

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

**Mémoire du Projet de fin d'étude**  
**2<sup>ème</sup> année Master**



**Département : Génie des Procédés**  
**Spécialité : Génie Chimique**

*Présenté par :*

**Frioui Rania**

**Ghellab Djouhaina**

---

**Etude comparative de l'efficacité du traitement**  
**des eaux usées par boues activées et électrocoagulation**  
**E.C.**

---

**Sous la direction de :**  
**Dr. BENDJABALLAH Malek**

**Juin 2022**

## ***Remerciements***

Nous remercions avant tout Allah de nous avoir donné la volonté et le courage pour réaliser ce modeste travail.

Nos remerciements, nos respects et notre profonde gratitude à notre encadreur

**Dr. Bendjaballah Malek** pour nous avoir proposé ce sujet de mémoire, pour le suivi la réalisation de ce travail et de ses suggestions être marques pertinentes.

Un grand merci au personnel de la STEP de Guelma sur tout les ingénieurs et techniciens du laboratoire en particulier : madame **Bouchbout Dounia** et monsieur **Selami Youssef** pour leur disponibilité et leur précieuse aide

Nous remercions vont aussi à **Melle Hamidoud Sara** doctorante à l'université 8 Mai 1945 Guelma de nous avoir beaucoup aidé dans ce travail.

Nos vifs remerciements vont également aux techniciens du laboratoire pédagogique de notre département génie des procédés **monsieur Dahal Djilil** de nous avoir fourni les différents équipements et verreries pour réaliser mon dispositif expérimental d'électrocoagulation.

Nous remercions vivement aussi le jury pour l'honneur de juger notre travail.

Enfin, nous remercions toute personne qui de près ou de loin, scientifiquement ou socialement, a contribué à la réalisation de ce travail.

## *Dédicace*

Je voulais tout d'abord, dire : louange à Allah qui m'a inspiré le courage et la capacité de faire et accomplir ce modeste travail.

Ma très chère mère **YAMINA**

Tu représentes pour moi la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encouragé et de prier pour moi.

A meilleur papa **ABDELHAFID**

Aucune dédicace ne se saurait exprimer l'amour et le respect que j'ai toujours

Pour vous.

Aux sources de l'espoir dans ma vie :

A mon frère **TARIQ** et **RAMI** et à ma sœur **MERIEM**

Qui étaient toujours là pour me soutenir et m'aider dans les moments difficiles.

Aussi A mon fiancée **SALAH**

Pour l'encouragement et l'aide qu'il m'a toujours accordé.

A mes petits neveux : **LOUAI** et **LOUDJAIN** qu'Allah les protège.

A toute ma famille.

A tous mes amis.

A tous les étudiants de ma promotion de master génie chimique.

***FRIOUI Rania***

*Dédicace*

Je voulais tout d'abord, dire : louange à Allah qui m'a inspiré le courage et la capacité de faire et accomplir ce modeste travail.

Ma très chère mère **FADILA**

Tu représentes pour moi la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui

N'a pas cessé de m'encouragé et de prier pour moi.

A meilleur papa **AHMED**

Aucune dédicace ne se saurait exprimer l'amour et le respect que j'ai toujours

Pour vous.

Aux source de l'espoir dans ma vie :

A mon frère **FADJER ELISSLAM** et à ma sœur **AMIRA** et **WIJDANE**

Qui étaient toujours la pour me soutenir et m'aider dans les moments difficiles.

Aussi A mon mari **MOUHEMED**

Pour l'encouragement et l'aide qu'il m'a toujours accordé.

A toute ma famille.

A tous mes amis.

A tous les étudiants de ma promotion de master génie chimique.

