

FACULTE : DES SCIENCES
DEPARTEMENT : DE CHIMIE
N° :.....



DOMAINE : SCIENCE DE MATIERE
FILIERE : CHIMIE
OPTION : Chimie des matériaux

**Mémoire pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Présenté Par:

Boutchicha Selsabil

Hamouche Halla

Intitulé

**Traitement des eaux usées par méthodes
électrocoagulation, matériau inorganique
et biomasse**

Soutenu devant le jury composé de:

Pr. Deghfel Nadir Université de M'sila

Président

Pr. Benyahia Azzedine Université de M'sila

Rapporteur

Dr.Noufel Kamel Université de M'sila

Examineur

Année universitaire : 2022 /2023



Remerciement



Toute ma parfaite gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui m'a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail, et mes parents pour leurs soutiens et leurs sacrifices.

*C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que je remercie mon encadreur **Pr ;Benyahia Azzedine** . Professeur à l'université de M'sila. Pour son soutien, ses conseils judicieux et ses grandes bienveillances durant l'élaboration de ce projet.*

Merci pour la bonne humeur et la confiance que vous nous donniez chaque jour. Je vous en serai toujours reconnaissante et veuillez accepter ma considération la plus sincère.

Nous tenons à remercier, Monsieur le président du jury de ce mémoire. Tous nos remerciements vont aux membres du jury, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants et les responsables de notre département.

Enfin, nous exprimons également nos remerciements :

Les plus sincères à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, aussi tout les travailleurs du département des sciences de l'environnement pour l'aide et le soutien qu'ils m'ont apporté tout au long de ce travail.

Je profite de cette occasion pour remercier et exprimer ma gratitude à tous mes amis de la faculté de chimie et technologie qui m'ont apporté leur coopération.

Merci d'abord à dieu, puis merci à tous.



Dédicace



Mes très chers parents

Aucune dédicace aussi parfaite et douce soit-elle, ne saurait exprimer toute ma reconnaissance et tout l'amour que je vous porte. Ce travail représente le fruit de votre soutien, vos sacrifices, et vos encouragements. Jamais il n'aurait vu le jour sans les conseils que vous avez consentis pour mon éducation.

Que Dieu vous protège et vous accorde une longue vie pleine de santé et de bonheur ;

Je dédie ce travail à :

*À mes très chères sœurs : **Zoulikha, Dallal, Sara et Amel.***

*À mon cher frère **Ammar.***

À mes belles sœurs

À tous ceux qui tiennent une place dans mon cœur, avec les quels je partage les mots tendresse, amour et amitié.



Boutchicha.S



Dédicac



Je dédie ce projet :

A ma chère mère A mon chère père Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs. A mes très chers frères

Sallah, Sami , Karim et Alaà et mes belles sœurs Radia ,Asma et Mouna pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études. A mes petites filles

Tawba, Asil, Lina, Dina, Noursin, Chahed

A Sami Qui m'a aidé et supporté dans Les moments difficiles enfin à mes chères amies Fayza, Zahra, Rania, Sara, Bicho, Hasna, Anfal, Rajaa.

Hamouche .H



Résumé

Ce travail concerne les analyses physico-chimiques des eaux usées avant et après traitement avec une méthode électrochimique, par méthode d'argile et méthode de fibres végétal.

On a fait une définition d'eau et ses types et l'origine des eaux usées, ses caractéristiques et les types des polluant et une définition des cette méthodes après un description général.

D'autre part, nous avons décrit de lieu de stage e la station d'épuration des eaux usées de la ville de Sidi Aissa. Et les déférent facteurs affectent sur cette procède comme T° , pH, conductivité, O_2 , turbidité, MES, DBO_5 , DCO.

Les résultats obtenus montrent que les différents de traitement utilisé sont une très bonne techniques pour éliminé les polluants.

Les mots clés:

Traitement, électrocoagulation, électrodes, fibre végétale, alfa, argile, les polluants, les eaux usées.

ملخص

يتعلق هذا العمل بالتحليلات الفيزيائية والكيميائية لمياه الصرف قبل وبعد المعالجة بالطريقة الكهروكيميائية ، بطريقة الطين وطريقة الألياف النباتية.

قمنا بتعريف المياه وأنواعها وأصل المياه العادمة وخصائصها وأنواع الملوثات وتعريف هذه العمليات بعد وصف عام. من ناحية أخرى وصفنا مكان التدريب ومحطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة سيدي عيسى.

وتأثر العوامل المختلفة على هذه العمليات مثل T° ، ودرجة الحموضة ، والتوصيل ، والأكسجين ، ودرجة العكارة ، و MES ، DBO_5 ، و DCO

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن العلاجات المختلفة المستخدمة هي تقنيات جيدة للغاية للقضاء على الملوثات. الكلمات الدالة :

المعالجة، التخثير الكهربائي، الأقطاب الكهربائية، الألياف النباتية، الحلفاء، الطين، الملوثات، مياه الصرف.

Abstract

This work concerns the physico-chemical analyzes of wastewater before and after treatment with an electrochemical method, by clay method and vegetable matter method.

We made a definition of water and its types and the origin of wastewater, its characteristics and the types of pollutants and a definition of these methods after a general description.

On the other hand, we have described from the internship location the wastewater treatment plant in the city of Sidi Aissa. And the defenders affect this proceeding as T° , pH, conductivity, O_2 , turbidity, MES, DBO_5 , and DCO.

The results obtained show that the different treatment used are a very good technique for eliminating pollutants.

Keywords:

Electro -coagulation, electrodes, vegetable matter, esparto clay, pollutants, wastewater.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviation

Introduction générale

Chapitre I: Généralités sur les eaux usées

<u>Introduction</u>	<u>1 Définition</u>
<u>des eaux usées</u>	<u>3</u>
<u>I.2.Origines des eaux usées</u>	<u>3</u>
I.2.1. Les eaux usées domestique.....	3
I.2.2. Les eaux usées industrielle.....	4
I.2.3. Les eaux usées agricoles.....	4
I.2.4. Les eaux pluviales.....	5
<u>I.3.Pollution de l'eau</u>	<u>5</u>
I.3.1. Définition.....	5
<u>I.4. Les différents types de pollution des eaux usées</u>	<u>6</u>
I.4.1. Pollution physique.....	6
I.4.2. Pollution chimique	6
I.4.3. Pollution biologique	8
<u>I.5. Paramètres caractéristiques des eaux usées</u>	<u>8</u>
I.5.1. Paramètres organoleptiques.....	8
I.5.1.1 L'odeur.....	8
I.5.1.2. La couleur.....	8
I.5.2. Paramètres physiques.....	8
I.5.2.1. La temperature.....	8
I.5.2.2. Les matières en suspension (MES).....	8
I.5.2.3. La turbidité.....	9
I.5.3. Paramètres chimiques.....	9
I.5.3.1. Le potentiel d'hydrogène (PH).....	9
I.5.3.2. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	9
I.5.3.3. La demande chimique en oxygène (DCO).....	10
I.5.3.4. Conductivité.....	10
I.5.3.5. L'azote.....	10
I.5.3.6. Le phosphore.....	10
I.5.3.7. Notion de biodégradabilité.....	11
I.5.3.8. Oxygène dissous.....	11

<u>I.6.Risques de la pollution par les eaux usées.....</u>	11
I.6.1.Risques sur la santé humaine.....	11
I.6.2. Risques sur l'environnement.....	11
I.6.2.1. Impacts sur le sol.....	11
I.6.2.2. Impacts sur les eaux souterraines.....	12
I.6.2.3. Impacts sur les eaux superficielles.....	12
Conclusion.....	12
<u>Chapitre II : Les méthodes de traitement des eaux usées</u>	
<u>II.1. Coagulation floculation.....</u>	13
II.1.1. Rôle de la coagulation-floculation.....	13
II.1.2.La coagulation.....	14
II.1.2.1 Principe.....	14
II.1.2.2. Mécanismes de coagulation.....	14
II.1.3.La floculation.....	14
II.1.3.1. Principe.....	15
II.1.4. Coagulants et floculant chimiques.....	15
II.1.5. Le traitement physico-chimique par coagulation-floculation des rejets des eaux usées de la ville de Salé.....	16
II.1.6. Technique de coagulation-floculation pour le traitement des eaux usées domestiques dans la ville d'Ain Aouda, Rabat, Maroc.....	16
II.1.7. Traitement des lixiviats de décharge par coagulation-floculation.....	17
<u>II.2. L'Électrocoagulation (EC).....</u>	18
<u>II.2. 1. Historique du procédé.....</u>	18
II.2. 2. Principe de l'EC.....	18
II.2. 3. Electrodes en aluminium.....	20.
II.2. 4. Les différents types de connexions électriques.....	21
II.2. 5. Exemple d'application et mise en œuvre du procédé.....	22
II.2. 6. Principales lois de l'électrolyse.....	22
II.2. 6.1. La cinétique de transfert de charge ou loi de Butler-Volmer.....	23
II.2. 6.2. La loi de Faraday	23
II.2. 6.3. La tension de la cellule.....	24
II.2. 6.4. Energie et rendement d'électrolyse.....	25
II.2. 7. Paramètres influençant le processus d'électrocoagulation.....	26
II.2. 7.1. Le pH.....	26
II.2. 7.2. La conductivité.....	26
II.2. 7.3. Intensité du courant.....	26
II.2. 8. La distance entre électrodes.....	27

<u>II.2. 9. Avantages et inconvénients de l'électrocoagulation.....</u>	27
I.7. 9.1. Avantages.....	27
II.2. 9.2. Les inconvénients majeurs de l'EC.....	28
<u>II.2.10. Prétraitement de l'eau saumâtre à l'aide d'électrocoagulation DC Méthode et optimisation.....</u>	28
<u>II.2.11. Etude de l'applicabilité du procédé d'électrocoagulation pour le traitement de rejets textiles.....</u>	29
<u>II.2.12. Utilisation des techniques électrochimiques dans le traitement des émulsions hydrocarbures/eau.....</u>	29
<u>II.3. La fibre Alfa.....</u>	30
<u>II.3.1. Définition d'un biomatériau.....</u>	30
<u>II.3.2. Les domaines d'application des biomatériaux.....</u>	30
<u>II.3.3. Présentation générale de la fibre Alfa.....</u>	30
<u>II.3.3.1. Définition.....</u>	30
<u>II.3.3.2. Nomenclature et classification botanique.....</u>	31
<u>II.3.3.3. Répartition géographique.....</u>	31
<u>II.3.3.4. Nappes alfatières de la willaya M'sila.....</u>	32
<u>II.3.3.5. Structure et composition chimique des fibres d'Alfa.....</u>	33
<u>II.3.3.6. Domaines d'applications.....</u>	34
<u>II.3.3.7. Avantages et inconvénients.....</u>	35
<u>II.3.4. Utilisation de fibres alfa pour l'élimination du H₂S dans un milieu aqueux (les eaux polluées).....</u>	35
<u>II.4. L'argil.....</u>	36
<u>II.4.1. Définition.....</u>	36
<u>II.4.2. Les principaux types des argiles.....</u>	36
<u>II.4.2.1. La kaolinite.....</u>	36
<u>II.4.2.2. Les illites.....</u>	37
<u>II.4.2.3. Les smectites.....</u>	37
<u>II.4.2.4. Les chlorites.....</u>	37
<u>II.4.2.5. La vermiculite.....</u>	37
<u>II.4.3. Classification selon la couleur.....</u>	37
<u>II.4.3.1. Argile verte.....</u>	37
<u>II.4.3.2. Argile rouge.....</u>	38
<u>II.4.3.3. Argile jaune.....</u>	38
<u>II.4.3.4. Argile blanche.....</u>	39
<u>II.4.4. Propriétés et intérêt des argiles.....</u>	39
<u>II.4.5. Le Principe de méthode de traitement des eaux usées par l'argile.....</u>	39

II.4.5.1. Pouvoir d'absorption.....	39
II.4.5.2. Pouvoir de fixation.....	40
II.4.6. Post traitement des eaux usées des effluents des oléicoles (OME) par l'argile active.....	40
II.4.7. Traitement des eaux usées de Touggourt par l'argile de Bildet Omar.....	40

Chapitre III: Matériels et Méthodes

III.1. Présentation de la station d'épuration de la wilaya de Msila42

III.1.1. Localisation.....	42
III.1.2. Données de base.....	42
III.1.2.1. Capacité de la STEP.....	42
III.1.2.2. Charge de pollution prise en considération par la STEP.....	42
III.1.3. Rôle des stations d'épuration.....	43
III.1.4. Procède d'épuration utilise au niveau de la station.....	44
III.1.4.1. Prétraitement.....	44
III.1.4.2. Traitement primaire (décantation primaire).....	44
III.1.4.3. Traitement secondaire.....	45
III.1.4.3.1. Traitement biologique.....	46
III.1.4.4. Traitement trentaine.....	47
III.1.4.5. Traitement des boues.....	47
III.1.5. Echantillonnage.....	48

III.2. Procèdes de traitement des eaux usées

III.2.1. Technique d'électrocoagulation (EC).....	48
III.2.1.1. Description du montage expérimental.....	48
III.2.2. Traitement des eaux usées par la fibre Alfa.....	50
III.2.3. Traitement des eaux usées l'argile.....	51
III.2.4. Traitement des eaux usées l'hybride (Argile+la fibre Alfa).....	52
III.2.5. Traitement des eaux usées par les deux méthodes par vois électrocoagulation et l'hybride (EEC/ARAF).....	53
III.3. Les analyses physico-chimiques.....	54
III.3.1. Le pH.....	54
III.3.2. La Température.....	55
III.3.3. La Conductivité.....	56
III.3.4. oxygène dissous.....	56
III.3.5. La Turbidité.....	56
III.3.6. Détermination des matières en suspension (MES).....	57
III.3.7. Demande biologique de l'oxygène (DBO5).....	59
III.3.8. Mesure Demande chimique de l'oxygène (DCO).....	60
III.3.9. Détermination du phosphate PO_4^{-3}	61

III.3.10. L'azote des Nitrates NO ₃ ⁻	62
---	----

Chapitre IV: Résultats et Discussion

IV.1 Les résultats trouvés avant et après le traitement

IV.1.1. Potentiel hydrogène	64
IV.1.2. La température.....	64
IV.1.3. La conductivité électrique.....	65
IV.1.4. Oxygène dissous	66
IV.1.5. La turbidité	67
IV.1.6. Matières en suspension	68
IV.1.7. Demande biochimique en oxygène.....	69
IV.1.8. Demande chimique en oxygène.....	70
IV.1.9. Notion de biodégradabilité.....	71
Conclusion générale	72
Références bibliographiques	

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure 1	Une eau usée (Selsabil et Halla .2023)	3
Figure 2	Une eau usée agricole	5
Figure 3	Phénomène de coagulation-floculation	13
Figure 4	Schéma du principe de l'électrocoagulation	19
Figure 5	Diagramme de solubilité d'hydroxyde d'aluminium $Al(OH)_3(s)$ en fonction du pH pour des espèces en aluminium mononucléaires	21
Figure 6	différents types de connexion	22
Figure 7	Les étapes de transfert de matière dans une cellule électrochimique	23
Figure 8	Décomposition de la tension de cellule électrochimique	25
Figure 9	Illustrations de la plante d'Alfa à l'état brut	32
Figure 10	L'alfa en Willaya M'sila	32
Figure 11	Morphologie de la plante d'Alfa	33
Figure 12	Argile de la région M'sila (Algérie).	36
Figure 13	Argile verte.	38
Figure 14	Argile rouge	38
Figure 15	Vu de la STEP de Sidi Aissa (Google earth, 2023).	42
Figure 16	Dégrillage STEP Sidi Aissa	44
Figure 17	Dessablage, Dégraissage STEP Sidi Aissa	45
Figure 18	Bassin d'aération STEP Sidi Aissa	46
Figure 19	Décantation secondaire STEP Sidi Aissa	47
Figure 20	lits de séchage des boues STEP Sidi Aissa	47
Figure 21	prélèvement les échantillons STEP Sidi Aissa	48
Figure 22	Le dispositif expérimental d'électrocoagulation	49
Figure 23	La filtration (E/EC)	50
Figure 24	Fibre d'Alfa	50

Figure 25	Traitement des eaux usées par la fibre d'Alfa (E/AF)	51
Figure 26	Traitement des eaux usées par l'argile (E/AR)	52
Figure 27	Traitement l'eau usé par l'hybride (E/ARAF)	53
Figure 28	Traitement E/EC par l'hybride (E/ECARAF)	54
Figure 29	L'appareil de pH mètre	55
Figure 30	L'appareil de multi-paramètre dans STEP Sidi Aissa	55
Figure 31	l'appareil de Turbidimètre	57
Figure 32	Détermination des matières en suspension (MES) STEP Sidi Aissa	58
Figure 33	les flacons de DBO ₅	59
Figure 34	Le DBO mètre utilisé dans STEP de sidi Aissa	60
Figure 35	Les étapes de détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) STEP Sidi Aissa	61
Figure 36	Photo représentant la manipulation pour la détermination de PO ₄ ³⁻ STEP Sidi Aissa	62
Figure 37	Photo représentant la manipulation pour la détermination de NO ₃ ⁻	63
Figure 38	Le PH des eaux usées avant et après traitement	64
Figure 39	La température des eaux usées avant et après le traitement	65
Figure 40	La conductivité des eaux usées avant et après le traitement	66
Figure 41	L'oxygène dissous des eaux usées avant et après le traitement	67
Figure 42	La turbidité des eaux usées avant et après le traitement	68
Figure 43	Le MES des eaux usées avant et après le traitement	69

Figure 44	La DBO ₅ des eaux usées avant et après le traitement	70
Figure 45	La DCO des eaux usées avant et après le traitement	71
Figure 46	La DCO/ DBO ₅ des eaux usées avant et après le traitement	72

Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 1	Dérivés des sels d'aluminium et de fer	15
Tableau 2	Composition chimique de fibre d'alfa	33
Tableau 3	Charge de pollution prise en compte pour le dimensionnement de la STEP de Sidi Aissa (ONA, 2023).	43
Tableau 4	Qualité prévue des eaux traitées sortantes de la STEP de Sidi Aissa (ONA, 2023).	43

Liste des abréviations

Hg : Le mercure

Cd : Le cadmium

Pb : Le plomb

Ag : L'argent

Cu : Le cuivre

Cr : Le chrome

Ni : Le nickel

Zn : Le zinc

MES : Matières en suspension

MVS : les matières volatiles en suspension

MMS : Les matières minérales en suspension

DBO₅ : La demande biologique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

MO : Matière organique

O₂ : L'oxygène

NH⁴⁺ : Azote ammoniacal

K : Coefficient

EC : L'Électrocoagulation

Mn : Le magnésium

Al : L'aluminium

Fe : le fer

Sn : L'étain (stannum)

Mg : Le magnésium

Mo : les matières organiques

Ca : Le Calcium

Pt : Le platine

TPH: hydrocarbures totales de pétrole

TBX: Toluène, Benzène et xylène

Al⁺³: Ion aluminium

Al(OH)⁺² : Aluminium hydroxide

OH⁻ : L'anion hydroxyde (ou hydroxyle)

STEP : station d'épuration des eaux usée

ONA : Office national de l'assainissement

NH⁺⁴: Azotes ammoniacal

NO⁻³: Nitrates

NO⁻²: Nitrites

PO⁻³: Phosphate

EBE : Eau brute entrée

EPS : Eau purée sortie


E/EC : Eau usée traité par l'électrocoagulation

E /AR : Eau usée traité par l'argile

E /AF : Eau usée traité par Alfa

E/ARAF : Eau usée traité par l'hybride (Argile+Alfa)

(E/ECARAF) : Eau usée traité par l'électrocoagulation et l'hybride (ARAF)



Introduction générale

Introduction générale

Les eaux usées sont une source de pollution pour l'écosystème. La plupart des rejets causés par diverses activités humaines dans les rivières voisines sont généralement évacués. Alors que 40 % de la population mondiale n'a pas accès à l'assainissement, il est également essentiel de développer des systèmes et des procédés accessibles au plus grand nombre. La gestion des eaux usées doit également contribuer à réduire la pression sur les ressources naturelles : récupération et production d'énergie, recyclage des eaux urbaines et industrielles en eau propre, et conversion des composants valorisables qu'elles contiennent en ressources. Dans ce cas, les eaux usées, qu'elles soient domestiques ou industrielles, ne doivent pas être rejetées directement dans le milieu naturel car elles peuvent causer de graves problèmes environnementaux et de santé publique. Afin d'éviter le risque de pollution ou d'en réduire la quantité, les eaux usées doivent être dirigées vers des stations d'épuration dont le rôle est de concentrer la pollution présente dans les eaux usées sous la forme d'une faible quantité de résidu, sous forme de boues, et de rejeter des eaux pures une eau qui répond à des normes très précises, grâce à la physique. Procédés chimiques ou biologiques. La problématique de l'assainissement des eaux usées en Algérie est un sujet qui demeure entier, malgré les nombreuses initiatives entreprises jusqu'à ce jour. Pour cela, la nécessité d'un traitement adéquat des eaux usées par lequel de contribuer à l'amélioration des performances du traitement. Les traitements varient en fonction de la nature de ces eaux usées et de la sensibilité à la pollution du milieu récepteur. Les procédés d'épuration adoptés en Algérie à travers les différentes stations d'épurations sont limités à deux procédés dont l'objectif est l'élimination de la pollution carbonée :

- Procédés à boues activées
- Lagunage naturel

Il existe plusieurs types différents de procédés de traitement des eaux usées, le procédé biologique, procédé par voie électrochimique et par voie chimique....

La plupart des villes algériennes sont construites sans plan d'assainissement strict, ce qui rend désormais compliquée la recherche d'une solution. Les systèmes de collecte et de traitement des eaux usées sont peu développés voire inexistants. L'épuration des eaux usées nécessite de nouvelles méthodes plus fiables, plus faciles à traiter et moins coûteuses.

A cet égard, notre étude s'est concentrée où nous avons effectué des analyses physico-chimiques des prélèvements de la station d'épuration de la ville de Sidi Aissa, à l'entrée et à

Introduction générale

la sortie de la station. Dans la deuxième étape, les échantillons ont été traités par méthode électrochimique, méthode d'argile et méthode de fibres végétales.

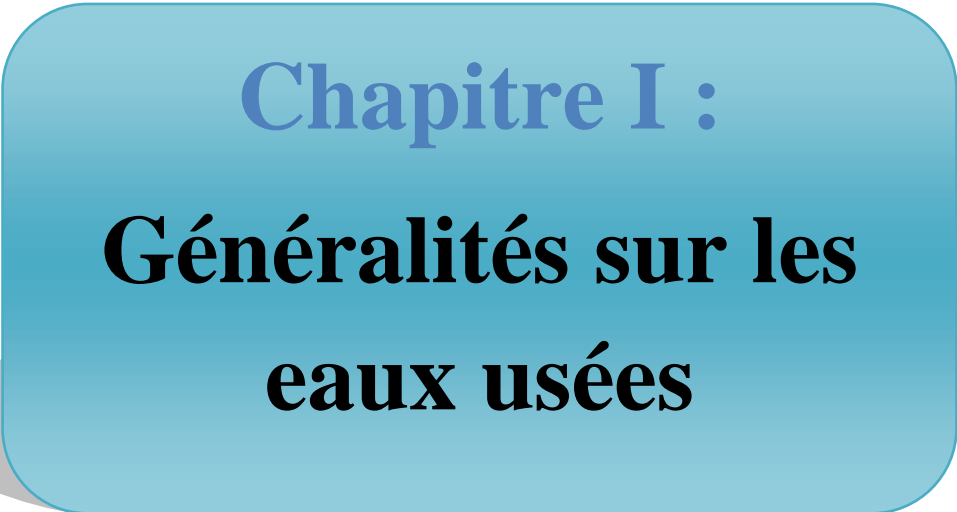
Ce travail a été organisé autour de quatre chapitres.

Le premier chapitre est consacré à une étude bibliographique générale sur les origines et les caractéristiques des eaux usées.

Le deuxième chapitre est représenté les différentes méthodes de traitement des eaux usées.

Le troisième chapitre s'attache à décrire les méthodes expérimentales et à traiter des résultats obtenus sur le site d'étude afin de déterminer la meilleure méthode de traitement.

Le quatrième chapitre présente les résultats d'analyses et leurs interprétations avec analyse. Le travail est achevé par une conclusion générale résumant les principaux résultats de cette étude.



Chapitre I :
Généralités sur les
eaux usées

Introduction

L'eau est une ressource essentielle pour toute vie sur la planète et la gestion de l'eau ou l'intendance de l'eau est essentielle à la vie de tous les êtres vivants, en particulier la gestion des ressources et donc la déforestation et les effets du réchauffement climatique.

I.1. Définition des eaux usées

La pollution de l'eau s'explique par une modification défavorable ou nocive des propriétés physico-chimiques et biologiques, produite directement ou indirectement par les activités humaines, les rendant impropres à l'utilisation normale et probe à la consommation. Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent à s'intègre dans les canalisations d'assainissement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluies si elles sont chargées de polluant, elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance (Figure 1) [1].



Figure 1: Une eau usée (Selsabil et Halla .2023)

I.2. Origines des eaux usées

Les eaux usées proviennent essentiellement des activités humaines qui sont d'origine ; urbaines, industrielles ou agricoles ainsi que les eaux de précipitation.

I.2.1. Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (lavage, toilette, cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales), dans le système dit « tout-à-l'égout ». Les eaux usées domestiques contiennent des matières organiques et des matières minérales. Les

matières Organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de Carbone, oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote et, dans certains cas, d'autres corps tels Que soufre, phosphore, fer, etc.) et Les matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) [2].

I.2.2. Les eaux usées industrielles

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

- des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage) ;
- des hydrocarbures (raffineries) ;
- des métaux (traitements de surface, métallurgie) ;
- des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques divers, tanneries) ;
- de l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
- des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux usées industrielles doivent faire l'objet d'un traitement. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations [3].

I.2.3. Les eaux usées agricoles :

Il s'agit d'eau polluée par des substances utilisées en agriculture. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement [4] :

- Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non dans l'exploitation agricole)
- Des produits phytosanitaires (herbicides, insecticides, fongicides, ...) (Figure 2).



Figure 2: Une eau usée agricole

I.2.4. Les eaux pluviales

Les eaux de pluie ruissellent et collectés dans les égouts de rues ou elles sont accumulées par les polluants atmosphériques, poussières, détritiques, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluie collectées à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu Aquatique [1].

