

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : DES SCIENCES
DEPARTEMENT : DE CHIMIE

N° :



DOMAINE : SCIENCE DE MATIERE
FILIERE : CHIMIE
OPTION : Chimie de l'environnement

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

Présenté Par:

Boussadia Fatma Zahra

Amali Hadjer

Intitulé

**Traitement des eaux usées de l'entreprise Algal+
par méthode électrochimique (électrocoagulation)**

Soutenu devant le jury composé de:

Mr. Deghfel Nadir	Université de M'sila	Président
Mr. Benyahia Azzedine	Université de M'sila	Rapporteur
Mr.Laib Nouri	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2018 /2019

Dédicace

*Je dédie ce travail à mes très chers parents «**Brahim** » et «**Messaouda**».
Je leurs remercie pour leurs sacrifices, leurs patiences, leurs soutien, l'aide et
les encouragements qui m'ont apporté durant toutes ces années d'étude sans
eux, je ne serais pas ce que je suis aujourd'hui.*

*A mon grand-père **Saad***

*Je dédie ce travail également mes sœurs : **Hadjira Yassmin Ikramet** ma beauté
Sar , mes poussins **Kawthar, Yahya, Hadil.***

*A mes cher **Abdelhak** et **Mouhamed***

A mes amis chacun par son nom.

A toute ma famille

*A tous ceux qui savent **Ftaima***

*Sans oublier ma chère binômes «**Hadjer**» pour son collaboration, afin de nos
permettre arriver de réaliser ce projet, et sa famille.*

*Enfin, je n'oublierai pas d'associer dans mes remerciements à l'ensemble des
mes collègues, le plus cher surtout **Asma**
. A tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à ce travail.*

*«**Boussadia Fatma Zahra**»*

DEDICACE

*Je dédie ce travail à mes très chers parents : « **Massaoud** » et « **Louiza** »*

Je leurs remercie pour leurs sacrifices , leurs patiences , leurs soutien , l'aide et les encouragements qui m' ont apporté durant toutes ces années d'étude sans eux , je ne serais pas ce que je suis aujourd'hui.

*A la personne qui ma toujours tendu la main quand j'en avais besoin ; mon deuxième père et frère «**Hamza**» et à ma deuxième mère« **Zahia**» .*

Je le dédie également :

*A mes frères et ma sœur : «**Noah**» et «**Ibrahim**» et «**sarra**» merci d'avoir été souvent présents pour moi , pour votre tendresse , vos encouragement , votre amour pour tous ce que vous avez fait pour moi .*

*Une dédicace spéciale à mes deux prunelles de mes yeux «**ADEM**» et «**LINA**» que le Bon –Dieu ait leurs âmes et les accepte dans son vaste paradis .*

*A mon cher enseignant« **Issam.A**» et mes chérie« **Malek**» et «**Hanifa** »; pour leur soutien et leur aide dans les moments les plus difficiles de ma vie .*

*Sans oublier ma chère binômes « **Fatima** » pour son collaboration , afin de nos permettre arriver de réaliser ce projet .*

Enfin , a tous ceux qui ont contribué de lion ou de prés à ce travail .

*«**Amali Hadjer** »*

Remerciement

Nous tenants tout d'abord à remercier dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous à donné la force, la volenté et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous remercîments très respectueusement avec notre profonde gratitude notre encadreur monsieur

:

Dr. Benyahia Azzedine

pour avoir proposé le sujet de notre mémoire pour son suivi de notre travail ses suggestions et remarques pertinentes.

Nous remercîments vont également à monsieur

Deghfel Nadir

qui à accepter de précider le jury.

Nous remercîments très respectueusement à monsieur

Laib Nouri

de nousavoir fait l'honneur d'être membre du jury et d'avoir accepté de juger notretravail.

Tout notre reconnaissance au membre du laboratoire de chimie université

M'sila qui nous à faciliter la réalisation des tests

Nous tenants enfin à remercier tous ceux et celles qui contribué d'une façon ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

Résumé

Ce travail concerne les analyses physico-chimiques des eaux usées avant et après traitement dans la station d'algal plus en zone industrielle de M'sila, avec une méthode électrochimique elle est l'électrocoagulation pendant différents temps et a deux Tensions électrique 6V-12V

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 da cette procédé après un description général.

Puis on a porté l'historique de lieu de stage algal plus, et les déférent facteurs affectent sur cette procède comme T°, pH, CE, TH, Ca²⁺+H, Mg²⁺+H, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻,MES .

Ensuite, une présentation des résultats et ses discussions .Cette technique de traitement est efficace pour purifier l'eau et donnée des valeurs acceptable avec les normes des rejets des autres traitements.

Les résultats physico-chimiques des eaux usées épurées par l'électrocoagulation montrent des températures ambiantes, des pH alcalins et minéralisation moyenne. La charge polluante générée par l'effluent traité, et de 30mg /l pour la DBO5. Ces paramètres sont en accord avec les normes du journal officiel .

ملخص

يتعلق هذا العمل بالتحليلات الفيزيائية الكيميائية لمياه الصرف قبل وبعد المعالجة في محطة Algal+ في المنطقة الصناعية في المسيلة، بطريقة كهروكيميائية وبعد عملية التخثير الكهربائي في أوقات مختلفة، وتحت واثنين من الشدة الكهربائية V-12V6

تم وضع تعريف للمياه وأنواعها وأصل مياه الصرف الصحي، وخصائصها وأنواع الملوثات، وتعريف لهذه العملية بعد وصف عام.

هناك عدة عوامل الفيزيائية والكيميائية من بينها T ° و pH و CE و TH و Ca²⁺ + H و Mg²⁺ + H و Ca²⁺ و Mg²⁺ و Cl⁻ و MES.

ثم، عرض النتائج ومناقشتها، تقنية المعالجة هذه فعالة في تنقية المياه وإعطاء قيم مقبولة مع معايير رفض العلاجات الأخرى.

تظهر النتائج الفيزيائية والكيميائية لمياه الصرف المعالجة كهروكيميائية درجات الحرارة المحيطة ودرجة الحموضة القلوية ومتوسط التمعدن. حمولة الملوثات الناتجة عن النفايات السائلة المعالجة، و 30 ملغ / ل BOD5. هذه المعايير تتوافق مع معايير الجريدة الرسمية

Abstract

This work concerns the physicochemical analyzes of the wastewater before and after treatment in the algal station plus in the industrial zone of M'sila, with an electrochemical method it is the electrocoagulation laying different times and has two electrical tensions 6V-12V

A definition of water and its types and origin of wastewater, its characteristics and types of pollutants, and a definition of this process have been made after a general description.

The history of the algal place of residence was then increased, and the deferent factors affect this process as T °, pH, CE, TH, Ca²⁺ + H, Mg²⁺ + H, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, MES. .

Then, a presentation of the results and its discussions. This treatment technique is effective for purifying the water and given acceptable values with the standards of rejections of other treatments.

The physico-chemical results of wastewater purified by electrocoagulation show ambient temperatures, alkaline pH and average mineralization. The pollutant load generated by the treated effluent, and of 30mg / l for the BOD5. These parameters are in accordance with the standards of the official journal.

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	01
Références bibliographiques	03
Chapitre I : Généralité sur les eaux usées	
I.1.Définition des eaux usées	04
I.2.Origine des eaux usées	04
I.3. les différents types des eaux usées	04
I.3.1. Les eaux usées industrielles	05
I.3.2. Les eaux usées domestiques	05
I.3.3. Les eaux pluviales	05
I.3.4. Les eaux usées agricoles	05
I.4. Pollution de l'eau	05
I.4.1 .L'origine de la pollution	05
I.4.2. Les types des pollution	06
I.4.2.1. Pollutions physique	06
I.4.2.2. Pollutions thermique	06
I.4.2.3. Pollutions chimique	06
I.4.2.4.Pollutions des métaux lourds	06
I.5.Les paramètre physico-chimiques des eaux usées	07
I.5.1.le potentiel d'hydrogène (PH)	07
I.5.2. la Température	07
I.5.3.La conductivité électrique (CE)	07
I.5.4. la Turbidité	08
I.5.5. L'alcalinité TAC	08
A .L'alcalinité à la phénolphtaléine ou TA	08
B .L'alcalinité au méthyle orange ou TAC	08
I.5.6. la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)	08
I.5.7.Calcium	08
I.5.8. Magnésium	09
I.5.9 les ions de chlorures Cl ⁻	09

I.5.10. Nitrate NO ₃ ⁻	09
I.5.11. Phosphates PO ₄ ⁻³	09
I.5.12. Matière en suspension	10
I.5.13. Oxydabilité	10
I.5.14. La demande biochimique en oxygène DBO ₅	10
I.5.15. L'oxygène dissous	10
I.6. coagulation-floculation	10
I.7. Coagulants utilisés	11
I.8. Electrocoagulation	12
I.8.1. Définition EC	12
I.8.2. Principe EC	12
I.9. Electrodes en aluminium	13
I.10. Paramètres influençant le processus d'électrocoagulation	15
I.10.1. Le pH	15
I.10.2. Conductivité	15
I.10.3. Intensité du courant	15
I.11. Principales Lois d'électrolyse	15
I.11.1. Loi de Faraday	15
I.11.2. Energie consommée	16
I.12. Avantages et inconvénients du procédé d'EC	17
I.12.1. Avantages	17
I.12.1. Les inconvénients majeurs de l'EC	17
I.13. Application du procédé d'électrocoagulation	18
Référence	19

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1. lieu de stage : ALGAL+	23
II.2. Situation géographique de la société ALGAL+	23
II.3. Les sections d'activités	24
II.4. Les étapes de fabrication	24
II.4.1. Unité de recyclage et valorisation	24
II.4.2. Unité d'Extrusion	24
II.4.3. Unités d'anodisation et de laquage	25

II.4.3.1. L'anodisation, c'est quoi ?	25
II.4.3.2. Qu'est-ce que le laquage de l'aluminium ?	26
II.5. Atelier traitement des eaux	26
II.5.1. Traitement des eaux brutes Section (V)	27
II.5.2. Eau recyclée Section (W)	27
II.5.3. les eaux usées de récupération Section (X)	28
II.5.4. traitement des eaux résiduaires section (Y)	29
II.6. Le dispositif expérimental d'électrocoagulation	30
II.7. Les plaques d'électrode	31
II.8. Les analyses physico-chimiques sur les eaux usées	31
II.8.1. Mesure le potentiel d'hydrogène (PH)	31
II.8.2. Mesure la Température	32
II.8.3. Mesure la Conductivité	32
II.8.4. Mesure la Turbidité	33
II.8.5. Détermination de L'alcalinité TAC	34
II.8.6. Détermination de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH).	35
II.8.7. Détermination la dureté de calcium	36
II.8.8. mesure La dureté de magnésium	37
II.8.9. mesure la concentration de calcium	37
II.8.10. mesure la concentration de magnésium	37
II.8.11. Détermination des ions de chlorures Cl^-	37
II.8.12. Détermination du nitrate NO_3^-	38
II.8.13. Détermination du dioxyde de silicium SiO_2	38
II.8.14. Détermination du phosphates PO_4^{-3}	39
II.8.15. Détermination de matière en suspension	40
II.8.16. Titrage par oxydabilité	41
II.8.17. Détermination de la demande biochimique en oxygène DBO_5	42
II.8.18. Mesure de l'oxygène dissous	43

