

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Kasdi Merbah Ouargla**



**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES**

**Département de Génie Civil et Hydraulique**

C:.....  
R:.....

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de**

**Master, Filière: Hydraulique**

**Spécialité : Traitement des eaux**

**Thème**

**Elimination des nitrates présentes dans l'eau par  
adsorption sur charbon à base de l'écorce de jujubier**

**Présenté par :**

- ❖ **ABIKEUR Hadjer**
- ❖ **BADJEBBAR Salha**

**Soumis au jury composé de :**

<b>BELMABDI A</b>	<b>M.A.A</b>	<b>Université Ouargla</b>	<b>Président</b>
<b>BAOUIA K</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Université Ouargla</b>	<b>Examineur</b>
<b>BOUZIANE L</b>	<b>M.C.B</b>	<b>Université Ouargla</b>	<b>Encadreur</b>

***Année Universitaire: 2020 / 2021***



## DEDICACE

*Loué soit Dieu d'avoir atteint ce stade et d'avoir apprécié le fruit de nos efforts, que je consacre au secret de mon bonheur et de mon soutien dans la vie, ma tendre mère et mon cher père, que Dieu les préserve, et à mes chers frères Abd El Salam, Rezkā, Sara, Safia, et Ma tante BAYA et à toute la famille honorable, en particulier mon cher oncle Abikeur Ahmed pour son soutien pour moi dans l'accomplissement de cet humble travail, et je le dédie également aux honorables professeurs pour leurs efforts et leur faveur envers nous.*

*Hadjer*



## DEDICACE

*Loué soit Dieu, par la grâce et le succès de qui cette humble œuvre a été accomplie, que je dédie à mon tour à ceux qui ont été la raison de mon existence et mon soutien dans la vie, ma mère bien-aimée et mon cher père, et à ceux qui m'ont comblé de amour et tendresse, mon grand-père et ma grand-mère, à mes chers frères à mon cœur et mon compagnon Zaki, et à toute la grande famille, chacun en son nom Sans oublier Chers amis, et à mes chers professeurs.*

*Salha*

## *Remercîments*

*Avant de tout remercier, je remercie Dieu Tout-Puissant, qui m'a permis d'atteindre ce niveau de connaissance et m'a inspiré avec patience, courage, force et détermination pour braver les difficultés, et parce que c'est ce travail humble.*

*Et après avoir remercié Dieu Tout-Puissant, j'exprime mes sincères remerciements, mon respect et mon appréciation au professeur Bouziane Lamia pour son aide considérable et ses conseils continus et à mes côtés dans chaque petite et grande chose pour accomplir cet humble travail.*

*Je tiens également à remercier les membres du comité de discussion,*

◆ BELMABDI.A

◆ BAOUIA.K

*sans oublier le directeur de la station d'épuration de Saïd Otba, et je tiens à remercier mon oncle Abikœur Ahmed, Remerciements particuliers au directeur du laboratoire de traitement Monsieur Kçhired et à son personnel pour avoir fourni les outils et l'équipement À tous les professeurs du Département de Génie civil et Hydraulique à l'Université Kasdi Merbah.*

*Grand merci enfin à toute les familles, à les parents pour tout ce qu'ils ont fait pour nous et L'éducation que nous avons reçue de leur part*

*Enfin, je ne saurai remercier assez les membres de ma famille ainsi que mes ami(e)s de leur soutien.*



## Sommaire

Titre	Page
Dédicace	I
Remerciement	III
Sommaire	IV
Liste du Tableaux	VIII
Liste du Figures	IX
Liste des abréviations	X
Liste des symboles	XI
Introduction générale	1
<b>Partie théorique</b>	
<b>Chapitre I : Généralités sur les eaux usées et les méthodes de traitement</b>	
1-Introduction	5
I-1- Eaux Usées	5
I-1-1- Définition	5
I-1-2- Origines Des Eaux Usées	5
I-1-2-1-Eaux Usées Domestiques	5
I-1-2-2- Eaux Usées Industrielles	5
I-1-2-3-Eaux Pluviales	6
I-1-2-4-Eaux Usées Urbaines	6
I-1-3-Paramètres De Pollution Des Eaux	6
I -1-4-Mesurer La Pollution Des Eaus Usees	8
I -1-4-1- L'azote	8
I -1-4-2- Phosphore	9
I -1-5-Normes Et Concentration Admissibles Dans Les Eaux Usees	10
I -1-6- Dangers Resultant De L'utilisation Des Eaux Usees	11
I-1-6-1 -Conséquences Sanitaires	11
I-1-6-2-Conséquences Economiques	11
I-1-6-3-Conséquences Ecologiques	12
I -1-7- Le Probleme Des Eaux Usees	12
I -1-8- Les Objectifs Du Traitement Des Eaux Usees	12
I -1-9- Traitement Des Eaux Usees	13
I-1-10- Etapes Du Traitement Des Eaux Usees	13
I-1-10- 1 Le Dégrillage	13
I-1-10- 2-Le Dessablage	13
I-1-10- 3-Le Dégraissage-Déshuilage	13
I-1-10- 4 Le Traitement Primaire	14
I-1-10- 5-Le Traitement Secondaire	14
I-1-10- 5-1-Les Traitements Anaérobies	14
I-1-10- 5--2-Les Traitements Aérobie	14
I-1-10- 5-2-1-La boue activée (culture libre)	15
I-1-10- 5-2-2-La Technique De Fonctionnement	15

I-1-10- 5-2-3-Traitement Des Boues	15
I-1-10- 6-Traitements Tertiaires	15
I -2- Methodes De Traitement Des Eaux Usees	16
I -2-1- Processus Physiques	16
I -2-2- Procedes Chimiques	17
I -2-3- Processus Biologiques	18
Conclusion	20
<b>Chapitre II : Charbon Actif</b>	
II.1 Introduction	22
II.2 Types des adsorbants	22
II.2.1-Charbon actif	22
II.2.1.1Définition des charbons actifs	22
II.2.1.2-Précurseurs des charbons actifs	23
II.2.1.3-Structure du charbon actif	23
II.2.1.4-Texture du charbon actif	23
II.3-Propriétés	24
II.4Formes	26
II.5.Comment sont-ils fabriques ?	27
II.5.1.Procédé physique	27
II.5.2.Procédé chimique	28
II.6 Préparation et régénération du charbon actif	28
II.6.1 Préparation	28
II.6.2-La carbonisation	28
II.6.3-L'activation	28
II.6.3.1 Activation chimique	29
II.6.3.2 Activation par les gaz (physique)	29
II.6.4 Réactivation	29
II.6.4.1 Méthodes de réactivation	29
II.7 Demande en charbon actif	30
II.8 Les applications des charbons actifs	30
II.8.1 Adsorbant	30
II.8.2 Catalyseur	30
II.9 Sources du charbon actif	31
II.10 Conclusion	33
<b>Chapitre III : Phénomène d'adsorption</b>	
III.1 Introduction	35
III .2. Généralité sur d'adsorption	35
III.3. Définition	35
III .4.Origine de l' Adsorption	35
III.5.Types d'adsorptions	36
III.5.1.Physisorption (adsorption physique)	36
III.5.2 Chimisorption (adsorption chimique)	36

III.5.2.1.Différence entre physisorption et Chimisorption	36
III.6.Mécanisme d'adsorption	37
III.7. Facteurs influençant à l'équilibre d'adsorption	38
III.7.1.Influence du pH sur l'adsorption	38
III.7.2.Influence du Température sur l'adsorption	38
III.7.3.La surface spécifique	38
III.7.4-Paramètres liés à l'adsorbant	38
III.7.5-Paramètres liés à l'adsorbat	38
III.7.6.Influence de la nature de l'adsorbant sur l'adsorption	39
III.7.7.Influence de l'adsorbat sur l'adsorption	39
III.8-Equilibre: adsorption/désorption	39
III.8.1-Approche thermodynamique	39
III.8.2-Approche expérimentale	40
III.8.2.1-Isothermes d'adsorption	40
III.8.2.2-Types d'isothermes d'adsorption	40
III.8.3-Modélisation des isothermes d'équilibre mono-soluté	42
III.8.3.1.Isotherme de Langmuir	43
III.8.3.2-Isotherme de Freundlich	44
III.9-Applications de l'adsorption	45
III.10-Conclusion	45
<b>La partie Pratique</b>	
<b>Chapitre IV : Présentation de la ville</b>	
Introduction	48
IV- présentation de la ville Ouargla	48
IV-1-Localisation géographique	48
IV-2 - Situation géologique	49
IV-3- Climat	49
IV-3-1-Les précipitations	50
IV-3-2- La température	50
IV-3-3- L'humidité de l'air	51
IV-3-4- Les vents	51
IV-4- Hydrogéologie	51
IV-4-1-La nappe phréatique	51
IV-4-2-La nappe du complexe terminal (CT)	52
IV-4-2-1-La nappe mio-pliocène	52
IV-4-2-2-La nappe du sénonien	52
IV-4-3- La nappe du continental intercalaire (CI)	52
IV-5- Conception et fonctionnement de la station d'épuration d'Ouargla	54
IV-6- L'objectif de traitement de la station	54
Conclusion	59
<b>Chapitre V : La partie expérimentale</b>	
V. Introduction	61

V.1 Matériel et méthodes	61
V.1.1 Adsorbant	61
V.1.1.1- Caractéristiques de l'adsorbant	62
V.1.1.1.1.Caractérisation précédente	62
V.1.2.Adsorbat	63
V.2.Echantillonnage	63
V.2.1-Echantillonnage des eaux	63
V.2.2.Méthode d'analyse de nitrate	65
V.2.3.Adsorption	65
V.2.4Mode opératoire	65
V.3.Appareillage	66
V.3.1-Appareillage	66
V.4.Résultats et discussion	67
V.4.1.exériences d'adsorption sur les solutions aqueuses	67
V.4.2 Expériences de l'adsorption sur les eaux traitées de la station de Saïd Otba	72
Conclusion générale	74
Liste des références	76
Annexes	-
Résumé de trois langues	-



## Liste du Tableaux

N° Tab	Titre	Page
<b>I.1</b>	Grille De Classification Des Eaux	7
<b>I.2</b>	Les Valeurs Des Paramètres Maximaux De L'élimination De Déchets Des Unités Industrielles	10
<b>II.1</b>	Caractéristiques Principales Des Charbons Actifs En Fonction Du Matériau D'origine (Carbochem, 2004)	22
<b>II.2</b>	Classification De Dubinin 1960	24
<b>II.3</b>	Comparaison Entre CAP Et CAG (Lenntech, 2004)	26
<b>II.4</b>	Les Charbons Activés Granulaires Produites A Partir De Sous-Produits Agricoles (Johns Et Al, 1998).	32
<b>III.1</b>	Différence Entre Physisorption Et Chimisorption	37
<b>IV.1</b>	Données Climatiques De La Région d'Ouargla	50
<b>V.1</b>	Les Normes De Rejet De L' ions, Appliquées En Algérie	64
<b>V.2</b>	Résultats Des Expériences De L'adsorption De Nitrates D'une Solution Aqueuse Par Le Charbon	67
<b>V.3</b>	Paramètres Du Modèle De Langmuir (Forme 1)	69
<b>V.4</b>	Paramètres Du Modèle De Langmuir (Forme 2)	70
<b>V.5</b>	Paramètres Du Modèle De Langmuir (Forme 3).	70
<b>V.6</b>	Paramètres Du Modèle De Freundlich	72

## Liste du Figures

N° Fig	Titre	Page
I.1	Types de formules chimiques pour le nitrat	9
I.2	Etapas du traitement des eaux usées dans la station d'épuration	16
I.3	Schéma d'un Dé Grilleur	16
I.4	Schéma d'un Procédé A Boues Activées	20
II.1	Représentation De La Microstructure d'un Charbon Actif.	23
II.2	Schématisation de la structure du charbon actif	24
II.3	Exemple de pores du charbon actif	25
II.4	Charbon actif en poudre	26
II.5	Charbon actif en grain	26
II.6	Charbon actif extrudé	27
III.1	Schéma de l'adsorption physique	36
III.2	Les isothermes d'adsorption en phase liquide	41
III.3	Modèle d'adsorption de Langmuir	43
IV.1	Carte Localisation géographique de la Wilaya d'Ouargla	48
IV.2	Coupe hydrogéologique à travers le Sahara	53
IV.3	La station d'épuration Ouargla	54
IV.4	Dépistage à la station d'épuration Ouargla	56
IV.5	Enlèvement de la station d'épuration Ouargla	57
IV.6	Répartiteur de la station d'épuration Ouargla	57
IV.7	Lagunes aérées de la station d'épuration Ouargla	58
IV.8	Canal de transport de la station d'épuration Ouargla	59
V.1	jujubier(a) et ecorce de jujubier(b)	61
V.2	Montage expérimental de la carbonisation	61
V.3	Démarche expérimental de la préparation du charbon utilisé	62
V.4	Vue de l'écorce de jujubier carbonisée sous Microscopie électronique à balayage (MEB)	63
V.5	Solution mère préparée à partir de sel de NaNO <sub>3</sub>	63
V.6	Echantillons d'eau de l'entrée et de sortie de la station	65
V.7	Expériences de l'adsorption en batch.	65
V.8	Appareillage utilisé	66
V.9	1/Qe en fonction 1/Ce	69
V.10	Ce/Qe en fonction de Ce	69
V.11	1/Ce en fonction de 1/Qe	70
V.12	RL en fonction de C0	71
V.13	log Qe en fonction de log Ce	72

## Liste des abréviations

ANRH	Agence nationale de ressources hydriques.
CEFIC	Le conseil Européen des fédérations de l'industrie chimique.
MEB	Le microscope électronique à balayage
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONA	Office national de l'assainissement
ONM	office nationale de la météorologie d'Ouargla
Pdt	pendant
STEP	Station d'épuration
UICPA	Union internationale de chimie pure et appliquée.

## Liste des Symboles

Symbole	Nom	Unité
b	La constante de Langmuir	l/g
C <sub>0</sub>	Concentration initiale de l'adsorbat dans la solution	mg/l
	Concentration initiale de la solution de colorant	
Ca	Concentration de l'adsorbat adsorbée à l'équilibre	mg/l
CA	Charbon actif extrudé	-
CAG	Charbon actif en grain	-
CAP	Charbon actif en poudre	-
Ce	Concentration de l'adsorbat à l'équilibre d'adsorption	mg/l
DBO5	Demande biochimique en oxygène	mg/l
DCO	Demande chimique en oxygène	mg/l
k	Degré de biodégradabilité	-
Kc	Constante d'équilibre	-
Kd	Coefficient de distribution	l/g
Kf	Constante de Freundlich	mg <sup>1-n</sup> ln g <sup>-1</sup>
Kl	Constante d'équilibre de Langmuir	l/mg
m	Masse de l'adsorbant	g
MES	Matières en suspension	Mg/l
n	Constante de Freundlich	-
p	Quantité de métal adsorbée par unité de charbon actif	%
PH	Potentiel d'hydrogène	-
q <sub>0</sub>	Quantité de l'adsorbat initialement présente sur l'adsorbant	Mg/g
qe	Quantité de l'adsorbat retenu par unité de masse d'adsorbant	Mg/g
Qm	Capacité maximale d'adsorption	Mg/l
R	Constante des gaz parfait = 8,314 10 <sup>-3</sup>	KJ /mole K
R <sup>2</sup>	Coefficient de corrélation	-
R <sub>L</sub>	Paramètre d'équilibre	-
T	Température	°C
V	volume de la solution	l
ΔG°	Energie libre	KJ/mole
ΔH°	Enthalpie	KJ/mole K
ΔS°	Entropie	KJ/mole



# *Introduction générale*

## Introduction générale

---

« L'eau est au monde ce que le sang est à notre corps » disait Léonard de Vinci. Qu'elle soit superficielle ou souterraine, l'eau est l'élément de base de notre vie et le facteur limitant par excellence. De ce fait la préservation des ressources hydriques par la gestion rationnelle est devenue la préoccupation majeure des pouvoirs publics, décideurs, chercheurs et même les simples citoyens. **(Chaouch, N (2014))**

Il y a plusieurs siècles, les eaux souterraines étaient gérées correctement, car l'homme l'exploitait rationnellement, maintenant ainsi l'équilibre écologique qui lui garantit un mode de vie, mais ces dernières décennies en raison de la croissance démographique massive et du développement du développement agricole qui nécessite l'exploitation de l'eau ressources ont grandement affecté cet équilibre naturel.

Le développement de procédés pour l'amélioration des méthodes de dépollution est devenu indispensable à tous niveaux. Les procédés de protection de l'environnement suscitent une attention particulière dans la recherche de matériau adsorbant tel que les charbons actifs. Le charbon actif est le produit final obtenu par un processus d'activation physique ou chimique, de tout matériau contenant un fort pourcentage de carbone. Il est couramment utilisé depuis des siècles, dans de nombreuses applications domestiques et industrielles. Grâce à son pouvoir adsorbant très élevé, il a une place privilégiée dans la purification de l'air, la dépollution des effluents domestiques et industriels, la purification et la décoloration des produits agro-alimentaires. Parmi les différentes technologiques existantes (adsorption, oxydation avancée, filtration membranaire...) pour l'élimination des matières indésirables, l'adsorption sur charbon actif est particulièrement intéressante du fait de son efficacité constatée, de sa simplicité de mise en œuvre et du fait qu'elle valorise aussi la biomasse. **(Mazouz, M et al(2017))**

Au niveau de la région de Ouargla, une station d'épuration située à Saïd Otba a été mise en place par les autorités locales afin d'épurer les eaux usées et les eaux de drainage de la région tout en préservant les terrains et en évacuant les eaux excédentaires vers la Sebkhath Safyoune, située à 50 km au nord de la ville d'Ouargla. Dernièrement, la présence de nitrate dans les eaux épurées est devenue une préoccupation majeure la station.

Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sont présents naturellement dans l'eau, Ils sont en effet issus du cycle naturel de dégradation de la matière organique. Cependant les apports des activités

## **Introduction générale**

---

agricoles(fertilisants et élevage) , industrielles et domestiques (rejets non traités) restent prépondérants. En conséquence, le phénomène d'eutrophisation des milieu aquatiques s'accroît en provoquant la croissance excessive des plantes et des algues due à la forte disponibilité des nutriments (Azote et phosphore).

Le travail actuel a pour but d'éliminer les nitrates présents dans des solutions aqueuses par adsorption sur charbon issu de l'écorce de jujubier. En effet, ce travail vient pour vérifier les résultats de l'année précédente et les compléter en vérifiant l'efficacité de ce traitement sur des effluents réels (eau épurée au niveau de la staion de said Otba).

Ce mémoire est composé de trois chapitres. Le premier présente des notions fondamentales sur l'eau, la pollution, les métaux lourds toxiques ; Le deuxième présente le charbon actif sa préparation, ses propriétés principales ses différents domaines d'applications; Le troisième expose la technique d'adsorption ; Le quatrième chapitre présente la zone d'étude. Les démarches expérimentales adoptées, la présentation des résultats obtenus et leurs interprétations sont développés dans le dernier chapitre.



# *La Partie Théorique*



# **CHAPITRE I**

## *Généralités sur les eaux usées et les méthodes de traitement*

## **1-Introduction :**

L'eau, est la denrée la plus utilisée par l'homme, finit par être rejetée une fois utilisée pour la consommation humaine, les activités domestiques, l'industrie, l'agriculture, etc. On parle alors d'eau usée pouvant contenir toutes sortes de pollution, elle ne doit pas être directement rejetée dans le milieu naturel, car sans traitement elle peut engendrer de graves problèmes environnementaux et de santé publique. Par conséquent elle devrait être dirigée vers des stations d'épurations.

### **I-1- Eau Usées:**

#### **I-1-1- Définition:**

La pollution de l'eau est une dégradation de sa qualité causée par un facteur de nature physique, chimique ou biologique d'origine naturelle et/ou humaine rendant son utilisation dangereuse et perturbe l'équilibre de l'écosystème (**Chaouch ,N (2014)**)

#### **I-1-2- Origines des eaux usées:**

Il existe quatre sources d'eaux usées classées selon le type de pollués dans paragraphes suivants:

**I-1-2-1-Eaux usées domestiques :** composées des eaux ménagères (eaux grises) qui représentent les deux tiers du volume total et les eaux de vanes (eaux noires). Elles se présentent comme un mélange complexe constitué de 99.9 % d'eau et 0.1 % de solides, soit 70 % de matières organiques et 30 % de matières minérales dans les trois phases : solide, liquide et gazeuse et dans les divers états de dispersion : débris grossiers, suspensions, émulsions, colloïdes et matières dissoutes. La fraction organique composée de 65 % de protéines, 25 % de carbohydrates et 10 % de lipides est biodégradable certes, mais grande consommatrice d'oxygène. La fraction inorganique est composée principalement de sels et de matières minérales. Parmi cette composition diversifiée, on peut trouver des substances riches en éléments minéraux nutritifs, des substances peu ou non biodégradables et des germes pathogènes. On conçoit donc que par le biais de nos lavabos, éviers, salles de bains et sanitaires passe chaque jours une pollution proportionnelle au nombre d'habitants, leurs niveau de vie et leurs milieu socioculturel. Ces volumes d'eaux usées influencés par le mode de tarification et la consommation en eau potable ne sont pas constants dans le temps. En effet des variations importantes s'observent sur l'année, la journée et parfois même l'heure. (**Chaouch, N (2014)**)

**I-1-2-2- Eaux usées industrielles :** caractérisées par une grande diversité tant du point de vue qualitatif que quantitatif suivant l'emploi de l'eau au cours du processus industriel :

production, refroidissement et nettoyage. Ces rejets peuvent être réguliers, irréguliers ou intermittent et font de chaque branche d'activité voir même de chaque établissement un cas particulier.

Selon le type de l'industrie dont elles proviennent, Les eaux usées industrielles renferment des germes pathogènes et des matières minérales et/ou organiques insolubles, semi solubles et solubles. La prédominance d'une famille de composés permet de classer ces eaux usées en trois types :

- Eaux à caractère principalement organique;
- Eaux à caractère principalement minéral;
- Eaux à caractère mixte.

En termes de volume et type de polluants, les effluents industriels présentent le plus souvent une charge importante et par conséquent un risque de dysfonctionnement structurel et fonctionnel des réseaux d'assainissement et des dispositifs de traitement des eaux usées, c'est pour cette raison qu'il est recommandé d'effectuer un prétraitement à l'usine. Les principaux polluants transitant dans les eaux usées d'origine industrielles sont : les métaux lourds, les toxines organiques, les colorants, les sels, les huiles et les graisses. (**Chaouch ,N (2014)**)

**I-1-2-3-Eaux pluviales** : génèrent une pollution importante car elles se chargent d'impuretés au contact de l'air puis de produits divers en ruisselant sur les toits et les chaussées des villes. Ces eaux sont généralement caractérisées par :

- Une grande quantité d'éléments minéraux inertes;
- Une teneur variable en matières polluantes;
- Des taux de métaux lourds et d'hydrocarbures souvent importants ;
- Des matières en suspension en grande quantité;
- Une biodégradabilité faible.

