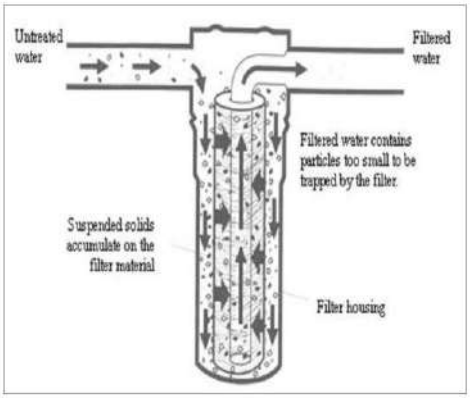

Figure I.9 : Le processus de filtration des sédiments [25].

I.7.2. Filtration au charbon actif :

A. Charbon actif en granulaire (CAG) :

L'élimination des micropolluants organiques et de la matière organique est l'enjeu majeur de l'emploi du CAG. Les pesticides et les composés sapides sont les principaux micropolluants organiques. L'élimination de la matière organique sous forme de carbone organique dissous biodégradable fait appel aux phénomènes d'adsorption et de biodégradation. Cette bio élimination est rendue possible par la présence d'une biomasse colonisatrice de la surface du charbon, cette colonisation du filtre demande 1 à 2 mois. La nitrification de l'ammonium, la réduction des oxydants chlorés résiduels et une très faible élimination de certains sous-produits de désinfection tels que les bromates et les chlorates sont les autres potentialités du charbon actif en grains. Les caractéristiques physiques des granulés de charbon actif varient considérablement selon les produits. Il faut tenir compte des paramètres suivants lors du choix du charbon actif.

Figure I.10 : Charbon actif en granulaire [26].

Figure I.11 : Photo de filtre de charbon granulaire [26].

- ***Mécanisme :***

L'adsorption est le principal mécanisme d'action du CAG et la principale raison de son utilisation généralisée pour réduire le goût, l'odeur et la couleur indésirables et pour améliorer la sécurité de l'eau potable. Lorsque l'eau pénètre dans le boîtier, le boîtier est rempli d'eau sous pression, l'eau commence à pénétrer dans le filtre par le bas, puis l'eau rencontre les granules de charbon actif, les particules de carbone absorbent les polluants dans l'eau qui sont plus gros que leur pore taille lorsqu'ils les traversent. Les granulés de charbon actif y attireront le chlore chargé négativement. De plus, le matériau en carbone lui-même absorbe le goût et la mauvaise odeur de l'eau **[26]**.

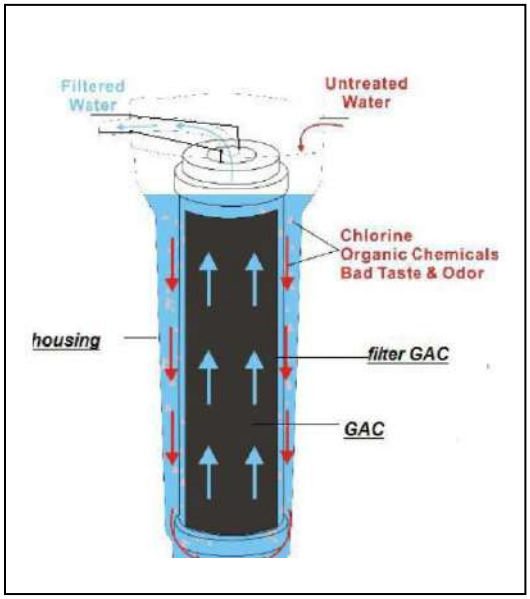

Figure I.12 : Mécanisme de travail du charbon actif granulaire [26].

B. Filtration au bloc de charbon actif (CAB) :

C'est une autre forme de charbon actif qui est fabriqué à partir de fine poudre de carbone, puis la poudre est combinée avec un liant alimentaire. Enfin, le mélange est chauffé et emballé dans un moule solide **[27]**. Il est très efficace pour éliminer le goût et l'odeur du chlore, des produits chimiques et d'autres polluants dans l'eau. De plus, le bloc de charbon actif peut réduire les polluants tels que le plomb, les composés organiques volatils (COV) et les kystes microscopiques dans l'eau. La grande porosité de la poudre produit une plus grande surface, ce qui lui permet d'absorber plus de contaminants dans l'eau et d'empêcher l'eau de pénétrer **[26]**.

Figure I.13 : Image de la filtration à bloc de carbone (CAB) [26].

Le bloc de carbone est plus efficace pour purifier l'eau que les granulés de carbone, car l'eau passe plus de temps dans les filtres à bloc de carbone, mais il est coûteux de fabriquer des filtres à bloc de carbone. D'autre part, la fabrication de filtres activés granulaires est abordable.

- ***Mécanisme :***

L'eau s'écoule dans le boîtier du filtre puis pénètre à travers les pores du bloc de charbon actif, et toutes les impuretés plus grandes que la taille des pores est mécaniquement absorbée et s'accumule à la surface du charbon actif. En même temps, le charbon actif chargé positivement attire tous les produits chimiques chargés négativement comme le chlore et élimine le mauvais goût et l'odeur.

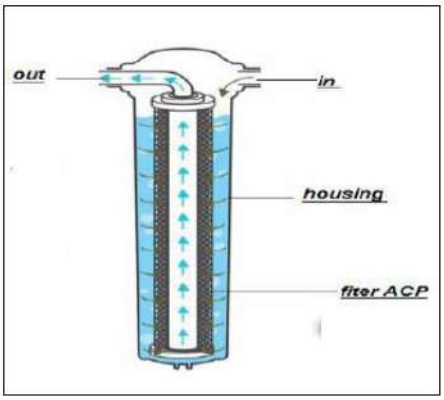

Figure I.14 : Mécanisme de travail du bloc de charbon actif [26].

C. Filtre à osmose inverse :

L'osmose inverse est un processus de purification de l'eau qui utilise une membrane partiellement perméable pour séparer les ions, les molécules indésirables et les particules plus grosses de l'eau potable. Dans l'osmose inverse, une pression appliquée est utilisée pour surmonter la pression osmotique, une propriété colligative qui est entraînée par les différences de potentiel chimique du solvant, un paramètre thermodynamique.

Figure I.15 : Filtre à osmose inverse.

L'osmose inverse peut éliminer de l'eau de nombreux types d'espèces chimiques dissoutes et en suspension ainsi que des espèces biologiques (principalement des bactéries) et est utilisée à la fois dans les procédés industriels et dans la production d'eau potable. Le résultat est que le soluté est retenu du côté pressurisé de la membrane et que le solvant pur peut passer de l'autre côté. Pour être « sélective », cette membrane ne doit pas laisser passer les grosses molécules ou les ions à travers les pores (trous), mais doit permettre aux composants plus petits de la solution (tels que les molécules de solvant, par exemple l'eau, H2O) de passer librement.

- ***Mécanisme :***

L'osmose inverse diffère de la filtration en ce que le mécanisme d'écoulement du fluide se fait par osmose à travers une membrane. Le mécanisme d'élimination prédominant dans la filtration sur membrane est la contrainte ou l'exclusion de taille, où les pores mesurent 0.01 micromètre ou plus, de sorte que le processus peut théoriquement atteindre une efficacité parfaite, quels que soient les paramètres tels que la pression et la concentration de la solution. L'osmose inverse implique plutôt la diffusion de solvant à travers une membrane non poreuse ou utilisant une nano filtration avec des pores de 0.001 micromètre de taille. Le mécanisme d'élimination prédominant provient des différences de solubilité ou de diffusivité, et le processus dépend de la pression, de la concentration du soluté et d'autres conditions.

L'osmose inverse est surtout connue pour son utilisation dans la purification de l'eau potable à partir de l'eau de mer, en éliminant le sel et les autres effluents des molécules d'eau.

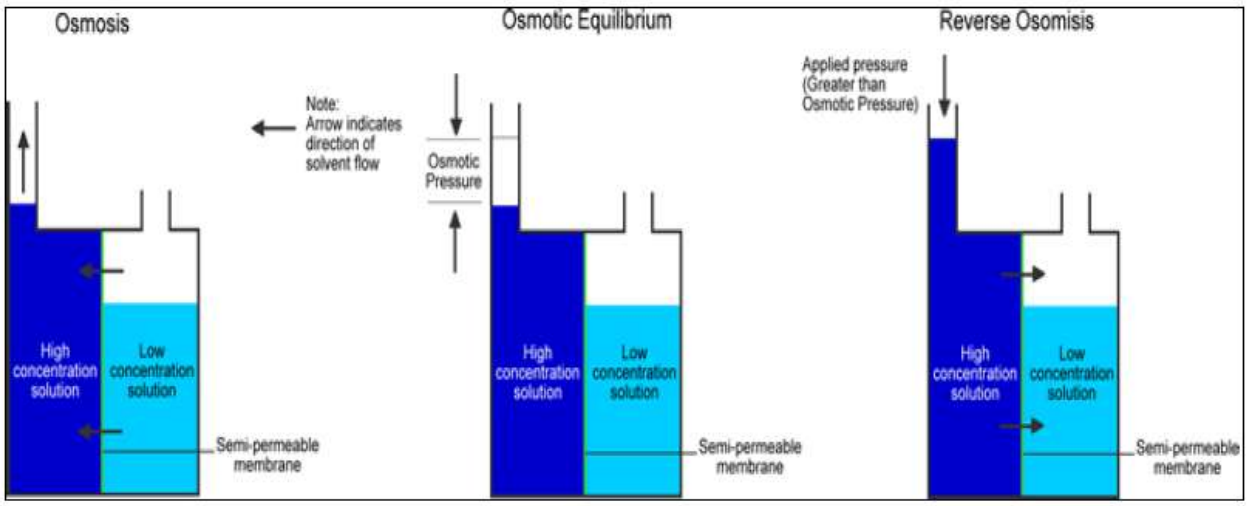

Figure I.16 : Principe de l'osmose inverse.

C.1. Osmose inverse Membrane :

La membrane utilisée en O.I est une fine surface microporeuse qui rejette toutes les impuretés, mais ne laisse passer que les molécules d'eau. Les trois types de membranes couramment utilisées sont les fibres tubulaires, enroulées en spirale et creuses. Les deux matériaux de base les plus couramment utilisés pour produire des membranes sont l'acétate de cellulose et les polymères de polyamide. Les membranes en polymère polyamide produisent à la fois un rejet et un flux 36 plus élevés, tolère une plage de pH plus large et une température continue plus élevée que l'acétate de cellulose **[27]**.

C.2. Systèmes de membranes en spirale :

Les membranes enroulées en spirale sont des médias filtrants étroitement emballés où une membrane perméable est enroulée autour d'un noyau central en spirale semblable à un rouleau de tissu. Le perméable la membrane est scellée sur les bords et est espacée d'un matériau d'espacement qui permet l'écoulement du liquide à filtrer. L'eau à filtrer entre dans le module à membrane par une extrémité. Une fois à l'intérieur du module, la filtration se produit lorsque la contre-pression est appliquée pour conduire l'eau propre à travers la surface membranaire. En sortant du module à l'autre bout, vous avez propre l'eau (permet) voyageant à travers le noyau où elle a été recueillie et un concentré saumure (concentré).

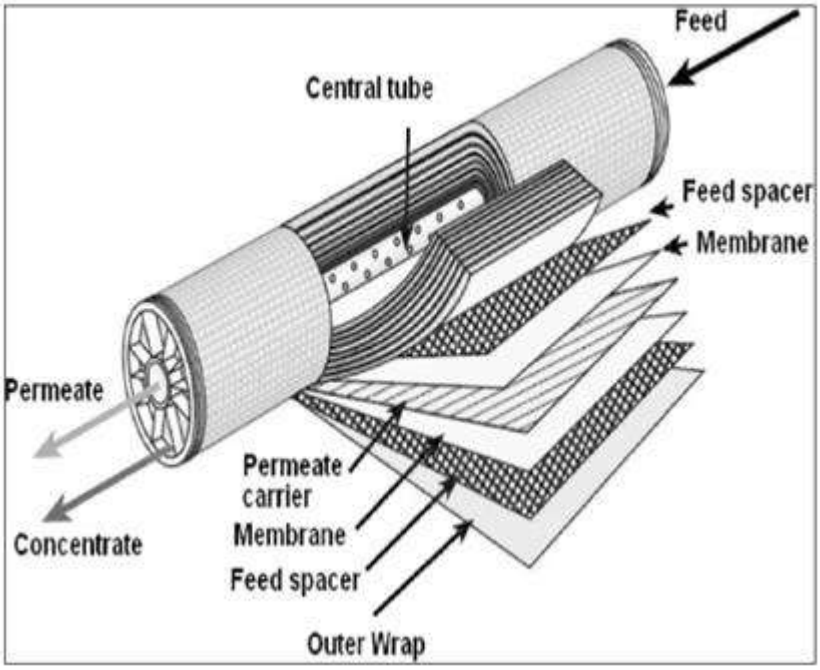

Figure I.17 : Mécanisme de membranes en spirale.

D. Le filtre minéral :

Le filtre minéral est également connu sous le nom de filtre alcalin et est installé après le filtre à membrane OI, pour donner un goût apaisant et sucré à l'eau potable pure. Le filtre minéral rend l'eau potable en augmentant le pH de l'eau potable à plus de 7 et en transférant les minéraux vitaux essentiels à l'eau potable. Que le filtre à membrane RO peut supprimer.

Figure I.18 : Filtre minéral.

E. Réservoir de stockage :

Un réservoir de stockage est un réservoir sous pression hydropneumatique qui recueille l'eau qui est progressivement purifiée par la membrane du Système de Filtration d'Eau domestique. Le processus de filtration par osmose inverse est lent. Le réservoir permet à l'eau de s'accumuler, ainsi, lorsque vous allez vous verser un verre d'eau, vous pouvez avoir un accès immédiat à beaucoup d'eau.

Figure I.19 : Réservoir de stockage [28].

Les réservoirs d'osmose inverse sont en acier laminé et doublés intérieurement d'un matériau inerte appelé butyle. Le revêtement en butyle garantit que l'eau osmose purifiée n'entre jamais en contact avec l'acier **[28]**.

I.8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous sommes commencées par la définition des eaux usées, les divers types de ce dernier, nous avons vu aussi les différents procédés de traitement de l'eau potable. Nous avons donné un aperçu sur l'objectif du traitement ensuite on a débuté par tout d'abord dégrillage et tamisage, ensuite oxydation et clarification, en outre la désinfection et enfin nous avons fini par une stérilisation.

Chapitre II :
Notions de base sur le charbon actif

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous plongerons dans les profondeurs fascinantes du charbon actif, une substance aux propriétés remarquables et aux applications diverses. En comprenant ses notions de base, nous pourrons apprécier pleinement son importance dans divers domaines, de la purification de l'eau à la médecine en passant par l'industrie chimique.

II.2. Historique:

L'utilisation des capacités filtrantes du charbon de bois pour la purification et en médecine remonte à l'Égypte ancienne vers 1500 avant J.-C. Les anciens Hindous étaient également adeptes du filtrage de l'eau avec du charbon pour la rendre potable. L'industrialisation du charbon actif a véritablement débuté au début du XXe siècle pour répondre aux besoins des raffineries de sucre, où il était utilisé comme agent décolorant. Pendant la Première Guerre mondiale, la production de charbons actifs a connu une augmentation significative en raison de la nécessité de filtrer les gaz toxiques et de développer des masques à gaz. Aujourd'hui, la production mondiale annuelle de charbons actifs atteint 420 000 tonnes. Malgré l'émergence de concurrents récents, notamment les zéolites, qui partagent des propriétés similaires en termes de conductivité et de résistance à la chaleur ainsi qu'une distribution étroite des pores, les charbons actifs restent compétitifs en raison de leur faible coût et de leur nature non sélective sur le marché des adsorbants **[29]**.

