

الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAI



جامعة أحمد دراية- أدرار

Année / 2021

-ADRAR-

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Matière

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

**Chimie**

Option : Chimie de l'Environnement

# Thème

**Etude de l'influence de type de déchet de palmier dattier (régime, palme et fibre) sur l'adsorption des nitrates**

**Présenté Par :**

*Melle.* OURKA Khadidja

**Devant le jury composé de :**

**Mr. SAKMECHE Mounir**

Président

MCB

Université Ahmed Draia-Adrar

**Mr. Djaafri Mohammed**

Encadrant

MRB

URERMS d'Adrar, CDER Alger

**Mr. Kalloum Slimane**

Co-Encadrant

Pr

Université Ahmed Draia-Adrar

**Mr. MEKKI khelifa**

Examineur

MCB

Université Ahmed Draia -Adrar

**Année Universitaire 2020/2021**

## REMERCIEMENTS

En tout premier lieu, nous remercions le bon **DIEU (Allah)**, le tout puissant, d'avoir nous donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Tous les mots restent faibles pour exprimer mes profonde reconnaissance et remerciement au **Dr. DJAAFRI Mohammed** pour avoir bien voulu encadrer ce travail ainsi que pour sa riche contribution et ses précieux conseils pour son aide sa patience et pour tout le temps qu'il nous a consacré pour la réalisation de ce travail.

Mes remerciements sont adressés aussi à Mr le **Pr. KALLOUM Slimane** ; mon Co -encadreur pour son aide et fatigue afin de réaliser ce modeste travail. A Mr le **Dr. NASRI Bahous** ; pour ses conseils Au Groupe de travail de laboratoire de chimie de l'université

A tous les professeurs de l'université d'Adrar, le personnel du laboratoire de l'Agence Nationale des Ressource Hydrauliques (ANRH), les intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Ma famille

Me amies et mes collègues de promotion

En fin, merci à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail, de près et de loin.

## اهداء

الى التي جعل الله الجنة تحت أقدامها الى ريحانة وبهجتها الى التي غمرتني بعطفها  
وحنانها الى روح امي الطاهرة رحمها الله

الى الذي رباني على الفضيلة والاخلاق النبيلة وشممني بالعطف والحنان وكان لي  
درع امان احتمي به من نائبات الزمان وتحمل عبئ الحياة حتى لا أحس بالحرمان  
ابي العزيز بارك الله في عمره

الى الشموع التي أضاءت لي مشواري الى الذين كانوا لي سند اخواني واخواتي  
البراعم الصغار زوجات الاخوة الأصدقاء الاحباب

الى الذين رفقتهم في مشواري الدراسي

الى كل أساتذة جامعة ادرار

الى كل الذين امنوا ان العلم رسالة

# Sommaire

Liste d'abréviation	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	
Introduction générale	1

## **Partie I : Synthèse bibliographique**

### **Chapitre I : la pollution de l'eau et Nitrate**

I.1. Introduction	4
II.2. La pollution de l'eau	4
I.2.1. Généralités	5
I.3. Les principales sources des eaux usées	5
I.3.1. Les eaux usées urbains	5
I.3.2. Les eaux usées industrielles	5
I.3.3. Les eaux usées agricoles	5
I.3.4. Les eaux usées pluviales	6
I.4. Type de pollution	6
I.4.1. Pollution physique	6
I.4.2. Pollution chimique	6
I.4.3. Pollution biologique	6
I.5. Paramètres de mesure de la pollution des eaux usées	7
I.5.1. Les paramètres organoleptiques	7
I.5.2. Les paramètres physico-chimiques	8
I.5.3. Paramètres microbiologiques	11
I.6. Les nitrate	12
I.7. Étapes et procédés des traitements de eaux usées	18
I.7.1. Les prétraitements	18
I.7.2. Traitement primaire	18
I.7.3. Traitements secondaires : traitement biologique	18

I.7.4. Traitement tertiaire	19
I.7.5. Normes de rejet	20
I.7.6. Normes de la qualité des eaux	21

## **Chapitre II : Phénomène d'adsorption**

II.1. Introduction	23
II.2. Historique	23
II.3. Définition	23
II.4 Principe de l'adsorption	24
II.5 Type d'adsorption	24
II.5.1 Physisorption	24
II.5.2 Chimisorption	24
II.6 capacités d'adsorption	26
II.7 Importance de l'adsorption	26
II.8 Phénomène et paramètres influents sur l'adsorption	26
II.8.1 Phénomène d'adsorption	26
II.8.2 Description du mécanisme d'adsorption	27
II.8.3 Facteurs influençant l'équilibre d'adsorption	27
II.8.3.1 Nature de l'adsorbant	27
II.8.3.2 Influence de l'adsorbat	28
II.8.3.3 Influence de vitesse d'agitation	28
II.8.3.4 Surface spécifique	28
II.8.3.5 Influence de pH	28
II.8.3.6 Influence du temps de contact et concentration sur l'adsorption	29
II.8.3.7 Influence de la granulometries	29
II.8.3.8 Nature du mode d'adsorption	29
II.10 Isotherme d'adsorption	29
II.10.1 Classification d'isotherme d'adsorption	29
II.10.1.1 La forme d'isotherme H	30
II.10.1.2 Forme d'isotherme L	30
II.10.1.3 Forme d'isotherme S	30

II.10.1.4	Forme d'isotherme C	30
II.10.2	Modèle d'isotherme d'adsorption	31
II.10.2.1	Isotherme de Langmuir	31
II.10.2.2	Isotherme de Freundlich	32
II.10.2.3	Isotherme de Temkin	33
II.11	Cinétique d'adsorption	33
II.11.1	Modelés de la cinétique du Pseudo premier ordre	34
II.11.2	Modelés de la cinétique du pseudo- second ordre	34
II.11.3	Modelés de la diffusion intra particule	35
II.11.3.1	Coefficient de diffusion	35
II.11.3.2	Modelés de Elovich	35
II.12	Thermodynamique d'adsorption	35
II.13	L'adsorbant	36
II.13.1	Les palmier dattier	36
II.13.1.1	Définition	36
II.14	Morphologie du palmes dattier	37
II.14.1	Système végétatif	37
II.14.1.1	Les fibres	37
II.14.1.2	Les palmes	38
II.14.1.3	Régime	38
II.15	Le composant de déchets de palmier dattier	39
II.15.1	Cellulose	39
II.15.2	Hémicellulose	40
II.15.3	Lignine	40

## **PARTIE EXPERIMENTALE**

### **Chapitre III : Matériels et méthodes.**

III.1.	Introduction	41
III.2.	Matériels et produits utilisés	41
III.3.	Préparation d'échantillons	41

III.3.1. Échantillonnage	41
III.3.2. Lavage	42
III.3.3. Le Séchage	42
III.3.4. Le Broyage	43
III.3.5. Tamisage	43
III.4. Les techniques analytiques	44
III.4.1. Préparation de solutions	44
III.4.2. Mode opératoire	47
III.4.3. Spectrophotomètre UV-Visible	48
III.6. Spectroscopie infrarouge	49
III.7. Optimisations de paramètres	50
III.7.1. Effet de nature	50
III.7.2. Effet de temps de contact	50
III.7.3. Effet de masse	51
III.7.4. Effet granulométrique	51
III.7.5. Effet pH	51
III.7.6. L'isotherme d'adsorption	52
III.7.7. Cinétique d'adsorption	52

## **Chapitre IV : Résultats et discussion.**

IV.1. Introduction	53
IV.2. Détermination de $\lambda_{max}$ de nitrate	53
IV.3. Courbe d'étalonnage	53
IV.2. Paramètre affectant l'adsorption	54
IV.2.1. Effet de nature d'adsorbant	54
IV.2.2. Effet de temps de contact	55
IV.2.3. Effet de masse	55
IV.2.4. Effet de pH	56
IV.2.5. Effet de granulométrie	57
IV.3. L'isotherme d'adsorption	58
IV.3.1 Modélisation de l'isotherme d'adsorption	58

IV.3.1. L'isotherme de Langmuir	58
IV.3.2. L'isotherme de Freundlich	59
IV.3.3. L'isotherme de Temkin	60
IV.4. Modèle de cinétique d'adsorption	61
IV.4.1. Modèle cinétique de premier ordre	62
IV.4.2. Modèle cinétique de deuxième ordre	63
IV.4.3. Modèle cinétique d'ELOVICH	64
IV.4.3. Modèle cinétique de diffusion intra-particulaire	64
<b>Conclusion générale</b>	67
<b>Références bibliographiques</b>	68
<b>ANNEXES</b>	72

## Liste des abréviations

**A** : absorbance

**Abs** : absorption

**ANRH** : Agence Nationale de Ressources Hydrauliques

**B** : constante reliée a l'énergie d'adsorption

**C** : concentration de solution adsorbants a l'instant t

**C<sub>0</sub>**: concentration initiale

**C<sub>e</sub>**: Concentration du nitrate à l'équilibre

**I** : l'intensité transmise.

**I<sub>0</sub>** : l'intensité de la radiation incidente.

**l** : Longueur du chemin optique.

**IR** : infra rouge

**K<sub>f</sub>** et **n** : constantes de Freundlich caractéristique de l'efficacité d'un adsorbant donné vis -a-vis d'un soluté donné

**K<sub>l</sub>** : constant de Langmuir.

**ε** : Coefficient d'extinction molaire.

**λ** : Longueur d'onde de la radiation (nm).

**MES** : Matières en suspensions.

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : nitrate

**N** : Normalité

**N** : azote

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**Q<sub>e</sub>** : la quantité adsorbée à l'équilibre

**Q<sub>m</sub>**: la quantité adsorbée maximale

**R<sup>2</sup>**: coefficients de corrélation de régressions linéaires

**R** : constant des gazes parfaites

**T** : Transmittance

**UV** : Ultraviolet artificiel fournie par la Lampe UV.

**U.R.E.R/MS** : Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien d'Adrar.

**%** : Pourcentage.

## Liste des figures

Figure I.1 : les différentes contaminations de l'eau	4
Figure I.2: le cycle d'azote	13
Figure I.2 : schéma étapes procédé de traitement des eaux usées	20
<b>Figure II.1</b> : caractéristique d'adsorption	24
Figure II.2: mécanisme d'adsorption sur les solides poreux	27
Figure II.3: les quatre types d'isotherme d'adsorption	31
<b>Figure III.7</b> : schéma de principe d'un spectrophotomètre UV-Visible	49
<b>Figure IV .1</b> : Courbe d'étalonnage de nitrate	53
<b>Figure IV.2</b> : effet de nature d'adsorbant sur l'adsorption de nitrate	54
<b>Figure IV.3</b> : effet de temps sur l'adsorption du nitrate	55
<b>Figure IV.4</b> : effet de masse sur l'adsorption de nitrate a température ambiante.	56
<b>Figure IV.5</b> : effet de PH sur l'adsorption du nitrate	57
<b>Figure IV.6</b> : effet de granulométrie sur l'adsorption de nitrate	57
<b>Figure IV.9</b> : Isotherme de Langmuir pour l'adsorption de nitrate	59
<b>Figure IV.10</b> : isotherme de Freundlich pour l'adsorption de nitrate	60
<b>Figure IV. 11</b> : isotherme de Temkin pour l'adsorption de nitrate	60
<b>Figure IV.12</b> : effet de temps de contact sur l'adsorption de nitrate (20mg/l)	62
<b>Figure IV.13</b> : Modèle cinétique du premier ordre à l'adsorption de nitrate	63
<b>Figure IV.14</b> : modèle de deuxième ordre	63
<b>Figure IV. 15</b> : Modèle D'ELOVICH	64
<b>Figure IV. 16</b> : Modèle de diffusion intra-particulaire	65

## **Liste de tableaux**

<b>Tableau I.1</b> : norme de rejet de L'OMS, appliqués en Algérie.	21
<b>Tableau I.2</b> : qualité physico-chimique de l'eau boisson	22
<b>Tableau II.1</b> : distinction entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique	25
<b>Tableau II.2</b> : effet du facteur de séparation sur le type d'adsorption.	32
<b>Tableau III.1</b> : les différents matériel et produits	41
<b>Tableau IV.1</b> : variation de la densité optique en fonction de concentration.	53
<b>Tableau IV. 2</b> : les paramétré de modèle applique aux isothermes d'adsorption.	61
<b>Tableau IV. 3</b> : paramètres cinétiques d'adsorption du nitrate.	66

## ملخص

تلوث المياه من التصريفات الصناعية والزراعية يمكن ان يسبب اثار سلبية على البيئة والبشر. ولكن هناك العديد من التقنيات لإزالة هذه الملوثات ومن اهم وأبرز التقنيات الامتزاز والذي طبق من خلال هذه الدراسة التطبيقية.

في هذا العمل تم دراسة القضاء على النترات عن طريق الامتزاز باستخدام مسحوق ليف نخيل التمر. لاختبار مدى فعاليته ثم إجراء سلسلة من التجارب لدراسة تأثير بعض المعلمات الفيزيائية والكيميائية مثل: تأثير كتلة الممتز، تأثير زمن الاتصال، درجة الحموضة، تأثير حجم الحبيبات. النتائج التي تم الحصول عليها تشير الى ان الكربون المنشط هو من الممتزات الجيدة.

الكلمات المفتاحية: الامتزاز، النترات، حركية، اليف نخيل التمر، ايزوثرم.

### Résumé :

La pollution des eaux issus des rejets industriel et agriculture peut être provoqué des effets néfastes sur l'environnement et sur l'être humain. Mais il existe de nombreuses techniques pour éliminer ces polluants. L'une des techniques le plus utilisées est l'adsorption qui a été appliqué lors de la présente étude.

Dans ce travail, l'élimination des nitrates par adsorption en utilisant les fibres de palmier dattier a été étudié. Afin de tester l'efficacité des fibres de palmier dattier comme adsorbant, une série de expériences a été réalisée comme l'influence de la masse de l'adsorbant, les tempes de contact et le pH sur la capacité d'adsorption. Les résultats obtenus démontrent que les fibres de palmier dattier est l'un des bons adsorbants.

**Mots clés :** Adsorption, nitrate, fibre de palmier dattier, isotherme cinétique.

### Abstract:

Water pollution from industrial and agricultural discharges can have harmful effects on the environment and on humans. But there are many techniques to remove these pollutants. One of the most widely used techniques is adsorption which was applied in this study.

In this work, the elimination of nitrates by adsorption using date palm fibers was investigated. In order to test the effectiveness of date palm fibers as an adsorbent, a series of experiments were carried out such as the influence of adsorbent mass, contact temples and pH on the adsorption capacity. The results obtained show that date palm fibers are one of the good adsorbents.

**Key words:** Adsorption, nitrate, date palm fiber, kinetic isotherm

**Introduction**

**générale**

générale

## **Introduction :**

La pollution est l'un des plus gros problèmes auxquels le monde est confronté (population et environnement), en raison du développement technologique et de l'explosion démographique qui accompagnait la vie contemporaine. La contamination se produit sous plusieurs formes, d'air, de sol et d'eau. Ceci est renvoyé à la présence de certains des éléments organiques et inorganiques nuisibles ou en raison de l'augmentation ou du manque de certains éléments de base dans l'environnement.

La pollution de l'eau est l'un de problèmes de pollution les plus nuisible en raison de la grande importance de l'eau dans la vie quotidienne.

La pollution de l'eau par les nitrates à cause des pratiques agricoles et industriel, est un problème croissant dans les régions agricoles et industrielles du monde. Une fois sa concentration est augmentée ou diminuée par rapport à son rapport naturel, sa présence peut constituer des facteurs de risques pour la santé humaine et perturbe l'environnement. Il est donc nécessaire de limiter la plus possible cette pollution en mettant en place un traitement adéquat.

Il existe plusieurs méthodes physique, chimique et biologique pour traiter les effluents pollués, tel qui la coagulation, la floculation, la biodégradation, la filtration membranaire, l'oxydation chimique, l'azotation, échange d'ions, les méthodes électrochimiques, et l'adsorption.

La technique d'adsorption est un procédé plus favorable pour l'élimination préférentielle des nitrates est devenue une méthode analytique, très efficace et simple d'utilisation.

Le principe du traitement par l'adsorption est de piéger les nitrates par un matériau solide appelé adsorbant. Il existe, plusieurs matériaux solides (argiles, zéolites, alumines activées, boue, biomasses, résidus agricoles, sous-produits industriels et charbon actif...) qui peut être utilisé pour éliminer les polluants (nitrate) de l'eau.

La présente recherche a été basé sur l'utilisation des adsorbants économiques naturelle et disponible localement. Les fibres des palmiers dattiers ont été utilisé on tant que biomasse comme adsorbant pour traiter le polluant du nitrate.

L'utilisation des déchets agricole naturel sans recoures aux matériaux fabriqués est un grand défi et est recommandé pour un développement durable afin de préserver l'environnement.

Le but de ce travail est d'éliminer les nitrates présente dans l'eau, on utilisant un adsorbant local est disponible qui est les déchets du palmier dattier à savoir les palmes, régime et fibres et d'évaluer le meilleur bio adsorbant parmi ces déchets.

Dans ce contexte, le présent travail est divisé en quatre chapitres principaux :

Le premier chapitre de ce mémoire présente une étude bibliographique sur la pollution des eaux par les nitrates afin de comprendre l'impact de la pollution par les nitrates sur la sante humain et l'environnement.

Le deuxième chapitre, présente des informations sur le phénomène d'adsorption.

Le troisième chapitre expose le matériel et la méthodologie adoptés durant l'expérimentation.

Le quatrième chapitre présente l'ensemble des résultats obtenus, il détaille l'influence des paramètres de l'adsorption sur l'élimination des nitrates

Ce mémoire se termine par une conclusion générale synthétisant les principaux résultats obtenus dans ce travail.

**SYNTHESE  
BIBLIOGRAPHIQUE**

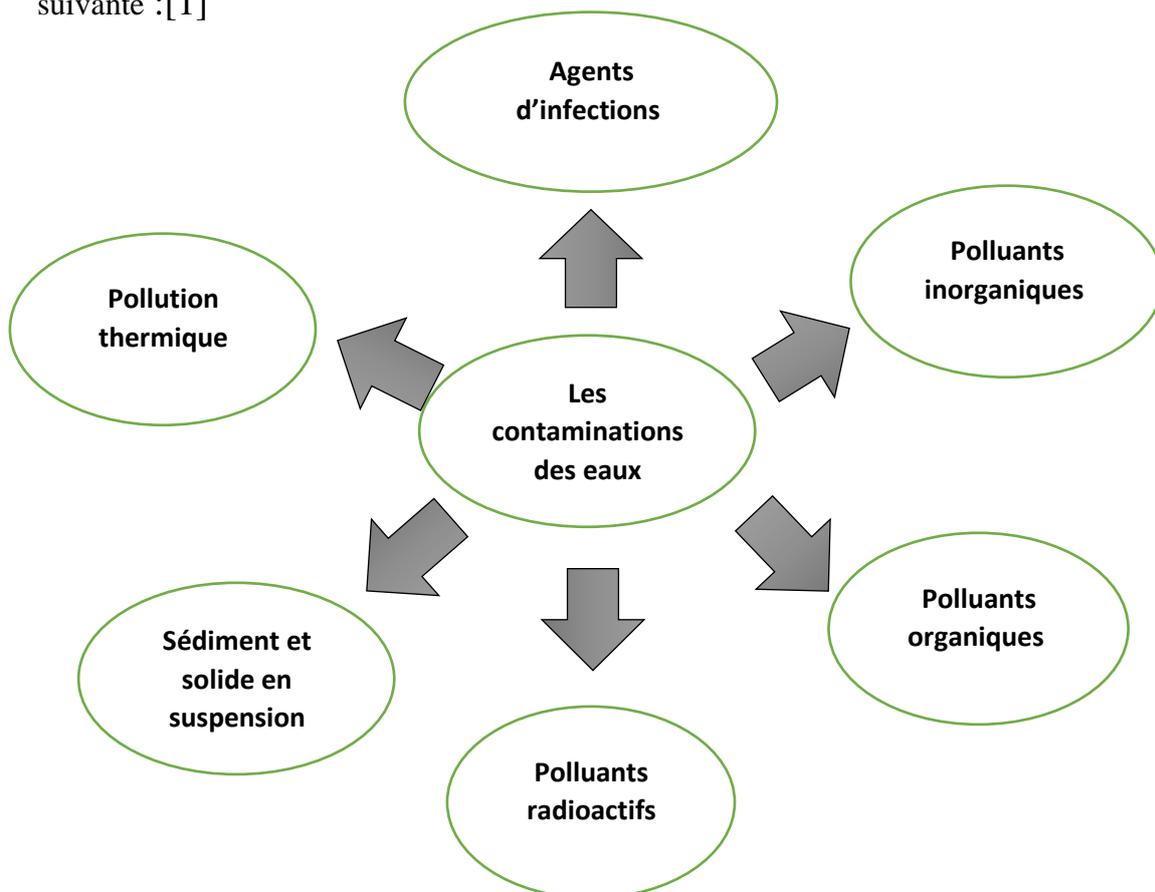
# Chapitre I : la pollution de l'eau et Nitrate

## I.1. Introduction

Dans ce chapitre, je vais aborder le problème de la pollution de l'eau, la source de cette pollution, quelques procédés utilisés pour traiter cette pollution et générale sur nitrate.