La quantité de ces eaux dépend entre autres de l'intensité moyenne des précipitations et leurs répartitions spatiales et temporelles ainsi que le degré d'urbanisation. (**Chaouch, N (2014)**)

**I-1-2-4-Eaux usées urbaines:** formées d'un mélange d'eaux usées domestiques, d'eaux usées industrielles et des pluies aux quelles sont ajoutés les effluents rejetés par les installations collectives tels que les hôpitaux, les écoles, les hôtels et les restaurants. (**Chaouch ,N (2014)**)

**I-1-3-Paramètres de pollution des eaux:**

Pour l'évaluation de la qualité de l'eau, plusieurs grilles de classification ont été proposées, celle proposée dans le tableau 01 ci-après est la plus utilisée et se base sur les paramètres suivants :

- **La demande chimique en oxygène (DCO):** la quantité d'oxygène consommée pour oxyder par voie chimique les matières biodégradables et non biodégradables présentes dans l'eau.
- **La demande biochimique en oxygène (DBO5) :** la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pour oxyder en cinq (5) jours à l'obscurité et à 20 °C les matières biodégradables présentes dans l'eau.
- **L'oxygène dissous :** un paramètre utile pour le diagnostic biologique de l'eau. Sa teneur dans l'eau dépasse rarement 10 mg/l.
- **L'Ammonium (NH4+) :** la forme réduite de l'azote souvent rencontrée dans les eaux usées et qui constitue le premier stade de dégradation de la matière organique azotée. Sa présence peut avoir comme origine probable la réduction des nitrates et des nitrites. (Chaouch ,N (2014))

**Tableau (I-1) : Grille de classification des eaux**

Paramètres Classe	DCO (mg /l)	DBO5 (mg /l)	O2 dissous (mg/l)	NH4+ (mg/l)
<b>Bonne</b> (absence de pollution significative)	≤ 20	≤ 3	≥ 7	≤ 0.1
<b>Assez bonne</b> (pollution modérée)	20 – 25	3 – 5	5 – 7	0.1 – 0.5
<b>Médiocre</b> (pollution nette)	25 – 40	5 – 10	3 – 5	0.5 – 2
<b>Mauvaise</b> (pollution importante)	40 – 80	10 – 25	< 3	2 – 8
<b>Hors classe</b> (pollution très importante)	> 80	> 25	–	> 8

Le degré biodégradabilité **K** est défini par le rapport suivant : **K=DCO/DBO5** (équation 02) Il permet de déterminer le type de traitement à appliquer pour une eau de classe donnée :

- Si  $K < 2$  : l'effluent est biodégradable, un traitement biologique est recommandé.
- Si  $2 < K < 3$  : l'effluent est moyennement biodégradable, un traitement biologique avec adaptation de souches est le plus adéquat dans ce cas.
- Si  $K > 3$  : l'effluent n'est pas biodégradable, un traitement physico-chimique est préconisé. (Chaouch ,N (2014))

### I -1-4-Mesurer la pollution des eaux usées :

#### I -1-4-1- L'azote :

##### A- Origine:

L'origine de ces polluants est par ordre décroissant, l'utilisation massive d'engrais, les déversements industriels, les épandages de lisiers et le rejet des eaux résiduaires urbaines. La pollution se situe principalement en zone rurale et durant les pluies d'hiver qui lessivent les sols en les sols. Une étude a montré que les unités de production présentant une teneur supérieure à  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  en  $\text{NO}_3^-$ , sont à 92.6% rurales et alimentées en eaux souterraines. (CLAUDE C;(2010))

##### B- Nuisances-Toxicité:

La pollution en ions  $\text{NH}_4^+$  existe principalement pour les eaux de surface. La situation devient alarmante à partir d'une concentration de  $2 \text{ mg.L}^{-1}$ . Leur oxydation conduit à la formation d'ions  $\text{NO}_2^-$ . Ils sont en équilibre avec la forme gazeuse  $\text{NH}_3$ . Ces deux espèces sont très toxiques pour la faune aquatique et problématique pour la santé publique. Elles induisent une prolifération bactérienne sur le réseau, avec pour conséquence, la dégradation des qualités organoleptiques de l'eau et la corrosion des canalisations. (CLAUDE C;(2010))

Mais les nitrates sont la principale source d'inquiétude. Ces ions se transforment en milieu acide faible et à hauteur de 5%, en ions nitrites. Ceux-ci sont toxiques pour l'organisme humain. Ce sont des agents vasodilatateurs puissants qui causent vertiges et hypotension. Ils s'oxydent au niveau des ions ferreux de l'hémoglobine pour redonner des nitrates. On obtient alors de la méthémoglobine (METHB) contenant des ions ferriques incapables de transporter les molécules d'oxygène. La cyanose apparaît à partir d'un taux de METHB égal à 10 % et la mort, à compter de 70 %. Seuls les nourrissons sont sensibles à ce processus. En effet, leur pH gastrique supérieur à 5, le favorise. Toute infection bactérienne agit en synergie en raison de l'activité nitrate réductase des micro-organismes. De plus, les ions nitrites donnent dans l'estomac, à pH acide, des dérivés N-nitrosodérivés l'occurrence des nitrosamines et des nitrosé-amides cancérigènes. Ces composés agissent par réaction d'alkylation au niveau des acides nucléiques. Une enquête, concernant 12 pays, atteste de la corrélation entre les nitrates et des cas de cancer gastrique (CLAUDE C;(2010))

La responsabilité de l'eau de boisson a été, et est toujours, largement mise en cause. En fait, l'eau du robinet n'entre que pour 16 à 23 % dans les apports journaliers en nitrate. L'enquête 'Diagonale des nitrates', analysant 400 menus représentant 15000 repas, montre que 20 % d'entre eux excèdent 50 % de la dose journalière admissible, avec une moyenne s'établissant à 134 mg. Le véritable apport est alimentaire. Il s'agit de légumes qui se comportent comme des éponges tels que radis, épinard, betterave, navet, laitue et céleri. Ils présentent des teneurs en nitrate de l'ordre de 2 à 4 g.kg<sup>-1</sup>, avec la palme pour le radis rose qui peut atteindre un maximum de 8.2. Il faut savoir également que 80 % des petits pots pour bébé présentaient des taux de 50 mg kg<sup>-1</sup> avec des pointes à 200. Il faut se souvenir que la DJA est de 3,65 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.kg<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup> et de 0,13 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>.kg<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>(CLAUDE C;(2010)).

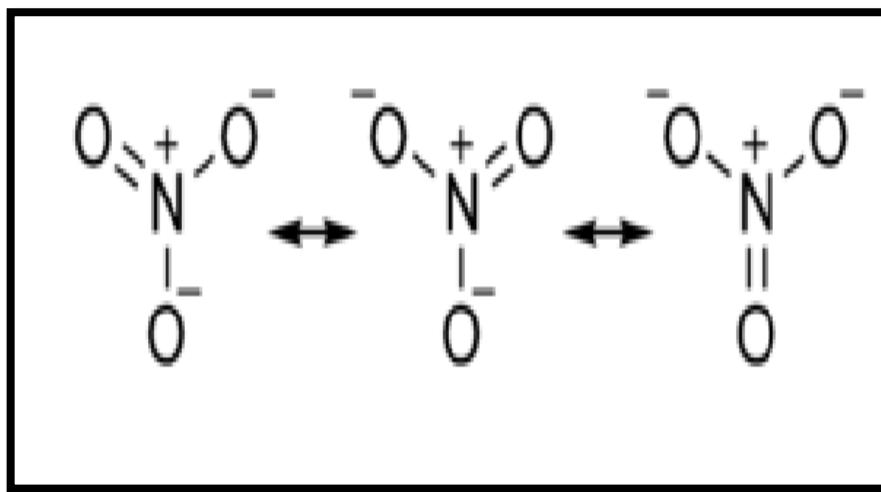


Figure (I-1) : types de formules chimiques pour le nitrat.

#### I -1-4-2- Phosphore:

Le phosphore naturel existe dans la lithosphère à raison de 0,11 %. Il est principalement extrait de mines spécifiques sous forme de phosphate de calcium. Au niveau de l'hydrosphère, on note une concentration moyenne de 0,01 mg.L<sup>-1</sup> due à l'érosion des roches. L'origine artificielle est directement liée à l'activité humaine. On retrouve des formes minérales et organiques. L'impossibilité de localiser la source de phosphore avec précision indique le caractère diffus de la pollution. Le lessivage des excès d'engrais des terres agricoles et des déjections animales (lisiers, fumiers) en sont responsables. L'origine ponctuelle sous-entend le ciblage parfait des rejets domestiques ou industriels et permet de mettre en œuvre les moyens de les canaliser et de les traiter. En ce qui concerne les eaux résiduaires urbaines domestiques, les rejets en phosphore sont composés pour moitié par les molécules issues du métabolisme à hauteur de 1 à 2 g.j<sup>-1</sup> et pour l'autre moitié par les détergents et lessives pour 2 g.j<sup>-1</sup> et par habitant. Ce dernier paramètre est en diminution constante. L'activité industrielle de type

agroalimentaire, abattoirs, laveries et chimique de l'engrais sont responsables d'émissions de phosphore (CLAUDE C;(2010)).

Dans le cas des eaux résiduaires urbaines, les exigences épuratoires ne s'appliquent qu'aux seuls paramètres mesurant la pollution carbonée, azotée et phosphorée. Mais on mesure d'autres formes de pollution Les matières inhibitrices (MI). Caractérisant une toxicité directe, sont quantifiées sur des daphnies. Unlie d'effluent représente N Equitox s'il faut le diluer N fois pour provoquer immobilisation en 24 heures de 50 % de la population initiale. Les hydrocarbures et les ions cyanures font partie des matières inhibitrices. Les métaux lourds ( $Hg^{2+}$ , Ni,  $Pb^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ , As, Cd, Se) sont pris en compte par le paramètre METOX et les composés organochlorés par AOX ou TOX. Ces deux types de polluants sont responsables d'une toxicité indirecte et par accumulation dans les tissus graisseux. Leur bioaccumulation a fait interdire certains pesticides organochlorés tel que le DDT depuis de nombreuses années mais ce type de composés sont présents dans le sang des mammifères y compris le nôtre (CLAUDE C;(2010))

**I -1-5-Normes et concentration Admissibles dans les eaux usées :**

Dans le cadre de la préservation de l'environnement et de la santé publique, des normes pour les valeurs maximales des normes de drainage et de déchets des unités industrielles liquides ont été imposées par le journal officiel Algérien conformément au décret exécutif n° 06-141 de Rabia al-Awwal 20 de 1427 correspondant au 19 avril 2006, où les valeurs maximales sont fixées pour les estuaires industriels liquides, comme indiqué dans le tableau ci- dessous: (Abbes, k (2017))

**TABLEAU (I-2) : Les valeurs des paramètres maximaux de l'élimination de déchets des unités industrielles (Abbes, k (2017)).**

La limite maximale acceptable	Unité	Normes	
8.5 ≥ pH ≥ 6.5	—	Ph	Physique
30	mg/l	Matériau précipité	
3	dm siemens/m	Ce	
0.2	dm siemens/m	Fuite ce3-0=sar	
0.3		3-6	
0.5		6-12	
1.3		12-20	
3		20-40	
30	mg/l	BDO <sub>5</sub>	Chimique
90	mg/l	CDO	
10	ml éq /l	Chlore Cl <sup>-</sup>	
30	mg/l	Azot (NO <sub>3</sub> -N)	
8.5	ml éq /l	Bicarbonate(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	

20	mg/l	Aluminium	<b>Produits toxiques</b>
2	mg/l	Arsonique	
0.3	mg/l	Béryllium	
2	mg/l	Jchère	
0.05	mg/l	Cadmium	
1	mg/l	Chrome	
5	mg/l	Cobalt	
5	mg/l	Cuivre	
0.5	mg/l	Cyanur	
15	mg/l	Fluor	
20	mg/l	Le fer	
0.002	mg/l	Phénol	
10	mg/l	Conduire	
2.5	mg/l	Lithium	
10	mg/l	Manganèse	
0.01	mg/l	Mercure	
0.05	mg/l	Molybdène	
2	mg/l	Nickel	
0.02	mg/l	Sélénium	
1	mg/l	Vanadium	
10	mg/l	Zinc	

#### I-1-6- Dangers résultant De l'utilisation des eaux usées :

La pollution peut exercer des effets qui, différés dans le temps et dans l'espace induisent des nuisances sur la santé humaine, l'économie et les écosystèmes aquatiques :

**I-1-6-1 -Conséquences sanitaires :** les effets de la pollution des eaux sur la santé humaine diffèrent selon le mode de contamination qui peut être par ingestion ou par simple contact sans négliger les modes de contamination intermédiaires, en particulier la consommation de produits alimentaires eux même contaminés par des eaux polluées.

L'absorption d'un polluant par voie digestive peut générer :

- Des effets à courts termes dits aigus causés par une seule absorption;
- Des effets à moyen terme engendrés par une absorption permanente pendant plusieurs mois;
- Des effets à long terme dits effets chroniques ou retardés causés par absorption tous au long d'une vie. Une moyenne de 70 ans étant habituellement retenue.

**I-1-6-2-Conséquences économiques :** les conséquences de la pollution des eaux sur l'économie peuvent prendre plusieurs aspects. Actuellement, nous constatons une certaine prise de conscience envers cette question, l'augmentation continue de la pollution des eaux risque de compromettre le développement des sociétés. Les effets néfastes de la pollution des ressources hydriques sont multiples sur le plan économique. On peut citer en particulier :



- La réduction du nombre de ressources d'eau potable utilisables et l'augmentation du coût des traitements de potabilisation ou celui du transport lorsqu'il faut avoir recours à des ressources lointaines;
- La dégradation des productions agricoles irriguées par des eaux de mauvaises qualités;
- La limite de développement des industries exigeantes en termes de qualité des eaux;
- La limite d'exploitation des milieux aquatiques;
- La dépréciation des sites.

**I-1-6-3-Conséquences écologiques :** se voit à travers la dégradation des écosystèmes aquatiques lorsque les apports en polluants dépassent largement la capacité d'autoépuration du milieu. Les spécificités de ces milieux engendrent des déséquilibres particuliers. On peut citer entre autres :

- **La présence de produits toxiques et de microorganismes dangereux :** rejetés sous différentes formes, ces polluants peuvent migrer très loin en aval des lieux de rejets et provoquer notamment :

- Des effets immédiats ou à court terme : intoxication voir la mort de certains êtres vivants ;
- Des effets à long terme : accumulation de produits toxiques chez certains organismes, intoxication et décès soit de l'organisme en question soit d'autres organismes à travers la chaîne alimentaire (**Chaouch ,N (2014)**)

#### **I -1-7- Le problème des eaux usées:**

Le monde a récemment souffert d'une crise de pénurie d'eau, d'autant plus que l'eau est un élément essentiel et très important de nos vies dont on ne peut jamais se passer, car elle est utilisée dans tous les domaines vitaux, en particulier l'agriculture. Par conséquent, les pays recherchent des alternatives et des solutions pour surmonter cette crise, et parmi ces solutions se trouvent l'utilisation d'eaux usées traitées pour irriguer certaines cultures agricoles, mais il a été noté que cette eau, malgré sa fertilité, contient des substances toxiques plus que les normes acceptables et les nutriments végétaux qui dépassent les besoins des cultures agricoles. À leur tour, ils sont transportés et accumulés dans les sols et affecteront ainsi la fertilité et la productivité du sol, conduisant à la production de cultures susceptibles de nuire à la santé humaine.

Le besoin en eau et le problème de la pénurie d'eau nous obligent à la restituer, ce qui pose plusieurs problèmes et défis en raison de ce qui a été mentionné précédemment.

#### **I -1-8- Les objectifs du traitement des eaux usées:**

Le principal objectif du traitement des eaux usées est de réduire la pollution environnementale de l'eau et des polluants biologiques, grâce à la réduction du pourcentage de polluants organiques et de nutriments, azotés et phosphoreux, en éliminant les microorganismes responsables des maladies mobiles et en restaurant les eaux usées. Pour une utilisation à diverses fins agricoles et industrielles comme c'est le cas pour les objets de valeur, nous pouvons utiliser les boues issues de la transformation à des fins agricoles.

**I -1-9- Traitement des eaux usées:**

En général, le traitement des eaux usées a pour fonction de les transformer en eau potable. Alors que l'assainissement des eaux usées a pour objectif de collecter puis d'épurer les eaux polluées avant leur rejet. Toutefois, le terme « traitement » est généralement employé pour désigner l'opération d'assainissement. Ainsi, bien que le terme « traitement » sera largement utilisé dans ce manuscrit, il concernera seulement la seconde définition.

Par ailleurs, épurer signifie « rendre pur » tandis que la définition de purifier est « débarrasser des impuretés ». Quand on parle d'épuration des eaux résiduaires, il n'est pourtant pas question de les rendre pures, mais plutôt d'en retirer le plus de déchets possible avant de les évacuer (**Zahir ,B(2007)**)

**I-1-10- Etapes du traitement des eaux usées:**

La première étape du traitement consiste à débarrasser les effluents de tous les éléments susceptibles de gêner les traitements ultérieurs ou d'endommager les équipements : déchets volumineux (dégrillage), sable (dessablage) et corps gras (dégraissage, déshuilage) (**Babou, L et al(2018)**)

**I-1-10- 1 Le dégrillage :**

Les eaux résiduaires brutes doivent subir un dégrillage, qui consiste à faire passer l'eau à travers d'une grille dont les barreaux sont plus ou moins espacés, permettant de séparer et d'évacuer les matières volumineuses qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants.

Le dégrillage permet de protéger la station contre l'arrivage des gros objets susceptible de des bouchages dans les différentes unités de l'installation.

**I-1-10- 2-Le dessablage :**

Le dessablage vise à éliminer les sables, les graviers et les particules plus au moins fines par une décantation. Ces particules sont aspirées ensuite par une pompe.

**I-1-10- 3-Le dégraissage-déshuilage :**

Dégraissage c'est généralement le principe de la « flottation » par air dissous qui est utilisé pour l'élimination des huiles.

Son principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage ; permettant de faire remonter rapidement les graisses, leurs élimination se fait par raclage de la surface.

#### **I-1-10- 4 Le traitement primaire :**

Le traitement primaire est destiné pour l'élimination des matières en suspension facilement décantables. Le traitement des eaux est seulement physique ou éventuellement physico-chimique à travers un décanteur primaire

Les eaux usées sont acheminées vers une cuve de sédimentation dans laquelle elles subissent une décantation primaire, afin d'éliminer les matières volumineuses en suspension (décantation physique), par contre le traitement physico-chimique a pour objet d'accélérer l'effet gravitationnel des particules encore en suspension dans les eaux usées grâce à l'action de réactifs chimiques ajoutés artificiellement (coagulants ou flocculent).

#### **I-1-10- 5-Le traitement secondaire :**

Les traitements recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles (Carbone, azote et phosphore) .Dans la majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonée et azotée s'appuie sur des procédés de nature biologique. Les procédés membranaires combinent quant à eux des procédés biologiques et physiques.

Eau+ pollution organique + micro-organismes + oxygène

Micro- organismes en excès + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

L'épuration biologique est et restera sans doute encore longtemps, le mode de traitement le plus utilisé pour assurer l'élimination de la pollution organique biodégradable des effluents urbains, car de loin le plus économique en exploitation. Elle s'effectue par voie aérobie ou anaérobie

#### **I-1-10- 5-1-Les traitements anaérobies :**

Les traitements anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas l'oxygène, en particulier, aux bactéries méthanogènes qui conduisent, comme son nom l'indique, à la formation du méthane à partir de la matière organique et à degrés moindre de CO<sub>2</sub>.

#### **I-1-10- 5--2-Les traitements aérobies :**

Les micro-organismes utilisés exigent un apport permanent d'oxygène. On distingue cinq méthodes essentielles :

- Les cultures fixées (lits bactériens et disques biologiques)
- Le lagunage
- Infiltration/percolation
- Filtres plantés
- Les cultures libres (boue activée)

**I-1-10- 5-2-1-La boue activée (culture libre) :**

Les boues activées constituent le traitement biologique le plus répandu, la culture bactérienne est maintenue en suspension dans le courant des eaux usées à traiter, il s'agit du procédé de boue activée. C'est le traitement le plus simple et le plus fréquemment utilisé.

Le procédé d'épuration par boues activées est un procédé relativement récent il est mis au point par ARDERN et LOCKET en 1914 à Manchester.

C'est un procédé qui consiste à provoquer le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocon dans un bassin aéré, alimenté par l'eau usée à traiter.

Le brassage a pour but d'éviter les dépôts et d'homogénéiser le mélange des flocons bactériens et de l'eau usée (liqueur mixte).

L'aération qui peut se faire avec l'air, ou avec l'oxygène pur, a pour but de dissoudre ce gaz dans la liqueur mixte.

**I-1-10- 5-2-2-La technique de fonctionnement :**

Le développement des boues est assuré par un brassage de la masse formée et surtout par l'oxygène nécessaire aux réactions de minéralisations, l'oxygène est fourni artificiellement soit par insufflation d'air au sein du liquide, soit par un procédé mécanique d'agitation de fond et surface.

Après un temps de contact suffisant, la liqueur mixte est envoyée dans un bassin appelé décanteur secondaire destiné à séparer l'eau épurée des boues.

Ces dernières sont recyclées dans le bassin d'aération, pour y maintenir une concentration suffisante en bactéries épuratrices. L'excédent est extrait du système et évacué vers les ouvrages de traitement des boues.