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. L'effet de potentiel d'hydrogène (pH)	44
III.2. L'effet de conductivité électrique (CE)	44
III.3. L'effet de la Turbidité	45
III.4. L'effet de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)	45

III .5.L'effet de la dureté de calcium	46
III .6.L'effet de la dureté de magnésium	47
III .7.L'effet de la concentration de calcium	47
III .8.L'effet de la concentration de magnésium	48
III .9.L'effet des ions de chlorures Cl^-	49
III.10. L'effet de la concentration nitrate NO_3^-	49
III .11.L'effet de la concentration dioxyde de silicium SiO_2	50
III .12.L'effet de la concentration de phosphates PO_4^{-3}	51
III .13.L'effet de la matière en suspension MES.	51
III .14.L'effet de l'oxydabilité	52
III .15.L'effet de la demande biochimique en oxygène DBO_5	53
III .16.L'effet de l'oxygène dissous	53
Conclusion	55
Annexes	56

Liste des figures

Figure (I.1) : Phénomène de coagulation-floculation chimique	11
Figure (I.2) : Schéma de principe de l'électrocoagulation	13
Figure (I.3) : Diagramme de solubilité d'hydroxyde d'aluminium $Al(OH)_3(s)$ en fonction du pH pour des espèces en aluminium mononucléaire.	14
Figure (II .1) : présentation lieu de stage algal+	23
Figure (II .2) : Situation géographique de la société ALGAL+	24
Figure (II .3) : Principe d'extrusion.	25
Figure (II .4) : Principe de l'anodisation	25
Figure (II .5) : Principe de laquage.	26
Figure (II .6) : la structure schématique de la cuve électrocoagulation	31
Figure (II .7) : L'appareil de PH mètre	32
Figure (II .8) : l'appareil de conductimètre	33
Figure (II .9) : l'appareil de Turbidimètre	33
Figure (II .10) : la variation du colure dans le dosage de TAC	34
Figure (II .11) : Le changement de colore dans la dosage de TH	35
Figure (II .12) : le changement de colore dans la dosage de $Ca^{2+}H$	36
Figure (II .13) : Protocole pour déterminé le Cl^-	37
Figure (II .14) : l'appareil de spectrophotomètre	40
Figure (II .15) : la filtration	41
Figure (II .16) : le Titrage par oxydabilité	42
Figure (II .17) : les flacons de DBO_5	43
Figure (II .18) : L'appareil d'oxymétrie	43
Figure (III.1) : Variations de pH avant et après le traitement de Algal + et après le traitement par l'électrocoagulation	44
Figure (III.2) : Variations de la conductivité avant et après le traitement de Algal+ et après le traitement par l'électrocoagulation	44
Figure (III.3) : Variations de TH avant et après le traitement de Algal+ et après le traitement par l'électrocoagulation	45
Figure (III.4) : Variations de TH avant et après le traitement de Algal+ et après le traitement par l'électrocoagulation	45
Figure (III.5) : Variations de $Ca^{2+}H$ avant et après le traitement de Algal+ et	46

après le traitement par l'électrocoagulation	
Figure (III.6): Variations de Mg^{2+} H avant et après le traitement de Algal+ et après le traitement par l'électrocoagulation	47
Figure (III.7): Variations de Ca^{2+} H avant et après le traitement de Algal+ et après le traitement par l'électrocoagulation	47
Figure (III.8): Variations de Mg^{2+} avant et après le traitement de Algal+ et après le traitement par l'électrocoagulation	48
Figure (III.9): Variations de Cl^- avant et après le traitement de Algal+ et après le traitement par l'électrocoagulation	49
Figure (III.10): Variations de NO_3^- avant et après le traitement de Algal+ et après le traitement par l'électrocoagulation	49
Figure (III.11): Variations de SiO_2 avant et après le traitement de Algal+ et après le traitement par l'électrocoagulation	50
Figure (III.12): Variations de PO_4^{3-} avant et après le traitement de Algal+ et après le traitement par l'électrocoagulation	51
Figure (III.13): Variations de MES avant et après le traitement de Algal+ et après le traitement par l'électrocoagulation	51
Figure (III.14): Variations de oxydabilité avant et après le traitement de Algal+ et après le traitement par l'électrocoagulation	52
Figure (III.15): Variations de DBO_5 avant et après le traitement de Algal+ et après le traitement par l'électrocoagulation	53
Figure (III.16): Variations de O_2 dissous avant et après le traitement de Algal+ et après le traitement par l'électrocoagulation	53

Liste des tableaux

Tableau 1 : les valeurs d'analyse de l'eau brute avant et après traitement de la société ALGAL+	56
Tableau 2 : les valeurs d'analyse des eaux par électrocoagulation à 6V	57
Tableau 3 : les valeurs d'analyse des eaux par électrocoagulation à 12V	58
Tableau 4 : les volumes de l'eau brute avant et après traitement de la société ALGAL+	59
Tableau 5 : les volumes après le traitement par électrocoagulation à 6V	59
Tableau 6 : volumes après le traitement par électrocoagulation à 12V	60
Tableau 7 : Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS (source ADE.	60

Introduction générale

Introduction générale

L'eau représente un élément essentiel et irremplaçable, sa disponibilité en bonne qualité est un élément indispensable pour prévenir les maladies et améliorer la qualité de vie. Actuellement, la situation en Algérie se caractérise par une demande en eau croissante, alors que les ressources hydriques se raréfient d'une manière permanente. À cet effet, le rejet des eaux usées dans les oueds constitue un problème qui se traduit par un déséquilibre du milieu écologique d'une part et d'autre part par la perte de ces eaux sans récupération [1] ;[2].

Les eaux usées peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes pathogènes, menacent la qualité de l'environnement dans son ensemble. Ces eaux usées ne peuvent pas être rejetées telles quelles d'où la nécessité de leur épuration [3].

Selon l'Organisation Mondiale de Santé, 80% des maladies qui affectent la population de la planète sont liées à la pollution des eaux. Effectivement, la plupart des microorganismes qui sont à l'origine des grandes épidémies historiques d'origine hydrique, ont pour habitat normal les intestins de l'homme et certains animaux à sang chaud. C'est pourquoi, le contrôle et la surveillance de la qualité de l'eau notamment les eaux usées apparaissent de plus en plus indispensables. Universellement, la pollution bactériologique de l'eau est évaluée par la recherche et le dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale dont la présence en nombre élevé indique une pollution d'origine fécale et la présence probable de microorganismes potentiellement dangereux notamment : Les Salmonelles, les Vibriens cholériques et les parasites [4] ;[5] ;[6].

Les technologies électrochimiques sont connues depuis longtemps, en particulier l'électrooxydation, l'électrocoagulation, l'électroflottation, qui ont été employées par plusieurs chercheurs dans différents domaines pour assurer à la fois une désinfection, une élimination des polluants organiques et inorganiques (solubles et non solubles) et une clarification des effluents.

L'électrocoagulation représente une alternative au traitement physicochimique des eaux usées, elle procède par la dissolution d'une électrode sous l'effet d'un courant électrique qui libère in situ des ions capable de coaguler-floculer des colloïdes en suspension.

Introduction générale

Dans ce contexte, l'étude est structure en trois chapitres:

- Le chapitre I: étude bibliographique sur les eaux usées et les paramétré physique chimique avec une étude générale la procède de l'électrocoagulation

- Le deuxième chapitre, présentation générale sur ALGAL+ où nous avons mené notre stage , les analyse et les appareilles que nous avons utilisé dans laboratoire

- Le troisième chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus avec des discussions.

- Enfin une conclusion générale.

Introduction générale

Référence:

- [1] **Ghadbane N.** (2003). Les eaux usées urbaines. Mémoire de Magistère. Université Mohamed Boudiaf - M'sila, Algerie, p. 147.
- [2] **Oluduro AO, Aderiyé BI.** (2007). Efficiency of *Moringaoleiferaseadextract* on the microflora of surface and ground water. *Journql of Plant Science*, 6: 453-438.
- [3] **Von Sperling M.** (2007). Wastewatercharacteristics, treatment and disposal. IWA. London.p.4.
- [4] **Burton JA, Gunnison D, Lanza CR.** (1987). Survival of pathogenic bacteria in variousfreshwatersediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 53: 633-638.
- [5] **OMS.** (2004). Guidelines for drinking-water quality. Recommandations. 3rd edition. World HealthOrganization. Geneva.
- [6] **El OualiLalami A, El Akhal F, Berrada S, Bennani L, Raiss N, Maniar S.** (2014). Evaluation de la qualité hygiénique des eaux de puits et de sources par l'utilisation d'une analyse en composantes principales (ACP) : Une étude de cas de la région de Fès (MAROC). *Journal of Materials and Environmental Science*, 5 (S1): 2333- 2344.

Chapitre I :

Généralité sur Les eaux usées

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

I.1.Définition des eaux usées :

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

I.2.Origine des eaux usées :

Les eaux usées résultent des sources principales suivantes :

- de la pollution tant physico-chimique que bactériologique des eaux de consommation de bonne qualité,
- des activités humaines (qu'elles soient domestiques, industrielles ou agricoles),
- des ruissellements .Suivant l'origine des substances polluantes[2].

I.3. les différents types des eaux usées :

I.3.1. 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).

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

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 [1].

I.3.2. Les eaux usées domestiques :

Les eaux usées domestiques sont constituées par :

- Les eaux ménagères (eau des toilettes, eau des cuisines) sont chargées en détergents, Graisses , débris organiquesetc.
- Les eaux de vanne chargées des matières fécales et d'urines.

Les eaux usées urbaines sont rejetées par les installations collectives (hôpitaux, écoles, commerces, habitats) [3].

I.3.3. Les eaux pluviales :

Comprenant les eaux des pluies, les eaux de lavage et les eaux de drainage qui entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques [4].

I.3.4. Les eaux usées agricoles :

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matière azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau et des retenues [5].

I.4. Pollution de l'eau :

I.4.1 .L'origine de la pollution :

La pollution de l'eau connaît différentes origines : naturelle, domestique, industrielle et agricole. L'origine naturelle implique un phénomène tel que la pluie, lorsque par exemple l'eau de ruissellement passe à travers des terrains riches en métaux lourds ou encore lorsque les précipitations entraînent les polluants de l'atmosphère vers le sol. L'origine domestique concerne les eaux usées ménagères (salle de bains, cuisine, ...etc.), les eaux vannes (WC...etc.), ainsi que les eaux rejetées par les hôpitaux, commerces,...etc.

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

Quant à l'origine agricole et industrielle, elle concerne par exemple les eaux surchargées par des produits issus de l'épandage (engrais, pesticides) ou encore les eaux contaminées par des résidus de traitement métallurgique, et de manière plus générale, par des produits chimiques tels que les métaux lourds, les hydrocarbures...etc. [6].