I.3. Pollution de l'eau

I.3.1. Définition

La contamination et la pollution se rapportent toute les deux à la présence des produits chimiques dans l'environnement. La contamination se réfère à la présence d'un ou plusieurs produits chimiques à des concentrations plus hautes que la normale, mais non assez pour causer des dégâts biologiques ou écologiques.

Cependant le verbe Polluer est dérivé du latin polluer: de faute ou de corruption. De ce fait le sens le plus commun est de faire quelque chose d'impropre ou nuisible pour les êtres vivants, en particulier par l'ajout des déchets ou des eaux usées.

Les polluants peuvent être également caractérisés par leur classes chimiques ou physiques, par leur utilisations, par leur sources industrielles, par la forme ou ils sont susceptibles d'être présents (dans l'air, l'eau, la nourriture ou d'autres médias), par les organes qu'ils attaquent ou leur effets sur la santé , par les lois qui contrôlent leur utilisations

et par leur formes de présences causant problème a l'échelle local, régional ou mondial. Tous ces systèmes de catégorisation sont valides mais aucun n'est sans défauts [5].

On distingue souvent selon la nature de l'altéragène suivant les types de pollution :

- La pollution physique.
- La pollution chimique.
- La pollution biologique.

I.4. Les différents types de pollution des eaux usées

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 trois types de pollutions : mécanique, thermique et radioactive.

a- Pollution mécanique : Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les eaux résiduaires industrielles, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit des éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension **MES** [6].

b. Pollution thermique : Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries..); ont une température de l'ordre de (70 à 80°C) Elle diminue jusqu'à (40 à 45°C) lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène [7].

c. Pollution radioactive : C'est celle qui est occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets qui trouvent leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ces formes (installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs). Les éléments radioactifs s'incorporent dans les molécules des organismes vivants. Plus on s'élève dans la chaîne alimentaire plus les organismes sont sensibles aux rayonnements [7].

I.4.2. Pollution chimique

La pollution chimique des eaux résulte de la libération de certaines substances minérales toxiques dans les cours d'eaux, par exemple : les nitrates, les phosphates, l'ammoniac et d'autres sels, ainsi que des ions métalliques. Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses. Les polluants chimiques sont actuellement divisés en quatre catégories [8] :

- Les substances chimiques dites indésirables.
- Les pesticides.
- Les produits apparentés. -Les détergents.
- Les colorants et autre éléments toxiques.

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

a-Pollution organique : ce sont les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (Biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, battoirs, sucreries...), et par les effluents domestiques. La première conséquence de cette pollution est la consommation d'oxygène dissous dans l'eau. Les polluants organiques sont principalement les détergents, les pesticides et les hydrocarbures [9]:

- **Les détergents** : ce sont des composés tensioactifs synthétiques dont la présence dans les eaux est due aux rejets d'effluent urbains et industriels.

- **Les pesticides** : les pesticides constituent un problème majeur pour l'environnement. Ce sont produits utilisés généralement en agriculture, les conséquences néfastes dues aux pesticides sont liées aux caractères suivants :

- stabilité chimique conduisant à une accumulation dans les chaînes alimentaires.
- Rupture de l'équilibre naturel.

- **Les hydrocarbures** : provenant des industries pétrolières et des transports, ce sont des substances peu solubles dans l'eau et difficilement biodégradables leur densité inférieure à l'eau les fait submerger. En surface, ils forment un film qui perturbe les échanges gazeux avec l'atmosphère [4].

b- Pollution minérale : Les impuretés présentes dans l'eau minérale peuvent provoquer des troubles de croissance chez les plantes ou des troubles physiologiques chez les animaux. Les contaminants minéraux sont principalement des métaux lourds et des minéraux [10].

-**Les métaux lourds** : éléments possédant une masse volumique supérieure ou égale à 5 g.cm^{-3} . Ces métaux lourds constituent des polluants qui ne se dégradent pas dans l'environnement. Ils s'accumulent dans les organismes vivants et peuvent contaminer l'ensemble d'une chaîne alimentaire. Ce sont essentiellement le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le plomb l'argent (Ag), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le nickel (Ni) et le zinc (Zn). Ces éléments, bien qu'ils puissent avoir une origine naturelle (roches du sous-sol, minerais),

proviennent essentiellement de la contamination des eaux par des rejets d'activités industrielles diverses [11].

- **Les éléments minéraux nutritifs** : provenant pour l'essentiel de l'agriculture et des effluents domestiques, ils sont à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques [9].

I.4.3. Pollution biologique :

La pollution biologique est l'introduction d'espèces exogènes ou d'organismes génétiquement modifiés dans un milieu, ainsi que les modifications environnementales qui aboutissent à une modification des peuplements [12]. Les polluants biologiques sont des organismes vivants (animaux, végétaux, champignons, moisissures, etc.). Ils peuvent affecter la santé des êtres vivants (la santé publique) directement ou indirectement.

I.5. Paramètres caractéristiques des eaux usées

Les paramètres de pollution des eaux usées se divisent en 3 groupes :

I.5.1. Paramètres organoleptiques

I.5.1.1 L'odeur

L'eau d'égout fraîche a une odeur fade qui n'est pas désagréable, par contre en état de fermentation, elle dégage une odeur nauséabonde [13].

I.5.1.2. La couleur

La couleur des eaux usées domestiques est principalement grisâtre, le noir indique une décomposition partielle, d'autres couleurs indiquent l'afflux d'effluents industriels [13].

I.5.2. Paramètres physiques

I.5.2.1. La température

C'est une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels. Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants. D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond [14].

I.5.2.2. Les matières en suspension (MES)

Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques (MVS) ou minérales (MMS), non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. Les MES s'expriment par la formule (1).

$$\text{MES} = 30\% \text{ MMS} + 70\% \text{ MVS} \quad (1)$$

❖ Les matières volatiles en suspension (MVS)

Elles représentent la fraction organique des MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105°C et les MES à 525°C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau ;

❖ Les matières minérales en suspension (MMS)

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son « extrait sec » constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates, etc. L'abondance des matières minérales en suspension dans l'eau augmente la turbidité, réduit la luminosité et par ce fait abaisse la productivité d'un cours d'eau, entraînant ainsi une chute en oxygène dissous et freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la réaération de l'eau. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygène [15].

I.5.2.3. La turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, c'est en fait un paramètre de pollution qui indique la présence de substances organiques ou minérales sous forme colloïdale en suspension dans l'effluent. Elle varie en fonction des matières en suspension (MES) présentes dans l'eau [13].

I.5.3. Paramètres chimiques

I.5.3.1. Le potentiel d'hydrogène (PH)

Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 ; la valeur 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Le pH exprime le potentiel en hydrogène, indique la concentration en ion H^+ , il joue un rôle important dans : Les propriétés physico-chimiques (l'acidité et l'alcalinité) ; L'efficacité de certains procédés (coagulation-floculation) ; Le processus biologique.

Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie d'après la formule (2) [16].

$$\text{PH} = \log 1/ [H^+] \quad (2)$$

I.5.3.2. La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

Il exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour détruire ou décomposer la matière organique présente dans les eaux usées par les micro-organismes de

l'environnement. Mesurée par la consommation d'oxygène à 20°C dans l'obscurité pendant 5 jours d'incubation de l'échantillon pré-ensemencé, temps pour assurer l'oxydation biologique de la matière organique carbonée [17].

I.5.3.3. La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est une mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer chimiquement toutes les matières organiques biodégradables et non biodégradables dans l'eau en utilisant du bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg O₂/l. La valeur du rapport DCO/DBO indique le coefficient de biodégradabilité d'un effluent, il permet aussi de définir son origine [18].

Généralement la valeur de la DCO est :

- DCO = 1,5 à 2 fois DBO Pour les eaux usées urbaines ;
- DCO = 1 à 10 fois DBO Pour tout l'ensemble des eaux résiduaires ;
- DCO > 2,5 fois DBO Pour les eaux usées industrielles.

La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO₅ et la DCO est donnée par la formule (3) :

$$MO = (2 DBO_5 + DCO)/3 \quad (3)$$

I.5.3.4. Conductivité

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations [19].

I.5.3.5. L'azote

L'azote se trouve dans l'eau usée sous forme organique ou ammoniacale dissoute. Il est souvent oxydé pour éviter une consommation d'oxygène (O₂) dans la nature et un risque de toxicité par l'ammoniaque gazeux dissous (NH₃), en équilibre avec l'ion ammoniac (NH⁴⁺) [20].

I.5.3.6. Le phosphore

Le phosphore peut également se trouver sous forme minérale (en provenance des lessives ou des rejets industriels) ou organique. Élément indispensable à la vie des algues, la présence de phosphore entraîne un risque d'eutrophisation du cours d'eau ou du lac, c'est à dire que celui-ci peut se voir envahi par un développement excessif de la population algale [20].

I.5.3.7. Notion de biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent aqueux à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans les processus d'épuration biologique des eaux. La biodégradabilité est exprimée par un coefficient : $K = DCO / DBO$.

Si [1] :

- $K < 1.5$ L'effluent est biodégradable.
- $1.5 < K < 2$ L'effluent est moyennement biodégradable.
- $K > 2$ L'effluent n'est pas biodégradable.

I.5.3.8. Oxygène dissous

La présence d'oxygène dans l'eau est essentielle à la respiration de la vie aquatique aérobie. En dessous d'un certain seuil de concentration en oxygène, les poissons suffoquent. L'oxygène contenu dans l'eau permet également le processus d'oxydation de la matière organique (autoépuration), mais cette décomposition appauvrit le milieu aquatique en oxygène [19].

I.6. Risques de la pollution par les eaux usées

La pollution de l'eau est un changement qui rend son utilisation dangereuse et perturbe les écosystèmes aquatiques et l'environnement. Elle peut affecter les eaux de surface ou les eaux souterraines et constitue donc un danger pour la santé publique. La pollution de l'eau est liée à diverses voies vers le développement durable:

I.6.1. Risques sur la santé humaine

Les eaux usées peuvent contenir des pesticides, des micro-organismes pathogènes (virus, bactéries, parasites), et des éléments toxiques. Ils sont dangereux pour la santé humaine. Quand les populations consomment une eau polluée, cela a des conséquences sur leur santé. Dans les pays pauvres, l'accès à une eau de bonne qualité est très difficile car les installations pour assainir l'eau coûtent chères. Ces micro-organismes peuvent être la cause de maladies (par exemple : choléra, cancers) en Inde, des habitants sont morts du fait de la boisson de l'eau polluée [4].

I.6.2. Risques sur l'environnement

Cela concerne la biodiversité (sol, impacts sur les eaux de surface, impacts sur les eaux souterraines). C'est ainsi que des espèces ont disparu (c'est la cause du dauphin en Chine)

I.6.2.1. Impacts sur le sol

Ces impacts sont d'une importance particulière pour les agriculteurs. Puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit rester à un bon

niveau de fertilité, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les problèmes présents au niveau du sol sont [4] :

- ✓ L'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol.
- ✓ L'accumulation d'éléments potentiellement toxiques.
- ✓ L'accumulation de nutriments.
- ✓ La salinisation.

I.6.2.2. Impacts sur les eaux souterraines

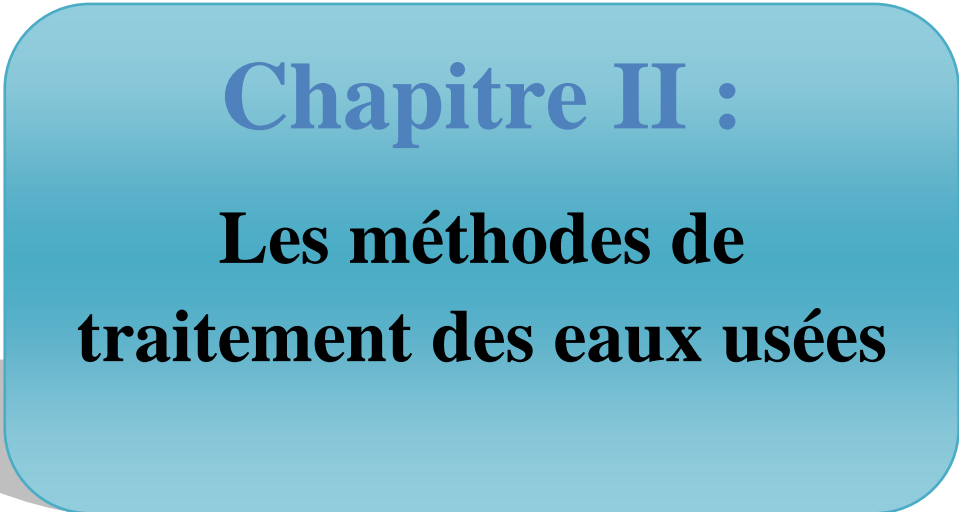
Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constitutions de l'eau usée est possible par l'infiltration de ces dernières [21].

I.6.2.3. Impacts sur les eaux superficielles

Parfois, ces déchets finissent directement dans le milieu naturel. La présence excessive de phosphates, favorise le phénomène d'eutrophisation, c'est-à-dire la prolifération d'algues qui diminue la qualité d'oxygène contenue dans l'eau et peut provoquer à terme la mort des espèces vivantes comme les poissons et d'autres organismes aquatiques qui y vivent [22].

Conclusion

A travers les paragraphes précédents, nous avons expliqué les différentes origines de la pollution de l'eau, et identifié les principaux paramètres responsables de cette pollution, les risques qui en découlent



Chapitre II :
**Les méthodes de
traitement des eaux usées**

II.1. Coagulation floculation

Le mot coagulation vient du latin *coagulare* qui signifie « agglomérer » [24], c'est une opération qui permet de débarrasser les eaux usées des impuretés qu'elles contiennent grâce à la réaction d'émulsion. La coagulation a donc pour but principal de déstabiliser les fines particules en suspension pour ainsi faciliter leur agglomération [25].

Généralement caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques, ce procédé permet d'augmenter substantiellement l'efficacité des traitements secondaires. La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées [24] (Figure 3).

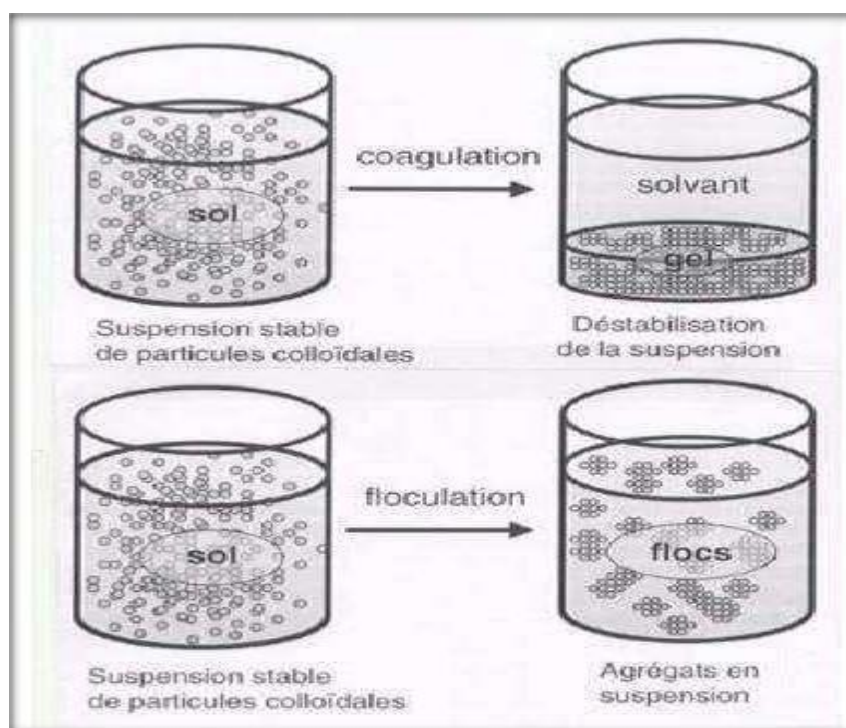


Figure 3 : Phénomène de coagulation-floculation [26].

II.1.1. Rôle de la coagulation-floculation :

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination des matières en suspension et des colloïdes en les combinant sous forme de floccs, qui sont ensuite séparés par des systèmes de sédimentation, de flottation et/ou de filtration (voir Clarificateurs – Flotteurs Tentacules et Filtres) ; Ce sont des traitements de base pour la correction totale ou partielle des pertes en eau causées par des fractions de particules inertes (limons, argiles, colloïdes) ou vivantes (micro algues planctoniques ; micro invertébrés, en particulier les kystes des protozoaires parasites : amibes, Giardia, Cryptosporidium... ; bactéries). Ils

assurent aussi l'élimination de la fraction « flocculable » des matières organiques (macromolécules, en particulier la plupart des acides humiques responsables de la couleur), de certains métaux lourds, plus généralement de la fraction des micropolluants associée à ces MES et macromolécules colloïdales dont les virus, pratiquement toujours portés par les MES et colloïdes de l'eau [26].

II.1.2. La coagulation

La coagulation est un procédé qui consiste la déstabilisation des particules en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives, On utilise, pour ce faire, des réactifs chimiques nommés coagulants. Le procédé nécessite une agitation importante [27].

II.1.2.1 Principe

Les particules colloïdales en solution sont intrinsèquement chargées négativement. Par conséquent, ils ont tendance à se repousser et à rester suspendus dans les airs. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution. La coagulation est la déstabilisation des particules en suspension en neutralisant leurs charges négatives. Des réactifs chimiques appelés coagulants sont utilisés à cette fin. [24].

L'adjonction du coagulant produit dans un premier temps un ensemble de réactions complexes d'hydrolyse, d'ionisation et également de polymérisation et dans un second temps, une déstabilisation des colloïdes par un ensemble de mécanismes complexes [28]. Le procédé nécessite une agitation importante [24].

II.1.2.2. Mécanismes de coagulation

Quatre mécanismes sont proposés pour expliquer la déstabilisation des particules et leurs agglomérations :

- ✓ La compression de la double couche.
- ✓ L'adsorption et neutralisation des charges.
- ✓ L'emprisonnement des particules dans un précipité.
- ✓ L'adsorption et pontage entre les particules [29].

II.1.3. La floculation

La floculation est le phénomène de formation de flocons de taille plus importante (agglomération des colloïdes déchargés dans un réseau tridimensionnel). On utilise, pour se faire, des flocculants ou adjuvants de floculation. Contrairement à l'étape de coagulation, la floculation nécessite une agitation lente [27].

II.1.3.1. Principe

La floculation est l'agrégation des particules déjà déstabilisées, par collision les unes contre les autres ce qui conduit à la croissance en taille du floc et à la diminution en nombre des particules en solution [30].

Les processus préalables à la floculation sont :

- ✓ La coagulation
- ✓ Les oxydations chimiques ou biologiques qui détruisent les colloïdes protégés
- ✓ Le changement des conditions générales tel que le pH et la température
- ✓ Et enfin, l'utilisation de réactifs auxiliaires (par exemple : les adjuvants de floculation).

Comme pour la coagulation, il existe un certain nombre de paramètres à prendre en compte pour le bon fonctionnement de ce procédé. Le mélange doit être suffisamment lent afin d'assurer le contact entre les floccs engendrés par la coagulation. En effet, si l'intensité du mélange dépasse une certaine limite, les floccs risquent de se briser. Il faut également un temps de séjour minimal pour que la floculation ait lieu. La durée du mélange se situe entre 10 et 60 minutes [24].

II.1.4. Coagulants et flocculant chimiques

Plusieurs agents chimiques peuvent être employés dans le procédé de coagulation floculation. Les sels métalliques sont indéniablement les coagulants les plus utilisés actuellement dans le monde. Récemment, plusieurs types de coagulants et de flocculant inorganiques sous formes de polymères ont été développés et sont maintenant largement utilisés en Chine, au Japon, en Russie et l'Europe de l'Est [31]. D'autres recherches ont montré que l'utilisation de polymères d'origine biologique est une avenue forte prometteuse (Tableau 1).

Tableau 1 : Dérivés des sels d'aluminium et de fer [32].

Sels d'aluminium	Sels de fer
Sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$)	Chlorure ferrique ($AlCl_3$)
Chlorure d'aluminium ($AlCl_3$)	Sulfate ferrique ($Fe_2(SO_4)_3$)
Aluminate de sodium ($NaAlO_2$)	Sulfate ferreux ($FeSO_4$)

II.1.5. Le traitement physico-chimique par coagulation-floculation des rejets des eaux usées de la ville de Salé.

I. Majdy et al [33]. La croissance démographique qui ne cesse d'augmenter de la ville de Salé engendre un volume de plus en plus important des eaux usées. Ces eaux sont rejetées directement dans le littoral et l'estuaire de Bouregreg sans aucun traitement au préalable. Afin de préserver la qualité de ces milieux récepteurs, la recherche d'une méthode adéquate du traitement de ces eaux usées s'avère nécessaire. L'objectif de ce travail consiste au traitement physico-chimique des eaux usées par coagulation floculation en utilisant le chlorure ferrique (FeCl_3) comme coagulant chimique. Cette méthode s'inscrit parmi les techniques de traitement appropriées pour réduire la pollution des eaux. Ainsi, de nombreux essais de JAR test ont été effectués afin de déterminer les conditions optimales qui permettent de réduire les matières en suspension. Une diminution très importante de la turbidité a été observée suite à la décantation des matières en suspension existantes dans les eaux usées. L'équation expérimentale résultante de la corrélation entre le temps de la décantation et la hauteur de la colonne de sédimentation a été validée suivant la loi de Kynch.

II.1.6. Technique de coagulation-floculation pour le traitement des eaux usées domestiques dans la ville d'Ain Aouda, Rabat, Maroc.

Naif Al-Jadabi et al [34]. Le but de cette étude était d'étudier la performance des tests de coagulation-floculation et de sédimentation pour réduire les concentrations de contaminants dans les eaux usées domestiques à des niveaux écologiquement acceptables. Les tests ont été effectués au laboratoire (ONEE) à l'aide d'un appareil de test de pot (GPB FLC Didatec, France) pour améliorer le traitement primaire des effluents d'eaux usées domestiques de la station d'épuration de la ville d'Ain Aouda, Rabat, Maroc. Le sulfate d'aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (appelé alun) a été utilisé comme coagulant dans l'étude. L'impact des doses de coagulant et du pH à dosage optimal sur le processus de coagulation a été étudié et les conditions ont été optimisées pour obtenir la meilleure élimination des polluants étudiés. L'évolution des paramètres physico-chimiques avant et après traitement a été suivie pour déterminer l'efficacité du procédé. La turbidité et le total des solides en suspension (TSS) étaient les meilleurs indicateurs de l'efficacité du traitement de la concentration de coagulant (150 mg/L) dans le pH optimal de 7. Les tests de laboratoire ont montré 98,4 % de turbidité et 97 % d'élimination totale des solides en suspension au départ. Concentrations de 121 NTU, 220 mg/L respectivement. De plus, il a montré une bonne efficacité d'élimination pour

la DCO, la DBO₅ de l'ordre de 83 %, 77 % à des concentrations initiales de 340 mg/L, 150 mg/L respectivement. Suite aux tests de coagulation, l'examen des principaux paramètres étudiés a révélé que le degré de contamination avait diminué. Ceci est confirmé que le sulfate d'aluminium en tant que coagulant a prouvé son efficacité dans le traitement des eaux usées domestiques dans cette étude.

II.1.7. Traitement des lixiviats de décharge par coagulation-floculation

F .Khalil et al [35]. La coagulation-floculation fait partie des techniques couramment utilisées pour le traitement des rejets de lixiviat des décharges. Le présent travail présente les résultats obtenus lors du traitement des lixiviats collectés à la décharge de la ville de Fès par le procédé de coagulation-floculation utilisant quatre coagulants tels que : la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$, le chlorure ferrique FeCl_3 , le sulfate ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ et sulfate d'aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. L'efficacité du procédé est mesurée en termes d'éléments métalliques, de turbidité, de production de boues et de décoloration. Traitement avec de la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a permis une décoloration significative et une élimination de la turbidité de 99 % tout en produisant un volume de boue de 647 ml/l. Quant au traitement au FeCl_3 , les résultats ont montré une élimination de 75 % de la turbidité et une faible production de boues décantées (245 ml/l). Le traitement au $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ réduit la turbidité de 79 % et produit un volume de 264 ml/l de boues décantées proche de celui produit par le FeCl_3 (245 ml/l). De plus, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ayant une élimination de la turbidité d'environ 97 % et un volume de boue décantée légèrement inférieur au produit lors du traitement à la chaux (568 ml/l). Concernant l'analyse des éléments métalliques, les résultats ont montré une élimination substantielle des éléments métalliques en particulier les éléments As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn et Sb. Le traitement à la chaux a montré une plus ou moins grande affinité pour Cr (90 %), Fe (96 %) et Mn (99 %). Le chlorure ferrique et le sulfate ferrique permettent l'élimination de la plupart des éléments métalliques avec une forte affinité pour Cd, Cu, Ni, Cr et Zn. Le sulfate d'aluminium est très approprié pour l'élimination du Nickel Pb, Cr, Zn, respectivement 95 %, 94 %, 84 % et 93%.

II.2. L'Électrocoagulation (EC)

II.2. 1. Historique du procédé

L'électrocoagulation (EC) est une technique de traitement développée avant le 20^{ème} siècle. Une station pilote a été construite à Londres en 1889 pour traiter de l'eau de mer par électrolyse. Une demande de licence a été déposée par A.E. Dietrich en 1906 pour le traitement des eaux usées de manufactures.

En 1909, J.T. Harries reçut une licence des USA pour le traitement des eaux usées par des électrodes de fer et d'aluminium [36].

En 1912, deux autres stations de traitements des eaux usées furent construites sur ce principe, aux Etats-Unis. Cependant leur fonctionnement fut stoppé quelques années plus tard (1930) en raison du coût qui était deux fois plus élevé que celui d'un traitement classique [37].

Un procédé similaire a été développé en Grande Bretagne pour traiter les eaux de rivière par des électrodes de fer.

L'EC a été utilisée pendant toutes ces années sans véritablement connaître un succès et sans qu'elle ne soit acceptée par les populations et les industriels. Cependant, ces dernières années, on constate un regain d'intérêt, et son utilisation s'est accrue et bon nombre d'industriels font appel à ce procédé pour le traitement de leur effluent. La technologie a été optimisée pour minimiser la consommation énergétique et pour augmenter l'efficacité du traitement. Son efficacité a été démontrée sur divers polluants. Il est efficace dans le traitement des métaux lourds tels que Pb, Cd, Cr et As ; les métaux tels que Mn, Cu, Zn, Ni, Al, Fe, Sn, Mg, Se, Mo, Ca et Pt ; également des anions tels que CN^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , F et Cl^- ; les non métaux tels que le phosphore et des composés organiques, Hydrocarbures Totales de Pétrole (TPH), Toluène, Benzène et Xylène (TBX), (MTBE), DBO, MES, Minéraux, colorants organiques, huiles et graisses tous des effluents industriels variés [38].