II.3. Définition du charbon Actif :

Le Charbon Actif (CA), dérivé de la carbonisation, peut être produit à partir de divers matériaux riches en carbone et faiblement minéralisés **[30]**. Le matériau est soumis à une carbonisation afin de créer un solide en carbone amorphe, suivi d'une "activation" pour générer un réseau de pores **[31]**. Parmi les matières premières utilisées, on trouve le bois, le charbon de bois, la noix de coco, le lignite, la tourbe, ainsi que des polymères synthétiques ou des résidus issus de procédés pétroliers. En outre, les résidus de la production de café sont également examinés comme des précurseurs potentiels **[32]**. Ou les boues activées.

Nous accordons une importance primordiale à cet élément dans notre étude, car il est utilisé pour le traitement des eaux usée.

II.4. Structure et nature chimique de la surface des charbons actifs :

II.4.1. Structure poreuse du charbon activé :

Une texture poreuse est généralement définie par deux paramètres principaux : la porosité et la surface spécifique, qui sont directement liées au volume des pores. Qu'il s'agisse de charbon actif en grains ou en poudre, sa structure poreuse est toujours hétérogène Selon la définition de L'IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) **[33]**, La classification de la porosité est la suivante :

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

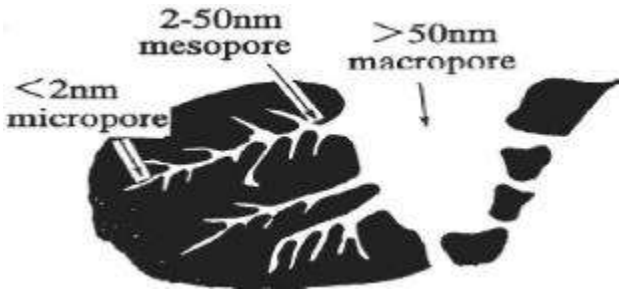

Figure II.1 : Structure des pores du charbon actif **[34]**.

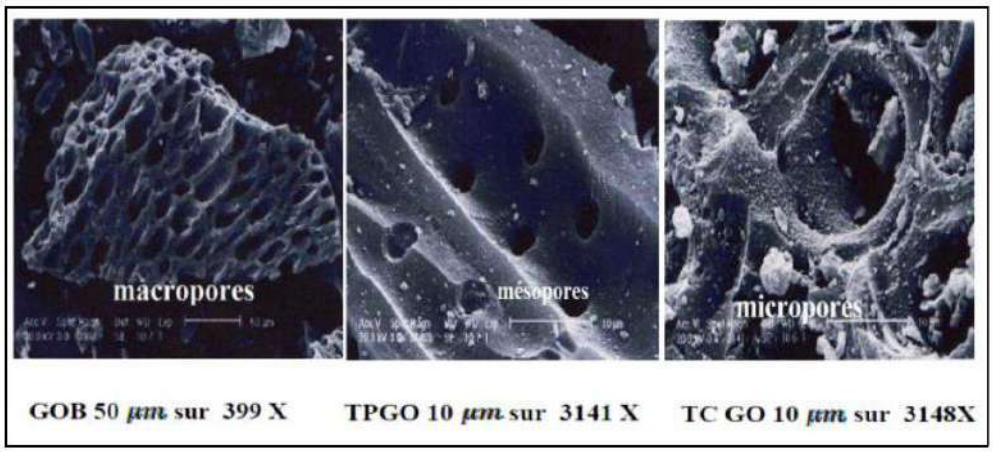

Figure II.2 : Différentes structures du charbon actif vues au microscope électronique à balayage [34].

II.4.2. Nature chimique de la surface d'un charbon activé :

La composition chimique de la surface du charbon actif évolue selon les techniques d'activation utilisées et les modifications appliquées. Par exemple, l'emploi d'agents oxydants tels que le peroxyde d'hydrogène, l'acide nitrique et l'acide sulfurique peut altérer les groupes fonctionnels de surface du charbon actif, transformant ceux-ci de phénoliques en éthers. Ce processus améliore alors sa capacité d'adsorption **[35]**. En outre, les techniques d'activation au plasma, qui impliquent l'utilisation de divers gaz et sources de décharge, peuvent accroître la fonctionnalité de la surface du charbon actif. Cela entraîne des modifications au niveau des groupes fonctionnels de surface, de la surface, de la porosité, de la rugosité et de l'hydrophilie **[36]**. Les altérations chimiques de la surface, qu'elles soient induites par l'acide nitrique ou par un processus thermique, peuvent provoquer des changements dans les caractéristiques texturales et chimiques du charbon actif. Cela impacte la présence de groupes oxygénés et l'acidité globale du matériau **[37]**. En outre, l'utilisation d'agents d'activation comme l'acide phosphorique et l'hydroxyde de potassium peut engendrer la formation de divers groupes fonctionnels en surface du charbon actif. Ceci exerce une influence sur son utilisation en tant qu'adsorbant pour des contaminants tels que le plomb et le cadmium **[38]**.

II.4.3. Formation de sites actifs à partir des groupements fonctionnels :

Les sites actifs formés suite à la décomposition des fonctions oxygénées en surface lors d'un traitement thermique sont représentés de manière schématique par la figure II.3.

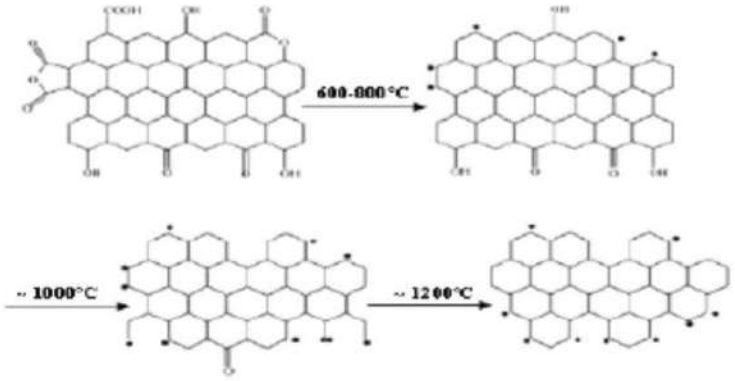

Figure II.3: Sites actifs générés au cours d'un traitement thermique **[39]**.

Le traitement thermique exerce diverses influences sur les propriétés catalytiques et d'adsorption du charbon. Il altère notamment sa surface spécifique et le nombre de ses sites

actifs. Les fonctions de surface les plus sensibles à cette transformation sont d'abord les groupements carboxyliques, suivis des fonctions lactones, puis des phénols, des éthers, des carbonyles ou des cétones, et enfin des quinones à des températures très élevées **[39]**.

II.5. Les précurseurs utilisés pour la préparation du charbon actif :

Divers matériaux, naturels ou synthétiques, peuvent servir de précurseurs pour la fabrication d'adsorbants. Les propriétés des charbons actifs varient en fonction du précurseur utilisé et du processus de fabrication appliqué, car les modifications qui surviennent diffèrent d'un polymère à un autre. Généralement, le choix du précurseur dépend de plusieurs critères **[40]** dont :

- ✓ La faible proportion de composés inorganiques.
- ✓ L'aisance de l'activation (par exemple, le coke calciné est moins facile à activer que le charbon de bois).
- ✓ La disponibilité et le coût abordable, entre autres.

II.5.1. Précurseurs d'origine synthétique :

Plusieurs précurseurs synthétiques, tels que le bitume, le polyéthylène téréphtalate (PET), les déchets automobiles et le coke, sont couramment utilisés pour la fabrication de charbons actifs. Des études telles que celles d'Otawa et al. En 1997 ont exploré l'impact de l'activation chimique avec le KOH sur la surface spécifique et la capacité d'adsorption de charbons dérivés du coke, montrant une surface importante et un forte capacité d'adsorption pour divers composés chimiques. Lorenc-Grabowska et son équipe ont produit du charbon à partir de bitume par activation physique, tandis que Nakagawa et ses collègues ont utilisé une activation chimique pour examiner la cinétique d'adsorption d'un colorant. De plus, des recherches ont été menées sur les propriétés d'adsorption de charbons actifs fabriqués à partir de différentes sources, comme le PET, des mélanges de déchets et des résidus de fermentation, montrant une capacité d'adsorption élevée pour le phénol et des caractéristiques poreuses similaires à celles des charbons commerciaux **[39]**.

II.5.2. Précurseurs d'origine naturelle :

Les matières premières naturelles utilisées pour produire du charbon actif incluent une variété de matériaux tels que la houille, le bois, le lignite, la noix de coco, les coques de noix de coco, les noyaux de fruits, voire les noyaux de datte. Ces matériaux sont soumis à un traitement thermique spécifique, connu sous le nom d'activation thermique, qui comprend des étapes telles que le séchage, la carbonisation à haute température et l'oxydation contrôlée.

Ce processus laisse un réseau carboné doté d'une structure poreuse, conférant ainsi au charbon actif sa capacité d'adsorption élevée. La texture poreuse du charbon actif varie en fonction de la nature du matériau d'origine, ce qui explique les différentes propriétés observées dans les charbons actifs obtenus **[41]**.

II.6. Fabrication des charbons actifs :

La production de charbons actifs passe par plusieurs phases, dont la sélection des matières premières, la carbonisation, l'activation physique ou chimique, ainsi que le traitement final. Les matières premières utilisées pour la fabrication de charbon actif sont diverses, incluant le bois, la paille, les goudrons de houille, les noyaux d'olives, les coques de noix de coco, les coques d'arachides, ainsi que d'autres végétaux riches en carbone **[42]**. La fabrication comprend deux étapes principales : la carbonisation et l'activation.

II.6.1. Phase de Carbonisation :

La carbonisation des charbons actifs est le procédé de transformation de matières carbonées telles que la biomasse en carbone poreux solide par chauffage sans présence d'air. Ce processus implique la décomposition thermique de la matière première à des températures inférieures à 800 ºC, ce qui élimine des éléments tels que l'oxygène, l'hydrogène, l'azote et le soufre, laissant du biochar sous forme de produit solide **[43].**

II.6.2. Phase d’activation :

L'activation physique ou chimique permet d'augmenter significativement la porosité et donc la capacité d'adsorption du charbon. Ce processus consiste à chauffer le charbon à très haute température en présence d'air, de vapeur ou d'agents chimiques. Le choix de la méthode dépend des propriétés requises pour l'application spécifique.

A. Activation Physique :

Cette technique implique une seconde phase de chauffage, appelée "activation", qui se situe entre 900°C et 1200°C et est accompagnée d'un apport d'air et/ou de vapeur d'eau. Cette opération augmente la porosité du charbon en multipliant le nombre de ports. En outre, l'activation permet de purifier le charbon des toxines qu'il a déjà adsorbées au fil du temps en vidant les pores obstrués, ce qui augmente sa capacité d'adsorption **[44]**.

B. Activation Chimique :

Une nouvelle étape de chauffage, généralement entre 400°C et 500°C, est associée à l'introduction d'acides tels que l'acide phosphorique, ce qui donne au charbon une structure à pores plus larges. L'activation chimique est souvent réalisée en utilisant des solutions de KOH et NaOH et H3PO4. Le choix du mode d'activation entraîne des variations inégales dans les différentes caractéristiques physico-chimiques du charbon actif obtenu, telles que la dureté, la conductivité ou la teneur en minéraux, en fonction de la méthode employée **[45]**.

II.6.3. L'oxydation :

Après l'étape d'activation, une phase d'oxydation peut intervenir, entraînant une altération de la porosité et des caractéristiques de surface du charbon actif. Cette oxydation peut être réalisée à l'aide d'agents oxydants liquides tels que l'eau oxygénée, l'acide nitrique ou le peroxydisulfate d'ammonium, ou gazeux tels que l'air, la vapeur d'eau ou le dioxyde de carbone. Ce traitement permet d'intégrer des fonctionnalités acides de surface telles que l'acide carboxylique, la quinone, la lactone ou l'hydroxyphénol, mais aussi des fonctionnalités basiques ou neutres, tout en modifiant la structure poreuse du charbon tout en conservant sa microporosité. En général, les processus d'oxydation augmentent le contenu en oxygène en diminuant la densité électronique, ce qui réduit la basicité à la surface du charbon **[46]**.

II.7. Comparaison des deux procédés d’activation :

L'activation chimique est préférée à l'activation physique pour plusieurs raisons : tout d'abord, les températures d'activation plus élevées dans l'activation physique entraînent une consommation d'énergie plus importante. De plus, l'activation chimique offre un meilleur rendement en charbon actif car elle évite la carbonisation à très haute température. Cependant, un inconvénient majeur de cette méthode réside dans les étapes supplémentaires de lavage nécessaires pour éliminer l'agent activant. Malgré cela, nous avons choisi d'opter pour le procédé d'activation chimique dans la fabrication de nos charbons actifs, compte tenu des facteurs discutés précédemment **[47]**.

II.8. Description et propriétés des charbons actifs :

II.8.1. Charbon actif en poudre (CAP) :

Les particules de charbon actif en poudre ont une taille allant de 50 à 100 micromètres et sont généralement 2 à 3 fois moins coûteuses que celles en grain. Cependant, le charbon actif en poudre présente des inconvénients significatifs, notamment son incapacité à être régénéré et sa propension à générer beaucoup de boues. Après usage, il est souvent incinéré ou mis en décharge **[48]**.

Figure II.4 : Charbon actif en poudre **[49]**.

II.8.2. Charbon actif en grains (CAG) :

Les grains de charbon actif granulaire ont des dimensions comprises entre 0.25 et 3 millimètres. Étant donné la diminution de leur capacité d'adsorption avec l'utilisation et leur coût élevé, il est nécessaire de les régénérer. Cette régénération peut être réalisée chimiquement, thermiquement ou par traitement à la vapeur **[50]**.

Figure II.5 : charbon actif en grains **[51]**.

II.8.3. Charbon actif en extrudés (CAE) :

Les charbons actifs extrudés ou granulés sont des agents adsorbants hautement performants, adoptant une forme cylindrique ou en colonne. Ils sont fabriqués en extrudant des particules de charbon actif dont le diamètre varie de 0.9 à 6 mm **[52]**.

Figure II.6 : charbon actif en extrudes **[52]**.

II.9. Régénération du charbon actif :

II.9.1. Régénération physique :

A. Régénération thermique :

Ce procédé se déroule en deux étapes successives, à savoir la carbonisation puis l'activation. Le charbon ainsi régénéré présente des caractéristiques légèrement différentes de celles du charbon neuf, avec une diminution légère de la taille des grains, de la microporosité et de la densité apparente, tandis que la teneur en cendres augmente. Ce type de régénération reste le procédé le plus largement utilisé. Bien que la régénération thermique produise un charbon de qualité élevée, elle consomme beaucoup d'énergie, ce qui a conduit au développement d'autres procédés plus économiques **[53]**.

B. Régénération électrochimique :

Il s'agit d'une méthode visant à éliminer les substances polluantes qui ont saturé le charbon actif, par électrolyse à potentiel ou à courant imposé en présence d'un électrolyte adapté. Les paramètres qui assurent le bon déroulement de ce processus incluent la nature de l'électrolyte, le pH, ainsi que l'intensité et la durée d'application du courant ou du potentiel **[53]**.

II.9.2. Régénération chimique :

La régénération chimique se réalise en utilisant des réactifs chimiques qui dégradent les polluants adsorbés, pouvant même les transformer complètement en eau et dioxyde de carbone **[54]**. La régénération se fait généralement par oxydation, utilisant soit de l'oxygène de l'air sous pression et à des températures modérées (entre 100 °C et 250 °C), soit des agents oxydants forts tels que l'ozone **[55]**.

II.9.3. Régénération biologique :

La régénération biologique ou bio régénération utilise des bactéries pour éliminer les substances polluantes biodégradables adsorbées à la surface du charbon actif. Après

destruction des polluants, le charbon actif est lavé avant sa réutilisation. Les avantages que présente cette régénération sont d'une part les économies d'énergie réalisées et d'autre part les faibles pertes de masse de charbon **[53]**.