I.4.2. Les types des pollution :

I.4.2.1. Pollutions physique :

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes[7].

I.4.2.2. Pollutions thermique :

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries..); l'élévation de température qu'elle induit diminue la teneur en oxygène dissous. Elle accélère la biodégradation et la prolifération des germes. Il se trouve qu'à charge égale, un accroissement de température favorise les effets néfastes de la pollution[8].

I.4.2.3. Pollutions chimique :

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

* **Organique** (hydrocarbures, pesticides, détergents..).

* **Minérale** (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...)[9].

I.4.2.4. Pollutions des métaux lourds :

La toxicité des métaux lourds a conduit les pouvoirs publics à réglementer les émissions en fixant des teneurs limites. Cette réglementation n'est cependant d'aucun secours pour déterminer sans ambiguïté une liste de métaux à surveiller car la liste varie selon les milieux considérés: émissions atmosphériques rejets dans l'eau, règles sur l'épandage des

boues ou la mise en décharge, etc. Le quart de la contamination par les métaux lourds est dû aux ordures ménagères (piles au cadmium, batteries au plomb, cuivre et zinc des

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

pesticides, etc.). Le Devenir des métaux lourds dépend de nombreux facteurs parmi lesquels la nature du sol et son acidité. La toxicité des métaux lourds n'est plus à démontrer. Par exemple celle du mercure est connue depuis l'antiquité. Dans la majorité des cas les effets toxiques de ces métaux lourds se manifestent au niveau du système nerveux, le sang ou la moelle osseuse[10].

I.5. Les paramètres physico-chimiques des eaux usées :

I.5.1. le potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH d'une eau représente son caractère alcalin ou acide et dont le facteur le plus important est habituellement la concentration en ion HO_3^+ Il varie de 0 à 14 (acide ($1 < \text{pH} < 7$) ou basique ($7 < \text{pH} < 14$)).

En général, l'activité biologique se situe entre 6.5 et 8 unités de pH.

La mesure doit s'effectuer sur place par Le pH mètre : cet appareil de mesure est constitué d'une électrode de pH que l'on plonge dans la solution dont on veut connaître le caractère .Son pH s'affiche sur l'écran [11].

I.5.2. 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[12].

I.5.3. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm^2 de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m) : $1\text{S} / \text{m} = 10^4 \mu\text{S}/\text{cm} = 10^3 \text{S}/\text{m}$. La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'Origine d'une eau .

I.5.4. 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

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

(Nephelometric Turbidity Unit) [13].

I.5.5. L'alcalinité TAC:

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogénocarbonates (HCO_3^-), des carbonates (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-). On distingue deux types d'alcalinité:

A. L'alcalinité à la phénolphtaléine ou TA

Le titre alcalimétrique simple (TA) permet de connaître la teneur complète d'hydrate alcalin (OH^-) et la moitié des carbonates (CO_3^{2-}) de l'eau.

B. L'alcalinité au méthyle orange ou TAC :

Le titre alcalimétrique complet (TAC) permet de connaître la teneur complète des carbonates, bicarbonate, et des hydrates alcalins contenus dans l'eau [15].

I.5.6. la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) :

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en magnésium. Il n'est pas facile de définir un niveau entre ce qui constitue une eau dure et une eau douce. Cependant, on peut considérer qu'une eau ayant une teneur inférieure à (75 mg/l) de CaCO_3 ou à 30 mg/l de Ca est une eau douce et qu'au-dessus, il s'agit d'une eau dure [13].

I.5.7. Calcium :

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous formes de carbonates.

Composant majeur de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorure...etc [14].

I.5.8. Magnésium:

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature. Il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. Il est un élément indispensable pour la croissance. Le magnésium constitue un élément significatif de dureté de l'eau. A partir d'une concentration de 100 mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau potable [15].

I.5.9 les ions de chlorures Cl^- :

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

Le chlore est un agent oxydant fort qui réagit facilement avec plusieurs substances organiques et inorganiques trouvées dans les eaux usées. Il est particulièrement efficace pour détruire les bactéries[16].

I.5.10. Nitrate NO_3^- :

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates. Les nitrates ne sont pas toxiques ; mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrates [17].

I.5.11. Phosphates PO_4^{-3} :

Les ions phosphates contenus dans les eaux de surface ou dans les nappes peuvent être d'origine naturelle: décomposition de la matière organique; lessivage des minéraux, ou due aussi aux rejets industriels (agroalimentaire...etc.), domestiques (poly-phosphate des détergents), engrais(pesticides...etc.) .

En l'absence d'apport d'oxygène, les phosphates n'existent qu'à l'état de traces dans les eaux naturelles, leur introduction dans les eaux de surfaces (rivières, lacs) se fait par les eaux usées dont l'épuration est souvent insuffisante[18].

I .5.12. Matière en suspension:

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures [19].

I.5.13. Oxydabilité :

Ce test a pour but d'approcher la teneur en matières organiques dans l'eau en mesurant la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium (KMnO_4) par les matières organiques contenues dans une eau. Il s'agit d'un dosage en retour[20].

I.5.14. La demande biochimique en oxygène DBO_5 :

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

La demande biochimique en oxygène pendant cinq jours, est l'un des paramètres de la qualité d'une eau. Cette DBO_5 mesure la quantité de matière organique biodégradable contenue dans une eau. Cette matière organique biodégradable est évaluée par l'intermédiaire de l'oxygène consommé par les microorganismes impliqués dans les mécanismes d'épuration naturelle. Ce paramètre est exprimé en milligramme d'oxygène nécessaire pendant cinq jours pour dégrader la matière organique contenue dans un litre d'eau[21].

I.5.15L'oxygène dissous:

La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse. Une eau très aérée est généralement sur saturée en oxygène (tor rent), alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée. En effet, la forte présence de matière organique, dans un plan d'eau par exemple, permet aux microorganismes de se développer tout en consommant de l'oxygène [17].

I.6. coagulation-floculation :

La coagulation est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques amenant une suspension stable de particules de très petite taille en solution - les colloïdes - à se séparer en deux phases distinctes .

La floculation est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques menant à l'agrégation de particules déstabilisées pour former des flocons ou « flocs ». Ce phénomène est réversible, c'est à dire que l'on peut casser ces agrégats, par exemple en agitant fortement le liquide, pour retrouver la solution de colloïdes initiale .

La coagulation-floculation facilite l'élimination des MES (Matières En Suspension) et des colloïdes en les rassemblant sous forme de flocs dont la séparation s'effectue par décantation, flottation et/ou filtration. C'est donc un traitement physique qui permet d'éliminer tous ou une partie des polluants des effluents notamment les fractions particulaires inertes ou vivantes, les fractions floculables des matières organiques et de certains métaux lourds, les micropolluants associés aux MES et les macromolécules colloïdales [22].

La Coagulation et la floculation sont des processus souvent indissociables. En effet, la coagulation, en diminuant les forces de répulsion entre les particules, favorise les collisions et

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

la formation d'agrégats ; et la floculation, en permettant la croissance des agrégats accélère la séparation des phases [23].

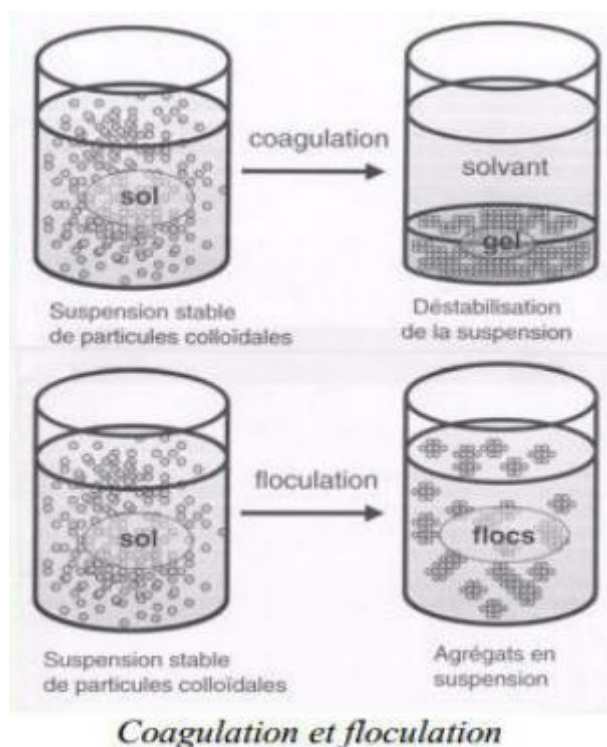


Figure (I.1) : Phénomène de coagulation-floculation chimique [22].

I.7.Coagulants utilisés :

Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules et pour produire un floc sont : le sulfate d'alumine, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$, l'aluminate de sodium, NaAlO_2 , le chlorure d'aluminium, AlCl_3 , le chlorure ferrique, FeCl_3 , le sulfate ferrique, $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$, le sulfate ferreux, FeSO_4 , le sulfate de cuivre, CuSO_4 , et les polyélectrolytes.

Les produits les plus utilisés pour la purification des eaux sont les sels d'aluminium et de fer. On a longtemps pensé que ces sels libéraient des ions Al^{+3} et Fe^{+3} qui neutralisaient la force de répulsion entre les particules colloïdales et favorisaient ainsi la coagulation. On sait maintenant que les mécanisme qui entrent en jeu sont plus complexes et que les produits d'hydrolyse des sels d'aluminium et de fer sont des coagulants plus efficaces que les ions eux mêmes.

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

Lorsqu'on additionne à l'eau les sels d'aluminium ou de fer, ces derniers réagissent avec l'alcalinité de l'eau et produisent des hydroxydes, $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$, insolubles et formant un précipité [24].

I.8. Electrocoagulation :

I.8.1. Définition 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 sacrificielle 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].

I.8.2. Principe EC :

Le procédé d'électrocoagulation est basé sur le principe des anodes solubles. Il s'agit, d'imposer un courant (ou potentiel) entre deux électrodes (fer ou aluminium) immergées dans un électrolyte contenu dans un réacteur pour générer, in situ, des ions (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}) susceptibles de produire un coagulant en solution et de provoquer une coagulation-floculation des polluants que l'on souhaite éliminer.

L'électrolyse peut également coaguler les composés solubles oxydables ou réductibles contenus dans l'effluent. Le champ électrique crée un mouvement d'ions et de particules chargées. Cette action permet de rassembler les matières en suspension sous forme de floccs qu'on élimine ensuite par un procédé physique classique (décantation, flottation, filtration). La figure suivante présente le principe du procédé avec des électrodes d'aluminium.