II.2. 2. Principe de l'EC

Le procédé d'électrocoagulation (EC) est issu du procédé de coagulation chimique qui utilise des réactifs chimiques pour la coagulation des colloïdes présents dans les eaux. Pendant l'EC, les agents coagulants (Fe^{2+} et Al^{3+}) sont générés de façon électrochimique en appliquant un courant électrique sur une anode en fer ou en aluminium. La figure 4 : présente le principe du procédé avec des électrodes d'aluminium.

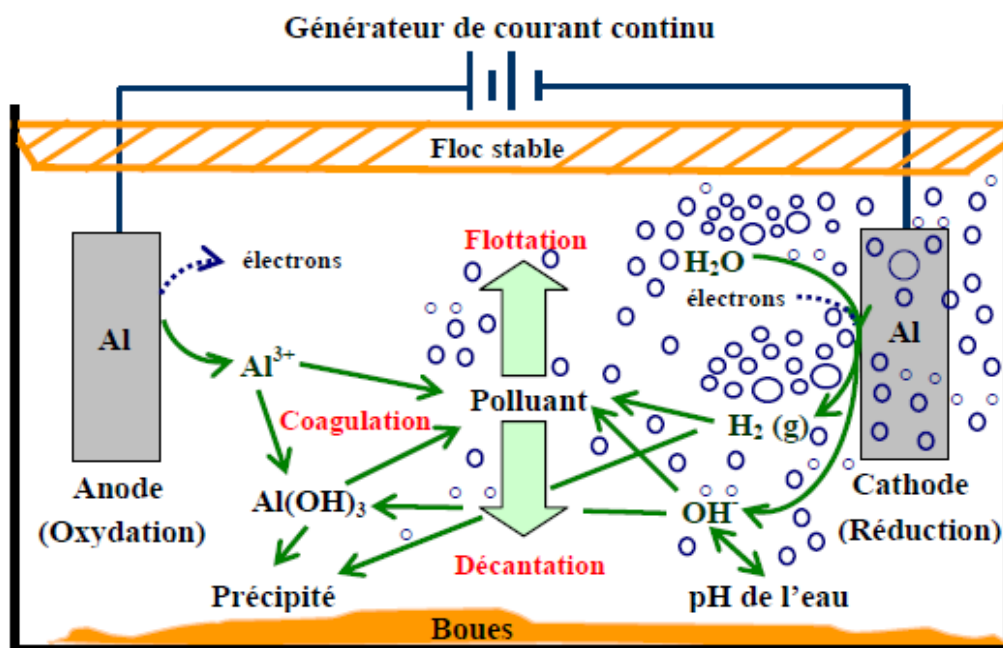


Figure 4: Schéma du principe de l'électrocoagulation [39].

L'action directe d'un champ électrique sur une eau résiduaire permet de créer des conditions d'une bonne coagulation-floculation [40]. En effet le champ électrique permet de créer, d'une part, un gradient de vitesse affectant toutes les particules chargées notamment les ions et les colloïdes facilitant ainsi leur rencontre [36], d'autre part, en utilisant les anodes de fer et d'aluminium, on arrive à faire passer en solution des quantités contrôlables d'ions métalliques indispensables à la création de floccs de taille suffisante.

La séparation de la masse aqueuse est réalisée par flottation ou par décantation. On résume ce processus comme suit [41]:

- a) La formation des coagulants par l'oxydation électrolytique de métaux.
- b) La déstabilisation des contaminants, des polluants, des matières en suspension et la cassure des émulsions.
- c) L'agrégation des phases déstabilisées pour former les floccs.

Cette dernière étape peut être résumée par les sous étapes suivantes :

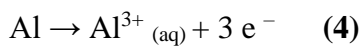
- Présence forte de la double couche diffuse autour des espèces chargées obtenues grâce aux interactions des ions métalliques provenant de la dissolution de l'anode sacrificielle ;
- Neutralisation des espèces ioniques présentes dans l'eau par les cations ;
- Formation de floccs comme le résultat de l'agglomération des particules et des colloïdes autour des espèces coagulées.

Le procédé d'électrocoagulation peut être utilisé seul ou en série avec d'autres procédés dans une chaîne de traitement des eaux.

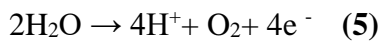
II.2. 3. Electrodes en aluminium

L'électrocoagulation de l'eau usagée en utilisant des électrodes en aluminium a été rapportée par plusieurs auteurs. La dissolution électrolytique de l'anode produit des espèces monomériques cationiques telles que, Al^{3+} et $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ à pH faible, qui sont transformés en $\text{Al}(\text{OH})_3$ aux valeurs du pH appropriées et finalement sont polymérisés en $\text{Al}_n(\text{OH})_{3n}$. Les principales réactions mises en jeu pour des électrodes en aluminium soumises un courant continu sont les suivantes :

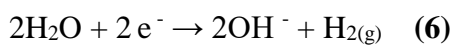
A l'anode, le métal est oxydé suivant la demi - réaction [42,43].



L'auteur Catonne précise que, si la densité de courant est suffisante et si les conditions du milieu s'y prêtent, l'anode peut être également le siège d'une oxydation de l'eau:



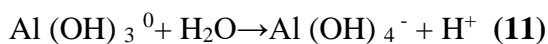
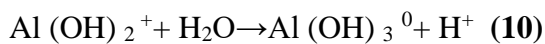
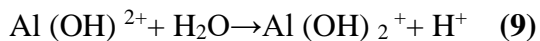
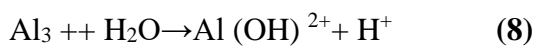
A la cathode, la principale réaction répertoriée dans la bibliographie conduit à la demi -réduction de l'eau [42].



La production d'ions OH^- sur la face cathodique provoque également une dissolution de la cathode par augmentation locale du pH :



L'ensemble des ions Al^{3+} et OH^- générés en solution selon les réaction (5.4) et (5.6) réagissent pour former diverses espèces monomériques Comme $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, par les réactions (5.8), (5.9), (5.11) et polymériques comme $\text{Al}_2(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$, $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{4+}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$, $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$, $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$, qui se transforment finalement en $\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})}$ selon de complexes cinétiques de précipitation [43] :



Ces complexes jouent le rôle similaire à celui des coagulants chimiques dans les traitements chimique classiques. Ils s'adsorbent sur les particules et annulent ainsi les charges colloïdales ce qui conduit à les déstabiliser. La réaction de l'eau à la cathode conduit

à la formation de microbulles d'hydrogène de taille moyenne de l'ordre de 10-20 μm qui s'adsorbent sur les floccs polymérisés $\{\text{Al}_n(\text{OH})_{3n}\}$ et entraînent ainsi leur flottation.

La prédominance des espèces ioniques ou neutres est fonction des conditions opératoire telle que la température, le pH et de la présence d'autres espèces chimiques. Cette prédominance est exprimée sous forme d'un diagramme (Figure 5), mettant en évidence l'évolution de la concentration, sous forme de $\log [\text{Al(III)}]$, en fonction du pH du milieu pour chacun des complexes formés.

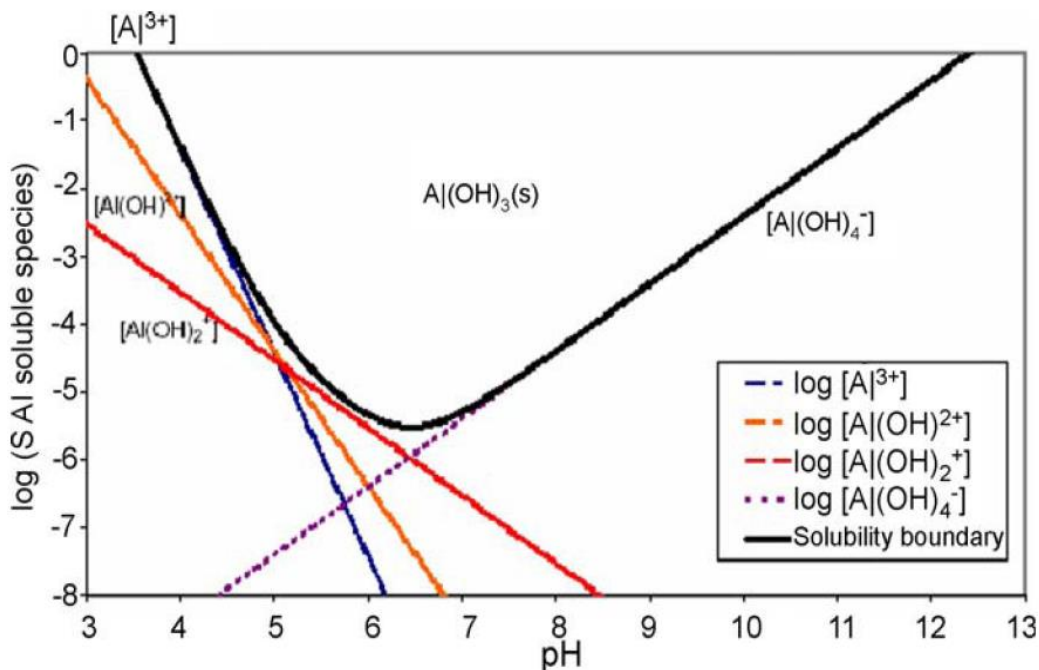


Figure 5: Diagramme de solubilité d'hydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$ en fonction du pH pour des espèces en aluminium mononucléaires [7].

II.2. 4. Les différents types de connexions électriques

Il existe trois types de connexions électriques entre les électrodes. Les cellules électrochimiques peuvent être connectées en série ou en parallèle, seules ou en combinaison avec d'autres types de procédés, tels que des procédés biologiques, des filtres-presses, des décanteurs ou d'autres procédés de traitement physique. On distingue trois modes de connexion électriques: le mode mono polaire en série, le mode bipolaire série et le mode mono-polaire en parallèle. La différence entre les trois modes se trouve dans la connexion entre les électrodes qui entraîne une différence des expressions des tensions et des intensités de courant dans les cellules Selon la (Figure 6) [44].

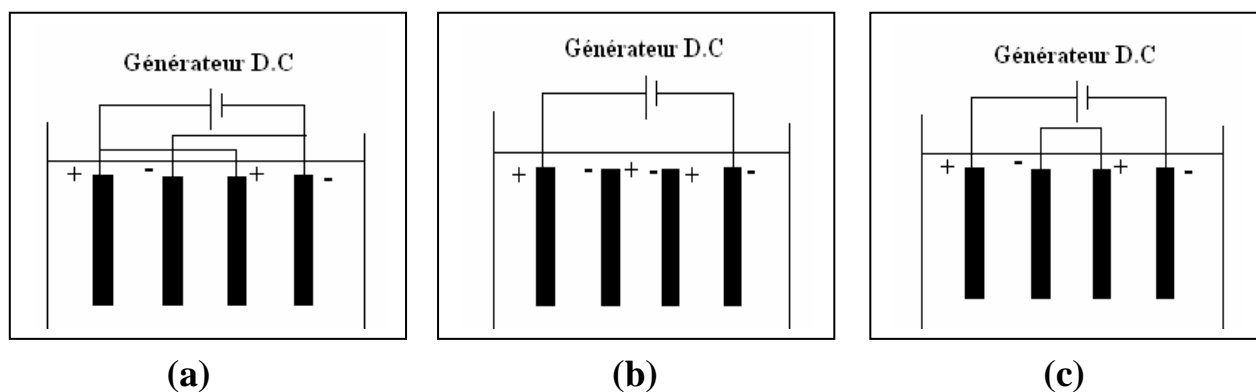


Figure 6 : différents types de connexion [25].

(a) : Connexion mono polaire en série et équivalent électrique.

(b) : Connexion bipolaire et équivalent électrique.

(c) : Connexion mono polaire en parallèle et équivalent électrique.

II.2. 5. Exemple d'application et mise en œuvre du procédé

Les procédés d'EC, largement utilisés dans le domaine des traitements des eaux, ont montré leur flexibilité pour l'élimination de différentes formes de pollution et de polluants. L'électrocoagulation a été appliquée avec succès dans le traitement de plusieurs types de pollution : effluents de l'industrie de textile .Défloration de l'eau potable, eau usagée industrielle contenant les colorants, émulsions l'huile-eau, eau usée huileuse, suspensions aqueuses, traitement d'eau usagée de blanchisserie. De plus, dans les dernières décennies l'EC a été proposé comme procédé efficace pour éliminer les espèces ioniques solubles des solutions, en particulier les métaux lourds [45-57].

II.2. 6. Principales lois de l'électrolyse

Le procédé d'électrocoagulation met en œuvre plusieurs types de phénomènes tels que les réactions chimiques inter-ioniques, les réactions électrochimiques d'oxydoréduction, les phénomènes physiques de transfert de charge à l'interface électrode solution, les adsorptions physiques ou chimiques entre hydroxydes et polluants et adsorption chimique entre les ions métalliques et la pollution, l'hydrodynamique dans l'espace inter électrodes, les interactions gaz-liquide plus précisément entre les gaz produits et la solution.

La compréhension de tous ces phénomènes est indispensable pour la maîtrise et l'optimisation du procédé. Cela se fait par la maîtrise d'un certain nombre de lois : [44].

- Cinétique de transfert de charge ou loi de Buttler-Volmer
- La loi de Faraday
- L'expression de la tension de cellule
- Energie consommée et rendements d'électrolyse

II.2. 6.1. La cinétique de transfert de charge ou loi de Buttlar-Volmer

La cinétique de transfert de charge et de matière qui se produit à l'interface électrode-solution régit les courbes courant-potentiel. On distingue essentiellement dans la réaction, le transfert de l'espèce A du sein de la solution vers la surface d'électrode, l'adsorption chimique ou physique de A selon sa nature à la surface de l'électrode, le transfert de charge entre la surface et l'espèce adsorbée conduisant à la formation de B, la désorption de l'espèce B et le transfert de l'espèce B depuis la surface vers l'électrolyte. La figure 7 illustre les étapes de transfert de matière dans une cellule électrochimique. [58].

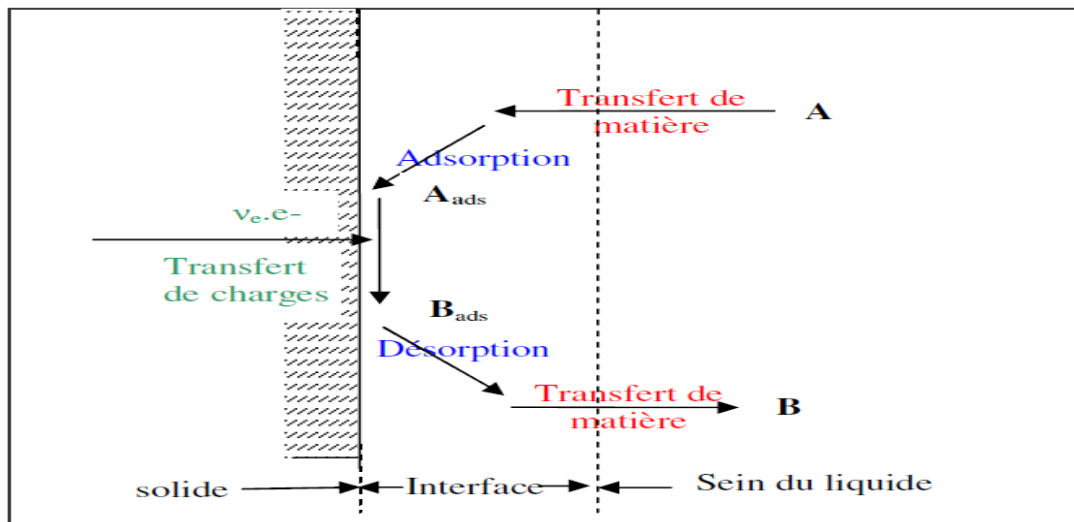


Figure 7: Les étapes de transfert de matière dans une cellule électrochimique [58].

II.2. 6.2. La loi de Faraday

Si l'on considère que les seules réactions chimiques qui se déroulent dans le réacteur d'électrocoagulation sont :

- A l'anode, l'oxydation du métal,
- A la cathode, la réduction de l'eau,

il est possible de déterminer la masse de métal dissoute et d'hydrogène formé pendant une durée t d'électrolyse à un courant I , en utilisant la loi de Faraday d'après la formule (12) :

$$m = \frac{I t M}{n F} \quad (12)$$

Avec :

m : masse du métal dissous ou de gaz formé (g).

I : intensité du courant imposé (A).

t : durée d'électrolyse (s).

M : poids moléculaire de l'élément considéré (g.mol^{-1}).

F : constante de Faraday (96500 C.mol^{-1}).

n : nombre d'électrons mis en jeu dans la réaction considérée.

Si le modèle d'électrolyse comprend p électrodes, et est alimenté par un liquide ayant un débit Q_e , d'après la formule (13) :

$$C = \frac{m.(p-1)}{Q_e} \quad (13)$$

Avec :

C : débit massique de métal dissous (kg.h/m^3).

Q_e : débit d'alimentation de la cellule (m^3/h).

p : nombre d'électrodes.

m : quantité théorique de métal dissous (kg).

Si d'autres réactions électrochimiques se déroulent simultanément, le courant d'électrolyse n'est pas entièrement utilisé par la réaction d'oxydation. [37].

II.2. 6.3. La tension de la cellule

Lorsque le courant circule dans une cellule électrochimique, il en résulte une augmentation de la tension. Cette tension se décompose en plusieurs éléments (Figure 8):

- Le potentiel d'équilibre réversible de l'anode, $E_{0,a}$
- La surtension d'activation à l'anode, $A_{a\eta}$, qui est fonction de la densité de courant
- La surtension de diffusion à l'anode, η_{Da} , résultant de la différence de concentration de l'espèce A entre l'anode et l'électrolyte, par la relative lenteur des phénomènes de diffusion-convection.
- La chute ohmique dans la masse de la solution, qui transforme une partie de l'énergie électrique fournie en chaleur par effet Joule.
- La surtension de diffusion à la cathode η_{Dc} , générée par le gradient de concentration au voisinage de la cathode.
- La surtension d'activation $A_{c\eta}$ de la réaction électrochimique se produisant à la cathode
- Le potentiel d'équilibre réversible de la cathode, E_{0c} .

La tension appliquée est ainsi donnée par la formule (14): [59].

$$U_c = E_a - E_c + \eta_{Aa} + \eta_{Da} + \eta_{Dc} + \eta_{Ac} + R_s \cdot I \quad (14)$$

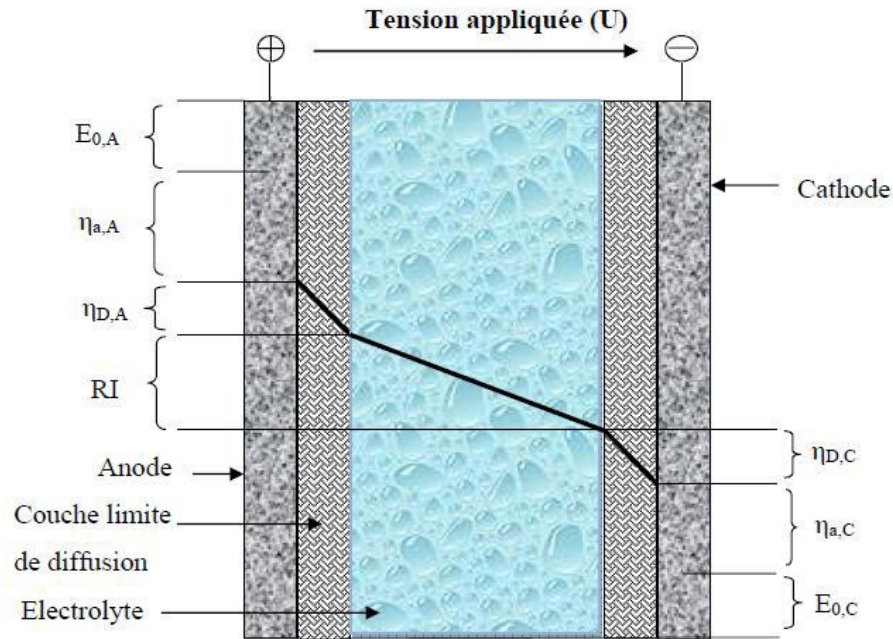


Figure 8: Décomposition de la tension de cellule électrochimique [39].

II.2. 6.4. Energie et rendement d'électrolyse

En plus du rendement faradique, on définit aussi un rendement par rapport à l'énergie consommée lors de la formation d'une mole de B. Ce rendement est défini par le rapport entre l'énergie théorique nécessaire à la formation d'une mole de B et l'énergie réellement consommée pendant l'électrolyse.

Ce rendement d'électrolyse peut se simplifier d'après la formule (15) à :

$$\Phi = \Phi \frac{U_0^0}{U_c} \quad (15)$$

Avec Φ le rendement faradique, U_0^0 la différence de potentiel standard de la réaction anodique ou cathodique et U_c la tension réelle de la cellule.

La différence de potentiel est proportionnelle à l'opposé de la somme des variations d'enthalpie libre des processus anodiques et cathodiques ΔG ce qui donne la relation suivante du rendement d'électrolyse d'après la formule (16) : [44].

$$\Phi_c = \frac{-\Delta G}{vFU_c} \Phi \quad (16)$$

Le facteur $\left(\frac{-\Delta G}{vFU_c} \right)$ correspond à un rendement en tension $\left(\frac{U_0^0}{U_c} \right)$.

L'énergie électrique consommée, exprimée en Watt heure ou en Joule, s'exprime en fonction de la tension réelle U_c , de l'intensité I et de la période considérée $t\Delta$ d'après la formule (17) :

$$W = U_c \cdot I \cdot \Delta t \quad (17)$$

II.2. 7. Paramètres influençant le processus d'électrocoagulation

II.2. 7.1. Le pH

Le pH de la solution détermine la spécification des ions métalliques. Le pH influence l'état des espèces en solution et la solubilité des produits formés. Ainsi le pH de la solution affecte le rendement global et l'efficacité de l'électrocoagulation. Le pH de la solution peut être aisément change. Un pH optimal semble exister pour un polluant donné [43].

II.2. 7.2. La conductivité

La conductivité de l'électrolyte a aussi un impact sur le procédé d'EC; si elle est trop faible, la résistance de l'eau au passage de courant est forte, la consommation énergétique est très importante ; et sa température peut alors fortement augmenter. Pour ces différentes raisons, par analogie avec les exploitations d'installation d'électrocoagulation d'effluents industriels, l'ajout de chlorure de sodium est utilisé pour accroître la conductivité de la solution. L'ajout d'ions chlorure permet aussi d'éviter la passivation des électrodes. Le problème de conductivité constitue un inconvénient majeur au fonctionnement d'un procédé d'électrocoagulation [60].

II.2. 7.3. Intensité du courant

L'intensité du courant imposée au système est un paramètre déterminant de l'efficacité de la technique à éliminer les polluants des eaux usées. En effet, cette intensité de courant appliquée permet d'une part, de contrôler la cinétique électrochimique de dissolution des électrodes anodiques et, d'autre part, de contrôler le dégagement de bulles d'hydrogène sur la cathode. L'intensité de courant appliquée dans un système d'EC détermine la quantité des ions Al^{3+} ou de Fe^{2+} libérée des électrodes.

L'application d'un courant de faible intensité entraîne la production d'une faible quantité d'ions hydroxyde et le dégagement d'une faible quantité d'ions hydrogène au niveau de la cathode. Par contre, un courant plus élevé provoque une augmentation de la vitesse de la réaction d'où une consommation rapide des électrodes et une dépense énergétique plus importante. L'efficacité du courant pour la dissolution d'une électrode d'aluminium par exemple a été calculée en utilisant la loi de Faraday [61].

II.2. 8. La distance entre électrodes

La distance entre les électrodes peut également affecter la qualité du traitement. Cette distance peut varier selon le type d'eau à traiter et notamment selon sa conductivité. De plus, la distance entre les électrodes doit également tenir compte d'une éventuelle contamination et de la facilité de nettoyage du système. Ce facteur est important lors de la mise à l'échelle industrielle d'une unité de traitement par électrocoagulation. La chute ohmique (liée à la résistance électrique) dans la solution électrolytique est directement liée à la distance qui sépare les électrodes et à la conductivité de la solution. Elle est en grande partie responsable de la baisse de rendement énergétique des procédés électrolytiques. Il est possible de la diminuer en augmentant la concentration en électrolyte ou en rapprochant les électrodes. Il en est de même pour d'autres facteurs tels que l'état de surface des électrodes (lisse ou rugueuse) et le degré du mélange dans le réacteur d'électrolyse (agitation suffisante ou non) qui peuvent influencer la surtension de transfert ou d'activation. La surtension de transfert est un facteur déterminant dans l'appréciation des performances d'une électrode. Elle correspond en fait au travail nécessaire pour extraire (ou fixer) les électrons de la surface des électrodes [62].

II.2. 9. Avantages et inconvénients de l'électrocoagulation

Comme tous les procédés d'épuration des eaux, l'électrocoagulation possède des avantages et des inconvénients qui favorisent ou limitent ses domaines d'applications.

I.7. 9.1. Avantages

1- Pas d'ajout de substances chimiques : même s'il semble nécessaire d'augmenter légèrement la salinité de l'effluent à traiter pour accroître la conductivité électrique de l'effluent, plusieurs études ont montré l'efficacité de l'EC sans aucune variation de Conductivité initiale du rejet à traiter, ce qui évite d'autres formes de traitement en aval. [63-64].

2- Très bonne efficacité du procédé d'EC pour des polluants colloïdaux très fins. Avec d'autres procédés tel que la coagulation chimique, ces polluants imposent des étapes de traitement plus lentes et des quantités de coagulant plus élevées. [65,40].

3- Les boues obtenues après traitement par EC sont plus denses et moins hydrophiles. Cela rend la décantation et la flottation plus aisée et diminue le volume des boues. Ce qui réduit le temps et les coûts de traitement des boues. [66].

4- L'importance du champ électrique entre les électrodes qui conduit à la destruction de certaines souches de bactéries. En utilisant des électrodes en titane, des auteurs sont

confirmé cet effet bactéricide sans la formation de dérivés hypochloreux ou d'autres dérivés du chlore. [67].

5- L'EC offre la possibilité de traiter des effluents par oxydation et réduction de plusieurs composés dissous tel que les nitrites, les sulfures, les cyanures, les sulfites), les chromates et les ions fluorures.