II.10. Production mondiale du charbon actif :

La production de charbons actifs a connu une augmentation marquée pendant la Première Guerre mondiale en réponse à la propagation des gaz toxiques et à la nécessité de développer des masques à gaz. Aujourd'hui, la production annuelle mondiale de charbons actifs a atteint 420 000 tonnes **[56]**.

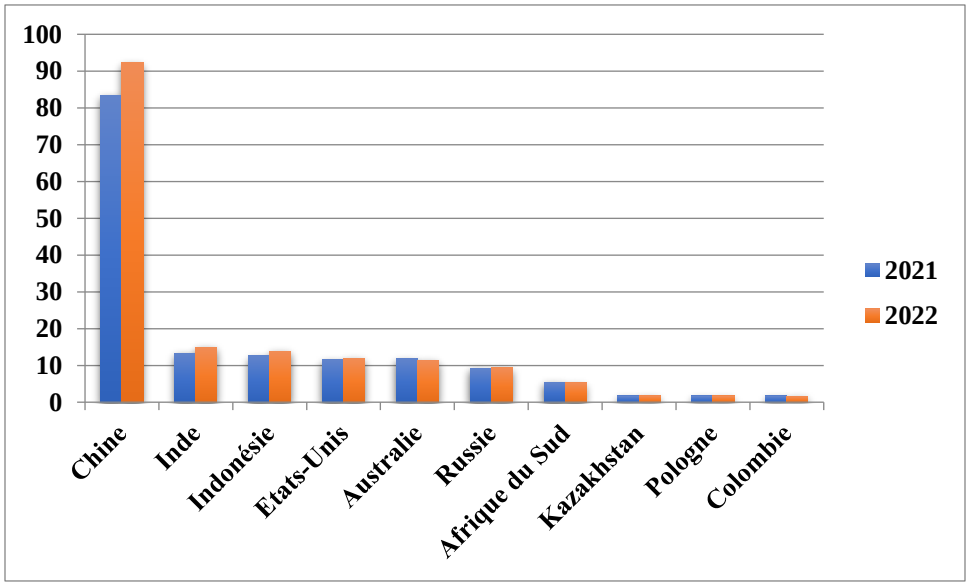

Figure II.7 : Production mondiale du charbon actif **[57]**.

II.11. Conclusion :

En conclusion, nous avons exploré les fondements du charbon actif, un matériau polyvalent aux multiples applications. À travers son processus de fabrication, ses propriétés uniques et ses diverses utilisations dans des domaines allant de la purification de l'eau à la purification de l'air et même en médecine, il est clair que le charbon actif joue un rôle essentiel dans notre quotidien et continue d'être un sujet d'étude et d'innovation. En comprenant ses caractéristiques fondamentales, nous sommes mieux équipés pour apprécier son importance et exploiter tout son potentiel dans divers domaines.

Chapitre III : Compréhension du phénomène d’adsorption

III.1. Introduction :

La technique d'adsorption est l'une des technologies les plus essentielles, largement employée dans la dépollution et la purification, que ce soit dans le traitement de l'eau, les industries pétrolières, pétrochimiques, chimiques, ou encore dans diverses applications environnementales et pharmaceutiques.

Ce chapitre abordera les notions fondamentales de l'adsorption, notamment sa définition, ses mécanismes, les lois cinétiques et les isothermes associés. Une emphase particulière sera accordée au charbon actif en raison de son importance prépondérante dans le traitement des eaux.

III.2. Définition de l'adsorption :

L'adsorption se produit lorsqu'un fluide (qu'il soit gazeux ou liquide), connu sous le nom d'adsorbat, se lie à la surface d'un solide, appelé adsorbant. Ce phénomène décrit la capacité de certains matériaux à attirer et retenir des molécules telles que des gaz, des ions métalliques ou des molécules organiques, de manière réversible. Durant ce processus, des molécules passent de la phase aqueuse ou gazeuse vers la surface solide, modifiant ainsi les propriétés superficielles du solide (comme son hydrophobie ou son hydrophilie), ce qui peut altérer l'équilibre du milieu environnant (par exemple, dispersion ou floculation) **[58]**.

Il y a deux types de l'adsorption, adsorption physique et adsorption chimique selon les interactions entre le solide et les molécules de l'adsorbat **[59]**.

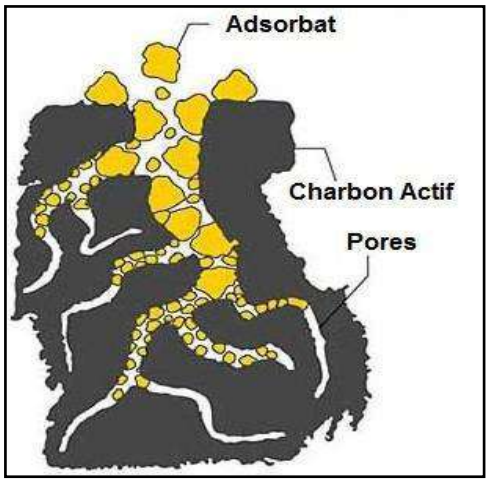

Figure III.1 : Phénomène D'adsorption [59].

III.3. Principe de l'adsorption :

Le principe de l'adsorption repose sur la capacité des solides (adsorbants) à retenir certains gaz (adsorbats) à leur surface. Les interactions entre l'adsorbant et l'adsorbat sont généralement électrostatiques, ce qui les rend faibles et réversibles, caractérisant ainsi la physisorption. En revanche, la chimisorption, qui est généralement irréversible, implique une fixation de l'adsorbat à l'adsorbant par liaison covalente.

Le transfert des polluants est régulé par trois phénomènes physico-chimiques : l'équilibre thermodynamique entre les deux phases, qui représente la limite du processus, la cinétique de l'adsorption et la compétition entre les différents adsorbats. Plusieurs facteurs peuvent donc influencer ces phénomènes **[60]**.

III.4. Les différents types d'adsorption :

Suivant l'importance des énergies mises en jeu entre l'adsorbant et l'adsorbat, Les forces responsables du phénomène d'adsorption peuvent être de nature physique ou chimique, conduisant ainsi à deux types d'adsorption :

- Adsorption physique "physisorption"
- Adsorption chimique "chimisorption"

III.4.1. Adsorption physique :

L'adsorption physique ou la physisorption c'est le processus résulte des forces d'interactions de nature physique, comme les forces de Van Der Waals et les liaisons d'hydrogène **[61]**.

Dans ce processus, les molécules de l'adsorbat se fixent sur l'interface du solide et se déplacent librement, elle est rapide et généralement limitée par la diffusion. C'est aussi réversible et peu spécifique, elle se produit à de basses températures, et est caractérisée par une énergie d'adsorption considérément faible **[62]**. Elle peut se faire en monocouche ou multicouches **[63]**.

III.4.2. Adsorption chimique :

L'adsorption chimique ou la chimisorption résulte d'une interaction chimique entre le solide et l'adsorbat, ces dernières liées entre elles par des liaisons covalentes ou ioniques, les molécules de l'adsorbat sont liées directement à l'adsorbant **[64]**.

C'est un processus irréversible et lent, et elle se produit à de hautes températures **[65]**, **[66]**. Elle met en jeu une énergie d'adsorption considérément plus élevée. Elle est aussi uniquement mono- moléculaire, car la présence des liaisons de valence entre l'adsorbat et le solide, ne permet pas la formation de couches multimoléculaire.

III.5. Le mécanisme d'adsorption :

La séparation par l'adsorption est basée sur une adsorption sélective (thermodynamique et/ou cinétique) des polluants par un adsorbant, grâce à des interactions spécifiques entre la surface du matériau et les produits adsorbés : c'est un simple transfert de masse à partir de la phase liquide vers la surface du solide.

Ce processus se déroule en quatre étapes :

- **Diffusion externe :** elle correspond au transfert du soluté au sein de la solution à la surface externe de l'adsorbant, le transfert de matière dépend de l'écoulement du liquide sur la surface de l'adsorbant.
- **Diffusion interne :** les molécules de liquide pénètrent à l'intérieur des pores, la diffusion dépend du gradient de concentration du soluté.
- **Diffusion de surface :** elle correspond à la fixation des molécules à la surface des pores de l'adsorbant.
- **Adsorption :** c'est l'étape de fixation.

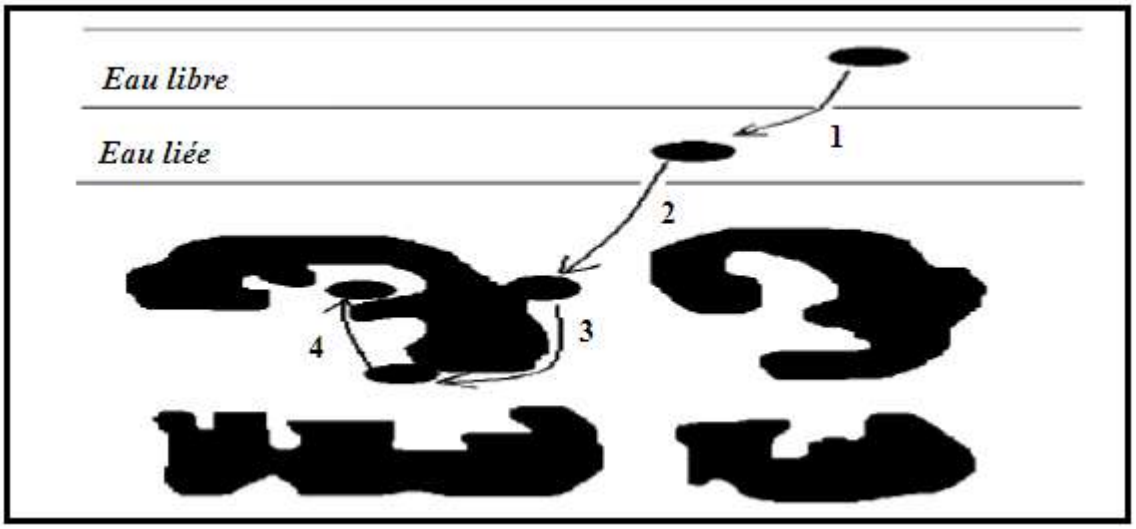

Figure III.2 : Le mécanisme d'adsorption [66].

III.6. Facteurs influençant les paramètres d'adsorption :

III.6.1. Vitesse d'adsorption :

La vitesse d'adsorption varie selon la phase du milieu. Alors que l'adsorption physique des gaz ou des vapeurs sur des adsorbants solides est rapide, celle en phase liquide est considérablement plus lente. La viscosité de la solution est un facteur influençant cette vitesse d'adsorption, et il est probable qu'une diminution de la viscosité par chauffage accroisse cette vitesse. C'est l'une des raisons pour lesquelles on réalise la décoloration des solutions par des adsorbants solides à des températures élevées **[67]**.

III.6.2. Nature de l'adsorbant :

L'adsorption en phase liquide a lieu le plus souvent par le mélange, l'adsorbant étant introduit dans la solution à l'état pulvérulent. Il est ensuite séparé par filtration. Les adsorbants travaillant en milieu liquide agissent tout d'abord par leur surface externe. Certains adsorbants ont une action spécifique caractérisée suivant la polarité de la surface externe, car cette dernière a une affinité avec l'eau ou l'alcool. Les adsorbants polaires sont « hydrophiles », d'autre part les adsorbants non polaires sont en général dits « hydrophobes ». Les adsorbants polymériques, et les adsorbants carbonés sont des exemples d'adsorbants non polaires qui ont moins d'affinité pour l'eau **[68]**, **[69]**.

III.6.3. Nature de l'adsorbat :

Le taux d'adsorption d'une substance par un adsorbant demeure généralement constant, indépendamment du solvant utilisé, lorsque le rapport entre la concentration de cette substance dans le solvant et sa solubilité dans ce même solvant reste cohérent d'un solvant à l'autre. Pour simplifier, une substance polaire tend à être plus fortement adsorbée sur une surface polaire, tandis qu'une substance moins polaire a tendance à être plus fortement adsorbée sur une surface non polaire **[67]**.

III.6.4. Paramètres physico-chimiques du milieu :

Il existe de nombreux paramètres physico-chimiques à prendre en compte lors de l'étude de l'adsorption. Parmi ces paramètres, on peut mentionner :

A. La concentration :

La fréquence des collisions entre molécules efficaces dépend de la concentration des espèces réactives. Ainsi, à mesure que la concentration d'une entité réactive (ou réactif) augmente, le nombre de collisions par unité de temps et de volume augmente également. En conséquence, la vitesse de la réaction s'accroît avec l'augmentation de la concentration en espèce réactive.

B. Le pH :

Le pH d'une solution est un paramètre crucial à prendre en compte lors de l'étude des phénomènes d'adsorption, car il exerce une influence significative sur les équilibres chimiques. En effet, le pH peut altérer la nature de la surface de l'adsorbant, la rendant plus ou moins réactive vis-à-vis de l'adsorbat. Par exemple, l'adsorption des acides organiques peut être plus favorable à un certain pH, ce qui peut être déterminé expérimentalement.

C. La température :

La température est intimement liée à l'agitation des particules ou des molécules, qui résulte de l'apport d'énergie externe. À mesure que la température du milieu réactionnel augmente, l'agitation moléculaire s'intensifie. Par conséquent, la vitesse des molécules augmente également.

D. La force ionique :

La force ionique exprime la disparité entre la concentration effective (activité) et la concentration analytique d'une solution. Cette disparité découle des interactions coulombiennes entre les divers ions présents dans la solution examinée. Elle augmente proportionnellement au nombre d'ions en solution et à leur charge électrique. La mesure de cet effet est généralement désignée sous le terme de force ionique.

E. La masse de l'adsorbant :

La quantité d'adsorbat attachée à la surface de l'adsorbant est intimement liée à sa masse et à sa granulométrie. En effet, une granulométrie plus fine des particules entraîne une augmentation de la surface spécifique, ce qui se traduit par une plus grande quantité d'adsorbant adsorbée **[70]**.

III.7 Classification des Isothermes d'adsorption :

Les isothermes d'adsorption sont des courbes représente la quantité d'adsorbat qui est adsorbée par l'adsorbant en fonction de concentration si l'adsorbat en phase liquide, ou en fonction pression si l'adsorbat en phase gazeuse. Comme la relation suivante **[71] :**

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e).V}{m} \qquad \text{(III.1)}$$

Avec :

Qe *:* Capacité d'adsorption à l'équilibre (*mg/g*) ;

V : volume de solution (*ml*) ;

m : Masse de l'adsorbant (*g*) ;

Co : Concentration initiale d'adsorbât (*mg/l*) ;

Ce *:* Concentration à l'équilibre (*mg/l*) ;

Le majeur intérêt d'isotherme d'adsorption est la possibilité de donner des hypothèses sur le mode d'adsorption. En effet, son allure est représentative de certains phénomènes mis en jeu : adsorption monocouche ou multicouche, interactions latérales entre molécules ou non…etc.

D'après Giles, on obtient quatre types des isothermes importantes nommées : ***S*** (*Sigmoïde*), ***L*** (*Langmuir*), ***H*** (*Haute affinité*), et ***C*** (*Partition constante*) **[72]**.