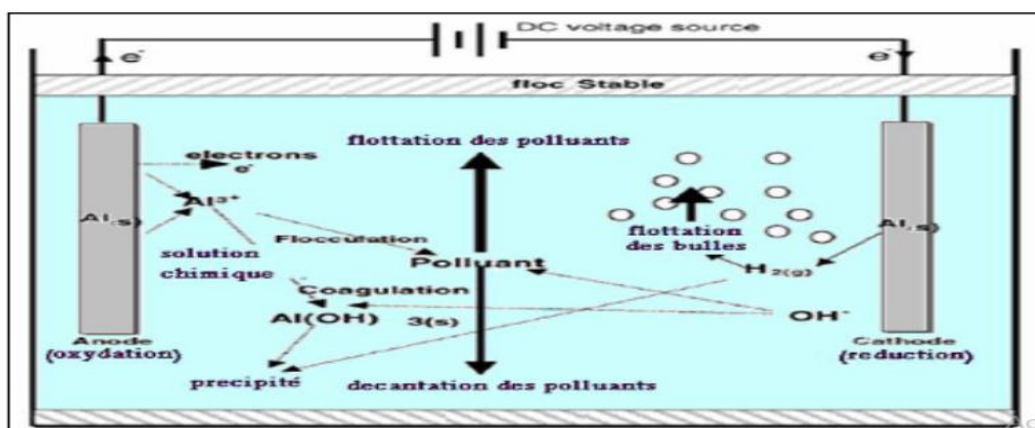


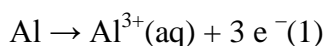
Figure (I.2) : Schéma de principe de l'électrocoagulation [26].

Les anodes et les cathodes utilisées peuvent avoir différentes configurations. Elles peuvent se présenter sous forme de plaques, de boules, de sphères à lit fluidisé, de fil, de tige ou de tube. Ces électrodes peuvent être constituées de divers métaux qui sont choisis de manière à optimiser le procédé de traitement.

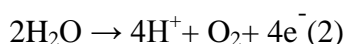
I.9. Electrodes en aluminium :

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 :

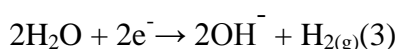
A l'anode, le métal est oxydé suivant la réaction [25,27].



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:

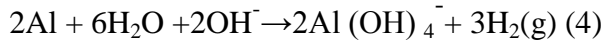


A la cathode, la principale réaction répertoriée dans la bibliographie conduit à la réduction de l'eau [25].



La production d'ions OH^- sur la face cathodique provoque également une dissolution de la cathode par augmentation locale du pH [27] :

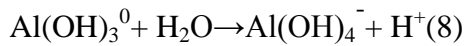
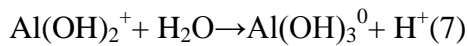
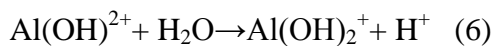
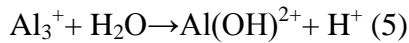
Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées



L'ensemble des ions Al^{3+} et OH^- générés en solution selon la réaction (2.1) et

(2.3) 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 (2.5), (2.6), (2.8) et polymériques comme $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$, $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{4+}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$, $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$, $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$, qui se transforment finalement en $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$ selon des complexes cinétiques de précipitation [25] :



Ces complexes jouent le rôle similaire à celui des coagulants chimiques dans les traitements chimiques 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 floes polymérisés $\{\text{Al}_n(\text{OH})_{3n}\}$ et entraînent ainsi leur flottation. La prédominance des espèces ioniques ou neutres est fonction des conditions opératoires telle que la température, le pH et de la présence d'autres espèces chimiques. Cette prédominance est exprimée sous forme d'un diagramme (Figure N°2), 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.

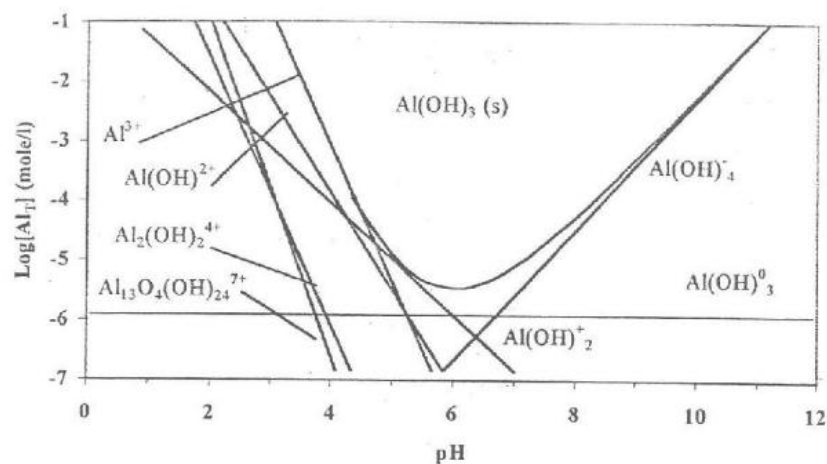


Figure (L3) : Diagramme de solubilité d'hydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$ en fonction du pH pour des espèces en aluminium mononucléaires [25].

I.10. Paramètres influençant le processus d'électrocoagulation :

I.10.1. Le pH:

Le pH de la solution détermine la spéciation 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 [27].

I.10.2. 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 [28].

I.10.3. 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 [29].

I.11. Principales Lois d'électrolyse :

I.11.1. Loi de Faraday :

Si l'on considère que les seules réactions chimiques qui se déroulent dans le réacteur d'électrocoagulation sont [28 ; 29].

- A l'anode, l'oxydation du métal,

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

- 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 :

$$m = \frac{ItM}{nF} \quad (9)$$

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 ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$).

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

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

A partir de cette loi, il est possible d'estimer la masse d'électrode théoriquement consommée par électrolyse et d'en déduire un rendement anodique.

$$R_{\text{anode}} = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{thé}}} * 100 \quad (10)$$

m_{exp} : masse expérimentalement formée par la pesée de l'anode avant et après l'essai d'électrocoagulation et donnée par la relation suivante :

$$m_{\text{exp}} = m_1 - m_2$$

Où m_1 la masse de l'anode avant l'essai d'électrocoagulation et m_2 la masse de l'anode après l'essai d'électrocoagulation.

$m_{\text{thé}}$: masse théorique donnée par la loi de Faraday.

I.11.2. Energie consommée :

La consommation d'énergie dans le procédé d'électrocoagulation est calculée par l'équation suivante [25,30] :

$$E = \frac{I \cdot U \cdot t}{V}$$

Avec :

E : énergie consommée (KWh/m³)

U : tension d'électrolyse (volt)

I : intensité de courant (A)

t_{EC} : temps d'électrolyse (h)

V : volume de l'eau usée traitée (m³)

I.12. Avantages et inconvénients du procédé d'EC :

I.12.1. Avantages

De nombreux auteurs ont comparé le procédé d'EC avec le procédé physico-chimique classique réalisé par l'addition de coagulants chimiques tels que le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique FeCl. Parmi les arguments en faveur de l'électrocoagulation on peut citer les suivants [31].

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.

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.

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.

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

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.

I.12.1. 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

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

nécessaire. La présence de certains ions tels que les chlorures, permet d'éviter le phénomène de passivation des électrodes d'aluminium [32]. 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 [32]. 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 .

I.13. Application du procédé d'électrocoagulation :

Ses domaines d'applications sont très vaste et l'amélioration des procédés électrochimiques a réduit la plupart des inconvénients qui ont freiné l'utilisation de l'électrocoagulation. L'électrocoagulation a le potentiel d'être le choix économique et environnemental distinct pour le traitement de l'eau usagée et d'autres issues relatives de gestion de l'eau.

L'électrocoagulation a été appliquée avec succès dans le traitement de plusieurs types de pollution : effluents de l'industrie de textile [33-34]. Défloration de l'eau potable [35], eau usagée industrielle contenant les colorants [36-37], émulsions l'huile-eau [38, 39], eau usée huileuse [40, 41, 42], suspensions aqueuses [43, 44], traitement d'eau usagée de blanchisserie [45]. 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 [46-47].

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

Référence :

[1] **M.S.METAHRI**, élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes cas de la step est de la ville de tizi-ouzou, thèse de doctorat, spécialité : Agronomie, université mouloud mammeri de tizi-ouzou, p21- 23 année 01 /07 / 2012.

[2] **Bontaux J. 1994**, « Introduction à l'étude des eaux résiduaires industrielles », 2ème édition Lavoisier technique et documentation, 225P.

[3] **Hadj sadok Z. 1999**, « Modélisation et estimation des bioréacteurs, prise en compte des incertitudes , application au traitement de l'eau », thèse de doctorat, Université de NiceShophia Antipolis

[4] **Tekfi K, 2006**, « étude des performances épuratoires d'une station d'épuration des boues activées », mémoire pour l'obtention de diplôme de DEUA. Option traitement et épuration de l'eau, département hydraulique, université Tlemcen.

[5] **Metahri M. (2012)**.Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées. Thèse de doctorat: Génie de procédés. Université Mouloud Mammeri-TiziOuzou, Algérie, p.18.

[6] **Afir D et Mezaoua, (1984)**, « Application et dimensionnement d'un procédé de coagulation-floculation pour le traitement des eaux résiduaires de la papeterie de Baba Ali », mémoire d'ingénieur, école nationale de polytechnique.

[7] **Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconie A, (2004)**, Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p.

[8]**Galaf F et S. Ghanna M, (2003)**. « Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un Site Web sur la pollution du milieu marin ». Mémoire d'ingénieur d'état.

[9] **Mayet J., (1994)**, « La pratique de l'eau, Traitements aux points d'utilisation, le Moniteur» 2ème Edition, p382, Paris.

[10] **Keck G. et Vernus E, (2000)**., « Déchets et risques pour la santé », Techniques de l'Ingénieur, Paris, 2450p.

[11] **Yahlatene S, Tahirim El Tladj, 2011**, « Réflexion sur la caractérisation physico-chimique, des effluents Liquides rejetés dans la grande sebkh d'Oran » ; mémoire d'ingénieur, université des sciences et de la technologie d'Oran.

[12]: **RODIER. J**,L'analyse De L'eau (Eaux Naturelles, Eaux Résiduaires Et Eaux De Mer), 8èmeEdition, Dunod, Paris, 1997, p 66.

[13] **BOTTA A., Avril 2001**, « Laurence BELLON. Pollution de l'eau et santé humaine » Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale. Université Euroméditerranéen

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

TEHYS.

[15]:**M.Tardat-Henry**, «Chimie des eaux», 1ere édition griffon d'argile INC, paris,(1984).

[14]:**BERNE.F, JEAN. C**, Traitement des eaux, Édition TECHNIP, 1991, 306 p.

[15]: **RODIER. J**,L'analyse De L'eau, Eaux Naturelles, Eaux Résiduaire, 8èmeEdition, Dunod, paris, 1996, 1335p.

[16] **Mechati F., 2006**, « Etude des paramètres physico-chimiques avant et après traitement des rejets liquides de la raffinerie de SKIKA », thèse de magister.

[17] **M.S.METAHRI**, élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes cas de la step est de la ville de tizi-ouzou, thèse de doctorat, spécialité : Agronomie, université mouloud mammeri de tizi-ouzou, p21- 23 année 01 /07 / 2012.

[18]: **TARDAT HENRY. M**, Chimie Des Eaux, 2èmeEdition, Les éditions du griffon d'Argile, 1992, pp 213-215.