6- La biodégradabilité des effluents traités par électrocoagulation est améliorée. Ce perfectionnement est dû à la non-toxicité de la forme d'aluminium utilisé à la faible salinité du milieu.

7- L'utilisation de l'EC permet de réduire le temps de traitement : ce procédé permet un grand gain en compacité des installations et une possibilité d'automatisation.

II.2. 9.2. Les inconvénients majeurs de l'EC

Concernent principalement la conductivité souvent faible de l'eau polluée et la formation des dépôts sur les électrodes. En effet, la conductivité du rejet doit être suffisante pour permettre le passage du courant sans consommation excessive d'électricité. Lorsque la conductivité de l'eau polluée est trop faible, un rajout du chlorure de sodium est généralement nécessaire. La présence de certains ions tels que les chlorures, permet d'éviter le phénomène de passivation des électrodes d'aluminium [68]. Par ailleurs, une présence importante d'ions calcium et hydrogénocarbonate provoque l'apparition d'un dépôt de tartre au niveau de la cathode, augmentant ainsi, la résistance de la cellule. Pour faire face à ce problème, la manière la plus simple est de réaliser une inversion périodique de la polarité [68]. Il est aussi important de prévoir un nettoyage mécanique périodique des électrodes à l'aide de solutions acides. La formation et le dépôt de tartre sur les électrodes représentent une part importante de la consommation électrique du procédé. Il existe même un procédé électrochimique dont le but est de réaliser un détartrage de l'eau potable par dépôt du tartre sur la cathode.

II.2.10. Prétraitement de l'eau saumâtre à l'aide d'électrocoagulation DC Méthode et optimisation.

N. Daneshvar et al [69]. Le fer généré électrochimiquement peut éliminer la plupart des contaminants présents dans l'eau et les eaux usées, par précipitation, adsorption, interaction électrostatique et formation de complexes (généralement appelée électrocoagulation-EC). Dans le présent article, le prétraitement d'eau saumâtre ayant une dureté totale (TH), une alcalinité (A) et des ions Cl^- élevés est étudié par l'application d'un courant électrique continu aux électrodes de fer. Les Paramètres de fonctionnement tels que la densité de courant électrique, le débit volumique, la surface des électrodes, la distance entre les deux

électrodes, la température de l'eau, le débit d'aération, le temps de rétention, le temps de contact des boues produites avant et après le processus, l'ajout d'aide coagulant (bentonite) et l'additif colloïdal (particules d'argile) ont été optimisés. Les résultats de cette étude pour un échantillon saumâtre avec 11,8 TH, 5,6 (A), 12,4 et 23,5 $\text{Cl}^- \text{ meq /lit}$ indiquent que le procédé est capable d'abaisser plus de 94% le (TH), 92% (A), 50% et 43% Cl^- .

II.2.11. Etude de l'applicabilité du procédé d'électrocoagulation pour le traitement de rejets textiles.

M.Tiaiba et al [70]. Ont utilisé la technique d'électrocoagulation pour le traitement de rejets de textile (rejet synthétique), Cette technique est appliquée pour étudier l'effet de certains paramètres opératoires, tels que le pH initial, le temps de séjour (τ), la densité de courant (j) et les systèmes de connexion d'électrodes sur l'élimination d'un colorant rouge nylosan (Acide Red 336) en utilisant des électrodes en aluminium dans un réacteur électrochimique continu. L'efficacité de la technique est suivie en mesurant la turbidité, l'absorbance et l'énergie électrique spécifique consommée. Des taux de réduction égale à 97 et 95 % pour l'absorbance et la turbidité respectivement ont été observé, lorsque la densité de courant $j = 300 \text{ A/m}^2$, la connexion des électrodes est mono polaire parallèle (*MP-P*), la concentration initiale (C_i) est de 50 mg/L, le débit d'entrée $Q = 15 \text{ L/h}$, le temps de traitement $t = 35 \text{ min}$ et le pH initial = 8,06. La consommation spécifique d'énergie électrique était de 18,3 kWh par kilogramme de colorant enlevé. S'agissant de l'influence des modes de connexion des électrodes, les résultats obtenus ont montré que la connexion mono polaire parallèle (*MP-P*) est plus efficace par rapport à la connexion mono polaire en série (*MP-S*) et à la connexion bipolaire (*BP*) en termes de réduction de la couleur et de la turbidité et en terme de la consommation d'énergie.

II.2.12. Utilisation des techniques électrochimiques dans le traitement des émulsions hydrocarbures/eau.

M.Tir [42]. L'objectif de ce travail est l'application des techniques électrochimiques pour le traitement des émulsions d'huile de coupe. Pour aboutir à cet objectif, une série d'essais a été réalisé dans un réacteur électrochimique fonctionnant en batch. La technique d'électro flottation s'est avérée inefficace pour le traitement d'émulsions concentrées. Le couplage de cette dernière avec la floculation chimique a donné d'excellents résultats pour le traitement des émulsions huile-eau (4% massique). La conduite des expériences a été réalisée en utilisant une méthodologie expérimentale basée sur une modélisation en surface de réponses (RSM). Le traitement des émulsions d'huile de coupe par électrocoagulation a montré que cette méthode électrolytique est très efficace pour l'abattement de la turbidité et de la DCO.

Les résultats expérimentaux ont indiqué que l'électrocoagulation était très efficace et capable de réaliser un abattement de la turbidité et de la DCO de 99% et de 90% respectivement et cela pour une densité de courant, 25mAcm^{-2} , et un temps de traitement de 22min. L'analyse de la variance ANOVA a montré une valeur élevée du coefficient de détermination ($R^2=0.998$), ce qui montre qu'un ajustement satisfaisant est assuré par le modèle de régression de second ordre entre les données expérimentales et estimées l'étude comparative basée sur l'efficacité de traitement et la consommation énergétique a montré que l'électrocoagulation et le couplage de l'électro flottation avec la floculation semblent des procédés plus efficaces que le procédé d'électro flottation dans ce genre d'opérations.

II.3.La fibre Alfa

II.3.1.Définition d'un biomatériau :

Selon la Société européenne des biomatériaux, un biomatériau est défini comme « un matériau non vivant d'origine naturelle ou artificielle qui est utilisé dans un dispositif médical et conçu pour interagir avec des systèmes biologiques, qu'il participe à la constitution d'un dispositif médical à visée diagnostique ou à celle d'un substitut de tissu ou d'organe ou encore à celle d'un dispositif de suppléance (ou d'assistance) fonctionnelle. » [71].

II.3.2. Les domaines d'application des biomatériaux [72] :

- Ophtalmologie (Lentilles de contact, Implants).
- Odontologie – stomatologie (Orthodontie, Implants).
- Chirurgie orthopédique (Prothèses articulaires (hanche, coude, genou, poignet), Orthèses, Cartilage).
- Urologie/ néphrologie.
- Endocrinologie-chronothérapie.
- Cardiovasculaire.
- Chirurgie esthétique.
- Chirurgie générale.

II.3.3. Présentation générale de la fibre Alfa :

II.3.3.1.Définition:

Alfa est une plante vivace typiquement méditerranéenne, poussant en touffes de 1 à 1,2 m de haut et formant de grandes étendues. Elle pousse spontanément, surtout dans les milieux arides et semi-arides, elle délimite le désert où se termine l'alfa, le désert commence [73].

II.3.3.2. Nomenclature et classification botanique

Nom vulgaire: L'Alfa, en anglais Esparto

Nom scientifique: *Stipa tenacissima* L

❖ Classification [74]:

Règne: Plantae

Sous règne : Tracheobionta

Super Division : Spermatophyta

Division: Magnoliophyta

Classe: Liliopsida

Ordre: Poales

Famille: Poaceae

Genre: *Stipa* L.

Espèce: *Stipa tenacissima* L.

II.3.3.3. Répartition géographique

Par ailleurs, c'est l'une des espèces xérophiles qui caractérise le mieux des milieux arides méditerranéens à l'exclusion des secteurs désertiques, sa terre d'élection est l'Afrique du nord et tout particulièrement les hauts plateaux du Maroc et de l'Algérie, mais cette espèce est présente aussi en Espagne, au Portugal, aux Baléares, et elle s'étend vers l'est jusqu'en Égypte en passant par la Tunisie et la Libye, la limite naturelle de l'Alfa est déterminée par la sécheresse en bordure du Sahara, en revanche au nord et à l'ouest, c'est l'humidité croissante du climat qui l'élimine de la flore, elle est beaucoup plus rare dans les étages subhumide et surtout humide [75,76], la répartition territoriale connue à ce jour est estimée à la figure 9[77] :

- Algérie: 4.000.000 ha.
- Maroc: 3.186.000 ha.
- Tunisie: 600.000 ha.
- Lybie: 350.000 ha.
- Espagne: 300.000 ha



Figure 9: Illustrations de la plante d'Alfa à l'état brut [78,79].

II.3.3.4. Nappes alfatières de la willaya M'sila

Elles couvrent une superficie d'environ 200.000 hectares soit 11% de la superficie totale de la willaya, localisée essentiellement dans la zone de la willaya (Ben Sroure , Bou-sâada ,Sidi – ameur, Mejedel , Ain – el Melh , Djbel – Messâad). La superficie productive est de l'ordre de 58.000 hectare avec une production moyenne annuelle de 1500 tonnes soit un taux d'exploitation de 27%. Une superficie d'environ 16.000 hectare se trouve dans un état de dégradation très avancé et nécessite en urgence une mise en défens et une régénération assistée d'après la figure 10 [80].

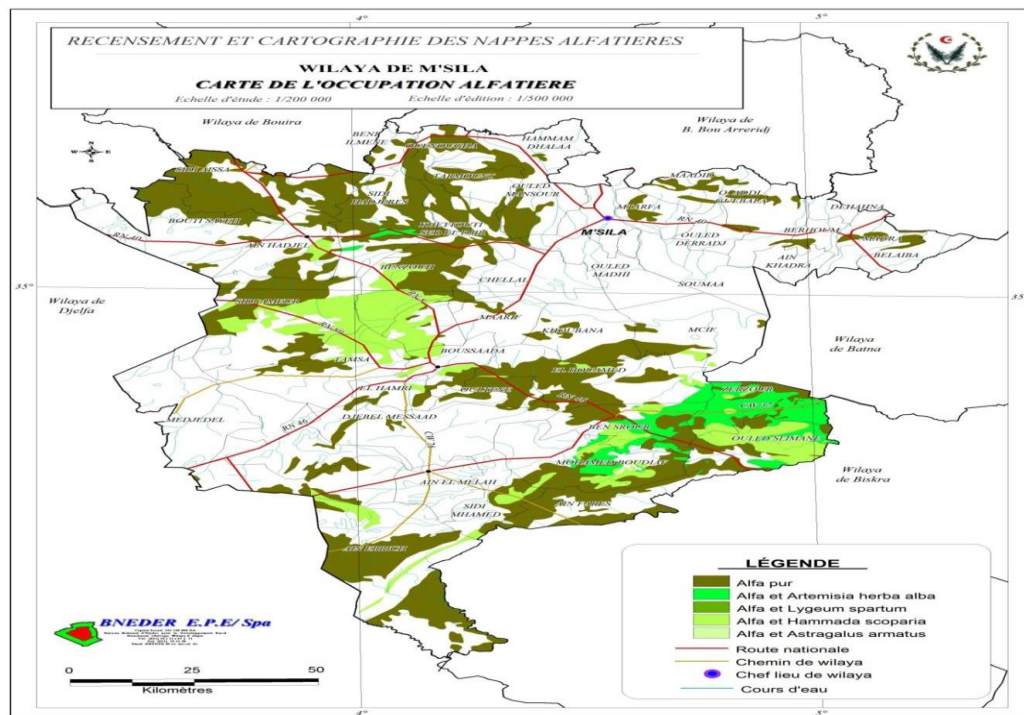


Figure 10: L'Alfa en Willaya M'sila [80].

II.2.3.5. Structure et composition chimique des fibres d'Alfa :

Les fibres d'Alfa sont de section circulaire avec une zone creuse centrale. Leur densité est faible (1400 kg.m^{-3}), elles sont biodégradables et elles proviennent d'une source renouvelable. La structure de la fibre d'alfa est hétérogène constituée principalement de cellulose, de lignine d'hémicellulose et de cire représentée dans le tableau 2.

Tableau 2 : Composition chimique de fibre d'Alfa [81,82].

Cellulose (%)	La lignine (%)	L'hémicellulose(%)	Cire (%)	Cendre (%)
41,9-47,6	24,2-38,5	11,8-24,3	2-5	1,8-5,1

La figure 11 représente la composition complète de plante d'Alfa les tiges peuvent atteindre une hauteur d'un mètre, et les racines une profondeur de plus d'un mètre. Entre les deux se trouve le rhizome [83].

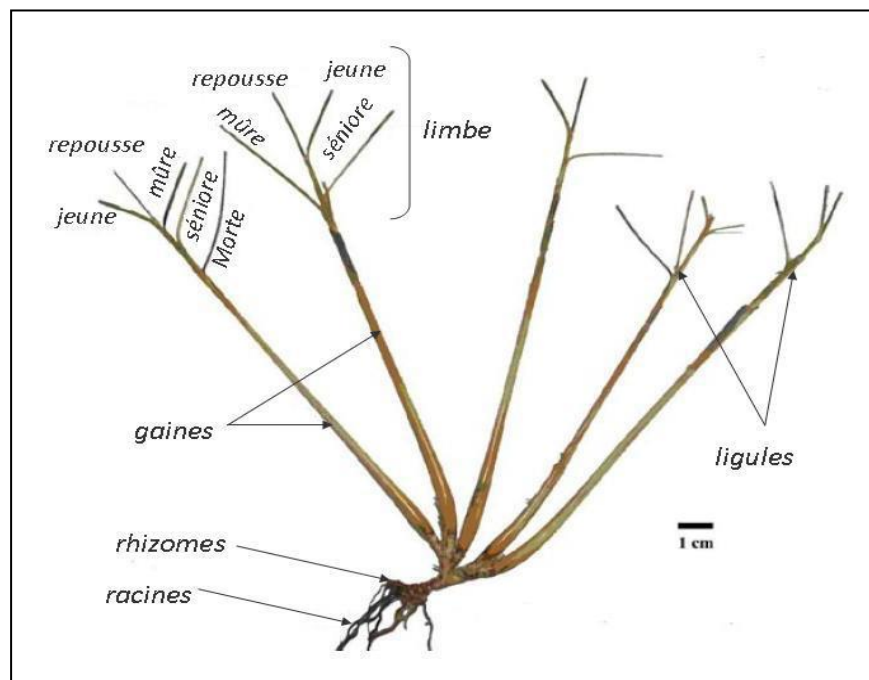


Figure 11 : Morphologie de la plante d'Alfa [74].

II.3.3.6. Domaines d'applications

Les utilisations de l'Alfa sont variées et peuvent être divisées en deux catégories selon le type de matériau :

II.3.3.6.1. Les tiges de l'Alfa

- Applications artisanales :

Alfa fournit des matières premières artisanales telles que des paniers, des nattes, des écrans, des cordes, des sacs et des paniers, des écrans à couscous, des casiers et des bouteilles, etc. Une fois filées ou tissées, ces tiges sont utilisées pour fabriquer des articles en corde et en sparte (tels que des tapis, des paniers, paillasons, plateaux, cordes, etc.) [77].

-Pâturage : les nappes alfatières constituent un espace pastoral de réserve tant pour le bétail (boeufs, moutons, chameaux...) que pour la faune sauvage (gazelle...), du fait qu'elle est relativement délaissée par les animaux en présence d'autres ressources pastorales plus appétentes, vu sa faible valeur alimentaire, elle constitue un énorme stock qui permet la survie des animaux pendant les années de disette.

-Combustible : le pouvoir calorifique supérieur de l'alfa varie de 4666 Kcal.kg⁻¹ pour les brins de 1 an et de 5160 et 5163 Kcal.kg⁻¹ pour les brins âgés de 2 ans et de 3 ans respectivement, ce qui lui confère un usage énergétique important sous forme de briquettes combustibles en remplacement ou d'appoint au bois de feu [84].

II.3.3.6.2. Les fibres d'Alfa :

-La pâte à papier : à la fin du 19^{ème} siècle le papier d'Alfa est apparu, c'est un papier de bonne qualité qui met bien en évidence la valorisation de cette plante et lui donne une grande importance économique, la pâte à papier représente la branche qui consomme le plus d'alfa (la société nationale de cellulose et de papier alfa) [85].

Cette pâte est essentiellement utilisée dans la fabrication du papier noble usage, du papier cigarette, du papier filtre et du papier condensateur (diélectrique).

-Non tissés : des travaux ont été effectués afin de remplacer des fibres de verre et de carbone, qui a un coût élevé influençant le prix de revient du produit fini, les non tissés sont utilisés comme couche de renfort pour des emboitures dans le domaine orthopédique par exemple [86].

-Composites : analogiquement des études ont été réalisées pour développer des composites à base de fibres d'alfa dans une matrice de polypropylène, de polyester, ce recours aux fibres naturelles se produit de plus en plus de nos jours à fin de réaliser des composites biodégradables avec des bonnes performances mécaniques et acoustiques et avec moins

d'impact sur l'environnement, mais ce type d'application connaît quelques difficultés pour la mise en œuvre telles que des problèmes de cohésion avec la matrice utilisée [87].

II.3.3.7. Avantages et inconvénients [88] :

Les principaux avantages et inconvénients des fibres de l'alfa sont :

- Faible densité.
- Faible cout ou cout modérée.
- Fibres renouvelables par culture.
- Faible consommation d'énergie pour leur production.
- Fibres biodégradables.
- Découpage et usinage faciles.
- Grace à un compromis idéal rigidité /résistance/légèreté, les composites renforcés par des fibres d'alfa concurrencent efficacement les matériaux traditionnels incorporant des charges ou fibres minérales. Par contre, à ces avantages sont associés les inconvénients :
 - Fibre hydrophile.
 - Stabilité thermique limitée.
 - Gonflement de fibre.

II.3.4.Utilisation de fibres alfa pour l'élimination du H₂S dans un milieu aqueux (les eaux polluées).

H.Azaza et al [89] La recherche actuelle vise à utiliser les plantes comme substitut d'additifs chimiques dans l'élimination des polluants, rendant ainsi les industries polluantes respectueuses de l'environnement. Dans le présent travail, l'utilisation potentielle de l'Alfa (cultivée dans la région sèche d'Afrique du Nord) dans l'élimination de H₂S en solution aqueuse a été étudiée. Les résultats expérimentaux obtenus ont montré une élimination réussie de H₂S par réaction avec des fibres de l'Alfa dans un milieu aqueux alcalin. L'effet de la masse de l'Alfa, de la température comprise entre 20 et 60°C et de l'aération sur l'efficacité d'élimination des sulfures a été examiné. L'étude a clairement révélé que les processus d'aération amélioraient la réaction d'élimination, et l'augmentation de la température donnait un meilleur taux d'élimination avec un rapport massique optimal de l'Alfa de 0,1 g pour éliminer 0,2 mg de H₂S.

II.4.L'argile

II.4.1.Définition

L'argile se définit comme une terre grasse et molle contenant un ensemble de particules fines (de taille inférieure à 2 μm) constituée essentiellement de minéraux à structure en feuillets. L'argile présente une plasticité à l'état humide et durcit par séchage ou par chauffage.

Les particules d'argile résultent des mécanismes de désintégration chimique ou mécanique des roches. Ces minéraux argileux appartiennent en majorité au groupe des phyllo silicates. Une matière première argileuse naturelle renferme aussi des minéraux non argileux, dits accessoires, et/ou de la matière organique.

Un feuillet d'argile est formé par l'association des couches tétraédriques (**T**) à base de tétraèdres siliciques (**SiO₄-4**) et de couches octaédriques (**O**) aluminiques et/ou magnésiques [90] (Figure 12).



Figure 12 : Argile de la région M'sila (Algérie).

II.4.2. Les principaux types des argiles

II.4.2.1. La kaolinite

À une couche d'octaèdres et une couche de tétraèdres, l'épaisseur du feuillet élémentaire est de 0.7nm. Ces feuillets élémentaires adhèrent assez fortement entre eux par leurs faces basales, des liaisons hydrogènes existantes entre les hydroxyles de la base d'un feuillet et les oxygènes du haut du feuillet en dessous [91].

II.4.2.2. Les illites

Cette argile est pauvre en magnésie, mais fortement calcique. Elle est d'une qualité inférieure à la montmorillonite, mais très efficace du fait de son pouvoir d'absorption. Elle est donc utilisée pour absorber les impuretés diverses en cataplasmes épais [92].

II.4.2.3. Les smectites :

Du grec mectos « je nettoie », ou la famille des montmorillonites (de Montmorillon, dans le département de la Vienne) sont structurées selon le même schéma que les illites, soit trois couches. Dans ce groupe, les feuillets sont minces et peu reliés entre eux, d'où la possibilité d'association avec l'eau et la matière organique dans l'espace inter foliaire, d'où le terme d'argile gonflante [93].

II.4.2.4. Les chlorites :

Les chlorites sont des minéraux typiques du métamorphisme. On les trouve, fréquemment, dans les fissures des roches et dans les sédiments récents. Dans les roches sédimentaires, le chlorite riche en fer est issu de l'altération des minéraux ferromagnétiques (pyroxène, biotite...). Elle a un feuillet d'une épaisseur double de celui de la kaolinite, comprenant une couche octaédrique dite brucitique (la brucite : $Mg(OH)_2$). [94].

II.4.2.5. La vermiculite :

Fréquente dans les sols de la zone tempérée. La couche octaédrique contient du Fe et du Mg. La vermiculite est proche des illites et chlorite, mais montre des propriétés gonflantes [97].

II.4.3. Classification selon la couleur

L'argile ne peut pas être identifiée par la couleur, la couleur peut être attribuée à différents types d'argile. La différence de couleur observée est fonction de la concentration en oxyde de fer.

II.4.3.1. Argile verte :

Les argiles vertes présentent une faible teneur en fer, ce sont généralement les montmorillonites, les illites et les smectites (Figure 13).



Figure 13 : Argile verte.

II.4.3.2. Argile rouge

Coutumièrement, cette espèce est riche en oxyde de Fer, qui est fortement reminéralisé .Il est idéal pour un usage externe sur peau irritée, fatiguée ou terne qui adoucit et purifie (Figure 14).

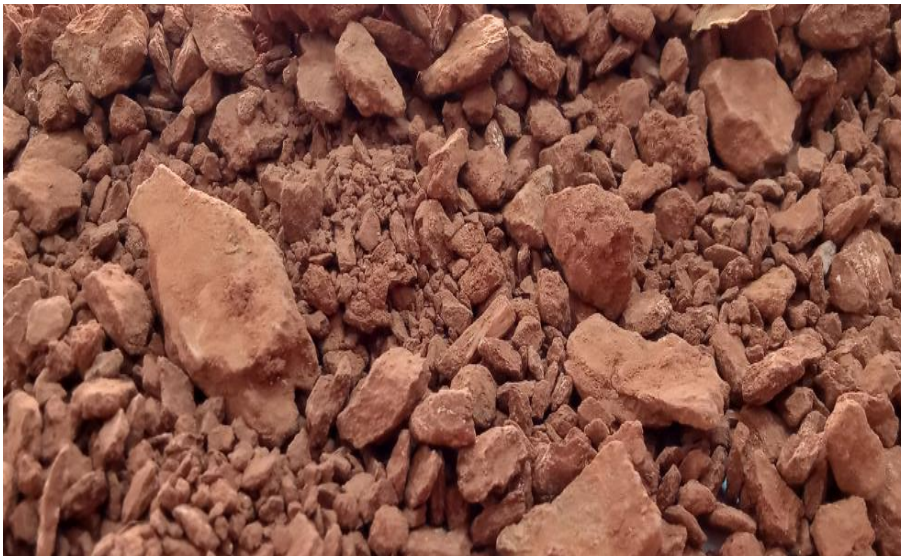


Figure 14 : Argile rouge

II.4.3.3. Argile jaune

Ces grumeaux, riches en oxyde de fer et en magnésie, peuvent être utilisés pour soulager de nombreuses douleurs (articulaires, musculaires) et pour adoucir la peau : utilisé en masque, il est particulièrement apprécié des peaux et cheveux normaux.

II.4.3.4. Argile blanche

Ces argiles ne contiennent aucune substance colorée. Leur formation n'a donc pas été perturbée, elle a été uniforme [96].

II.4.4. Propriétés et intérêt des argiles

-Traditionnellement utilisées comme matière première par les potiers, les argiles ont de nombreux débouchés dans l'industrie grâce à leurs caractéristiques chimiques (adsorption et absorption des molécules, composition) et physiques (taille des particules) [97]. Enumérons quelques utilisations.

-Dans l'industrie chimique, elles amorcent certaines réactions (craquage des huiles minérales ou polymérisation de certaines molécules organiques). Les smectites (ensemble des argiles gonflantes), quant à elles, ont des capacités d'adsorption très poussées et sont de ce fait employées pour filtrer les vins, bières, clarifier les eaux souillées, dégraisser les laines par piégeage des impuretés [98].

-Utilisées comme source de silice et d'alumine les argiles forment les minéraux de base de l'industrie des matériaux de construction, des réfractaires, des isolants. D'autres argiles, notamment les smectites sodiques et les attapulgites servent à épaissir un grand nombre de liquides : eau douce, eau salée, solvants aliphatiques, huiles végétales, glycols. -Dans les industries pharmaceutiques et médicales, l'argile trouve aussi un usage. Elle constitue la base des pansements stomacaux et intestinaux. Leurs propriétés absorbantes permettent la fabrication de médicaments à effets retardés.

II.4.5. Le Principe de méthode de traitement des eaux usées par l'argile

II.4.5.1. Pouvoir d'absorption

Cette capacité d'absorption ou d'attraction est très forte, puisqu'elle se manifeste non seulement sur les substances avec lesquelles elle est contact direct, mais également sur celles qui sont à distance [99].

- L'adsorption par l'argile (adsorbant)

L'adsorption est le processus de transfert de matière entre une phase liquide (ou gazeuse) chargée d'un composé organique ou inorganique et une phase solide : un adsorbant. La capacité d'adsorption de l'adsorbant dépend de la surface développée ou surface spécifique du matériau. Egaleme nt étudiée par de nombreux chercheurs, l'absorption par les argiles Peut représenter une alternative simple, sélective et économiquement acceptable au traitement physico-chimique classique du. L'utilisation des argiles comme adsorbants dans le traitement des eaux usées industrielles est intéressante.