Elles ont été développées par différents chercheurs depuis 1938, et leurs classifications ont été faites selon leurs formes, selon la figure suivante :

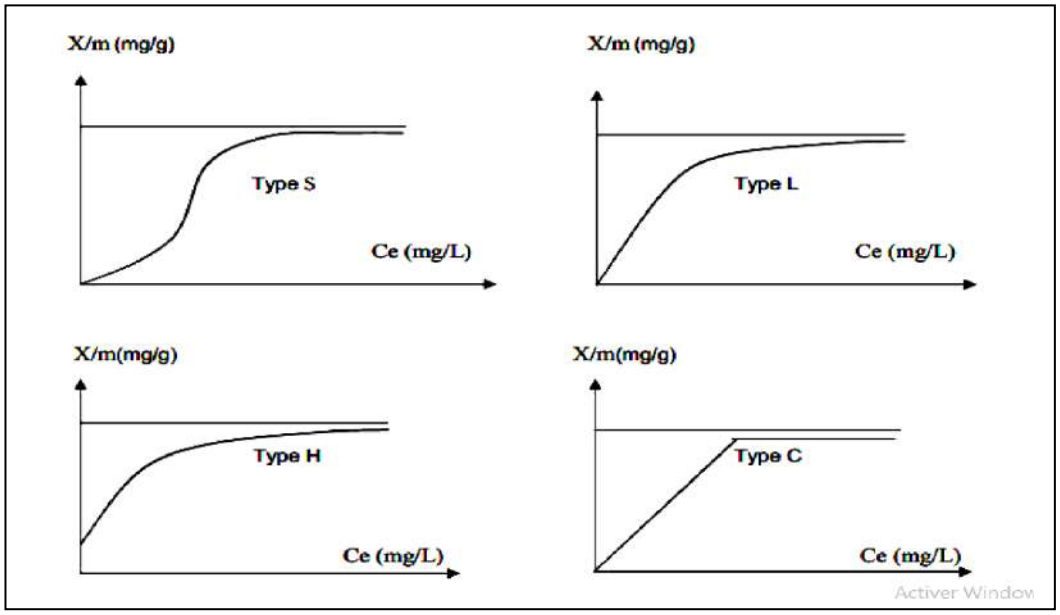

Figure III.3 : Les différentes courbes des isothermes d'adsorptions (d'après Giles et al, 1960).

III.8. Expressions mathématiques de quelques isothermes :

Les modèles d'adsorption montrent la relation entre la concentration du soluté en solution et la quantité adsorbée par unité de masse. De nombreuses modélisations existent (simple ou complexe), mais le plus souvent utilisées dans la littérature sont les isothermes de Langmuir et de Freundlich.

III.8.1. Modèle de Langmuir :

Ce modèle est largement préféré pour interpréter les observations faites lors de l'adsorption des composés organiques en solution aqueuse. Voici un résumé de ses principales caractéristiques **[73]**.

À une température constante, la quantité adsorbée Q_e est déterminée par la capacité maximale d'adsorption Q_{max}, la concentration à l'équilibre Ce du soluté et la constante d'affinité K_l, selon l'équation :

$$Q_e = \frac{Q_{max} \cdot K_l . C_e}{1+(K_l . C_e)} \quad \text{(III.2)}$$

Q_e : quantité de soluté adsorbé à l'équilibre par gramme de solide (*mg/g*).

Q_{max} : quantité maximale de soluté par gramme de solide nécessaire pour obtenir une monocouche (*mg/g*).

K_l : constante de Langmuir relative à la capacité et à la vitesse d'adsorption (*l/mg*).

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

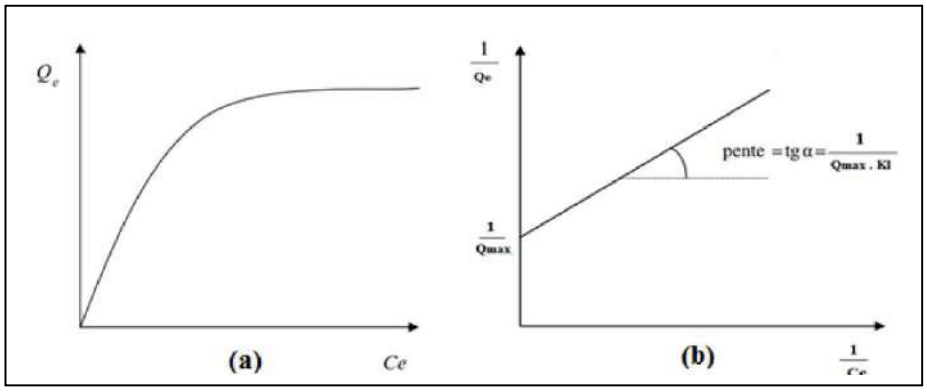

Figure III.4 : (a). Isotherme d'adsorption de Langmuir.
(b). Modélisation d'isotherme de Langmuir.

III.8.2 Modèle de Freundlich :

Le modèle de Freundlich permet de modéliser des isothermes obtenues sur des surfaces hétérogènes **[74]**. L'équation de ce modèle est représentée deux paramètres (K_f et n), cette équation est basée sur une distribution exponentielle des énergies des sites d'adsorption, l'équation peut écrire comme le suivant :

$$Q_e = K_f . C_e^{1/n} \quad \text{(III.3)}$$

K_f : constante de Freundlich qui est relative à la capacité d'adsorption, il souvent exprimée en (*mg/L*).

$1/n$: indique l'intensité de l'adsorption en coordonnées logarithmiques, et il est sans dimension.

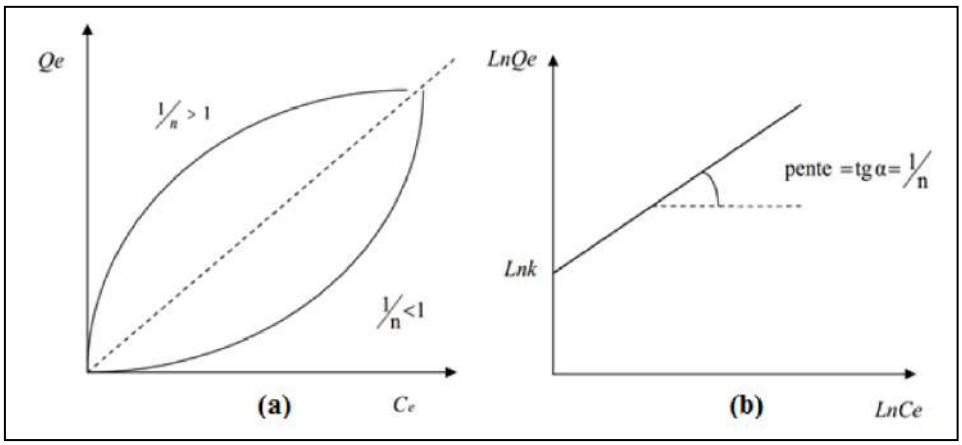

Figure III.5 : (a). Isotherme d'adsorption de Freundlich.

(b). Modélisation d'isotherme de Freundlich.

Il existe aussi le modèle de **d'Elovich** et celui de **Temkin.**

III.9. Charbon actif comme adsorbant :

Les charbons actifs sont de loin les adsorbants les plus fabriqués et utilisés dans de nombreuses applications domestiques et industrielles **[75]**.

Notamment dans les domaines de la purification de l'eau, et de l'air. Le pouvoir d'adsorption des charbons actifs est attribué à la porosité, la surface spécifique, et les groupements fonctionnels de surface, comme le rapportent **[76]**.

III.10. Les propriétés des adsorbants :

Un solide poreux peut être défini à partir du volume de substance adsorbée, nécessaire pour saturer tous les pores ouverts d'un gramme de solide, habituellement exprimé en [cm^3/g]. Selon la classification IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), les tailles de pores sont réparties en 3 groupes :

a. les pores de largeur excédant 50 nm appelés macrospores ;

b. les pores de largeur comprise entre 2 et 50nm appelés mésopores ;

c. les pores de largeur inférieure à 2nm appelés microspores (ou nanopores).

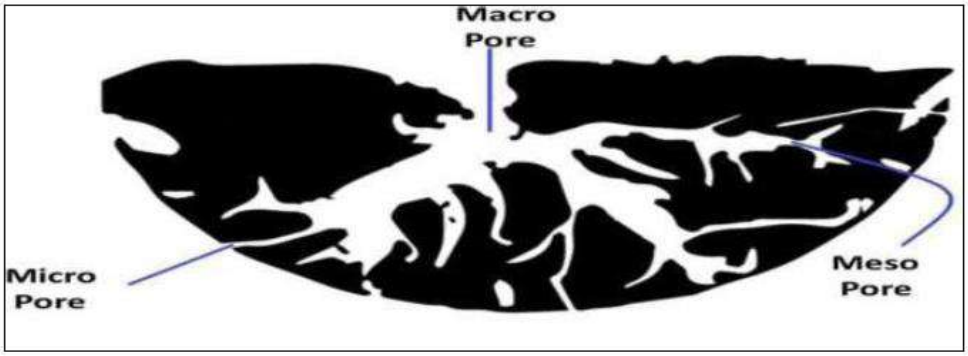

Figure III.6 : Le volume poreux et la taille des pores[76].

Les macrospores permettent au fluide d'accéder à la surface interne du charbon actif, les mésopores favorisent le transport de ce fluide plus en profondeur. Les micro- et mésopores sont les sites de l'adsorption.

III.10.1. La surface spécifique (BET) :

Par définition, la surface spécifique d'un adsorbant est une surface par unité de masse [m^2/g]. Pour un charbon actif, elle est comprise entre 500 et1500 m^2/g. Cette surface est essentiellement créée par les micro- et mésopores. Plus la surface est grande plus la quantité de matière adsorbée est importante.

Ce paramètre est obtenu en appliquant la théorie de Brunauer, Emmet et Teller, d'où l'appellation surface BET.

Selon Yu et al. (2009), qui ont évalué deux charbons en grain, la surface spécifique (BET) ne serait pas un bon indicateur de l'efficacité d'adsorption de micropolluants. En effet la surface BET ne spécifie pas la répartition de la taille des pores qui est un critère important pour l'adsorption de molécules de tailles différentes.

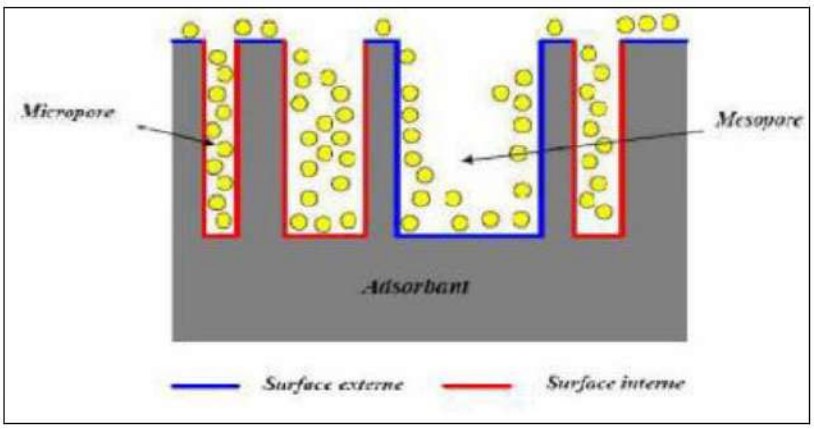

Figure III.7 : Représentation schématique de la surface interne et externe d'un adsorbant [76].

III.11. Propriétés du charbon actif :

III.11.1. L'indice d'iode :

Selon les recherches menées par AVOM et ses collègues (2002), l'analyse des indices d'iode revêt une double importance : d'une part, elle permet d'étudier l'impact de l'activation sur l'élargissement du diamètre des pores, et d'autre part, elle sert de test pour évaluer l'efficacité des charbons actifs obtenus dans les applications en phase aqueuse **[76]**.

III.11.2. Indice de mélasse :

L'évaluation du charbon actif, notamment en ce qui concerne son indice de mélasse, revêt une importance capitale pour déterminer sa qualité et ses performances. L'indice de mélasse est un paramètre crucial qui peut varier en fonction du type de charbon actif utilisé. Pour les granules de charbon actif, cet indice oscille généralement entre 330 et 600 à 1100 mg/g. Cette mesure revêt une grande signification car elle témoigne de la capacité du charbon actif à adsorber de petites molécules, une caractéristique essentielle dans de nombreux domaines d'application, notamment dans le traitement de l'eau et des gaz. Un indice de mélasse élevé traduit une capacité d'adsorption accrue. Par conséquent, un charbon actif affichant un indice de mélasse plus élevé pourrait être plus efficace pour éliminer les impuretés et les contaminants de l'eau ou des gaz **[76]**.

III.11.3. Indice Tanin :

Les tanins sont un mélange de molécules de grande et moyenne taille. Carbones avec une combinaison des macrospores et des mésopores adsorbent les tanins. La capacité d'un charbon à adsorber les tanins est rapportée en partie par million de concentrations (plage de 200 ppm à 362 ppm) **[77]**.

III.11.4. Indice de bleu de méthylène :

Certains carbones ont une structure méso poreuse (20 Å à 50 Å, ou 2 à 5 nm) qui adsorbées molécules de taille moyenne, comme le colorant bleu de méthylène. L'adsorption du bleu de méthylène est rapportée en g/100g (fourchette de 11 à 28 g/100g) **[77]**.

III.11.5 Indice de butane :

L'indice de butane mesure le nombre de grammes de butane adsorbés par 100 g de charbon actif. Sa valeur peut varier de 20 à 80 %. Certaines normes font également référence à la BWC (Butane Working Capacity), un indice volumétrique qui mesure le nombre de grammes de butane adsorbé par 100 ml de charbon, déduction faite de la quantité restituée par désorption naturelle. L'indice de butane n'estime que la capacité d'adsorption **[77]**.

III.11.6 Indice de tétrachlorure de carbone :

L'indice de tétrachlorure de carbone est la mesure de la porosité d'un charbon actif par l'adsorption de vapeur saturée de tétrachlorure de carbone **[77]**.

III.11.7. Longueur de demi-valeur de dé chloration :

Certains carbones sont évalués sur la base de la demi-longueur de déchloration, qui mesure l'efficacité d'élimination du chlore du charbon actif. La demi-valeur de déchloration la longueur est la profondeur de carbone nécessaire pour réduire le niveau de chlore d'un flux de 5 ppm à 3,5 ppm. Une longueur de demi-valeur inférieure indique des performances supérieures **[77]**.

III.11.8 Densité :

Une densité plus élevée fournit une plus grande activité de volume et indique normalement une meilleure qualité charbon actif **[77]**.

III.11.9. Dureté / Nombre d'abrasion :

C'est une mesure de la résistance du charbon actif à l'attrition. C'est un indicateur important de charbon actif pour maintenir son intégrité physique et résister aux forces de frottement imposées par contre-lavage, etc. Il existe de grandes différences dans la dureté des charbons actifs, en fonction de la matière première et du niveau d'activité **[77]**.

III.11.10. Teneur en cendre :

Une autre caractéristique à considérer est la fraction de cendres, une composante inorganique, inerte et amorphe présente dans le charbon actif. Souvent composées de sels de calcium et d'oxydes métalliques, les cendres ne contribuent pas aux propriétés adsorbants du matériau. Un faible taux de cendres est généralement associé à une meilleure qualité du charbon actif. Cependant, ce taux tend à augmenter lors du processus de régénération **[78]**.

III.11.11. Porosité :

La porosité désigne les espaces vides, ou pores, présents dans un matériau solide, lesquels peuvent être occupés par des fluides tels que des liquides ou des gaz. C'est une propriété physique qui se définit comme le rapport entre le volume des vides et le volume total d'un milieu poreux. Sa mesure varie de 0 à 1, ou en pourcentage, de 0% à 100% **[79]**.

III.11.12. Répartition granulométrique *:*

Plus la granulométrie d'un charbon actif est fine, meilleur est l'accès à la surfacée plus rapide le taux de cinétique d'adsorption. Dans les systèmes en phase vapeur, cela doit être pris en compte contre la chute de pression, ce qui affectera le coût de l'énergie. Une attention

particulière à la taille des particules distribution peut offrir des avantages opérationnels significatifs **[77]**.

III.12. Conclusion :

En somme, l'adsorption représente une technique clé dans la lutte contre la pollution et la purification, grâce à ses nombreuses applications dans divers secteurs industriels et environnementaux. À travers ce chapitre, une compréhension approfondie des principes de base de l'adsorption, des mécanismes sous-jacents, des lois cinétiques et des isothermes permettra de mieux apprécier son efficacité et ses diverses applications. Le charbon actif, en particulier, sera étudié de manière détaillée en raison de son rôle crucial dans le traitement des eaux, mettant en lumière son importance et son efficacité dans ce domaine essentiel.