## I.2. La pollution de l'eau

L'un des problèmes les plus importants rencontrés par le monde à cause de différentes activités humaines, la pollution de l'air, des sols et de l'eau. La pollution de l'eau en particulier, est la plus nuisible sur l'environnement. D'autres parts en raison d'exploitation non rationnelle et l'absence de ressource en eaux dues à la sécheresse. La production quotidienne d'eaux usées exerce de forte pression sur l'humanité. Il existe plusieurs types de contamination de l'eau sont représentés par la figure I.1 suivante :[1]



FigureI.1 : les différentes contaminations de l'eau [1]

### **I.2.1. Généralités**

La pollution de l'eau est définie par le nouveau petit Robert comme étant (dégradation d'un milieu par introduction d'un polluant), qui peut être une substance chimique, génétique ou de l'énergie.[2]

L'eau est un élément important de notre vie quotidienne, a de nombreuses activités domestiques, industrielles et agriculture. Après avoir utilisés, cette eau contient de grand nombre contamination biologiques et chimiques, on dit alors cette eau est contaminée et rejetée après l'utilisation, est appelée eau usée, eau résiduaire ou eau effluent, Parmi les éléments in désirables contenus dans cette eau :

- Du sable et d'autres matières en suspension.
- Des micro-organismes pathogènes pouvant causer de maladies.
- Des produits chimiques divers.
- Des déchets organiques en décomposition.

### **I.3. Les principales sources des eaux usées**

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

#### **I.3.1. Les eaux usées urbains**

Sont résultant de la collecte et du traitement des eaux usée de ménages, de activités domestique (l'eau de cuisine, l'eau de buanderie, l'eau de salle de bains, l'eau de vannes), artisanales et tertiaires ainsi que du ruissellement de eaux pluviales dans les zones urbains.

#### **I.3.2. Les eaux usées industrielles**

Au niveau national, la part relative de différents secteurs est évaluée à 50% pour l'agriculture, 35% les rejets urbains et 15% pour industrielles. Ces proportions varient selon le type de pollution, la part d'origines industrielles étant par exemple plus élevée pour certains polluants toxiques

#### **I.3.3. Les eaux usées agricoles**

Sont résultant de la percolation des eaux de pluie dans les sols et de son ruissellement, de l'épandage (engrais, pesticides) de produits chimiques sur les sols des activités maraichères et de élevages

### **I.3.4. Les eaux usées pluviales**

Ce sont les eaux de ruissellement qui se forment après précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées, surtout en début de la pluie par deux mécanismes :

Le lessivage de sol et de surfaces imperméabilisées

La remise en suspension des dépôts des collecteurs

Elles sont de même nature que les eaux usées domestiques avec des métaux lourds et d'éléments toxiques (plomb ; zinc ; hydrocarbures;) provenant essentiellement de la circulation automobile. [3]

### **I.4. Type de pollution**

Il existe plusieurs façons de classer la pollution. Selon le type de polluant, on peut classer la pollution en trois classes : pollution physique, pollution chimique et pollution biologique

#### **I.4.1. Pollution physique**

On parle de ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la pollution thermique (réchauffement de l'eau par des usines) et la pollution nucléaire (explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires).

#### **I.4.2. Pollution chimique**

Cela est dû au déversement irrationnel des rejets industriels apportant de grandes quantités de substances chimiques dont certaines sont non dégradables.

#### **I.4.3. Pollution biologique**

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes

## **I.5. Paramètres de mesure de la pollution des eaux usées**

Les normes de rejet des eaux usées, fixent des indicateurs ou les paramètres de traitement.

### **I.5.1. Les paramètres organoleptiques**

#### **I.5.1.1. Couleur :**

Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'ondes courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement.

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. [4]

#### **I.5.1.2. L'odeur :**

C'est l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles ; la qualité de cette sensation particulière par chacune de ces substances. [4]

#### **I.5.1.3. La gout et saveur :**

Le gout peut être définie comme l'ensemble des sensations gustative, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche.

La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs. [4]

#### **I.5.1.4. Turbidité**

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence des matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les grains de silice et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence des matières colloïdales d'origine organiques ou minérale. [5]

## **I.5.2. Les paramètres physico-chimiques**

### **I.5.2.1. La température :**

La température est un facteur écologique important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du PH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et de mélanges éventuels, etc. [6]

### **I.5.2.2. Le potentiel d'Hydrogène (pH) :**

Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et au développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9. L'influence de pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution bio disponible et donc leur toxicité .le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien .la nitrification optimale ne se fait qu'a des valeurs de pH comprise entre 7.5 et 9. [7]

### **I.5.2.3. Conductivité électrique (EC) :**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1\text{cm}^2$ .

L'unité de conductivité est siemens par mètre ( $S/M$ ).

$$1S/M = 10^4 \mu S/cm$$

### **I.5.2.4. Les matières en suspension (MES) :**

Les matières en suspension désignent l'ensemble des matières solides insolubles présentes dans une eau (sables, argiles, matières organiques, débris en tous genres...)

De teneurs élevées en MES peuvent provoquer la détérioration de ouvrages d'assainissement (obstruction de réseaux par la décantation, abrasion, dégradation de pompes.....). En cas de rejet au milieu naturel, elles peuvent troubler l'eau, diminuant ainsi le rayonnement lumineux indispensable pour une bonne croissance des végétaux au fond des cours d'eau (C'est la turbidité), diminuer l'oxygène dissout et ainsi limiter le développement de la vie aquatique.[8]

#### **I.5.2.5. Les matières volatiles en suspension (MVES) :**

Les matières volatiles en suspension, Elle représente la fraction organique des MES et sont obtenues par calcination de ces MES a 525°C pendant 2h. La différence de poids entre a 105°C et MES et MES a 525°C donne la « *perte au feu* » et correspond a la teneur en MVS (en *mg/l*) d'un eau.[9]

#### **I.5.2.6. Les matières minérales (MMS) :**

Elles représentent le résultat d'une évaporation total de l'eau, C'est -a-dire son « *extrait sec* » constitué a la fois par les matières en suspension et la matière solubles tels que les chlorures, les phosphates, etc.... [7]

#### **I.5.2.7. Pouvoir oxydo-réducteur (Eh et rH) :**

Les eaux usées résiduaires (notamment urbaines) présentent un potentiel d'oxydoréduction qui peut être mesure grâce a une cellule électrochimique consiste d'une électrode de mesure (platine) et d'une électrode de reference.la mesure du potentiel lié au déplacement des électrons, donne la valeur de  $E_H$  .[10]

#### **I.5.2.8. La demande biochimique en oxygène (DBO) :**

La demande biochimique en oxygène représente la quantité d'oxygène dépensée d'une part, les phénomènes d'oxydation chimique et d'autre part la dégradation des matières organiques par voie aérobie, pour réaliser la destruction des composés organique non azotées .Cette demande en oxygène se manifeste progressivement et par commodité .On a choisi la  $DBO_5$  , C'est -a-dire que l'on restreint période d'observation a 5jour .la  $DBO_5$  s'exprime en milligrammes d'oxygènes consommé par litre ((*mg d'O<sub>2</sub>/l*) en grammes d'oxygènes par jour et par habitant .[11]

#### **I.5.2.9. La demande chimique en oxygène (DCO):**

La demande chimique en oxygène (DBO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation de matières oxydables présentes dans l'eau, quelle que soit leur origine organique ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfures et chlorures). Ce test est particulièrement utile pour l'appréciation du fonctionnement de stations de traitement. La DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités de l'oxydation,[6]

#### **I.5.2.10. Dureté de l'eau (ou titre hydrométrique) :**

La Dureté d'une eau correspond à la somme de concentration en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins ( $Na^+$ ,  $K^+$ ) et  $H^+$ . Elle est souvent due aux ions  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$ . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité de métaux. La dureté se mesure en mg de  $CaCO_3$  par litre.

#### **I.5.2.11. L'oxygène dissous (OD) :**

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu. La concentration en oxygène dissous est exprimée en  $mgO_2/l$ . La teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement  $10 mg/l$ . Elle est en fonction de l'origine de l'eau ; l'eau usée domestique peut contenir de 2 à 8  $mg/l$ .

#### **I.5.2.12. L'Alcalinité (TA-TAC) :**

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogencarbonates, carbonates et hydroxyde. Le titre alcalimétrique (TA) mesure la teneur de l'eau en hydroxydes libres et en carbonates. Le titre alcalimétrique complet ou TAC correspond à la teneur en hydroxydes libres carbonates et hydrogencarbonates. Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un volume d'eau par un acide minéral dilué.

#### **I.5.2.13. Le Carbone organique totale (COT) :**

Le carbone organique totale est défini comme la concentration en mg de carbone par litre d'échantillon, c'est une méthode directe pour mesurer la teneur en matière organique d'une eau. Il consiste à brûler l'échantillon d'eau à  $950^\circ C$  sous l'action de l'oxygène gazeux et de mesurer le  $CO_2$  dégagé, et par la suite de mesurer le carbone total (organique ou minéral). Le COT est une méthode rapide et présente plusieurs avantages tel que : analyser l'eau quelle que soit sa qualité (de forte salinité, acide, basique ou contient des composés toxiques), mais il exige un appareillage coûteux. [13]

#### **I.5.2.14. La biodégradabilité :**

La biodégradabilité traduit par l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient  $K$ , tel que,  $K = DCO/DBO_5$

Si  $K < 1.5$  cela signifie que la matière oxydable partie de matières fortement biodégradables.

Si  $1.5 < K < 2.5$  cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.

Si  $2.5 < K < 1.5$  les matières oxydables sont peu biodégradables.

Si  $K > 3$  les matières oxydables sont non biodégradable. [7]

#### **I.5.2.14. Les matières toxiques**

Les compose toxiques sont des métaux (Mercure (Hg), Cyanures (CN), cadmium, plomb.....) des composés phénoliques, des organo-halogénés, des organophosphorées.

#### **I.5.2.15. La pollution phosphorée**

Le phosphore est lui aussi également responsable de la croissance des algues et de plantes aquatiques qui vont générer les mêmes problèmes que l'azote.

#### **I.5.2.16. La pollution azotée**

Elle est souvent responsable de la reproduction d'algues et de plantes aquatiques en surface. Après la pourriture, il libère de substances solubles, qui à leur tour conduisent à la pollution.

L'azote peut être trouvé sous de nombreuses formes dans les eaux usées on a

L'azote organique, L'azote ammoniacale, Les ion nitrite et Les ion nitrate

#### **I.5.3. Paramètres microbiologiques**

L'analyse bactériologique de l'eau a pour but de mettre en évidence la présence des bactéries qui modifient l'aptitude d'une eau à une utilisation donnée, ces organismes possèdent plusieurs caractéristiques telles que :

- ✓ La provenance exclusive des matières fécales des animaux à sang chaud.
- ✓ La résistance aux antiseptiques voisins de ceux des bactéries pathogènes.
- ✓ Leur non-prolifération anarchique dans la nature
- ✓ La production des réactions simples et spécifiques au cours de leur étude.

- ✓ Leur apparition en très grand nombre dans le milieu par rapport germes pathogènes

En général, les germes utilisés sont les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux.[14]

## **I.6. Les nitrate ( $NO_3^-$ )**

### **I.6.1. Définition :**

Le nitrate est un composé chimique inorganique composé d'un atome d'azote ( $N$ ) et trois atomes d'oxygène ( $O$ ). Sa formule chimique est  $NO_3^-$ , Sa masse molaire est de  $62g.mol^{-1}$ .

L'azote constituant la molécule de nitrate est dénommé azote nitrique et est généralement noté  $N - NO_3^-$ . Ainsi un gramme d'ion  $NO_3^-$  correspond à 0.22 gramme d'azote nitrique.

Le nitrate est un élément minéral nutritif pour les végétaux et les microorganismes. Pour cette raison, les sels de nitrate (nitrate de potassium de formule  $(KNO_3)$ , le nitrate de sodium  $(NaNO_3)$ , le nitrate de calcium  $(Ca(NO_3)_2)$  ou le nitrate d'ammonium  $(NH_4NO_3)$ ).

### **I.6.3. Origine de nitrate**

L'azote est la principale origine de nitrate.

Il existe de type de source de L'azote, source naturelle (le sol et l'air) et source artificielle (les engrais).

L'azote est un élément chimique très large dans la nature existe entre l'atmosphère et la biosphère, sous différentes formes chimiques. Dans l'atmosphère l'azote se trouve à l'état gazeux ( $N_2$ ). Dans les sols on retrouve l'azote de ses formes organique et inorganique ( $NH_4^+$ ,  $NH_3$ ,  $NO_3^-$  et  $NO_2^-$ ), C'est un élément essentiel de la matière vivante. Il est indispensable à la vie de l'homme. Il se trouve en solution ses formes combinées ( $NO_2^-$ ), azote ammoniacal, azote organique, les nitrate ( $NO_3^-$ ). C'est seulement sous sa forme inorganique que l'azote est directement assimilable par les plantes, et dont les nitrates et nitrites représentent les phases dans l'eau.

## I.6.4. Cycle de l'azote

On appelle cycle de l'azote les diverses transformations qui subit l'azote dans la biosphère. Les principales étapes de cycle de l'azote sont la fixation, l'assimilation, l'ammonification, la nitrification et la dénitrification. [15]

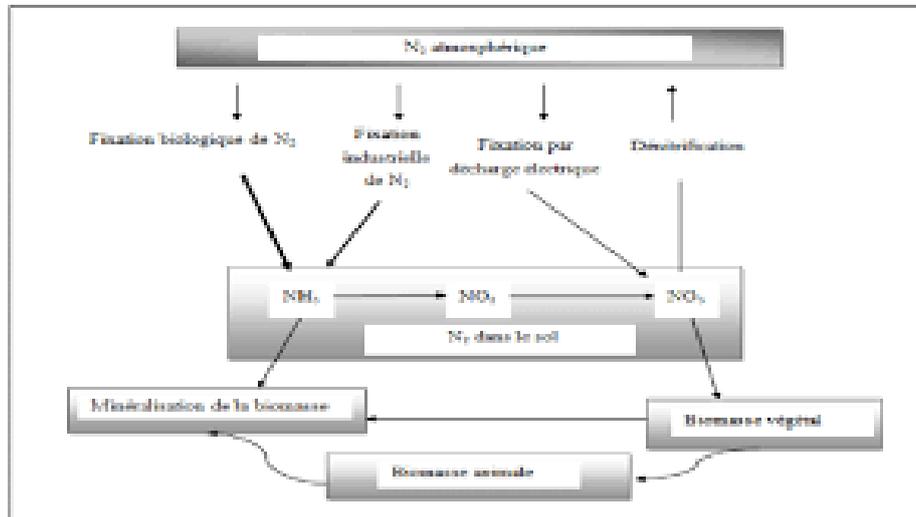


Figure I.2: le cycle d'azote

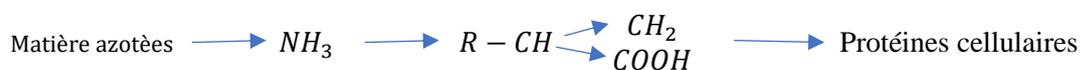
### I.6.4.1. Fixation :

Correspond avec le passage de l'azote atmosphérique ( $N_2$ ) en azote combiné sous l'action de certains organismes. [16]



### I.6.4.2. L'assimilation :

Est la transformation de matière azotée minérale ou organique inerte en matière vivante. [16]



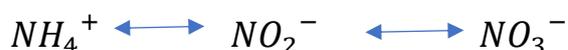
### I.6.4.3. L'ammonification :

Libération d'ammoniac à partir de matière azotées organiques par des réactions enzymatiques. [17]



#### I.6.4.4. La nitrification :

C'est l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrate par l'intermédiaire de bactéries nitrifiantes. [17]



#### I.6.4.5. Nitritation :

L'ammonium ( $NH_4^+$ ) est oxydé en nitrite selon la réaction suivante :



#### I.6.4.6. Nitritation :

Le nitrite oxydé en nitrate selon la relation suivante :



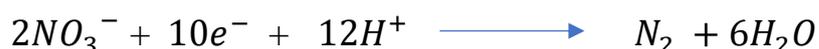
#### I.6.4.7. La dénitrification :

La réduction de nitrate en azote gazeux par l'intermédiaire de bactéries dénitrifiantes.



Chaque étape est catalysée par une enzyme spécifique : nitrate réductase, nitrite réductase, oxyde nitrique réductase et oxyde nitreux réductase.[17]

Réaction finale :



### I.6.5. Les effets de nitrate

#### I.6.5.1. Effets sur l'environnement

L'effet principal des nitrates sur l'environnement consiste à favoriser la croissance végétale. Cet impact, qui peut apparaître bénéfique dans un premier temps, s'avère désastreux pour les écosystèmes aquatiques lorsque la prolifération végétale est poussée à l'excès. Le processus d'eutrophisation, qui correspond à un enrichissement naturel des milieux aquatiques en éléments nutritifs et à une augmentation de la productivité végétale, est alors considérablement accéléré. L'eutrophisation du milieu nécessite la présence d'éléments nutritifs (carbone, azote, phosphore) indispensables à la croissance des végétaux aquatiques. Le carbone est toujours présent à des concentrations suffisantes pour permettre le développement végétal. En milieux

aquatiques, la croissance des végétaux est limitée par l'élément dont la concentration dans le milieu est la plus faible par rapport aux besoins des végétaux. Cet élément limitant est généralement le phosphore ou parfois l'azote. C'est donc en rejetant de l'azote et/ou du phosphore dans l'eau que l'activité anthropique va induire une accélération de l'eutrophisation. Lorsque les concentrations en azote et phosphore du milieu aquatique sont élevées, la production d'algues microscopiques (phytoplancton) et de végétaux fixés (macrophytes) est exacerbée. La quantité de matière organique présente dans le milieu aquatique s'accroît démesurément. A la mort de ces végétaux, la matière organique se décompose en consommant tout l'oxygène de la colonne d'eau, induisant ainsi l'anoxie du milieu aquatique. La plupart des animaux vivants dans ces milieux ne peuvent pas survivre dans une eau dépourvue d'oxygène. L'écosystème aquatique est ainsi conduit à disparaître. Si l'on utilise souvent le terme d'eutrophisation pour décrire cet état de dégradation des milieux aquatiques, le terme d'eutrophisation accélérée apparaît plus précis et le terme de dystrophie est parfois usité. L'enrichissement des écosystèmes aquatiques en éléments azotés (mais également en phosphore) conduit à leurs disfonctionnements et à la perturbation des populations animales ou végétales qui y sont naturellement inféodés. Ainsi, diverses études ont mis en évidence des corrélations entre les teneurs en nitrates dans l'eau ou les quantités d'engrais azotés épandus et le déclin des populations d'amphibiens. Cette modification des populations peut également conduire au développement de microorganismes pathogènes ou sécrétant des toxines qui rendent impropre l'eau à divers usages (récréatifs, production d'eau potable) ou peuvent considérablement accroître les coûts des traitements des eaux. Un deuxième effet, moins aisément quantifiable pour l'instant, est la participation des nitrates, via leur dénitrification, à la formation de gaz à effet de serre. Son évaluation est en cours d'étude actuellement à travers différents programmes de recherches sur les changements globaux.

#### **I.6.5.2. Effet sur la santé humaine**

Le principal risque pour la santé humaine associé à l'ingestion de nitrates est lié à la faculté de l'organisme humain de transformer les nitrates en nitrites. Cette réduction de  $\text{NO}_3$  - en  $\text{NO}_2$  - est le fait de bactéries ayant une activité nitrate réductase.

### **Risque de méthémoglobinémie :**

Les nitrites formés par réduction des nitrates sont susceptibles de se fixer sur l'hémoglobine. Celle-ci est alors oxydée en méthémoglobine. Le transport de l'oxygène vers les tissus qui en ont besoin ne se fait plus. Cette maladie est dénommée méthémoglobinémie. Chez l'adulte, ce risque est très faible car une enzyme réduit la méthémoglobine en hémoglobine. En revanche, cette enzyme n'est pas activée chez le nourrisson et ne devient fonctionnelle que vers trois à quatre mois. De plus le pH dans l'estomac du nourrisson est plus élevé que celui d'un adulte car les sécrétions gastriques acides sont plus faibles durant les premiers mois de la vie. Ce pH élevé semble permettre un développement plus aisé des bactéries ayant une activité nitrate réductase. Par conséquent lorsqu'il y a ingestion d'une forte quantité de nitrate dans des conditions favorisant sa conversion en nitrites, la méthémoglobine s'accumule. L'enfant développe alors une coloration bleue de la peau qui débute par les lèvres, puis les bouts des doigts, et peut éventuellement s'étendre à l'ensemble du corps. Pour cette raison, cette pathologie qui est plus fréquente chez le nourrisson, est aussi appelée syndrome du bébé bleu ou maladie bleue du nourrisson. Certains auteurs affirment que la réduction des nitrates en nitrites n'est pas possible dans le tube digestif et que les risques imputés aux nitrates sont considérablement sur estimés. Mettait en relation des cyanoses chez des nourrissons ayant été alimentés avec de l'eau à fortes teneurs en nitrates (plus de 350 mg/l). Cependant, dans les cas de méthémoglobinémie rapportée, la somme des nitrates ingérés était plus élevée : entre 33 et 150 mg.kg-1 (WHO, 2003). Les femmes enceintes et les individus souffrant d'une déficience en glucose-6-phosphate déhydrogénase ou metHb réductase sont également particulièrement sensibles à cette pathologie. Un apport suffisant de vitamine C (acide ascorbique) par l'alimentation, réduit les risques de développement de la maladie. La vitamine C peut d'ailleurs être utilisée dans le traitement de la méthémoglobinémie mais son action est souvent trop lente pour agir efficacement.