**I-1-10- 5-2-3-Traitement des boues :**

Les boues activées sont stabilisées dans deux ouvrages qui sont :

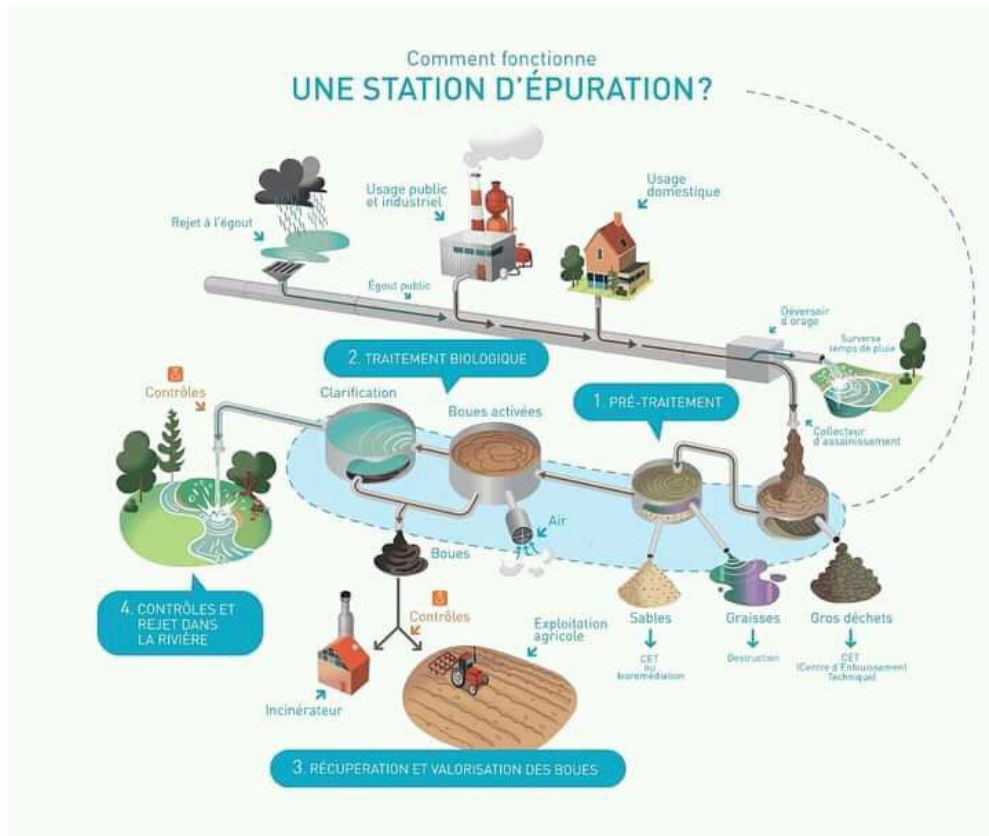
-Stabilisateur : les boues stabilisées sont envoyées vers l'épaississeur par des groupes de pompage.

-L'épaississeur : il a pour fonction de limiter le volume d'eau à transformer sur les aires de séchage.

**I-1-10- 6-Traitements tertiaires :**

Appelés aussi traitements complémentaires qui visent l'élimination de la pollution azotée et phosphatée.

Les traitements tertiaires souvent considérés comme facultatif ou complémentaire permettent d'affiner ou d'améliorer le traitement secondaire. De telles opérations sont nécessaires pour assurer une protection complémentaire de l'environnement récepteur ou une réutilisation de l'effluent en agriculture ou en industrie (**Babou, L et al(2018)**)



**Figure (I-2) : Etapes Du Traitement Des Eaux Usées Dans La Station Epuration.**

**I -2- Méthodes de traitement des eaux usées:**

**I -2-1- Processus physiques:**

C'est le processus le plus courant et parmi les méthodes les plus utilisées, nous mentionnons les suivantes:

**- le dégrillage:**

Le dégrillage permettant d'éliminer les corps flottants et les gros déchets par l'intermédiaire de grilles placées en travers du canal d'amenée afin de protéger les installations contre les obstructions (**Zahir BAKIRI(2007)**)

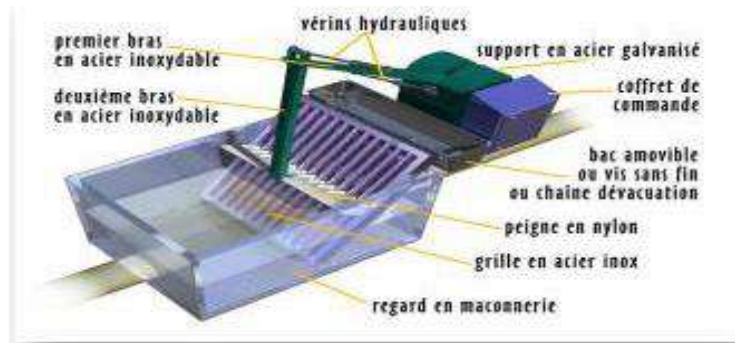


Figure (I-3) : schéma d'un dé grilleur

#### - **Décantation:**

La décantation, procédé qu'on utilise dans pratiquement toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux, a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Ces particules sont en général des particules de floc ou des particules résultant de la précipitation qui a lieu lors des traitements d'adoucissement ou d'élimination du fer et du manganèse. Les particules s'accumulent au fond du bassin de décantation d'où on les extrait périodiquement. L'eau clarifiée, située près de la surface, est dirigée vers l'unité de filtration (CLAUDE, C;(2010))

#### - **Décantation-flottation:**

Ces procédés sont des méthodes de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc, après l'étape de coagulation-floculation. Si la densité de ces floccs est supérieure à celle de l'eau, il y a décantation. L'eau clarifiée située près de la surface est dirigée vers les filtres à sable. Dans le cas de particules de densité inférieure à celle de l'eau, le procédé de flottation est à appliquer (CLAUDE, C;(2010))

#### - **Filtration:**

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux. Les solides en suspension ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent; il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou de façon intermittente.

La filtration habituellement précédée des traitements de coagulation, de floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et indirectement de certains goûts et odeurs (Raymond Desjardins (1990))

### I -2-2- Procèdes chimiques :

Les procédés chimiques les plus utilisés sont:

#### - **Adsorption sur charbon active:**

Le charbon activé élimine les impuretés de l'eau en les fixant et en les faisant s'accumuler à sa surface. C'est pourquoi une grande surface par unité de volume et une forme poreuse constituent des caractéristiques essentielles d'un bon adsorbant. La plus grande partie de la surface adsorbante est située dans les pores en gendres par l'activation du charbon. Il va sans dire que le type d'impuretés adsorbées dépend de la grosseur des pores. Ainsi, certaines molécules ne peuvent pas être adsorbées par des pores trop petits par rapport à leur grosseur.

On peut produire du charbon activé à partir de matériaux comme le bois, le charbon, le coke, la tourbe, la lignine, la lignite, la noix de coco et les résidus du pétrole. Le charbon activé utilisé dans le traitement des eaux est surtout produit à partir du charbon, du coke ou de la lignite (**Raymond Desjardins (1990)**)

- **Désinfection :**

La désinfection est un traitement qui permet de détruire ou d'éliminer les microorganismes susceptibles de transmettre des maladies; ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation, qui est la destruction de tous les organismes vivants dans un milieu donné.

On peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau une certaine quantité d'un produit chimique doté de propriétés germicides. Les produits chimiques les plus utilisés sont: le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone, le brome, l'iode et le permanganate de potassium. On peut également désinfecter l'eau grâce à des moyens physiques: ébullition, ultrasons, ultraviolets ou rayons gamma (**Raymond Desjardins (1990)**)

- **Décoloration:**

Lorsqu'on a effectué une sur chloration ou lorsqu'il y a eu déversement accidentel de chlore, il faut procéder à une déchloration. Rappelons que, selon le Règlement sur l'eau potable, la concentration minimale de chlore libre doit être de 0.2 mg/L après 10 min de contact ou que celle de chlore total doit être de 0,2 mg/L après 60 min de contact.

Dans ce même règlement, on ne retrouve par contre aucune norme concernant la concentration maximale permise de chlore. Cependant, dans plusieurs usines, on limite la concentration de chlore libre à 1,0 mg/L. ou la concentration de chlore combiné à 2,0 mg/L.

On peut utiliser plusieurs produits ou procédés pour déchlorer une eau, entre autres : le dioxyde de soufre, le sulfite de sodium, le charbon activé, les résines échangeuses d'ions et l'aération. On ne recourt aux résines échangeuses d'ions que pour la déchloration de petites quantités d'eau. L'aération n'est efficace que pour l'élimination de l'acide hypochloreux; les ions hypochlorites étant en effet très solubles, ils ne sont pas affectés par l'aération. Des

études ont montré l'aération éliminait moins de 15 % du chlore combiné lorsque le pH de l'eau était supérieur à 7 (**Raymond Desjardins (1990)**)

### **I -2-3- Processus Biologiques:**

C'est généralement après des processus physiques et chimiques, et les plus couramment utilisés sont les suivants:

#### **- Bassin d'aération:**

Le transfert de l'oxygène de l'air au sein du mélange eau-boue biologique, se pratique, soit par injection d'air dans le milieu liquide par insufflation, soit par projection de l'eau dans l'air grâce à des turbines ou à des ponts-brosses. La vitesse de transfert dépend de la pression atmosphérique, de la température du milieu, de sa teneur en MES et de son déficit en O<sub>2</sub>. La dissolution de l'oxygène est d'autant plus rapide que ce déficit est élevé et qu'un brassage assure un renouvellement rapide des interfaces gaz-liquide.

Une oxygénation correcte dépend de la configuration du bassin et de ces relations avec le système d'aération. En conséquence, les performances d'un même système sont différentes suivant le bassin. Des essais sont donc nécessaires. Plusieurs paramètres déterminent les performances des aérateurs. On peut citer la capacité d'oxygénation ou masse d'oxygène introduite par heure et par m<sup>3</sup> et l'apport horaire qui est la C.O étendue au volume du bassin. L'apport spécifique brut est la masse d'oxygène introduite dans le bassin pour une dépense énergétique de 1 kWh (**CLAUDE CARDOT;(2010)**)

#### **- Bio filtration:**

La biofiltration de l'eau usée était d'abord du ressort des lits bactériens à ruissellement ou alvéolaires. L'eau à traiter percole sur un matériau support des micro-organismes. L'aération est naturelle par ouïes. Ce procédé représente encore 15% des installations d'épuration et traite 10% de la pollution totale en France. Puis, vint l'idée de mettre le matériau de remplissage dans l'eau à épurer. Les lits immergés ou granulaires, aussi appelés bio filtres, étaient nés. Comme son nom l'indique, ce procédé utilise des bactéries épuratrices et retient les matières en suspension (**CLAUDE CARDOT;(2010)**)

#### **- Procède par boues actives:**

Le processus d'épuration par boues activées est le plus répandu dans le monde. En FRANCE, ce procédé représente 60 % du parc des usines de dépollution et 80 % de la capacité de traitement, soit 40 millions d'équivalents-habitant. Son développement est dû à ses excellentes performances vis à vis des pollutions carbonée, azotée et phosphorée pour peu que l'exploitation soit correcte. Le principe de ce procédé est simple. Une biomasse libre élimine



les composés polluants en mode aérobie. L'oxygène nécessaire aux réactions est apporté par aération (CLAUDE CARDOT;(2010)

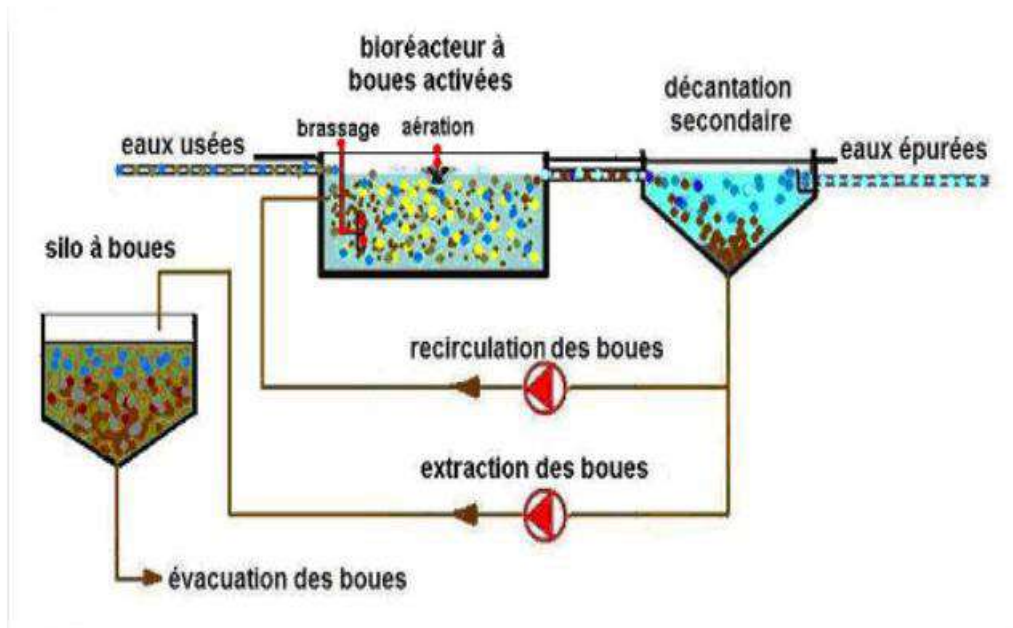


Figure (I-4) : Schéma d'un procédé a boues activées

### Conclusion:

Compte tenu des éléments présents dans les eaux usées qui constituent une menace pour la santé publique et l'environnement, nous devons traiter ces eaux avant rejet et au niveau approprié et requis. C'est le rôle de la station d'épuration et le but auquel elle aspire, d'autant plus que l'eau traitée sert à irriguer certaines cultures agricoles pour fournir des sources d'eau et combler la rareté des ressources en eau.

## **CHAPITRE II**

### *Charbon Actif*

## II.1 Introduction

Dans l'industrie, les solides les plus utilisés sont les charbons actifs, les zéolithes, les gels de silice et les alumines activées. Les capacités d'adsorption particulièrement élevées de ces matériaux sont en partie liées à leurs structures poreuses très développées et leurs grandes surfaces spécifiques. (Mazouz, M et al(2017))

## II.2 Types des adsorbants

On distingue cinq grands types d'adsorbants qui sont plus utilisées dans le domaine de l'industrie: les argiles activées, les zéolithes, les alumines activées, les gels de silice et les charbons actifs. (Mazouz, M et al(2017))

Tableau (II-1): caractéristiques principales des charbons actifs en fonction du matériau d'origine (Carbochem, 2004) (Lu jinyan(2005))

Propriétés	CA de houille	CA du bois (CAP)	CA de noix de coco	CA de lignite
Micropores (nombre)	fort	faible	fort	moyen
Macropores (nombre)	moyen	fort	faible	fort
Dureté	forte	faible	forte	faible
Densité	0.48 g/cm <sup>3</sup>	0.35 g/ cm <sup>3</sup>	0.48 g/ cm <sup>3</sup>	0.4 g/ cm <sup>3</sup>
Indice d'iode	1000	1000	1100	600
Teneur en cendres	10%	5%	5%	20%
Mode de fabrication	physique	chimique	physique	physique
Régénération	bonne	non réalisable	bonne	mauvaise

### II.2.1-Charbon actif

**II.2.1.1Définition des charbons actifs** Les charbons actifs sont des produits carbonés poreux, constitués principalement de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et de petites quantités de soufre et d'azote. Ils se présentent sous forme d'une poudre noire plus ou moins fine et inodore. Le conseil Européen des fédérations de l'industrie chimique (C.E.F.I.C) les définit comme suit : « **Les charbons actifs sont des produits carbonés dotés d'une structure poreuse présentant une très grande surface de contact interne. Ces matériaux issus des procédés industriels peuvent adsorber une large variété de substances qui se fixent sur**

leurs surfaces internes, ils sont par conséquent appelés adsorbants». (Chaouch, N (2014))

**II.2.1.2-Précurseurs des charbons actifs** Les charbons actifs sont les plus anciens adsorbants fabriqués industriellement à partir d'un grand nombre de matières carbonées d'origine organique ou minérale. Les précurseurs les plus employées sont : l'antracite, le bois, le lignite, les noix de dattes (**cas de notre étude**), les noix d'olives, les noix de pistache, les noix de coco, le coke, le bitume, les coquilles de noix d'amandes, les résidus pétroliers, les pailles, les os, la tourbe, les pâtes à papier, les houilles et les fibres. (Chaouch, N (2014))

### II.2.1.3-Structure du charbon actif

Un charbon actif est constitué d'un agencement désordonné de microcristaux de tailles variables (5 à 150 Å). Chaque microcristal est constitué par un empilement irrégulier de 5 à 20 feuillets distants de 3,6 Å (Figure II.1). La présence d'hétéroatomes conduit suivant le mode de fabrication du charbon actif à la formation de groupements fonctionnels sur les arêtes des microcristaux. (Chaouch, N (2014))

Les groupements carboxyliques, anhydrides carboxyliques, phénoliques, carbonyles et lactones sont les plus couramment rencontrés. Ces groupements de surface sont à l'origine du caractère hydrophile du charbon actif et de son potentiel électrocinétique. Ils confèrent au charbon actif des propriétés acido-basiques. (Chaouch, N (2014))



Figure (II.1): Représentation de la microstructure d'un charbon actif (Chaouch, N (2014))

### II.2.1.4-Texture du charbon actif

La texture poreuse d'un charbon actif est définie par la figure géométrique que constitue l'arrangement des particules microscopiques et des pores dans un grain de charbon actif. Elle dépend du précurseur employé et des techniques de préparation mises en œuvre et se caractérise principalement par la surface spécifique et la porosité. (Chaouch, N (2014))

**a)La surface spécifique (aire massique) :** la surface développée par le charbon actif et qui tient compte de toutes les irrégularités existantes à l'échelle moléculaire. Elle est rapportée à l'unité de masse de charbon et peut atteindre 2700 m<sup>2</sup>/g. (**Chaouch, N (2014)**);

**b)La porosité :** représente la fraction du vide existant dans le charbon actif. Elle peut atteindre 80 % et dépend des dimensions des pores et de leurs distributions. Les pores sont généralement classés suivant leurs tailles en trois catégories comme l'indique le tableau II.2 et la figure II.2 ci-dessous:(**Chaouch, N (2014)**)

**Tableau (II-2) : Classification de Dubinin 1960(Chaouch, N (2014))**

Type de pores	Rayon (nm)	Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	Volume massique (ml/g)
Micropores	< 2	600 – 1500	0.2 – 0.6
Mésopores	2 – 50	20 – 70	0.02 – 0.1
Macropores	> 50	0.5 – 2	0.2 – 0.8

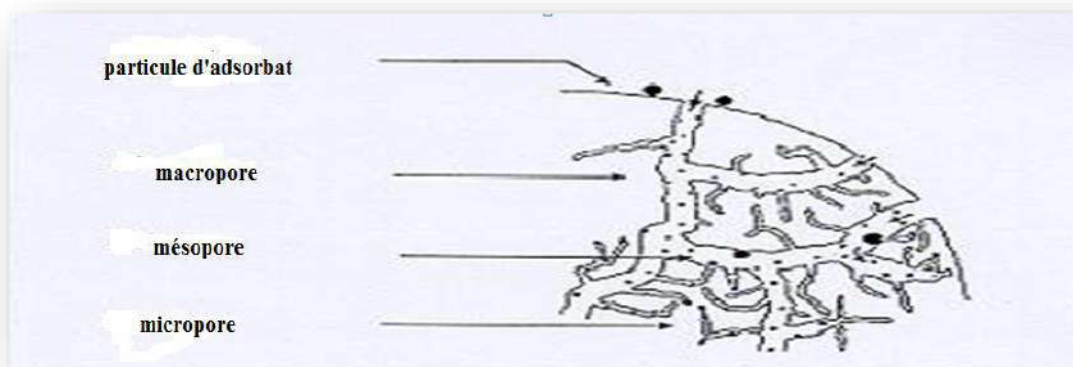


Figure (II-2): Schématisation de la structure du charbon actif . (**Abbes, k (2017)**)

### II.3-Propriétés

Un certain nombre de paramètres permettent de caractériser un charbon actif et de déterminer ses conditions d'utilisation. Ils sont détaillés ci-dessous.

· Le volume poreux et la taille des pores : Selon la classification IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), les tailles de pores sont répartir en 3 classes:

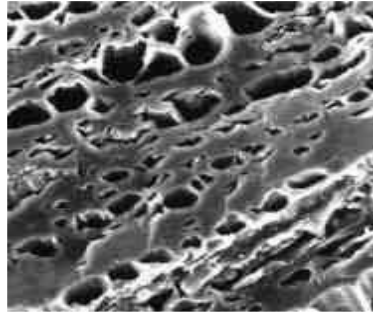
- Micropore < 1nm (1nm=10<sup>-9</sup> m)
- Mesopore 1 – 25 nm
- Macropore > 25nm

Le volume poreux total des charbons actifs est de 0,5 à 1 cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup> (50 à 70% en volume).

-Les micropores représentent généralement 90 à 95 % de la surface spécifique totale et sont responsable de la grande capacité d'adsorption des molécules de faibles poids moléculaire.

-Les mésopores (les pores de transition) représentent environ 5 % de l'aire massique totale du charbon. Ils sont le siège de tous les phénomènes de condensation capillaire.

-Les macropores jouent le rôle de couloir de passage vers les mésopores. Leur faible aire massique indique que leur rôle sur les capacités d'adsorption est limité. (Lu jinyan(2005))



**Figure (II-3).** Exemple de pores du charbon actif (Lu jinyan(2005))

- La surface spécifique : Elle correspond à la surface des pores. Le volume poreux étant important, la surface développée est énorme : de 500 à 1500 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>. Ce sont essentiellement les micropores et mésopores qui créent de la surface. La capacité d'adsorption est proportionnelle à la surface.
- La taille des grains : Elle conditionne la vitesse d'adsorption (plus le grain est petit, plus le transfert vers le centre est rapide) et la perte de charge à travers le lit.
- La dureté: Elle représente la résistance au tassement, à la friction et aux vibrations pendant la phase de lavage.
- La densité : plus le charbon est activé, plus il est léger. La densité indique le niveau d'activation du charbon actif. Elle conditionne l'efficacité des traitements et c'est également un élément déterminant de son prix. La densité du charbon actif utilisé pour le traitement de l'eau est en général comprise entre 0.20 et 0.55 g/cm<sup>3</sup>. L'expérience montre que quand la densité est supérieure à 0.35 g/cm<sup>3</sup>, le lit du charbon actif fonctionne mieux. (RICHARD Y., 1970s)
- Indice d'iode : la performance du charbon actif est évaluée par sa capacité d'adsorption de l'iode, prise comme substance de référence. L'indice est proportionnel au nombre de micropores. Plus il est grand, meilleur est le niveau d'activation et donc meilleure sera la capacité d'adsorption.
- La teneur en cendres: elle est importante car elle peut gêner la mise en place du charbon. La teneur en cendres du charbon actif appliqué au traitement de l'eau devra être la plus basse possible, surtout si l'eau est dure, et en aucun cas, dépasser 10%. (RICHARD Y., 1970s) (Lu jinyan(2005))

**II.4 Formes:**

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

a)-**Charbon actif en poudre (CAP)** :Le charbon actif en poudre prend la forme de grains de taille comprise entre 10 et 50  $\mu\text{m}$ . Sous cette forme, il s'utilise souvent pour le traitement de l'eau et du gaz. Dans le premier cas, il est généralement utilisé en combinaison avec un traitement clarificateur pour augmenter le temps de contact entre le charbon et l'eau. (Lenntech, 2004) (Lu jinyan(2005))



Figure (II-4): Charbon actif en poudre(Lu jinyan(2005))

b)-**Charbon actif en grain (CAG)** :La forme du CAG est irrégulière et sa taille est comprise entre 0.2 –5 mm. Il est majoritairement utilisé pour l'élimination des micro polluants organiques et de la matière organique des eaux, mais il est également appliqué au traitement des gaz. Les caractéristiques physiques du CAG varient considérablement selon les matériaux constitutifs et le mode de fabrication.