[19] **M.S.ZEGHOUD**, etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de méghibra, mémoire de magistère, université d'el –oued département des sciences et technologie, p 28,37-39, année universitaire : 2014.

[20]www.lozere.fr

[21]**Faby J.A., Brissaud F, (1997)**. L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office FAO. (2003)., L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage paper, 65p.

[22] **Yves MOttot**, Coagulants et flocculants, Texte de la 2792 conférences de l'Université de tous les savoirs,5 octobre 2000.

[23] **Adamczyk Z**, Particle adsorption and deposition, role of electrostatic interactions, Advances in Colloid and Interface Science,2003.

[24] **Raymond Desjardins**, Le traitement des eaux, Édition de l'École Polytechnique de Montréal, 317 pages,1997.

[25] **TIR Mohamed**, « Utilisation des techniques électrochimique dans le traitement Des emulsions Hydrocarbures/eau ».Thèse de Doctorat, Faculté des Hydrocarbures et de la chimie, Universités de M'hamedBougara-Boumerdès, 2009.

[26] **Holt P.K., Barton G.W., Wark M. and Mitchell C.A.,2002**. A quantitative comparaison between chemical dosing and electrocoagulation, Colloids and Surfaces.Physicochemical Engineering Aspects, 211; 233-248.

[27] **HANAFI F, SADIF N, ASSOBEI O et MOUNTADAR M**, «Traitement des margines par électrocoagulation avec des électrodes plates en aluminium», Revue des

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

.sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 22, n° 4, p. 473-485, 2009

[28] **CHERIFI Souad**, « Traitement des eaux de rejets de l'unité Ceramit (Tenes) », mémoire de magistère, université Hassiba Ben Bouali-Chlef, 2007.

[29] **CHATOU**, « Performance d'électrocoagulation pour l'épuration d'une émulsion d'huile de coupe », MEFENSH, p553, 2005.

[30] **BENNAJAH M**, « Traitement des rejets industriels liquide par électrocoagulation/électrolocation en réacteur air lift », thèse de doctorat, L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE, 2007.

[31] **Merzouk, B**, Etude expérimentale pour le traitement des eaux usées industrielles par électroflotation. Thèse de Doctorat (2009), Université de Bejaia.

[32] **Zongo, I. Wéthé, J. Merzouk, B. Maiga, A.H. Lapique, F. Leclerc, J.P**, Traitement de deux effluents textiles et d'un effluent simulé de tannerie par électrocoagulation. European Journal of Scientific Research, Vol. 62 N02 (2011) 216-235.

[33] **M. Kobya, O.T. Can, M. Bayramoglu**, Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. J. Hazard. Mater. 100 (2003) 163–178.

[34] **S.H. Lin, C.F. Peng**, Treatment of textile wastewater by electrochemical method, Wat. Res. 28 (1994) 277–282.

[35] **N. Mameri, A. R. Yeddou, H. Lounici, D. Belhocine, H. Grib, et D. Bariou**, Defluoridation of septentrionalsahara water of North Africa by electrocoagulation process using bipolar aluminium electrodes, Wat. Res. 32 (5), (1998) 1604-1612.

[36] **J.S. Do, M.L. Chen**, Decolorization of dye-containing solutions by electrocoagulation, J. Appl. Electrochem. 24 (1994) 785–790.

[37] **U.B. Ogutveren, N. Gonen, A.S.Koparal**, Removal of dye stuffs from waste water: electrocoagulation of Acilan Blau using soluble anode, J. Environ. Sci. Health A 27 (1992) 1237–1247.

[38] **U.B. Ogutveren, S. Koparal**, Electrocoagulation for oil-water emulsion treatment. J. Environ. Sci. Health. A32 (1997) 2507-2520.

[39] **P. Canizares, F. Martnez, J. Lobato, M A. Rodrigo**, Break-up of oil-in-water emulsions by electrochemical techniques, J. Hazard. Mater 145 (2007) 233–240.

[40] **X. Chen, G. Chen, P. L. Yue**, Separation of Pollutants from Restaurant Wastewater by Electrocoagulation. Sep. Purif. Technol. 19 (2000) 65-76.

[41] **X. Chen, G. Chen & P. L. Yue**, Electrocoagulation and electroflotation of restaurant wastewater. J. Environ. Eng. 126 (2000) 858-863.

[42] **H. Inan, A. Dimogio, H. Simsek**, Olive oil mill wastewater treatment by means of electro-coagulation, Sep. Purif. Technol. 36 (2004) 23–31.

Chapitre I : Généralité sur Les eaux usées

- [43] **M. J. Matteson, R. L. Dobson, R. W. Glenn, Jr. N. S. Kukunoor, W. H. Waits III, E. J. Clayfield**, Electrocoagulation and separation of aqueous suspension of ultrafine particles, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.*104 (1995) 101-109.
- [44] **O. Larue, E. Vorobiev, C. Vu, B. Durand**, Electrocoagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions. *Sep. Purif. Technol.* 31 (2003) 177–192.
- [45] **J. Ge, J. Qu, P. Lei, H. Liu**, New bipolar electrocoagulation–electroflotation process for the treatment of laundry wastewater, *Sep. Purif. Technol* 36 (2004) 33–39.
- [46] **J.R. Parga, D.L. Cocke, J.L. Valenzuela, J.A. Gomes, M. Kesmez, G. Irwin, H. Moreno, M. Weir**, Arsenic removal via electrocoagulation from heavy metal contaminated groundwater in La Comarca Lagunera México, *J. Hazard. Mater. B* 124 (2005) 247–254.
- [47] **N. Adhoum, L. Monser, N. Bellakhal, J.E. Belgaied**, Treatment of electroplating wastewater containing Cu^{2+} , Zn^{2+} and Cr(VI) by electrocoagulation, *J. Hazard. Mater. B* 112 (2004) 207–213.
- [48] Document de complexe algal+ 2019.

Chapitre II :

Matériels et méthodes

Chapitre II : Matériels et méthodes

Dans ce chapitre, nous allons décrire le lieu de stage ALGAL⁺ puis nous faisons un résumé concernant le protocole analytique suivi ainsi que les matériels et produits utilisés durant la partie pratique de ce mémoire. Tous les essais expérimentaux ont été faits au sein de laboratoire de société ALGAL⁺ et laboratoire de chimie et hydraulique à l'université de M'sila

II.1.lieu de stage : ALGAL+ :

ALGAL+est une société installée à M'sila spécialisée en production de toutes les formes des profilés d'aluminium selon l'exigence du client en utilisant la technique de l'extrusion. Cette entreprise est un complexe industriel qui a été installé en 1985 par une société japonaise qu'est appelée UBE. Il y a deux presses d'extrusion UBE et SCHOEMANN et d'une capacité de filage annuelle de 18000 tonnes , deux chaînes de thermo laquage , une chaîne d'anodisation et de coloration chimique , un atelier de fonderie ...



Figure (II .1) : présentation lieu de stage algal+

II.2. Situation géographique de la société ALGAL+

ALGAL⁺est une entreprise située dans wilaya de M ' SILA plus précisément dans la zone industrielle. Elle est considérée comme étant la première entreprise au niveau de l'Afrique travaillant dans ce domaine.



Figure (II .2) : Situation géographique de la société ALGAL+.

II.3. Les sections d'activités :

- Production de tous les types des profilés d'aluminium.
- Traitement des surfaces, anodisation, coloration et laquage.
- Importation : Billettes et lingots, produits chimiques, pièces de recharge, filière.
- Exportation des produits : des profilés extrudés.

II.4. Les étapes de fabrication :

II.4.1. Unité de recyclage et valorisation

Dans cette unité, on refond (recycle) les produits défectueux apparus dans le processus de fabrication des profilés ainsi que les déchets en Aluminium provenant de l'extérieur, tout ça pour obtenir les billettes.

- Il y a deux billette sont réalisés :
 - Billette de diamètre 172 mm et poids linéaire 62.8 kg/m.
 - Billette de diamètre 216 mm et poids linéaire 98.9 kg/m.
- La longueur de billette est de 3700 mm max.

II.4.2. Unité d'Extrusion :

L'extrusion est un processus de déformation plastique dans lequel un bloc de métal (Billette) est forcé à s'écouler par compression à travers l'ouverture de filière d'un diamètre inférieure à celle de la billette d'origine, comme le montre la Figure. 3. L'extrusion est un procédé de compression directe.

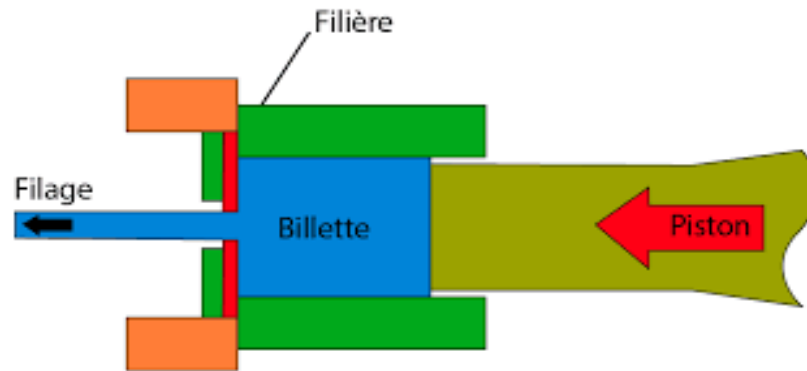


Figure (II .3) : Principe d'extrusion.

II.4.3. Unités d'anodisation et de laquage :

Avant l'anodisation, on fait polissage pour traiter la surface. Elle retirera toute trace de coupe, de traçage, de ponçage, en donnant un aspect brillant impeccable. Et il faut rincer le profilé dans l'eau pour assurer qu'elle est nettoyée bien.

II.4.3.1. L'anodisation, c'est quoi ?

Il s'agit d'une technique basée sur l'électrolyse qui dépose sur la surface de la pièce une couche protectrice plus dure et résistante que ne l'est réellement l'aluminium brut. On utilise dans cette étape l'eau industrielle et distillé ça dépend de l'étape dans l'anodisation, aussi soda (Na OH), acide sulfurique et acétone, des bacs pour les remplir par eau de rinçage et les acides, un courant électrique et température spécifique.

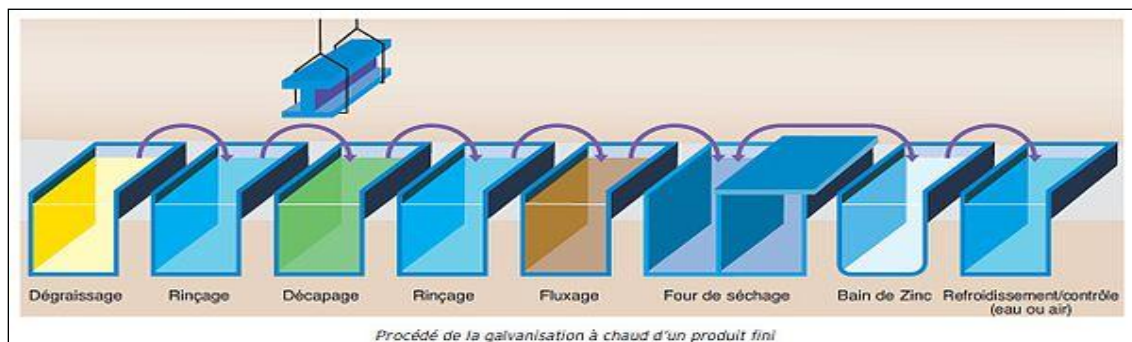


Figure (II .4) : Principe de l'anodisation

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.4.3.2. Qu'est-ce que le laquage de l'aluminium ?