Chapitre IV : Partie expérimentale

IV.1. Introduction :

Une station d'épuration des eaux usées représente une infrastructure conçue pour traiter les déchets liquides provenant de résidences, d'industries et d'autres sources avant leur réintroduction dans l'environnement. Le processus de traitement a pour objectif d'éliminer les impuretés et les contaminants contenus dans les eaux usées, tels que les matières organiques, les produits chimiques, les métaux lourds et les micro-organismes pathogènes. Pour ce faire, les stations d'épuration emploient diverses techniques, notamment la filtration, la décantation, la désinfection et la bio filtration, afin de purifier les eaux usées avant leur rejet dans les cours d'eau ou leur recyclage à des fins non potables. Ces installations jouent un rôle crucial dans la préservation de l'environnement et la protection de la santé publique en traitant efficacement les eaux usées avant leur retour dans la nature.

IV.2. Présentation de la région Haoud Berkaoui :

Sur la route RN°49 dite des pétroliers reliant Ghardaïa à Hassi Messaoud, et à 35 Km au sud–ouest d'Ouargla, un carrefour indique la présence d'un champ pétrolier, il s'agit de la région de Haoud Berkaoui. Cette région est située à 142 Km de Hassi Messaoud, à 770 Km au sud de la capitale Alger. Elle s'étend du sud est de Ghardaïa jusqu'au champ extrême de Boukhzana, près de la route de Touggourt (Figure I.1) **[80]**.

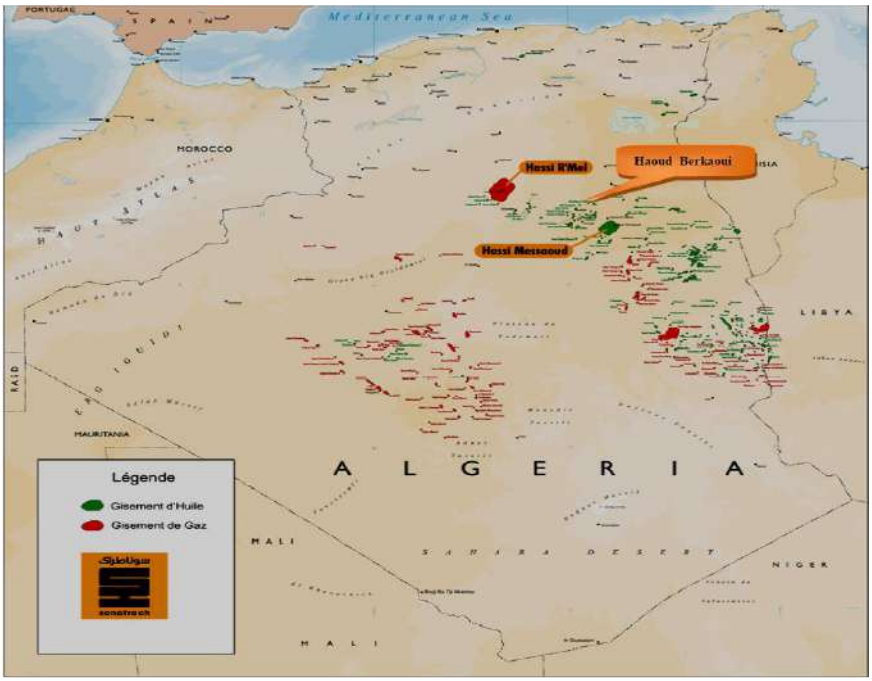

Figure IV.1 : Situation géographique de la région Haoud Berkaoui.

IV.3. Principaux champs de Haoud Berkaoui :

Pendant 39 ans, la région HBK a connu des changements très importants au fur et à mesure de son développement. Elle renferme actuellement trois importants champs de production : Haoud Berkaoui (HBK), Benkahla (BKH) et Guellala (GLA).

- **Champ de Haoud Berkaoui (HBK) :** Sur une superficie de 175 Km^2, ce champ est découvert en 1965, et mis en production en Janvier 1967.

- **Champ de Ben kahla (BKH) :** Ce champ est découvert en 1966, sur une superficie de 286 km_2 et mis en production en 1967.

- **Champ de Guellala (GLA) :** Le champ de GLA est découvert en 1969, il s'étend sur une superficie de 99 Km^2.

IV.4. Description de la station d'épuration des eaux usées HBK :

Il est essentiel que la station d'épuration biologique des eaux usées domestiques assure le traitement des eaux polluées et les rejette dans la nature en respectant les normes de rejet autorisées par l'OMS (Organisation Mondial de la Santé), c'est-à-dire en respectant les normes de rejet autorisées par l'OMS**:**

- 6.5 < PH < 8.5 ;
- MES (mg/l) < 30 ;
- DCO (mg/l) < 90 ;
- DBO5 (mg/l) < 30 ;
- Azote Ammoniacal (mg/l) < 01 ;
- Phosphate (mg/l) < 16.

La STEP de Haoud Berkaoui utilise un principe de traitement basé sur une épuration biologique basée sur des boues activées à faible charge (Aération prolongée). Voir le schéma ci-dessous.

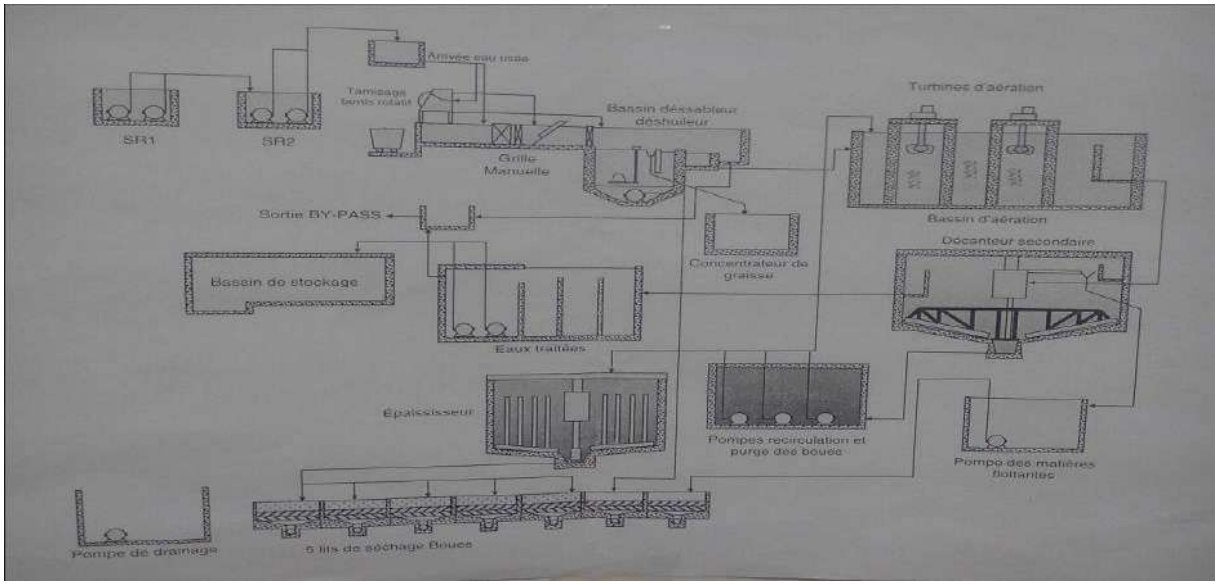

Figure IV.2 : Station d'épuration des eaux usées HBK.

Le procédé de traitement présenté dans la figure ci-dessus comporte les étapes suivantes :

IV.4.1. Prétraitement :

Dans le but de supprimer tout ce qui pourrait entraver le traitement. En arrivant au collecteur, les eaux usées sont soumises à la première étape du prétraitement, qui consiste en un tamisage. Les gros déchets sont ensuite retenus et stockés dans un bac. Ensuite, ces eaux passent par la phase de Dessablage-Déshuilage, où la séparation du sable et des huiles est accélérée grâce à l'injecteur d'air de l'Aeroflot. Au fond de l'installation de Dessableur/Déshuileur (20.46 m^3), une pompe immergée est utilisée pour extraire les sables vers les lits de séchage de sable. Cependant, les huiles sont évacuées par un concentrateur d'huiles avant d'être évacuées par un camion hydro cureur.

(a). Dessableur /déshuileur **(b).** Dégrillage.

Figure.VI.3. (a). Dessableur /déshuileur

(b). Dégrillage.

IV.4.2. Traitement secondaire (Traitement biologique) :

L'objectif est de supprimer la matière organique biodégradable en utilisant des micro-organismes aérobiques. Une fois le prétraitement terminé, l'effluent est dirigé vers le bassin d'aération, qui présente une forme rectangulaire (290 m^3). Grâce à deux turbines d'aération et à la recirculation des boues, les bactéries épuratrices sont alimentées en O_2, tandis que les boues activées sont maintenues en suspension afin de favoriser un contact optimal entre les eaux usées et les bactéries.

Le traitement secondaire est une épuration biologique réalisé dans un ensemble complet qui comprend :

- **Bassin d'aération :** au cours du traitement biologique, l'effluent passe vers un bassin d'aération de forme rectangulaire et d'une capacité de 290 m^3 équipé de deux aérateurs de surface à axe vertical reposant sur une passerelle en béton armé. Un oxymètre permet le contrôle continu de la teneur en oxygène de la biomasse et la régulation de la vitesse des aérateurs.

- **Bassin de clarification (décantation secondaire) :** l'effluent sortant du bassin d'aération est clarifié dans un décanteur secondaire (clarificateur) de forme circulaire et d'une capacité de 90 m^3 équipé d'un racleur de surface qui racle les matières flottantes vers les lits de séchage.

- **Recirculation des boues :** les boues décantées sont acheminées par gravité du fond du décanteur au poste de recirculation, puis pompées vers le bassin d'aération à l'aide de deux pompes immergées fonctionnent en alternance **[80]**.

Figure IV.4 : Bassin d'aération.

La station d'épuration doit garantir à la fin du traitement, une eau de qualité conforme aux normes de rejets présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.1 : Normes des rejets des eaux usées appliquées au niveau de la région Haoud Berkaoui fixées par la législation Algérienne **[80]**.

Type d'analyse Unité Normes	Unité	Normes
Température	°C	30
pH	/	6.5-8.5
Conductivité	µs/cm	800-3000
Turbidité	NTU	30
Matière en suspension (MES)	mg/L	≤ 30
Hydrocarbures totaux	mg/L	≤ 5
Demande chimique d'oxygène (DCO)	mg/L	≤ 90
Demande biochimique d'oxygène (DBO_5)	mg/L	≤ 30
Nitrate (NO_3^-)	mg/L	≤ 50
Nitrite (NO_2^-)	mg/L	≤ 0.1
Ammoniac ($N\text{-}NH_4^+$)	mg/L	≤ 0.1
Phosphore (PO_4^{3-})	mg/L	≤ 16

IV.4.3. Traitement tertiaire :

La clarification de l'effluent se fait dans le décanteur secondaire, également appelé clarificateur, qui est un ouvrage circulaire de 90m3. Il est équipé de deux racleurs : l'un en surface pour éliminer les matières flottantes vers le lit de séchage des flottants, et l'autre au fond pour empêcher la boue décantée de se colmater. Les boues décantées sont acheminées par gravité du fond du décanteur vers le poste de recirculation, puis pompées vers le bassin d'aération à l'aide de deux pompes immergées fonctionnant en alternance. L'excès de boue est évacué vers l'épaississeur avec une pompe immergée, puis vers les lits de séchage avec une pompe hélicoïdale. Les eaux clarifiées s'écoulent par gravité vers le bassin de désinfection à l'hypochlorite de sodium (NaClO) à 47° de concentration, avant d'être transférées vers le bassin de stockage pour être utilisées dans l'irrigation.

IV.4.4. Traitement des boues :

A. Épaississement des boues :

L'épaississement des boues a pour but de concentrer au maximum les boues à envoyer sur les lits de séchage. Cette dernière est évacuée à l'aide d'une pompe immergée vers un épaississeur en béton armé de forme cylindrique à fond conique de 3 m de diamètre **[81]**.

Figure IV.5 : Épaississement des boues **[81]**.

B. Déshydratation des boues :

Les boues épaissies sont épandues sur 7 lits de séchage à l'aide d'une pompe hélicoïdale pour y être déshydratées naturellement. Les lits sont formés d'aires délimitées par des murettes en béton armé et d'une couche de sable disposée sur une couche support de gravier **[82]**.

Figure IV.6 : Lits de séchage.

IV.5. Matériels, produits et méthode :

IV.5.1. Appareillage :

La partie expérimentale de cette étude a été réalisée dans le laboratoire de traitement de corrosion à Haoud Berkaoui. Les appareils employés dans cette partie sont :

A. PH-mètre :

Le pH-mètre est un appareil permettant de mesurer le pH d'une solution. Il est constitué de deux éléments : un boitier électronique qui affiche la valeur du pH et une électrode qui mesure cette valeur.

- **Principe de fonctionnement :**

  Le fonctionnement du pH-mètre est basé sur le rapport entre la concentration en ions H_3O^+ et la différence de potentiel électrochimique qui s'établit dans l'électrode de verre **[81]**.

Figure IV.7 : PH-mètre de laboratoire.

- **Mode opératoire :**

✓ Rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée ;
✓ Mettre en marche le potentiomètre ;
✓ Introduire l'électrode dans la solution à analyser ;
✓ Appuyer sur Lecture ;
✓ Lire la valeur affichée, mais après la stabilisation.

B. Le Turbidimètre :

La turbidimétrie est le processus de mesure de la perte d'intensité de la lumière transmise due à l'effet de diffusion des particules en suspension dans celle-ci. La lumière passe à travers un filtre créant une lumière de longueur d'onde connue qui est ensuite passée à travers une cuvette contenant une solution. Une cellule photoélectrique collecte la lumière qui traverse la cuvette. Une mesure est alors donnée pour la quantité de lumière absorbée **[82]**.

- **Principe de fonctionnement :**

Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui traverse le milieu par rapport à la quantité de lumière qui est

réfléchie par les particules dans l'eau.

Mode opératoire :

1. Mettre en marche le Turbidimètre ;
2. Introduire la longueur d'onde, le numéro de programme ;
3. Presser 'READ/ENTRE', l'affichage indique 'FTU Turbidité' ;
4. Remplir une cellule avec '10 ml'
5. Placer le blanc dans le puits de mesure, fermer le capot ;
6. Presser 'ZERO', l'affichage indique '0 FTU' ;
7. Verser '10 ml' d'eau à analyser dans la seconde cellule ;
8. Verser '10 ml' d'eau à analyser dans la seconde cellule ;
9. Placer la cellule dans le puits de mesure, fermer le capot ;
10. Presser 'ENTER', l'affichage indique : 'ATTENDRE' ;

Figure IV.8. Le Turbidimètre.

C. Le Conductimètre :

Principe de fonctionnement :

La conductivité électrique mesure le pouvoir d'une eau, le courant est produit par les ions inorganiques présents à l'état dissous. La détermination de la conductivité s'effectue par la mesure la résistance de potentiel est appliquée entre les électrodes immergées dans la solution et la chute de potentiel engendré par la résistance da la solution est inversement proportionnelle à la conductivité de l'eau.

Mode opératoire :

- ✓ Rincer abondamment la sonde à l'eau déminéralisée avant l'utilisation ;
- ✓ Mettre en marche le conductimètre ;
- ✓ Introduire la sonde dans la solution à analyser ;
- ✓ Appuyer sur Lecture ;
- ✓ Lire la valeur affichée, mais après la stabilisation.

Figure IV.9 : Le conductimètre.