Le tableau 1 ci-dessous donne les avantages et inconvénients des CAP en comparaison avec les CAG : est limitée à 80 mg/L. (Lu jinyan(2005))



Figure (II-5): charbon actif en grain

(Lu jinyan(2005))

Tableau (II-3): comparaison entre CAP et CAG (Lenntech, 2004) (Lu jinyan(2005))

Avantages	inconvénients
Le CAP coûte moins cher que le CAG	Le CAP ne peut pas être régénéré
Des quantités supplémentaires de CAP peuvent être rajoutées en cas de pointes de pollution accidentals ou temporaires	Une quantité très importante de CAP est nécessaire pour enlever toutes les traces d'impureté
L'adsorption est rapide dans la mesure où une grande partie de la surface de contact est directement disponible	La concentration maximum applicable est limitée à 80 mg/L.

c)-Il existe un troisième type de CA appelé **charbon actif extrudé**. Il prend la forme de cylindre et sa taille est comprise entre 0.8 et 5 mm. Il est plutôt utilisé pour traiter les gaz. Sa structure permet de limiter les pertes de charge lors du passage du gaz à travers le lit. Il contient peu de poussières et possède une forte résistance mécanique. (Chemviron, 2004) (Lu jinyan(2005))

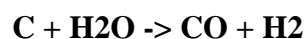


Figure (II-6): charbon actif extrudé

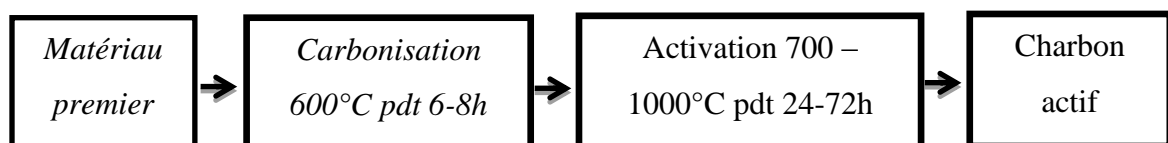
## II.5.Comment sont-ils fabriqués ?

En fonction de la nature du matériau constitutif, de la forme physique du produit désiré et des caractéristiques souhaitées, deux procédés sont appliqués pour la fabrication de charbon actif.

**II.5.1.Procédé physique** : Ce procédé est scindé en deux étapes distinctes. Le matériau premier est d'abord carbonisé à une température d'environ 600 °C pendant 6 à 8 h. Il est ensuite activé par oxydation ménagée à haute température (700 à 1000 °C). Au cours de cette seconde étape, il est mis en présence d'un mélange faiblement oxydant de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone pendant 24 à 72 h. Le carbone est consommé par la réaction :



Le procédé est décrit sur le schéma ci-dessous :

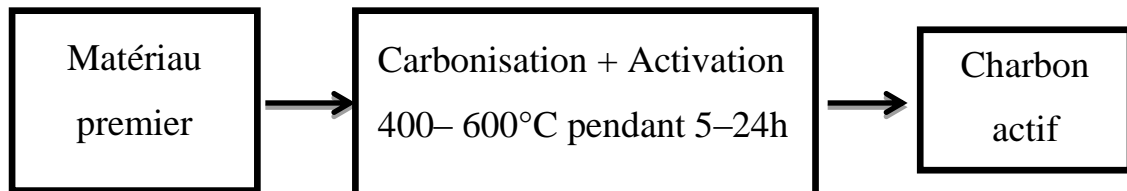


Le procédé physique se caractérise par un faible rendement global. (RAVARINI P., 2004)



**II.5.2.Procédé chimique** : La carbonisation et l'activation sont réalisées simultanément entre 400 et 600 °C en présence d'acide phosphorique ou de chlorure de zinc. Précisons que ce dernier est interdit pour les applications agro-alimentaires. Ces agents interviennent comme catalyseurs d'oxydation et permettent à la fois le développement de la microporosité et de la méso porosité par élargissement du diamètre des pores.

Le procédé est décrit sur le schéma ci-dessous :



La fabrication selon ces deux procédés s'achève par des opérations de granulations, de tamisage et de conditionnement.

En général, les charbons actifs à base de bois sont activés par le procédé chimique, et ceux à base de noix de coco et de houille par le procédé physique. (Lu jinyan(2005))

## II.6 Préparation et régénération du charbon actif

### II.6.1 Préparation

Le charbon actif est obtenu par la pyrolyse de différents composés organiques: bois, coques de fruits (noix de coco), noyaux de fruits, os et résidus pétroliers. La structure et la nature chimique d'un charbon actif évoluent tout au long des processus de fabrication. En conséquence, le pouvoir adsorbant du charbon est créé ou augmenté en éliminant par un procédé d'activation. (Lu jinyan(2005))

**II.6.2-La carbonisation** : cette étape consiste en une pyrolyse d'un précurseur préalablement déshydraté dans un milieu peu oxydant entre 200 °C et 600 °C. Une fois que les hétéroatomes sont éliminés, le matériau devient plus riche en carbone. Les atomes de carbone restants se regroupent en feuillets aromatiques qui s'arrangent ensuite d'une manière irrégulière laissant ainsi des interstices entre eux. Ces interstices donnent naissance à une porosité primaire du produit carbonisé dont la surface spécifique est de l'ordre de 10 m<sup>2</sup>/g. (Lu jinyan(2005))

**II.6.3-L'activation** : le produit obtenu par pyrolyse ne possède qu'une porosité rudimentaire et ne peut pas être employé comme adsorbant sans une activation supplémentaire visant l'augmentation du volume des pores et le développement de la surface spécifique. L'activation supprime les structures carbonées désorganisées, la structure interne du composé ainsi obtenu est constituée d'un assemblage aléatoire de «cristallites» de type

graphitique et l'espace entre ces unités constitue la microporosité du charbon. IL existe deux procédés d'activations :

### **II.6.3.1 Activation chimique**

On mélange la substance carbonée (bois, tourbe, paille, papier, os, coquilles de noix, ...) avec des réactifs déshydratants et oxydants, on chauffe le mélange, puis on lave. Parmi les réactifs chimiques utilisés:  $ZnCl_2$ ,  $H_3PO_4$ ,  $H_2SO_4$ ,  $NaOH$ ,  $KOH$ ...On cherche actuellement à produire des adsorbants de moindre qualité mais à partir de déchets tels que les ordures urbaines, cette activation se fait à une température de  $500^\circ C$  qui donne un charbon actif où les pores plus larges méso- et macropores prédominent

### **II.6.3.2 Activation par les gaz (physique). (Chaouch, N (2014))**

On part d'un matériau déjà charbonneux (charbon, anthracite, lignite, coke, charbon de coco, ...), qu'on broie finement puis qu'on presse en briquettes avec un liant approprié. Ensuite, on les soumet à la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone  $CO_2$  ou leurs mélanges. Il y a oxydation d'une partie en  $CO$  ou  $CO_2$ , et le reste est devenu poreux, donc actif. La température d'activation varie de  $300$  à  $1000^\circ C$  qui produit un charbon actif dans lequel dominant les pores étroits (micropores). (Chaouch, N (2014))

## **II.6.4 Réactivation**

Le charbon actif est un produit relativement coûteux. Une fois tous les sites d'adsorptions saturés, le charbon actif est dit saturé ou sur saturé, c'est pourquoi il est très souvent régénéré. La réactivation appelée aussi régénération consiste à désorber les molécules captées par le charbon actif. Le charbon actif saturé est considéré comme un déchet dangereux et doit être traité par des services spécialisés en interne ou en faisant appel à des entreprises compétentes. (Lu jinyan(2005))

### **II.6.4.1 Méthodes de réactivation**

Il existe trois méthodes de régénération.

#### **a. Réactivation à la vapeur**

Cette méthode est réservée à la régénération des charbons actifs qui ont simplement adsorbés des produits très volatiles. Cependant, le traitement à la vapeur peut être utile pour déboucher la surface des grains de charbon. Le chauffage du charbon actif est très rapide. Les molécules d'eau s'adsorbent et chassent les molécules présentes. Un refroidissement à température ambiante du flux sortant provoque la condensation de la vapeur et des composés désorber. (Lu jinyan(2005))

#### **b. Réactivation thermique**

Cette opération est réalisée par pyrolyse ou en brûlant les matières organiques adsorbées par les charbons actifs. Le charbon actif est chauffé à environ 800°C sous atmosphère contrôlée.

### **c. Réactivation biologique**

Elle consiste à utiliser des bactéries. Cette méthode de régénération n'a pas encore été appliquée à l'échelle industrielle.

### **d. Réactivation chimique**

Ce procédé fait appel à un solvant utilisé à une température de 100°C. Cette méthode est utilisée pour minimiser les pertes de charbon actif (1%). Les polluants sont ensuite détruits par incinération. Le charbon en poudre (CAP) se régénère moins facilement que le charbon en grains (CAG). Lorsqu'une molécule d'adsorbat est fortement retenue, elle est aussi difficile à désorber lors de la régénération. La combustion des adsorbats les oxyde et engendre des acides qui se retrouveront dans les eaux de lavage et devront être neutralisés. (Lu jinyan(2005))

## **II.7 Demande en charbon actif**

La demande en charbon actif ne cesse de croître dans tous les domaines de traitements de gaz et de liquides.

Le charbon actif trouve une application croissante dans le traitement des eaux de rejet et effluents gazeux pour se débarrasser de composés qui affectent le goût et l'odeur car la réglementation concernant l'environnement en incorporant des systèmes de traitement et d'épuration appropriés. Les multiples défis rencontrés dans la pollution inquiétante de l'environnement à travers le monde entier et qu'il faut relever par tous les moyens font que la demande en charbon actif deviendra très importante à l'avenir. (Mazouz, M et al(2017))

## **II.8 Les applications des charbons actifs**

Le charbon actif est un matériau stable, pratiquement inflammable en raison de l'absence de produits volatils et doué d'excellentes propriétés d'adsorption qui sont à la base de ses utilisations. (Mazouz, M et al(2017))

### **II.8.1 Adsorbant**

Le charbon actif est un bon adsorbant, utilisé dans différents domaines :

- Le traitement des eaux potables ou des eaux industrielles qui sont produites à partir des eaux de surface. Le charbon actif fixe alors les composés organiques dissous qui n'ont pas été éliminés par autoépuration (ou élimination biologique naturelle). Nous citons en exemple les substances qui donnent le goût et la saveur à l'eau. Ces adsorbants retiennent également certains métaux lourds à l'état de traces.

- Le traitement tertiaire des eaux résiduaires ou industrielles. Dans ce cas le charbon actif peut être considéré comme un complément au traité biologique. Ce procédé est utilisé pour l'élimination des colorants.
- Le traitement des eaux résiduaires industrielles : ce traitement est employé lorsque l'utilisation des techniques biologiques n'est pas permise. Le but du charbon actif est donc d'éliminer les composés toxiques non biodégradables.
- La purification industrielle des produits pharmaceutiques, chimiques ou alimentaires (Sucre, huiles végétales...).

### II.8.2 Catalyseur

Le charbon actif peut agir comme catalyseur dans différentes réactions grâce à ses propriétés. Les plus importantes applications industrielles de charbon dans ce domaine sont la production de phosgène et l'oxydation des gaz nocifs.

Autre domaines d'utilisation des charbons actifs :

- Masques à gaz, filtres à cigarettes et filtres utilisés dans les installations de ventilation en circuit fermé (hotte de cuisine par exemple) ;
- Dans l'industrie, les charbons actifs utilisés pour la séparation en phase liquide ont des tailles de pores distribuées autour ou supérieures à 3 nanomètres (nm) tandis que ceux utilisés en phase gazeuse ont des tailles de pores inférieures :
- Extraction de l'or de SES minerais, stockage de l'hydrogène (nano fibre de charbon actif).
- Support pour métaux catalytiques ultra divisés (platine ou nickel sur charbon actif).
- Extraction de l'or des minerais (fixation sur le charbon actif).
- Balais (frotteurs) dans les générateurs et moteurs (utilisation de plus en plus rare).
- Médecine. (Mazouz, M et al(2017))

### II.9 Sources du charbon actif

Le charbon actif obtenu à partir de biomasse ou les sous-produits agricoles, qui coûtent moins cher que les charbons actifs issus de matières fossiles, peut être fabriqué à partir de beaucoup de substances ayant une grande teneur en carbone comme les coques de grains, les déchets de maïs, les coques de noix.

A l'heure actuelle la demande croissante de matériaux adsorbants pour des procédés de protection de l'environnement suscite une recherche complémentaire dans la fabrication des charbons actifs à partir de matières qui ne sont pas classiques, concrètement à partir des déchets végétaux.

Parmi les matières de base (précurseurs) utilisées aujourd’hui pour fabriquer le charbon actif, figurent la sciure de bois, la tourbe, le lignite, la houille, la cellulose, les résines échangeuses d’ions épuisées telles que les polymères styrène-di vinyle benzène, et les résines phénol formaldéhyde, les pneus automobiles usagés, les boues et le marc de café.

Le charbon actif obtenu à partir des déchets végétaux est pourtant très intéressant du point de vue économique, comme l’ont montré différentes études. Les matériaux les plus effectifs et commercialement viables sont les coques de noix et les noyaux de fruits, les coques d’amandée, les noyaux d’olives, les noyaux de pêches, et la coque de pécan.

Les sous-produits agricoles de grains, abricots, et de coton sont aussi des sources pour la production de charbon actif. Par exemple : l’épi de maïs, cosses de riz et cosses de graines de soja, les noyaux d’abricots, sont disponibles facilement dans beaucoup d’endroits. (Mazouz, M et al(2017))

Tableau (II-4): les charbons activés granulaires produites à partir de sous-produits agricoles (Johns et al, 1998).( Sai, P. M. S., Ahmed, J., and al(1997))

Type de produit	Rendement de charbon %	Température d'activation (°C)	Durée (heurs)	activant	Rendement de combustion%	Aire surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)
Noyaux d'arachide	30	850	10	Co <sub>2</sub>	17,3	127
Noyaux d'arachide	30	800	12	Vapeur	25	478
Grains de riz	35	850	10	Co <sub>2</sub>	27,2	127
Grains de riz	35	800	12	vapeur	11,7	400
La bagasse de canne à sucre	35	850	10	Co <sub>2</sub>	20,3	490
Noyaux de canne à sucre	35	800	12	vapeur	15,1	365
Coquilles de noix	25	850	5	Co <sub>2</sub>	27,2	38
Coquilles de noix	25	800	12	vapeur	57	380
Graines de soja	26	850	15	Co <sub>2</sub>	20,7	456
Graines de soja	26	800	12	vapeur	16,7	602
Ecorces de noix de pécan	27	800	15	Co <sub>2</sub>	34	547
Écorces de noix de pécan	26	800	12	vapeur	32	721

### II.10 Conclusion

La principale application du charbon actif est la purification. C'est la vaste structure poreuse de la matrice charbonneuse qui assure l'adsorption par le charbon actif des produits contaminants indésirables des liquides et des flux gazeux, de manière économique.

En revanche la surface spécifique et la structure poreuse de charbon actif dépendent beaucoup des matières de départ et du mode de traitement. (**Mazouz, M et al(2017)**)

# **CHAPITRE III**

## *Phénomène d'adsorption*

### III.1 Introduction

Le procédé de séparation par adsorption constitue aujourd'hui une des technologies les plus importantes, elle est largement utilisée pour la dépollution et la purification dans des domaines très variés, par exemple les industries pétrolières, pétrochimiques et chimiques, aux applications environnementales et pharmaceutiques. Dans ce chapitre nous allons donner quelques généralités sur l'adsorption pour mieux définir l'importance de ce processus, expliquer sa cinétique, ses caractéristiques et les éléments influant d'adsorption. .( **Mazouz, M et al(2017)**)

### III .2Généralité sur d'adsorption

Le terme adsorption a été proposé pour la première fois par Kayser en 1881 pour différencier entre la condensation du gaz à la surface, et une absorption du gaz, processus dans lequel les molécules de gaze pénètrent dans la masse. L'adsorption à l'interface soluté/solide est un phénomène de nature physique ou chimique par lequel des molécules présentes dans effluent liquide ou gazeux, se fixent à la surface d'un solide. (**Chegaar, O et al (2019)**)

L'adsorption est une technique efficace et facile à mettre en œuvre pour l'élimination de certains polluants organiques et inorganique. Cependant son efficacité dépend beaucoup de la nature du support utilisé comme adsorbant, particulièrement en ce qui concerne son coût, sa disponibilité, sa régénération, etc. A l'inverse de la précipitation, l'adsorption est plus efficace dans le domaine des faibles concentrations. (**Chegaar, O et al (2019)**)

### III.3.Définition:

L'adsorption est un processus physico-chimique de transfert de matière dans lequel une ou plusieurs composantes d'un fluide désignée(s) par adsorbat(s) se fixent sur la surface d'un solide nommé adsorbant d'une manière plus ou moins réversible par des interactions physiques et/ou chimiques. Selon qu'il s'agit d'un liquide ou d'un gaz en contact avec l'adsorbant on distingue : l'adsorption solide-liquide (cas de notre étude) et l'adsorption solide-gaz. (**Chaouch ,N (2014)**)

### III .4.Origine de l'Adsorption:

Quand un solide est mis en contact avec une solution, chaque constituant de cette dernière : le solvant et le soluté, manifeste une tendance à l'adsorption à la surface du solide. Le cas le plus important est celui où l'adsorption du soluté est plus importante que celle du solvant. (**Chegaar, O et al (2019)**)



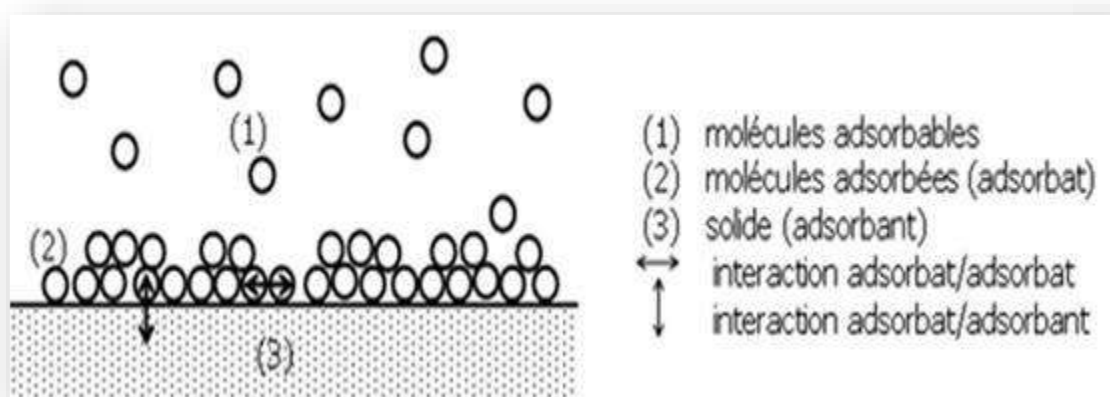
### III.5.Types d'adsorptions:

La nature des liaisons formées ainsi que la quantité d'énergie dégagée lors de la rétention d'une molécule à la surface d'un solide permettent de distinguer deux types d'adsorption : adsorption physique et adsorption chimique. (Chegaar, O et al (2019))

#### III.5.1.Physisorption (adsorption physique) :

L'adsorption physique se produit à des températures basses. Les molécules s'adsorbent sur plusieurs couches (multicouches). La fixation de l'adsorbat sur la surface du solide se fait essentiellement par des forces électrostatiques de type dipôles, liaisons hydrogène ou Van Der Waal. (Chegaar, O et al (2019))

La force des interactions mises en jeu peut être estimée par l'énergie d'adsorption qui est comprise entre 5 et 40  $\text{KJ.mol}^{-1}$  et considérée comme faible: la désorption peut donc être totale. (Chegaar, O et al (2019))



**Figure (III-1):** Schéma de l'adsorption physique (Chegaar, O et al (2019))

#### III.5.2 Chimisorption (adsorption chimique) :

La Chimisorption est un phénomène d'adsorption qui met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbat et l'adsorbant. La Chimisorption est généralement irréversible, produisant une modification des molécules adsorbées. Ces dernières ne peuvent pas être accumulées sur plus d'une monocouche. Par ce type d'adsorption, les molécules directement liées au solide. (Chegaar, O et al (2019))

**III.5.2.1.Différence entre physisorption et Chimisorption :** Le Tableau suivant résume les principales différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique :

**Tableau (III-1): différence entre physisorption et Chimisorption. (Chegaar, O et al (2019))et (Mazouz, M et al(2017))**

Propriété	Adsorption physique	Adsorption chimique
Température du phenomena	Relativement élevée	Plus élevée
Force attractive: liaisons entre adsorbant et adsorbats	Nature physique Van Der Waals	Nature chimique: liaison de type covalente avec un caractère ionique plus ou moins prononcé
Spécification	Non spécificité : Tout adsorbat à une affinité pour l'adsorbant	Spécificité : l'adsorption dépend de l'adsorbant et l'adsorbat
Désorption	Adsorption facile à éliminer (P et T)	Difficile
Energie d'activation	Ne nécessite pas	Nécessite en général
Cinétique d'adsorption	Très rapide, indépendante de la Température	Très lente
Epaisseur de la couche adsorbée	Entre une ou plusieurs couches superposées	Souvent une monocouche
Chaleur d'adsorption	Inférieur à 10 kcal/mole	Supérieur à 10 kcal/mole

### III.6.Mécanisme d'adsorption:

L'adsorption se produit principalement en trois étapes :

**1-**Transfert de masse externe (diffusion externe) qui correspond au transfert du soluté (molécules de la phase liquide) du sein de la solution à la surface externe des particules.

**2-**Transfert de masse interne dans les pores (diffusion interne) qui a lieu dans le fluide remplissant les pores ; les molécules se propagent de la surface des grains vers leur centre à travers les pores.