***GHELLAB Djouhaina***

## TABLE DES MATIÈRE

Liste des figures.....	i
Liste des tableaux.....	ii
Liste des abréviations.....	iii

### Introduction générale

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

### Chapitre I : Généralités sur les eaux usées

I.1. Définition des eaux usées .....	3
I.2. Origine des eaux usées .....	3
I.2.1. Les eaux usées domestiques .....	3
I.2.2. Les eaux usées industrielles .....	4
I.2.3. Les eaux usées agricoles .....	4
I.2.4. Les eaux pluviales .....	4
I. 3. Les différents types de la pollution des eaux usées.....	4
I.3.1. Pollution thermique .....	4
I.3.2. Pollution radioactive .....	5
I.3.3. Pollution chimique .....	5
I.3.4. La pollution agricole .....	5
I.3.5. La pollution microbiologique.....	5
I.3.6. La pollution par les hydrocarbures.....	6
I.4. Paramètres caractéristiques des eaux usées.....	7
I.4.1. Paramètres organoleptiques.....	7
I.4.1.1 L'odeur .....	7
I.4.1.2. La couleur.....	7
I.4.2. Paramètres physiques .....	7
I.4.2.1. La température.....	7
I.4.2.2. Les matières en suspension (MES) .....	7
I.4.2.3. La turbidité .....	8
I.4.3. Paramètres chimique .....	9
I.4.3.1. Le potentiel d'hydrogène .....	9
I.4.3.2. La demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ) .....	9
I.4.3.3. La demande chimique en oxygène (DCO).....	9

I.4.3.4. La conductivité .....	10
I.4.3.5. Les Matières azotée .....	10
I.4.3.6. Matières phosphorée .....	10
I.4.3.7. Notion de biodégradabilité .....	11
I.4.3.8. Oxygène dissous.....	11
I.5. Normes de rejet .....	11
Conclusion .....	12

## **Chapitre II : Procédé d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma**

II.1. Localisation .....	13
II.2. Emplacement et accès .....	13
II.3. Caractéristiques et nature des effluents .....	14
II.3.1. Nature du réseau .....	14
II.3.2. Nature du traitement des eaux usée avant l'emplacement de la station.....	14
II.4. Point de rejet (destination) .....	14
II.4.1. L'eau épurée.....	14
II.4.2. Les sous-produits issus de l'épuration .....	15
II.5. Description sommaire de la station.....	15
II.5.1. Procédé d'épuration utilisé au niveau de la station.....	15
II.5.2. Prétraitement .....	16
II.5.3. Traitement primaire (décantation primaire).....	18
II.5.4. Traitement secondaire .....	19
II.5.5. Traitement trentaine .....	21
II.6. Traitement des boues .....	23
II.7. Objectif du traitement / objectif de la STEP.....	24
II.7.1. Eau traitée .....	24
II.8. Avantages et inconvénients et limités des procéder biologique.....	24
Conclusion .....	25

## **Chapitre III : Procédé d'électrocoagulation**

III.1. Définition de l'électrocoagulation .....	26
III.2. Historique du procédé d'électrocoagulation.....	26
III.3. Principe du procédé d'électrocoagulation .....	27
III.4. Les différents matériaux utilisés pour les électrodes .....	28
III.5. Les réactions aux électrodes : rendement faradique.....	30

III.6. Exemple d'application et mise en œuvre du procédé.....	31
III.7. Principales lois de l'électrolyse.....	31
III.7.1. La cinétique de transfert de charge ou loi de Butler-Volmer .....	32
III.7.2. La loi de Faraday .....	32
III.8. Comparaison entre la floculation-coagulation chimique et l'EC .....	33
III.9. Avantages et inconvénients du procédé d'électrocoagulation .....	35
Conclusion.....	35

## **Chapitre IV : Partie Expérimentale**

Introduction .....	36
IV.1. Points et période de prélèvement.....	36
IV.2. Méthode d'analyse physico-chimique .....	37
IV.2.1. Mesure in situ .....	37
IV.2.1.1. La Température .....	37
IV.2.1.2. Potentiel Hydrogène pH .....	37
IV.2.1.3. La conductivité électrique .....	38
IV.2.1.4. L'oxygène dissous .....	39
IV.2.2. Paramètre chimique.....	40
IV.2.2.1. Demande biologique de l'oxygène (DBO <sub>5</sub> ) .....	40
IV.2.2.2 Détermination des matières en suspension (MES).....	42
IV.2.2.3.Demande chimique de l'oxygène (DCO).....	44
IV.2.2.4. L'azote des Nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	45
IV.2.2.5. L'azote des Nitrites NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> .....	46
IV.2.2.6.L'azote ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	46
IV.2.2.7. Orthophosphate OPO <sub>4</sub> <sup>-</sup> .....	47
IV.3. Technique d'électrocoagulation (EC) .....	47
IV.3.1.Description du montage expérimental :.....	48
IV.3.2. Mode opératoire .....	49
IV.3.3. Résultats et discussion d'étude préliminaire.....	50
IV.3.4. Suivi des paramètres opératoires .....	50
IV.3.5. Discussion : .....	54
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>58</b>