### **Risque carcinogène :**

Les nitrates sont susceptibles de présenter un risque lié à leur transformation en nitrites et éventuellement en nitrosamines dans le tractus digestif. Les propriétés carcinogènes de ces substances ont été découvertes il y a un demi-siècle. Il n'existe pas de données qui démontrent avec certitude les effets carcinogènes des nitrates via la formation de nitrosamines chez l'animal (WHO, 1995). Les études épidémiologiques et

toxicologique n'ont pas mis en évidence de relations certaines entre ingestion de nitrates et risque de cancers. Démontrer avec certitude une telle relation est particulièrement difficile étant donné le temps de latence entre la cause et le dépistage de la pathologie. Cette démonstration est rendue encore plus ardue par la grande variabilité dans la durée et l'espace des teneurs en NO<sub>3</sub> - dans l'eau et les aliments. Cependant, les tests chez de nombreuses espèces animales ont montré l'effet carcinogène d'un grand nombre de nitrosamines (WHO, 1995). Diverses études permettent de suspecter fortement la responsabilité de teneurs élevées en nitrates dans l'eau et les aliments, et le développement de cancers de la prostate, du pharynx, de l'œsophage ou du colon. En absence de certitudes absolues, ces résultats imposent de prendre les précautions nécessaires afin de préserver la santé humaine. L'accroissement des concentrations de nitrates entraîne l'apparition d'une prolifération algale qui peut être toxique pour l'homme directement et/ou indirectement, l'eutrophisation accélérée (induite par les pollutions azotées mais aussi phosphatées) du milieu peut conduire au développement de phytoplanctons producteurs d'hépatotoxines et de neurotoxines. (Damien et Jean )

## **I.6.6. Valeurs limites pour les nitrates**

Au cours des dernières années, la réglementation environnementale pour les eaux de consommation

### **I.6.6.1. Norme de l'OMS :**

L'organisation mondiale de la santé a fixé 50 *mg/l* de nitrates comme valeur limite dans les eaux destinées à la consommation humaine. [18]

### **I.6.6.2. Norme européenne :**

La valeur guide maximale de la communauté européenne pour les teneurs en nitrate est de 50 *mg/l*, tandis que la valeur recommandée est de 25 *mg/l* . [18]

### **I.6.6.3. Norme américaine et Canadienne :**

L'agence de protection de l'environnement de Etats-Unis et santé Canada ont fixé la concentration maximale de nitrate de 45 *mg/l* [18]

### **I.6.6.4. Norme Algérienne :**

La norme algérienne recommandé une valeur maximale de 50 *mg/l* de nitrates dans les eaux des boissons.[18]

## **I.7. Étapes et procédés des traitements des eaux usées**

Afin de minimiser les risques de contamination et de perturbation des écosystèmes aquatiques on doit traiter les eaux usées avant de jeter dans l'environnement.

Le traitement des eaux usées comprend une Série d` opérations impliquant à la fois de procédés physiques, chimiques, biologiques.

### **I.7.1. Les prétraitements**

Les prétraitements de son but d'éliminer les éléments le plus grossier et d'autres grands fragments. Il s'agit de déchets volumineux (dégrillage), le sable et le gravier (dessablage) et de graisses (dégraissage -désuilage).



**Photo I.1: les prétraitements**

### **I.7.2. Traitement primaire**

Le traitement ``primaire`` fait appel à des procédés physiques naturels, avec décantation plus ou moins aboutie, éventuellement assortie de procédés physico-chimiques, tel que la coagulation -floculation. Mais cette étape nous permet d'éliminer 90% des particules et objets en suspension et reste tout ce qui y est dissous : élément azotés, phosphates et de particules fine.

### **I.7.3. Traitements secondaires : traitement biologique**

Le traitement secondaires ou traitement biologique dans la grande majorité de cas, l'élimination de pollution carbonée et azote. Ce traitement secondaire reproduit les phénomènes d'autoépuration existant dans la nature. des bactéries présentes dans les eaux usées sont utilisées pour dégrade les matières polluants dissoutes. Cette dégradation par voie biologique se fait dans les bassins d'aération.[20]

#### **I.7.3.1. Les traitements par les boues actives**

C'est un traitement très largement utilisé, Il s'agit d'un réacteur qui contient les eau a traiter, dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries. Les bactéries consomment la matière organique et contribuent à l'élimination de l'azote et du phosphate. A la sortie du réacteur l'effluent passe dans un clarificateur. La boue décantée est séparée en deux flux : l'un rejoint le réacteur (ensemencement) et l'autre est évacué vers la filière des boues. L'action des bactéries dans le réacteur nécessite de l'oxygène. [20]

### **I.7.3.2. L'épuration sur lit bactérien**

C'est le plus ancien procédé biologique utilisé. des bactéries sont cultivées sur un substrat neutre; de la pierre concassée, du pouzzolane (sable volcanique), du mâchefers ou du plastique, sur lequel on fait passer l'effluent.la difficulté consiste a trouver la bonne Vitesse du flux d'eau, qui ne doit pas être trop rapide ni trop lent. [20]

### **I.7.3.3. Le traitement anaérobie**

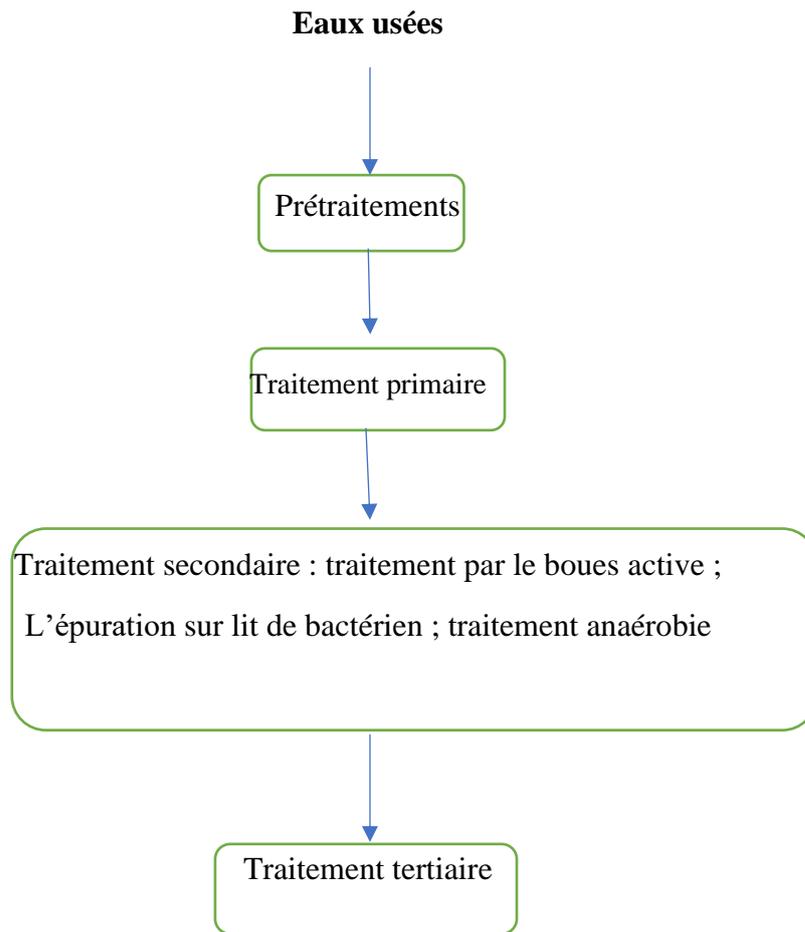
Dans ce genre de traitement on utilise essentiellement la fosse Imhof ou la fosse à double étage, qui consiste en une consommation des matières organiques par les microorganismes présents dans l'eau en absence d'air. Il se produit une fermentation méthanique dans une première fosse placée sous la première pour qu'elles puissent décanter, ce traitement est de moins en moins utilisé car il est difficile a conduire et son mauvais fonctionnement peut avoir de graves inconvénients. [20]

### **I.7.4. Traitement tertiaire**

Le traitement tertiaire appelés aussi traitements complémentaires qui visent l'élimination de la pollution d'azotée et phosphatée ainsi que la pollution biologique des eaux usées domestiques, qui a déjà été subie de traitements primaire et secondaire. Le traitement tertiaire est plus important, afin d'assurer une meilleure protection de l'environnement et réutilisation d'eau traite en agriculture ou en industrie, est un procédé optionnel ou complémentaires d'amélioration de traitement secondaire.

Leur traité s'impose lorsque la nature des milieux l'émetteur et de l'avenir l'eau, on y distingue généralement les opérations suivantes :

- La nitrification -de nitrification et déphosphatation biologique ou mixte
- La Désinfection bactériologique et virologique.



**FigureI.2 : schéma étapes procédé de traitement des eaux usées**

### **I.7.5. Normes de rejet**

Selon les recommandations des l'organisation mondiale de la santé (OMS), les normes de rejet de eaux usées en Algérie sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau I.1: norme de rejet de L’OMS, appliqués en Algérie.**

Paramètres	Normes
T	>30
PH	6,5-8,5 mg/l
$O_2$	5 mg/l
$DBO_5$	30 mg/l
DCO	90 mg/l
MES	120 mg/l
Zinc	2 mg/l
Chrome	0,1 mg/l
Azote totale	50 mg/l
Phosphore total	2 mg/l
Hydrocarbures	10 mg/l
Détergents	1 mg/l
Huiles et graisses	20 mg/l

### **I.7.6. Normes de la qualité des eaux**

Une eau de consommation ne doit pas contenir de germes des maladies à transport hydrique, de substances toxiques ni de quantité excessive de matières minérales et organiques. Elle doit par ailleurs, être limpide, incolore et ne posséder aucun goût ou odeur désagréable. En outre l’eau potable doit contenir sans excès un certain nombre d’éléments minéraux dont la présence lui confère une saveur agréable à l’exclusion de ceux qui seraient l’indice d’une contamination ainsi que toute substance toxique, les recommandations de l’organisation Mondiale de la Santé (O M S) relatives à la qualité de l’eau de boisson. Ainsi nous référons aux normes de l’OMS dans les tableaux qui suivent :[21]

**Tableau I.2: qualité physico-chimique de l'eau boisson**

Eléments	Valeurs indicatives en mg/l
Cuivre	1 mg/l
Cyanures	0.07 mg/l
Fluorures	1.5 mg/l
Manganèse	0.1 mg/l
Mercure	0.001 mg/l
Nitrates	50 mg/l
Nitrites	3 mg/l
Ammoniac	15 mg/l
Plomb	0.01 mg/l
Chlore	5 mg/l
Couleur	15 UCV (unité de couleur vraie)
Turbidité	5 UTN (unité de turbidité phéломétrie)
Aluminium	0.2 mg/l
Chlorure	250 mg/l
Dureté	-
Fer	0.3 mg/l
pH	6.5-8.5 mg/l
Sodium	200 mg/l
Sulfates	250 mg/l
Zinc	

## Chapitre II : Phénomène d'adsorption

### II.1. INTRODUCTION :

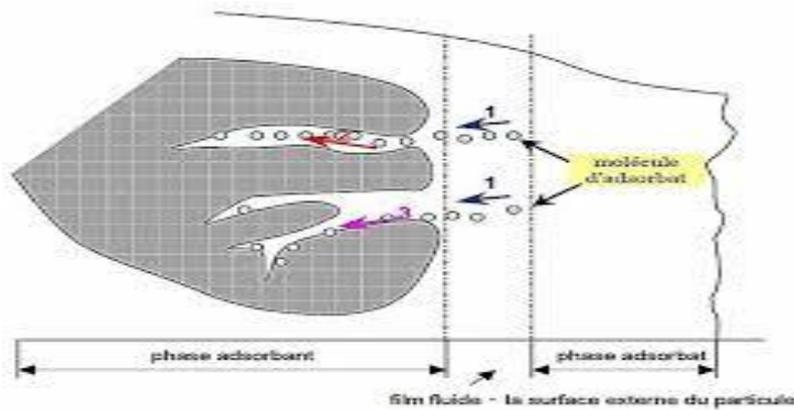
Dans ce chapitre, nous présentons des données bibliographiques sur le phénomène d'adsorption. Types ; mécanismes ; modèle et l'important.

### II.2. Historique

Le phénomène d'adsorption a été découvert dans la seconde moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle lorsque le scientifique suédois **chili** en 1773 et le scientifique français **Fontana** en 1777 ont observé l'adsorption du charbon par la gaze [22]. Et le physicien allemand **Heinrich Kayser** en 1881, lorsqu'il voulait faire la différence entre une condensation de gaz à la surface et une adsorption de gaz.[23], et le scientifique russe **fotis** en 1875 a observé l'adsorption du charbon sur les matières organiques matérielles en solution aqueuses. Enfin, le terme désorption a été proposé en 1909 par **M.C. Bain**, ce terme désigne aussi bien le phénomène d'adsorption que celui de la désorption.[24]

### II.3. Définition

L'adsorption est définie comme un phénomène physique, chimique et de surface, qui résulte de l'existence de forces attractives non compensées dans la surface, et se forme de l'accumulation d'une substance (adsorbat) à l'interface de matière solide (adsorbant)[25], et le processus conduit à la formation d'une couche ou de plusieurs couches des atomes ou des molécules qui s'accumulent et stationnent de manière dense sur la surface d'un solide. Il peut se dérouler entre un solide et un fluide (gaze ou liquide) .la fixation des molécules de l'adsorbat sur la surface du solide l'adsorbant provient de l'affinité entre l'adsorbant et l'adsorbat s'exprime de liaisons de VANDER WAALS ; liaison du type électrostatique de faible intensité, avec des énergies d'interaction entre 5 et 40 KJ /mol.



**Figure II.1: caractéristique d'adsorption**

## II.4 Principe de l'adsorption

L'adsorption est un processus se produit lorsqu'un fluide (gaze ou liquide) est en contact avec un solide le composants qui contient le fluide sont retenus sur la surface de matériau solide .le solide est alors appelé adsorbant et le fluide appelé adsorbat.il existe deux type d'interaction entre la adsorbant et l'adsorbat qui permet de classer deux type d'adsorption : adsorption physique (physisorption )et adsorption (chimisorption ) ,dans le cas de physisorption la fixation de l'adsorbat sur la surface de l'adsorbant principalement par la force de van der Walls. L'adsorption peut être monocouche et multicouche. Est un phénomène spécificité et technologie de séparation de contaminée.[26]

## II.5 Type d'adsorption

Selon la nature de force d'attraction et autre catégorie on peut distinguer de type d'adsorptions

### II.5.1 Physisorption (Physical Adsorption)

Elle résulte des forces non spécifiques, type force Van Der Walls, entre les espèces adsorbées et la surface. Elle est prédominante à basses températures et à faible énergie (40 KJ/ mol) donc la molécule adsorbée n'est pas fortement liée, ce un phénomène réversible.

### II.5.2 Chimisorption (chimique Adsorption)

Elle résulte d'une interaction chimique entre l'adsorbant et l'adsorbat qui se traduit par un transfert d'électrons entre le solide et l'adsorbat ; formation de plusieurs liaison covalentes ou ioniques entre l'adsorbant et l'adsorbat, Les molécules ne

peuvent pas bouger librement à la surface. Elle génère de fortes énergies(80KJ/mol) d'adsorption ainsi favorisée par les températures élevées. Ce un phénomène irréversible. [27]

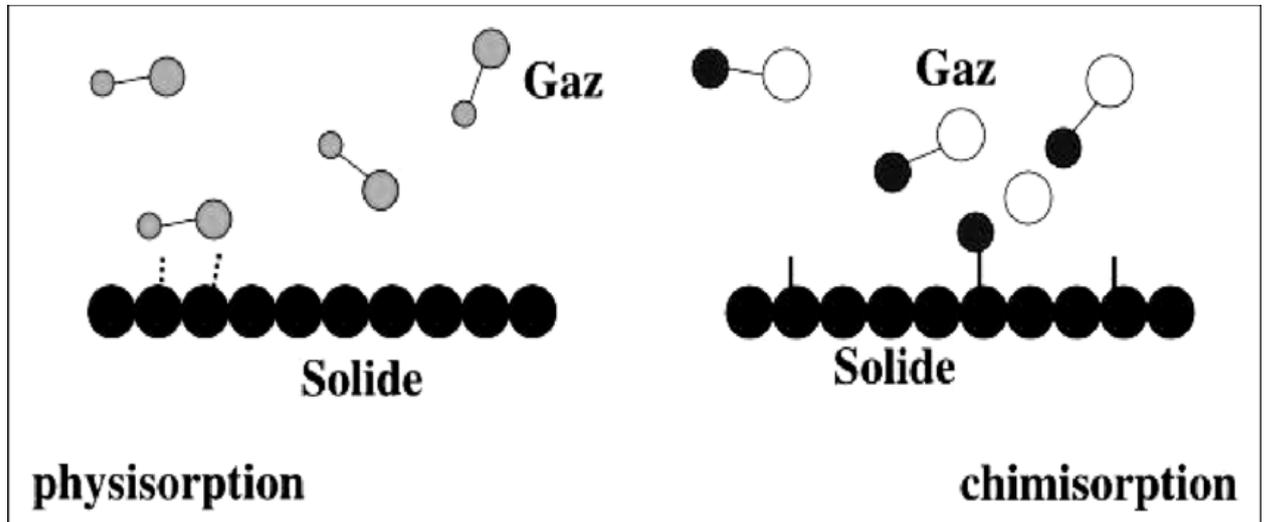


Schéma : montre la différence entre physisorption et chimisorption d'adsorption

Tableau II.1: distinction entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique [28]

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Type de liaisons	Van Der Waals	Chimique
Température du processus	Relativement faible	Plus élevé
Chaleur d'adsorption	1 à 10 Kcal/mol	Supérieur 10 Kcal/mol
Processus de désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Très rapide	Très lent
Type formation des couches	Multicouches	Monocouche
Réversibilité	Réversible	Irréversible
Energie mise en jeu	Faible	Élevée

## II.6 capacités d'adsorption

La capacité d'adsorption est connue comme la quantité maximale de substrat (masse ou volume) adsorbée par unité de poids d'adsorbant. Elle dépende des caractéristiques de l'adsorbant. Elle peut être définie par la relation suivant :

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

Où

$q$  La capacité d'adsorption ( $mg/g$ ),  $C_0$  la concentration initiale de l'adsorbant ( $mg/g$ ),  $C_e$  la concentration à l'équilibre en solution ( $mg/g$ ),  $V$  le volume de la solution et  $m$  la masse de l'adsorbant ( $g$ ). [29]

## II.7 Importance de l'adsorption

Le processus d'adsorption a la plus haute importance dans le nombre d'applications industrielles et environnementales, dans la vie. Il est utilisé pour éliminer la particule ou le matériau indésirable existant dans le fluide. Il existe aussi dans le domaine catalytique en électrochimie et en beaucoup d'autres sciences. Le phénomène d'adsorption joue un rôle plus important dans le phénomène d'adhésion entre surface solide. Quelque domaine d'utilisation :

- Raffinage des produits pétroliers
- Séparation des composés chimiques
- Dessiccation de produits organiques industriels
- Traitement des huiles
- Traitement des gazes
- Décoloration et traitement des eaux [30]

## II.8 Phénomène et paramètres influents sur l'adsorption

### II.8.1 Phénomène d'adsorption

Le processus d'adsorption est un transfert d'une phase liquide contenant l'adsorbant vers une phase solide avec rétention des solutés à la surface de l'adsorbant. Ce processus est suivi de quatre étapes.

- Transfert du soluté de solution de la couche limite ou superficielle (étapes très rapides).

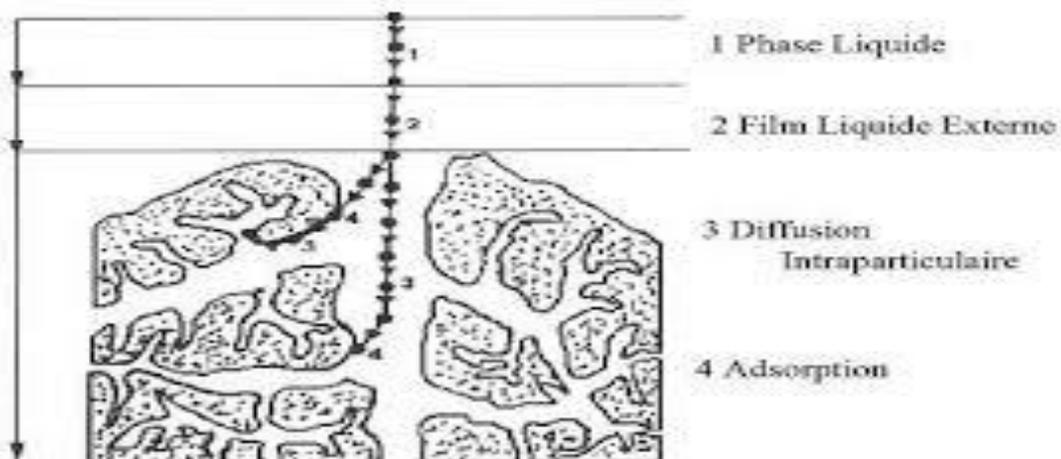
- Le transport des solutés à travers la couche limite jusque à l'extérieur de la particule de l'adsorbant.
- Diffusion des solutés à l'intérieur des pores (étape lente)
- Adsorption dans un micropore (étape très rapide). [31]

## II.8.2 Description du mécanisme d'adsorption

Il existe plusieurs mécanismes d'adsorption d'un soluté sur la surface d'un solide.