3- Diffusion de surface Pour certains adsorbants, il peut exister également une contribution de la diffusion des molécules adsorbées le long des surfaces des pores à l'échelle d'un grain d'adsorbant. (Mazouz, M et al(2017))

### **III.7. Facteurs influençant à l'équilibre d'adsorption:**

**A)-Paramètres liés à la physico-chimie de la solution:** le phénomène d'adsorption est influencé par les paramètres physico-chimiques ci-dessous:

#### **III.7.1. Influence du pH sur l'adsorption:**

Le pH a parfois un effet non négligeable sur les caractéristiques de l'adsorption. Dans la plupart des cas, les meilleurs résultats sont acquis aux pH les plus faibles. Cette propriété s'applique particulièrement à l'adsorption de substances acides. (Mazouz, M et al(2017))

#### **III.7.2. Influence du Température sur l'adsorption:**

L'adsorption est un phénomène endothermique ou exothermique suivant le matériau adsorbant et la nature des molécules adsorbées. De nombreuses valeurs d'enthalpie d'adsorption sont présentées dans la littérature qui attestent de la variabilité des processus thermodynamiques. (Mazouz, M et al(2017))

#### **III.7.3. La surface spécifique :**

La surface spécifique d'un solide est définie comme étant sa surface par unité de masse, elle est exprimée en ( $m^2/g$ ). L'adsorption lui est proportionnelle. La dépendance de la cinétique d'adsorption à la dimension de la surface externe des particules est fondamentale pour l'utilisation d'un adsorbant. Cette surface spécifique externe ne représente pourtant qu'une portion minime de la surface totale disponible à l'adsorption. Cette surface totale peut être augmentée par un broyage de la masse solide qui multiplie encore sa porosité totale. (Chegaar, O et al(2019))

#### **B)-Paramètres influençant le processus d'adsorption**

Le phénomène d'adsorption est influencé par les paramètres suivants:

#### **III.7.4-Paramètres liés à l'adsorbant:**

La capacité d'adsorption croit en sens directe avec la surface spécifique de l'adsorbant. La cinétique du processus est influencée par la taille des pores, leurs formes et leurs distributions. (Chaouch ,N (2014))

#### **III.7.5-Paramètres liés à l'adsorbat:**

L'effet de la nature de l'adsorbat sur le processus d'adsorption est décrit par les règles suivantes:

- Règle de Lune Delius: «moins une substance est soluble dans un solvant, mieux elle est adsorbée».
- Un adsorbat polaire aura plus d'affinité pour le solvant ou pour l'adsorbant selon lequel est plus polaire.
- De façon générale, un adsorbat non dissocié (ou neutre) est mieux adsorbé qu'un adsorbat ionisé. (Chaouch ,N (2014))

### III.7.6. Influence de la nature de l'adsorbant sur l'adsorption:

On peut classer les adsorbants en :

\*Adsorbant apolaires, ayant plus d'affinité pour les substances non polaires (exemple du charbon, du graphite, talc etc....)

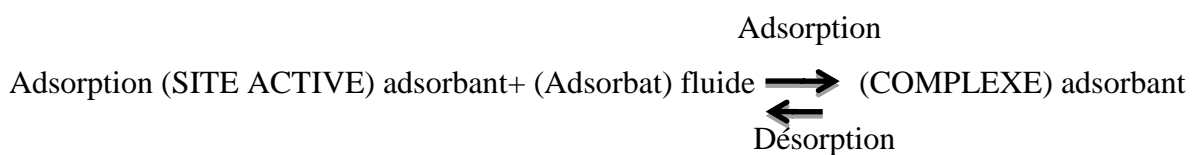
\* Adsorbat polaire, qui adsorbe les électrolytes, dans ce cas l'adsorption est sélective. Ainsi selon la charge de la surface de l'adsorbant, les cations ou les anions seront fixé parmi ces adsorbants polaires, on cite les silicates et les argiles diverses. (Mazouz, M et al(2017))

### III.7.7. Influence de l'adsorbat sur l'adsorption:

L'adsorption est aussi influencée par la structure chimique des corps dissous, ainsi : Les composés aromatiques s'adsorbent mieux par rapport aux composés aliphatiques possèdent le même nombre de carbone. L'introduction dans les composés du groupe hydroxyde, abaisse en principe, la grandeur de l'adsorption. (Mazouz, M et al(2017))

## III.8-Equilibre: adsorption/désorption

**III.8.1-Approche thermodynamique:** la sorption d'un adsorbat à la surface d'un adsorbant peut être représentée par l'équilibre suivant :



L'étude thermodynamique d'un processus d'adsorption consiste en la détermination des constantes ci-dessous:

- La constante d'équilibre  $K_c$ : exprimée en concentrations, la constante d'équilibre prend la forme suivante:  $K_c = C_a / C_e - C_a$ : concentration de l'adsorbat adsorbée à l'équilibre (mg/l).
- $C_e$ : concentration de l'adsorbat à l'équilibre d'adsorption (mg/l).
- L'enthalpie libre  $\Delta G^\circ$ : le processus d'adsorption est spontané lorsque la valeur de  $\Delta G^\circ$  est négative. Une valeur importante de  $\Delta G^\circ$  reflète une haute affinité entre l'adsorbant et l'adsorbat. (Chaouch ,N (2014))

$$\Delta G^\circ \text{ (KJ/mole)} = -RT \ln K_c = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

- L'enthalpie  $\Delta H^\circ$  et l'entropie  $\Delta S^\circ$ : ces deux paramètres sont déterminés à partir de la pente et l'ordonnée de la courbe de variation de  $\ln K_c$  en fonction de  $1/T$ . (**Chaouch ,N (2014)**)

$$\ln K_c = (\Delta S^\circ / R) - (\Delta H^\circ / RT)$$

La valeur de  $\Delta S^\circ$  (KJ/mole) donne une indication sur le degré de liberté de la substance adsorbée à l'interface solide-liquide. La valeur et le signe de  $\Delta H^\circ$  (KJ/mole K) décrivent l'aspect énergétique du processus d'adsorption. (**Chaouch ,N (2014)**)

### III.8.2-Approche expérimentale

**III.8.2.1-Isothermes d'adsorption:** au plan expérimental, il est très fréquent dans les études de réaction de sorption, de relier à une température donnée, la quantité de l'adsorbat retenue par unité de masse de l'adsorbant avec la concentration de l'adsorbat à l'équilibre d'adsorption. La relation obtenue est nommée isotherme d'adsorption.

Elle est exprimée par la relation suivante:

$$q_e = (V/m) \cdot (C_0 - C_e) + q_0$$

♣  $q_e$ : quantité de l'adsorbat retenu par unité de masse d'adsorbant (mg/g).

♣  $V$ : volume de la solution (l).

♣  $C_0$ : concentration initiale de l'adsorbat dans la solution (mg/l).

♣  $m$ : masse de l'adsorbant (g).

♣  $q_0$ : quantité de l'adsorbat initialement présente sur l'adsorbant (généralement nulle ou négligeable) (mg/g). (**Chaouch ,N (2014)**)

### III.8.2.2-Types d'isothermes d'adsorption:

Tous les systèmes adsorbant-adsorbât ne se comportent pas de la même manière. Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées : S (Sigmoide), L (Langmuir), H (Haute affinité) et C (partition Constante). La figure (02) présente cette classification. Après cette description nous abordons l'interprétation des différentes classes d'isothermes. Nous commençons par la plus fréquente : l'isotherme de Langmuir. Dans l'étude de l'adsorption solide-liquide, Giles et Coll. se sont basés sur la forme et la pente initiale des isothermes d'adsorption pour les regrouper en 04 classes principales comportant chacune cinq sous-groupes. (**Chaouch ,N (2014)**)

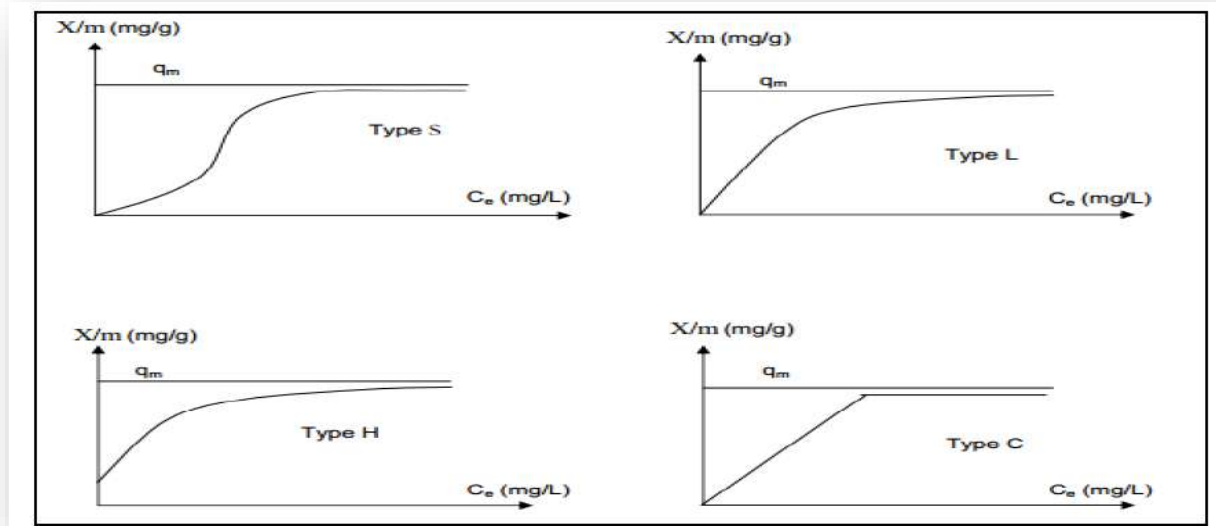


Figure (III-2): Les isothermes d'adsorption en phase liquide (Chegaar, O et al(2019))

•**Type S (dit sigmoïdale):** les isothermes de cette classe présentent, à faibles concentrations, une cavité tournée vers le haut. Ce type se rencontre lorsque les molécules du soluté ne s'accrochent au solide que par l'intermédiaire d'un seul groupement, et l'adsorption du solvant est appréciable, du fait que l'adsorption devient progressivement plus facile lorsque la quantité adsorbée croît, il existe un effet de synergie coopératif ; les molécules adsorbées facilitent l'adsorption des autres molécules à cause de l'attraction latérale, ceci donne une couche adsorbée dans laquelle les molécules sont orientées verticalement. Cet arrangement est favorisé lorsque le solvant rivalise avec le soluté pour l'occupation des sites d'adsorption. (Chaouch ,N (2014))

•**Type L (dit de Langmuir normal) :** les isothermes relatives à ce type présentent à faible concentrations une concavité tournée vers le bas, ce qui suggère une saturation progressive du solide, l'adsorption devient plus difficile lorsque le degré de recouvrement augmente. Ce comportement se rencontre lorsque l'adsorption du solvant est faible et les molécules sont adsorbées horizontalement ce qui minimise leurs attractions latérales. (Chaouch ,N (2014))

•**Type H (dit de haute affinité) :** les isothermes de cette classe ne commencent pas à l'origine, mais à une valeur positive et la pente initiale, est dans ce cas, très élevée en raison de la haute affinité entre l'adsorbant et l'adsorbat. Ces isothermes s'obtiennent lors de l'adsorption de micelles ou polymères ou lorsqu'il y a Chimisorption du soluté. Ce mécanisme n'est probable que si l'affinité pour le solvant est beaucoup moindre que celle du soluté. Ainsi dans ce type d'adsorption, il n'y a pas de compétition entre le solvant et le soluté

sur les sites adsorbés. L'adsorption du soluté dans les pores du solide produit vraisemblablement une dilatation de ceux-ci, ce qui permet à d'autres molécules de pénétrer. De nouveaux sites d'adsorption sont exposés au fur et à mesure que l'adsorption s'effectue. (Chaouch ,N (2014))

•**Type C (dit de partition constante)** : les isothermes de cette classe sont des droites passant par l'origine ce qui signifie qu'il y a compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites avec un partage constant jusqu'à un palier. La linéarité montre que le nombre de sites libres reste constant au cours de l'adsorption. En effet, les sites sont créés au cours de l'adsorption ce qui implique que les isothermes de cette classe sont obtenus quand les molécules de soluté sont capables de modifier la texture du substrat en ouvrant des pores qui n'ont pas été ouverts préalablement par le solvant. (Chaouch ,N (2014))

Cetype concerne surtout les molécules flexibles pouvant pénétrer dans les pores pour y déplacer le solvant.

Une autre interprétation possible des données expérimentales consiste à tracer le coefficient de distribution  $K_d = q_e/C_e$  en fonction de  $q_e$ , en échelle linéaire ou logarithmique, notamment quand les expériences sont effectuées à plusieurs ordres de grandeur de concentration. Le tracé de  $K_d$  en fonction de  $q_e$  présente :

- Une pente positive pour le type « S » à faibles concentrations;
- Une pente négative presque constante pour les isothermes de type « L »;
- Une pente négative décroissante pour le type « H »;
- Une horizontale pour le type « C ». (Chaouch ,N (2014))

**III.8.3-Modélisation des isothermes d'équilibre mono-soluté** : en réalité aucune modélisation si complexe, soit elle, ne permet de couvrir l'ensemble de l'isotherme et encore moins d'expliquer les mécanismes d'adsorption, pour la seule raison que toute surface est physiquement et énergétiquement hétérogène.

De nombreux auteurs ont proposé des modèles théoriques et/ou empiriques pour décrire la relation entre la quantité de l'adsorbat fixée par unité de masse de l'adsorbant et la concentration de l'adsorbat à l'équilibre d'adsorption. Les modèles les plus utilisés dans l'étude de l'adsorption solide-liquide sont: le modèle de Langmuir et le modèle de Freundlich. Il s'agit de relations empiriques non cinétiques appelées souvent isothermes. (Chaouch ,N (2014))

### III.8.3.1. Isotherme de Langmuir:

Ce modèle proposé en 1918 repose sur les hypothèses suivantes :

- La surface est énergétiquement homogène;
- Une seule entité est adsorbée par site;
- L'activité à un site donné n'affecte pas l'activité des sites adjacents;
- Les molécules adsorbées ne réagissent pas entre elles;
- L'adsorption se fait en une seule couche complètement saturée et l'adsorbant présente une capacité d'adsorption limitée ( $q_m$ ). (Chaouch ,N (2014))
- L'isotherme de Langmuir est décrite par la relation suivante :

$$q_e = q_m K_L C_e / (1 + K_L C_e)$$

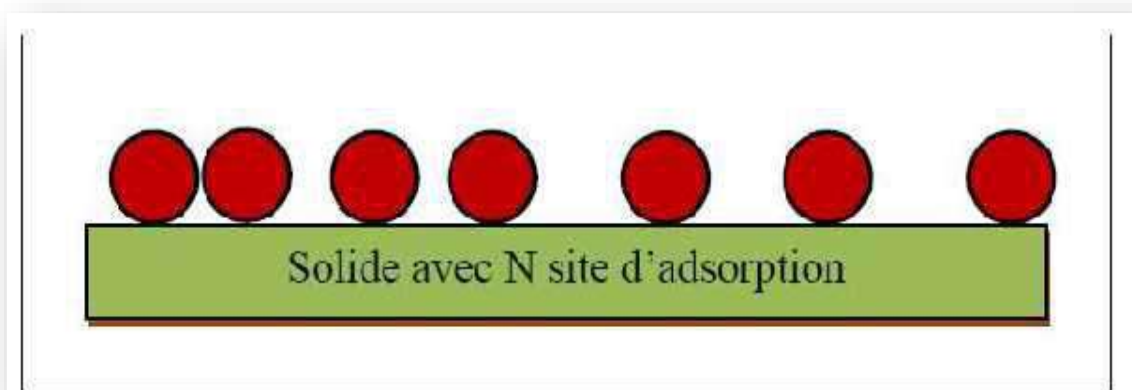
**Q<sub>m</sub>**: capacité maximale d'adsorption (mg/g).

**K<sub>L</sub>**: constante d'équilibre de Langmuir (l/mg).

Des développements de l'équation (07) conduisent à des formes linéaires de l'isotherme de Langmuir dont deux sont couramment utilisées :

**Langmuir I** :  $1 / q_e = (1 / q_m K_L) 1/C_e + 1 / q_m$

**Langmuir II** :  $C_e / q_e = 1 / q_m K_L + (1 / q_m) C_e$ . (Chaouch ,N (2014))



**Figure (III-3):** Modèle d'adsorption de Langmuir.( Mazouz, M et al(2017))

Ce modèle est caractérisé par un paramètre d'équilibre  $R_L$ :  $R_L = 1 / (1 + K_L C_0)$

- $R_L = 0$ : adsorption irréversible;
- $0 < R_L < 1$ : adsorption thermodynamiquement favorable;
- $R_L = 1$ : adsorption linéaire (du type C);
- $R_L > 1$ : adsorption thermodynamiquement défavorable. (Chaouch ,N (2014))

La théorie de Langmuir implique en fait :

- L'existence de sites définis d'adsorption.



- Une seule entité adsorbée par site.
- Une énergie d'adsorption constante.
- L'absence d'interaction entre molécules adsorbées.

Ce modèle est compatible avec la saturation (figure. II.4).

La favorabilité de l'isotherme est vérifiée par le paramètre RL un facteur constant sans dimensions de Hall, d'après le paramètre d'équilibre  $R_L$  qui définit comme suit :

$$R_L = \frac{1}{1 + b C_0}, \text{ là où}$$

$R_L$  est un facteur constant sans dimensions de séparation,

$C_0$  la concentration initiale de la solution de colorant (mg/L) et

$b$  est la constante de Langmuir (L/g).

Le paramètre  $R_L$  indique la forme de l'isotherme en conséquence. (Chegaar, O et al(2019))

### III.8.3.2-Isotherme de Freundlich :

ce modèle proposé en 1926 est l'indicatif d'une surface hétérogène. Contrairement à l'isotherme de Langmuir où les sites sont énergétiquement équivalents, l'isotherme de Freundlich admet la coexistence de sites d'énergies différentes, la possibilité d'interactions entre les particules adsorbées et ne prévoit pas de limites supérieures à l'adsorption. Ce modèle est peu satisfaisant pour des concentrations élevées de solutés mais représente bien l'adsorption des solutions diluées. Il repose sur l'équation empirique suivante: (Chaouch ,N (2014))

$$q_e = K_F \cdot C_e^n$$

$K_F$ : constante de Freundlich, relative à la capacité d'adsorption ( $\text{mg}^{1-n} \text{l}^n \text{g}^{-1}$ ).

$n$ : constante de Freundlich, relative à l'intensité de l'adsorption.

L'équation de Freundlich est plus exploitée sous sa forme logarithmique :

$$\log q_e = \log K_F + n \log C_e$$

Une autre exploitation possible des résultats par l'isotherme de Freundlich consiste à tracer en échelle logarithmique les variations du coefficient de distribution  $K_d$  en fonction de  $q_e$  :

$$\log K_d = (1/n) \log K_F + [n - 1/n] (\log q_e)$$

Il est généralement admis que :

$n < 1$  : adsorption thermodynamiquement favorable :

- $0.1 < n < 0.5$  : bonne adsorption.
- $0.5 < n < 1$  : adsorption modérée.
- $n = 1$  : adsorption linéaire (du type C).
- $n > 1$  : adsorption faible. (Chaouch ,N (2014))

### III.9-Applications de l'adsorption

•**Application en phase liquide** : les applications de l'adsorption en phase liquide sont classées en deux domaines de séparation des composés chimiques à savoir : le domaine de traitement des solutions diluées et celui de fractionnement des mélanges.

•**Traitement des solutions diluées** : dans ce type de traitement, il faut distinguer entre l'élimination des solutés qui sont considérées comme des impuretés et c'est le domaine de purification des solvants par adsorption (cas de notre étude) ou la récupération des solutés et c'est le domaine de l'extraction par adsorption. A cet effet les applications industrielles sont très nombreuses, les plus importantes en tonnage concernent : le traitement des eaux, la décoloration des jus sucrés, la purification des produits pétroliers et des matières grasses animales et végétales.

•**Le fractionnement des mélanges liquides**: il existe peu de procédés industriels permettant des fractionnements à grande échelle par adsorption à partir des mélanges économiquement importants tels que les produits pétroliers. Cependant à l'échelle purement préparative et /ou analytique, la chromatographie liquide à haute pression se classe au premier rang pour son efficacité et ses performances.

•**Application en phase gazeuse**: les principales applications en phase gazeuse concernent le séchage et la purification des gaz. (Chaouch ,N (2014))

### III.10-Conclusion

Au cours de ce chapitre, il nous a été possible de définir l'adsorption comme étant essentiellement un phénomène de surface et de différencier entre la physisorption et la Chimisorption. Nous avons présenté aussi les différents types d'isotherme d'adsorption et exposé les modèles les plus utilisés pour illustrer ces isothermes. (Chegaar, O et al(2019))



# *La Partie Pratique*

## **CHAPITRE IV**

*Présentation de la zone d'étude*

## Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons un aperçu de la zone d'étude d'Ouargla en termes géographiques, climatiques et géologiques. Nous décrirons également la station d'épuration de Saïd Otba et Ouargla et son fonctionnement.

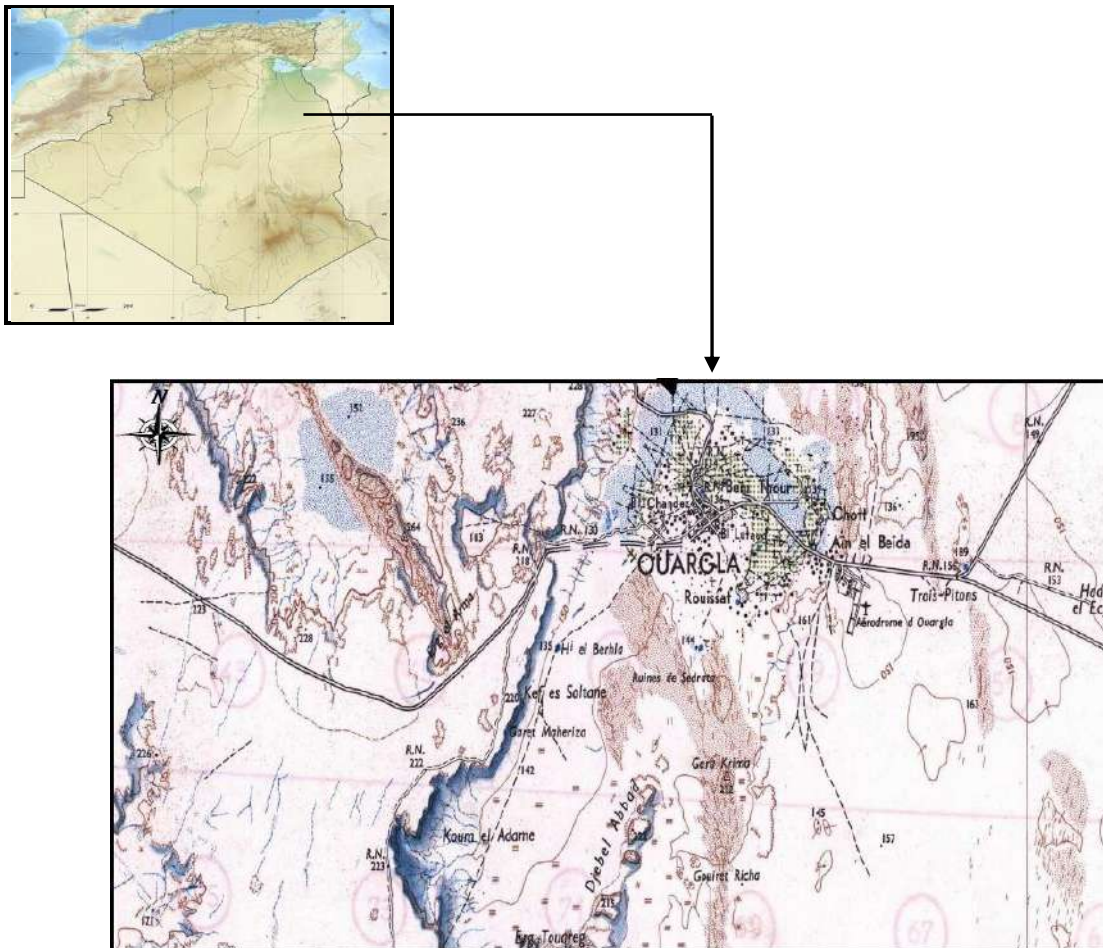
## IV- présentation de la ville Ouargla :

### IV-1-Localisation géographique :

La Wilaya de Ouargla est située au sud est du pays couvrant une superficie de 163230 Km<sup>2</sup>. Elle demeure une des collectivités administratives les plus étendues du pays

Elle est limitée :

- au Nord par les wilayas de Djelfa, El Oued et Biskra ;
- à l'Est par la Tunisie ;
- à l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa ;
- au Sud par les wilayas de Tamanrasset et Illizi.