## **Références bibliographiques**

<b>Figure 1</b> : Une eau usée .....	<b>3</b>
<b>Figure 2</b> : Pollution par les hydrocarbures .....	<b>6</b>
<b>Figure 3</b> : La turbidité de l'eau .....	<b>8</b>
<b>Figure 4</b> : la STEP de la ville de Guelma.....	<b>13</b>
<b>Figure 5</b> : Vu de la STEP de Guelma (Google earth, 2022).....	<b>14</b>
<b>Figure 6</b> : Schéma général d'une station d'épuration.....	<b>16</b>
<b>Figure 7</b> : Dégrillage STEP Guelma .....	<b>17</b>
<b>Figure 8</b> : Dessablage, Dégraissage STEP Guelma.....	<b>18</b>
<b>Figure 9</b> : Décantation primaire (STEP Guelma 2022).....	<b>19</b>
<b>Figure 10</b> : Bassin d'aération .....	<b>20</b>
<b>Figure 11</b> : décontraction secondaire .....	<b>21</b>
<b>Figure 12</b> : Bassin de désinfection .....	<b>22</b>
<b>Figure 13</b> : lits de séchage .....	<b>23</b>
<b>Figure 14</b> : Schémas du procédé d'électrocoagulation .....	<b>28</b>
<b>Figure 15</b> : Les étapes de transfert de matière dans une cellule électrochimique .....	<b>32</b>
<b>Figure 16</b> : points de prélèvement .....	<b>36</b>
<b>Figure 17</b> : pH mètre (à gauche (en vert)) et conductimètre (à droite (en gris)).....	<b>39</b>
<b>Figure 18</b> : l'oxymètre portable.....	<b>40</b>
<b>Figure 19</b> : Dispositif de mesure e la DBO <sub>5</sub> .....	<b>41</b>
<b>Figure 20</b> : Etuve a 105°C .....	<b>42</b>
<b>Figure 21</b> : Filtre a pompe .....	<b>43</b>
<b>Figure 22</b> : dessiccateur.....	<b>43</b>
<b>Figure 23</b> : Réacteur utilisée pour la mesure de la DCO.....	<b>45</b>
<b>Figure 24</b> : Photo représentant la manipulation pour la détermination de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	<b>45</b>
<b>Figure 25</b> : Photo représentant la manipulation pour la détermination de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	<b>47</b>
<b>Figure 26</b> : Photo montrant la manipulation pour la détermination d'OPO <sub>4</sub> <sup>-</sup> .....	<b>47</b>
<b>Figure 27</b> : Le dispositif expérimental d'électrocoagulation .....	<b>48</b>
<b>Figure 28</b> : Différents postes d'électrocoagulation ( photographie) des eaux usées à différentes intensités de courant .....	<b>52</b>
<b>Figure 29</b> : Variation du pH du milieu en fonction du temps d'EC .....	<b>53</b>
<b>Figure 30</b> : Variation de DCO en fonction du temps d'E.C.....	<b>53</b>
<b>Figure 31</b> : Variation de MES en fonction du temps d'E.C .....	<b>54</b>
<b>Figure 32</b> : Abattement de DCO au cours des derniers trois mois 2022 (STEP).....	<b>57</b>
<b>Figure 33</b> : Abattement de MES au cours des derniers trois mois 2022 (STEP).....	<b>57</b>