D. Mesure des matières en suspension (MES) :

- **Principe :** L'eau est filtrée et les matières retenues sont séchées et pesées
- **Réactifs :**

✓ le filtre doit être lavé par l'eau distillée ;

✓ Eau distillée.

- **Appareillages de mesure :**

Figure IV.10 : Dessiccateur.

Figure IV.11 : Étuve réglable à '100~105 °C'.

Figure IV.12 : Dispositif de filtration sous pression.

➢ Balance.

➢ Disques filtrants en fibre de verre type 'AP 20'

- **Mode opératoire :**

✓ Laver le filtre à l'eau distillée, sécher le à '100~105 °C ;

✓ Peser le filtre après le refroidissement dans un dessiccateur, soit 'P0',

✓ Mettre en marche le dispositif de filtration sous pression ;

✓ Verser la prise d'essai (≥ 1000 ml) sur le filtre ;

✓ Laver le récipient de la prise d'essai avec l'eau distillée ;

✓ Sécher le filtre plein à l'étuve à '100~105 °C' pendent 30 min ;

✓ Peser le filtre plein après le refroidissement au dessiccateur, soit 'P1'

E. Mesure des Nitrates NO_3^- :

- **Principe :**

Le cadmium métallique contenu dans les gélules des réactifs réduit les nitrates présents dans l'échantillon en nitrites. Les nitrites réagissent en milieu acide sulfanilique pour former un sel de d'ionium. Ce sel réagit avec l'acide gentisique pour former un complexe coloré ambre. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration en nitrates.

- **Réactifs :** Gélules de 'Nitra Ver 5'

- **Appareillage :** - Cellules en verre de ‘10 ml’ de capacité ;
  - Spectrophotomètre ‘DR 850’

Figure IV.13 : Appareil de mesure des Nitrates**.**

F. Mesure des nitrites NO_2^- :

- **Principe :**

Pour les faibles teneurs : le principe consiste à la réaction des nitrites présents dans l’échantillon avec l’acide sulfanilique pour former un sel de diazonium qui réagit avec l’acide chromotropique pour produire un complexe coloré rose dont la coloration est proportionnelle aux nitrites présents Pour les fortes concentrations : la méthode utilise le résultat ferreux en milieu acide pour réduire les nitrites en oxyde nitreux. L’ion ferreux se combine avec l’oxyde nitreux pour former un complexe brun verdâtre dont la coloration est proportionnelle aux nitrites présents.

- **Réactifs :** Gélules de ‘Nitri Ver 3’
- **Appareillage :** - Cellules en verre de ‘10 ml’ de capacité ;
  - Spectrophotomètre ‘DR 850’.

F. Mesure des phosphores réactifs PO_4^{3-} :

- **Principe :**

Les phosphores dans les eaux naturelles et usées se trouvent uniquement sous forme de phosphate. La seule forme de phosphate susceptible d’être déterminer directement est orthophosphte. Toutes les autres formes requièrent un prétraitement pour les transformer en orthophosphate et analyser. Orthophosphate réagit avec le molybdate en milieu acide pour produire un complexe phosphomolybdate. L’acide ascorbique réduit le complexe, donnant une coloration intense de bleu de molybdène.

- **Réactifs :** Gélules de ‘Phos Ver 3’.
- **Appareillage :** - Cellules en verre de ‘10 ml’ de capacité ;
  - Spectrophotomètre ‘DR 850’.

G. Mesure de l’Azote Ammoniacal N-NH_4^+ :

- **Réactifs :** - Gélules de ‘Salicylate’ ;
  - Gélules de ‘Cyanurâtes’ ;
  - Eau distillée.
- **Appareillage :** - Cellules en verre de ‘10 ml’ de capacité ;
  - Spectrophotomètre ‘DR 850’

H. Mesure de la Demande Chimique en Oxygène DCO :

- **Principe :**

Le test DCO consiste en la mesure de l’oxygène équivalent à la qualité de matières organiques oxydable par le dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$, dans une solution d’acide sulfurique à 50%. Un composé à base de d’argent est ajouté comme catalyseur. Un composé mercurique est ajouté pour réduire l’interférence due à l’oxydation des ions chloriques par dichromate. L’oxydation s’effectue en une température de 148 °C pendant deux heures. La lecture se fait par colorimétrie.

- **Réactifs :** - Tube DCO ;
  - Eau distillée
- **Appareillage :** - Pipette jaugée à ‘2ml’ ;
  - Adaptateur de tube DCO sur DR/850 ;
  - Portoir pour tube DCO - Réacteur à 148 °C (DCO 120/240 V) ;
  - Spectrophotomètre HACH type DR/850

I. Mesure de la Demande Biochimique en Oxygène DBO_5 :

- **Principe :**

En fonction de la valeur de la DCO mesurée et de la valeur de DBO_5 suspectée, On introduit une quantité d’eau dans un flacon de mesure qui est relié au système manométrique. L’oxygène est absorbé par les micro-organismes pour dégrader la matière organique. Le CO2 produit est absorbé par la soude. La valeur s’affiche au système numérique de mesure.

- **Réactifs :** Pastille de soude caustique
- **Appareillage :** - Flacon d'échantillon sombre en verre de '500 ml' de capacité ;
  - Barreau magnétique d'agitation ;
  - Armoire thermo statée à '20 °C'(Incubateur) ;
  - Flacon avec pastille de soude ;
  - Dispositif d'agitation.
- **Mode opératoire :**

La valeur de la prise d'essai est déterminée en fonction des résultats attendus et en fonction de la valeur de DCO.

Marge de DBO	Volume de d'eau (ml)	Coefficient de conversion
0-40	**432**	**1**
0-80	**365**	**2**
0-200	**250**	**5**
0-400	**164**	**10**
0-800	**97**	**20**
0-2000	**43.5**	**50**
0-4000	**22.7**	**100**

Nous avons utilisé aussi :

- Four type carbolite CWF/1300;
- Balance type ADAM ;
- Agitateur type HEIDOLPH.

Figure IV.14 : Photos du Four, balance et agitateur**.**

IV.6. Échantillonnage :

IV.6.1. Échantillonnage des eaux domestiques :

Les prélèvements sont effectués une fois par jour, aux points suivants :

- À l'entrée (après dégrillage dessablage/déshuilage) :

Figure IV.15 : L'entrée de l'eau.

- À la sortie (après chloration) :

Figure IV.16 : la sortie de l'eau.

IV.6.2. Échantillonnage des boues sèches :

Nous prélevons un échantillon des boues présentées ci-dessous :

Figure IV.17 : Lit de séchage des boues

IV.7. Préparation des adsorbants :

IV.7.1. Préparation de la boue naturelle :

- **Appareillage :** - Un Broyeur ;
  -Un échantillon.
- **Mode opératoire :**

Nous collectons un échantillon de boue et le broyons à l'aide d'un Broyeur

IV.7.2. Préparation du charbon actif :

- **Carbonisation et activation :**
- **Appareillage :** - Dispositif de filtration sous pression ; Four et balance.
- **Réactifs :** - Eau distillée
  - soulition de NaOH.

IV.7.3. Mode opératoire :

- **Préparation de la boue :**
  - Broyez la boue jusqu'à obtenir une texture homogène.
- **Carbonisation :**
  - Placez la boue broyée dans un four préchauffé à 600°C.
  - Laissez carboniser pendant 20 minutes.
- **Activation :**
  - Préparez une solution de 150 ml de NaOH.
  - Pesez 56 grammes de charbon carbonisé.

- Immergez le charbon dans la solution de NaOH pendant deux heures.

- **Lavage et filtration :**
  - Lavez le charbon activé pour stabiliser le pH entre 7 et 8.
  - Filtrez soigneusement pour éliminer les résidus de NaOH.

- **Séchage :**
  - Placez le charbon lavé dans un four à 120°C.
  - Laissez sécher pendant 24 heures.

À l'issue de ce processus, le charbon devient du charbon actif, prêt à être utilisé pour la filtration de l'eau.

IV.8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons détaillé les différentes étapes expérimentales mises en œuvre pour évaluer l'efficacité de la station d'épuration des eaux usées domestiques étudiée. Les méthodologies employées, allant de la caractérisation des effluents à l'analyse des performances des procédés de traitement, ont permis de recueillir des données précises avec des résultats détaillés dans le dernier chapitre suivant.

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons et analysons les résultats obtenus au cours de notre étude. Les données collectées sont examinées sous divers angles pour en extraire des insights pertinents et des tendances significatives. En basant sur la présentation des résultats et leur interprétation dans le contexte de notre problématique de recherche.

V.2. Qualité des eaux usées domestiques :

Les résultats de l'analyse d'un échantillon d'eau domestique prélevé à la sortie du bac tampon, à l'entrée de la station d'épuration sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau V.1: Résultats de l'analyse de l'eau usée domestique brute.

Paramètres	Valeurs
Température (°C)	**26.3**
pH	**7.56**
Turbidité (NTU)	**181.00**
CE (ms/cm)	**4.33**
MES (mg/L)	**227.00**
DCO	**470.00**
DBO_5	**/**
NO_3^-	**3.2**
NO_2^-	**0.00**
$N\text{-}NH_4^+$	**0.33**
PO_4^{3-}	**3.32**

- ***Interprétation des résultats :***

L'eau traitée au niveau de la station d'épuration est caractérisée par un pH légèrement acide, une turbidité élevée et un taux important de MES et de DCO, ainsi que des valeurs basses des : CE, NO_3^-, $N\text{-}NH_4^+$ et en fin PO_4^{3-} comme les représentés le tableau ci-dessus.

La comparaison des résultats obtenus avec les normes de rejets des eaux usées appliquées au niveau de la région Haoud Berkaoui fixées par la législation Algérienne (Tableau VI.1) montre que mis à part le pH et la température, les paramètres analysés présentent des valeurs dépassant largement la norme ce qui témoigne d'une pollution importante de l'eau domestique traitée au niveau de la station d'épuration.

Afin de réduire et/ou d'éliminer cette pollution mise en évidence, l'eau domestique polluée à été soumise a deux traitements biologique et par charbon actif. Les spécificités et

l'efficacité de chacun des procédés appliqués sont détaillées au fur et à mesure à travers ce chapitre.

V.3.Traitement des eaux usées domestiques par traitement biologique :

V.3.1. Efficacité du traitement avec l'oxygène O_2 :

Les résultats d'analyse des paramètres de qualité des eaux usées domestiques par le traitement biologique sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.2: Résultats de l'analyse des eaux usées domestiques par traitement biologique.

Paramètres	Eau usée domestique brute	Eau usée domestique après Traitement par O_2	Rendement de traitement (%)
pH	7.56	7.99	-5.68
Température (°C)	26.3	24.5	6.84
Turbidité (NTU)	181.00	2.01	98.88
MES (mg/L)	227.00	3.00	98.67
CE (ms/cm)	4.33	3.82	11.77
DCO	470.00	42.00	91.06
DBO_5	/	5.00	/
NO_3^-	3.2	3.00	6.25
NO_2^-	0.00	0.00	0.00
$N\text{-}NH_4^+$	0.33	0.19	42.42
PO_4^{3-}	3.32	2.12	36.14

- ***Interprétation des résultats :***

Le traitement des eaux usées domestiques par traitement biologique, précisément par O_2 permet :

- D'augmenter le pH de 5.68 % ;
- De diminuer la température de 6.84 % ;
- De diminuer la turbidité de 98.88 % ;
- De diminuer les MES de 98.67 % ;
- De diminuer la CE de 11.77 % ;
- De diminuer le DCO de 91.06 % ;
- De diminuer le NO_3^- de 6.25 % ;

- De diminuer le $N\text{-}NH_4^+$ de 42.42 % ;
- De diminuer le PO_4^{3-} de 36.14 %.

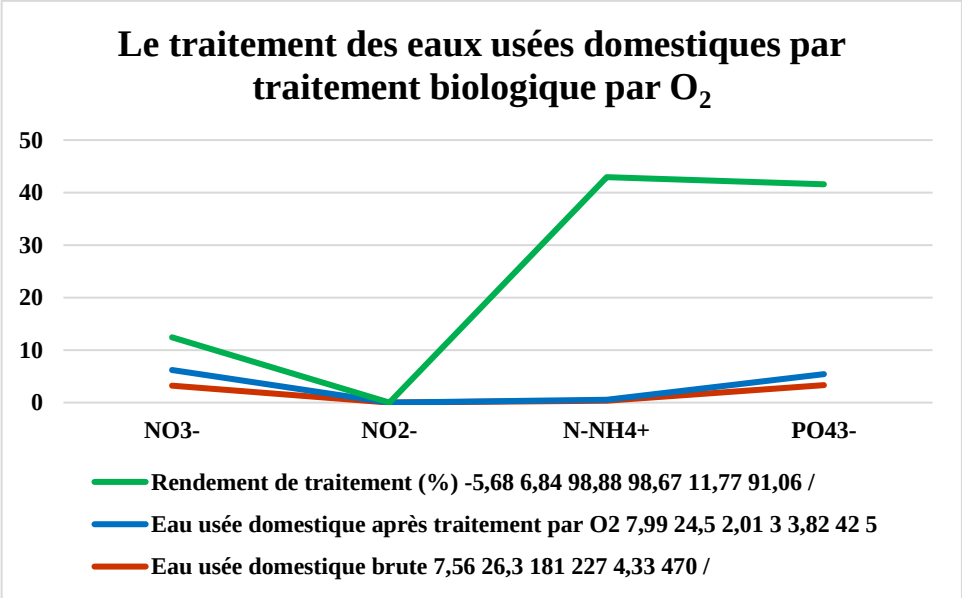

Figure V. 1 : Traitement des eaux usées domestiques par traitement biologique par O_2.

- ***Interprétation des résultats :***
- Le pH a légèrement augmenté après le traitement, passant d'une valeur neutre à légèrement alcaline. Le rendement négatif indique une augmentation du pH.
- La température a diminué légèrement après le traitement. Une baisse de température peut être due à des échanges thermiques durant le traitement.
- La turbidité a considérablement diminué, indiquant une clarification efficace de l'eau par le traitement.
- Les matières en suspension ont été largement éliminées, reflétant une efficacité élevée du traitement.
- Une légère réduction de la conductivité électrique, indiquant une diminution des ions dissous après traitement.
- Réduction significative de la DCO, démontrant une bonne élimination de la matière organique.
- La DBO5 n'est pas mesurée dans l'eau brute. La valeur après traitement indique une réduction de la charge organique biodégradable.
- Légère diminution des nitrates après traitement, indiquant une faible élimination de ces composés.
- Réduction notable de l'ammonium, indiquant une nitrification partielle ou élimination par d'autres processus.

- Réduction des phosphates après traitement, reflétant une efficacité modérée dans l'élimination de ces nutriments.

V.4.Traitement des eaux usées domestiques par adsorption sur charbon actif CA-NaOH-15 :

V.4.1. Réduction du pH de charbon actif CA-NaOH :

Les résultats de réduction du pH de notre charbon actif CA-NaOH-15 est réduit par l'eau distillée durant 7 jours sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.3 : La diminution de la valeur de pH en fonction du temps.