**Figure (IV-1):**Carte Localisation géographique de la Wilaya d'Ouargla .

Le relief de la wilaya est un sous ensemble de composants géographique dont les principaux sont les suivantes :

- le grand Erg oriental : véritable mer de sable ou les dunes pouvant atteindre une hauteur de 200 m, il s'étend sur environ les 2/3 du territoire de la wilaya.

- la hamada : qui est un plateau caillouteux, elle est située en grande partie à l'Ouest et au Sud.

- les vallées : sont représentées par la vallée fossile d'Oued May et la vallée d'Oued Righ, assez prospères.

- les plaines : assez réduites, se rencontrent à la limite occidentale de la wilaya, ces plaines s'étendent du Nord au Sud.

- les dépressions : sont quant à elles peu nombreuses. Elles se trouvent essentiellement dans la région d'Oued Righ (**Agence nationale de développement de l'investissement, Gulches Unique decentralize d'Ouargla**)

#### **IV-2 - Situation géologique :**

La Wilaya de Ouargla est située dans l'immense bassin saharien, caractérisé par la prédominance de dépôts plio-quadernaires, des affleurements éocènes et créacés se rencontrent néanmoins à l'Est. Elle se trouve dans une région très peu accidentée, tectoniquement stable.

Du point de vue lithologique et pétrographique, on rencontre dans les affleurements, à travers le territoire de la Wilaya, des alluvions actuelles, des sebkhas et croûtes gypso salines, des sables éoliens mobiles, des regs (**Agence nationale de développement de l'investissement, Gulches Unique decentralize d'Ouargla**).

#### **IV-3- Climat :**

Ouargla bénéficie d'un climat désertique chaud avec des étés très longs et extrêmement chauds et des hivers courts et très doux. Le climat y est aride toute l'année puisque les précipitations moyennes annuelles sont très faibles. La sécheresse y est encore plus accentuée durant l'été. Cette ville-oasis étant encaissée, et très abritée des vents, elle devient vite une fournaise infernale. En été, la chaleur est extrême et prend un caractère persistant : les températures moyennes maximales dépassent 43 °C en juillet (le mois le plus chaud Les températures sont agréables et modérément élevées en hiver mais seulement la journée car dans les étendues désertiques, il n'y a rien pour retenir la chaleur et les températures minimales moyennes avoisinent 5 °C. Le ciel est dégagé et clair toute l'année et les journées

couvertes restent très rares, si existantes (**ONM (office nationale de la météorologie) d'Ouargla**)

L'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air. Ces paramètres hydro climatiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique. Dans cette partie de l'étude, nous avons exploité les données climatiques, enregistrées à la station climatique d'Ouargla gérée par l'ONM .

Dans le tableau suivant Tableau 1 donne Les données climatiques de la wilaya d'Ouargla issues de l'ONM étalées sur une période de (2016-2018).

**Tableau (IV-1) : Données climatiques de la région d'Ouargla(ONM (office nationale de la météorologie) d'Ouargla).**

Mois \ Paramètre	Température (°C)	Précipitation (mm)	Vents (Km/s)	Humidité (%)
Janvier	12,02	7,8	52	60
Février	13,83	2,4	50	52
Mars	18,39	4,2	58	46
Avril	22,92	1,9	68	39
Mai	27,64	1,2	63	34
Juin	32,56	0,6	54	30
Juillet	35,85	0,3	60	26
Aout	35,34	1,4	56	30
Septembre	30,67	3,5	53	38
Octobre	24,91	5,3	48	44
Novembre	17,36	5,6	45	55
Décembre	12,68	3,9	42	61

#### IV-3-1-Les précipitations :

En plus de leurs raretés les précipitations au niveau de la région d'Ouargla sont irrégulières selon le tableau 1, alors que la sècheresse presque absolue de Mai à Aout, Janvier (7.8mm) mois le plus pluvieux, Juillet (0.3mm) mois le plus sec, le cumul annuel (3.2mm) (**ONM (office nationale de la météorologie) d'Ouargla**).

#### IV-3-2- La température :

La température un facteur principal qui conditionne le climat de la région suivant, a partir le Tableau 1 on a la température moyenne annuelle est de 32,68°C; et pour le mois le plus chaud (Juillet) la température max 35,85°C ; et pour le mois le plus froid (Janvier) la température minimale 12.02 °C (**ONM (office nationale de la météorologie) d'Ouargla**).

### IV-3-3- L'humidité de l'air :

L'humidité de l'air est faible selon le tableau 1, généralement inférieur à 50% de mars à octobre. La maximale est enregistrée en janvier et décembre, alors que la minimale (26%) est observée en juillet (**ONM (office nationale de la météorologie) d'Ouargla**).

### IV-3-4- Les vents :

Les vents dominants sont ceux de Nord/Nord-est et Sud/Sud-est avec une vitesse pouvant atteindre de 4.6 m/s et parfois dépasser 20 m/s. le sirocco (vent chaud et sec) peut être observé cours de l'année à partir le tableau 1 (**ONM (office nationale de la météorologie) d'Ouargla**)

### IV-4- Hydrogéologie :

Comme dans la plupart des oasis du Sahara, les seules ressources hydriques disponibles à Ouargla sont d'origine souterraine. Les formations géologiques de cette région contiennent deux grands ensembles de formations aquifères qui sont séparés par d'épaisses séries évaporitiques ou argileuses: De la base du crétacé supérieur l'ensemble inférieur appelé le Continental Intercalaire (CI) ou "Albien", et l'ensemble supérieur appelé le Complexe Terminal (CT). Une troisième formation, d'importance plus modeste, s'ajoute aux deux précédentes: La nappe phréatique (**KASMI OUALID(2016)**).

#### IV-4-1-La nappe phréatique :

Elle est contenue dans les formations perméables sablo-gypseuses du Quaternaire. En plus des logs des piézomètres effectuées par l'entreprise nationale géo-physique (ENAGEO). Cette dernière permet de relever la présence de trois classes de profils géologiques qui sont:

- **Classe A:** C'est la classe la plus répandue, elle représente  $\approx 75\%$  des terrains où on distingue:
  - Une première couche constituée de sable fin à moyen légèrement gypseux avec une consistance de moyenne compacité, dont l'épaisseur varie de 1 à 2 m.
  - Une deuxième couche dont l'épaisseur varie entre 5 et 15 m constituée de sable argileux compacté.
- **Classe B: Elle caractérise les chotts et les sebkhas et on distingue :**
  - Des encroûtements gypseux très salés dont l'épaisseur varie de 1 à 2 m.
  - Des sables limoneux avec un passage tufeux.
- **Classe C:** Elle caractérise les versants de la cuvette et le plateau Mio- Pliocène. On distingue :
  - Un matériau détritique dont l'épaisseur est supérieure à 10 m constitué de grès consolidé (glacis) et de sable limoneux pauvre en gypse.



- Du sable grossier compacté.

La nappe couvre pratiquement toute la cuvette d'Ouargla. Les mesures les plus récentes et les observations faites sur quelques piézométrique montrent qu'aujourd'hui, le niveau piézométrique de la nappe est situé entre 8 et 10 m, entre 50 et 100 cm dans les palmeraies limitrophes de la sebkha et inférieur à 50 cm dans la sebkha jusqu'à l'affleurement au centre.

Les eaux de drainage des palmeraies et les eaux usées maintiennent des niveaux piézométriques très élevés. (KASMI OUALID(2016))

#### **IV-4-2-La nappe du complexe terminal (CT) :**

D'une superficie de 350 000 km<sup>2</sup> et d'une réserve de 1736,38 hm<sup>3</sup>/an. Cette nappe regroupe les nappes du mio-pliocène et la nappe du sénonien. Ses eaux sont du type chloruré sodique dont la température varie de 23 à 30°C, le PH de 8,5 à 9,5 et le résidu sec de 1,5 à 8 g/l.

##### **IV-4-2-1-La nappe mio-pliocène :**

L'exploitation de la nappe mio-pliocène est extrêmement ancienne. Cette nappe s'écoule de Sud-Ouest vers le Nord-Est en direction du Chott Melrir. Elle se trouve à une profondeur de 60 à 200 m, sa salinité varie de 1,8 et 4,6 g/l tandis que sa température est de 25°C.

##### **IV-4-2-2-La nappe du sénonien :**

Cette seconde nappe artésienne de la vallée de l'Oued Mya se trouve à des profondeurs variant de 180-350m. Elle est connue par la salinité de ses eaux variant de 1,8 à 4,4 g/l ; et leur température de l'ordre de 30°C (KASMI OUALID(2016))

#### **IV-4-3- La nappe du continental intercalaire (CI) :**

Il s'agit de la nappe albienne qui a une superficie de 800 000 km<sup>2</sup> et une réserve de 627,30 hm<sup>3</sup>/an.. Les eaux de cette nappe sont du type sulfaté-sodique dont la température varie de 51°C à 66°C, le pH de 7,7 à 8,8 et le résidu sec de 1,5 à 2,4 g/l. On rencontre cet aquifère a des profondeurs allant de 1000 à 1500 m (KASMI OUALID(2016))

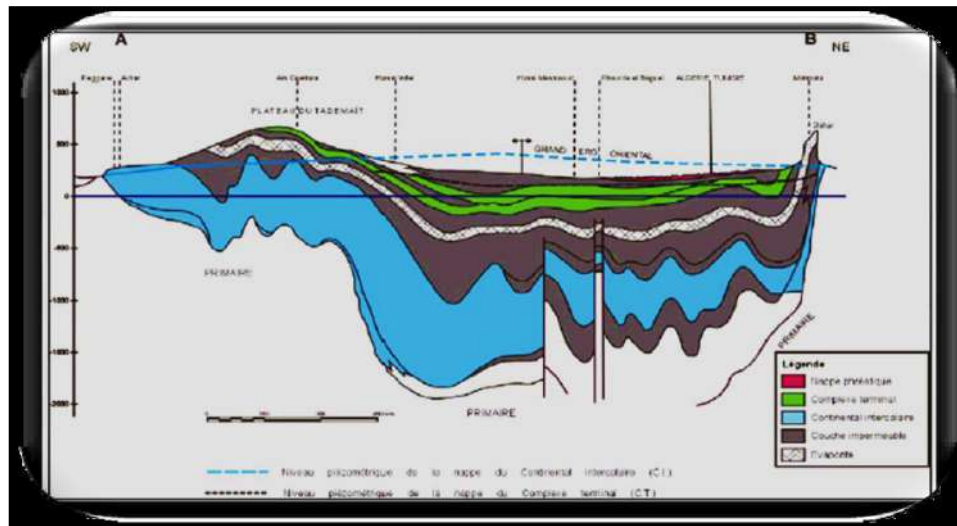


Figure (IV-2): Coupe hydrogéologique à travers le Sahara .

#### IV-5- Conception et fonctionnement de la station d'épuration d'Ouargla :

La station d'épuration (Figure 12) est située à Saïd Otba au Nord-Est de la cuvette d'Ouargla. Ces coordonnées géographiques sont : - Latitude : 31°59'46,23" Nord; - Longitude : 5°21'55,77" Est. Construite en 2006 par l'ONA de Ouargla en collaboration avec la société DYWIDAG et mise en marche en 2009, elle vise les objectifs suivants :

- La suppression des nuisances et des risques sur la santé humaine au niveau des zones urbaines;
- La protection du milieu récepteur;
- La réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation.

La STEP emploie le lagunage aéré comme technique d'épuration sur une surface de 80 ha avec une capacité de traitement actuelle de 37.000 m<sup>3</sup>/j. Elle est conçue pour couvrir un débit moyen 57.000 m<sup>3</sup>/j en 2015 et 74.927 m<sup>3</sup>/j en 2030 avec une possibilité d'extension par l'emploi de quatre (04) bassins supplémentaires (02 pour le premier étage, 01 pour le second étage et 01 pour le troisième). La station comporte également une administration, une salle de contrôle, un laboratoire et une salle d'exposition( **Chaouch ,N (2014)**)



**FIGURE (IV-3):** la station d'épuration Ouargla.

#### IV-6- L'objectif de traitement de la station :

Les objectifs de traitement sont les suivants :

Supprimer les nuisances et les risques actuels de contamination au niveau des zones urbanisées, Protéger le milieu récepteur, Se garder la possibilité de réutiliser les effluents épurés pour une irrigation restrictive.

Le niveau d'épuration est caractérisé par :

Paramètres organiques :

**MES** : 35 mg/l.

**DCO** : 125 mg/l.

**DBO5** : 40 mg/l.

Paramètres parasitologies :

Moins de 1 œuf d'helminthes par litre.

Principe de traitement :

Les eaux brutes arrivent à la station par refoulement, et subissent les différents traitements conventionnels d'un effluent urbain. Les étapes par les quelles passants les eaux usées dans la station sont les suivantes :

Arrivée de l'eau :

Les eaux usées à traiter arrivent à la station d'épuration par l'intermédiaire de cinq stations de refoulements :

Refoulement 01 : conduite d'amenée des eaux usées DN 600mm de SP nœud hydraulique de Chott.

Refoulement 02 : conduite d'amenée des eaux usées DN 315mm de SP Sidi Khouiled.

Refoulement 03 : conduite d'amenée des eaux usées DN 400mm de nouvelle SP Caserne/Hôpital.

Refoulement 04 : conduite d'amenée des eaux usées DN 500mm de SP Douane.

Refoulement 05 : conduite d'amenée des eaux usées DN 700mm de SP route N'Goussa.

Ces conduites déboucheront dans un regarde de dégazage. Ce dernier assure une oxygénation naturelle des eaux brutes. Cette opération permet d'évacuer le H<sub>2</sub>S qui pourrait se former dans les conduites de refoulement (**Station d'épuration said Otba Ouargla**).

A partir du regard de dégazage, les eaux brutes débouchent dans un canal regroupant les installations de dégrillage et de dessablage.

Un canal Venturi sera placé à la sortie des ouvrages de prétraitement en vue de mesurer le débit d'entrée.

Prétraitement et traitement primaire :

Les prétraitements ont pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers, qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs et d'endommager les équipements.

Le prétraitement comporte :

**Dégrillage :**

Les eaux usées passent au travers d'une grille dont les barreaux plus au moins espacés, retiennent les matières les plus volumineuses.

Le système comprend un ensemble de deux dégrilleurs automatiques (espace entre barreaux de 25 mm) disposés en parallèle

Un canal de secours équipé d'une grille statique (espace entre barreaux de 40 mm) disposée en parallèle permettra de by passer complètement l'ensemble des prétraitements, en cas de mise hors service des dégrilleurs automatiques.

Les refus de l'ensemble des dégrilleurs sont acheminés au moyen d'une vis de convoyage vers une benne à déchets (**Station d'épuration said Otba Ouargla**).



**FIGURE (IV-4):** dépistage à la station d'épuration Ouargla .

#### **Dessablage :**

La rétention des particules sableuses permet d'éviter :

Les surcharges dans les étapes suivant de traitement, L'accumulation de sable dans les étapes ultérieures du traitement.

L'abrasion des engins mécaniques.

Le dessablage sera réalisé par l'intermédiaire de trois canaux en parallèle de 2 m de large et 23m de long.

Chaque ouvrage sera équipé d'un pont racleur permettant de ramener les sables décantés dans une fosse placée à l'extrémité de chaque chenal. Une pompe permettra l'extraction des sables vers un classificateur à sable.

Ce classificateur est un séparateur dans lequel les particules de sables sédimentent et sont extraites du fond par une vis d'Archimède, tandis que l'eau est récupérée en partie supérieur après avoir franchi une cloison siphonoïde. Les sables extraits sont ensuite stockés dans une benne(**Station d'épuration said Otba Ouargla**).



**FIGURE (IV-5):** enlèvement de la station d'épuration Ouargla.

### **Ouvrage de répartition :**

Disposé en tête de station en aval des ouvrages de prétraitement, il permet de répartir les eaux usées vers les six lagunes de l'étage aéré n°1.

Cette répartition est assurée par six seuils déversants identiques, de 1,50m de largeur, munis de batardeaux pour pouvoir au besoin mettre une lagune quelconque hors service (**Station d'épuration said Otba Ouargla**).

### **Traitement secondaire :**

A la suite de ces prétraitements, les eaux à traitait subis un traitement par le système de lagunage aéré.

Le lagunage aéré est une technique d'épuration biologique par culture libre avec un apport artificiel d'oxygène.

La filière est constituée de deux étages d'aération et d'un étage de finition.

Lagune d'aération :

Les effluents sont répartis entre les six lagunes de premier étage grâce à un répartiteur.

Dans l'étage d'aération, l'oxygénation est assurée par un aérateur de surface, cette aération mécanique favorise le développement des bactéries qui dégradent la matière organique et assimilent les nutriments (**Station d'épuration said Otba Ouargla**).



**FIGURE (IV-6):** Répartiteur de la station d'épuration Ouargla .

**Lagune de décantation:**

Les eaux en cours de traitement transitent de façon gravitaire des lagunes aérées de 1er étage vers les lagunes aérées de 2ème étage (lagunes de décantation) qui sont constituées de 3 lagunes.

C'est le lieu de séparation physique d'eau épurée et de la boue biologique, cette dernière est formée après une lente agglomération des matières en suspensions (amas de micro-organismes et de particules piégées) (**Station d'épuration said Otba Ouargla**).



**FIGURE (IV-7):** Lagunes aérées de la station d'épuration Ouargla .

**\*Curage :**

Les Lagunes de deux étages doivent être régulièrement curées afin d'éviter les odeurs et la dégradation du traitement par les dépôts des boues.

Pratiquement le curage de la lagune devient nécessaire quand le volume occupé par les boues s'approche de 25% du volume total de la lagune.

Lors de l'extraction des boues proprement dites, on assiste à un mélange des boues avec des eaux en cours de traitement ce qui se traduit par l'abaissement de la siccité des boues à épandre sur les lits à 80g/l.

De plus, pratiquement il est difficile d'extraire plus de 80% des boues d'une lagune à chaque opération de curage.

Une fréquence de curage des lagunes d'environ 1 fois tous les 3 ans.

Traitement complémentaire Lagune de finition :

Les eaux sortant des lagunes aérées de 2ème étage sont dirigées vers 3 lagunes de finition où les influents sont épurés à 80%. Une partie sera utilisée pour une irrigation restrictive.

En entrée et sortie, un canal venturi associé à une sonde ultrason de mesure de la hauteur d'eau en amont permettront de mesurer de manière continue les débits.

Traitement des boues :

Le transport des boues du fond des lagunes vers les lits de séchage sera réalisé par des conduites flexibles.

Ces boues voient leur siccité augmenter grâce à l'évaporation naturelle couplée à un système de drainage. Ce dernier favorise l'évacuation de la plus grande partie de l'eau par simple ressuyage. Cette eau sera évacuée en tête de station d'épuration par l'intermédiaire d'un poste de refoulement.

A l'issue de ce séchage les boues sont évacuées vers leur destination finale, mise en décharge ou épandage sur des cultures pour lesquelles elles constituent un amendement organique intéressant (**Station d'épuration said Otba Ouargla**).



**FIGURE (IV-8):** Canal de transport de la station d'épuration Ouargla (**Station d'épuration said Otba Ouargla**).

### **Conclusion:**

Ce chapitre nous a permis de donner un aperçu de la zone d'étude d'Ouargla en termes de géographie, climatologie et hydrologie. Elle nous a également permis de fournir une description détaillée de la station d'épuration de Saïd Otba Ouargla, sa mission, son principe de fonctionnement et ses étapes de fonctionnement.



# **CHAPITRE V**

*La partie expérimentale*

## V. Introduction :

Les objectifs de cette partie sont d'étudier l'efficacité du charbon issu de l'écorce de jujubier dans l'élimination de nitrate d'une solution aqueuse et de refaire les expériences de l'adsorption avec les eaux traitées sortie de la station de Saïd Otba- Ouargla.