Parmi ces mécanismes, nous pouvons citer

- L'adsorption par échange d'ions.
- L'adsorption mettant en jeu une paire d'électrons.
- L'adsorption par polarisation des ponts d'hydrogène.
- L'adsorption mettant en jeu l'attraction électrostatique [32]



**Figure II.2 : mécanisme d'adsorption sur les solides poreux**

## II.8.3 Facteurs influençant l'équilibre d'adsorption

Le phénomène d'adsorption, entre l'adsorbant et l'adsorbat peut être influencé par de paramètres suivants :

### ✓ Nature de l'adsorbant

Peut être classé les adsorbant dans :

-Adsorbant apolaires, ayant plus d'affinité pour les substances non polaire (charbon, graphite, talc, etc...)

-Adsorbant polaire comme les gels de silice et les argiles, qui adsorbent 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 fixés. [33]

#### ✓ **Influence de l'adsorbat**

Dis que c'est mieux adsorption il faut qu'il y ait d'abord une affinité entre le substrat et le soluté. En règle générale, les solides polaires adsorbent préférentiellement d'autres corps polaires. Par contre les solides non polaires adsorbent préférentiellement des substances non polaires et l'affinité pour le substrat croît avec la masse moléculaire de l'adsorbat. [33]

#### ✓ **Influence de vitesse d'agitation**

- Influence sur la distribution des molécules du soluté dans la solution, elle donne une bonne homogénéisation entre l'adsorbat et l'adsorbant. [32]

#### ✓ **Surface spécifique**

L'adsorption convient à la surface spécifique. 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 totale peut être augmentée par un broyage de la masse solide [33]

#### ✓ **Influence de température**

Les processus de l'adsorption qui ne se compliquent pas par des réactions chimiques s'accompagnent toujours de dégagement de chaleur (exotherme), de sorte que lorsqu'on a une augmentation de la température, le phénomène de désorption devient dominant. Par contre, pour une adsorption activée (chimisorption), l'équilibre d'adsorption n'est pas atteint rapidement, et l'augmentation de la température favorise l'adsorption. [33]

#### ✓ **Influence de pH**

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. [33]

### ✓ **Influence du temps de contact et concentration sur l'adsorption**

Le temps de contact et la concentration sont de paramètre plus important qui impacte sur le rendement d'adsorption et l'équilibre d'adsorption (adsorbat-adsorbant). Cette étude permet de :

Déterminer les temps d'équilibre qui corresponde à la saturation de site de fixation. [33]

### ✓ **Influence des granulométries**

- La granulométrie possède un impact important sur la capacité d'adsorption. L'impact de se paramètre sur la capacité d'adsorption nous permet déterminer la granulométrie optimale. [32]

## **II.9 Nature du mode d'adsorption**

L'adsorption d'un élément est liée a multiple de type d'interaction. Selon la nature d'adsorbant et les molécules adsorbées. Les liaisons les plus important sont :

- ✓ Liaison de Van Der Waals.
- ✓ Liaison ionique.
- ✓ Liaison hydrogène.
- ✓ Liaison covalente.
- ✓ Liaison par transfert de charge

## **II.10 Isotherme d'adsorption**

### **II.10.1 Classification d'isotherme d'adsorption**

Gilles, al et Limousine ont proposé les classifications des isothermes d'adsorption, en quatre types particuliers et maintenant adopté comme les quatre types de base d'isotherme d'adsorption [34][35]. Le type d'isotherme d'adsorption peut être déterminé sur les interactions qualitative entre l'adsorbant et l'adsorbat.[36]

- La forme **H**, indiquent une adsorption a haute affinité.
- La forme **L**, indiquent une adsorption de Langmuir.
- La forme **C**, indiquent une adsorption partition constante.
- La forme **S**, indiquent une adsorption sigmoïdale.

Les forme **L** et **S** sont les plus utilise, notamment dans le cas de l'adsorption de composés organique en solution aqueuse sur charbons actifs.[37]

- **La forme d'isotherme H**

Est un cas particulier de l'isotherme L, ou la pente initiale est très élevée. Ce cas se distingue des autres car le composé présente parfois une affinité si forte pour le solide que la pente initiale ne peut être distinguée de l'infini, même si elle n'a pas des sens d'un point de vue thermodynamique.[35]

- **Forme d'isotherme L**

Le modèle de Langmuir c'est le rapport entre la concentration de particule restant en solution et adsorbé sur le solide. L'isotherme est de forme convexe, ce qui suggère une saturation progressive du solide. Quand C tend vers zéro, la pente de l'isotherme est constante.[35]

- **Forme d'isotherme S**

La courbe est sigmoïdale et présente un point d'inflexion révélateur d'au moins deux mécanismes d'adsorption. C'est le cas, par exemple quand une première couche de soluté est d'abord adsorbée puis quand l'adsorption d'une ou plusieurs couches supplémentaires devient favorisée. Les composés organiques non polaires sont un cas typique : ils ont une faible affinité avec les argiles. Mais dès qu'une surface d'argile est recouverte par ces composés, d'autres molécules organiques sont plus facilement adsorbées ce phénomène est appelé l'adsorption coopérative. [35]

- **Forme d'isotherme C**

Est une courbe droite passant de zéro comme origine. Ce qui signifie que le rapport entre la concentration du composé restant en solution et adsorbé sur le solide est le même à n'importe quelle concentration. Ce rapport  $Q_e/C_e$  est appelé coefficient de distribution ou coefficient de partage :  $K_d$  ou  $K_p$ , (L/Kg). Cette isotherme est souvent utilisée comme une approximation facile à utiliser [35]

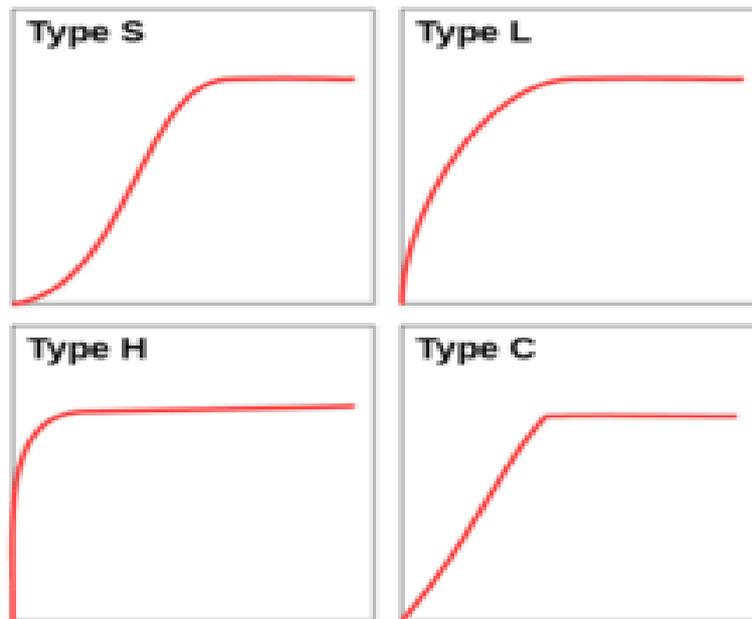


Figure II.3 : les quatre types d'isotherme d'adsorption

## II.10.2 Modèle d'isotherme d'adsorption

L'isotherme d'adsorption c'est une représentation graphique de la capacité d'adsorption par unité de surface en fonction de la concentration de soluté à l'équilibre. Cette représentation nous permet de connaître les interactions entre adsorbant et adsorbé.

Tous les modèles mathématiques ont été proposés pour étudier l'interaction entre l'adsorbant et l'adsorbé.

Les modèles les plus utilisés sont les suivants :

### II.10.2.1 Isotherme de Langmuir

Le modèle de Langmuir est développé spécialement pour étudier l'adsorption en phase gazeuse, et représente l'isotherme de type L. Ce modèle est basé sur l'hypothèse suivante :

- Les sites d'adsorption à la surface du solide sont tous énergiquement équivalents
- Chacun des sites fixe une seule molécule
- L'adsorption se fait en monocouche
- Il n'existe pas d'interaction entre les molécules adsorbées [38]

L'équation d'isotherme de Langmuir est représentée par la relation suivante :

$$q_e = \frac{q_{\max} k_1 C_e}{1 + k_1 C_e} \quad (1)$$

Où

$q_e$  : capacité d'adsorption à l'équilibre ( $mg/g$  ou  $mmol/g$ )

$q_{max}$  : capacité maximale d'adsorption ( $mg/g$ )

$k_l$  : constante de Langmuir

$C_e$  : concentration à l'équilibre dans gazeuse ou liquide ( $mg/l$  ou  $mmol/l$ )

Le valeur  $Q_{max}$  et  $K_l$  sont déterminés à partir de la courbe linéaire droite

( $C_e/Q_e = f(C_e)$ ) de pente ( $1/Q_{max} K_l$ ) et d'ordonnée à l'origine ( $1/Q_{max}$ )

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

Il existe une caractéristique principale de l'isotherme de Langmuir peut être se définir en termes de constante sans dimension appelée facteur des séparations ou paramètre d'équilibre  $R_l$  définie par **weber et al** (1974) et reprise par Ozcan (2006). Ce caractère exprime par la relation suivante :

$$R_l = \frac{1}{1 + K_l C_0} \quad (3)$$

Où

$C_0$  : est la concentration initiale de l'adsorbé ( $mg/l$ )

$K_l$  : est la constante de Langmuir ( $L/mg$ )

**Tableau II.2 : effet du facteur de séparation sur le type d'adsorption [39]**

Valeur de $R_l$	Type d'isotherme
$R_l > 1$	Défavorable
$0 < R_l < 1$	Favorable
$R_l = 1$	Linéaire
$R_l = 0$	Irréversible

### II.10.2.2 Isotherme de Freundlich

Le modèle de Freundlich c'est un modèle simple et empirique. Représentation d'isotherme concave type ('L' ou 'H'). Ce modèle d'isotherme d'adsorption est multicouche avec possible d'interaction entre la molécule adsorbée et base sur l'adsorption sur des surfaces hétérogènes [40]

$$Q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (4)$$

$K_F$  : constante de Freundlich ( $mg \cdot g^{-1} (mg \cdot l^{-1})^{-1/n}$ )

$Q_e$  : quantité adsorbée a l'équilibre ( $mg.g^{-1}$ )

$C_e$  : la concentration de l'adsorbat a l'équilibre d'adsorption ( $mg.l^{-1}$ )

$n$  : Constant de Freundlich dépende de la nature de l'adsorbat et la température

Les paramètre  $K_f$  et  $n_f$  sont déterminé a partir de L'équation linéarisée suivant :

$$\ln Q_e = \ln K_F + (1/n) \cdot \ln C_e \quad (5)$$

La représentation graphique de  $\ln(Q_e) = f \ln(C_e)$  donne une droite dont la pente est  $(1/n)$  et d'ordonnée l'origine ( $\ln K_F$ )

Si

- $n = 1$  adsorption linéaire
- $n < 1$  adsorption chimique
- $n > 1$  adsorption physique est favorable. [41]

### II.10.2.5 Isotherme de Temkin

Le modèle de Temkin attribué sur l'hypothèse, que lors l'adsorption en phase gazeuse. La chaleur d'adsorption de l'interaction avec l'adsorbat est une représentation linéairement avec le taux de recouvrement. C'est une application de la relation de Gibbs pour les adsorbants dont la surface est considérée comme énergiquement homogène. [27] La relation de Temkin écrire comme suite :

$$q_e = (RT/b_t) \ln(K_T C_e) \quad (6)$$

$$q_e = B_1 \ln K_t + B_1 \ln C_e \quad (7)$$

$$B = \frac{RT}{b_T} \quad (J/mol) \quad (8)$$

$K_T$  : la constant d'équilibre d'adsorption correspondant à l'énergie de liaison maximale

$b_T$  : constant de Temkin

$R$  : constant de gaze parfait ( $8.314 J/mol/K$ )

$T$  : Température à 298K

$B$  : constant liée à la chaleur de l'adsorption

## II.11 Cinétique d'adsorption

En train d'étudier la cinétique de phénomène d'adsorption donnez-nous des informations sur le mécanisme d'adsorption et la méthode de transfert de particule soluté de phase liquide à la phase solide. Sachant que sont développés plusieurs modèles pour cette étude

### II.11.1 Modèles de la cinétique du Pseudo premier ordre :

Ce modèle est représenté que la vitesse d'adsorption à l'instant  $t$  est proportionnelle à la différence entre la capacité à l'équilibre  $Q_e$  et la capacité d'adsorption à l'instant  $t$  l'adsorption de métaux lourds. La constante de vitesse d'adsorption de ce modèle est déduite à partir du modèle établi par l'équation de Lagergren et peut être écrite par la relation suivante : [43]

$$\frac{dQ_e}{dt} = K_1(Q_e - Q_t) \quad (9)$$

Où  $K_1$  : constant de vitesse pour cinétique de pseudo premier ordre

Modèles du pseudo-second ordre ( $\text{min}^{-1}$ ).

$Q_e$  : capacité d'adsorption à l'instant  $t$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ).

$Q_t$  : capacité d'adsorption à l'équilibre ( $\text{mg g}^{-1}$ ).

L'intégrale de l'équation (1) dans la condition initiale donne : à  $t = 0$ ,  $Q_t = 0$  et à

$$t = t, Q_t = Q_t$$

$$\log(Q_e - Q_t) = \log Q_e - \frac{K_1}{2,303} t \quad (10)$$

- Taux d'élimination

$$T (\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_0} * 100 \quad (11)$$

### II.11.2 Modèles de la cinétique du pseudo- second ordre :

L'équation de vitesse d'adsorption de la cinétique du pseudo -seconde ordre relie à la capacité d'adsorption sur la surface d'adsorbant et la capacité d'adsorption à l'équilibre. Cette équation est souvent utilisée avec succès pour décrire la cinétique de la réaction de fixation de polluants sur l'adsorbant. L'équation de la cinétique du pseudo – second ordre donne par la relation suivante :

$$\frac{dQ_t}{dt} = K_2(Q_e - Q_t)^2 \quad (11)$$

Ou  $K_2$  : constant de vitesse d'adsorption du modelés pseudo – second ordre ( $g \cdot mg^{-1} \cdot min^{-1}$ )

$Q_e$  : capacite d'adsorption a l'équilibre

$Q_t$  : capacite d'adsorption a l'instant t

L'intégrale de l'équation (2) pour la condition initiale donne :

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{K_2 Q_e^2} + \frac{t}{Q_e} \quad (12)$$

### II.11.3 Modelés de la diffusion intra particule

Comme les deux modelés de la cinétique d'adsorption qui déjà explique ne peuvent pas décrire exactement le mécanisme de diffusion

#### II.11.3.1 Coefficient de diffusion

Weber et Morris détermine un model expérimentalement base sur la diffusion intra particulaire.

Le modelé de la diffusion intra particulaire écrire par la relation suivante :

$$Q_t = K_d \cdot t^{1/2} + C \quad (13)$$

**Ou**  $K_d$  : constant de vitesse de diffusion intra particule de weber en ( $mg \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ )

$C$  : constant liée à l'épaisseur de la couche limite en ( $mg/g$ )

$Q_t$  : quantité adsorbée au temps t en ( $mg/g$ )

t : temps en ( $min$ )

#### II.11.3.2 Modelés de Elovich

La relation de Elovich écrire essentiellement l'adsorption chimique très hétérogène et représente par l'équation suivant :

$$dq/dt = \alpha e^{(-\beta q t)} \quad (24)$$

Intégrales dans la condition initiales donnes :

$$q_t = (1/\beta) \text{Ln}(\alpha\beta) + (1/\beta) \text{Ln} t \quad (14)$$

Où

$\alpha$  : Le taux d'adsorption initiale ( $mg \cdot g^{-1} \cdot m^{-1}$ )

$\beta$  : constant reliée à la surface externe et a l'énergie d'activation de la chimisorption en ( $g \cdot mg^{-1}$ )

## II.12 Thermodynamique d'adsorption

En générale le processus d'adsorption et d'un processus thermique qui peut être exothermique ( $\Delta H^0 < 0$ ) ou endothermique ( $\Delta H^0 > 0$ ) selon le matériau adsorbant et la nature des molécules adsorbée. Les fonctions thermodynamiques tels que : l'enthalpie libre standard  $\Delta G^0$ , l'enthalpie standard  $\Delta H^0$  et l'entropie standard  $\Delta S^0$  ont déterminé par la relation suivante :[38]

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \quad (15)$$

$\Delta G^0$  : l'enthalpie libre de Gibbs ( $kg.mol^{-1}$ )

$\Delta H^0$  : variation de l'enthalpie standard ( $J.mol^{-1}$ )

$\Delta S^0$  : variation de l'entropie standard ( $J.mol^{-1}.k^{-1}$ )

Cette relation associée à la relation de vant Hoff suivant :

$$\Delta G^0 = -RT.Ln K_d \quad (16)$$

$$K_d = \frac{Q_e}{C_e} \quad (17)$$

$K_d$  : constant de distribution

$Q_e$  : capacite d'adsorption a l'équilibre ( $mg.g^{-1}$ )

$C_e$  : concentration a l'équilibre du soluté en solution ( $mg.l^{-1}$ )

$R$  : constante de gaz parfaits  $8.314 j.mol^{-1}.k^{-1}$

$T$  : température absolue (K)

Non permet d'aboutir à l'équation d Eyring suivant

$$Ln K_d = \frac{dS^0}{R} - \frac{H^0}{R} \times \frac{1}{T} \quad (18)$$

## II.13 L'adsorbant :

Le premier adsorbant utilisé, il y a plusieurs siècles est argile, après la fin de XIX siècle développement les charbons actifs. Puis dans les années 1939-1940, retour l'alumine active. En 1945 sont reconnus les propriétés d'adsorption exceptionnelles des zéolithes naturelles. Ces dernières années sont développées nouveaux produits de meilleures propriétés. Il est possible de décrire l'adsorption par la distribution de la taille des pores.

Les adsorbants sont de substrat qui caractérisé par des caractéristiques externes, le plus important est la surface spécifique ou leur polarité et la taille de micropores.

## II.13.1 Les palmier dattier :

### Définition

Le palmier dattier est l'un des plantes durables, et un arbre fruit mais n'est pas ramifiant, amour pour la chaleur et la manque d'humidité. L'origine du palmier est due à des chercheurs de Bahreïn.

### Classement du palmier dattier :

Rang : Palme

Famille : Palmacées

Genre : Phoenix

Type : Dactylifera

Le nom scientifique : Phoenix dactylifera.

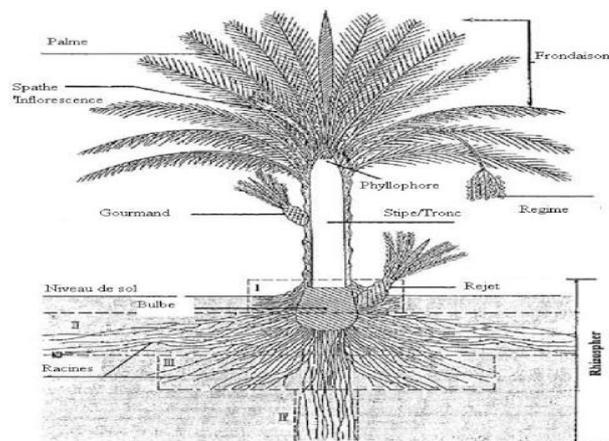


Figure II.4 : schéma du palmier dattier

## **II.14 Morphologie du palmier dattier**

Le palmier dattier est une espèce dioïque .au tronc cylindrique, le sexe masculin appelé localement (Dakar) et le sexe femelle appelé (Nakhla). Couleur marron ou gris qui atteint jusque 20metres de hauteur et 60 cm de diamètre, et une durée de vie 3et7 ans.

### **II.14.1 Système végétatif**

#### **II.14.1.1 Les fibres**

Les palmiers dattiers à une structure fibreuse, possédant quatre de fibres

Fibre de bois de tronc.

Fibre de feuilles au niveau pédoncules.

Fibre de tige au niveau des tiges de pédoncules.