Ceci se justifie par l'importance de la surface développée par ce matériau, par la présence de charges négatives en surface, par la possibilité d'échange cationique et par sa grande disponibilité dans la nature [100]. Peu de recherches se sont concentrées sur l'utilisation de l'argile pour améliorer la récupération et l'élimination des polluants [101].

II.4.5.2. Pouvoir de fixation

L'argile a le pouvoir de lier à elle les substances avec lesquelles elle entre en contact. Cette propriété est couramment utilisée pour purifier l'eau. Certains peuples d'Afrique utilisent cette propriété afin de purifier l'eau qu'ils puisent. L'argile mélangée à ce liquide fixe les impuretés. Lorsque le liquide est filtré, l'argile emporte avec elle les impuretés. La méthode expérimentale utilisée est simple et traditionnelle avec filtration, son application principale est l'analyse d'échantillons sous forme liquide [100].

II.4.6. Post traitement des eaux usées des effluents des oléicoles (OME) par l'argile activée

K. Al-Malah et al [102]. Les eaux usées des effluents des moulins à huile (OME) représentent un défi pour les scientifiques et les ingénieurs de l'environnement. Il se caractérise par des valeurs élevées de DCO, DBO et de contenu phénolique. Une série d'étapes de traitement composées de décantation, de centrifugation et de filtration a été consécutivement utilisée pour conditionner les eaux usées de l'OME. Le filtrat a ensuite été soumis à un processus de post-traitement, à savoir une adsorption sur argile activée. La réponse dynamique de la concentration de phénols, du pH et de la DCO, en utilisant différentes concentrations d'argile activée, a montré un pic auquel la capacité d'adsorption maximale a été atteinte. La capacité maximale d'adsorption pour les concentrations testées d'argile activée a été atteinte en moins de 4 h. On pense que l'adsorption des phénols et des matières organiques est réversible et principalement due aux interactions hydrophobes. L'élimination maximale des phénols était d'environ 81 %, alors qu'elle atteignait environ 71 % pour la matière organique.

II.4.7. Traitement des eaux usées de Touggourt par l'argile de Bildet Omar

N. Kafi [103]. Plusieurs techniques ont été employées pour l'élimination des colorants des effluents Industriels et Urbains. L'adsorption est l'une des techniques les plus utilisées pour cette élimination. Les recherches se sont alors orientées vers des procédés de traitement faisant appel à des matériaux naturels moins coûteux tels que l'argile, se sont les plus attractifs économiquement dans le traitement des eaux usées, grâce à leurs propriétés intrinsèques, leur abondance et leur faible coût. De notre travail nous pouvons tirer que l'utilisation des argiles, peut être sérieusement envisagée pour résoudre le problème des eaux

usées sans avoir recours à des techniques très coûteuses et qui nécessitent des moyens de gestion et de maintenance très importantes. Le dispositif expérimental que nous avons ainsi proposé, est constitué par de récipient de verre contenant un lit fixe (argile), a donné des résultats satisfaisants. Ces derniers ont montré une efficacité d'élimination de la matière organique, obtenus pour la DCO et la DBO₅ respectivement. Comparativement à la technique qui utilisé dans la STEP. Le résultat montre que l'argile vert par apport l'argile rouge donne un bon résultat concerné l'élimination de PO₄⁻³ cela nous courage d'utiliser ces eaux à l'agriculture. Comme tout travail de laboratoire, nous recommandons une continuité de ce travail en prenant en considération les points suivants :

- Rechercher l'influence de chaque paramètre physico-chimique.
- Caractérisation des matériaux filtrants.
- Approfondir le travail par l'étude d'autres modèles multicouches couche en matériaux locaux pour affiner le modèle de traitement qui pourrait être utilisé dans la lutte contre la pollution des effluents.

Chapitre III :

**Matériels et
méthodes**

III.1. Présentation de la station d'épuration de la wilaya de Msila

III.1.1. Localisation

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Sidi Aissa STEP se trouve à environ 92 km de l'état de la wilaya de M'sila est fonctionnelle depuis le 15 décembre 2018 (Figure 15) ; elle s'étend sur une surface de 5 hectares. C'est une station de traitement et de dépollution des eaux usées avant rejet dans le milieu naturel, les rivières, elle fait partie du réseau d'assainissement. La station rejette finalement de l'eau propre mais non potable dans la nature. Les résidus de traitement sont valorisés sous forme de boues.



Figure 15 : Vu de la STEP de Sidi Aissa (Google earth, 2023).

III.1.2. Données de base

III.1.2.1. Capacité de la STEP

La capacité de recevoir des effluents en équivalents habitants (EH) qui peut être prise en compte par la station est de 125000 EH à l'horizon 2026 et les débits maximaux prise en charge par la station actuellement sont :

- Le débit moyen journalier = **15054 m³/j**;
- Le débit moyen de temps sec = **625 m³/h**;
- Le débit de pointe temps sec = **1056 m³/h**;
- Le débit de pointe (maximal) par temps de pluie = **1250 m³/h**.

III.1.2.2. Charge de pollution prise en considération par la STEP

- **La charge de pollution à l'entrée de la STEP (eau usée brute)**

Le procédé d'épuration tient compte que la base de dimensionnement de la STEP fixée pour l'ouvrage de réception, la fosse à batardeaux, le dégrillage grossiers, le poste de pompage, le dégrillage fins et les unités de dessablage-déshuilage seront réalisés pour le débit maximal de pointe de temps de pluie à l'horizon 2026 (**1250 m³/h**). La charge de pollution prise en compte est regroupée dans le Tableau 03.

Après le prétraitement, le débit maximal à admettre sur le réacteur biologique sera le débit de pointe en temps sec (**1056 m³/h**).

Tableau 03 : Charge de pollution prise en compte pour le dimensionnement de la STEP de Sidi Aissa (ONA, 2023).

Paramètres	Charge de polluants entre de la STEP (kg/j)	Concentration (mg/l)
DBO5	6750	450
DCO	10000	666.67
MES	8750	583.33
NTK	1500	1000

➤ **Charge de pollution à la sortie de la STEP (eau usée épurée)**

Le dimensionnement de la STEP est réalisé selon les paramètres de qualité de rejet (Tableau 04)

Tableau 04 : Qualité prévue des eaux traitées sortantes de la STEP de Sidi Aissa (ONA, 2023).

Valeurs limites à la finalité du traitement			
Paramètres	Unités	Valeur	Rendement d'élimination minimum (%)
DBO5	mg/l	≤ 25	94.44
DCO	mg/l	≤ 90	86.50
MES	mg/l	≤ 20	96.57
NTK	mg/l	≤ 30	70.00

III.1.3. Rôle des stations d'épuration

Ce rôle peut être résumé dans les points suivants :

- Traiter les eaux usées pour éviter l'impact sur l'environnement.
- Protéger l'environnement.

- Protéger la santé publique.

III.1.4. Procède d'épuration utilise au niveau de la station

L'épuration des eaux usées est définie comme le processus de recyclage ou de conversion des eaux usées en eau Ils peuvent être utilisés à diverses fins. Ce processus aboutit à l'élimination des polluants de l'eau à travers plusieurs processus divisés en étapes, et nous les séparons dans ces parties.

III.1.4.1. Prétraitement

Indépendamment des procédés en aval, toutes les stations d'épuration disposent d'installations de prétraitement. Leur but est d'éliminer particules solides ou plus grossières pouvant gêner les traitements ultérieurs ou endommager les équipements : déchets encombrants (criblage), sable (dépoussiérage) et corps gras (dégraissage-déshuilage). Une ou plusieurs de ces opérations peuvent être réalisées dans la même station d'épuration. Le prétraitement comprend les opérations suivantes : Dégrillage, Dessablage, Déshuilage-dégraissage

➤ Dégrillage

Premier poste de traitement (situé à l'arrivée des eaux usées dans la station), il a pour but de retenir les déchets solides et volumineux (papiers, feuilles, objets divers...), charriés par l'eau brute, insensibles au traitement biologique et nuisibles pour les installations situées en aval (pompes, conduites) (Figure 16) [104].



Figure 16: Dégrillage STEP Sidi Aissa

➤ Dessablage

Il a pour objectif de retirer les sables et les graviers pour protéger les organes mécaniques (pompes) et éviter de perturber les autres étapes du traitement. Les eaux usées venant de l'étape précédente (dégrillage) se retrouvent dans un bassin.

Cependant, elles gardent des déchets tels que les sables et les graviers qui tomberont par la suite au fond du bassin par l'effet de leur poids, puis, ils sont récupérés par aspiration, Ensuite, ils sont collectés pour être envoyés en décharges [105].

➤ **Déshuilage - dégraissage**

Les opérations dégraissage-déshuilage consistent à séparer de l'effluent brut, les huiles et les graisses par flottation. Ces derniers étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau. L'injection des micro bulles d'air permet d'accélérer la flottation des graisses. Souvent ces opérations sont combinées dans un même ouvrage où la réduction de vitesse dépose les sables et laisse flotter les graisses. On enlève ainsi de l'eau les éléments grossiers et les sables de dimension supérieure à 200 microns ainsi que 80 à 90 % des graisses et matières flottantes (Figure 17) [106].



Figure 17: Dessablage, Dégraissage STEP Sidi Aissa

III.1.4.2. Traitement primaire (décantation primaire)

Le traitement primaire permet d'éliminer le maximum des matières en suspension et de matières organiques facilement décan tables [107].

➤ La décantation: elle permet d'éliminer jusqu'à 50 % des matières en suspension. Le principe consiste à séparer les matières solides des matières liquides (séparation solide-liquide). Les matières solides se déposent au fond du décanteur par l'effet de leur masse pour former les boues primaires [108].

III.1.4.3. Traitement secondaire

C'est lors de ce traitement que s'éliminé l'essentiel des agents polluants dans les eaux usées a savoir l'élimination de la pollution carbonée biodégradable. Il consiste à mettre en contact l'eau usée avec une biomasse épuratrice qui est en fait un écosystème simplifié et sélectionné ne faisant appel qu'a des micro-organismes. Elle est constituée d'être vivants de

petite taille, inférieure au millimètre, microflore de bactéries et microfaune d'animaux, protozoaires. Dans le cas des eaux usées urbaines, on favorise le développement de bactéries aérobies, c'est-à-dire, qui utilisent l'oxygène pour se développer [109]. Il comporte deux étapes principales :

III.1.4.3.1. Traitement biologique

➤ Bassin d'aération

Les bassins d'aération sont les réacteurs biologiques dans lesquels s'effectue la transformation de la matière organique par les micro-organismes aérobies. Ils constituent un élément fondamental de la filière définie sous le terme de boues activées. Une bonne gestion de l'aération permet également d'assurer les réactions de nitrification et de dénitrification (Figure 18) [110].



Figure 18 : Bassin d'aération STEP Sidi Aissa

➤ Une décantation secondaire

Une décantation permet de recueillir sous forme de boues les matières agglomérées par les bactéries. (Les boues, plus denses que l'eau, tombent au fond du bassin au elles sont raclées).

Un clarificateur permet de séparer par décantation l'eau épurée et les boues obtenues lors des traitements de dépollution. L'eau clarifiée se situant à la surface du décanteur est ensuite dirigée vers filtre (Figure 19) [111].



Figure 19: décantation secondaire STEP Sidi Aissa

III.1.4.4. Traitement trentaine

En général, les techniques d'épuration, même les plus sévères performantes, laissent passer dans l'eau épurée des matières organiques difficilement biodégradables qui échappent à la décantation. En outre, même après un traitement secondaire l'eau véhicule presque toujours des micro-organismes et des micropolluants. La principale méthode utilisée est la désinfection par le chlore, qui doit être appliquée avec des doses très fortes et des temps de contact longs [112].

III.1.4.5. Traitement des boues

Dans les conditions idéales d'aération, les micro-organismes d'une eau usée se développent et s'agglomèrent en flocons. Au repos, ces derniers se séparent très bien de la phase liquide par décantation. Le principe du procédé à boues activées consiste donc à provoquer le développement d'un flocc bactérien dans un bassin alimenté en eau usée à traiter (bassin d'aération) afin d'éviter la décantation des flocons dans ce bassin, un brassage vigoureux est nécessaire. La prolifération des micro-organismes nécessite aussi une oxygénation suffisante (Figure 20) [113].



Figure 20: lits de séchage des boues STEP Sidi Aissa

III.1.5. Echantillonnage

- Les échantillons sont prélevés à l'entrée de STEP au niveau de la fosse septique et à la sortie de la STEP au niveau du réservoir de récupération des eaux traitées (Figure 21).

- L'échantillonnage est effectué à partir de 13h00, les flacons sont rincés plusieurs fois avec l'eau à prélever, ensuite on procède au remplissage du flacon, on ferme, on rince et essuie l'extérieur du flacon et on procède à l'étiquetage.

Ensuite, ils sont placés dans une glacière pour conservation les échantillons.



Figure 21 : prélèvement les échantillons STEP Sidi Aissa

III.2. Procèdes de traitement des eaux usées

III.2.1. Technique d'électrocoagulation (EC)

L'électrocoagulation est une technique électrochimique, au cours de la quelle les matières dissoutes et en suspension peuvent être efficacement éliminées d'une solution par électrolyse. L'électrocoagulation est un procédé électrolytique qui consiste à générer in situ un agent coagulant via l'application d'un courant électrique continu à travers une anode composée d'éléments métalliques. Les cations métalliques mis en solution dans les eaux usées à traiter se complexent pour former des ions hydroxydes, et ce sont ces composés qui jouent le rôle de coagulant. En contrôlant l'intensité du courant continu appliqué à l'anode, le dosage de coagulant peut être ajusté afin de satisfaire les objectifs de traitement [25].

III.2.1.1. Description du montage expérimental

Le traitement électrochimique a été effectué dans la réaction de plexiglas de 8.5 cm (Longueur) ; 10cm (profondeur) ,18 cm (hauteur).

Les électrodes (anode et cathode) sont des plaques aluminium de 8cm (largeur) ,11 cm (Hauteur) ,1 mm (épaisseur) placée parallèlement les unes aux autres.

Les électrodes, au nombre de quatre, ont une surface active de 88 cm^2 .

Afin de procéder à l'essai expérimental, un dispositif expérimental a été réalisé par le montage des marteaux et d'appareil suivant :

- Un générateur de courant électrique type MCPRXN-305D - (Laboratoire DC power Supplie)
- Des files électriques (connections entre générateur et électrode).
- La cellule électrochimique dans laquelle sont placés deux électrodes en alliage d'aluminium entre lesquelles circule l'effluent à traiter.
- 4 électrodes en aluminium d'une forme rectangulaire plongées dans la solution.
- Un barreau magnétique (1cm).
- Un agitateur magnétique (Wise Stir, MSH-20A).

✓ Mode opératoire

- ✚ Le dispositif expérimental d'électrocoagulation est composé de quatre électrodes d'aluminium de formes plates de mêmes dimensions ($8 \text{ cm} \times 11 \text{ cm}$) plongées dans un réacteur de 2 L.
- ✚ Le volume de liquide traité est de 1.5 L. La surface immergée de toutes les électrodes est de 88 cm^2 et la distance (d) les séparant est de 3 cm.
- ✚ Ces électrodes sont branchées aux bornes d'une alimentation en courant continu (générateur) dont la tension et l'intensité de courant maximales sont respectivement de 12V et 0.5 A.
- ✚ La durée de cette manipulation est de 5 heures (Figure 22).
- ✚ Nous avons filtré l'eau traitée (E/EC) (Figure 23).

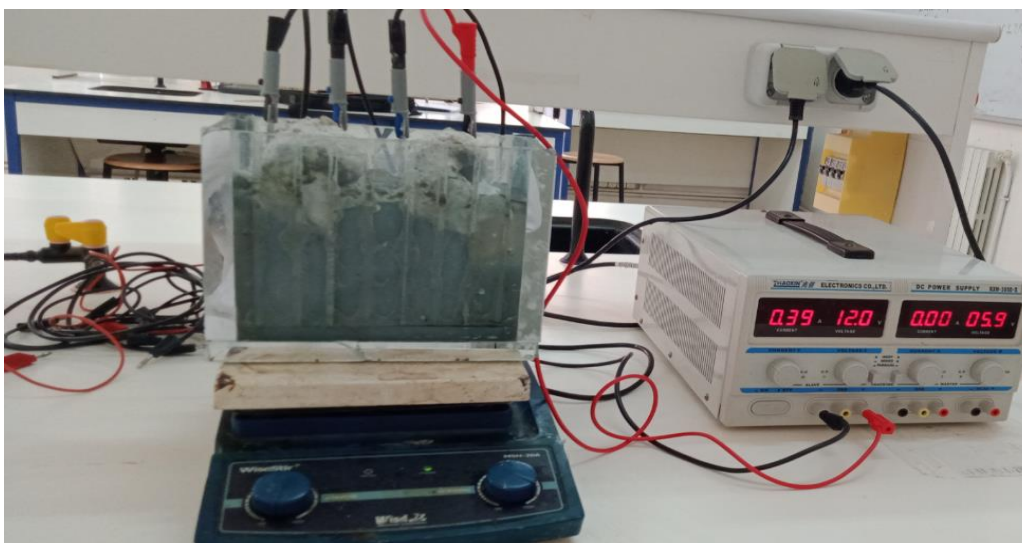


Figure 22: Le dispositif expérimental d'électrocoagulation



Figure 23 : La filtration (E/EC)

III.2.2. Traitement des eaux usées par la fibre Alfa

La plante d'Alfa (*Stipa tenacissima* L) utilisée dans ce travail provient de la région de Bou Saada, au sud de l'état de M'sila le 30 avril 2023, les plantes atteignent un mètre de hauteur. La fibre d'Alfa contient 45 % de cellulose, 25.8 % de l'hémicellulose, 27.94 % de lignine.

Le prétraitement ou purification de la fibre alfa se déroule en plusieurs étapes successives :

- ✚ Bon lavage de la fibre Alfa ;
- ✚ Couper la plante à une longueur de 3 cm ;
- ✚ Broyage de l'argile en poudre fine ;
- ✚ Séchage naturel pendant 4 jours ;
- ✚ Séchage dans l'étuve 80°C à 5 h ;
- ✚ Broyage pendant 5 min (Figure 24).



Figure 24 : Fibre d'Alfa

✓ Mode opératoire

- ✚ A l'aide d'une balance, mesurer 40 g de fibre d'Alfa.
- ✚ On Mettre cette quantité de fibre d'Alfa dans un récipient en verre avec un volume de 1,5 litre d'eau usée.
- ✚ On agite bien le mélange (Eau usé + fibre Alfa) et mettons sur le agitateur magnétique, on utilise un barreau magnétique (3cm) ;
- ✚ Laisser le mélange pendant 5 heures avant l'analyse (Figure 25).
- ✚ Nous avons filtré le mélange (E/AF).

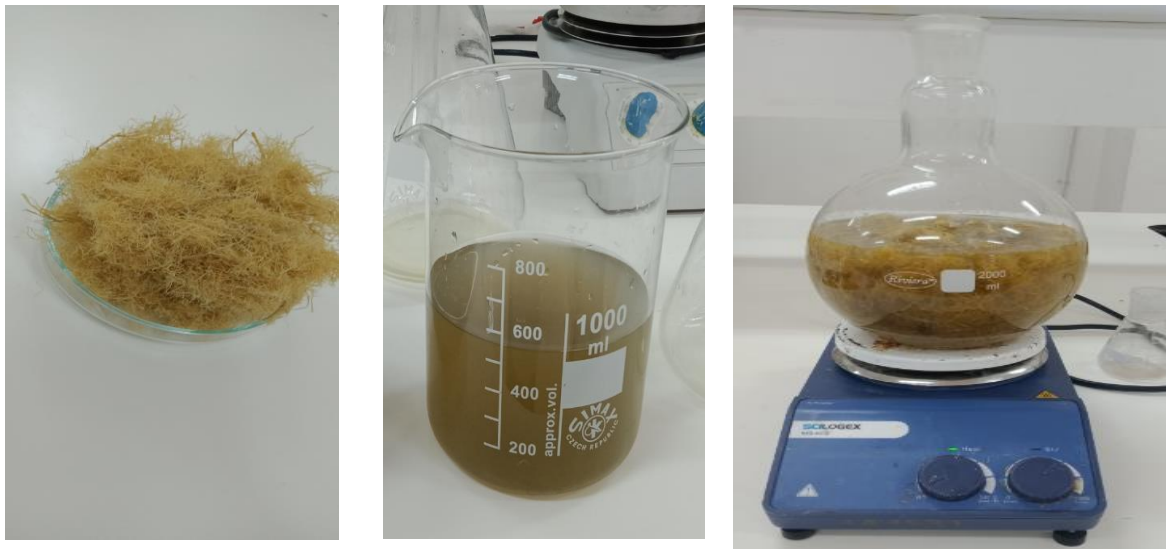


Figure 25: Traitement des eaux usées par la fibre d'Alfa (E/AF)

III.2.3. Traitement des eaux usées par l'argile

L'argile utilisée dans cette travail est l'argile vert obtenu De la région de Maadid, au nord de l'état de M'sila.

Cette argile est prétraitée selon un protocole, classique, utilisé dans notre laboratoire. Ce prétraitement physico-chimique, de l'argile a pour but de la débarrasser de toutes les impuretés organiques et minérales.

Le prétraitement ou purification de l'argile se déroule en plusieurs étapes successives :

- ✚ Elimination par tamisage des grosses particules solides (organiques et minérales) ;
- ✚ Broyage de l'argile en poudre fine ;
- ✚ Lavage à l'eau distillée afin d'éliminer les impuretés ;
- ✚ Séchage naturel dans le soleil pendant 24 heures ;
- ✚ Ébrouage l'argile séchée, puis tamisez-la et séparez les particules supérieures à 0,04 μm .

✓ **Mode opératoire**

- ✚ Prendre une quantité d'argile verte 400 g ;
- ✚ On Mette cette quantité de lisier séché dans un récipient en verre avec un volume de 1,5 litre d'eau usée ;
- ✚ -on agite bien le mélange et mettons sur l'agitateur magnétique, on utilise un barreau magnétique (3cm) ;
- ✚ Laisser le mélange (L'eau usé +l'argile) pendant 5 heures avant l'analyse (Figure 26).
- ✚ Nous avons filtré le mélange (E/AR).

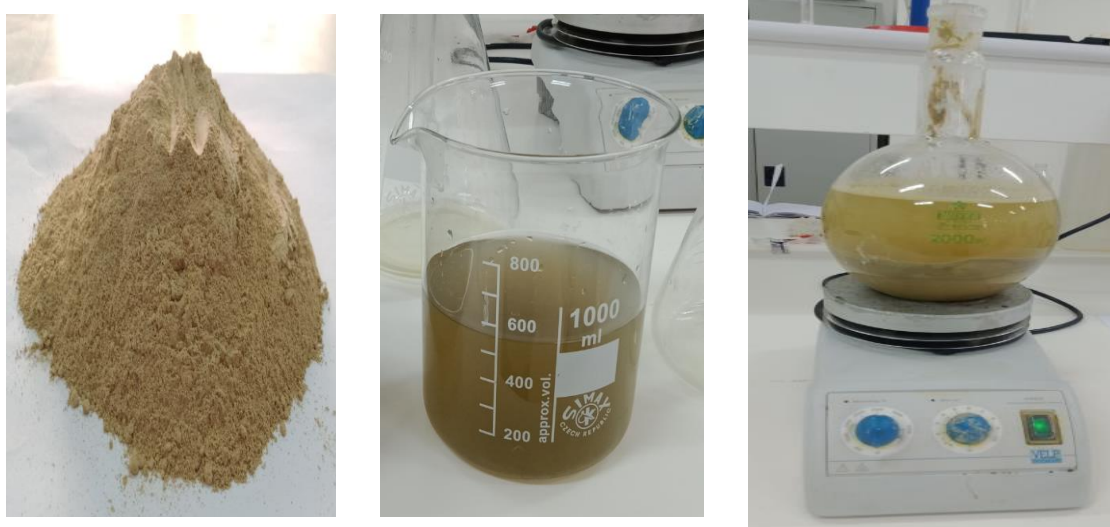


Figure 26 : Traitement des eaux usées par l'argile (E/AR)

III.2.4. Traitement des eaux usées par L'hybride (Argile+la fibre Alfa)

Dans ce procédé on utilise la même argile et la fibre Alfa précédent.

✓ **Mode opératoire**

- ✚ Prendre une quantité d'argile verte 200 g ;
- ✚ A l'aide d'une balance, mesurer 20 g de Fibre d'Alfa ;
- ✚ On mélange le tout pour obtenir un mélange hétérogène d'argile et la Fibre Alfa ;
- ✚ On Mette cette quantité de lisier séché dans un récipient en verre avec un volume de 1,5 litre d'eau usée ;
- ✚ on agite bien le mélange et mettons sur l'agitateur magnétique, on utilise un barreau magnétique (3cm) ;
- ✚ Laisser le mélange (L'eau usé +argile+fibre Alfa) pendant 5 heures avant l'analyse (Figure 27).
- ✚ Filtre le mélange (E/ARAF) à l'aide un papier de filtration.



Figure 27 : Traitement des eaux usées par l'hybride (E/ARAF)

III.2.5. Traitement des eaux usées par les deux méthodes par vois électrocoagulation et l'hybride (E/ECARAF)

✓ Mode opératoire

- ✚ Prendre une quantité d'argile verte 200 g ;
- ✚ A l'aide d'une balance, mesurer 20 g de fibre d'Alfa ;
- ✚ On mélange le tout pour obtenir un mélange hétérogène d'argile et la fibre Alfa ;
- ✚ On Mette cette quantité de lisier séché dans un récipient en verre avec un volume de 1,5 litre d'eau usée ;
- ✚ on agite bien le mélange et mettons sur l'agitateur magnétique, on utilise un barreau magnétique (3cm) ;
- ✚ Laisser le mélange (EEC/ARAF) pendant 5 heures avant l'analyse (Figure 28) ;
- ✚ Filtre le mélange (à l'aide un papier de filtration).