Temps (jour)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
pH	13.4	13	12.8	12	11.99	11.5	10.36	10	9.5	8.86	8

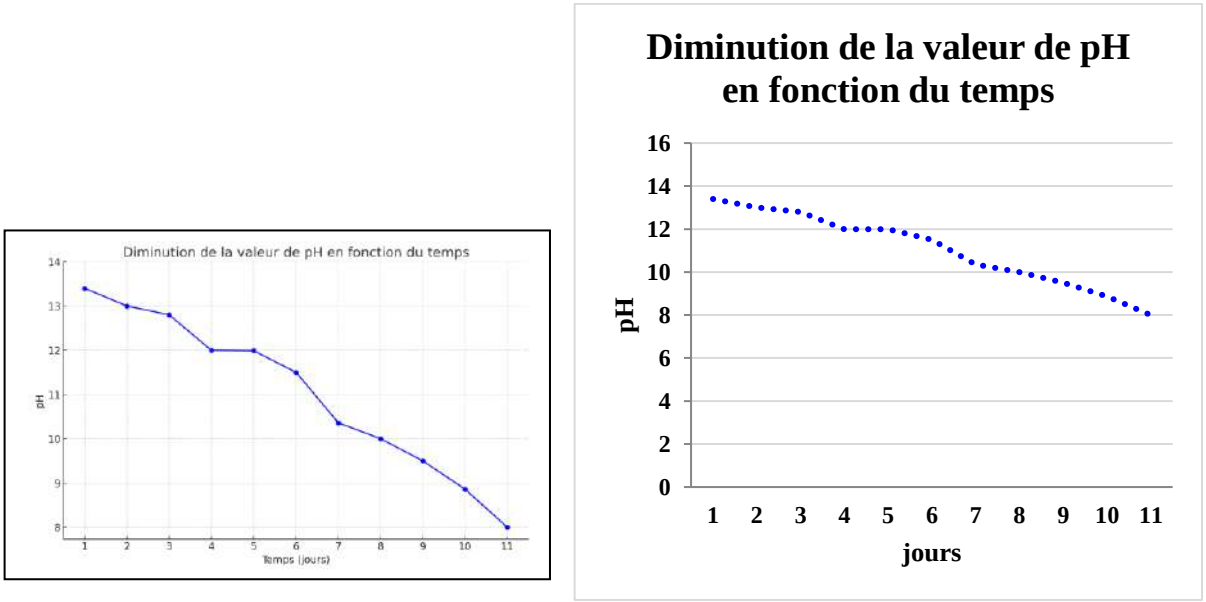

Figure V. 2 : Diminution de la valeur de pH en fonction du temps.

- ***Interprétation des résultats :***

La courbe ci-dessus montre la diminution de la valeur de pH en fonction du temps. On peut clairement voir la tendance générale de diminution du pH sur les 11 jours.

- Les variations importantes aux jours 6 et 7 ainsi qu'aux jours 9 et 10 sont bien visibles.
- La tendance à la stabilisation vers la fin de la période est également apparente.

V.4.2. Efficacité du traitement avec le charbon actif : CA-NaOH-15 :

Les résultats de l'analyse de l'eau domestique traitée par adsorption durant (7/10/15) jours sur un charbon de boue activé avec de l'hydroxyde de sodium NaOH (15%) sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.4: Résultats de l'analyse de l'eau domestique traitée par adsorption sur charbon actif : CA-NaOH-15.

Paramètres	Eau usée domestique Brute	Eau domestique après Traitement par CA-NaOH-15	Rendement de Traitement (%)
pH	**7.56**	**8.2**	**-8.46**
Température (°C)	**26.3**	**24.2**	**7.98**
Turbidité (NTU)	**181.00**	**10.8**	**94.03**
MES (mg/L)	**227.00**	**25.00**	**88.98**
CE (ms/cm)	**4.33**	**4.76**	**-43**
DCO	**470.00**	**295.00**	**37.23**
DBO_5	**/**	**75.00**	**/**
NO_3^-	**3.2**	**3.3**	**3.125**
NO_2^-	**0.00**	**3.00**	**100**
$N\text{-}NH_4^+$	**0.33**	**6.8**	**95.14**
PO_4^{3-}	**3.32**	**0.22**	**93.37**

- ***Interprétation des résultats :***

Le traitement des eaux usées par adsorption sur le CA-NaOH-15 permet :

- D'augmenter le pH de 8.46 % ;
- De diminuer la température de 7.98% ;
- De diminuer la turbidité de 94.03% ;
- De diminuer les MES de 88.98%.
- De diminuer la CE de 43%.
- De diminuer le DCO de 37.23%.
- D'augmenter le NO_3^-de 3.125%.
- D'augmenter le NO_2^- de 100 %.
- D'augmenter le $N\text{-}NH_4^+$ de 95.14 %.
- De diminuer le PO_4^{3-} de 93.37%.

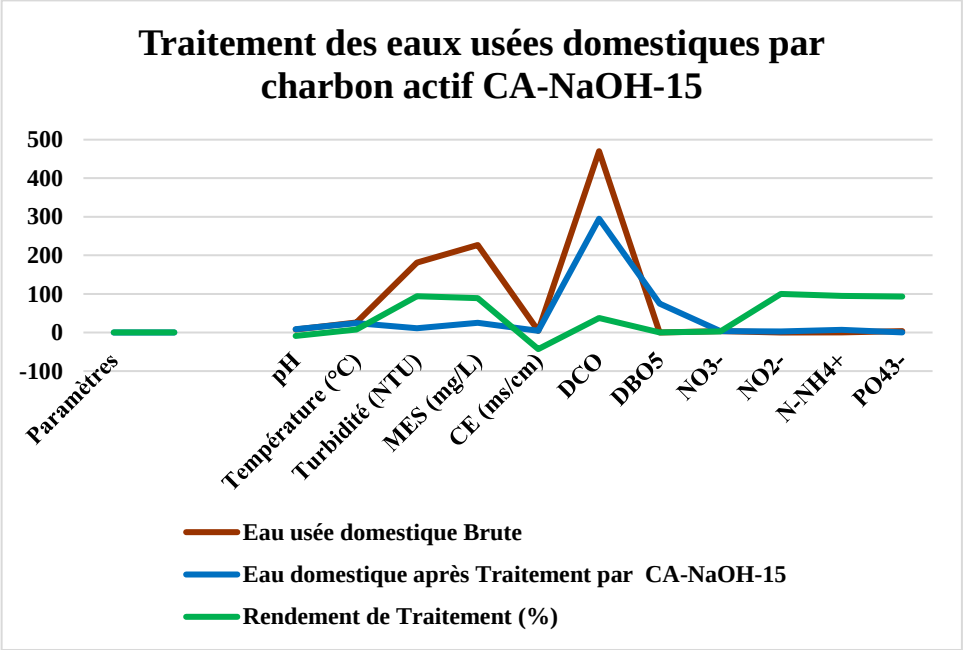

Figure V. 3 : Le traitement des eaux usées domestiques par adsorption sur le CA-NaOH-15.

- ***Interprétation des résultats :***

Nous pouvons déduire à partir de la courbe représentée ci-dessus les remarques suivantes :

- pH : Légère augmentation après traitement, indiquant une tendance vers l'alcalinité. Cependant, le rendement de traitement est négatif, ce qui suggère que le traitement a augmenté le pH au lieu de le réduire.
- Température : Légère diminution après traitement, ce qui est normal dans des procédés de traitement.
- Turbidité et MES (matières en suspension) : Les valeurs diminuent considérablement, ce qui montre une bonne efficacité de clarification.
- Conductivité Électrique (CE) : Légère augmentation, ce qui pourrait indiquer une augmentation des ions dissous après traitement.
- Demande Chimique en Oxygène (DCO) : Diminution, mais le rendement est modéré, ce qui suggère une élimination partielle de la matière organique.
- NO_2^- : Augmentation significative, probablement en raison de la conversion de $N^-NH_4^+$.
- $N\text{-}NH_4^+$ et PO_4^{3-} : Réduction significative, montrant une bonne élimination de ces polluants.

V.4.3. Comparaison des eaux usées domestiques entre le traitement biologique et celui du charbon actif (CA-NaOH-15) :

Afin de choir lequel des traitements étudiés est adéquat pour le traitement des eaux usées domestiques dans la région de Haoud Berkaoui, nous avons élaboré un tableau récapitulatif des résultats obtenus après chaque traitement.

Les résultats de traitement des eaux usées domestique avec le traitement biologique par O_2 et celui par charbon actif CA-NaOH-15 sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.5 : Comparaison des résultats entre traitement par O_2 et par CA-NaOH-15.

Paramètres	Eau usée domestique après Traitement par O_2	Eau domestique après Traitement par CA-NaOH-15
pH	**7.99**	**8.2**
Température (°C)	**24.5**	**24.2**
Turbidité (NTU)	**2.01**	**10.8**
MES (mg/L)	**3.00**	**25.00**
CE (ms/cm)	**3.82**	**4.76**
DCO	**42.00**	**295.00**
DBO_5	**5.00**	**75.00**
NO_3^-	**3.00**	**3.3**
NO_2^-	**0.00**	**3.00**
$N\text{-}NH_4^+$	**0.19**	**6.8**
PO_4^{3-}	**2.12**	**0.22**

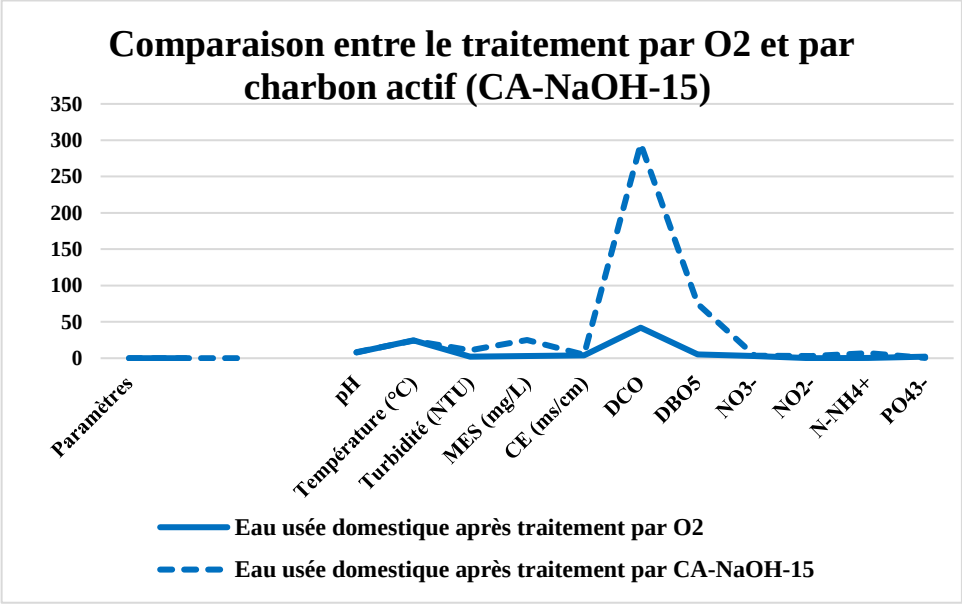

Figure V. 4 : Comparaison du traitement des eaux usées domestique avec le traitement biologique par O_2 et celui par charbon actif CA-NaOH-15.

- ***Interprétation des résultats :***

Les résultats obtenus nous permettent de distinguer que :

- pH : Les deux traitements montrent des pH relativement similaires, légèrement basiques.
- Température : La température est presque identique dans les deux cas, légèrement inférieure après traitement par CA-NaOH-15.
- Turbidité : Le traitement par CA-NaOH-15 augmente significativement la turbidité, indiquant une réduction de la clarté de l'eau.
- MES (Matières en Suspension) : Le traitement par CA-NaOH-15 augmente considérablement les MES, ce qui peut indiquer une réintroduction ou une incapacité à éliminer les particules solides.
- CE (Conductivité Électrique) : La conductivité augmente après traitement par CA-NaOH-15, ce qui suggère une augmentation des ions dissous dans l'eau.
- DCO (Demande Chimique en Oxygène) : La DCO est nettement plus élevée après traitement par CA-NaOH-15, indiquant une augmentation des matières organiques.
- DBO_5 (Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours) : La DBO_5 est également beaucoup plus élevée après traitement par CA-NaOH-15, ce qui signifie une plus grande quantité de matières organiques biodégradables.
- Nitrates (NO_3^-) : L'augmentation est minime, mais les nitrates sont légèrement plus élevés après traitement par CA-NaOH-15.
- Nitrites (NO_2^-) : Les nitrites passent de 0 à 3 mg/L, ce qui peut être préoccupant car les nitrites sont toxiques pour la vie aquatique.
- Ammonium ($N\text{-}NH_4^+$) : L'ammonium augmente considérablement après traitement par CA-NaOH-15, ce qui est indicatif d'une inefficacité de ce traitement pour éliminer l'azote ammoniacal.
- Phosphates (PO_4^{3-}) : Les phosphates sont fortement réduits après traitement par CA-NaOH-15, ce qui est positif pour la prévention de l'eutrophisation.

V.5. Conclusion :

Le traitement par O2 semble efficace pour la majorité des paramètres analysés, notamment la turbidité, les matières en suspension, la DCO, et l'ammonium. Les rendements négatifs ou faibles pour certains paramètres (comme le pH, les nitrates, et les phosphates) indiquent que le traitement pourrait être optimisé pour ces aspects spécifiques. La réduction

de la conductivité électrique et la température suggèrent une amélioration globale de la qualité de l'eau. Alors que, le traitement des eaux usées domestiques par le charbon actif CA-NaOH-15 s'est avéré efficace pour améliorer la qualité de l'eau en réduisant significativement la turbidité, les matières en suspension, et les nutriments tels que les phosphates et l'ammonium. Cependant, une attention particulière est nécessaire pour le suivi de la nitrification et de la conductivité électrique. Ces résultats montrent que le charbon actif CA-NaOH-15 peut être une méthode de traitement viable, bien qu'une optimisation des conditions de traitement soit recommandée pour maximiser les performances, notamment pour la réduction de la DCO et le contrôle des nitrites.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L’eau traitée au niveau de la station d’épuration est caractérisée par un pH légèrement acide, une turbidité élevée et un taux important de MES et de DCO, ainsi que des valeurs basses des : CE, NO_3^-, $N\text{-}NH_4^+$ et en fin PO_4^{3-} dépassant les normes appliquées dans la région.

À travers cette étude, nous avons exploré et comparé l'efficacité de deux méthodes de traitement des eaux usées domestiques : le traitement biologique par oxygène (O_2) et le traitement par charbon actif préparé (CA-NaOH-15). Les résultats expérimentaux ont révélé des différences significatives entre les deux approches, mettant en lumière les forces et les faiblesses de chaque méthode. Chacune de ces méthodes offre des avantages distincts, mais l'intégration des deux permet une approche complémentaire efficace.

Le traitement biologique par O_2 exploite l'activité des micro-organismes pour dégrader les contaminants organiques. Cette méthode est écologique et économique, mais peut parfois être insuffisante pour éliminer certains polluants récalcitrants ou pour atteindre les niveaux de pureté nécessaires pour une consommation sûre de l'eau.

C'est ici que le charbon actif joue un rôle vital. Grâce à sa structure poreuse et sa grande surface spécifique, le charbon actif est capable d'adsorber une large gamme de contaminants, y compris les composés organiques volatils, les pesticides, et même certains métaux lourds. Notre préparation de charbon actif a démontré une efficacité notable dans l'amélioration de la qualité de l'eau traitée, complétant ainsi les effets du traitement biologique.

En combinant le traitement biologique par O_2 et l'adsorption par charbon actif, nous obtenons une solution de traitement de l'eau domestique plus complète et robuste. Cette synergie permet non seulement de maximiser la réduction des contaminants, mais aussi de répondre aux exigences croissantes de qualité et de sécurité de l'eau potable.

En conclusion, le rôle du charbon actif dans le traitement de l'eau domestique est indéniable. Sa capacité à éliminer efficacement les contaminants résiduels après un traitement biologique en fait un composant essentiel des systèmes modernes de purification de l'eau. Pour un avenir durable, il est impératif de continuer à innover et à améliorer ces techniques, garantissant ainsi l'accès à une eau de qualité pour tous.

Références

[1]. Iqbal, F., Abdallah, Mohmmed Faysal, F. " Contrôle de qualité des eaux usées traitées au niveau de la STEP de Mostaganem ", Mémoire de master, Mostaganem : Université Abdelhamid Ibn Badis ; 2023.

[2]. Les types d'eaux usées : " définitions et caractéristiques " - Maji solutions (maji-solutions.com) 07-05-2024, 13:08.

[3]. Les différents types d'eaux usées - Oryx Eleven 07-05 -2024, 14:12.