Fibre de surface autour de son tronc.[44]

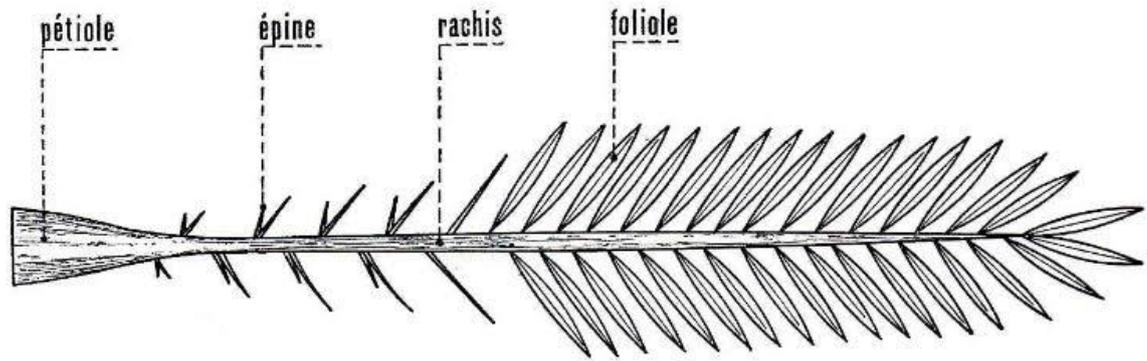


**Photo II.1 : fibre de palmier dattier**

#### **II.14.1.2 Les palmes**

Un palme (Djérid), est une feuille, comme apparaitre dans la figure, vers le bas pétiolaire (kornaf), est un tronc et en partie couvert par le fibrillum ou lif.

Les richis, ou pétiole, est semi cylindrique, plus ou moins ailé, et porte les épines, chouks ou chouques, et les folioles, le pétiole est dur et relativement rigide.[45]



**Figure II.5 : schéma d'un palme**

### **II.14.1.3 Régime**

C'est la partie qui porte les fruits de palmier .c est suspendu dans le palmier par la champ.il peut contenir plus de 1000 fruits.

Les couleurs de champ sont : vert, jaune, jaune -orange, orange etorange fonce.

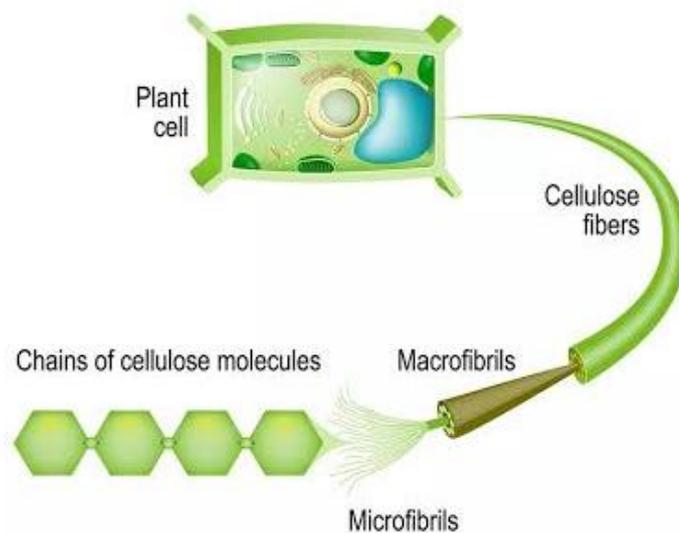


**Photo II.2 : régime de palme dattier**

## **II.15. Le composant de déchets de palmier dattier :**

### **II.15.1 Cellulose :**

Est l'un des aspects polysaccharides, et le composant principal de la racine cellulaire du plant(paroi), c'est aussi bateau structurel qui en fait un protecteur pour la cellule sa proportion est différente de la plante a une autre en fonction de sa nature, et apprécie généralement entre 30-50 pour cent.la cellulose responsable de l'essentiel des propriétés mécaniques du bois. [46][47] l unités sont liées entre elles par de liaisons  $\beta(1 - 4)$ glycosideques



**Photo II : structure de cellulose**

### **II.15.2 Hémicellulose :**

Est un polysaccharide à chaînes principales qui représente de 20 à 40 pour cent de la biomasse, c'est un polymère ramifié dont la structure est formée à partir monomère, les hémicelluloses sont amorphes et possède un degré de polymérisation bien inférieur à la cellulose. De plus l'hémicellulose sont fortement hydrophiles du fait de leur nombreuses ramifications. [46][47]

### **II.15.3 Lignine :**

Lignine est un polymère qui se situe entre les microfibrilles de cellulose et d'hémicellulose, joue le rôle d'un liant qui permet de les fixer les uns aux autres afin de former la paroi cellulaire. Elle est amorphe, hydrophobe. [46][47]



**PARTIE**  
**EXPERIMENTALE**

## Chapitre III : Matériels et méthodes

### III.1. Introduction :

Notre travail a été exécuté dans trois laboratoires, deux à la faculté des sciences et de la technologie de l'Université d'Adrar (complexe de laboratoire de recherche et laboratoire pédagogique de mécanique des sols Génie civil). L'autre laboratoire est le laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

Cette partie est consacrée à la présentation de l'ensemble des matériels et méthodes utilisés pour la réalisation du travail de ce mémoire.

### III.2. Matériels et produits utilisés

Dans le tableau III.1 suivant nous représentons les différents matériel et produits chimique utilisés pour l'achèvement des travaux de l'étude dans laboratoire.

**Tableau III.1 : les différents matériel et produits chimique**

Verreries et instruments	Appareillages	Produit chimique
<ul style="list-style-type: none"><li>• Pipette graduée</li><li>• Poire</li><li>• Béchers</li><li>• Eprouvettes</li><li>• Pissette</li><li>• Entonnoir</li><li>• Erlenmeyer</li><li>• Barreau Magnétique</li><li>• Spatule</li><li>• Verre de montre</li><li>• Entonnoir</li><li>• Fiole</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• La balance analytique</li><li>• Etuve</li><li>• Agitateur magnétique</li><li>• Spectrophotomètre UV visible</li><li>• Spectroscopie infrarouge</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Solution de nitrate</li><li>• Solution de soude 0.05M</li><li>• Mélange réducteur</li><li>• La solution de sulfate de cuivre</li><li>• La solution d'hydrazine</li><li>• Mélange colorante</li><li>• Acide sulfanilique</li><li>• Acétone</li><li>• E.D.T.A</li><li>• Acétate de sodium</li><li>• <math>\alpha</math>-Naphthylamine</li></ul>

### **III.3. Préparation d'échantillons**

Afin de réaliser l'adsorption avec le matériau choisi qui est les déchets de palmier. Plusieurs opérations ont été effectuées sur ces déchets pour les préparer à l'adsorption, il s'agit de :

#### **III.3.1. Échantillonnage**

Dans cette expérience, nous avons utilisé les déchets du palmier dattier comme adsorbant. Les déchets utilisés sont le régime, la palme et la fibre des palmier dattier (photo III.1). Ces déchets sont récoltés du même type du palmier dattier qui est Hmira et aussi du même jardin qui est localisé dans l'unité de recherche en énergie renouvelable en milieu saharien à Adrar.



**Photo III.1 : déchet de palmier dattier**

#### **III.3.2. Lavage**

Le lavage est utilisé pour nettoyer les déchets du sable et du poussier. Les déchets sont bien lavés avec de l'eau de robinet pour éliminer les saletés collées sur les déchets. Après le lavage les échantillons sont trempés dans l'eau distillée pendant deux heures. Cette opération sert à dissoudre au maximum les sels contenus dans les échantillons.



**Photo III.2 : Opération du lavage des déchets.**

### **III.3.3. Le Séchage**

Après le lavage les échantillons sont séchés dans une étuve à 105°C pendant deux heures. Le but est d'éliminer l'humidité contenue dans les échantillons après l'opération du lavage et de préparer les échantillons pour l'opération suivante qui est le broyage



**Photo III.3 : Opération de séchage**

### **III.3.4. Le Broyage**

Le broyage a été réalisé dans un broyeur à photo III.4 avec des faibles vitesses de rotation, pour éviter le chauffage des échantillons. Le broyage nous permis d'obtenir les grains de matériau qui sont homogène. Cette opération nous permis aussi d'avoir des petites tailles avec une surface spécifique plus grande.

### **III.3.5. Tamisage**

Le but du broyage est de subdiviser l'échantillon selon la taille des grains. L'opération est réalisée par une batterie de tamis à différents diamètres. A la fin de l'opération nous avons obtenu les trois types de chaque échantillon utilisé avec les diamètres suivants :



Photo III.4 : La machine de tamisage et de grains

### III.4. Les techniques analytiques

#### III.4.1. Préparation de solutions

##### III.4.1.1 Réactif

###### Solution de sulfate de cuivre ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )

- 2,6 g de sulfate de cuivre additionnée de 40 ml d'acide sulfurique 1N. Eau distillée Q.S.P 1000ml.

###### Solution d'hydrazine( $NH_2 - NH_2 H_2SO_4$ ) a 0,1 N

- 13g de  $NH_2 - NH_2 H_2SO_4$
- Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

Conserver en flacon bien bouché

###### Solution de soude( $NaOH$ ) a 0,05N

- 50 ml d'après la solution de de concentration 1N compléter 1000ml.

###### Solution d'acide sulfanilique ( $H_2N SO_3$ )

- 6 g d'acide sulfanilique
- 200 ml acide chlorhydrique concentrée
- Eau distillée Q.S.P 1000 ml

Conserver en flacon brun.

###### Solution $\alpha$ -Naphtylamine

- 6 g de  $\alpha$  -Naphtylamine
- 40 ml acide chlorhydrique concentrée
- Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

Verser la poudre dans l'eau froide, en Ajouter quelque ml d'acide chlorhydrique concentré. Achever la dissolution en chauffant très légèrement.

Verser ensuite le reste d'acide et compléter a 1 litre d'eau distillée. Conserver en flacon brun

#### **Solution d'E.D.T. A**

Dissoudre 4g d'E.D.T. A dans 1000 ml d'eau distille. Cette solution est destinée a complexer le fer et les métaux lourds qui peuvent provoquer des interférences.

#### **Solution d'acétate de sodium ( $NaCOO - CH_3, 3H_2O$ )**

Dissoudre 272g d'acétate des sodium  $NaCOO - CH_3, 3H_2O$

Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

#### **III.4.1.2. Solution mère**

Dans la balance analytique peser **1,37 g** de nitrate de sodium de forme (  $NaNO_3$  ) poudre de concentration **1 g/l (1000 mg/l)**, versée cett quantité dans un fiole jaugé de volume **1L (1000 ml)**, rempli la fiole de l'eau distillée jusque traite de jauge. Verse dans un flacon brun.

Comme suite :



$$23+14+(16*3) \longrightarrow 62 \text{ g}$$

$$85 \longrightarrow 62 \text{ g}$$

$$X \longrightarrow 1 \text{ g}$$

$$X = 85/62$$

$$X = 1.37 \text{ g}$$

#### **III.4.1.3. Solution étalons**

Dans une petite fiole de **100 ml** on prépare une série de solution étalon de concentrations connues :5 ;10 ;20 ;40 ;60 ;80 et 100 mg/l. Prendre successivement : 0,25 ;0,5 ;1 ;2 ;3 ;4 ;5 ml de la solution mère de nitrate de sodium et compléter chaque prélèvement à 50 ml de l'eau distillée. Conserver dans un flacon brun.

$$C_m = 1000 \text{ mg/l}$$

$$V_m = [0,25 ; 0,5 ; 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5] \text{ ml}$$

$$C_{et} = [5, 10, 20, 40, 60, 80, 100] \text{ mg/l}$$

$$V_{et} = 50 \text{ ml}$$

**Tel que :**

**$C_m$  : concentration de solution mère**

**$C_{et}$  : concentration de solution étalons**

**$V_m$  : volume de solution mère qui il faut prélever pour prépare la solution étalons**

**$V_{et}$  : volume de solution étalons**

On obtient alors de solution étalons de concentration respectivement : 5 ;10 ;20 ;40 ;60 ;80 ; et 100 mg/l de nitrates.



**Photo III.5 : Les solutions étalons.**

#### **III.4.1.4. Mélange réducteur**

Préparer au moment de l'emploi

- 5 ml de la solution de sulfate de cuivre
- 5 ml de la solution d'hydrazine
- Eau distillée Q. S.P 200 ml

#### **III.4.1.5. Mélange colorant**

Conserver en flacon brun

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

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



**Photo III.6 : Mélange colorant.**

### **III.4.2. Mode opératoire**

#### **III.4.2.1. Dosage de $\text{NO}_3^-$**

##### **III.4.2.1.1. 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' $\alpha$  - Naphtylamine. On mesure la densité du colorant ainsi formé à 520 nm.

Effectuer le dosage dans des flacons bruns, de préférence.

Réaliser le mélange suivant en introduisant dans le flacon :

- 1 ml prise d'essai ;
- 5 ml de solution de soude à 0.05 M ;
- Agiter ;
- 5 ml de mélange réducteur ;
- Agiter ;
- Après une heure, ajouter 40 ml du mélange colorant ;
- Mettre à l'obscurité le mélange préparé pendant  $\frac{1}{4}$  heure ;
- Mesurer la densité à 520 nm.

Le passage à la colorimétrie ne doit intervenir que juste avant la mesure optique afin que la solution soit exposée un minimum de temps à la lumière à laquelle 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.

Remarque : Essayer de ne pas exposer les flacons à la lumière avant leur passage au colorimètre. Il faut traiter les solutions étalons en même temps que les échantillons et dans les mêmes conditions car la réduction des nitrates en nitrites est une fonction du temps.

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement les teneurs des échantillons de nitrates en mg/l.



**Photo III.6 : Dosage de nitrate et conservation des flacons à l'obscurité**

### **III.4.3. Spectrophotomètre UV-Visible**

Le spectrophotomètre UV-Visible est un appareil très connu et utilisé dans laboratoire, Elle est base sur la propriété des molécules pour mesurer l'absorbance ( $A$ ) d'une solution pour un longueur d'onde ( $\lambda$ ) donnée et déterminée.

#### **III.4.3.1. Le Domaine Spectral**

Visible : 800 nm - 400 nm ;

Proche-UV : 400 nm – 200 nm ;

UV- lointain : 200 nm – 10 nm.

#### **III.4.3.2. Principe**

Le spectrophotomètre ou spectroscopie est une méthode analytique basée sur l'étude quantitative et qualitative des spectres, est consistée pour mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée en solution. Son principe est

basé sur la mesure de l'intensité de la lumière ( $I$ ) passant au travers d'un échantillon et de la comparer à l'intensité ( $I_0$ ) de la lumière, dans une cuve de quartz transparente.

L'absorbance ( $A$ ) est exprimée à la transmittance :

$$A = -\log(T) \quad \text{avec transmittance (T) :} \quad T = (I/I_0)$$

$$A = \log(I_0/I)$$

Où :

$I_0$  : est l'intensité de la radiation incidente ;

$I$  : est l'intensité après passage à travers la cuve contenant la solution (intensité transmise) ;

$T$  : transmittance.

D'après la loi de **Beer -Lambert** la longueur d'onde donne la relation entre la densité optique ou l'absorbance ( $A$ ) et la concentration  $C$  de la substance colorée en solution.

$$A = \varepsilon \cdot L \cdot C$$

Tel que :

$\varepsilon$ : Coefficient d'extinction (dépend la longueur d'onde) en ( $l \cdot mol^{-1} cm^{-1}$ ) ;

$L$  : est la distance traversée par la lumière (épaisseur de la cuve) (en cm) ;

$C$  : est la concentration d'espace absorbantes en ( $mol \cdot l^{-1}$ ).

Le principe de fonctionnement d'un spectrophotomètre UV est illustré dans la figure

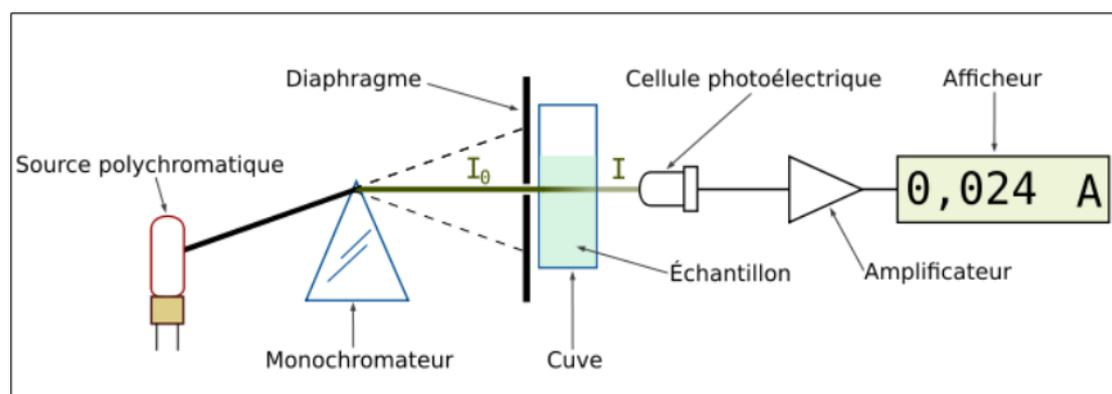


Figure III.7: schéma de principe d'un spectrophotomètre UV-Visible.

### **III.5. Le spectre d'adsorption de Nitrate**

Pour la détermination de longueur d'onde maximale  $\lambda_{max}$  de nitrate vous devons faire un balayage sur longueur d'onde entre 400 et 800 nm de solution.

A partir de la figure décrite on conclure que la valeur de longueur d'onde maximale de nitrate est  $\lambda_{max} = 520 \text{ nm}$ . En fonction de cette valeur de  $\lambda_{max}$  établi la courbe d'étalonnage.

### **III.6. Spectroscopie infrarouge**

La spectroscopie infrarouge est un appareil très important, et utilisant souvent dans laboratoire pour faire l'analyse de produite inorganique et caractérisation de produit organique.

#### **III.6.1. Principe**

Cette opération est basée sur l'absorption par les matériaux d'onde électromagnétique dans le domaine de l'infrarouge qui va élever des mouvements de vibration pour les liaisons chimiques.

Chaque liaison est caractérisée de longueur d'onde détermine, relie à la nature de la liaison et son environnement. Il existe deux types de vibration : vibration de valence et vibration de déformation.

#### **III.6.2. L'adsorption du nitrate par le bio adsorbant**

Le but de ce travail est d'étudier la capacité d'adsorption de ce nouveau matériau d'adsorption qui est les déchets de palmier dattier, sur l'adsorption du nitrate. Pour cela plusieurs paramètres d'adsorption ont été mis en évidence. Les paramètres étudiés sont la nature de l'adsorbant, le temps de contact, la masse de l'adsorbant utilisée et l'effet de la granulométrie de l'adsorbant. Après cette étude d'optimisation des paramètres nous avons choisi les paramètres optimums pour étudier la cinétique et tracé les isothermes de l'adsorption.

### **III.7. Optimisation de paramètres**

#### **III.7.1. Effet de nature**

Le première paramètre qui nous étudié est l'effluence de la nature du l'adsorbant ou l'effluence de type de déchets utilisé à savoir les palmes, les régimes ou les fibres des palmiers dattier. Pour maitre en évidence l'effet de ce paramètre nous avons préparé trois béchers, Chacun bécher contient 01 g d'un adsorbant et 40 ml de la solution du

nitrate à une concentration de 1000mg/L. Le tout est mis sous agitation par un agitateur magnétique pendant 2 heures de contacte et à la température ambiante. A la fin de réaction l'adsorbant est filtré par un filtre de papier de diamètre de . L'adsorbant est analyse par spectrophotomètre d'adsorption UV-Visible a  $\lambda_{max} = 520 \text{ nm}$ , pour déterminer la concentration après l'adsorption. Cette dernière opération est répétée pour étudier l'effet des autres paramètres.

### **III.7.2. Effet de temps de contact**

L'effet de temps de contact, est déterminé par la préparation de quatre béchers. Dans les quatre béchers, nous avons mis en contacte 1 g de la fibre du palmier dattier et 40 ml de la solution de nitrate avec une concentration de 1000mg/L. La réaction est réalisée sous agitation selon différents temps de contacte à savoir 1, 2, 3 et 4 heures.

### **III.7.3. Effet de masse**

L'influence de masse de l'adsorbant sur l'adsorption de nitrate par les fibres du palmier dattier a été étudiée en utilisant quatre masse 0,1 ; 0.25 ; 1 et 1,5 g d'adsorbant mélangé avec 40 ml de solution du nitrate à concentration de  $C = 1000 \text{ mg/l}$  (1g/l). Le temps de contacte est fixé à quatre heures d'après les résultats de l'effet du temps de contact sur l'adsorption du nitrate par les fibres du palmier dattier.

### **III.7.4. Effet granulométrique**

Nous avons mesuré 1,5 g des différentes granulométries obtenues (0.2, 1, et 2 mm)des fibres du palmier dattier. Chaque masse est mélangée avec 40 ml de la solution de nitrate à une concentration de 1000 mg/L et la réaction est effectuée sous agitation pendant quatre heures.

#### **III.7.4.1. Principe**

Le principe de cette manipulation prélevé un échantillon de l'adsorbant (palme ; régime et fibre) après verser une dans une colonne de tamis. Sont classés tamis dans un ordre croissant.

#### **III.7.4.2. Mode d'opérateur**

Purification le tamis et organiser la série selon leur dimension croissant (0,2 ; 1 ; 2 et 5), Après verser l'absorbant sur le tamis supérieur, fermer bien le tamis par le couvercle et faire l'agitation manuellement.