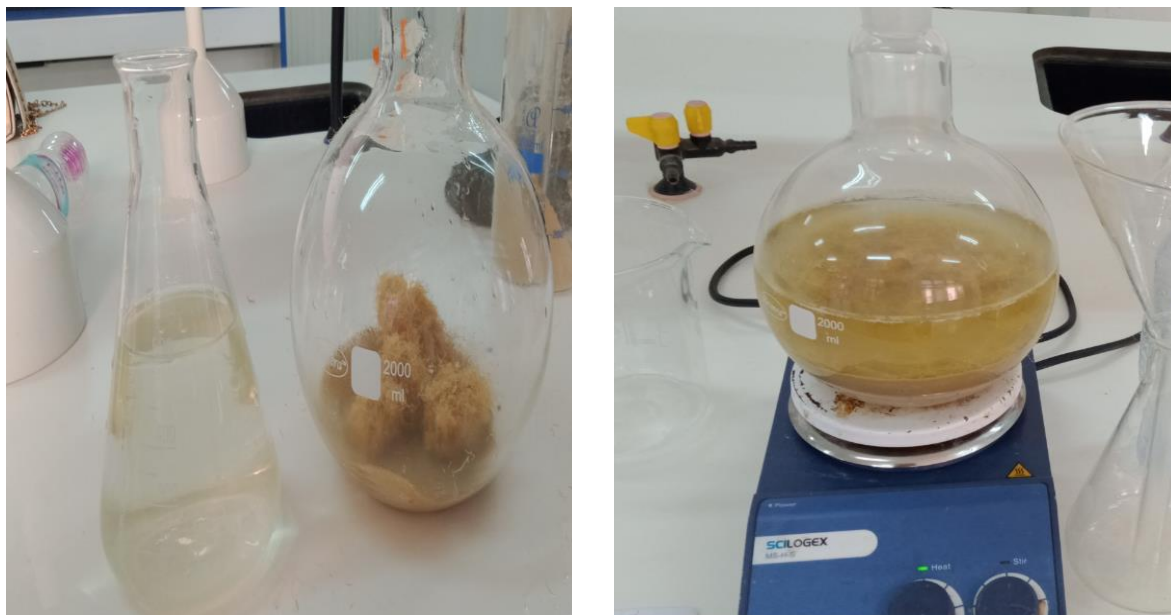


Figure 28 : Traitement E/EC par l'hybride (E/ECARAF)

III.3. Les analyses physico-chimiques sur les eaux usées

III.3.1. Le pH

✓ Principe

C'est la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant de même solution. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ défini par la formule (18) :

$$PH = - \log [H^+] \quad (18)$$

✓ Matériels et produits :

Bécher (25ml), Eau à analyser, pH-mètre (WTW cond 3110 made in Germany) (Figure 29).

✓ Mode opératoire :

- Etalonner l'appareil avec la solution tampon ;
- Remplir le bécher avec l'eau à l'analyser ;
- Emerger l'électrode dans l'échantillon ;
- Lire directement le PH lorsque la valeur s'est stabilisée.



Figure 29 : L'appareil de pH mètre.

III.3.2. la Température

✓ Principe

Pour mesurer la température, l'on se sert de l'effet thermoélectrique à la surface de contact. Il engendre une tension thermique relativement faible, laquelle dépend de la différence de température entre le point de mesure et les bornes de connexion.

✓ Matériels et produits :

Bécher (250ml), Eau à analyser, multi-paramètre (HQ440d –multi) ;

✓ Mode opératoire

- On rince d'abord le bécher et l'électrode avec de l'eau distillée, puis avec l'eau à analyser ;
- remplit le bécher avec l'échantillon et on plonge l'électrode sous agitation ;
- on lit quand leurs valeurs sont stables. Le montage est donné sous la forme suivante (Figure 30) ;

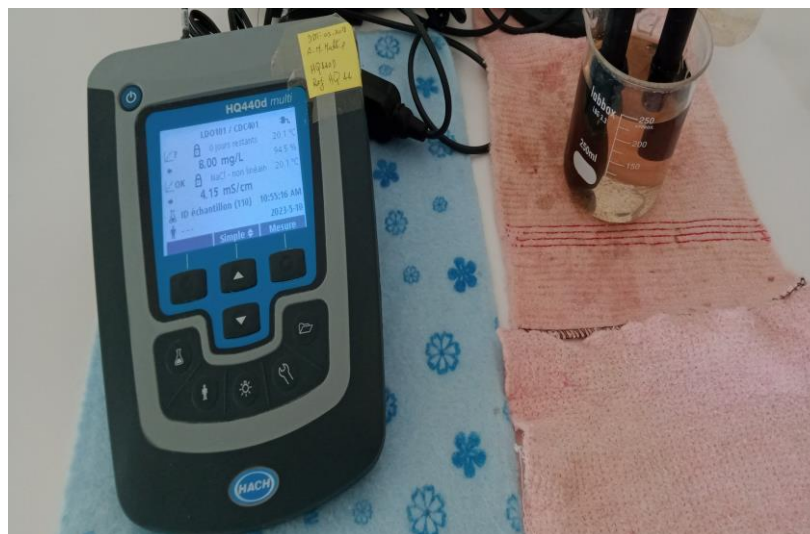


Figure 30:L'appareil de multi-paramètre STEP Sidi Aissa

III.3.3. la Conductivité :

✓ Principe

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. La conductivité électrique d'une eau augmente avec la teneur en sels électrolysables dissous

✓ Matériels et produits :

Bécher (250ml), Eau à analyser, multi-paramètre (HQ440d –multi) ;

✓ Mode opératoire :

- Rempli le bécher avec l'eau à analyser ;
- Emerger l'électrode dans l'échantillon ;
- Lire directement la Conductivité lorsque la valeur s'est stabilisée ;

III.3.4. Oxygène dissous

✓ Principe

La mesure de l'oxygène dissous s'effectue par la méthode électrochimique sur site à l'aide d'une sonde dioxymétrique qui permet d'afficher la teneur en oxygène dissoute en concentration (mg d'O₂/L) soit en pourcentage de saturation en oxygène.

✓ Matériels et produits :

Bécher (250ml), Eau à analyser, multi-paramètre (HQ440d –multi) ;

✓ Mode opératoire

- On rince d'abord le bécher et l'électrode avec de l'eau distillée, puis avec l'eau à analyser ;
- remplit le bécher avec l'échantillon et on plonge l'électrode sous agitation ;
- on lit quand leurs valeurs sont stables. Le montage est donné sous la forme suivante ;

III.3.5. la Turbidité :

✓ Principe

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. La mesure de la turbidité est très utile pour le contrôle d'un traitement mais ne donne pas d'indications sur les particules en suspension qui l'occasionne. La mesure se fait par comparaison de la lumière diffusée et de la lumière transmise dans l'échantillon d'eau et par une gamme étalon.

✓ Matériels et produits :

Cuve de turbidimètre, Eau distillée, Eau à analyser, papier absorbant, Turbidimètre (WTW Turb 555IR made in Germany) ;

✓ Mode opératoire :

- Mettre en marche le turbidimètre ;

- Rincer la cuve avec l'eau distillée ;
- Agiter l'échantillon à analyser et remplir la cuve ;
- Essuyer la cuve avec du papier absorbant en le tenant par la partie supérieure avec le plus grand soin afin de ne pas laisser des traces dessus ;
- Placer la cuve dans l'appareil et fermer le couvercle ;
- Noter la valeur affichée (Figure 31).



Figure 31 :L'appareil de Turbidimètre

III.3.6. Détermination des matières en suspension (MES)

✓ Principe

Les matières en suspension sont obtenues soit par filtration des effluents peu chargés, Soit par centrifugation des solutions, séchage jusqu'à l'évaporation total d'eau.

✓ Matériels et produits :

- Dispositif de filtration (pompe à vide, fiole et entonnoir de filtration) (Figure 32).
- Disque filtrant en fibre ;
- Balance de précision ;
- Dessiccateur ;
- Etuve à 105°C ;
- Eprouvette (50ml).
- Eau à analyser.

✓ Mode opératoire :

- Préparation des filtres: On lave les filtres a l'eau distillée, et après on les sèche a l'étuve (pendant 2 heures a 105°C), ensuite on les place en attente dans le dessiccateur ;
- On prend le filtre et on le pèse et on marque le poids comme M_0 en mg ;

- Ensuite on place le disque dans l'appareil de filtration et on roule le système d'aspiration ;
- On verse progressivement le volume d'eau (50 ml) à analyser sur le disque filtrant ;
- On met le disque dans l'étuve pendant 2 h à 105°C ;
- On laisse le filtrant refroidir au dessiccateur (10min) ;
- Après on pèse le filtre et on marque le poids comme M_1 ;
- La lecture se fait comme suit(18): $MES = M_1 - M_0 / 50(\text{mg} / \text{l})$ (18)

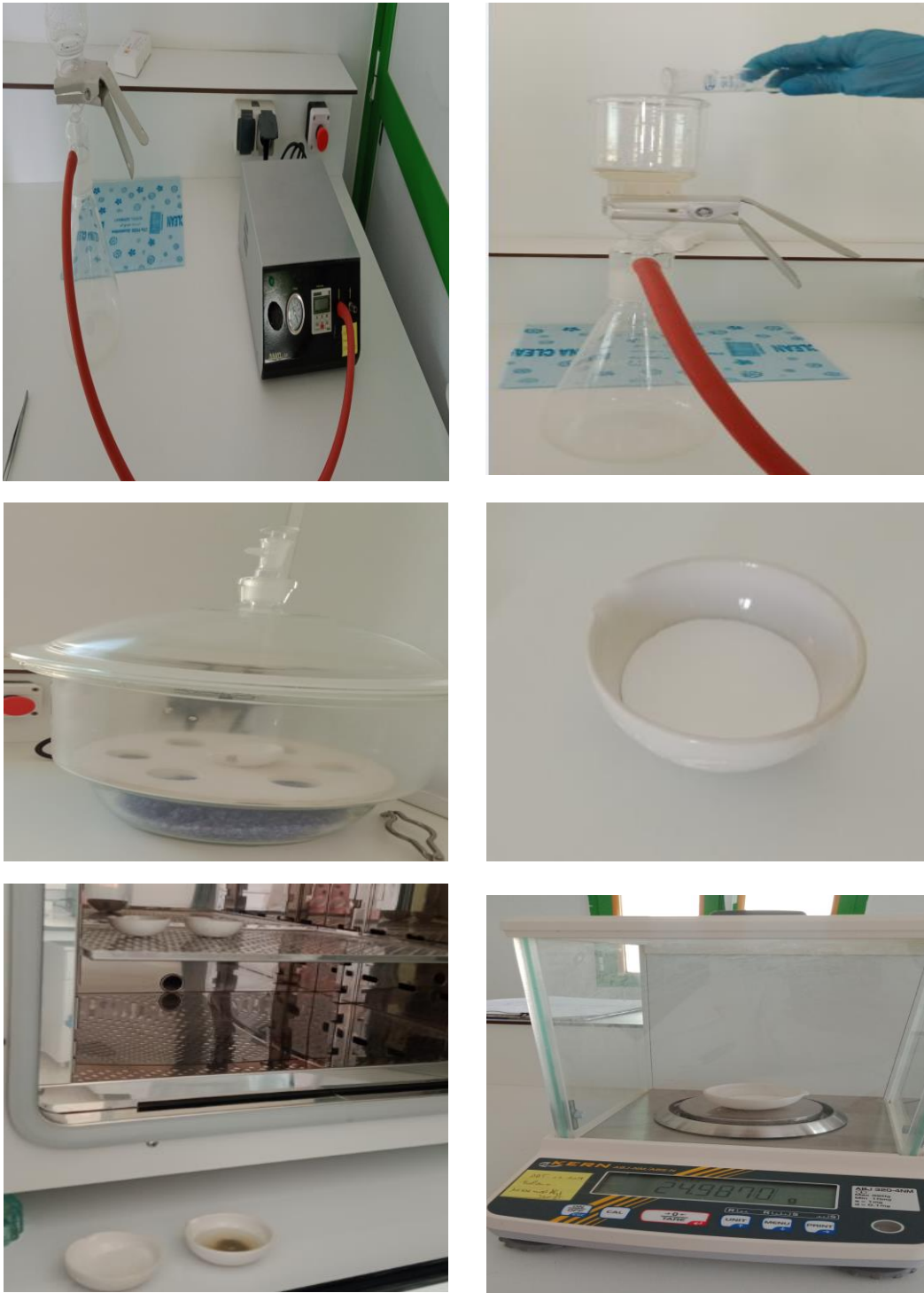


Figure 32 : Détermination des matières en suspension (MES) STEP Sidi Aissa

III.3.7. Demande biologique de l'oxygène (DBO₅)

✓ Principe

La détermination de la DBO₅ consiste à mesurer la consommation d'oxygène par voie biologique à une température constante égale à 20°C, pendant un temps limité, par convention 5 jours.

✓ Matériels et produits :

- Eprouvette.
- Barreau magnétique.
- DBO-mètre (HACH BODTrak™ II).
- l'échantillon d'eau à analyser.
- l'inhibiteur de DBO-mètre.
- Hydroxyde de sodium KOH.

✓ Mode opératoire :

- Prendre 355 ml de l'eau à analyser (eau épuré), et les mettre dans les flacons de DBO₅ (1) ;
- Prendre 95 ml de l'eau à analyser (eau brute), et les mettre dans les flacons de DBO₅ (2) ;
- Dans les deux flacons à DBO amené à un barreau magnétique (Figure 33) ;
- ajouter huit goutte de l'inhibiteur dans le flacon(1) ;
- ajouter quatre goutte de l'inhibiteur dans le flacon(2) ;
- Ajouter dans le bouchon trois pastilles de KOH dans chaque flacon (Qui a pour rôle de piéger le CO₂ dégazé pendant la respiration), et les incubé durant cinq jour à 20C° à l'obscurité, Les résulte ont exprimé en (mg/l) (Figure 34).



Figure 33 : les flacons de DBO₅



Figure 34 : Le DBO mètre utilisé dans STEP de sidi Aissa

III.3.8. Mesure Demande chimique de l'oxygène (DCO)

✓ Principe

Dans des conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par de dichromate de potassium, ($K_2Cr_2O_7$) en milieu acide et en présence de sulfate d'argent (Ag^+) comme catalyseurs d'oxydation et de sulfate de mercure (Hg^{2+}) permettant de complexer les ions chlorures. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de Fer et d'ammonium car la quantité de matière oxydable est proportionnelle à la quantité de dichromate réduit.

✓ Matériels et produits :

- Eau brute.
- Eau épurée.
- Réacteur DCO.
- Thermostat (HACH ,DRB200) .
- Spectrophotomètre (HACH LANGE ,DR3900).
- Kits (tubes contenant les réactifs).

✓ Mode opératoire :

- Mélanger les kits;
- Verser 2 ml d'eau dans les kits et bien mélanger.
- Mettre les kits dans thermostat pour le chauffage à une température de l'ordre de $150^{\circ}C$ pendant deux heures;
- Après deux heures on laisse les kits se refroidissent, ensuite on mesure la DCO avec le Spectrophotomètre (Figure 35).

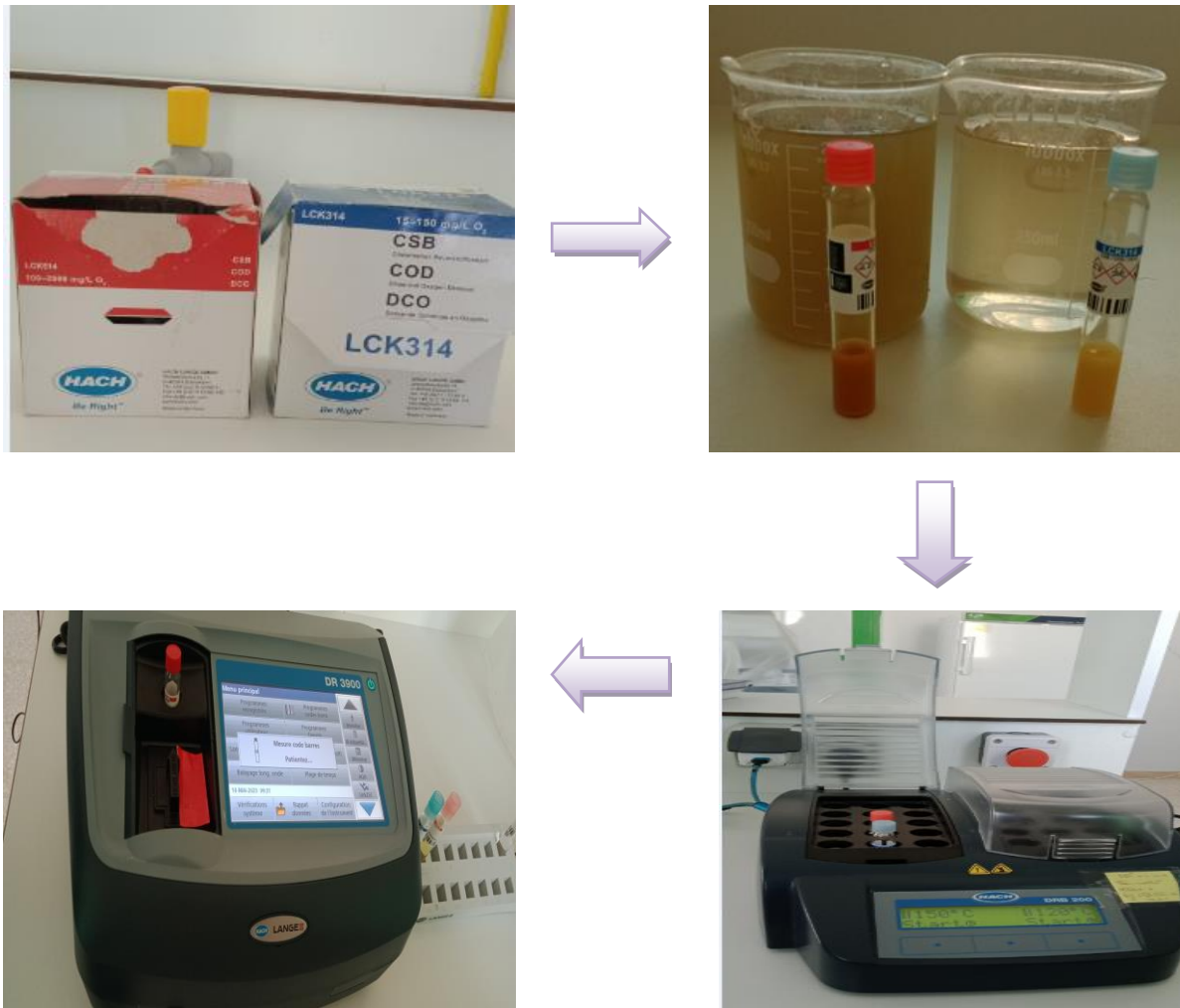


Figure 35: Les étapes de détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) STEP
Sidi Aissa

III.3.9. Détermination du phosphate PO_4^{3-} :

✓ Matériels et produits :

- Kits (tubes contenant les réactifs).
- Spectrophotomètre.
- Thermostat
- Réactif B.

✓ Mode opératoire :

- Ajouter 0,4 ml de l'eau brute dans le kit + 0,5 ml de réactif B;
- Agiter le kit après on change le bouchon de kit et laisser 10 min ;
- Lire la concentration dans le spectrophotomètre ;

- Pour l'eau épurée on obtient 2 ml d'eau + 0.5 de réactif B et refaire les mêmes étapes de l'eau brute ;
- Mettre les kits dans thermostat pour le chauffage à une température de l'ordre de 120°C pendant 30 minutes ;
- Après 30 minutes on laisse les kits se refroidissent, ensuite on mesure la PO_4^{3-} avec le Spectrophotomètre (Figure 36).

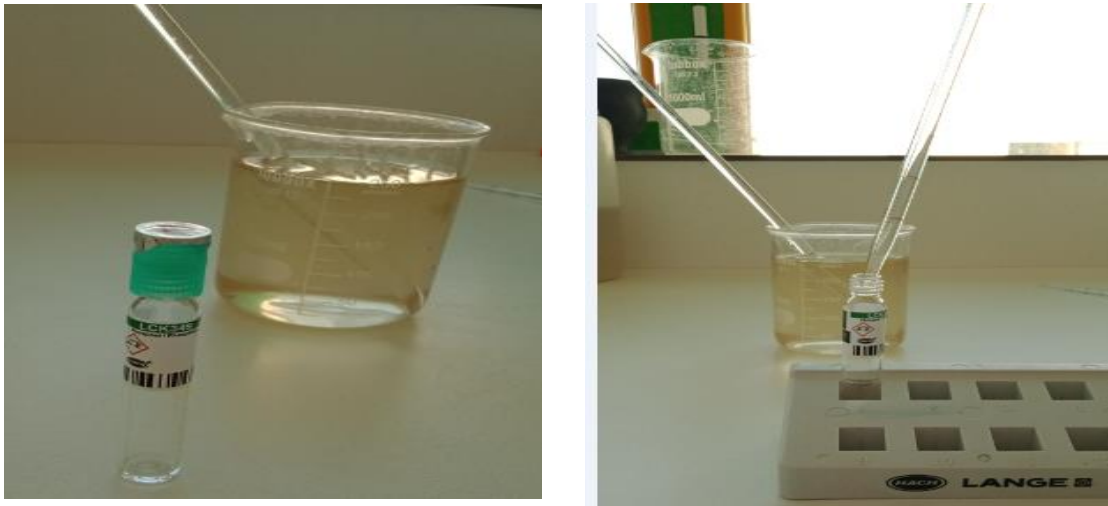


Figure 36: Photo représentant la manipulation pour la détermination de PO_4^{3-}

III.3.10. L'azote des Nitrates NO_3^-

• Matériels et produit

- Kits (tube contenant les réactifs)
- Eau brut
- Eau épurée
- Spectrophotomètre

•Mode opératoire

- Prendre 1 ml d'eau épure ;
- Ajouter 0.2ml de réactif A ;
- Prendre 0.2 ml d'eau brute ;
- Ajouter 1ml de réactif A ;
- Attendre 15 minutes ;
- Après les 15 minutes on mesure l'absorption de la préparation par le spectrophotomètre (Figure 37).

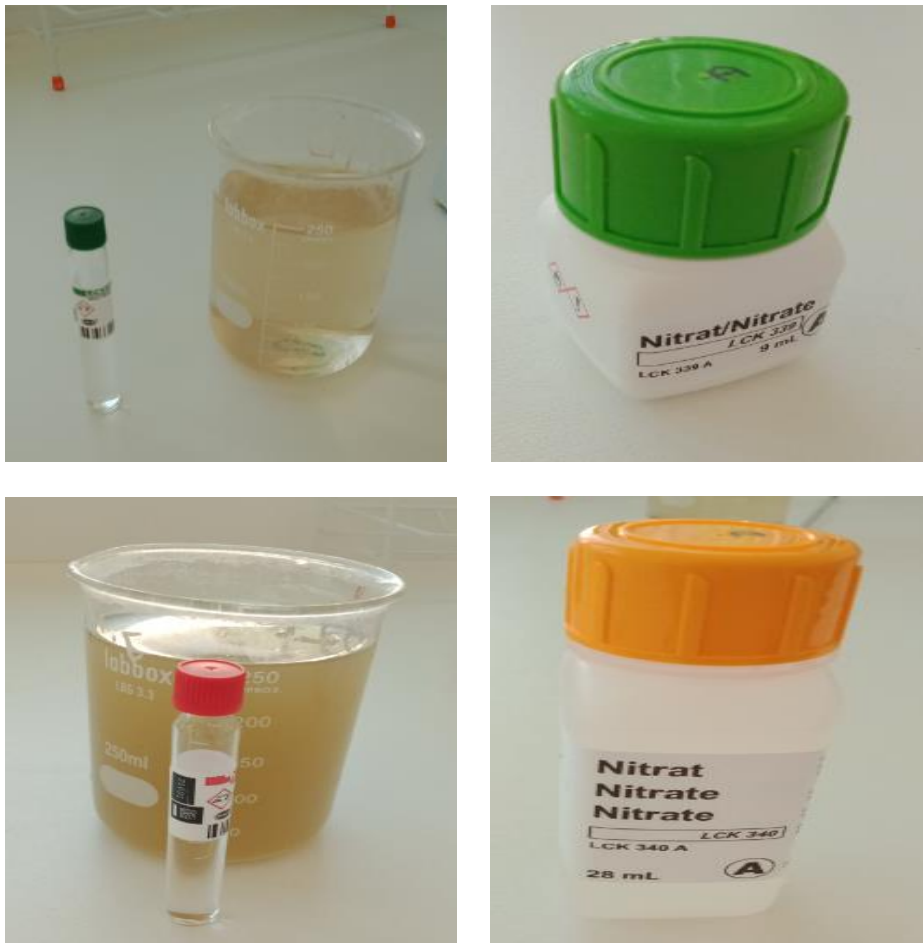


Figure 37 : Photo représentant la manipulation pour la détermination de NO_3^-

Chapitre IV :

**Résultats et
discussion**

IV.1 Les résultats trouvés avant et après le traitement des eaux usées

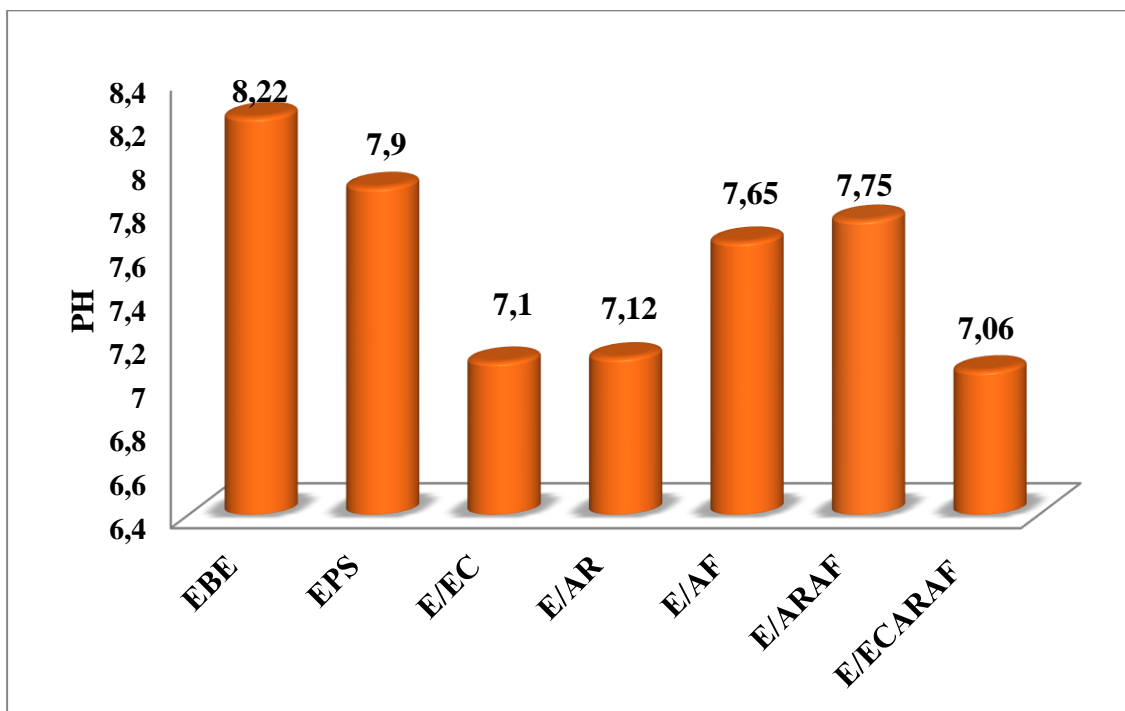
IV.1.1. Potentiel hydrogène

La mesure du pH des eaux usées donne une indication sur l'alcalinité ou l'acidité de ces eaux.