**Tableau 1** : Germes pathogène rencontrés dans les eaux usées ..... **6**

**Tableau 2** : Normes de rejet des eaux usées dans un milieu récepteur ..... **12**

**Tableau 3** : Matériaux d'électrodes utilisés en E.C . ..... **29**

**Tableau 4** : Caractéristiques des eaux usées de la S.T.E.P à 2022 ..... **51**

**Tableau 5** : Résultats des analyses physico-chimiques pour le premier trimestre de l'année 2022 ..... **56**

**EC** : électrocoagulation

**MES** : matières en suspension

**MVS** : les matières volatiles en suspension

**MMS** : les matières minérales en suspension

**PH** : potentiel d'hydrogène

**DCO** : demande chimique en oxygène

**DBO** : la demande biologique en oxygène

**MO** : matière organique

**STEP** : station d'épuration des eaux usées

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : azote ammoniacal

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

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>** : nitrites

**PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>** : orthophosphate

**COT** : carbone organique Total

**TDS** : taux de sels dissous

**TAC** : taux alcalimétrique complet

**ABC** : coloration liée à l'absorbance de l'effluent

**CC** : coagulation chimique

**NACLO<sub>4</sub>** : hypochlorite de sodium

# Introduction Générale

## **Introduction générale**

La plupart des rejets issus des différentes activités humaines sont évacués généralement dans les proches cours d'eaux. Alors que 40% de la population mondiale ne dispose d'aucun moyen d'assainissement, il est par ailleurs nécessaire de mettre au point des systèmes et des procédés accessibles au plus grand nombre. Enfin la gestion des eaux usées doit contribuer à réduire la pression sur les ressources naturelles : récupérer et produire de l'énergie, recycler les eaux urbaines et industrielles en eau propre, transformer en ressources les constituants valorisables qu'elles contiennent. Les eaux usées qu'elles soient d'origine domestique ou industrielles ne devraient pas, en l'occurrence être directement rejetées dans le milieu naturel car elles peuvent engendrer de graves problèmes environnementaux et de santé publique. Le traitement ou l'épuration des eaux a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent. Par conséquent elles devraient être dirigées vers des stations d'épuration dont le rôle est de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous la forme d'un petit volume de résidu, sous forme des boues, et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises, et cela grâce à des procédés physico-chimiques ou biologiques.

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

Le procédé de traitement des eaux usées par boues activées est le traitement biologique des eaux usées le plus largement répandu, essentiellement parce que c'est une technologie peu coûteuse et qui peut être adaptée à n'importe quel genre d'eau usée. Dans le processus du traitement par boues activées ; une suspension bactérienne de biomasse (les boues activées) est responsable de l'épuration des polluants.

La station d'épuration traditionnelle, à boues activées s'impose souvent à l'esprit lorsqu'il s'agit d'épuration des eaux usées. Pourtant d'autres modes épuratoires et traitement existent.

Les traitements impliqués dans la production d'eau destinée à la consommation humaine sont largement dépendants des caractéristiques chimiques de la ressource en eau. Parmi les différentes solutions envisageables, la coagulation – floculation chimique et l'électrocoagulation permettent de répondre à de nombreuses situations.

L'électrocoagulation (EC) est une technique de traitement d'eau polluée qui a montré son efficacité pour le traitement de certains polluants solubles ou colloïdaux, tels que rencontrés dans des rejets liquides contenant des métaux lourds, des émulsions, des suspensions .....l'eau comportant des nitrates, des fluorures, du plomb, ..... peut-être probabilisée par ce procédé.

Dans l'électrocoagulation, le coagulant est libéré dans la solution in situ, en utilisant la dissolution d'une anode sacrificielle. Lors de l'alimentation des électrodes en courant, il y a simultanément une dissolution du métal de l'anode et un dégagement du gaz d'hydrogène  $H_2$  au voisinage de la cathode. Les métaux aluminium et fer sont généralement utilisés comme anode. Leur dissolution conduit à la formation des hydroxydes métalliques, oxy-hydroxydes métalliques et des hydroxydes polymériques  $[Al_2(OH)^{5+}, Al_2(OH)_2^{4+}, Al(OH)_3, Fe(OH)_2, Fe(OH)_3]$ . Ces composés ont généralement une meilleure efficacité de coagulation que celle des produits chimiques utilisés dans les techniques conventionnelles. Ils peuvent déstabiliser les colloïdes en suspension, en adsorbant, neutralisant ou précipitant les espèces polluantes dissoutes dans le liquide, pour les transformer finalement en floccs facilement extractible par précipitation, filtration ou flottation. Généralement, la flottation est plus facile à réaliser que la filtration et la précipitation. Pour cela, l'électrocoagulation peut être assistée par l'injection d'air comprimé ou seulement réalisée par l'hydrogène  $H_2$  produit par la cathode.