### **III.7.5. Effet pH**

Pour étudier l'influence du pH de la solution sur l'adsorption de nitrate nous utilisons les différentes valeurs du pH 5,77 ; 2 ; 11 et 12. l'expérience était la suivante :

Dans des béchers de 50ml nous mélangeons 1,5 g de fibre de granulométrie de 0,2 mm avec 40ml de la solution de nitrate de concentration  $C= 1\text{g/l}$  (1000mg/l). Pour avoir les valeurs du pH choisi nous ajoutons soit du *NaOH* (1N) ou *HCl* (1N) aux différents béchers préparer préalablement. Le temps de contact est fixé à quatre heures et sous agitation.

### **III.7.6. L'isotherme d'adsorption**

Pour l'établissement des isothermes d'adsorption, nous avons préparés quatre solutions du nitrate avec des concentrations initiaux de 20, 30, 40 et 50 mg /l avec un volume de 40 ml pour chaque solution. A chaque solution nous avons ajoutés 1,5 g des fibres du palmier dattier d'une granulométrie de 0,2 mm. Après un temps d'équilibre de quatre heures, les suspensions sont séparées par filtration et les concentrations à l'équilibre dans les surnageant sont analysées à  $\lambda_{max} = 520 \text{ nm}$  à l'aide d'un spectrophotomètre.

### **III.7.7. Cinétique d'adsorption**

La cinétique d'adsorption du nitrate par les fibres du palmier dattier, a été menée dans plusieurs béchers de 50 ml contenant, 1,5 g, de granulométrie de 0,2 mm et 40ml de la solution de nitrate à 20 mg/l à pH égale à 5,77. Les solutions sont mises sous agitation magnétique pendant un temps allant de 0 – 240 minutes. Des volumes d'environ 05 ml ont prélevés, à des intervalles de temps de 30 minutes. Après ces temps les échantillons sont analysés à l'aide d'un spectrophotomètre UV-vis à 520 nm.

## Chapitre IV : Résultats et discussion

### IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous exposons tous les résultats expérimentaux obtenus et leurs discussions. Comme nous l'avons mentionné plus tôt, l'étude est basée sur l'adsorption de nitrate comme polluant inorganique par fibre, régime et palme de palmier dattier comme adsorbant.

### IV.2. Détermination de $\lambda_{max}$ de nitrate

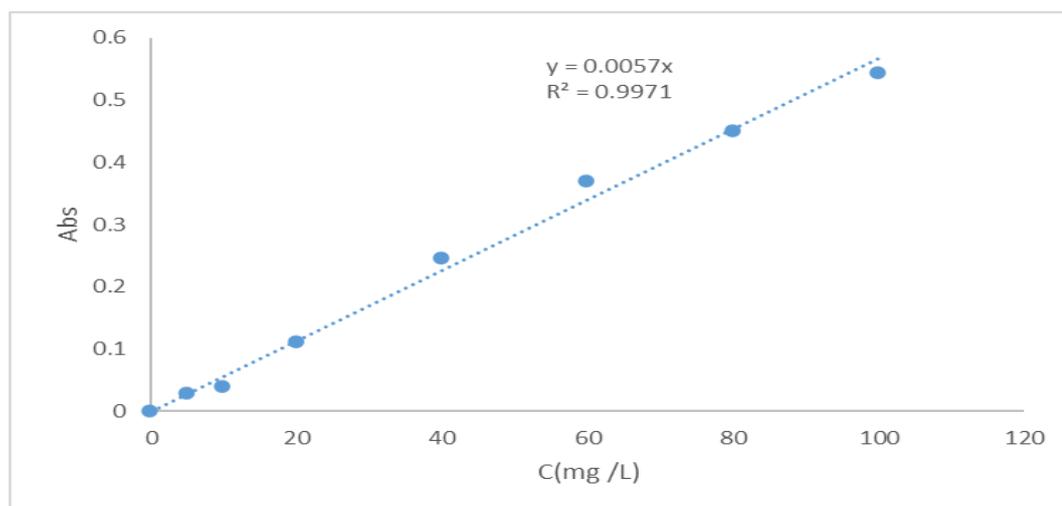
Une concentration de solution de nitrate a été choisie pour déterminer la longueur d'onde maximale du nitrate. L'extrapolation des résultats obtenus nous donne une bande d'adsorption, à 520 nm.

### IV.3. Courbe d'étalonnage

En solution aqueuse, la solution de nitrate absorbe dans le domaine Visible ( $\lambda_{max} = 520$  nm). La mesure de l'absorbance de plusieurs solutions du nitrate à de concentration connues (5,10,20,40,60 et 80 mg/l) est réalisée pour vérifier la loi de Beer-Lambert. Les résultats représentés dans le tableau IV.1.

**Tableau IV.1 : variation de la densité optique en fonction de concentration**

C(mg/l)	0	5	10	20	40	60	80
Abs	0	0.0056	0.0149	0.0318	0.1171	0.3957	0.5172



**Figure IV .1 : Courbe d'étalonnage de nitrate**

L'équation de la droite est :  $A = 0.0057C$

C : concentration (mg/l) ;

A : absorbance.

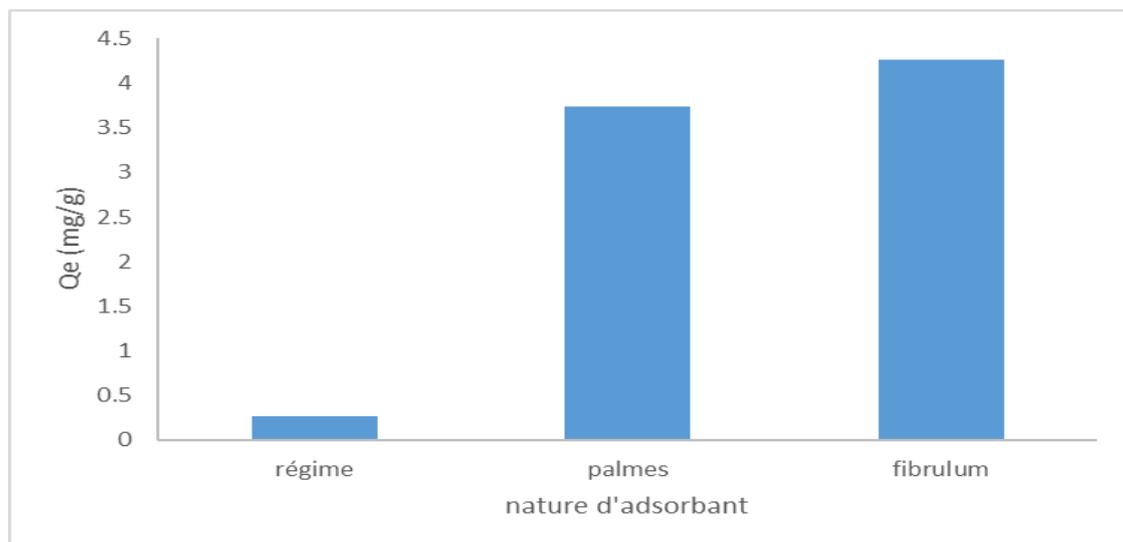
Elle nous donne, par ailleurs, un coefficient  $R^2$  de l'ordre de 0.9971, les erreurs de la lecture et de manipulation est 0.0029.

## IV.2. Paramètre affectant l'adsorption

Afin de mieux comprendre le procédé d'adsorption de nitrate sur le déchet de palme dattier, nous avons examiné l'influence de certain paramètre. Les paramètres étudiés sont les suivants :

### IV.2.1. Effet de type d'adsorbant

L'étude expérimentale de l'influence de nature déchets de palme dattier (fibre, régime et palme) sur l'adsorption de nitrate, fait pour détermine un meilleur adsorbant. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure ci-dessous :

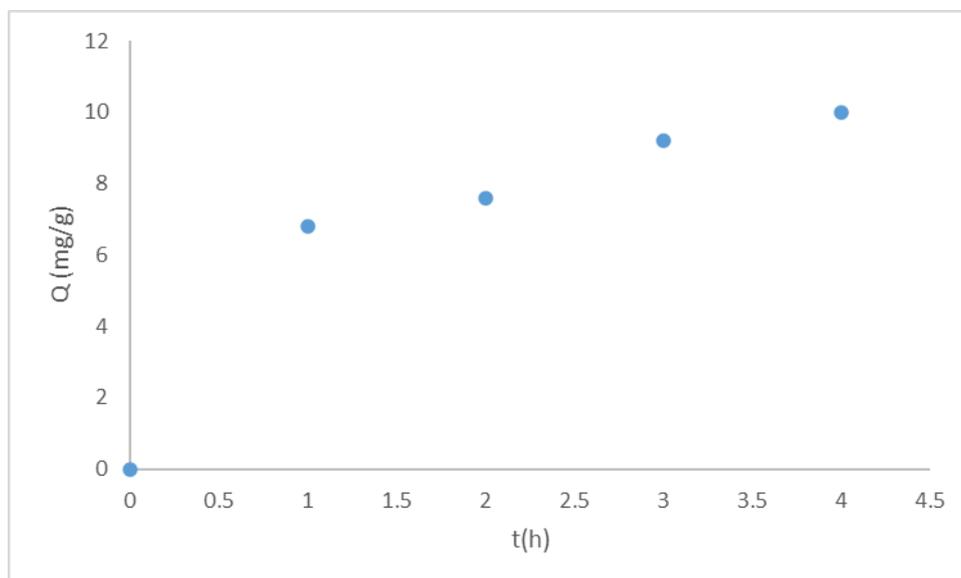


**Figure IV.2 : effet de nature d'adsorbant sur l'adsorption de nitrate**

Selon les résultats présentés sur la figure IV.2. Nous avons remarqué que les fibres du palmier dattier est le meilleur adsorbant devant les autres bio-adsorbant à savoir les régimes et palme du palmier dattier. Où nous avons enregistré des capacités d'adsorption de 0.666, 3.733et 4.266 pour le régime, palmes et les fibres du palmier dattier respectivement.

### IV.2.2. Effet de temps de contact

Les résultats obtenus de l'effet de temps sur l'adsorption du nitrate par les fibres du palmier dattier sont représentés sur la figure IV.3

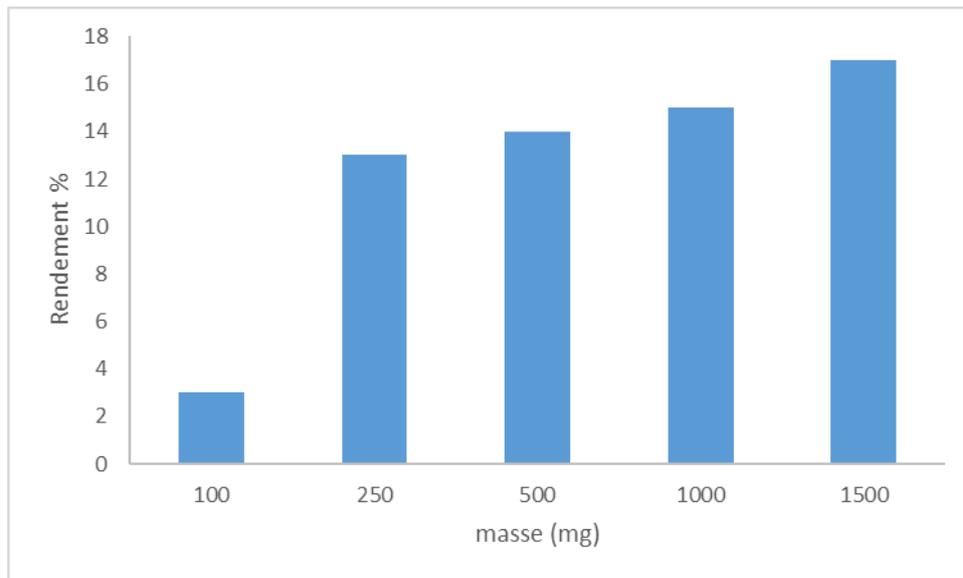


**Figure IV.3 : effet de temps sur l'adsorption du nitrate.**

Notre figure montre qu'il y a un ajustement approprié entre le temps de contact et la quantité de nitrate absorbée, dans lequel la capacité d'adsorption augmente en fonction du temps. Cela est dû aux grands nombres de site actifs sur les fibres de palme dattier. Cette même observation a été constatée par **Azhar M. Haleem et Enas A. Abdulgafoor[46]** pendant leurs travaux de l'adsorption de  $C_r$  (VI) par fibre de palm dattier. Où ils ont constaté une augmentation de la capacité d'adsorption en fonction du temps.

### IV.2.3. Effet de masse

Dans la figure IV.4, nous avons présenté la variation de rendement ( $R$ ) d'élimination de nitrate, exprimé (%) en fonction de masses de fibre de palmier dattier, avec un temps de contact de 4 heures. La concentration initiale de solution utilisée était de 1000 mg/l. Les résultats obtenus sont représentés dans les courbes IV.4 ci-dessous :

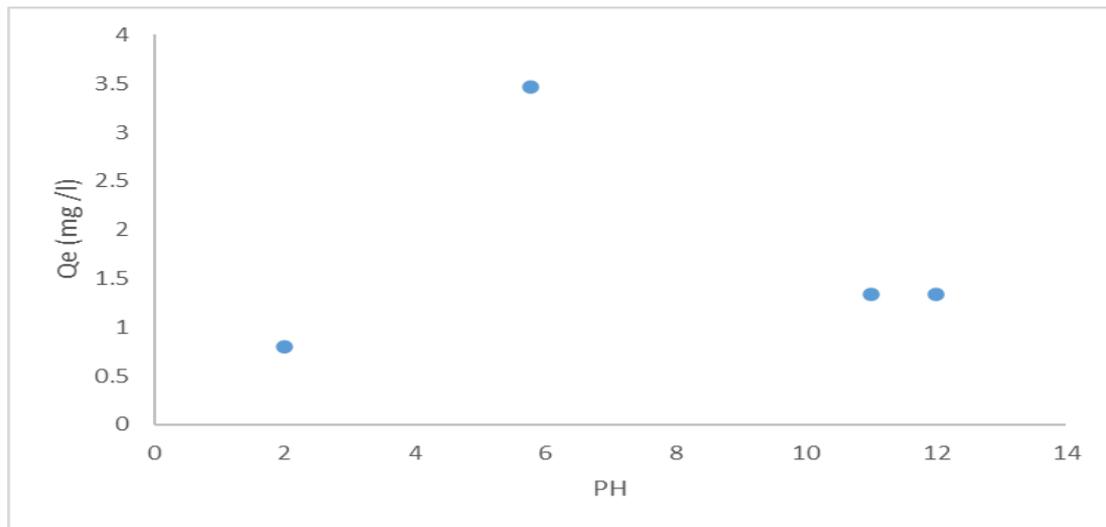


**Figure IV.4 : effet de masse sur l'adsorption de nitrate à température ambiante.**

Cette figure illustre le rendement d'adsorption du nitrate par la fibre de palme dattier en fonction de masse d'adsorbant. Le pourcentage d'élimination de nitrate augmente lorsque la masse de l'adsorbant augmente. La valeur la plus élevée de la masse de l'adsorbant était de 1,5 g. cela est expliqué, par le fait, que l'augmentation de la masse de l'adsorbant, augmente le nombre des sites disponibles d'adsorption, par conséquent, l'augmentation de la quantité de nitrate adsorbé. Il en va de même avec **Mona Yazdanshenas, Khosro Farizadeh, Ardeshir Fazilat, Saeid Ahmed (2014)[47]** . Pour adsorption of Basic Blue 41 from Aqueous Solution onto Coconut fiber Particles.

#### **IV.2.4. Effet de pH**

Le pH est un facteur important dans le tout le processus. Les valeurs utilisées de pH sont 2 ; 5,77 ; 11 et 13. Ces valeurs ont été sélectionnées pour examiner l'évolution de l'adsorption de nitrate sur les fibres du palmier dattier. Les valeurs de pH ont été ajustées par la solution de *HCl et NaOH* à 0.1 M. Les résultats obtenus sont représentés sous forme de courbe.



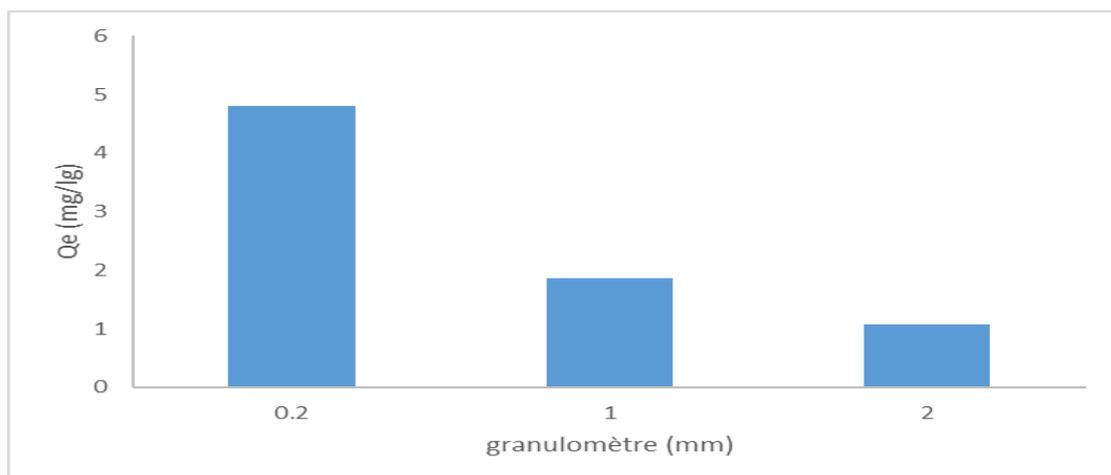
**Figure IV.5 : effet de PH sur l'adsorption du nitrate**

Selon la figure IV.5, qui représente la relation du pH de la solution et la capacité d'adsorption, nous remarquons, que la meilleure quantité adsorbée était dans la solution de pH égale à 5,77. qui est le pH de la solution mère sans ajouter ni NaOH ni Hcl. Par contre plusieurs auteurs parmis aux **Nabila Boualla et Ahmed Benziane** ont constaté que le meilleur taux d'adsorption du nitrate se fait à une solution basique.

#### **IV.2.5. Effet de granulométrie**

L'analyse granulométrique de fibre de palme dattier. A été réalisé dans le laboratoire par un tamisage

Les résultats de l'analyse de granulométrie de fibre obtenue sont représentés dans le figure suivant :



**Figure IV.6 : effet de granulométrie sur l'adsorption de nitrate**

La figure (IV.6) montre la relation entre la granulométrie de fibre de palme dattier et la quantité de nitrate absorbée. Nous constatons que, la meilleure capacité

d'adsorption a été enregistrée dans le cas de la granulométrie de 0,2 mm. Il en va de même avec **Jean, Récupération de métaux en solution par adsorption sur différentes biomasses végétales,[48]** qui discute que chaque diminution de taille des particules jusqu'à valeur stabilisée (après cette valeur la capacité d'adsorption reste constante) d'écorce augmente la surface spécifique et permet une meilleure capacité d'adsorption.

### **IV.3. L'isotherme d'adsorption**

Les isothermes d'adsorption ont été établies en utilisant une quantité de 1,5g de fibre de palme dattier dans 40 ml de solution de nitrate à concentration de 20 ;30 ;40 et 50 mg/l. Le mélange ainsi obtenu a été ensuite mis en agitation pendant 4 heures. A température ambiante.

Les résultats obtenus nous permettent de dessiner les isothermes d'adsorption qui sont traités selon l'équation linéaire de Freundlich et Langmuir.

#### **IV.3.1 Modélisation de l'isotherme d'adsorption**

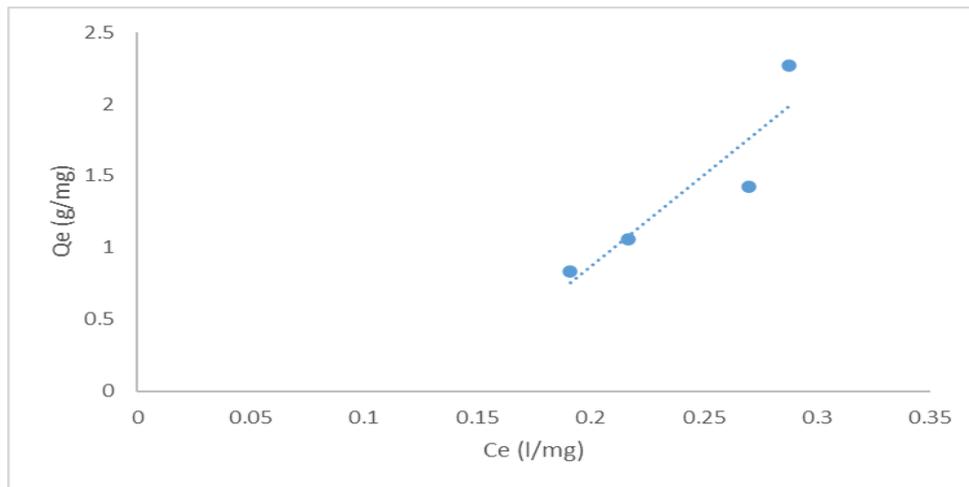
Les isothermes d'adsorption sont importants pour désigner le mécanisme d'adsorption et pour la détermination de la capacité d'adsorption des adsorbats sur l'adsorbant. Pour trouver le modèle qui décrit notre système. Nous avons testé les modèles suivants : Langmuir ; Freundlich et Temkin.