Le laquage de l'aluminium est un procédé par lequel on applique sur l'aluminium de la peinture (sous forme de poudre) qui est ensuite polymérisée et cuite. Avant de passer à l'étape de laquage, l'aluminium a subi différentes étapes de traitement de surface, soit le dégraissage alcalin le dérochage acide ainsi qu'une conversion. Le laquage de l'aluminium permet d'obtenir une très vaste palette de couleurs et rend le matériau particulièrement résistant aux rayures et aux chocs. L'aluminium laqué est en outre très facile à entretenir et a une excellente durée de vie. En général la couleur demandée c'est la couleur blanche et la poudre utilisée c'est de la société Jotun.



Figure (II .5) : Principe de laquage

- Il y a secteur des traitements des eaux, on traite l'eau pour obtenir l'eau industrielle qui est utilisée pour rinçage ou autre opération dans l'entreprise.

II.5. Atelier traitement des eaux:

Elle est formée de 4 sections dont chaque une a son propre fonctionnement .

Section v : traitement des eaux brutes .

Section w : traitement des eaux de recyclage

Section x : traitement des eaux récupérées

Section y : traitement des eaux usées

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.5.1. Traitement des eaux brutes Section (V) :

Spécialisé dans le traitement de l'eau de forage .

➤ **décantation :**

La décantation se fait dans un (décanteur) ou un bassin à décantation à circulation des boues à niveau d'eau de 67m^3 avec un agitateur qui fonctionne à une vitesse entre 15 et 16 tour/min .

Dans le circuit d'alimentation d'eau brute il y a injection de 3 réactifs .

- Hypochlorite de sodium (eau de javel NaClO)
- Sulfate d'aluminium Al_2SO_4 à 10%
- Le coagulant .

➤ **Filtration :**

- Filtre multicouche à double masse filtrante : de type gravité à double masse filtrante qui utilise l'antracite comme élément filtrant.
- Filtre multicouche à sable : de type à pression utilise le sable comme élément filtrant .
- Filtre de sécurité .
- Avant le passage de cette eau filtrée dans l'unité d'osmose qui est l'étape suivante il y a injection des 3 réactifs qui sont :
 - ✓ L'acide sulfurique : pour avoir un PH de 5.5 et la formation de CaCO_3 et éviter l'hydrolyse de l'acétate .
 - ✓ L'injection de NaClO pour éviter la propagation des bactéries .
 - ✓ L'hypersperse empêche la formation des sels sur les membranes (inhibiteur)

➤ **L'osmose inverse :**

C'est un équipement de déminéralisation à membrane d'osmose inverse qui élimine les sels suivants : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , HCO_3 , SO_4 , NO , SiO_3 .

- A la fin de ces étapes de traitement :
 - 25% d'eau saumure rejetée .
 - 75% d'eau industrielle .

➤ **Décarbonisation :** Tour d'élimination de CO_2

II.5.2. Eau recyclée Section (W) :

Traite les eaux de lavage venant de service d'anodisation par échange d'ions à grande dilution.

Chapitre II : Matériels et méthodes

- **La neutralisation** : injection de la soude caustique NaOH
- **la coagulation** : Injection de coagulât (adjuvons de coagulation)
- **décantation** : dans un bassin de décantation
- **filtration** :
 - ✓ Filtre multicouche à double masse filtrante
 - ✓ Filtre à charbon actif
 - échangeur de cation
 - échangeur d'anion
- **Déminéralisation** :

Cette étape permet l'obtention d'une eau 25000 Ω/cm utilisée dans l'anodisation.

Une partie de cette eau 25000 Ω/cm passé dans un lit de mélange « FLM » pour obtenir une eau 20000 Ω/cm utilisée aussi dans l'anodisation.

Remarques

- ✚ **FLM** : composé de deux sortes de résines (fortement acide et fortement basique qui en étant mélangé)
- ✚ les résines régénérées par la soude et l'acide respectivement.

II.5.3. les eaux usées de récupération Section (X):

Cette section traite les eaux usées d'anodisation utilisées pour le lavage primaire .

➤ **la neutralisation**

Les eaux usées d'anodisation, les eaux de lavage par retour d'eau de la tour de Refroidissement et le bassin à eau décantée sont en matière dissoute de 4000 à 6000 mg/l et un pH de 2 à 3.

➤ **la coagulation**

L'aluminium dissous devient hydroxyde d'aluminium, le NaClO est injecté pour éliminer les microbes.

➤ **la décantation**

➤ **séchoir de boue (déshydrateur)**

Chapitre II : Matériels et méthodes

- **filtre multicouche à double masse filtrante**
- **filtre à charbon actif**
- **déminéralisation par osmose inverse** le même protocole que la section V
- ✓ Osmose, osmose inverse

II.5.4. traitement des eaux résiduaires section (Y):cette section traite

- ✓ les effluents alcalins concentrés venant de l'anodisation.
- ✓ les effluents acides concentrés venant de l'anodisation.
- ✓ les effluents à acide nitrique.
- ✓ les eaux de régénération et.
- ✓ les eaux usées de lavage des filières.

Ces effluents passent par les étapes de traitement suivantes :

➤ **la neutralisation**

- ✓ Bac de neutralisation concentrée : neutralise les effluents acidiques et alcaliques concentrés.
- ✓ Bassin de neutralisation : qui recevoir les eaux neutralisées ainsi que les eaux issues de filtre presse.

➤ **la coagulation**

Injection de coagulant pour que les matières en suspension sont développées en grands floccs qui seront introduites au bassin de décantation.

➤ **la décantation**

L'eau décantée est introduite dans un bassin à eau claire et les boues précipitées sont raclées et extraites par une pompe à boues puis introduites dans le bassin à boues et essorées ensuite dans le filtre presse.

➤ **le filtre presse**

Les boues sont essorées par l'air sous pression ,relâchées entre des plaques filtrantes ,puis introduites dans la trémie à boues au moyen d'un transporteur à Bande ,ainsi les boues sont extraites et traitées plusieurs fois en utilisant des camions

Chapitre II : Matériels et méthodes

➤ la filtration

La filtration se fait au niveau d'un filtre multicouche à double masse filtrante afin d'éliminer les matières en suspension.

✚ l'eau de filtration entre dans le bassin à eau de décharge avant qu'elle soit rejetée dans l'oued[48].

II.6. Le dispositif expérimental d'électrocoagulation :

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

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

Les électrodes, au nombre de huit, ont une surface active de 176 cm².

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

- Un générateur de courant électrique type MCPRXN-305D-(Laboratoire DC power supply)
- Des fils électriques (connexions entre générateur et électrode)
- La cellule électrochimique dans laquelle sont placées deux électrodes en alliage d'aluminium entre lesquelles circule l'effluent à traiter.
- 8 électrodes en aluminium d'une forme rectangulaire plongées dans la solution.
- Un barreau magnétique (3cm)
- Un agitateur magnétique (AGIMATIC-E)

Il permet également grâce à l'agitateur magnétique la séparation du gaz électro-généré de la solution et évite ainsi la formation des mousses qui peuvent perturber les réactions et entraver la bonne marche de l'électrocoagulation.

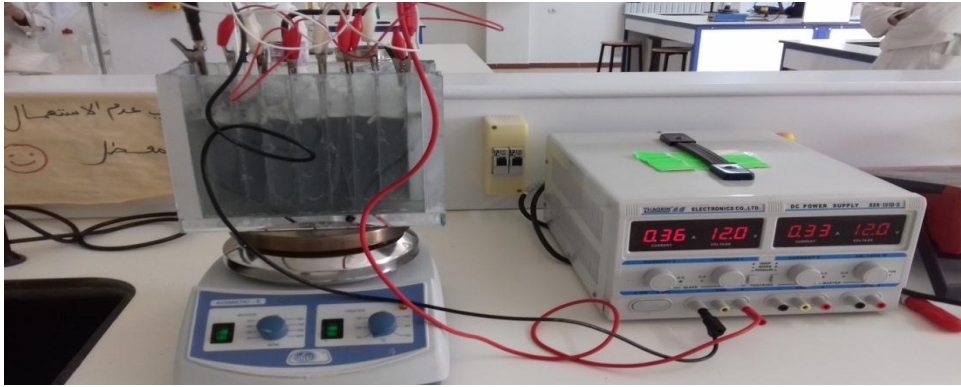


Figure (II .6) : la structure schématique de la cuve électrocoagulation

II.7.Les plaque d'électrode :

L'aluminium a été utilisée pour ces plaque d'électrode dont les dimensions sont 10.5*8 cm et épaisseur 1mm. L'aluminium est de type A-U4G c'est un alliage contenant majoritairement de l'aluminium (Duralumin , dursulium ...avec de cuivre 0,6de magnésium 0,6, manganèse 0,4de silicium) son nom commercial est le 2018 AL

II.8.Les analyses physico-chimiques sur les eaux usées :

II.8.1Mesurele potentiel d'hydrogène (pH) :

- **Matériels et produits :**

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

- **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 ;

Chapitre II : Matériels et méthodes



Figure (II .7) :L'appareil de pH mètre.

II.8.2. Mesure la Température :

- **matériels et produits :**

Erlenmayer (25ml), eau à analyser , thermomètre ;

- **Mode opératoire :**

-Remplir le Erlenmayer avec l'eau à analyser ,et Emerger thermomètre dans l'échantillon ;

-Lire directement la valeur s'est stabilisée ;

II.8.3. Mesure la Conductivité :

- **matériels et produits :**

Bécher (25ml), Eau à analyser, conductimètre (WTW cond 3110made in Germany) ;

- **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 ;

Chapitre II : Matériels et méthodes



Figure (II .8) : l'appareil de conductimètre.

II.8.4. Mesure la Turbidité :

- **matériels et produits :**

- cuve de turbidimètre (10ml), Eau distillée, Eau à analyser, papier absorbant , Turbidimètre(HANNA-HI88703 mode in Romania)

- **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 (II .9) :l'appareil de Turbidimètre.

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.8.5. Détermination de L'alcalinité TAC:

- **Matériels :**

- Burette (50ml) , Erlenmeyer (250ml) , Eprouvette (25ml) ;

- **Produits :**

- l'échantillon d'eau à analyser ;
- Indicateur coloré phénolphtaléine pour le TA ;
- Indicateur coloré méthylorange pour TAC, Solution de HCl à 0.02 N ;

- **Mode opératoire**

prendre 25 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer ,A la quelle en ajouter deux gouttes de phénolphtaléine dans le bute de déterminer de TA, et deux gouttes de méthylorange dans le bute déterminer de TAC et Faire le titrage par la solution HCl jusqu'au changement de couleur.