L'évolution du pH des échantillons prélevés à l'entrée et à la sortie de la STEP avant et après l'utilisation des méthodes de traitement sont présentés dans la [figure 38](#).

On constate de ces résultats que le PH pour les eaux brutes (EBE) égal 8.22 alors le milieu basique et varie entre 7.9 et 7.06 pour les eaux usées traitées, La raison du milieu basique de l'eau brute est la présence de sels basaux et d'activité bactérienne dans l'eau.

Où nous enregistrons la meilleure valeur du PH égal à 7.06 lors du traitement deux fois (E/ECARAF), c'est-à-dire que l'eau a presque neutralisé alors l'effet de différent traitement est positive.



IV.1.2. La température

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques. Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes.

Dans les échantillons d'étude, les températures enregistrées ([Figure 39](#)) oscillent entre 21.09°C et 20.1°C.

La diminution de la température de l'eau traitée peut être expliquée à travers le contact de cette eau dans l'air, un manque de réactions biochimiques et la diminution du nombre de bactéries, car ces différences n'affectent pas le choix des micro-organismes responsables de la purification.

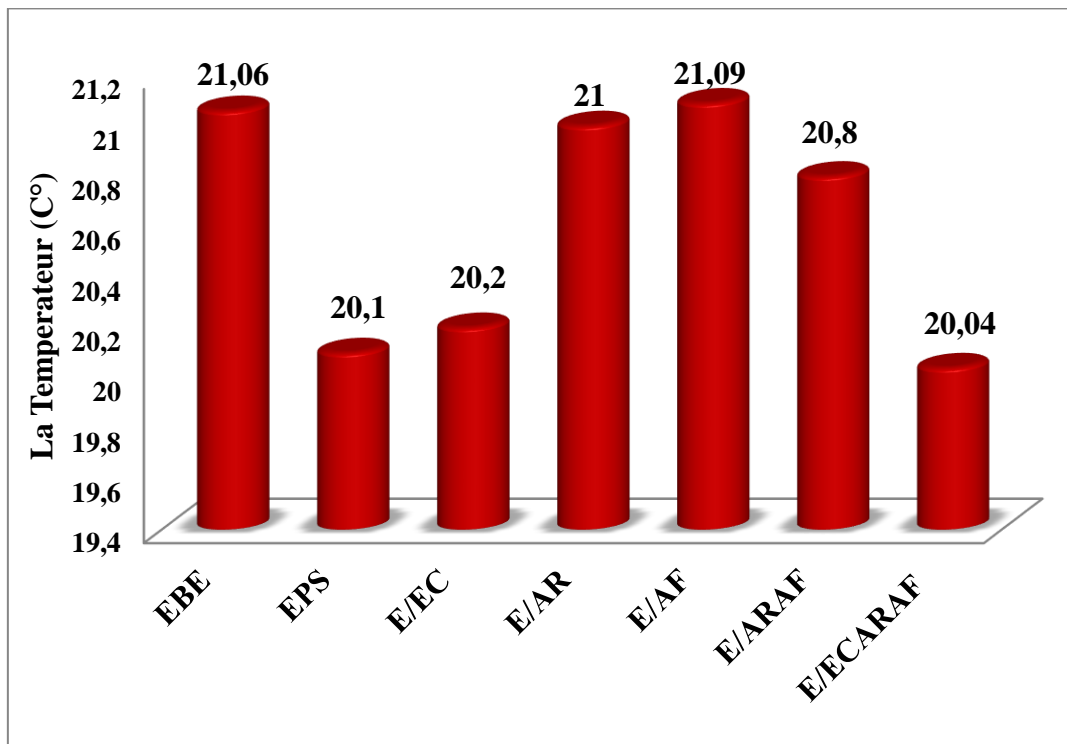


Figure 39 : La température des eaux usées avant et après le traitement

IV1.3.. La conductivité électrique

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique.

La figure 40 montre les changements de conversion électrique dans l'eau brute et le traitement, car sa valeur dans l'eau brute variait (EBE) à 5,33 par rapport le traitement des eaux usées par L'hybride (E/ARAF) à lui a enregistré la valeur la plus basse.

Nous expliquons la hauteur de l'électricité dans l'eau brute et le traitement de la station, comme son eau représente déchets à domicile et souvent ils sont chargés de grandes quantités de sels, ainsi que de la principale source de repas négatifs et positive.

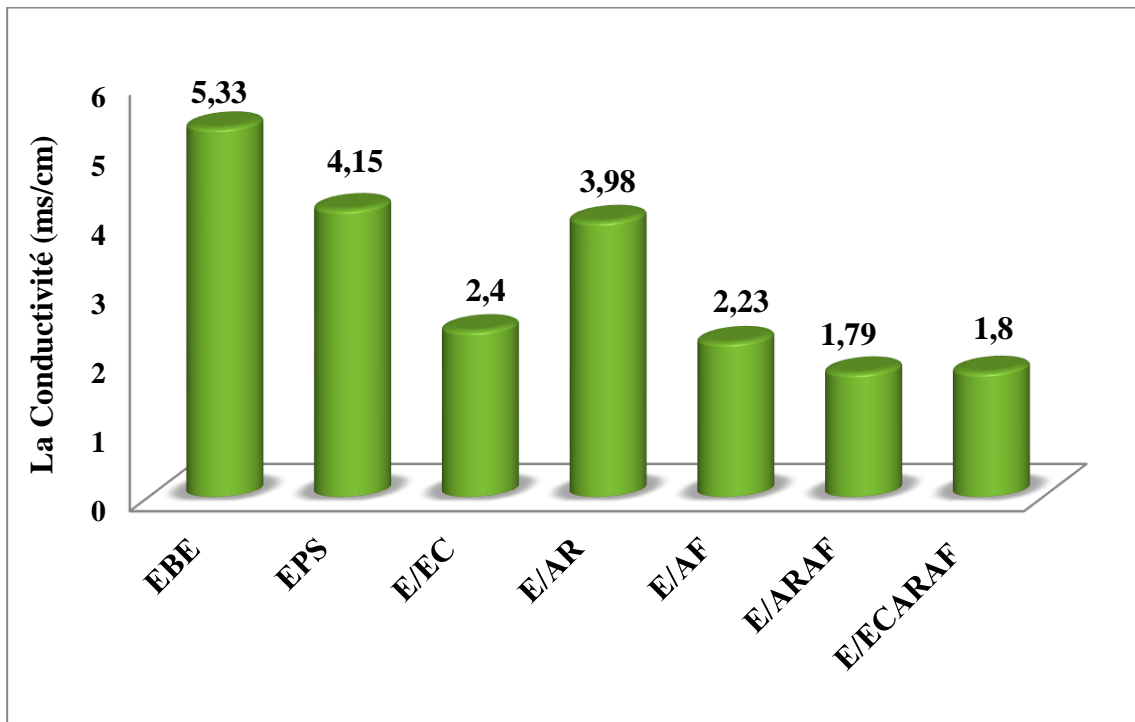


Figure 40 : La conductivité des eaux usées avant et après le traitement

IV.1.4. Oxygène dissous :

L'oxygène est l'un des paramètres particulièrement utile pour l'eau et constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré d'épuration d'eau.

Dans notre étude. Nous avons enregistré les valeurs de l'oxygène dissous des prélèvements avant et après le différent traitement.

D'après la [figure 41](#), on a trouvé la valeur maximale de la concentration est 8 mg/l pour l'eau brute (EBE) et le traitement des eaux usées dans la STEP (EPS) est efficace beaucoup plus, car démunie de la valeur initiale de la polluant à 0.14mg/l.

Lorsque nous avons utilisé les différentes méthodes des traitements, la valeur d'oxygène dissous a diminué par rapport à l'eau brute. Comme pour la méthode d'Alfa (E/AF), nous avons enregistré une valeur de 2.02 mg / l de la quantité d'oxygène, ce qui est une valeur élevée par rapport aux autres traitements.

En fin de compte, nous concluons que la méthode de traitement avec l'Alfa afin de diminuer la concentration de l'oxygène dissous est considérée comme inefficace par rapport aux différentes méthodes utilisées et la STEP.

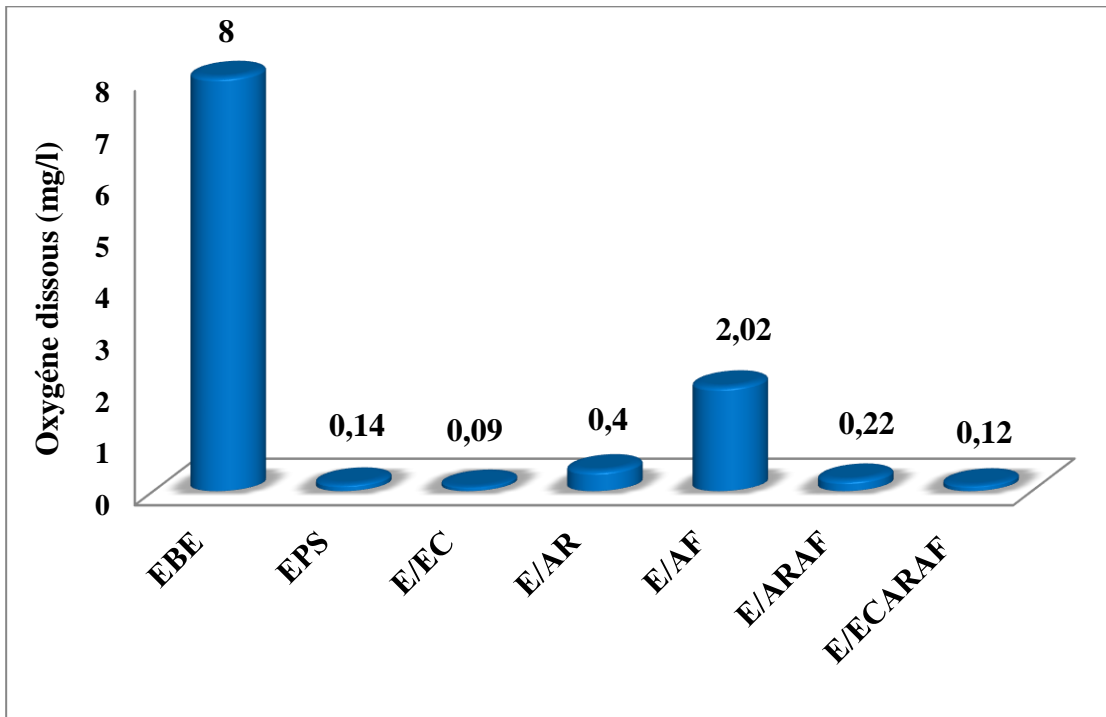


Figure 41 : L'oxygène dissous des eaux usées avant et après le traitement

IV.1.5.La turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales ; argiles, limons, grains de silices, matières organiques,... Elle caractérise le degré de non transparence de l'eau. Elle est exprimée en mg/l de silice ou en unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

D'après la [figure 42](#) on remarque la valeur de turbidité maximal avant le traitement (EBE) est égal 90.93 NTU et après le traitement la valeur de turbidité est démunie dans tous les méthodes appliquée, par rapport à une station d'épuration (EPS), Nous avons obtenu la valeur la plus faible lors du traitement par la technique d'électrochimique est égal 0.22 NTU.

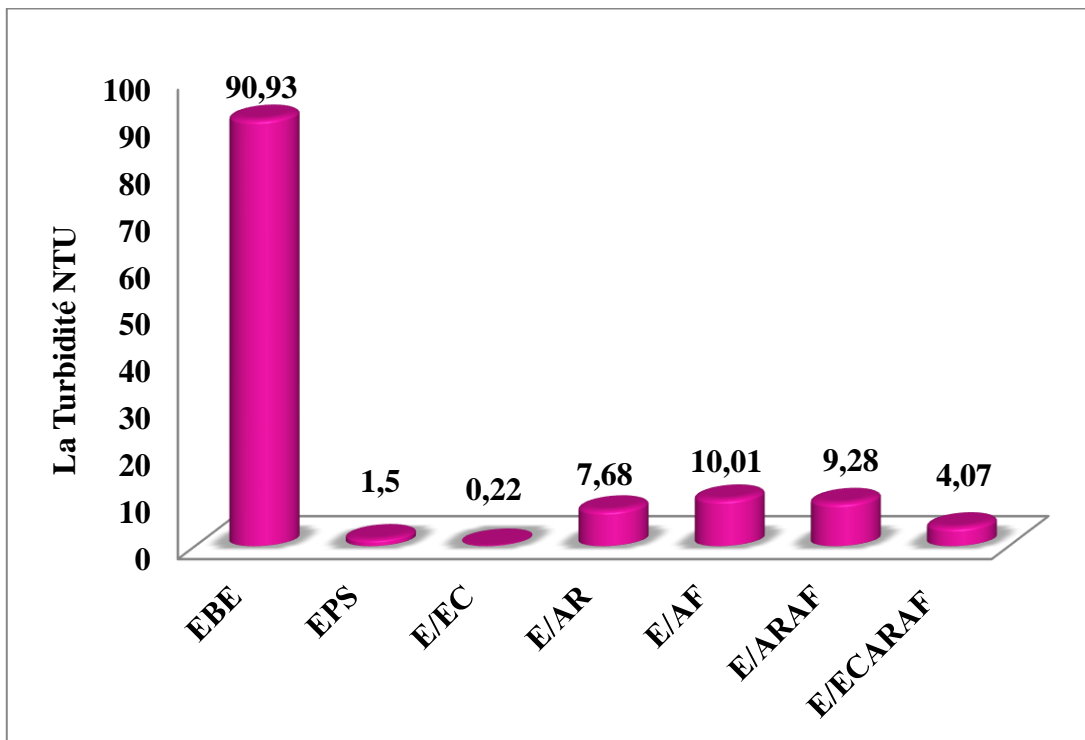


Figure 42 : La turbidité des eaux usées avant et après le traitement

IV.1.6. La Matière en suspension (MES)

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux.

La figure 43 représente les valeurs de MES des eaux usées avant et après traitement (EBE), nous remarquons la concentration maximal de MES égal 330 mg/l et la valeur minimal égal 5.03mg/l,

Il représente une concentration de MES résultant de l'application Technique d'électrocoagulation (E/EC), Il a pris la technologie de traitement des eaux usées par l'hybride (E/ARAF) La valeur le plus élevé par rapport aux autres méthodes de traitement.

Enfin, nous concluons que la technique d'électrocoagulation est le plus efficace de réduire la quantité des matières en suspension dans les eaux usées.

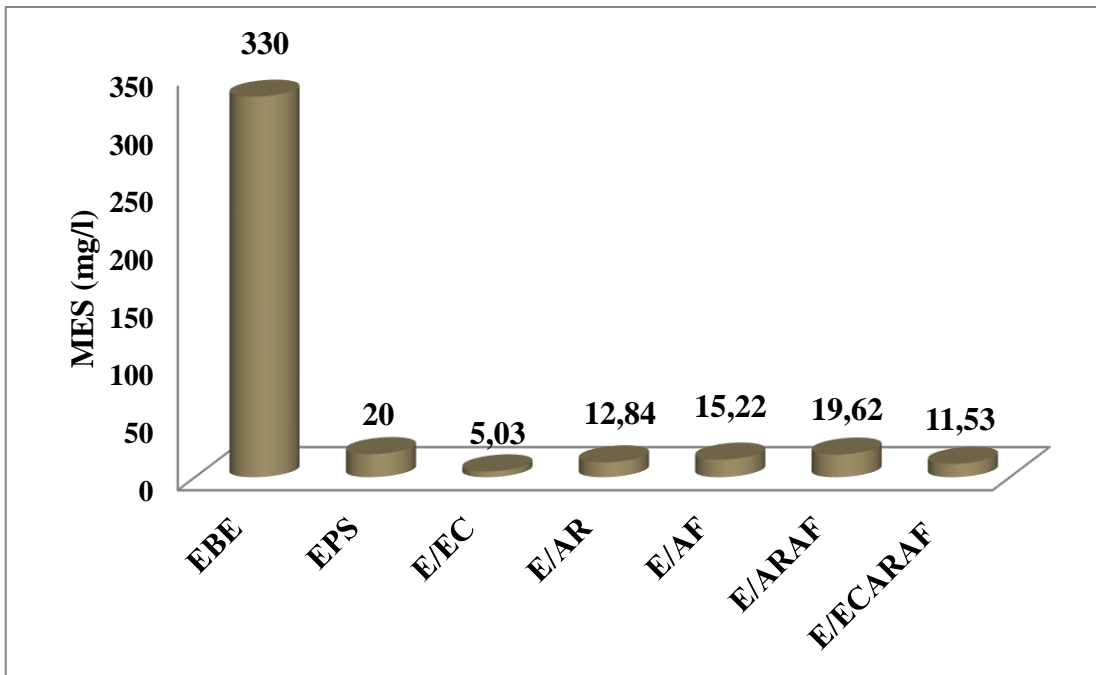


Figure 43: Le MES des eaux usées avant et après le traitement

IV.1.7. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La DBO₅ (demande biochimique en oxygène), c'est la quantité d'oxygène dissous consommée par les micro-organismes, à l'obscurité à 20 °C pendant 5 jours. Il permet l'évaluation des matières organiques biodégradables.

D'après la [figure 44](#), nous notons une augmentation significative de la concentration de DBO₅ dans l'eau brute (EBE) estimée à 772 mg / l et après traitement, nous notons une diminution de la valeur de DBO₅ à 9,8 mg / l au niveau du sortie de station d'épuration (EPS).

Lors de l'application des différentes méthodes de traitement, nous avons obtenu de bons résultats, où nous remarquons que la valeur la plus basse de DBO₅ atteint 15,72 mg / l. Lorsque l'utilisation La méthode électrocoagulation(E/EC) est une excellente valeur par rapport à la valeur initiale.

Les résultats obtenus ont donné des valeurs plus élevé que la station car les prélèvements ont été placés dans un milieu fermé par rapport à la station d'épuration qui était dans un milieu ouvert.

L'élimination de la DBO₅ dans la station est traduite par la dégradation biologique de la matière organique dans le réacteur biologique.

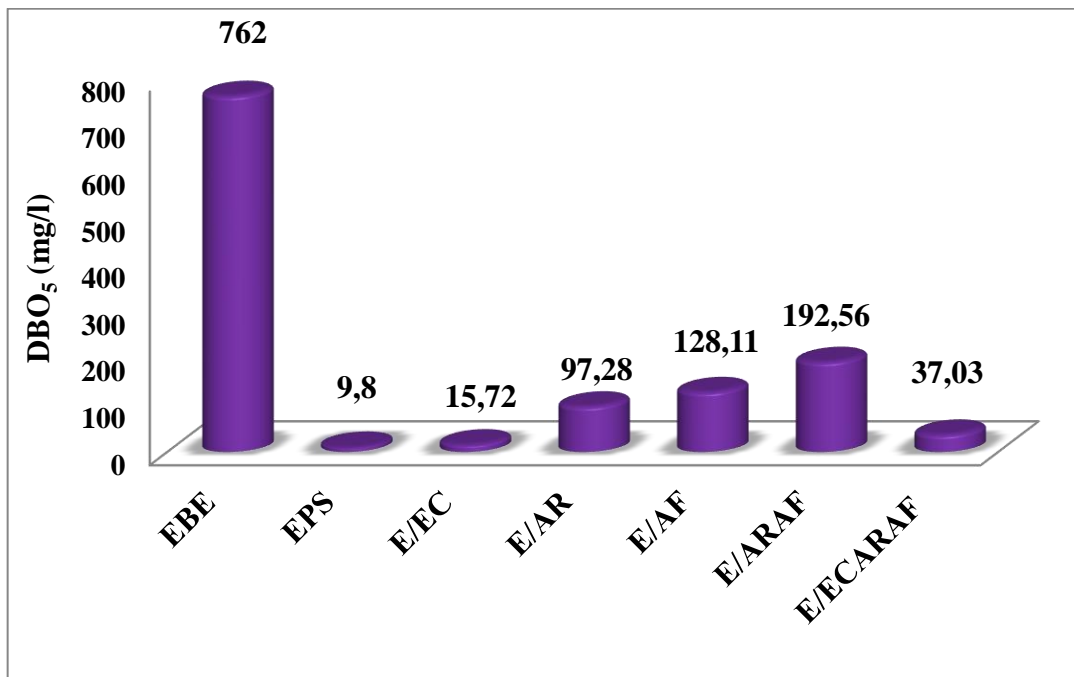


Figure 44: La DBO₅ des eaux usées avant et après le traitement

IV.1.8. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène représente la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables chimiquement contenues dans l'eau. Elle est représentative de la majeure partie des composés organiques mais également des sels minéraux oxydables (sulfures, chlorures.etc).

D'après la [figure 45](#), on remarque que l'oxydation chimique avant le traitement la concentration est maximal égal 1500 mg/l, et sont comprise entre la valeur 311.5 et 95.26 mg/l. Où nous avons enregistré une diminution forte oxydation chimique des matières oxydables après le traitement par la fibre alfa (E/AF) par contre les autres méthodes appliqué, Il se situait à peu près à un niveau avec la station d'épuration qui enregistrerait une valeur de 97,4mg/l.

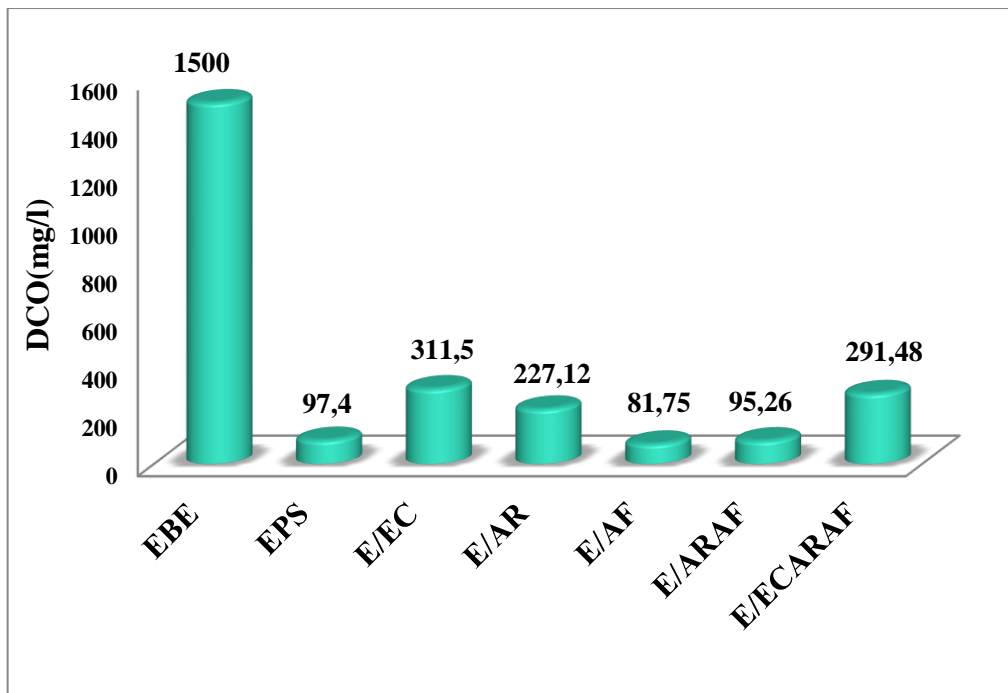


Figure 45 : La DCO des eaux usées avant et après le traitement

IV.1.9. Notion de biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent aqueux à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans les processus d'épuration biologique des eaux. La biodégradabilité est exprimée par un coefficient : $K = DCO / DBO$.

Si:

- $K < 1.5$ L'effluent est biodégradable.
- $1.5 < K < 2$ L'effluent est moyennement biodégradable.
- $K > 2$ L'effluent n'est pas biodégradable.

Nous avons observé dans la [figure 46](#) diversifiées la valeur de biodégradabilité comme suit :

- L'effluent est biodégradable : E/AF, E/ARAF
- L'effluent est moyennement biodégradable : EBE
- L'effluent n'est pas biodégradable : EPS, E/EC, E/AR, E/ECARAF

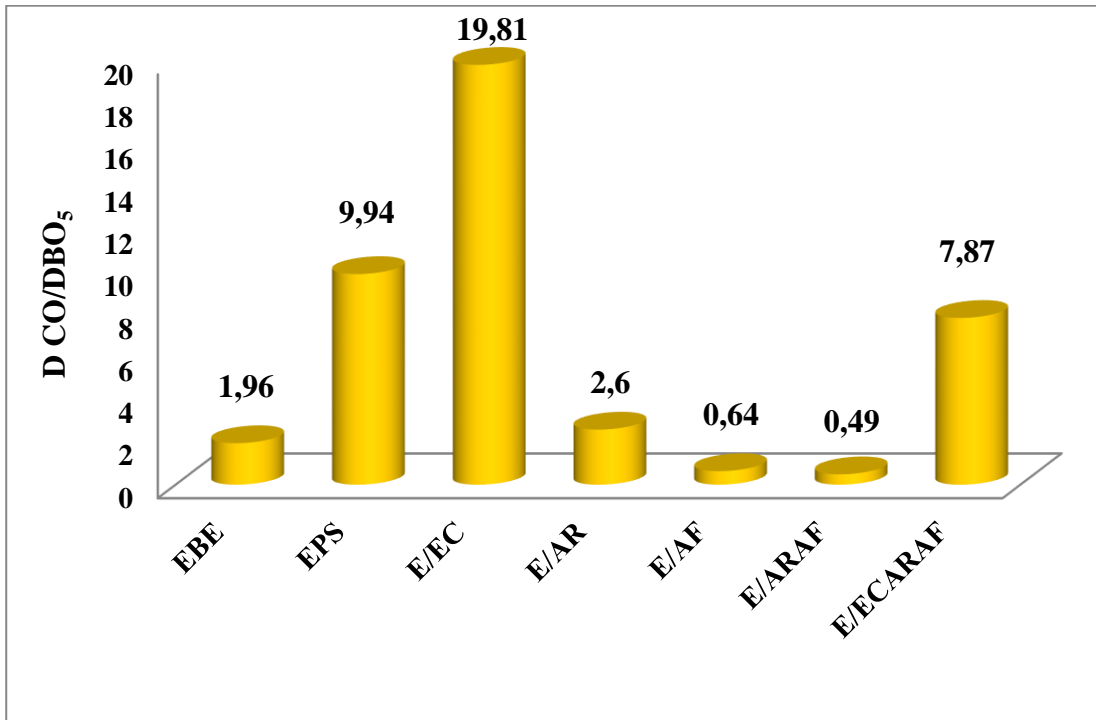



Figure 46 : La DCO/DBO₅ des eaux usées avant et après le traitement



**Conclusion
générale**

Conclusion générale

La pollution de l'eau est un changement qui rend son utilisation dangereuse et perturbe les écosystèmes aquatiques et l'environnement. Elle peut affecter les eaux de surface ou les eaux souterraines et constitue donc un danger pour la santé publique. La pollution de l'eau est liée à diverses voies vers le développement durable:

Les eaux usées peuvent contenir des pesticides, des micro-organismes pathogènes (virus, bactéries, parasites), et des éléments toxiques. Ils sont dangereux pour la santé humaine et l'environnement.