##### **IV.3.1. L'isotherme de Langmuir**

La forme linéaire de l'isotherme de Langmuir est décrite par la relation suivante :

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{K_l Q_m} + \frac{C_e}{Q_m} \quad \text{et} \quad R_l = \frac{1}{1 + K_l C_0}$$

La droite est obtenue on trace  $\frac{1}{Q_e}$  en fonction de  $\frac{1}{C_e}$ .



**Figure IV.9 : Isotherme de Langmuir pour l'adsorption de nitrate**

Selon le modèle de Langmuir, figure (IV.9), on remarque que la valeur de coefficient de corrélation  $R^2$  est de 0.8311, à température ambiante. Le processus étudié obéit à l'isotherme d'adsorption de Langmuir et la valeur de  $R_l$  apparie dans domien ( $0 < R_l < 1$ ), ce qui indique que l'adsorption est favorable.

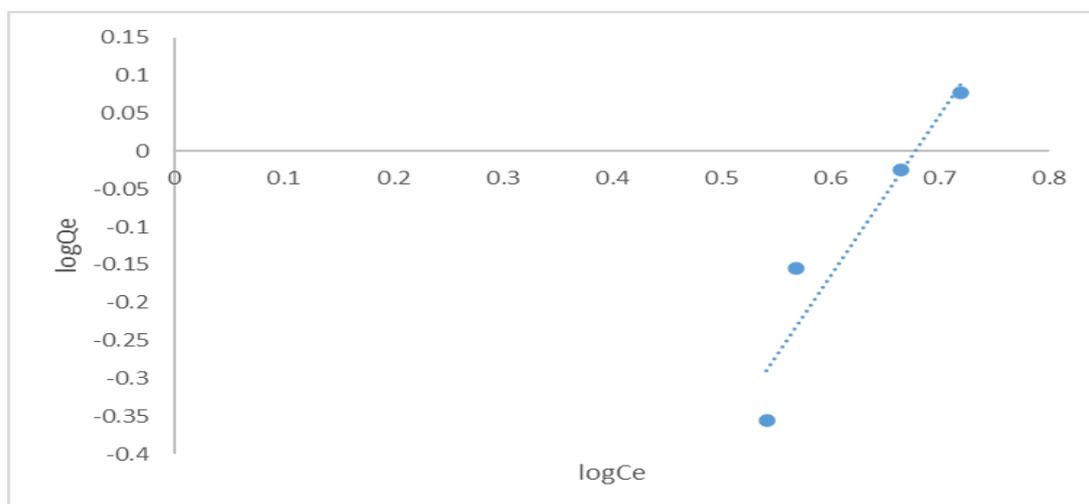
### IV.3.2. L'isotherme de Freundlich

La forme linéaire de l'isotherme de Freundlich est donnée par la relation suivante :

$$\ln Q = \ln K_f + \frac{1}{nf} \ln C_e$$

$K_f$  et  $n$ : constante empirique de Freundlich

La représentation graphique de  $\ln Q_e$  en fonction de  $\ln C_e$  est une droite de coefficient  $1/n$  et d'ordonnée à l'origine  $\ln K_f$ .



#### Figure IV.10 : isotherme de Freundlich pour l'adsorption de nitrate

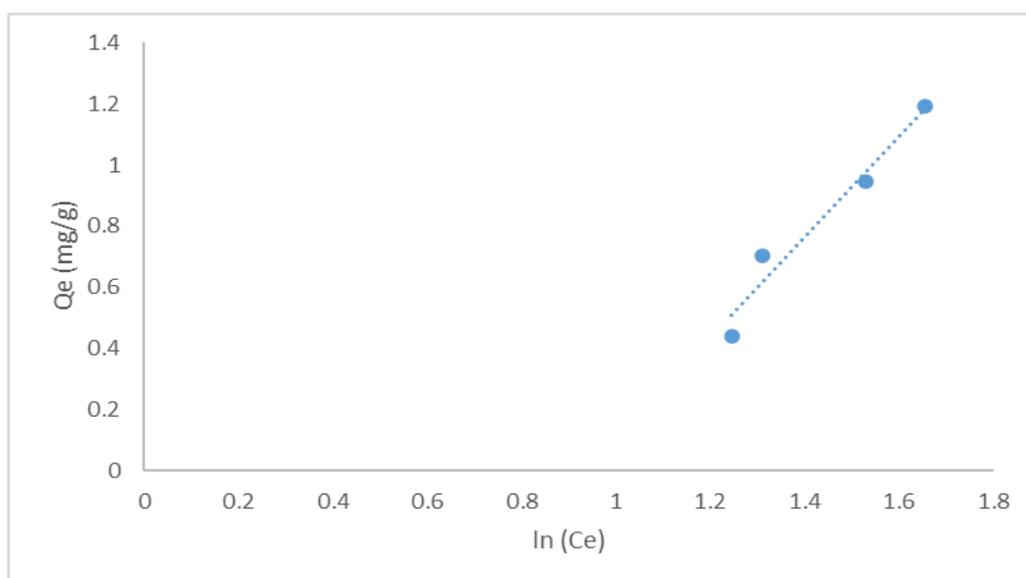
D'après cette figure (IV.10) d'isotherme de Freundlich on remarque que la valeur de coefficient de corrélation  $R^2 = 0.8994$  à température ambiante, indique que le procédé est compatible avec l'isotherme d'adsorption.

#### IV.3.3. L'isotherme de Temkin

L'isotherme de Temkin suppose que la variation de la chaleur d'adsorption est linéaire plutôt que logarithmique. Le modèle de Temkin représente par la relation suivante :

$$Q_e = B \ln A + B \ln C_e \quad \text{et} \quad B = \frac{RT}{b_t}$$

La représentation graphique donne ce le traçage de  $Q_e$  en fonction de  $\ln C_e$



#### Figure IV. 11 : isotherme de Temkin pour l'adsorption de nitrate

D'après les résultats représentés dans cette figure (IV.11), nous remarquons, que le coefficient de corrélation obtenu est important pour confirmer que l'isotherme d'adsorption de nitrate par la fibre de palme dattier est réalisée avec succès par l'isotherme de Temkin. La constante liée à l'énergie d'adsorption est faible, ce qui indique que le processus d'adsorption est physique.

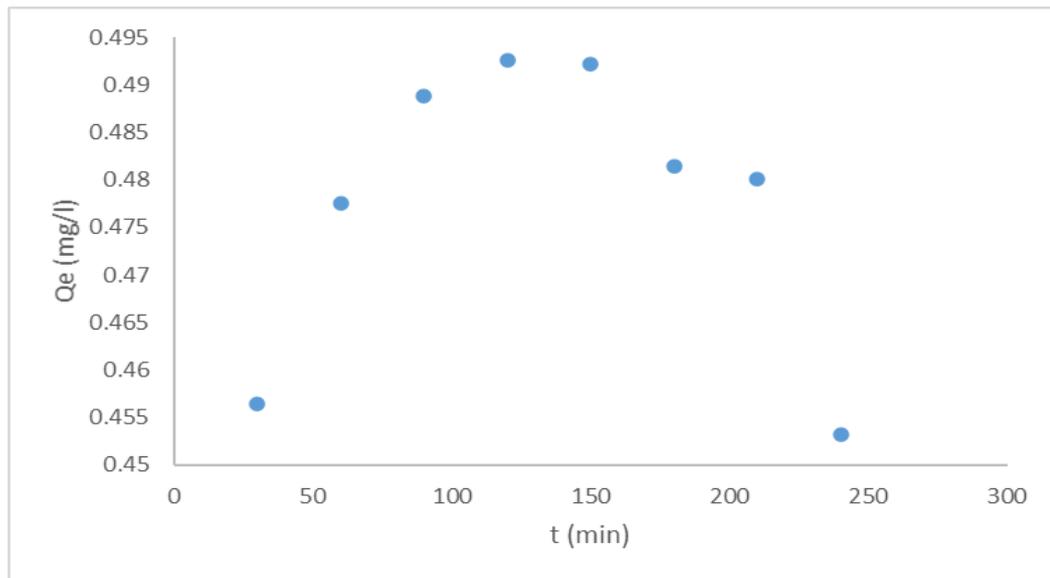
**Tableau IV.2 : les paramétré de modèle applique aux isothermes d'adsorption**

<b>Modèle d'isotherme</b>	<b>Paramétré</b>	
<b>Freundlich</b>	$R^2$	<b>0.8994</b>
	$K_f$	<b>27.9254</b>
	N	<b>2.1371</b>
<b>Langmuir</b>	$R^2$	<b>0.8311</b>
	$K_l$	<b>0.1314</b>
	$Q_m$	<b>0.5988</b>
<b>Temkin</b>	$R^2$	<b>0.9564</b>
	A	<b>0.9396</b>
	$B_t$	<b>1495.3959</b>

D'après les valeurs du tableau IV.2 des constantes de chaque modèle, indiquent qui le modèle de Freundlich et Temkin représente parfaitement le processus d'adsorption de nitrate par la fibre de palme dattier avec de valeur de coefficient de corrélation proche à l'unité. Des remarques similaires, ont été observées par **Mashaël Alshabanat, Ghadah Alsenani, and Rasmiah Almufarij [49]** pour l'adsorption de cristal violet par la fibre de palmier dattier.

#### **IV.4. Modèle de cinétique d'adsorption**

La cinétique d'adsorption de nitrate sur la fibre de palme dattier peut analyser aussi par différents modèles suivants :



**Figure IV.12 : effet de temps de contact sur l'adsorption de nitrate (20mg/l)**

Les résultats obtenus dans cette figure montrent que la capacité d'adsorption de nitrate augmente en fonction de temps de contact et se stabilise au bout de 120 minutes après ce temps la capacité d'adsorption diminue. On constate que la cinétique d'adsorption de nitrate est rapide ça peut être expliqué par la disponibilité abondante de sites actifs (les pores) sur les surfaces de fibre de palme dattier, après elle devient stable au bout de 120 minutes qui adapte à l'équilibre puis tous les sites deviennent occupés.

On conclure que le temps de contact nécessaire aux solutions du nitrate pour atteindre l'équilibre.

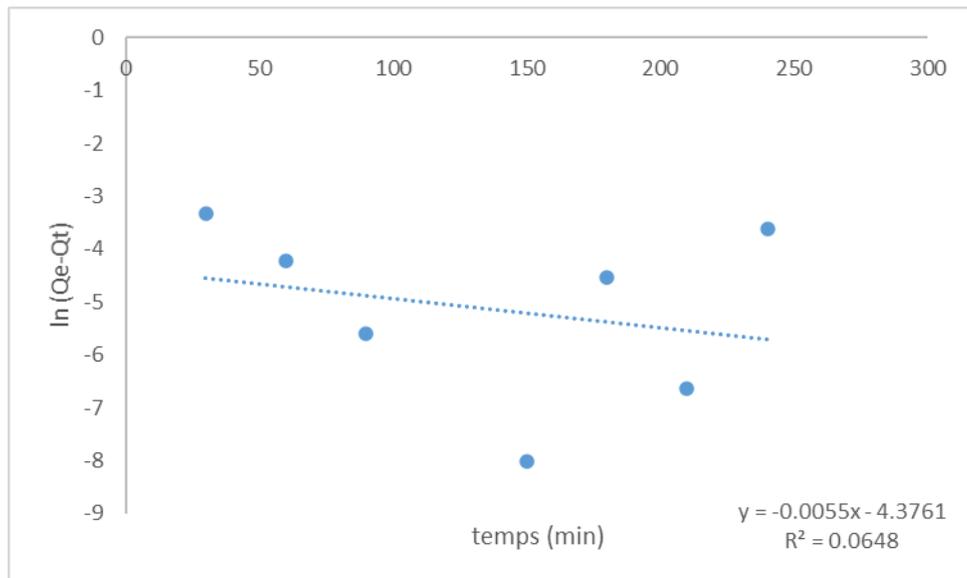
#### **IV.4.1. Modèle cinétique de premier ordre**

La cinétique d'adsorption de premier ordre connu par l'équation de la forme suivante :

$$\frac{dQ}{dt} = K_1(Q_e - Q_t) \text{ en intégrant cette équation on obtient l'équation suivante :}$$

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - K_1 t$$

Ce modèle est réalisé par le tracer de courbe  $\ln(Q_e - q_t)$  en fonction de temps (min).

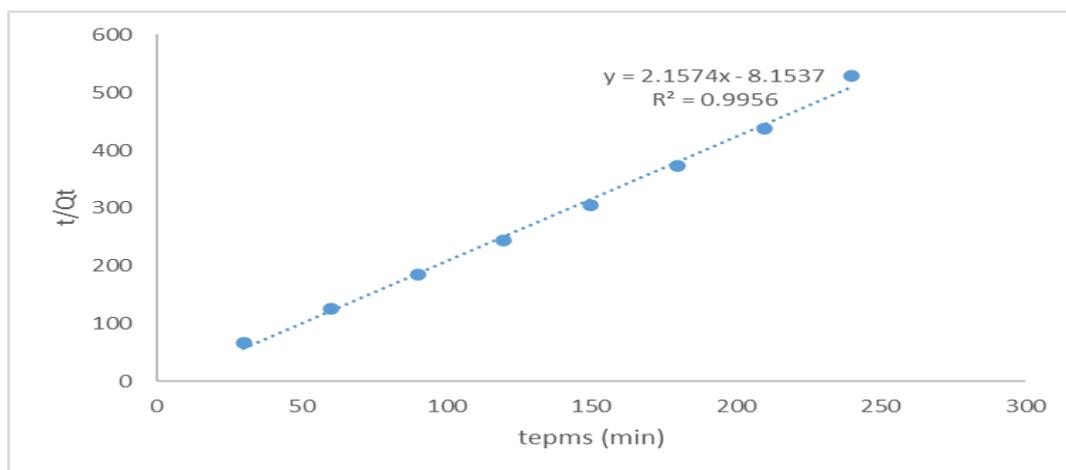


**Figure IV.13 : Modèle cinétique du premier ordre à l'adsorption de nitrat**

A partir de cette figure (IV.13), on constate que le modèle de cinétique de premier ordre n'est pas adapté à la cinétique de cette adsorption compte tenu de la faible valeur du coefficient  $R^2 = 0.0648$ .

#### IV.4.2. Modèle cinétique de deuxième ordre

Les paramètres de la cinétique d'adsorption de deuxième ordre sont déterminés à partir de la représentation de  $t/q_t$  en fonction de temps.



**Figure IV.14 : modèle de deuxième ordre**

Selon cette figure (IV) on remarque que le coefficient de corrélation est très proche de 1. Donc, nous pouvons dire que la cinétique d'adsorption de nitrate sur la fibre de palme dattier suit le modèle de deuxième ordre.

### IV.4.3. Modèle cinétique d'ELOVICH

Le modèle d'Elovich est exprimé par la relation suivante :

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln(t)$$

Telles que :

$\alpha$  : est le taux initial d'adsorption ;

$\beta$  : Est la constant de désorption ;

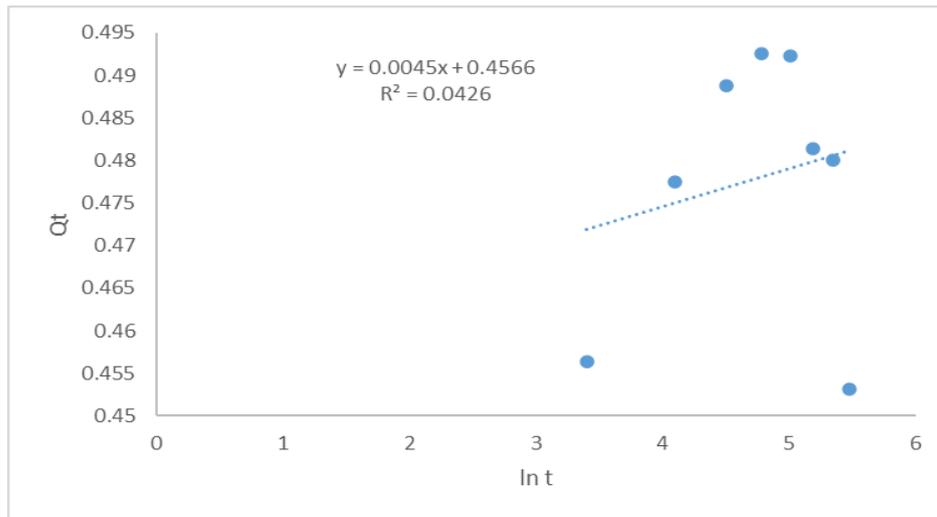


Figure IV. 15 : Modèle D'ELOVICH

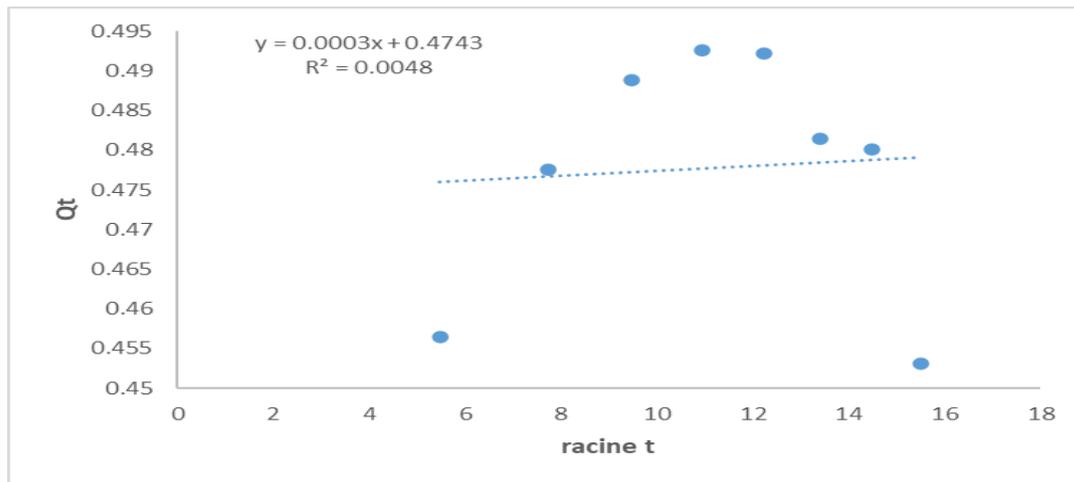
Selon la valeur de coefficient de corrélation représenté sur la figure IV.15, les données cinétiques sont mieux représentées par le modèle cinétique de deuxième ordre.

### IV.4.3. Modèle cinétique de diffusion intra-particulaire

Le modèle cinétique de la diffusion intra-particulaire est généralement exprimé sur la relation suivante :

$$q_t = K_{int} \sqrt{t} + C$$

Le paramètre de ce modèle détermine à partir de représentation graphique de  $q_t$  en fonction de  $\sqrt{t}$ .



**Figure IV. 16 : Modèle de diffusion intra-particulaire**

D'après la figure IV.16 qui représente le résultat de ce modèle, la droite ne passe pas par l'origine que la diffusion intra – particulaire n'était pas la seule étape déterminante du taux. Ces résultats proviennent que le procédé d'adsorption de nitrate est complexe.

Le mécanisme d'adsorption du nitrate par adsorbant peut impliquer les quatre étapes suivantes :

- Diffusion de masse
- Diffusion à travers le film
- Diffusion à travers les pores ou diffusion intra -particulaire
- L'adsorption du nitrate sur la surface de matériau adsorbant.