[4]. MAPAQ - Eaux usées agricoles (gouv.qc.ca) 07-05-2024, 14:35.

[5]. Eaux usées industrielles - Types, composition & élimination (h2o-de.com) 08-05-2024, 08:15.

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

[7]. Nadia, M. Grégorio, C. Laurent. " Eaux industrielles contaminées ". Presses universitaires de Franche-Comté, 2017.

[8]. Lylia, B. and Nacera, M. " Suivi des paramètres physico-chimiques et biologiques des eaux brutes et traitées de la STEP Es ", Mémoire de master, Tizi-Ouzou, Diss, Université Mouloud Mammeri, 2018.

[9]. Nadia. M, Crini. G, and Roy, Laurent, " Eaux industrielles contaminées ", Presses universitaires de Franche-Comté, 2017.

[10]. Kahina. L, " Suivi de la qualité des eaux usées traitées de la STEP de BARAKI pour une réutilisation agricole ", Mémoire de Master en Traitement et Valorisation des Ressources Hydriques, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2017.

[11]. Matières en suspension – France Environnement, 08-05-2024, 13: 21.

[12]. Haroun. Met Moulay Cherif. E, " Élimination des huiles de la station de déshuilages de Haoud BERKAOUI par procèdes de coagulation floculation et adsorption par charbon actif ", Mémoire de Master en traitement des eaux, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018.

[13]. Metahri, M.S, " 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) U.M.M.T.O.2012.

[14]. Grosclaude, G. L'eau : Tome 2 : " Usages et polluants ", Edition INRA. Paris, p. 149, 1999.

[15]. Ahmed, K., " Traitement des eaux (les eaux potables) ", OPU, Alger, 1992.

[16]. Rueil-Malmaison. Degrémont, " Mémento technique de l'eau ", première édition Tome 1, 2003.

[17]. " Directives de qualité pour l'eau de boisson Genève ", OMS, 1985-1986.

[18]. "Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment ", Consumer's Guide to Drinking Water, 2006.

[19]. Degrémont Rueil-Malmaison, " Mémento technique de l'eau ", deuxième édition Tome 2, 2005.

[20]. Jean, R. " L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer ", 8ème édition, Edition dunod, p. 1983, 1996.

[21]. Site web : https://wikiwater.fr/ E21-Le-traitement-de-l-eau-par-filtration-lente- sur-sable ausagefamilial?fbclid=IwAR231Nrl9NnADUlw7BOogKx7DyDnuEoOfvls6kpeDLTUJ0w8SiB4 sQ_dCG0. 09-05-2024 08 :30

[22]. " Filtration de l'eau ", « www.waterlogic.fr/fontaine-a-eau/technologies/filtration de l'eau ».

[23]. Kabouya, H., " Responsable Affaires Formation/Traitement de l'Eau potable ".

[24]. Bruce, I. D, " Drinking Water Treatment: Sediment Filtration by Extension", Environmental Engineering Specialist Sharon O. Skipton, Extension Water Quality Educator University of Nebraska–Lincoln Extension, 2013.

[25]. Law B. Treatment, " The usage of domestic water filtration systems in Malaysia ", 2005.

[26]. "Improve Your Home & Life /The 10 Common Types of Water Filtration System at Home ", https://brizfeel.com/water-purification-system.

[27]. "Carbon Block Filter ", The Ultimate FAQ Guide https://www.filsonfilters.com/.

[28]. Woodard J., "What is a Reverse Osmosis Tank and How Does it Work Posted ", https://www.freshwatersystems.com/, 2019.

[29]. Meljac, L. " Étude d'un procédé d'imprégnation de fibres de carbone activées". Diss. École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2004.

[30]. Rodriguez, R. Molina, S, M. "Textural and chemical, characterization of microporous carbons ". Advances in Colloid and Interface Science.1998 ; 76:77. pp 271-294.

[31]. Madrau, S. " Caractérisation des adsorbants pour la purification de l'hydrogène par adsorption modulée en pression ". Thèse de doctorat. Université Paris 6. France. Décembre 1999.

[32]. Boonamnuayvitaya, V. Chaiya, C. Tanthapanichakoon, W. et Jarudilokkul, S. "Removal of heavy metals by adsorbent prepared from pyrolyzed coffee residues and clay. Separation and Purification Technology". 2004 ; 35: pp 11-22.

[33]. Samiha. Ch, Roufaida. B "Étude de l'efficacité adsorbante du charbon actif issue des déchets agricoles." mémoire de master des sciences de la matière de Université Mohamed Khider de Biskra,2021

[34]. Ismahane. G, and Aicha. H. "L'utilisation industrielle du charbon actif." Diplôme de licence en science des matières, Université Amar Telidji Laghouat, République algérienne démocratique et populaire (2013).

[35]. Octolia.T, et al. "Surface modification of activated carbon from sago waste." Journal of Metals, Materials and Minerals 33.1 (2023): 95-100.

[36]. Jayasinghe.S, et al. "Sustainable Synthesis of Highly Functionalized Activated Carbon using Plasma Technology." ChemPlusChem 87.10 (2022): e202200202.

[37]. Hernández-Monje.D, Liliana. G, and Juan C. "Enthalpic characterization of activated carbons with different surface chemistry with organic solvents and water." Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 142.4 (2020): 1511-1522.

[38]. Togibasa. O, et al. "Identification of surface functional group on activated carbon from waste sago." Journal of Physiques: Théories and Applications 5.1 (2021): 1-8.

[39]. Abdelkarim.M, "Synthèse d'un charbon actif à base de grignons d'abricot pour la dépollution des eaux usées." Mémoire de master de l'université de Mohamed Boudiaf (Usto Mb), Oran.2010.

[40]. Dabrowski, A. Podkoscielny, P. Hubicki, Z. and Barczak, M. Chemosphere, 58, P 1049, (2005)

[41]. Processus élémentaires du génie physico-chimique en traitement de l'eau - Degrémont® (suezwaterhandbook.fr)17-05-2024 11 :11

[42]. Tout savoir sur le charbon végétal et le charbon actif : sa fabrication et ses utilisations17-05-2024 11 :40

[43].BRTL11.pdf (nitsri.ac.in) 17-05-2024 16 :30

[44]. Tout savoir sur le charbon végétal et le charbon actif : sa fabrication et ses utilisations17-05-2024 19 :52

[45]. Mahmoud, T. et al. "Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir de la coquille d'amande (Prunus amygdalus) amère." BASE (2014).

[46]. Laurette, S. <>, Thèse de Doctorat, Université de Limoges, k (2004)

[47]. Mokhtaria, B. " Étude de la capacité d'adsorption d'un charbon actif végétal sur le méthyl parabène" mémoire de master de UNIVERSITE « Dr. TAHAR MOULAY » DE SAIDA .2018

[48]. Fournier, J.P. "Évaluation d'une technologie compacte de production d'eau potable". Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en sciences de l'environnement. Université Du Québec. Montréal. Canada. (2006).

[49]. Charbon actif | NECATEC AG 17-05-2024 21:08

[50]. Degrémont. Memento technique de l'eau, 10 eme Ed. Tome 1. Edition Lavoisier, Paris, (2005)

[51]. Charbon Actif en Grain Aquasorb, Charbon Aquarium - Mon-Droguiste.com17-05-2024

22 :10

[52]. Guide du charbon actif en granulés : Définition, processus de fabrication et applications - Zhulin Carbon (activatedcarbon.net)17-05-2024 23 :12

[53]. Seghier, A. M. "Synthèse d'un charbon actif à base de grignons d'abricot pour la dépollution des eaux usées", thèse Magister, université Mohamed Boudiaf d'Oran 2010, p.18- 19.

[54]. Sheintuch, M., Matatov-Meytal, Y.I, "Comparison of catalytic processes with other regeneration methods of activated carbon ", Catal. Today, 1999, 53, 73.

[55]. Alvarez, P.M., Beltran, F.J., Masa, F., Pocostales, J.P.A., "Comparison between catalytic ozonation and activated carbon adsorption/ozone-regeneration processes for wastewater treatment", Appl. Catal. B, 2009, 92 (9), 393-400

[56]. Imane, B. "Amélioration par ajout d'un métal de transition de la régénération in situ d'un charbon actif par oxydation catalytique. Diss. Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT", Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed-Boudiaf (Algérie), 2015.

[57]. Charbon actif | energy-pyroswiss 18-05-2024 10:21

[58]. CHARLES. N, COLIN. S, GUTIERREZ. T, LEFEBVRE. G. Rapport final, Kaolin et argiles Kaoliniques Mémento, (2018).

[59]. Kurniawan, T. A., Chan, G. Y., Lo, W. H., & Babel, S., "Comparisons of low-cost adsorbents for treating waste waters laden with heavy metals", Science of the total environment, 366(2-3), p. 409-426, (2006).

[60]. https://www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-4263/ed4263.pdf 18-05-2024 14 :45

[61]. Senesi, N. Y.C. Gerstl, Z. Chen, Y. Mingelgrin, U. Yaron, B. "Editors, springer-Verlag", Berlin, p. 37-90, (1989).

[62]. Colombani-Bosinco, S., "Élimination du chrome hexavalent par adsorption et adsorption-réduction sur biomatériaux, application au traitement des eaux", Doctorat dissertation, Pau, (1997).

[63]. Chenine, M., "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, p.9-10, (2012).

[64]. Calvet, R. M.T., J.C. Arvieu, Ann., Agron 31, p. 385-427, (1980).

[65]. J., D., "Contribution à l'étude du mode de l'élimination de molécules organiques modèles sur le charbon actif en grain. Interaction entre les processus d'adsorption et de biodégradation", Thèse de doctorat de 3ème cycle. Université de Poitiers, (1988).

[66]. Smíšek, M., & Černý, S., "Active carbon: manufacture, properties and application", (Vol. 12). Elsevier PublishingCompany, (1970).

[67]. NEDJIMA. B, Article, Influence des impuretés des kaolins sur les propriétés des produits de cuisson, (2012).

[68]. Lamri, N. "Élimination Du Colorant Orange Ii En Solution Aqueuse, Par Voie Photochimique Et Par Adsorption". Thèse De Master, Université Mentouri, Constantine. (2010).

[69]. Ferguene, N. "Modélisation Des Phénomènes De Transfert De Matière/Adsorption Dans Les Particules Poreuses". Thèse De Magister, Université Abderrahmane Mira, Bejaia. (2012).

[70]. Fayza, G. "Matériaux de mullite à microstructure organisée composés d'assemblages muscovite" Thèse de doctorat – kaolinite, (2007).

[71]. Aarfane, A. M. El Krati A.S., Tahiri, S., Monkade, M., Lhadi, E.K., Bensitel, M.,

"Etudecinétique et thermodynamique de l'adsorption des colorants", (2014).

[72]. Giles, C. H., Smith, D., & Huitson, A., "A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm. I. Theoretical". Journal of colloid and interface science, 47(3), p.755-765, (1974).

[73]. Tebessi, S. "Étude Cinétique Et Thermodynamique De L'adsorption D'un Colorant Organique Sur Le Charbon Actif". Thèse De Master, Université Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi. (2010).

[74]. Laine, J., & Calafat, A., "Preparation and characterization of activated carbons from coconut shell impregnated with phosphoric acid". Carbon, 27(2), p.191-195, (1989).

[75]. Malik, R., Ramteke, D. S., & Wate, S. R., "Adsorption of malachite green on ground nutshell waste based powdered activated carbon". Waste management, 27(9), p.1129-1138, (2007).

[76]. Abuiboto, N. Clotaire, M. Avom, J. and Richard, M. "Évaluation des propriétés de charbons actifs de résidus de Moabi (Baillonellatoxisperma Pierre) par adsorption d'iode en solution aqueuse." Revue des sciences de l'eau 29.1 (2016) : 51-60.

[77]. Kwiatkowski, J. F., "Activated Carbon: classifications, properties and applications". Nova Science Publishers, Incorporâtes, (2011).

[78]. Nora, S. "Étude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes." Mémoire de Master en chimie physique et analytique, Option: Environnement et traitement des eaux, université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras (2013): 45.

[79]. Rachida, B. "Contrôle microbiologique des aliments dans certains restaurants collectifs de la wilaya de Mostaganem. " Mémoire de Master en Biologie de Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.2019

[80]. Kurniawan, T. A., Chan, G. Y., Lo, W. H., & Babel, S., "Comparisons of low-cost adsorbents for treating waste waters laden with heavy metals". Science of the total environment, 366 (2-3), 409 - 426, (2006).

[81]. NABILA, G," Étude de la performance de la station d'épuration des eaux usées de la région HAOUD BERKAOUI ", Mémoire Master en Génie chimique, Université Kasdi Merbah Ouargla, p. 23-24, (2019).

[82]. Khawla, A. et khawla, B. " Suivi et simulation des performances épuratoires de la Step de skikda", Mémoire de Master en hydraulique, Université Badji Mokhtar Annaba, p. 39, (2018).

Résumé

L'objectif de notre étude est le traitement des eaux usées domestiques par la valorisation d'une boue urbaine produite au niveau de la station d'épuration de la région de Haoud Berkaoui. Nous nous sommes concentrés sur la modification de la boue récupérée des lits de séchage et son utilisation comme matière première pour la production de notre charbon activé à l'aide d'hydroxyde de sodium à 15%. Nous avons également étudié le phénomène d'adsorption pour en connaître les caractéristiques et l'importance. Nous avons comparé l'efficacité du traitement par notre charbon actif (CA-NaOH-15) et du traitement biologique par oxygène (O2) en mesurant certains paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau (pH, conductivité, turbidité, MES, DCO, etc.) avant et après traitement. Les résultats montrent que le charbon actif joue un rôle crucial dans le traitement de l'eau domestique, complétant le traitement biologique pour éliminer les contaminants résiduels.

Mots clés : Eaux domestiques, traitement, station d'épuration, charbon actif, adsorption.

ملخص

الصرف هدف دراستنا هو معالجة مياه الصرف الصحي المنزلية من خلال تثمين الحمأة الحضرية المنتجة في محطة معالجة مياه الصحي بمنطقة حوض بركاوي. ركزنا على تعديل الحمأة المستعادة من أسرَّة التجفيف واستخدامها كمادة أولية لإنتاج الكربون المنشط باستخدام هيدروكسيد الصوديوم بنسبة 15%. كما تناولنا ظاهرة الامتزاز لفهم خصائصها وأهميتها. قمنا بمقارنة فعالية المعالجة من خلال قياس بعض المعايير الفيزيائية (O_2) والمعالجة البيولوجية بالأكسجين (CA-NaOH-15) بواسطة الكربون المنشط لدينا والكيميائية لجودة المياه (الأس الهيدروجيني، التوصيلية، العكارة، المواد الصلبة العالقة، الطلب الكيميائي للأكسجين، إلخ) قبل وبعد المعالجة. تُظهِر النتائج أن الكربون المنشط يلعب دورًا حيويًا في معالجة المياه المنزلية، مكملًا المعالجة البيولوجية لإزالة الملوثات المتبقية

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف المنزلية، المعالجة، محطة معالجة مياه الصرف الصحي، الكربون المنشط، الامتزاز

Abstract

The objective of our study is the treatment of domestic wastewater through the valorization of urban sludge produced at the Haoud Berkaoui wastewater treatment plant. We focused on modifying the sludge recovered from drying beds and using it as a raw material for the production of our activated carbon using 15% sodium hydroxide. We also explored the adsorption phenomenon to understand its characteristics and importance. We compared the treatment efficiency of our activated carbon (CA-NaOH-15) and biological treatment with oxygen (O2) by measuring certain physico-chemical parameters of water quality (pH, conductivity, turbidity, TSS, COD, etc.) before and after treatment. The results show that activated carbon plays a crucial role in the treatment of domestic water, complementing biological treatment to remove residual contaminants.

Keywords: Domestic wastewater, treatment, wastewater treatment plant, activated carbon, adsorption.