Figure (II .10) : la variation du colure dans le dosage de TAC.

- **Expression des résultats :**

Au point d'équivalence, la loi de neutralisation est : $N_{HCl} V_{HCl} = N_{PE} V_{PE}$

$$N_{PE} = N_{HCl} * V_{HCl} * M_{eq} / V_{PE}$$

Avec :

- N_{PE} : normalité de l'échantillon = TAC en mg/l de $CaCO_3$

Chapitre II : Matériels et méthodes

- V_{PE} : volume de prise d'échantillon = 25 ml
- N_{HCl} : normalité de l'acide (HCl) = 0,02 N.
- V_{HCl} : volume de l'acide utilisé lors du titrage.

II.8.6. Détermination de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) :

- **Matériels :**

- Erlenmeyer (250ml) , Eprouvette (50ml) , pipette (2ml) et burette (50ml) ;

- **Produits :**

- l'échantillon d'eau à analyser ;
- Solution tampon ammoniacale (NH_4OH) de pH =10 ;
- Indicateur coloré noir d'ériochrome ;
- Solution EDTA à 0.02 N ;

- **Mode opératoire :**

Prendre 50 ml de l'eau à analyser dans un erlenmeyer ,A la quelle en ajouter 2 ml de la solution tampon ammoniacale ,et trois gouttes de l'indicateur NET , la colure de cette solution semble rose ;

- faire la titrage par la solution EDTA jusqu'à la couleur devient bleu ;



Figure (II .11) : Le changement de colore dans la dosage de TH.

- **Expression des résultats :** selon la formule suivante

$$TH = V_{(EDTA)} \times 20$$

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.8.7. Détermination la dureté de calcium :

- **Matériels :**

- Erlenmeyer (250ml) , Eprouvette (50ml) , pipette (5ml) et burette (50ml) , Spatule ;

- **Produits :**

- l'échantillon d'eau à analyser ;
- Solution d'hydroxyde de potassium (KOH) ;
- Solution d'hydroxyde d'ammonium ;
- Poudre d'otite N-N(C₂₁H₁₄N₂O₇S) ;
- Solution EDTA à 0.02 N ;

- **Mode opératoire :**

- Prendre 50 ml de l'eau à analyser dans un erlenmeyer , A la quelle en ajouter 5ml d'hydroxyde de potassium ,et trois gouttes d'hydroxyde d'ammonium ,et un petite quantité de poudre d'otite , la colure de cette solution est violet ;
- faire la titrage par la solution EDTA jusqu'à la couleur devient bleu ;

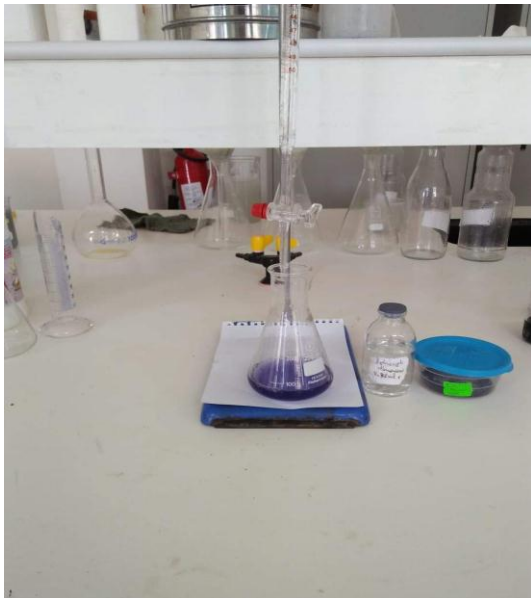


Figure (II .12) : le changement de colore dans la dosage de Ca²⁺H.

Expression des résultats : selon la formule suivante

$$[\text{Ca}^{2+}\text{H}] = V_{(\text{EDTA})} \times 20$$

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.8.8. mesure La dureté de magnésium :

mesure d'après la loi de sous forme suivante : $[Mg^{2+H}] = [TH] - [Ca^{2+H}]$

II.8.9. meure la concentration de calcium:

mesure d'après la loi de sous forme suivante: $[Ca^{2+}] = [Ca^{2+H}] \times (0,4)$

II.8.10. mesure la concentration de magnésium :

mesure d'après la loi de sous forme suivante: $[Mg^{2+}] = [Mg^{2+H}] \times (0,288)$

II.8.11. Détermination des ions de chlorures Cl^- :

- **Matériels :**

- Erlenmeyer (250ml) , Eprouvette (100ml) , burette (50ml) ;

- **Produits :**

- l'échantillon d'eau à analyser ;
- Solution de chromate de potassium 10% (K_2CrO_4) ;
- Solution de nitrate d'argent à 0.1N ;

- **Mode opératoire :**

- Prendre 100 ml de l'eau à analyser dans un erlenmeyer , et A la quelle en ajouter trois gouttes de K_2CrO_4 , la colure de cette solution est jaune;
- faire la titrage par la solution $AgNO_3$ jusqu'à la couleur devient orange ;



Figure (II .13): Protocole pour déterminé le Cl^-

Chapitre II : Matériels et méthodes

Expression des résultats : selon la formule suivante :

$$[Cl] = V_{(AgNO_3)} \times 10 \times 3,55$$

II.8.12. Détermination du nitrate NO_3^- :

- **matériels et produits :**

- cuve de spectrophotomètre (10ml), Eau à analyser, papier absorbant, spectrophotomètre (HANNA-C99-C200 mode in Romania) ;

- **Mode opératoire :**

- Sélectionner le « programme correspondant à la mesure des nitrates à l'aide des touches \uparrow et \downarrow ;

- Remplir la cuvette avec 6ml de l'échantillon à mesurer ;

- Nettoyer soigneusement la cuvette avant de la placer dans le logement prévu à cet effet en respectant l'ergot d'alignement ;

- Appuyer sur la touche ZERO, un message SIP apparaît sur l'afficheur, lorsque l'indication 0.0 apparaît, la remise à ZERO a été faite ;

- Sortir la cuvette du logement et ajouter 1 sachet de réactif HI93728-A ;

- Remettre le bouchon et agiter vigoureusement pendant exactement 10 secondes ;

- Nettoyer soigneusement la cuvette de mesure et placer la dans le logement prévu sur l'instrument en respectant l'ergot d'alignement ;

- Appuyer sur la touche TIMER, et Au bot de 4mn 30s apparaît un message SIP suivi de l'affichage de la concentration en NO_3^- ;

II.8.13. Détermination du dioxyde de silicium SiO_2 :

- **Matériels:**

- Cuve de spectrophotomètre (10ml), Eau à analyser, papier absorbant, spectrophotomètre (HANNA-C99-C200 mode in Romania) ;

-

Chapitre II : Matériels et méthodes

- **produits :**

-6 gouttes de molybdate HI93705 A-0 ;

-1 sachet de acide citrique HI93705 B-0 ;

-1 sachet de acide aminé HI93705 C-0 ;

- **Mode opératoire :**

-Sélectionner le programme correspondant à la mesure du silice à l'aide des touches ↑ et ↓ ;

-Remplir la cuvette de 10ml de l'échantillon à tester ;

-Ajouter 6 gouttes de réactif de molybdate et agiter ;

-Attendre 4 mn puis ajouter un sachet de réactif acide citrique et agiter jusqu'à dissolution complète ;

-Nettoyer soigneusement la cuvette puis placer la dans le logement l'appareil en respectant l'ergot d'alignement ;

-Appuyer sur la touche TIMER , au bout de 3mn un message SIP apparait suivi de l'affichage de la concentration en silice SiO₂ ;

II.8.14. Détermination du phosphates PO₄⁻³ :

- **Matériels:**

cuve de spectrophotomètre (10ml) , Eau à analyser , papier

absorbant ,spectrophotomètre(HANNA-C99-C200 mode in Romania) ;

- **Mode opératoire :**

-Sélectionner le programme correspondant à la mesure des phosphates à l'aide des touches ↑ et ↓ ;

- Nettoyer soigneusement la cuvette avant de la placer dans le logement prévu à cet effet en respectant l'ergot d'alignement ;

- Appuyer sur la touche ZERO , un message SIP apparait ;

Chapitre II : Matériels et méthodes

- Au bout de quelques secondes , l'instrument affiche le message 0.0 indiquant qu'il est prêt pour la mesure ;
- Retirer la cuvette de son logement et ajouter un sachet de réactif HI 93713 ;
- Refermer à l'aide du bouchon puis secouer doucement jusqu'à dissolution du réactif (environ 2 minutes) ;
- Après nettoyage correct, replacer la cuvette dans le logement de mesure en respectant l'ergot d'alignement ;
- Appuyer sur la touche TIMER, au bout de 3mn un message SIP apparait suivi de l'affichage de la concentration en phosphates PO_4^{-3} ;



Figure (II .14): l'appareil de spectrophotomètre.

II.8.15.Détermination de matière en suspension :

- **Matériels :**
 - Papiers filtres, Balance, Entonnoir, Erlenmeyer , Etuve ;
- **Produits :**
 - l'échantillon d'eau à analyser ;
- **Mode opératoire :**
 - Peser les papiers filtres avant d'être utilisées par une balance (m_1) ;
 - Faire la filtration après avoir fait le traitement ;
 - Sécher les papiers filtres en utilisant le étuve , à une degré de température estimant à 105 C° ;
 - Après cette opération , refaire peser les papiers filtres (m_2) ;

Chapitre II : Matériels et méthodes



Figure (II .15) : la filtration.

- **Expression des résultats** : selon la formule suivante

$$V_{(MES)} = [(m_2 - m_1) * 1000 / V_{(eau)}]$$

m_2 : la masse papiers filtre avec les résidus en (mg) ;

m_1 : la masse de papier filtre individu en (mg) ;

V : le volume d'eaux usées en(L) ;

II.8.16.Titrage par oxydabilité :

- **Matériels** :

- Erlenmeyer (250ml), Eprouvette (100ml ,et 15 ml), burette (50ml) ;
thermomètre ,plaque chauffante ;

- **Produits** :

- l'échantillon d'eau à analyser ;
- Solution de permanganate de potassium ($KMnO_4$) à 0.002M ;
- Solution de acide oxalique à 0.01N ;
- solution de acide sulfurique à 1N ;

- **Mode opératoire** :

- Prendre 100 ml de l'eau à analyser , et ajouter 15 ml acide sulfurique et permanganate de potassium ,la colure de cette solution est violet ;
- Mettre le mélange sur la plaque chauffante jusqu'à l'évaporation ;
- Laisser le mélange 10 minutes , et ajouter 15ml acide oxalique ;

Chapitre II : Matériels et méthodes

- Remettre encore une fois le mélange sur la plaque chauffante jusqu'à 60 C° ou 70 C°
- faire la titrage par la solution KMnO_4 jusqu'à la couleur devient violet ;

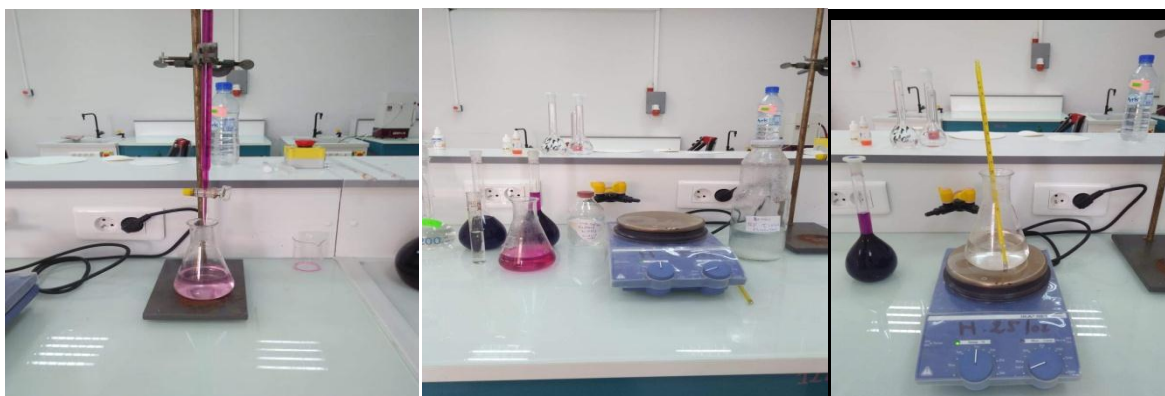


Figure (II .16) : le Titrage par oxydabilité.