La corrélation et le constant cinétique de chaque modèle. Ces derniers sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau IV. 3 : paramètres cinétiques d'adsorption du nitrate.**

Modèle cinétique	Paramètre	
Premier ordre	$K_1$	-0.0055
	$R^2$	0.0648
Deuxième ordre	$K_2$	0.569
	$R^2$	0.9956
ELOVICH	B	222
	$R^2$	0.0426
Diffusion intra- particulaire	$K_{int}$	0.0003
	$R^2$	0.0048

D'après les résultats de modèle de cinétique d'adsorption de nitrate par la fibre de palme dattier obtenus et selon le coefficient de corrélation (tableau IV.3) de chaque un, on remarque que cette adsorption est adéquate avec le modèle de deuxième ordre. Il en va de même avec **Mashaal Alshabanat, Rasmiahs.Al-mufarij and GhadahM.Al-Senani [50]** sur l'adsorption de vert de malachite par fibre de palme dattier et **M : Benamraoui Faouzia** pour élimination d'un colorant par charbon active.[51]

# **Conclusion générale**



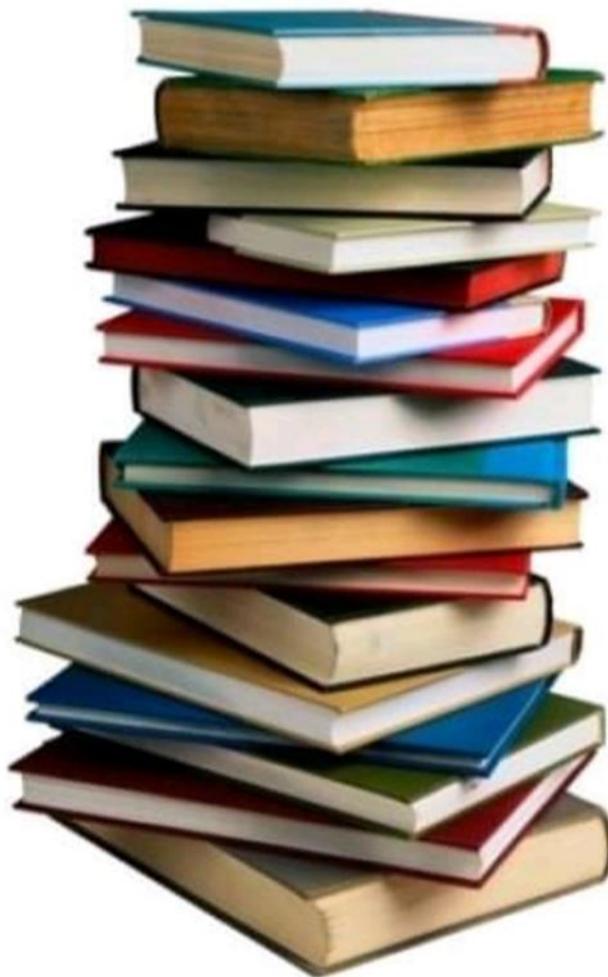
## ***Conclusion :***

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une dépollution de l'eau. Le but était d'étudier l'élimination d'une pollution inorganique (nitrate) par un procédé d'adsorption par les déchets du palmier dattier à savoir la fibre, régime et palme, via le procédé d'extraction liquide-solide. Plusieurs paramètres ont été étudiés, il s'agit de type d'adsorbant, le temps de contact, la masse de l'adsorbant, la granulométrie et pH de la solution. Cette étude est appuyée aussi par une étude cinétique et l'élaboration des isothermes d'adsorption.

A la fin de ce travail il a été constaté que :

- L'effet de nature d'adsorbant de déchet de palme dattier (régime, palme et fibre) montre que le meilleur adsorbant est la fibre de palmier dattier.
- Le capacité d'adsorption de fibre de palmier dattier est augment avec l'augmentation de temps de contact jusqu'à l'équilibre. Le temps de contact optimale trouvé était de 4 heures.
- Le taux d'élimination croît avec l'augmentation de masse de fibre de palmier dattier. La masse optimale du l'adsorbant a été de 1.5 g.
- L'effet de l'influence de la granulométrie montre que la taille de 0,2 donne le meilleur taux d'adsorption.
- L'adsorption de nitrate est favorable en milieu de acide avec un pH égale à 5,77, avec un rendement d'élimination maximale.
- La modélisation des résultats par les équations cinétiques nous indique que l'adsorption de nitrate sur fibre de palmier dattier est mieux décrite par le modèle de deuxième ordre.
- La modélisation des isothermes d'adsorption nous a permis, de montrer que le modèle de Freundlich et Temkin simule parfaitement le procédé d'adsorption de nitrate.
- La valeur de l'énergie dans le modèle était inférieure à 80 kJ/ mol, montre que le procédé d'adsorption de nitrate sur la fibre de palmier dattier est physisorption.

# Références bibliographiques



## Références Bibliographique

- [1] **Abdel-Raouf M.S., Abdul-Raheim A.R.M.** Removal of Heavy Metals from Industrial Waste Water by Biomass-Based Materials : A Review. *J Pollut Eff Cont* 5 : (2017) 180.
- [2] **Ayral C** .*Elimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur charbon actif* .De Toulouse : Thèse doctorat.
- [3] **Frank** .*Table de MAC-GRADY (NPP)* .(2002)
- [4] **RODIER J** .*L'Analyse de l'eau* 8<sup>ème</sup> édition. (2005)
- [5] **REJESK F** .*Analyse des eaux ; aspect réglementaires et techniques* .Centre régional de documentaire techniques pédagogique d'aquitaine. (2005)
- [6] **RODIER, J** .*L'analyse d'eau, eau naturelle, eaux résiduaires* 9<sup>ème</sup> édition .(Dunod paris.
- [7] **METAHRI M.S** .*Elimination de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées* .Thèse doctorat. (2012)
- [8] **SETER** .Service Etudes Travaux et Exploitation Réseaux .(2014)
- [9] **MEKHALIF F**, Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement. 2009. (Mémoire de magister)
- [10] **DEGREMONT** .*Mémento technique de l'eau, Technique et documentation* tome 1(1989) .(Paris)
- [11] **Bourrier R** .*Les réseaux d'assainissement calculs-applications-perspectives* (2008).5<sup>ème</sup> Edition .(Paris).
- [12] **LADJEL F**. Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02 . Centre de formation et métier de l'assainissement. (2006)
- [13] **LOUNNAS** .Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-kroma de skikda .(2009)
- [14] **MBEUKAM K. E**, Evaluation de la qualité bactériologique et physico – chimique des eaux du lac municipal d'Akonolinga. Département des sciences biologiques. (D.I.P.E.S. II). 2013.Université de YAOUNDE I. P60
- [15] **L. Levesque**, Elimination des nitrates des eaux potables, Association française pour l'étude des eaux, 1976.
- [16] **B. Habiba**, la dénitrification par l'utilisation d'une culture mixte, These de doctorat, Université Mentouri Constantine, 2017.
- [17] **N. Guenfoud**, Qualité des eaux de consommation dans la région de Constantine Teneur en nitrates et nitrites, Mémoire d'Ingénieur, Université Mentouri Constantine, 2009

- [18] **A, ouakouak** .*Elimination de cuiver, des nitrates et des phosphates des eaux par adsorption sur différents matériaux.* (2017). Thèse de doctorate ‘Université Mohamed Khider Biskra.
- [19] **Asano T.** Waste water réclamation and reuse. Water qualite management Library, (1998),911-923.
- [20] **Belahmdi, Seddik Mohamed, Oussama** .*Etude de la biodegradation du 2,4 dichlorophénole par la microbiot des l'effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eau usée d'ibnziad.* (2011) mémoire de magister
- [21] **LAZHAR GRAINI** .*Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique* .Mémoire magister ‘UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF. (2011)
- [22] **George A.F. Roberts** ; chitine et chitosane du biopolymère a l'application ; presses universitaires de Franche-Comté
- [23] **Mr ; Abbas Moussa** ; valorisation du noyau D'abricot dans la pollution des eaux ; thèse de doctorat
- [24] **C. E Chitour.***Physico-chimie des surfaces : l'adsorption gaz-solide et liquide solide* .Alger : Tome 2, O.P.U.
- [25] **Raymond Desjardins** .*Le traitement des eaux* deuxième édition .(Revue et enrichie. (1997)
- [26] **Sarra Bourahla** .*Etude des phénomènes d'adsorption par la spectroscopie IRTF* . Université de Mostaganem. (2018)
- [27] **Bahia Meroufel-Zenasni** .*Adsorption des polluants organiques et inorganiques sur des substances naturelles : Kaolin, racines de Calotropis procera et noyaux de dattes.* (2015). Université de Lorraine.
- [28] **Calvet R., Terce M., Arvieu J.C** .(1980) .*Adsorption des pesticides par les sols et leurs constituants.* (1980). Ann. Agron
- [29] **Manelle Radjai** .*Élimination des colorants de synthèse par adsorption sur matériaux mésoporeux* .Mémoire de magister en génie chimique. (2014)
- [30] **M Makaoui** .*Etude de l'adsorption, de la persistance et de la photo dégradation d'herbicide Tribenuron methyl (TBM) dans le sol et l'eau* .Faculté des Sciencess .Rabat : Université Mohamed V. (2001)
- [31] **Nour Bouanimba** .*Etude comparative de la dégradation photochimique et photocatalytique de quatre colorants : Impact de la structure chimique et corrélation entre l'adsorption et l'activité photocatalytique de TiO2* .(2014)
- [32] **Mr. ; Abbas Moussa** .*Valorisation du noyau D'abricot dans la pollution des eaux* .Thèse de doctorat.
- [33] **Nejib Abidi** .*Interaction argiles naturelles -effluents teinturiers-influence de propriétés de surface des argiles et mécanismes d'adsorption des colorants* .Universite de strasbourg. (2015)

- [34] **Giles et al** .*Generale treatment and classification of the solute adsorption isotherme* .(1974)
- [35] **Limousin et al** .*Sorption isotherme : Areview on physical bases, modeling and measurement* .Applied Geochemistry. (2007)
- [36] **Naib N** .Etude du procédé d'adsorption du phénol sur de charbon actif a base de grignon d'olive, modélisation par les plans d'expérience .Boumerdes : université de mohamed bougara. (2006)
- [37] **Nadjet Hadj Salah** *étude de la dégradation photocatalytique de polluants organiques en présence de dioxyde de titane, en suspension aqueuse et en lit fix* .
- [38] **E. Mechrafi** .*Adsorption désorption et mobilité de herbicides aux contacts de adsorbants organique et minéraux* .ALRabat : université Mohamed Vagdal. (2002)
- [39] **N. Kannan et al** .*removal of methylene blue by adsorption on various carbons: a comparative study, dyes and pigment* .(2001)
- [40] **L. Lian et al** .*Adsorption of congo red from aqueous solution onto-Cabentonite* . *Journal of hazardous Materials*. (2009).131-126-161.
- [41] **H. Boulkrah** .*Etude comparative de l'adsorption des ion plomb sur différents adsorbant*, (2007). Skikda : Université ,20 aout 55.
- [42] **Mohamed Tlijani** .*Contribution à la caractérisation thermophysique de matériaux bio-isolants : valorisation des déchets de bois de palmier* .Universite Paris - Est. (2016)
- [43] **Adrar Idir** ; utilisation des noyaux de dattes pour l'élimination des ions de  $F^{2+}$  en solution aqueuse ; Mémoire de Magister en Chimie ;2016
- [44] **Gilles peyron** .*Cultivar le palmier-dattier* .Guide illustré de formation.
- [45]**Abdelhak Kareche** .*étude des matériaux a base de bois de palmier dattier: durabilité, dégradation et propriétés structurale de transfert* .(2014). Universite batna.
- [44] م. قواميد.. المساهمة في دراسة تشخيص مخلفات الغرس. جامعة قصدي مرياح ورقلة. (2014)
- [46] **Azhar Haleem et Abdulgafoor Enas**. L'adsorption de Cr (IV) par fibre de palme dattier.
- [47] **Mona Yazdanshenas et al**. Adsorption of basic blue 41 form Aqueous solution onto Coconut fiber Particles.
- [48] **Jean**. Récupération de métaux en solution par adsorption sur différentes biomasses végétales
- [49] **Mashaele Alshabanat et al**. Removal of Crystal violet dye from Aqueous Solution onto Date Palm Fiber by Adsorption Technique. (2013)
- [50] **Mashaele Alshabanat et al**. Study on adsorption of malachite Green by date palm fiber. (2016)

[51] **Benamraoui Faouzia** .*Elimination de colorants cationiques par des charbon actif synthétisés a partir des résidus de l'agriculture. (2014). Université de sétif.*

# **Annexes**

## V : ANNEXES

### ANNEXES III

#### Résultats expérimentaux

**Tableau V-1: effet de type d'adsorbant de déchets de palmier dattier sur l'adsorption de nitrate. (temps 2 h)**

Type d'adsorbant	$Q_e$ (mg/g)	Abs
Régime de palmier dattier	0.2666	0.5768
Palme de palmier dattier	3.7333	0.5018
Fiber de palmier dattier	4.2666	0.4765

**Tableau V-3: effet de masse d'adsorbant sur l'adsorption de nitrate.**

M(fiber) g	Abs	Rendement %
0.1	0.5612	3
0.25	0.5072	13
0.5	0.4973	14
1	0.4918	15
1.5	0.4789	17

**Tableau V-4: effet de pH sur l'adsorption de nitrate.**

pH	Abs	$Q_e$
5.5	0.5313	3.4666
2	0.5974	0.8
11	0.5844	1.3333
12	0.5847	1.3333

**Tableau V-5: effet de de granulométrie d'adsorbant sur l'adsorption de nitrate.**

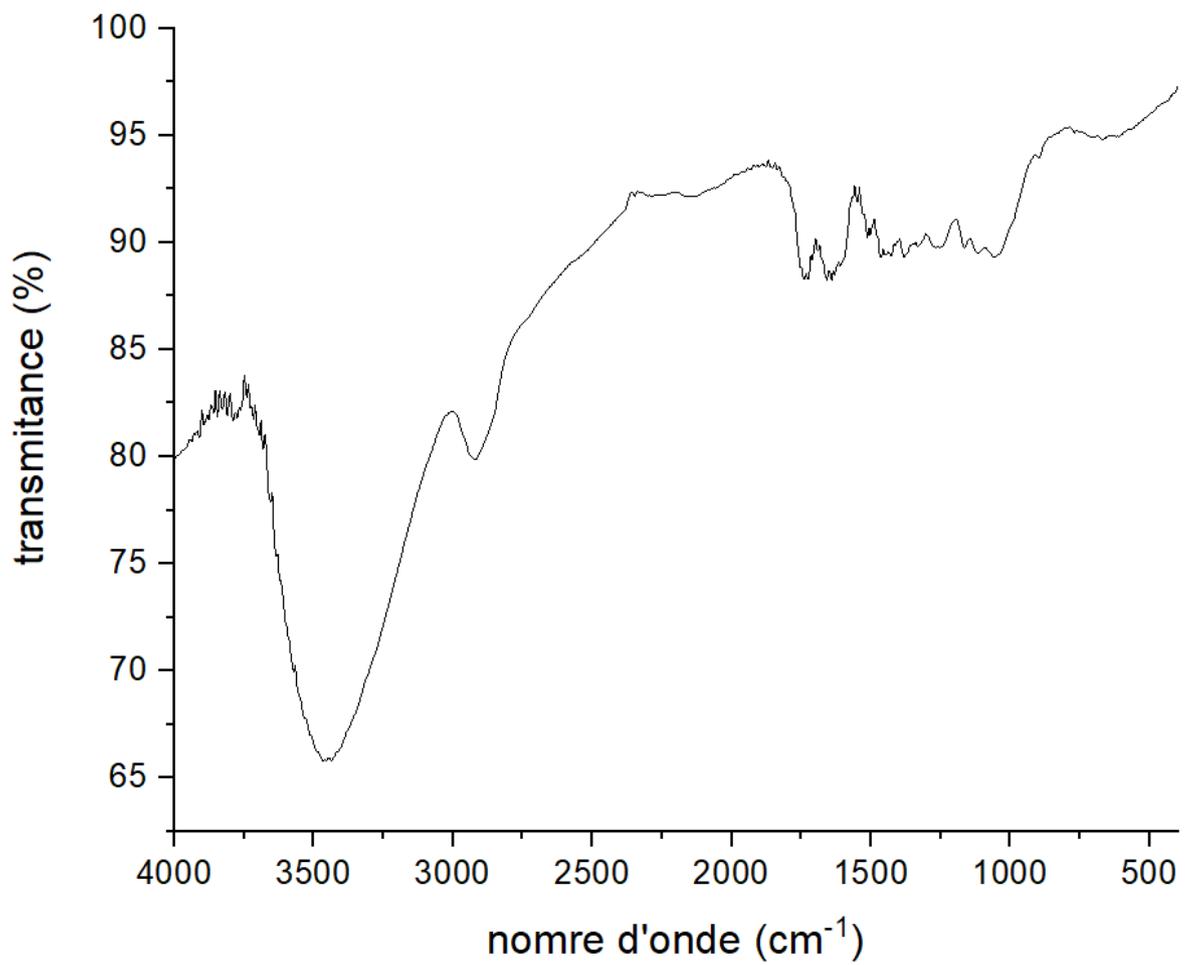
Taille (mm)	Abs	$Q_e$ (mg/g)
0.2	0.4538	4.8
1	0.5165	1.8666
2	0.5308	1.0666

**Tableau V-6: les quantité adsorbée de nitrate par fiber de palmier dattier a différents temps.**

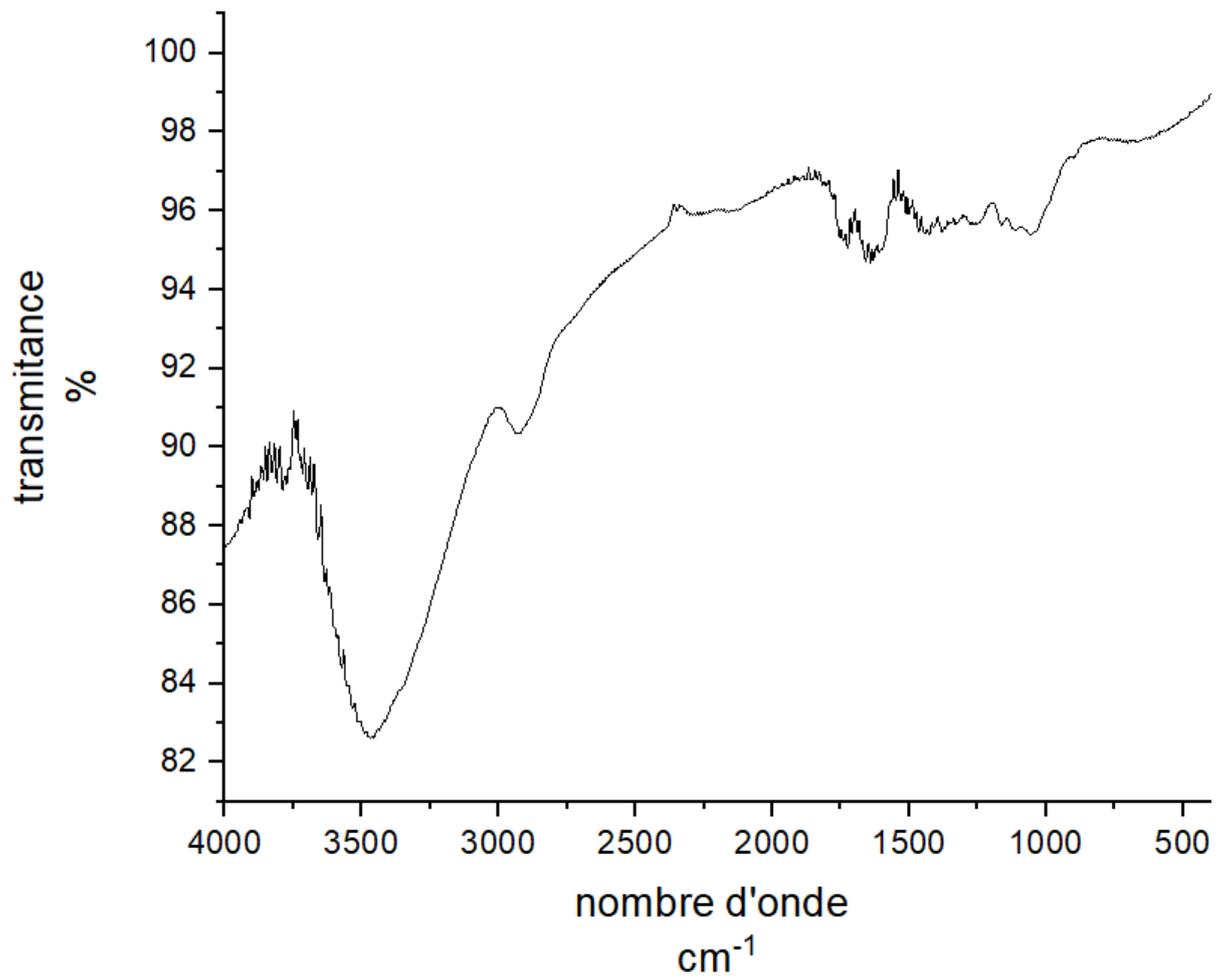
Temps (min)	Abs	$Q_t$ (mg/l)	$\ln(Q_e - Q_t)$	$t/Q_t$
30	0.0163	0.4564	-3.3202	65.7272
60	0.0095	0.4775	-4.2178	125.6499
90	0.0094	0.4888	-5.5947	184.1023
120	0.0119	0.4925		243.6172
150	0.0087	0.4922	-8.0225	304.7244
180	0.0110	0.4814	-4.5259	373.8908
210	0.0113	0.4801	-6.6301	437.405
240	0.0170	0.4531	-3.6132	529.6392

Tableau V-7: effet de concentration (isotherme d'adsorption)

C (mg/l)	Abs	$Q_e$	$C_e/Q_e$	$\ln C_e$	$\ln Q_e$	$1/C_e$	$\log Q_e$	$\text{Log } Q_e$
20	0.0197	0.4406	7.8857	1.2555	-0.8194	0.2877	-0.3589	0.5409
30	0.0210	0.7013	5.2771	1.3085	-0.3548	0.2702	-0.1540	0.5683
40	0.0261	0.9436	4.8888	1.5289	-0.0587	0.2167	-0.0251	0.6640
50	0.0296	1.1937	4.3833	1.6549	-0.1771	0.1911	0.0769	0.7187



**Figure V.1: résultat infrarouge (IR) de fiber de palmier dattier brut.**



**figure V.2: résultat infrarouge de fiber de palmier dattier a pH 5.77.**