L'électrocoagulation – floculation donne d'excellents résultats pour les effluents chargés essentiellement de matières colloïdales ou de matières en suspension : on atteint, dans ces cas des taux d'élimination de 90 à 98% de DCO. Comme elle présente aussi l'avantage d'éliminer les matières les moins biodégradables.

# CHAPITRE I

**I.1. Définition des eaux usées**

L'eau est le vecteur choisi par l'homme pour éliminer la majorité de ses déchets, la multiple utilisation de l'eau par l'homme donne lieu à la formation d'eaux usées [1].

Ces eaux usées sont ainsi collectées dans un réseau d'égout, apparaissent comme un liquide trouble, généralement grisâtre, contenant des matières grasses et des matières en suspension d'origine minérale et organique à des teneurs extrêmement variables (figure 1). A cette charge s'associent presque toujours des matières grasses et des matières colloïdales du fait de la charge polluant de ces eaux. Il est important d'épurer ces derniers, au niveau de station d'épuration, avant de les rejeter dans l'environnement ou le milieu récepteur [2].



**Figure1** : Une eau usée.

**I.2. Origine des eaux usées**

Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue trois catégories d'eaux usées :

**I.2.1. Les eaux usées domestiques**

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau, elles sont constituées essentiellement d'excréments humains. Des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents, de graisses appelées eaux grises et de toilette chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires [3].

**I.2.2. Les eaux usées industrielles**

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyse médicale, etc. Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement :

- Soit ils sont directement rejetés dans le réseau domestique ;
- Soit ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique ;
- Soit ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel ;

Dans le cas d'un rejet dans le réseau domestique, avec ou sans prétraitement, les effluents industriels peuvent fortement modifier la composition des eaux usées. Cette modification est très étroitement liée à l'activité industrielle concernée et peut prendre des formes innombrables [4].

**I.2.3. 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 matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues [3].

**I.2.4. Les eaux pluviales**

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues ou sont accumulées polluants atmosphériques, poussières, débris, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluie collectées normalement 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 [3].

**I. 3. Les différents types de la pollution des eaux usées****I.3.1. Pollution 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 [5].

### **I.3.2. Pollution radioactive**

La pollution des eaux par des substances radioactives pose un problème de plus en plus grave, a un effet direct sur les peuplements aquatiques en raison de la toxicité propre de ses éléments et des propriétés cancérigènes et mutagènes de ses rayonnements [5].

### **I.3.3. Pollution 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...) [5].

### **I.3.4. La pollution agricole**

Elle est causée principalement par l'utilisation irrationnelle des engrais chimique et des pesticides [6].

### **I.3.5. La pollution microbiologique**

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 (Tableau 1) [7]. Les germes pathogènes susceptibles d'être présents dans les eaux sont données sur le tableau suivant :

Tableau 1 : Germes pathogène rencontres dans les eaux usées

Germes	Organisme	Maladie
<b>Les bactéries pathogène</b>	Salmonella shigelles	Typhoïde Dysenterie
<b>Entérobactérie</b>	Colibacilles	Tuberculose cholera
<b>Vibrions</b>	Leptospires Mycobactéries Vibron coma	
<b>Les virus</b>	Entérovirus Reovirus Adénovirus Rota Virus	Poliomyélite Méningite Affection respiratoire, diarrhée
<b>Les parasites et Les champignons</b>	Entérovirus Reovirus Adénovirus Rota Virus	Lésions Viscérales Eczéma, Maladie de la peau

### I.3.6. La pollution par les hydrocarbures

Ils provenant des industries pétrolières et des transports, ce sont des substances peu solubles dans l'eau et difficilement biodégradables (Figure 2), leur densité Inférieure à l'eau les fait surnager. En surface, ils forment un film qui perturbe les échanges gazeux avec l'atmosphère [8].