Expression des résultats : selon la formule suivante :

$$C_{PE} = [(V'_{\text{KMnO}_4} + V''_{\text{KMnO}_4}) * N_{\text{KMnO}_4} - (V_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} * N_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4})] * 8$$

V' : Volume de KMnO_4 initial ;

V'' : Volume de KMnO_4 utilisé pour le dosage ;

II.8.17. Détermination de la demande biochimique en oxygène DBO_5 :

Matériels : Eprouvette ; DBO -mètre (WTW, TS606/2 made in France)

- **Produits :**

- l'échantillon d'eau à analyser ;
- l'inhibiteur de DBO -mètre ;
- Hydroxyde de sodium NaOH ;

- **Mode opératoire :**

- Prendre 360 ml de l'eau à analyser, et les mettre dans les flacons de DBO_5 , et ajouter deux goutte de l'inhibiteur ;
- Ajouter dans le bouchon deux pastille de NaOH (qui a pour rôle de piéger le CO_2 dégagé pendant la respiration) , et les incubé durant cinq jour à 20C° à l'obscurité, Les résultats sont exprimés en (mg/l) (figure ...)



Figure (II .17) : les flacons de DBO_5 .

II.8.18.Mesure de l'oxygène dissous:

- **matériels et produits :**

Bécher (25ml) , Eau à analyser , oxymétrie (HANNA-HI2400 mode in Romania) ;

- **Mode opératoire :**

- Rempli le bécher avec l'eau à analyser ;

- Emerger l'électrode dans l'échantillon ;

- Lire directement Le résultat lorsque la valeur s'est stabilisée ,a été exprimé en (mg/l) ;



Figure (II .18) :L'appareil d'oxymétrie.

Conclusion générale

Les traitements des eaux usées est un processus très important pour la vie quotidienne des habitants des villes et du monde rural. On effectue l'épuration des eaux usées non seulement pour protéger la santé de la population et éviter les maladies contagieuses, mais aussi pour protéger l'environnement.

L'objectif de ce travail était d'étudier l'effet de l'épuration par électrocoagulation sur les eaux usées de l'entreprise Algal plus dans la wilaya de M'sila

L'électrocoagulation représente une alternative au traitement physicochimique des eaux usées, elle procède par la dissolution d'une électrode sous l'effet d'un courant électrique qui libère in situ des ions capable de coaguler-floculer des colloïdes en suspension.

Les résultats que nous avons obtenus ont montré l'importance de ne pas se limiter à l'efficacité de l'abattement par le traitement électrochimique, mais aussi à l'influence des paramètres opératoires tel que le temps, pH et le voltage de courant.

L'ensemble de ces résultats montre que:

- Quant le temps de traitement est prolongé(60min), l'efficacité de traitement électrochimique très élevée.
- Lorsque le voltage de courant est élevé (12 V) le rendement de cette technique est élevé.

À travers les résultats présentés, nous concluons que cette technique est bonne pour l'épuration des eaux usées à moindre coût et plus rapidement pour préserver l'homme et l'environnement.

Annexes

Tableau 1: les valeurs d'analyse de l'eau brute avant et après traitement de la société ALGAL+.

	Brute	Décharge/avant traitement	Décharge /après traitement
pH	7	6.3	7.41
T°(°C)	21.3	23.2	22.8
Cond (ms /cm)	9.88	14	13.99
Turbidité (NTU)	19.8	996	0.62
TAC (A-M) (mg/l)	352	1600	400
TA (mg/l)	0	0	0
Dureté TH(mg/l)	620	1800	1700
Ca ²⁺ H(mg/l)	214	800	140
Mg ²⁺ H(mg/l)	406	1000	1560
Ca ²⁺ (mg/l)	85.6	320	56
Mg ²⁺ (mg/l)	116.92	288	449.28
Cl ⁻ (mg/l)	390.5	461.5	710
NO ₃ ⁻ (mg/l)	4	11	10.7
SiO ₂ (mg/l)	2.20	2.10	2.20
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0.89	0	0.04
Mat .En sus. (mg/l)	/	0.91	1.03
Oxydabilité (mg/l)	0.46	1.36	0.78
DBO5(mg/l)	/	32	0
Oxygène dissous (mg/l)	87.8	106.8	14.8

Annexes

Tableau 2 : les valeurs d'analyse des eaux par électrocoagulation à 6V.

	15min	30min	45min	60min
pH	8.5	8.35	8	7.76
T°(°C)	23	23.3	23.5	29.7
Cond (ms /cm)	10.33	10.15	9.65	9.39
Turbidité (NTU)	27.8	12.28	9.92	8.54
TAC (A-M) (mg/l)	380	280	240	200
TA (mg/l)	0	0	0	0
Dureté TH(mg/l)	1620	1560	1440	1380
Ca ²⁺ H(mg/l)	80	60	40	30
Mg ²⁺ H(mg/l)	1540	1500	1400	1350
Ca ²⁺ (mg/l)	32	24	16	12
Mg ²⁺ (mg/l)	443.28	432	403.2	388.8
Cl ⁻ (mg/l)	213	195.25	177.5	177.5
NO ₃ ⁻ (mg/l)	8.2	5.4	3.8	2.7
SiO ₂ (mg/l)	0.81	0.78	0.73	0.02
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0.51	0.19	0.09	0.04
Mat .En sus. (mg/l)	1260	2630	2820	4020
Oxydabilité (mg/l)	1.20	0.96	0.55	0.20
DBO ₅ (mg/l)	10	10	10	9
Oxygène dissous(mg/l)	70	1.8	0.5	0.1

Annexes

Tableau 3 : les valeurs d'analyse des eaux par électrocoagulation à 12V.

	15min	30min	45min	60min
pH	8	7.95	8	7.57
T°(°C)	22.5	21.9	21.2	21
Cond (ms /cm)	13.08	12.83	12.79	12.23
Turbidité (NTU)	9.31	2.39	1.54	0.55
TAC (A-M) (mg/l)	600	500	460	436
TA (mg/l)	0	0	0	0
Dureté TH(mg/l)	1380	1000	962	932
Ca ²⁺ H(mg/l)	40	34	30	26
Mg ²⁺ H(mg/l)	1340	966	932	906
Ca ²⁺ (mg/l)	16	13.6	12	10.4
Mg ²⁺ (mg/l)	385.92	278.20	268.41	260.92
Cl ⁻ (mg/l)	248.5	202.35	188.15	142
NO ₃ ⁻ (mg/l)	5.9	5.8	4.7	3.3
SiO ₂ (mg/l)	0.26	0.20	0.13	0.05
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	2.03	0.95	0.58	0.16
Mat .En sus. (mg/l)	2326	5286	7220	6000
Oxydabilité (mg/l)	0.96	0.80	0.28	0.24
DBO5(mg/l)	30	24	16	14
Oxygène dissous (mg/l)	103.2	91.1	19.3	11.19

Annexes

Les valeurs des volumes pour le titrage

Tableau 4 : les volumes de l'eau brute avant et après traitement de la société ALGAL+.

Paramètre / Temps	l'eau brute	avant traitement	après traitement	
$V_{(EDTA)}TH$	33.1	90	85	
$V_{(EDTA)}Ca^{2+}H$	10.7	40	7	
$V_{(AgNO_3)}Cl^-$	11	13	20	
$V_{(HCl)}TAC$	8.8	40	10	
$V_{(KMnO_4)}$ Oxydabilité	5.8	17	9.8	
MES	$M_{1(g)}$	/	0.087	0.087
	$M_{2(g)}$	/	0.178	0.190
	V(L)	100	100	100

Tableau 5 : les volumes après le traitement par électrocoagulation à 6V.

Paramètre / Temps	15min	30min	45min	60min	
$V_{(EDTA)}TH$	81	78	72	69	
$V_{(EDTA)}Ca^{2+}H$	4	3	2	1.5	
$V_{(AgNO_3)}Cl^-$	6	5.5	5	5	
$V_{(HCl)}TAC$	9.5	7	6	5	
$V_{(KMnO_4)}$ Oxydabilité	15	12	6.9	2.5	
MES	$M_{1(g)}$	7.44	9.18	10.71	7.33
	$M_{2(g)}$	9.33	13.13	14.94	10.33
	V(L)	1.5	1.5	1.5	1.5

Annexes

Tableau : les volumes après le traitement par électrocoagulation à 12V.

Paramètre / Temps		15min	30min	45min	60min
V _(EDTA) TH		69	50	48.1	46.6
V _(EDTA) Ca ²⁺ H		2	1.7	1.5	1.3
V _(AgNO3) Cl ⁻		7	5.7	5.3	4
V _(HCl) TAC		15	12.5	11.5	10.9
V _(KMnO4) Oxydabilité		12	10	3.5	3
MES	M _{1(g)}	3.71	5.83	7.95	7.33
	M _{2(g)}	7.20	13.76	18.78	25.33
	V(L)	1.5	1.5	1.5	1.5

Tableau 7 : Normes d'eau selon l'Algérie et selon l'OMS (source ADE).

Paramètre	Unité	Normes Algérienne	Normes OMS
pH	/	6,5 – 8,5	6,5 - 9,2
Température	°C	25	-
Conductivité	µs/cm	2800	-
Turbidité	NTU	2	5
Dureté total (TH)	mg/L	500	500
Calcium	mg/L	200	-
Magnésium	mg/L	150	150
Sulfate	mg/L	400	250
Chlorure	mg/L	500	250
Nitrate	mg/L	50	50
Phosphate	mg/L	0.5	0.5
DBO ₅	mg/l	40	-
MES	mg/l	150-500	-
O ₂	mg/l		
L'oxydabilité	mg/l	< 120	-