Notre travail c'est un étude pour avoir les analyse physico-chimique de la STEP de sidi Aissa Amont et aval par des neveux méthodes de traitements ont été utilisés a fin de réduire des polluant dans les eaux usées étudié, qui sont :

- traitement par vois électrochimique

-traitement par substance végétale

-traitement par matériau minérale (Argile)

-traitement par un mélange végétal-minérale

-traitement par vois électrochimique suivie par traitement avec un mélange (végétale - minérale).

les paramètre mesurer sont : ph, la température, La conductivité électrique ,Oxygène dissous ,La turbidité , MES , DBO5oxygène ,DCO.

D'après les résultats on note de variation des paramètres physico-chimiques successivement:

Le PH On constate de ces résultats que le PH pour les eaux brutes (EBE) égal 8.22 alors le milieu basique et enregistré la meilleure valeur du PH égal à 7.06 lors du traité deux fois (E/ECARAF).

La température Dans les échantillons d'étude, les températures enregistrées oscillent entre 21.09°C et 20.1 °C.

La conductivité électrique dans l'eau brute et le traitement, car sa valeur dans l'eau brute variait (EBE) à 5,33 par rapport le traitement des eaux usées par L'hybride (E/ARAF) à lui a enregistré la valeur la plus basse.

Oxygène dissous on a trouvé la valeur maximal de la concentration est 8 mg/l pour l'eau brute (EBE) et enregistré une valeur de 0.12mg / l de la quantité d'oxygène, ce qui est une moins de valeur par rapport aux autres traitements.

Conclusion générale

La turbidité on remarque la valeur de turbidité maximale avant le traitement (EBE) est égal 90.93 NTU et Nous avons obtenu la valeur la plus faible lors du traitement par la technique d'électrochimique est égal 0.22 NTU.

Matières en suspension nous remarquons la concentration maximale de MES égal 330 mg/l et la valeur minimal égal 5.03mg/l résultant de l'application Technique d'électrocoagulation (E/EC).

La Demande biochimique en oxygène dans l'eau brute (EBE) estimée à 772 mg / l et après traitement nous remarquons que la valeur la plus basse de DBO5 atteint 15,72 mg / l.

Lorsque l'utilisation La méthode électrocoagulation(E/EC).

La Demande chimique en oxygène on remarque que l'oxydation chimique avant le traitement la concentration est maximal égal 1500 mg/l, et une diminution forte oxydation chimique des matières oxydables après le traitement par la fibre alfa (E/AF).

Nous avons atteint la fin de la recherche scientifique liée au traitement des eaux usées par électrocoagulation, fibres(Alfa) et d'autre matière inorganique (argile), que nous avons préféré choisir parmi des thèmes, en raison de la grande importance de cela dans la période actuelle, car en réalité l'eau est un élément de base dans la plupart de l'activité humaine.

Nous avons essayé autant que possible d'analyser et de détailler l'étendue de l'application la méthode électrochimique biomatériau et l'argile dans le traitement des eaux usées (polluées) qui est soumis à plusieurs paramètres physico-chimiques et caractéristiques pour protéger la santé humaine et l'environnement et éliminer les plus grandes quantités de polluants.

Références bibliographiques

- [1] **M.S.Metahri**, élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes cas de la STEP de la ville de Tizi-Ouzou, thèse de doctorat, spécialité : Agronomie, université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, p21- 23 année 01 /07 / 2012.
- [2] **J. R.Vaillant**, Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires: eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles, Edition, Eyrolles, Paris, 1974
- [3] **M. Tabet**, Etude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration. Diss. 2014.
- [4] **J. Mayet**, « La pratique de l'eau, Traitements aux points d'utilisation, le Moniteur», 2^{ème} Edition, 1994, P382
- [5] **S.Gaamoune**, Le role des biofilms d'algues dans les traitements biologiques des eaux (Doctoral dissertation), (2018).
- [6] **Encyclopedia** , «Industrial chemistry, Water in ull man's, Wiley-VCH Verlags », vol 8, Epuration. Techniques, Sciences et Méthodes, 2 ,1995, P81-118
- [7] **A.k. Gaid, A.k**, Epuration biologique des eaux usées urbaines, tome I. édition : OPU. Ben Aknoun, Alger (Algérie), (1984).
- [8] **B.Abdallah**, « Contribution à l'étude de la qualité d'oued el hammam wilaya de Guelma » ,2016.
- [9] **SE.Saifi,A.Mosbahi**, « Application de biomatériaux dans le traitement physicochimique des eaux usées»,Mémoire de master ,Université de Saida,2018,P126.
- [10] **G.Kecket, E. Vernus**, « Déchets et risques pour la santé », Techniques de l'ingénieur, paris,2000, P2450.
- [11] **T. Asano**, « Récupération et réutilisation des eaux usées gestion de la qualité de l'eau bibliothèque », 1998, P1475.
- [12] **C. Cans, C.Klemm**, « Un cas d'irréversibilité: l'introduction d'espèces exogènes dans le milieu naturel», Revue juridique de l'environnement, 23(1), 1998, P101-124.
- [13] **K. Yahiaoui**. Modélisation et optimisation multi-objectifs du traitement des eaux usées de la station d'épuration de la ville de Guelma par électrocoagulation. Mémoire de master. Université8 mai 1945.Guelma,(2015).

- [14] **J .RODIER**, L'analyse De L'eau (Eaux Naturelles, Eaux Résiduaire Et Eaux De Mer), 8èmeEdition, Dunod, Paris, 1997, p 66.
- [15] **J.P.Duguet,F. Bernazeau ,D. Cleret , A.Gaid ,A. Laplanche , J.Moles , A.Montiel, G.Ariou,P.Simon**,Réglementation et traitement des eaux destinées à la Consommation humaine. 1ère édition. ASTEE (Association Scientifique et Technique pour L'environnement). (2006).
- [16] **B.Lakhdari**, effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz, mémoire de Magister en chimie, Université de Tlemcen, 2011, pp 106.
- [17] **Xanthoulis**, Valorisation agronomique des eaux usées des industries agroalimentaires. (1993).
- [18] **J.Suschka, E.Ferreira**, Activated sludge respirometric measurements. Water Research. (1986).
- [19] **REJSEK F. (2002)**- Analyse des eaux; aspect réglementaire et techniques, Tome I. Edition Scrérén CRDPA quitaine, Bordeaux. 71, 144p.
- [20] **G.Martin** , Le problème de l'azote dans les eaux, Ed technique et documentation, Paris, 1979, pp 279.
- [21] **ME. Sahnoun**, « Epuraton des eaux usées du centre culturel islamique sidi Okba par un filtre de macrophyte », Mémoire de master en hydraulique, Option hydraulique urbaine, Université Mohamed Khider bisekra, 2015.
- [22] **J. Rodier et al**, « L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaire, eau de mer » ,8ème édition, Dunod, Paris.19
- [23] **Hernandez de León H R**,Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable. Mémoire pour l'obtention de diplôme de Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées. Toulouse, (2006).
- [24] **R .Desjardins** ,Traitement des eaux. Edition de l'école polytechnique de Montréal.2eme édition revue et améliorée. Montréal.Québec.304p, (1997).
- [25] **Y.mottot**, texte de la 279° conférence de l'université de tous les savoirs, 5 octobre 2000.
- [26] **J.P .Beaudry, (1984)**. Traitement des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, Canada. P27-41, (1984).

- [27] **Brahimi Z. Benaissa N.** ,Influence de la coagulation-floculation et décantation sur la qualité des eaux épurées de la station de Ain El Houtz. Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique. Université Abou Bakr Balkaid. Tlemcen, (2010).
- [28] **I.Boursali** ,Etude expérimentale de la coagulation-floculation par le sulfate ferrique et le chlorure ferrique des matières en suspension. Mémoire d'ingénieur d'états en géologie. Université Abou Bakr Balkaid. Tlemcen (2011).
- [29] **Chen S. Sun D. Chung JS**,Treatment of pesticide wastewater by moving-bed biofilm reactor combined with Fenton-coagulation pre-treatment. Journal of Hazardous Materials. (144). pp.577-784,.(2007).
- [30] **Wang D. Wei W. Yi Yu. Hongxiao T. Gregory J**,Speciation stability of inorganic polymer flocculant-PACl. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. (243). pp.1-10, (2004)
- [31] **B.Lakhdari** , Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz. Mémoire de magister en Chimie Inorganiques et Environnement. Université Abou Bakr Balkaid. Tlemcen (2011).
- [32]**I. Majdy, E. Cherkaoui, A . Nounah , M. Khamar**, Le traitement physico-chimique par coagulationfloculation des rejets des eaux usées de la ville de Salé [The physico-chemical treatment by coagulation flocculation of wastewater discharges from the city of Sale]. J Mater Environ Sci, 6(3), 834-9. (2015).
- [33]**N. Al-Jadabi, M. Laaouan, M.Benbouzid, J.Mabrouki, S.El Hajjaji**, Coagulation-flocculation technique for domestic wastewater treatment in the city of Ain Aouda, Rabat, Morocco. In E3S Web of Conferences (Vol. 337, p. 02003). EDP Sciences., **2022**.
- [34]**F. Khalil, O.Bouaouine, ,H.Chtioui, H., S.Souabi, M.A.Aboulhassan ,A.Ouammou**, Traitement des lixiviats de décharge par coagulation-floculation (Treatment of Landfill Leachate by coagulation-flocculation). J. Mater. Environmen. Sci, 6(5), 1337-1342. (2015).
- [35] **P. Debillemont**, Eaux résiduaires: Traitements biologiques et physicochimiques, Récents Progrès en Génie des Procédés, 10,(1996), 129-136.
- [36] **M. Bennajah** «Traitement des rejets industriels liquide par électrocoagulation / électrolocation en réacteur air lift», thèse de doctorat, L'institut national polytechnique de toulouse, 2007

- [37] **C.H.A. Moreno, D.L. Cocke, J.A.G. Gomes, P. Morkovsky, J.R. Parga, E. Peterson, C. Garcia**, Electrochemistry behind electro coagulation using iron electrodes, *ECS Transactions*, 6, (2007).
- [38] **M.Tiaiba** «Traitement des eaux résiduaires d'industrie de textile par électrocoagulation en réacteur continu», thèse de doctorat, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib-Ain T'émouchent, 2019/2018
- [39] **J.-M. Rovel**, Epuration électrique des eaux résiduaires des industries agroalimentaires, *Industries Alimentaires et Agricoles*, 91, (1947) ,1243-1248.
- [40] **M.Y.A. Mollah, R. Schennach, J.R. Parga, D.L. Cocke**, Electro coagulation (EC)- Science and applications, *Journal of Hazardous Materials*, B 84, (2001), 29-41.
- [41] **M.TIR**, « Utilisation des techniques électrochimique dans le traitement Des émulsions Hydrocarbures/eau ».Thèse de Doctorat, Faculté des Hydrocarbures et de la chimie, Universités de M'hamed Bougara-Boumerdès, 2009.
- [42] **F. Hanafi,N. Sadif, O. Assobhei et M. Mountadar**, «Traitement des margines par électrocoagulation avec des électrodes plates en aluminium», *Revue des .sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 22, n° 4, p. 473-485, 2009.
- [43]**I.Zongo**, Étude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation: Application au traitement de deux effluents textiles et d'un effluent simulé de tannerie, Thèse de Doctorat, Institut national polytechnique de Lorraine, (2009).
- [44] **M. Koby, O.T. Can, M. Bayramoglu**, Treatment of textile wastewaters by electro coagulation using iron and aluminum electrodes. *J. Hazard. Mater.* 100 (2003) 163– 178.
- [45] **S.H. Lin, C.F. Peng**, Treatment of textile wastewater by electrochemical method, *Wat. Res.* 28 (1994) 277–282.
- [46] **N. Mameri, A. R. Yeddou, H. Lounici, D. Belhocine, H. Grib, ET D. Bariou**, De fluoridation of septentrionalsahara water of North Africa by electro coagulation process using bipolar aluminum electrodes, *Wat. Res.* 32 (5), (1998) 1604-1612.
- [47] **J.S. Do, M.L. Chen**, Decolorization of dye-containing solutions by electro coagulation, *J. Appl. Electrochem.* 24 (1994) 785–790.
- [48] **U.B. Ogutveren, N. Gonen, A.S.Koparal**, Removal of dye stuffs from waste water: electro coagulation of Acilan Blau using soluble anode, *J. Environ. Sci. Health A* 27 (1992) 1237–1247.

- [49] **P. Canizares, F. Martinez, J. Lobato, M A. Rodrigo**, Break-up of oil-in-water emulsions by electrochemical techniques, *J. Hazard. Mater* 145 (2007) 233–240.
- [50] **X. Chen, G. Chen, P. L. Yue**, Separation of Pollutants from Restaurant Wastewater by Electro coagulation. *Sep. Purif. Technol.* 19 (2000) 65-76.
- [51] **H. Inan, A. Dimogio, H. Simsek**, Olive oil mill wastewater treatment by means of electro-coagulation, *Sep. Purif. Technol.* 36 (2004) 23–31.
- [52] **M. J. Matteson, R. L. Dobson, R. W. Glenn, JR. N. S. Kukunoor, W. H. Waits III, E. J. Clay field**, Electro coagulation and separation of aqueous suspension of ultrafine particles, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.*104 (1995) 101-109.
- [53] **O. Larue, E. Vorobiev, C. VU, B. Durand**, Electro coagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions. *Sep. Purif. Technol.* 31 (2003) 177–192.
- [54] **J. GE, J. Qu, P. Lei, H. Liu**, New bipolar electro coagulation–electro flotation process for the treatment of laundry wastewater, *Sep. Purif. Technol* 36 (2004) 33–39.
- [55] **J.R. Parga, D.L. Cocke, J.L. Valenzuela, J.A. Gomes, M. Kesmez, G. Irwin, H. Moreno, M. Weir**, Arsenic removal via electro coagulation from heavy metal contaminated groundwater in La Comarca Lagunera México, *J. Hazard. Mater. B* 124 (2005) 247–254.
- [56] **N. Adhoum, L. Monser, N. Bellakhal, J.E. Belgaied**, Treatment of electroplating wastewater containing Cu^{2+} , Zn^{2+} and Cr(VI) by electro coagulation, *J. Hazard. Mater. B* 112 (2004) 207–213.
- [57] **H. Boudjahem** Modélisation et optimisation du traitement des eaux usée de la station d'épuration de la ville de Guelma par électrocoagulation. Mémoire de master, Université 08 mai (1945). (2013).
- [58] **S.A. Boucenna, M.A.Guesmia**, Etude comparative de traitement de lixiviats par voie chimique et électrochimique, mémoire de master, université Mohamed Boudiaf - m'sila, (2019/2020).
- [59] **S. Cherifi**, « Traitement des eaux de rejets de l'unité Ceramit (Tenes) », mémoire de magistère, université Hassiba Ben Bouali-Chlef, 2007.
- [60] **CHATOU**, «Performance d'électrocoagulation pour l'épuration d'une émulsion d'huile de coupe», MEFENSH, p553, 2005.

- [61] **M. Asselin**, Utilisation de l'électrocoagulation dans le traitement des eaux usées industrielle chargées en matière organique, Mémoire présente pour l'obtention du grade de maitre en sciences, université Québec, (2007).
- [62] **A.H. Essadki, B. Gourich, CH. Vial, H. Delmas, M. Bennajah**, Defluoridation of drinking water by electro coagulation/electro flotation in a stirred tank reactor with a comparative performance to an external-loop airlift reactor. *J Hazard Mater* 2009 Sep 15;168 (2-3): 1325-33. Epub 2009 Mar 17.
- [63] **A. Damien**, Electrocoagulation et électro floculation, *Revue Générale de l'Electricité* 3 (1992) 24-27.
- [64] **F. Persin, M. Rumeau**, le traitement électrochimique des eaux et des effluents. *tribune de l'eau*, 42, 539, 45-56 (1989).
- [65] **G. Poteaux**, Epuration des eaux résiduaires par électrolyse, *Tec. Mod.* 70 (1978) 42-44.
- [66] **G. Patermarakis, E. Fountoukis**, Disinfection of water by electrochemical treatment, *Water es.* (1990).
- [67] **I. Zongo, J. Wethe, B. Merzouk, A.H. Maiga, F. Lapique, J.P. Leclerc**, Traitement de deux effluents textiles et d'un effluent simulé de tannerie par électrocoagulation. *Européen Journal of Scientifique Résearch*, Vol. 62 N02 (2011) 216-235.
- [68] **J. Park, RS. Lakes**, « Biomaterials an introduction springer science and business media », 2007.
- [69] **N.Daneshvar, H.Ashassi, R.Rakhshaei**, Pretreatment of Brackish Water Using DC-Electrocoagulation-Method and Optimization 2002.
- [70] **M. Tiaiba, B. Merzouk, M.Mazour**, «Etude de l'applicabilité du procédé d'électrocoagulation pour le traitement de rejets textiles»,2019.
- [71] **K.Al-Malah, MO. Azzam, NI. Abu-Lail**, «Olive mills effluent wastewater post treatment using activated clay separation and purification technology», *Journal, University of science and technology Jordan*, 20(2-3), 2000, P225-234.

- [72] Rapport réalisé sous la coresponsabilité de Laurent seder, Président de l'inter commission no 1 de l'Inserm, Faculté de médecine Lariboisière, Paris et Christian janot, Professeur à l'université joseph Fourier, Ill ,Grenoble.
- [73] **G.G.Giménez** « Aportaciones a la química del esparto español ». Anales de la Universidad de Murcia. Vol 13, N° 1. Curso 1954-55
- [74] **D.Nedjraoui**, « Adaptation de l'alfa (Stipa tenacissima L) aux conditions stationnelles », Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la technologie Houari Boumediene USTHB, Alger (1990)
- [75] **M.Rhanem**, « L'alfa (Stipa tenacissima L.) dans la plaine de Midelt (haut bassin versant de la Moulouya, Maroc) –Éléments de climatologie », Physio-Géo [En ligne], Vol 3 (janvier 2009).
- [76] **H.N.Le Houérou**, « Considérations biogéographiques sur les steppes arides du nord de l'Afrique», Sécheresse, Vol 6, n° 2, pp. 167-182 (1995).
- [77] « L'alfa: Importance écologique et socio-économique », Portail de l'agriculture marocaine, Terre et Vie, N°61-62,(Novembre 2002).
- [78] **Collectif** «Autour du Fil, l'encyclopédie des arts textiles», volume 10, Ed. Fogtdal, Paris (1990).
- [79] **A.Michud, B.Giustini**, « Les fibres cellulosiques à usage textile », Mémoire, Cellule de veille technologique de grenoble INP-Pagora, École internationale du papier, de la communication imprimée et des biomatériaux (Mai 2009).
- [80] **Dj. Boudache , Kh. Tayebi** ,« Adaptation de l'alfa (Stipa tenacissima L) aux conditions stationnelles », Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la technologie Houari Boumediene USTHB, Alger (1990).
- [81] **S.Hattali, A.Benaboura ,F. Ham-Pichavant ,A. Nourmamode ,A.Castellan** , «Adding value to Alfa grass soda lignin as phenolic resins 1 lignin characterization, polymer degradation and stability», 76,2, 2002,P259-264.
- [82]**A.Nadji, MC. Brochier Salon, C.Bruzzèse, A.Benaboura, MN.Belgacem**, «Chemical composition and pulp properties of Alfa (stipa tenacissima) cellulose chemistry and technology», 40, 2006, P45-52.

- [83] **O.Akchiche ,MB.Khadra** , «Esparto Grass raw material of papermaking first Part », 4, 2007, P25-30.
- [84] Le site de la Société Nationale de Cellulose et de Papier Alfa
<http://www.sncpa.com.tn>
- [85] **M.Ben Hassen**, « Elaboration de non tissés à base de fibres d'alfa » disponible sur :
non-woven.blogspot.fr
- [86] **S.Ben Brahim and R.Ben Cheikh**, « Influence of fibre orientation and volume fraction on the tensile properties of unidirectional Alfa-polyester composite », Composites Science and Technology, Volume 67, Issue 1 (2007).
- [87] **H.Azaza, L.Mechi, MB. Amor, I.Trabelsi**, « Use of natural stipa tenacissima fibers for the removal of H2S in an alkaline aqueous medium", Journal Arabian of geosciences, 11(24), 2018, P803.
- [88] **B.Vermeulen**, « Réalisation de prothèses orthopédiques en fibres naturelles : Des matériaux composites de fibres de verre substitués par des composites de fibres d'Alfa », Le Journal de l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries.
- [89] **DT, Vi Vi**, « Matériaux composites fibres naturelles/polymère biodégradables ou non », Thèse de doctorat, Université de Grenoble et université des sciences de hochement ville, 2011, P189.
- [90] **I.Khay**, Etude physico-chimique des interfaces chaux/chanvre/argile : Impact sur la rhéologie des mortiers et sur les propriétés mécaniques, thermiques et hydriques du matériau composite, Thèse Pour Obtenir Le Grade De Docteur, Université De Limoges Faculté des Sciences et Techniques, 2012.
- [91] **M.Harrat**, «Contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique étude sur site unité Maghreb céramique de Touggourt »,Thèse de magister , Université de kasdi merbah Ouargla ,2007, P5,9.
- [92] **V.Ihadjadene**, « Utilisation de l'argile Dans un service de soins Hospitalier», Formation hippocratus phyto-aromathérapie, 2012, P5-6.
- [93] **A.Boucif Allam**, « Etude de la Co-adsorption de deux pesticides (Durion et Metribuzine) sur un charbon actif en poudre. », Mémoire d'ingénieur d'état en chimie industrielle, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, p13-14, 2008.

- [94] **R.Belhend**, «L'étude de la propagation des fissures d'une argile sous dessiccation», Mémoire de Master, Université Mohamed khider – Biskra,2020.
- [95] **AE.Bouaziz**, "Contribution A L'étude Géologique Des Argiles Maestrichtiennes Le Long De La Limite Nord Ouest De l'Oued Bou Sellem, Sétif, Algérie". Mémoire de magister de l'université de Badji Mokhtar Annaba 2-10- 11.2012.
- [96] **F.Hernot**, «L'argile, son utilisation a l'officine», thèse de doctorat, Université de l'urf santé d'angers, 2016.P139.
- [97] **L.Järnström** , **P.Sternius** , « Adsorption of polyacrylate and carboxy methyl Cellulose on kaolinite Salt effects and competitive adsorption», Colloids and surfaces, Vol 50,1990, P47-73.
- [98] **P. Diard**, « Etude de la bio sorption du plomb et du cuivre par des boues de la station d'épuration mise en œuvre d'un procédé de bio-sorption à contre-courant», Thèse de doctorat, Spécialité science et technique du déchet, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 1996,P279.
- [99] L'argile qui guérit, Mémento de médecine naturelle, Raymond dextreit.
- [100] **L.Dupont**, **A.Foissy**, **R.Mercier**, **B.Mottet**, « Effect of calcium ions on the adsorption of polyacrylic acid onto alumina», Journal of colloid and interface science, Vol 161 , 1993 ,P455-464.
- [101] l'argile, ses vertus, ses bienfaits, christopher vasey, jouvence éditions.
- [102] **K.Al-Malah**, **MO. Azzam**, **NI. Abu-Lail**, «Olive mills effluent wastewater post treatment using activated clay separation and purification technology», Journal, University of science and technology Jordan, 20(2-3), 2000, P225-234.
- [103] **N. Kaffi**, « Traitement des eaux usées de Touggourt par l'argile de bildet omar»,Mémoire de master , Université de Ouargla,2013,P48.
- [104] **A.Altmeyer** , **G.Abadia** , **S.Schmitt** ,**A.le prince** , Risques microbiologiques et travail dans les stations d'épuration des eaux usees. Midico technique. (1990).
- [105] **L. Abdallah**, Méthodologie d'optimisation de la commande du procédé de traitement des eaux usées par boues activées basée sur les algorithmes évolutionnaires. Diss. 2021.

- [106] **M. Tabet**, Etude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration (Doctoral dissertation), (2014).
- [107] **CARDOT Claude**, Les traitements de l'eau – Procédés physico-chimiques et biologiques. Paris : Ellipses, 1999, 247 p.
- [108] **R. Bürger, W.Wendland**, (2001). Sedimentation and suspension flows: Historical perspective and some recent developments. -Journal of Engineering Mathematics Vol 41, pp 101-116 (2001).
- [109] **Karaali R., Khattal M., Reggam R.** Etude comparative de la qualité physicochimique et bacteriologique des eaux usees avant et apres epuration : cas de la station d'épuration de la Ville de Guelma (Nord-est Algerien). Memoire diplome d'ingenieur. Universite 8 mai 45. Guelma. (2008).
- [110] **S. Zitouni**. Traitement et analyses physico-chimiques des eaux usées de la STEP de Guelma. Mémoire de master. Université 8 mai 1945 Guelma (2014).
- [111] **k. Merzougui**. Étude comparative entre le traitement des eaux usées par boues activées et électrocoagulation au niveau de STEP (Guelma). Mémoire de Master, Université 8 mai 1945, (2011).
- [112] **Ladjel, F. (2006)** Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02. Centre de formation au métier de l'assainissement, CFMA- Boumerdes, 80 p.
- [113] **H. Dhaouadi**, « Traitement des eaux usées urbaines, les procédés biologiques d'épuration. Thèse, Université Virtuelle de Tunis, 34 p. » 2008.