### V.1 Matériel et méthodes

#### V.1.1 Adsorbant :

Le charbon utilisé dans cette étude est issu de la carbonisation de l'écorce de jujubier (figure V.1) à 800°C. Cette carbonisation a été déroulée dans un four tubulaire (figure V.2) sous gaz inerte qui est l'argon. La méthode de carbonisation a été détaillée dans la référence (Bouziane ,L,(2018).et résumée sur le schéma (V.3)

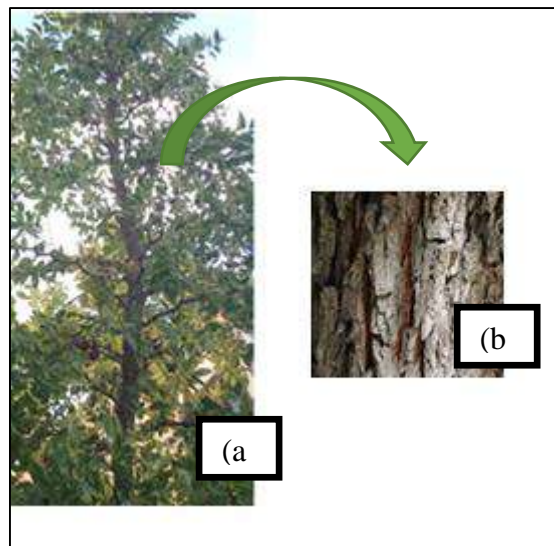
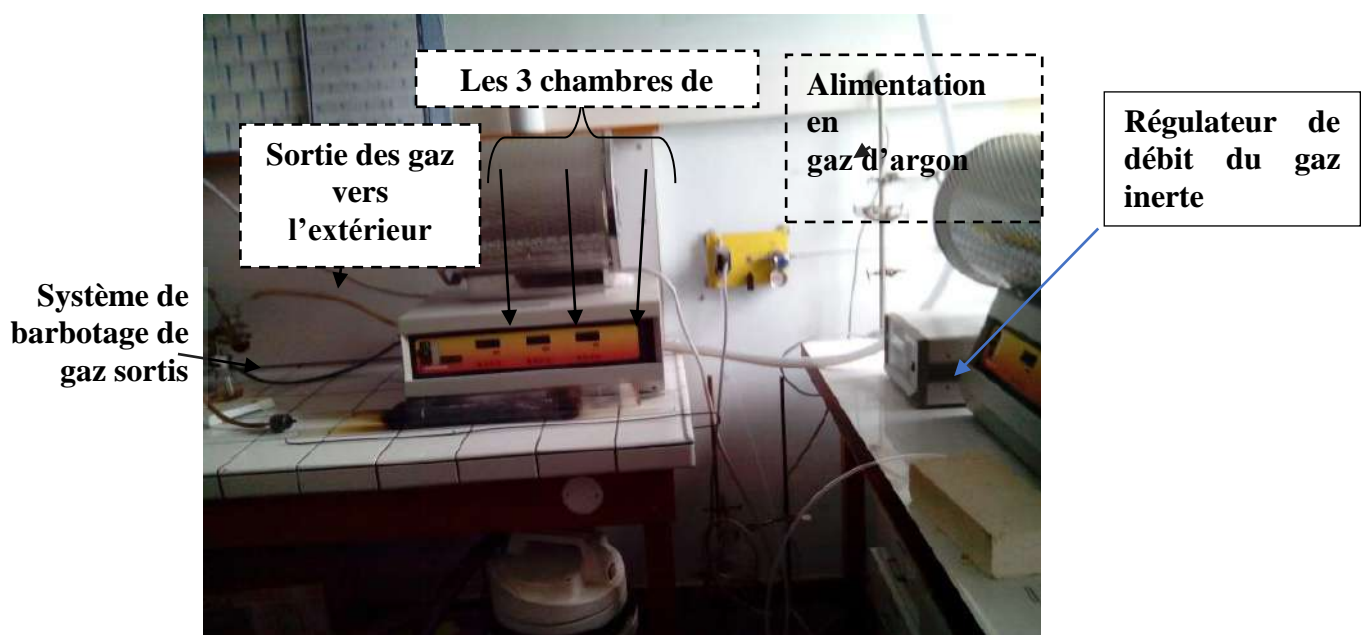
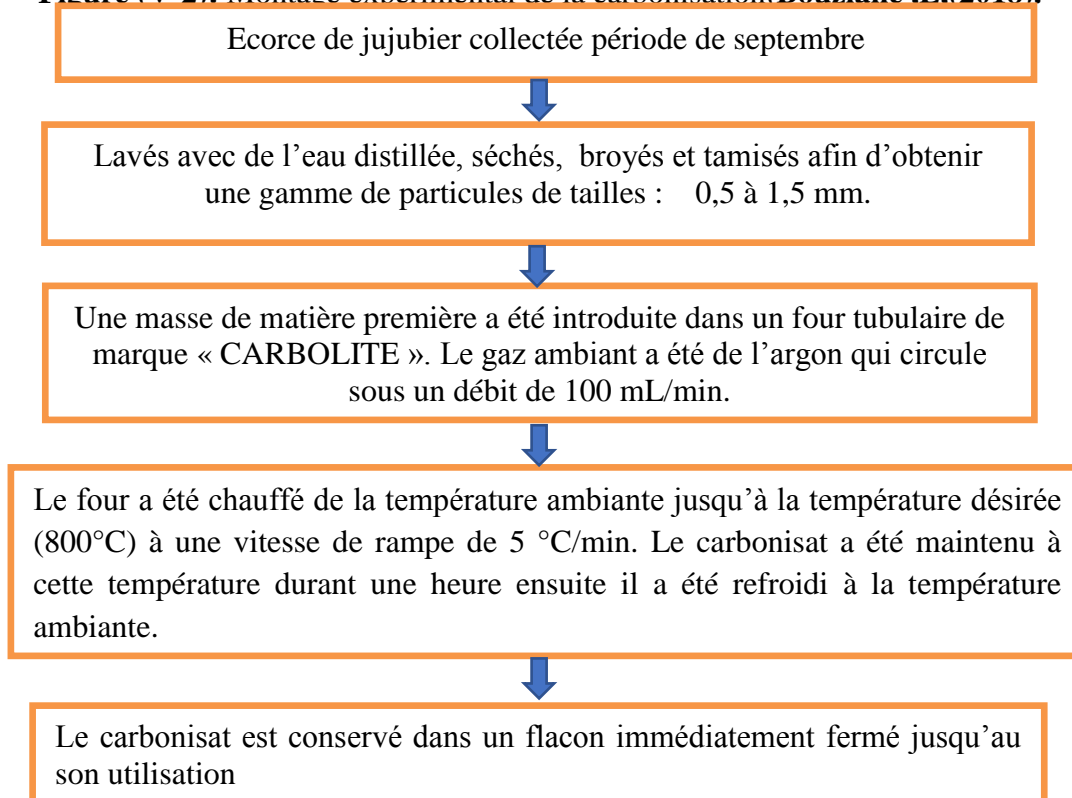


Figure (V-1) : jujubier(a) et ecorce de jujubier(b)

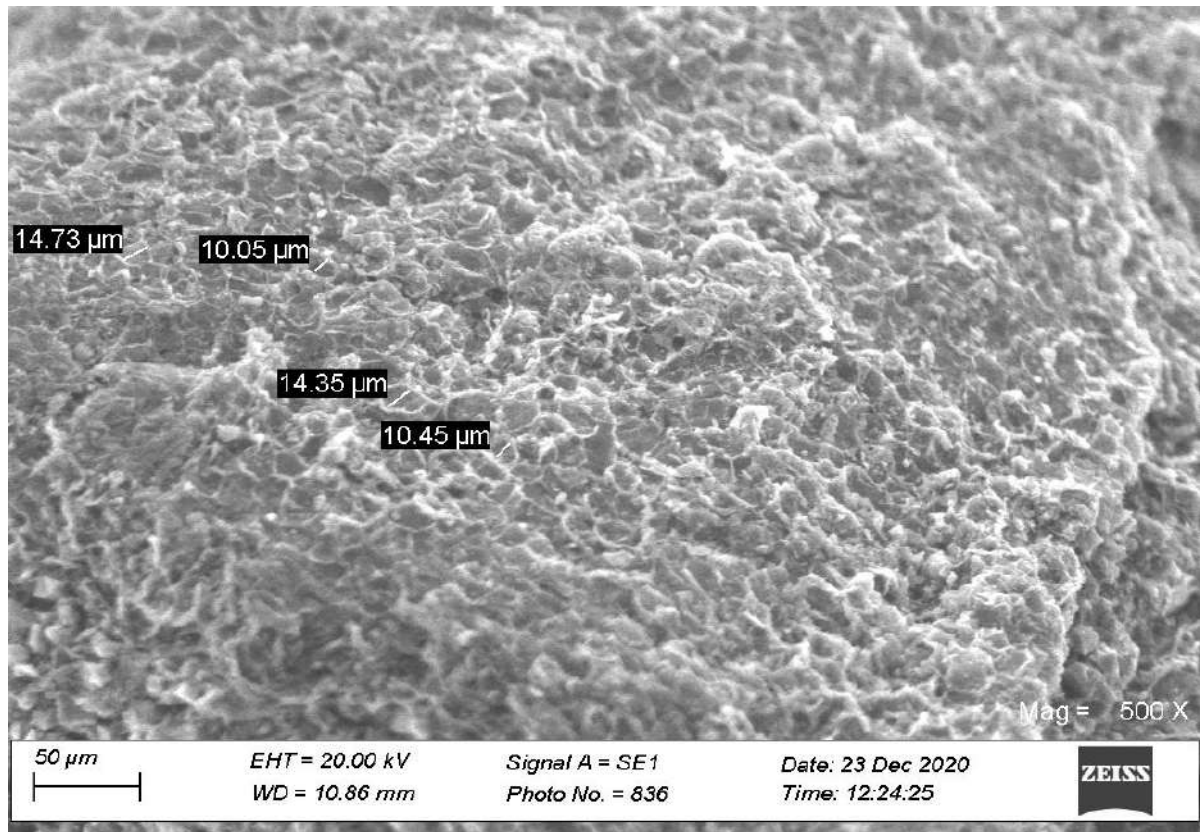


**Figure (V-2): Montage expérimental de la carbonisation (Bouziane ,L,(2018).****Schéma (V-3) : Démarche expérimental de la préparation du charbon utilisé****V.1.1.1- Caractéristiques de l'adsorbant****V.1.1.1. Caractérisation précédente :**

La surface spécifique du charbon est  $310\text{m}^2/\text{g}$  et le rendement de carbonisation ou la perte de masse durant la carbonisation a été 72% (Bouziane ,L,(2018).

**a). Microscopie électronique à balayage (MEB)**

Le microscope électronique à balayage (MEB) (ou SEM Scanning Electron Microscope) est un appareil, pouvant fournir rapidement des informations sur la morphologie et la composition chimique d'un objet solide. La figure V.4 représente la structure microporeuse du charbon utilisé. (Bouziane ,L,(2018).



**Figure(V-4) : Vue de l'écorce de jujubier carbonisée sous Microscopie électronique à balayage (MEB)**

**V.1.2.Adsorbat :** Les ions de nitrates sont introduits dans la solution aqueuse en faisant dissoudre une masse de nitrates de sodium ( $\text{NaNO}_3$ ) dans l'eau distillée (figure II.4).



**Figure (V-5) : solution mère préparée à partir de sel de  $\text{NaNO}_3$ .**

## V.2.Echantillonnage

**V.2.1-Echantillonnage des eaux:** les principaux aspects dont il faut tenir compte pour obtenir un échantillon d'eau représentatif sont les suivants :

- La sélection convenable du point d'échantillonnage.
- Le strict respect des procédures d'échantillonnage.
- La conservation adéquate des échantillons. (HIDEB, K et al(2017))

●**Localisation des points de prélèvement** : les points de prélèvements choisis dans cette étude sont:

- L'entrée de la station d'épuration de la région d'Ouargla pour l'analyse des paramètres de pollution (La température, DCO, Le pH, MES, DBO<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et O<sub>2</sub> dissous
- La sortie de la station d'épuration de la région d'Ouargla.

**Tableau(V-1): Les Normes de rejet de l'OMS, appliquées en Algérie.**

Paramètres	Unités	Normes
T°	(C°)	30
PH	/	6,5-8,5
O <sub>2</sub>	(mg/l)	5
DBO <sub>5</sub>	(mg/l)	30
DOC	(mg/l)	90
MES	(mg/l)	30
NO <sub>2</sub> -	(mg/l)	1
NO <sub>3</sub> -	(mg/l)	<1

Source: (Journal Officielle de la République Algérienne 15/07/2012). (HIDEB, K et al(2017))

●**Période de prélèvement** : Les prélèvements ont été effectués courant le 30Mai 2021 pour l'analyse de Mode de prélèvement : le prélèvement des échantillons au niveau de la STEP est facilité par l'emploi d'un échantillonneur automatique qui fournit un prélèvement de 200 ml par heure. Après 24 heures l'ensemble des flacons fermés et étiquetés sont transportés au laboratoire pour former un échantillon représentatif par mélange. Des paramètres ci hauts. (HIDEB, K et al(2017))



**Figure (V-6): échantillons d'eau de l'entrée et de sortie de la station.**

### **V.2.2.Méthode d'analyse de nitrate**

Les analyses ont été effectuées au niveau de laboratoire de l'ANRH-Ouargla. Le protocole de l'analyse est dans l'annexe :

### **V.2.3.Adsorption :**

L'adsorption a été déroulé en batch à une température constante (25°C). Le montage utilisé est représenté dans la figure II.6.



**Figure (V-7): Expériences de l'adsorption en batch.**

### **V.2.4Mode opératoire :**

Dans une série de béchers de 50 ml, on introduit des volumes de 25 ml à différentes concentrations de nitrate. On ajoute la même quantité de charbon (0.05g) et rapidement, on met tout en agitation et on lance au même temps le chronomètre. Après une heure du temps, la

réaction atteint son équilibre. On arrête l'agitation et on passe à la filtration pour éliminer le charbon de l'échantillon à analyser.

La température est maintenue constante durant toute l'expérience (25°).

Le même procédé expérimental est appliqué pour les échantillons de l'eau traitée sortante de la station d'épuration de Saïd Otba.

### V.3.Appareillage

**V.3.1-Appareillage :** Les appareils employés dans cette partie expérimentale sont :

- Une balance type KERN.
- Une étuve type MEMMERT.
- Un agitateur type FALC.
- Tubes à essai.
- Papier filtre.
- Fiole jaugée de 1000ml.
- Bouteille de montre.
- Bicher en verre d'une capacité de 250ml.
- Entonnoir.



Une balance



Un agitateur



Bicher en verre d'une capacité de 250ml.



fiole jaugée de 1000ml.

**Figure (V-8) : Appareillage utilisé.**

**V.4.Résultats et discussion :****V.4.1.expériences d'adsorption sur les solutions aqueuses**

Les résultats des expériences de l'adsorption de nitrates d'une solution aqueuse par le charbon de l'écorce de jujubier sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau (V-2): Résultats des expériences de l'adsorption de nitrates d'une solution aqueuse par le charbon.**

<b>C0</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>120</b>
<b>Ce</b>	4,8	17	28	33,5	72
<b>V</b>	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
<b>M</b>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Qe</b>	2,6	6,5	11	10,75	24



La capacité d'adsorption  $Q_e$  a été calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$Q_e = (C_0 - C_e) * V / m \quad \text{où}$$

$C_0$  : concentration initiale du soluté (mg/L),

$C_e$  : concentration du soluté à l'équilibre (mg/L),

$q_e$  : quantité sorbée à l'équilibre (mg/g),

$m$  : masse du sorbant (g),

$V$  : volume de la solution (L).

La relation spécifique obtenue entre la concentration initiale d'un soluté présent dans un volume de solution et son degré d'élimination (concentration finale) par une masse de l'adsorbant à une température constante est définie comme une isotherme d'adsorption. Cette dernière représente la variation de la quantité de soluté adsorbée par gramme de l'adsorbant en fonction de la concentration finale à l'équilibre.

#### **A). Isothermes de Langmuir :**

La linéarisation du modèle de Langmuir se présente sous plusieurs formes

**\*Forme 1 :**  $1/Q_e = (1/b * Q_m) * (1/C_e) + (1/Q_m)$

Où

$Q_e$  : quantité adsorbée à l'équilibre (mg/g),

$Q_m$  : quantité maximale adsorbée à la saturation de la monocouche ou capacité maximale de l'adsorption (mg/g),

$C_e$  : concentration à l'équilibre (mg/L),

$b$  : constante de Langmuir (L/mg).

En traçant  $1/Q_e$  en fonction de  $1/C_e$ , on obtient une droite de pente  $1/b * Q_m$  et d'ordonnée à l'origine  $1/Q_m$ .

La modélisation des résultats expérimentaux d'isotherme d'adsorption du nitrate par le charbon de l'écorce de jujubier est présentée sur la Figure **V.9** et les paramètres du modèle de Langmuir (forme 1) obtenus ainsi que le coefficient de détermination sont regroupés dans le Tableau **V.3**.

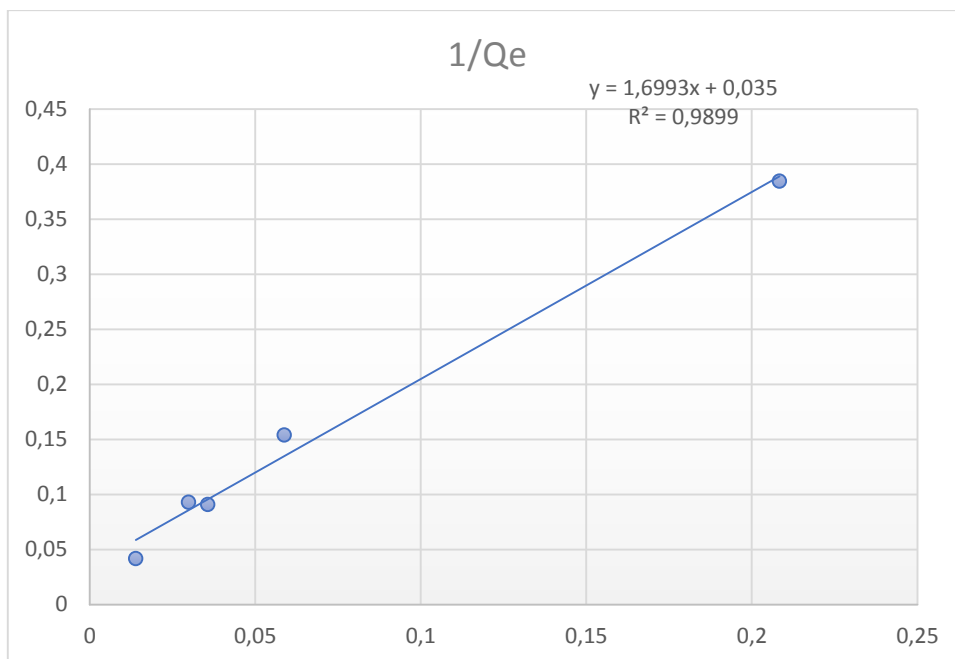


Figure (V-9): 1/Qe en fonction 1/Ce.

Tableau (V-3): Paramètres du modèle de Langmuir (forme I).

Qm(mg/g)	b (L/mg)	R <sup>2</sup>
28,57	0,02	0,9899

**\*Forme 2 :**  $C_e/Q_e = (1/Q_m) * C_e + (1/b * Q_m)$

En traçant  $C_e/Q_e$  en fonction de  $C_e$ , on obtient une droite de pente  $1/Q_m$  et d'ordonnée à l'origine  $1/b * Q_m$ .

La modélisation des résultats expérimentaux d'isotherme d'adsorption du nitrate par le charbon de l'écorce de jujubier est ainsi présentée sur la Figure V.10 et les paramètres du modèle de Langmuir (forme 2) obtenus ainsi que le coefficient de détermination sont regroupés dans le Tableau V.4.

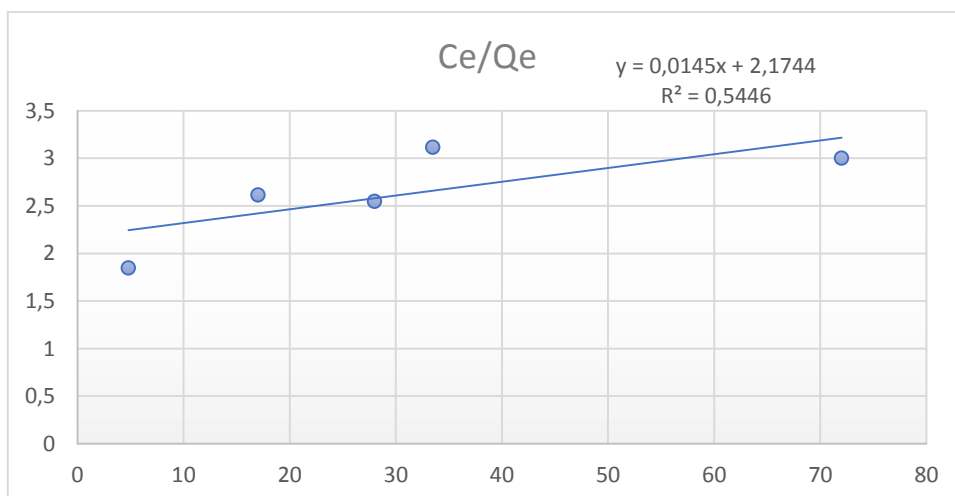


Figure (V-10): Ce/Qe en fonction de Ce.

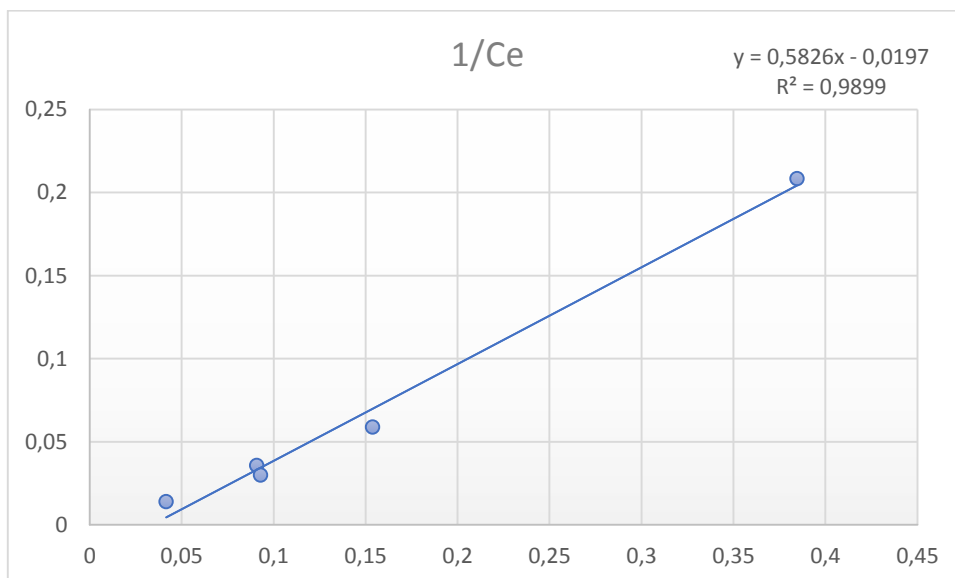
**Tableau (V-4): Paramètres du modèle de Langmuir (forme 2).**

Qm (mg/g)	b (L/mg)	R <sup>2</sup>
68,96	6,66*10 <sup>-3</sup>	0,5446

**\*Forme 3 :**  $1/C_e = b * Q_m * (1/Q_e) - b$

En traçant  $1/C_e$  en fonction de  $1/Q_e$ , on obtient une droite de pente  $b * Q_m$  et d'ordonnée à l'origine  $(-b)$ .

La modélisation des résultats expérimentaux d'isotherme d'adsorption du nitrate par le charbon de l'écorce de jujubier est ainsi présentée sur la Figure V.11 et les paramètres du modèle de Langmuir (forme 3) obtenus ainsi que le coefficient de détermination sont regroupés dans le Tableau V.5.