Figure 2 : Pollution par les hydrocarbures

**I.4. Paramètres caractéristiques des eaux usées**

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, aussi se réfère-t-on à quelques Paramètres pour les caractériser. Ils sont généralement exprimés en mg/L [9].

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

**I.4.1. Paramètres organoleptiques****I.4.1.1 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 [6].

**I.4.1.2. La couleur**

La couleur de l'eau d'égout d'origine domestique est normalement grisâtre, une couleur noire indique une décomposition partielle, les autres teintes indiquent un apport d'eau résiduaire industrielle [6].

**I.4.2. Paramètres physiques****I.4.2.1. La température**

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique 'pollution thermique'. Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32 °C par contre, elle est fortement diminuée pour de températures variant de 12 à 15 °C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C [10].

**I.4.2.2. 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 relation suivante :

$$\text{MES} = 30\% \text{ MMS} + 70\% \text{ MVS}$$

### ❖ 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 (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 ré aération de l'eau. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygène [11].

#### I.4.2.3. La turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau [6].



**Figure 3 :** La turbidité de l'eau.

**I.4.3. Paramètres chimique****I.4.3.1. Le potentiel d'hydrogène**

Le pH (potentiel hydrogène) est une des caractéristiques fondamentales de l'eau. Il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène hydronium ( $H^+$ ) ou d'ions hydroxyde ( $OH^-$ ) contenus dans la substance quand les quantités de ces deux ions sont égales, l'eau (ou la substance) est considérée comme neutre, Le pH d'une substance varie entre 1 et 14. Au-dessus de 7, la substance est considérée comme basique au-dessous de 7, la substance est acide [12].

**I.4.3.2. La demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)**

Exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques présentes dans les eaux usées par les microorganismes du milieu. Mesurée par la consommation d'oxygène à 20°C à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique des matières organiques carbonées [13].

**I.4.3.3. La demande chimique en oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg O<sub>2</sub>/l. La valeur du rapport DCO/DBO indique le coefficient de biodégradabilité d'un effluent, il permet aussi de définir son origine [14].

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 DBO<sub>5</sub> et la DCO est donnée par l'équation suivante :

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

**I.4.3.4. La conductivité**

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau [15].

**I.4.3.5. Les Matières azotée**

Comme la matière organique, l'azote dans les eaux usées est divisé en plusieurs fractions, les fractions d'azotes sont déterminées par des différents analyses (Azote dekejdahl, nitrite, nitrate, ammonium) [16].L'azote est un nutriment essentiel pour les microorganismes responsables du traitement les eaux usées. Dans les stations d'épuration, l'ammonium peut subir des transformations. Dans le procédé nitrification l'ammonium est oxydé en nitrite et le nitrite en nitrate. Dans le procédé de dénitrification les nitrates sont réduits en gaz d'azote [17].

**I.4.3.6. Matières phosphorée**

Le phosphore total dans les eaux usées domestique est présent sous forme de phosphates selon la distribution suivante :

- ✓ Inorganique : poly phosphates et ortho phosphates, la source majeure est les détergents et le ménage.
- ✓ Organique : lié aux
- ✓ Composés organiques des origines physiologique le phosphore peut être sous forme solide :
- ✓ Phosphore soluble (inorganique) : principalement poly phosphates et ortho phosphate ;
- ✓ Phosphore particulaire : lié à la matière organique particulaire dans les eaux usées.

L'importance du phosphore peut être récapitulé dans :

- ✓ Le phosphore est essentiel pour la croissance des microorganismes responsable de la stabilisation de la matière organique
- ✓ Le phosphore est un nutriment essentiel pour les algues [17].

**I.4.3.7. 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 :  $K = \text{DCO} / \text{DBO}$ .

Si [18] :

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

**I.4.3.8. Oxygène dissous**

L'oxygène dissous est l'un des paramètres particulièrement utile pour l'eau constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est l'un des paramètres les plus sensibles à pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau [19].

**I.5. Normes de rejet**

Les eaux usées collectées, dans les réseaux urbains ou les eaux usées directement émises par les industries, ne doivent être rejetées dans un milieu récepteur naturel (rivière, lac, littoral Marin, souterrain d'épandage) que lorsqu'elles correspondent à des normes fixées par voie réglementaire [20].