**Figure (V-11): 1/Ce en fonction de 1/Qe.****Tableau V.5: Paramètres du modèle de Langmuir (forme 3).**

Qm (mg/g)	b (L/mg)	R <sup>2</sup>
29,57	0,0197	0,9899

En comparant les résultats de la modélisation de différentes formes de l'équation de Langmuir, on trouve que les formes 1 et 3 sont les plus convenables.

A partir de la détermination de la constante de Langmuir, on peut déterminer un paramètre caractéristique qui est le facteur d'équilibre ou le nombre adimensionnel de Hall RL qui est donné par la formule :  $RL = 1/(1 + b * C_0)$

Si :

$RL = 0$ , l'isotherme est irréversible.

$RL$  compris entre 0 et 1, l'isotherme est favorable.

$RL = 1$ , l'isotherme est linéaire.

$RL > 1$ , l'isotherme est défavorable.

D'après la figure (V-12), l'isotherme de Langmuir est favorable et l'augmentation de la concentration initiale  $C_0$  réduit le facteur  $RL$  et favorise par conséquent l'adsorption du nitrate sur le charbon de l'écorce de jujubier.

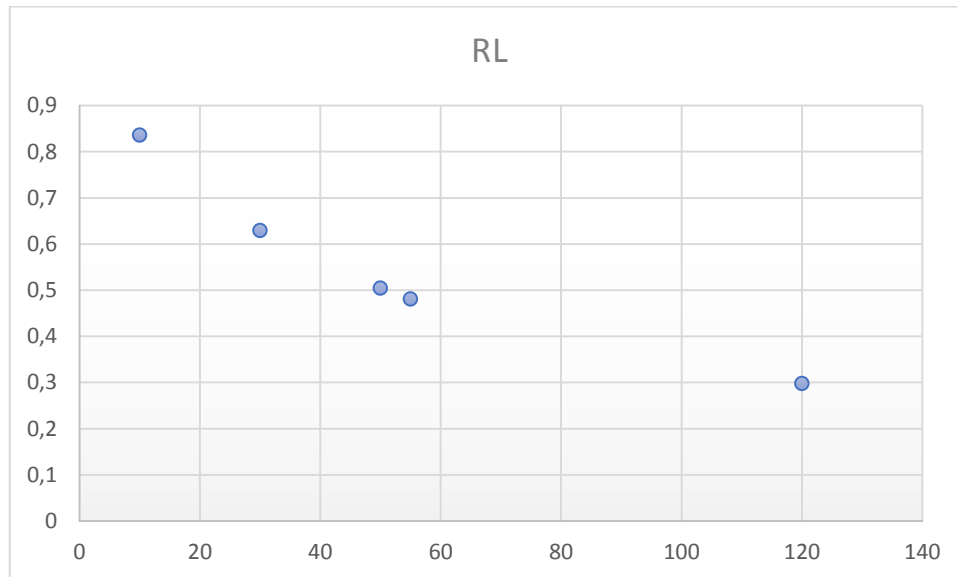


Figure (V-12):  $RL$  en fonction de  $C_0$ .

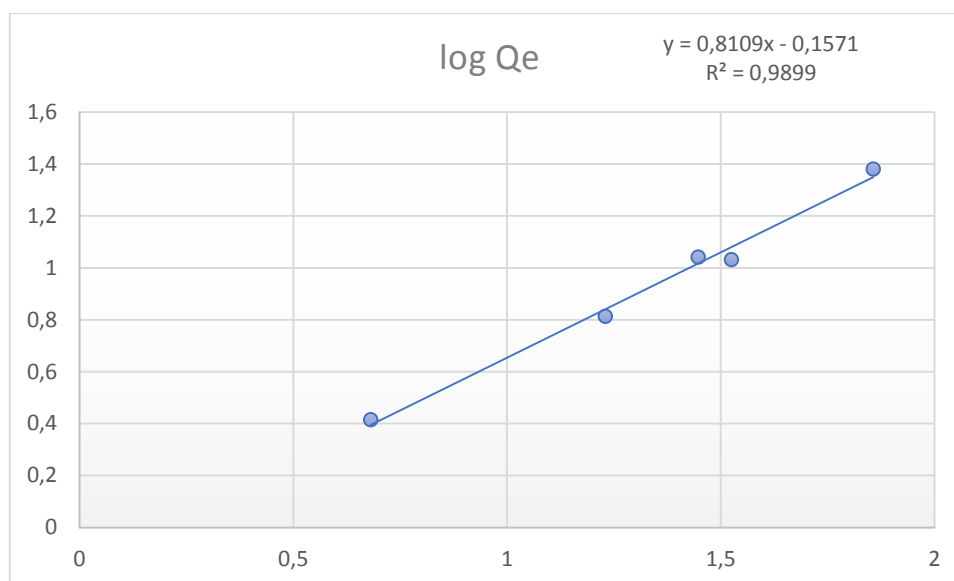
### A. Isotherme de Freundlich :

La linéarisation de l'isotherme d'adsorption de Freundlich est donnée par la formule suivante :

$$\log(Q_e) = (1/n) \cdot \log C_e + \log K$$

En traçant  $\log(Q_e)$  en fonction de  $\log C_e$ , on obtient une droite de pente  $1/n$  et d'ordonnée à l'origine  $\log K$ .

La modélisation des résultats expérimentaux d'isotherme d'adsorption du nitrate par le charbon de l'écorce de jujubier est ainsi présentée sur la Figure V.13 et les paramètres du modèle de Freundlich obtenus ainsi que le coefficient de détermination sont regroupés dans le Tableau (V.6).



**Figure (V-13): log Qe en fonction de log Ce.**

**Tableau (V-6): Paramètres du modèle de Freundlich.**

<b>K</b>	<b>n</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
0,6964	1.23	0,9899

En comparant les résultats de la modélisation de Langmuir et ceux de Freundlich, on trouve que les deux (modélisation de Langmuir et celle de Freundlich) sont convenables.

On note que pour  $1/n > 1$ , on dit qu'on a une forte adsorption tandis que pour  $1/n < 1$ , on dit qu'on a une faible adsorption.

Dans notre cas  $n=1.23 > 1$ , donc l'adsorption de nitrate sur le charbon utilisé est une forte adsorption.

#### **V.4.2 Expériences de l'adsorption sur les eaux traitées de la station de Saïd Otba :**

Les résultats d'analyses ont montré que la concentration de nitrate dans les eaux traitées sortant de la Station de Saïd Otba et de celle-ci après traitement par charbon est 1.7 et 0.5 mg/L respectivement.

Ce que rend les eaux traitées par le charbon dans les normes de rejet ( $< 1$  mg/L).

A noter que la quantité de nitrate éliminée par le charbon (0.6 mg/L) est beaucoup inférieure à la quantité théorique (29mg/g) et ça peut être dû à l'effet de la salinité ou plutôt à la forte concurrence entre les différents composants présents dans les eaux épurées sortantes de la station pour occuper les sites d'adsorption sur le charbon.

En plus, la concentration traitée (1.7 mg/L) est faible. Comme on a dit auparavant, concentration initiale faible quantité éliminée faible si on augmente la concentration initiale, la quantité éliminée du nitrate augmente.

# *Conclusion Générale*

## Conclusion générale

---

Les résultats de notre étude nous ont permis de trouver la valeur maximale d'adsorption des nitrates par le charbon actif, qui est  $Q_m=28,57\text{mg/g}$ , ce qui est un bon et satisfaisant résultat par rapport aux expériences précédentes.

Ainsi, nous avons confirmé à travers ce travail que le procédé d'adsorption a un rôle efficace dans le traitement des eaux usées en raison de la capacité du charbon actif à absorber les composés organiques tels que les nitrates. Qui constituent une menace pour la santé publique et l'environnement.

Ainsi, nous pouvons proposer comme solution l'utilisation du procédé d'adsorption au charbon actif dans le traitement des eaux usées dans la station d'épuration de Saïd Otba et Ouargla, ainsi nous avons contribué à la réduction des polluants qui sont très préoccupants dans le monde entier.



# *Liste des références*



## Liste des Références

---

- [1] **Abbes kemmroucho** (2017) utilisation d'un charbon actif préparé à partir des dérivés du palmier dattier (noyau de date de deglaetenour) dans le traitement des eaux résiduaires urbaines : étude comparative. Université Kasdi Merbah – Ouargla.
- [2] **Agence nationale de développement de l'investissement**, Gulches Unique decentralize d'Ouargla.
- [3] **Babou, L et M'zyene, N** (2018) Suivi des paramètres physico-chimiques et biologiques des eaux brutes et traitées de la STEP Est de Tizi-Ouzou ; Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou .
- [4] **Bouziane Lamia,(2018)**, élimination des métaux lourds par adsorption sur des déchets solides de faible coût, application des plans d'expériences , thèse de doctorat , université Badji Mokhtar Annaba.
- [5] **Chaouch Noura** (2014) Utilisation des sous-produits du palmier dattier dans le traitement physico-chimique des eaux polluées, thèse doctorat science, Université Hadj Lakhdar, Batna.
- [6] **Chegaar, O et Djeribiai, w** (2019) Elimination de polluant organique (phénol) par adsorption sur argile naturelle", mémoire de fin d'étude diplôme de master, Université Echahid Hamma Lakhdar –El Oued.
- [7] **CLAUDE CARDOT**;(2010) les traitements de l'eau pour l'ingénieur.
- [8] **HIDEB, K et CHETTOUH, A**(2017), "Autoépuration du canal de transfert des eaux usées épurées (STEP de Ouargla-Sebkhet Sefioune)", mémoire de fin d'étude diplôme de master, Université KASDI MERBAH OUARGLA.
- [9] **KASMI OUALID**(2016) ETUDE QUANTITATIVE DES DEBITS DES DRAINS DE LA VILLE D'OUARGLA; UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA.
- [10] **Kesbi, R**(2017) Etude des performances épuratoires d'une STEP de l'ouest Algérien cas de la nouvelle STEP D'Ain T'émouchent, mémoire de projet du diplôme de master en hydraulique, Université Abou Beker Belkaid Tlemcen.
- [11] **Lu jinyan**(2005) Etude comparative sur les charbons actifs, E-mail: [lu@engref.fr](mailto:lu@engref.fr)  
**OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU – SNIDE** B.P.44494 – 15, rue Edouard Chamberland 34093 MONTPELLIER CEDEX 5 87065 LIMOGES Cedex.
- [12] **Mazouz, M et Kelaifai, L**(2017) Evaluation de pouvoir d'adsorption d'un charbon actif commercial, diplôme de master Université Larbi Ben M'hidi ; Oum El Bouaghi.
- [13] **ONM** (office nationale de la météorologie) d'Ouargla
- [14] **Raymond Desjardins (1990)**, le traitement des eaux,
- [15] **Sai, P. M. S., Ahmed, J., and Krishnaiah , K.,** (1997) Production of activated carbon from coconut shell char in a fluidized bed reactor, Ind. Eng. Chem. Res., 36, pp. 3625-3630.

## Liste des Références

---

[16] Station d'épuration said Otba Ouargla.

[17] **Zahir BAKIRI**(2007) Traitement des eaux usées par procédés biologiques classiques : expérimentation et modélisation ; université Ferhat Abbas Sétif UFAS (Algérie) .



# *Annexes*

## DOSAGE DES NITRATES

### PRINCIPE

Les nitrates sont réduits en nitrites par une solution d'hydrazine en milieu alcalin et en présence de sulfate de cuivre comme catalyseur.

Les nitrites obtenus sont alors dosés par colorimétrie: diazotation avec l'acide sulfanilique et capulation avec l'&-Naphthylamine. On mesure la densité du colorant ainsi formé à 520nm.

### REACTIF( solution de réserve)

- *SOLUTION DE SOUDE 1N* (préparer 100 ml)  
40g de soude par litre d'eau distillée.

- *SOLUTION DE SULFATE DE CUIVRE* (préparer 250 ml)  
2,6g de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  additionnée de 40ml d'acide sulfurique 1N.  
Eau distillée Q.S.P 1000ml

- *SOLUTION D'HYDRAZINE A 0,1 M* (préparer 250 ml)  
13g de  $\text{NH}_2\text{-NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$   
Eau distillée Q.S.P 1000ml  
Conserver en flacon brun bien bouché

- *SOLUTION D'ACIDE SULFANILIQUE* (préparer 250 ml)  
6g d'acide sulfanilique  $\text{H}_2\text{N SO}_3$   
200ml d'acide chlorhydrique concentrée  
Eau distillée Q.S.P 1000ml  
Conserver en flacon brun

- *SOLUTION &-NAPHTHYLAMINE* (préparer 500 ml)  
6g de &-Naphthylamine  
40ml d'acide chlorhydrique concentrée  
Eau distillée Q.S.P 1000ml  
Verser la poudre dans l'eau froide, en agitant. Ajouter quelque ml d'acide chlorhydrique concentrée. Achever la dissolution en chauffant très légèrement. Verser ensuite le reste d'acide et compléter à 1 litre d'eau distillée.  
Conserver en flacon brun

- *SOLUTION D'E.D.T.A* (préparer 500 ml)  
Dissoudre 5g d'E.D.T.A dans 1000ml d'eau distillée. Cette solution est destinée à complexer le fer et les métaux lourds qui peuvent provoquer des interférences.

- *SOLUTION D'ACETATE DE SODIUM* (préparer 500 ml)  
Dissoudre 272g d'acétate de sodium  $\text{NaCOO-CH}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$   
Eau distillée Q.S.P 1000ml.

- *SOLUTION MERE DE NITRATE A 1000mg/l*  
Dissoudre 1,631g de Nitrate de Potassium préalablement séché au dessiccateur et compléter à 1000ml par de l'eau bidistillée.

### - SOLUTIONS ETALONS

Prendre successivement:

Temoins.0,5, 1, 2, 4, 6, 8, 10ml de la solution mère de nitrate et compléter chaque prélèvement 100ml par de l'eau bidistillée. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement:

Temoins.5, 10, 20, 40, 60, 80 et 100mg/l de nitrates.

### PREPARATION DES SOLUTIONS DE TRAVAIL (préparer 50 ml)

a) Mélange réducteur à préparer au moment de l'emploi

- 25ml de la solution de Sulfate de Cuivre
- 25ml de la solution d'hydrazine
- Eau distillée Q.S.P 1000ml

b) Solution de Soude à 0,05M

- Diluer 20 fois la solution de réserve 1 M, soit 50ml par litre d'eau distillée.

c) Mélange colorant (conserver en flacon brun) *(préparer 500 ml)*

- 10ml d'acétone
- 20ml d'acide sulfanilique
- 20ml d'E.D.T.A
- 20ml d'acétate de sodium
- 20ml d'1-Naphthylamine
- Eau distillée Q.S.P 1000ml

Ajouter l'1-Naphthylamine en dernier et après dilution pour éviter la formation d'un précipité blanc laiteux.

### MODE OPERATOIRE

Dans un erlen de 100ml, ou mieux dans un flacon en verre brun de 100ml, introduire:

- PE = 1ml
- Solution de Soude 0,05M = 5ml
- Mélange Réducteur = 5ml

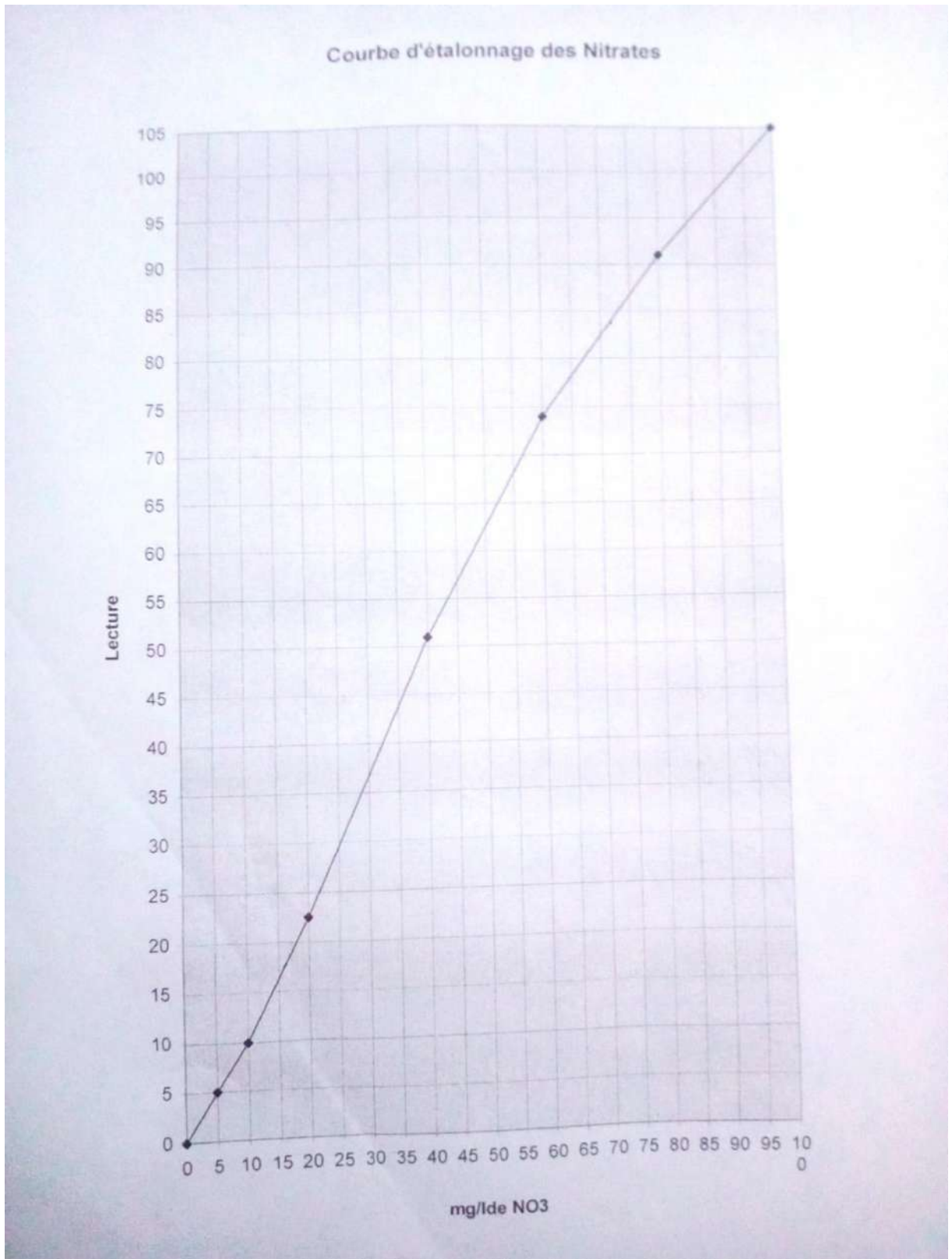
Agiter après chaque addition et attendre 1 heure avant d'ajouter:

- Mélange colorant = 40ml
- Ajuster à 100 ml

laisser la coloration se développer dans l'obscurité pendant ¼ heure. Mesurer sa densité à 520nm.

Le passage au colorimètre ne doit intervenir que juste avant la mesure optique afin que la solution soit exposée un minimum de temps à la lumière à laquelle elle est très sensible.

La réduction des nitrates est partielle et varie avec le temps et la température. Il importe donc que la mesure des échantillons soit toujours accompagnée d'une mesure des solutions étalons, traitées dans les mêmes conditions.



## الملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة امتزاز ايونات النترات الموجودة في وسط مائي بوساطة فحم متحصل عليه من عملية حرق مدروسة للحاء شجرة العناب. حيث أجريت تجارب في المخبر على عينات من الماء المقطر تحتوي على النترات و التي سمحت لنا بمتابعة الفرق في تركيز النترات في المحلول المائي المخضر قبل وبعد عملية الإمتزاز. و من خلال تطبيق قوانين الإمتزاز (المتساويات الحرارية) وجدنا أن القيمة العظمى الممتزة من طرف الفحم المستعمل حسب متساوي الحراري ل(LANGMUIR) هي كمية معتبرة ومرضية وهي  $Q_m=28,57\text{mg/g}$ . و عند تطبيق تجربة الامتزاز على مياه الصرف الصحي الخارجة من المحطة المعالجة سعيد عتبة بمنطقة ورقلة وجدنا أن تركيز النترات بعد عملية الإمتزاز قد انخفض عن التركيز الأولي واصبحت مقبولة مقارنة بالمعايير المطلوبة. و منه، يمكننا القول أن اعتماد هذه الطريقة مستقبلا كنموذج لإزالة النترات من مياه المحطة من شأنها أن تساهم في تحسين نوعية المياه المعالجة وبالتالي التقليل من أضرار النترات و المحافظة على البيئة.

**الكلمات المفتاحية:** التلوث, الفحم , الإمتزاز, النترات, قانون الإمتزاز المتساوي الحراري, محطة معالجة المياه ورقلة.

## Résumé:

L'objectif de ce travail est d'étudier l'adsorption des ions nitrates présents dans des solutions aqueuses par adsorption sur un charbon issue de la carbonisation de l'écorce de jujubier à 800°C. Des expériences de l'adsorption ont été appliquées sur des échantillons préparés de nitrate à différentes concentration ce qui nous a permis de suivre la différence en concentration de nitrate avant et après traitement. En appliquant les isothermes d'adsorption, on a trouvé que la capacité maximale adsorbée du charbon utilisé selon Langmuir est de 28.57 mg de nitrates par gramme du charbon. En testant l'efficacité de notre charbon sur les eaux usées épurées sortant de la station d'épuration de Saïd Otba dans la région d'Ouargla, nous avons constaté que la concentration en nitrate a diminué par rapport à la concentration initiale et devenue dans les normes, ce qui signifie que l'adsorption puisse être utilisée au futur comme un traitement complémentaire pour améliorer la qualité des eaux traitées de la station, réduire les dommages causés par les nitrates et préserver l'environnement.

**Les mots clés :** pollution, charbon, absorption, nitrate, écorce de jujubier, Isotherme d'adsorption, station d'épuration.

## Abstract :

The objective of this work is to study the adsorption of nitrate ions present in aqueous solutions by adsorption on a char resulting from the carbonization of jujube bark at 800 ° C. Adsorption experiments were carried out on samples prepared of nitrate at different concentrations which allows us to follow the difference in nitrate concentration before and after treatment. By applying the adsorption isotherms, it was found that the maximum adsorbed capacity of the carbon used according to Langmuir is 28.57 mg of nitrates per gram of the carbon. By testing the efficiency of our carbonized material on the purified wastewater leaving the Saïd Otba treatment plant in the Ouargla region, we have observed that the nitrate concentration has decreased compared to the initial concentration which means that this adsorption can be used in the future as a supplement treatment to ameliorate the quality of the epurated wastewater of the station, to reduce the damage caused by the nitrate and to preserve the region environment.

**Keywords:** adsorption isotherm, nitrate, carbonized jujube bark, Ouargla wastewater treatment plant.