Les normes de rejets sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 2** : Normes de rejet des eaux usées dans un milieu récepteur.

<b>Paramètres</b>	<b>Valeurs maximales</b>
Température en° ?	30
PH	5.5 à 8.5
MES en mg /l	30
DBO5 en mg /l	40
DCO en mg /l	120
Aluminium en mg /l	5
Cadmium en mg /l	0.2
Fer en mg /l	5

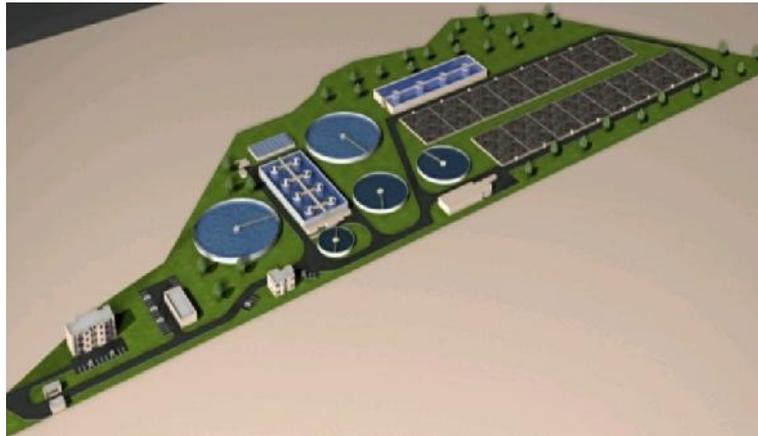
### Conclusion

Les eaux usées urbaines peuvent être rejetés directement dans le milieu naturel aboutissant à des stations d'épuration dont ils ne doivent pas perturber le fonctionnement. Pour cela on est appelé à préciser des normes de rejet pour protégé l'environnement contre impacts négative. Les normes doivent tenir compte des sensibilités des méthodes de dosage et des possibilités techniques de traitement. La connaissance de la composition des eaux résiduaires et leur paramètre essentiel pour assurer la pertinence du choix et du dimensionnement des filières de traitement appropriées. Bien que les gammes de concentrations des paramètres typiques des eaux usées soient globalement connues [9].

## CHAPITRE II

**II.1. Localisation**

La station d'épuration des eaux usées polluées de la wilaya de Guelma STEP est fonctionnelle depuis le 28 février 2008 (figure 4) ; c'est une station d'épuration et de dépollution des eaux usée avant leurs rejets au milieu naturel, dans une rivière, elle fait partie du réseau d'assainissement. La station rejette finalement dans la nature une eau propre mais non potable. Les résidus de traitement sont récupérés sous forme de boue [21].



**Figure 4** : la STEP de la ville de Guelma.

**II.2. Emplacement et accès**

La station est implantée sur un terrain agricole de 7.8 Hectares à (01) kilomètre environ au nord de la ville de Guelma, sur le flanc droit de la vallée développée par oued SEYBOUSE, et sans habitations existantes à la proximité. Elle est alimentée par 02 conduites de refoulement, l'une d'un diamètre de 700mm en provenance du premier poste de refoulement SP1 (OUED MAIZ) avec un débit de  $1575\text{m}^3/\text{h}$ , l'autre d'un diamètre de 500mm en provenance du second poste de refoulement SP2 (OUED SKHOUNE) son débit est de  $1125\text{m}^3/\text{h}$  [22].



**Figure 5 :** Vu de la STEP de Guelma (Google earth, 2022).

### **II.3. Caractéristiques et nature des effluents**

La station est alimentée par des effluents d'origine domestique (à hauteur de 200000 équivalent habitants).

#### **II.3.1. Nature du réseau**

Les eaux usées domestiques de la ville de Guelma sont collectées sur 02 bassins versant par un ensemble de réseaux d'assainissement existant. Les 02 tronçons gravitaires rejoignent chacun le point bas (ou il y a les 02 postes de refoulement). Le réseau d'assainissement est du type unitaire (c'est-à-dire ; englobe tous en même temps ; les égouts, les rejets industriels et individuels.... etc.)[21].

#### **II.3.2. Nature du traitement des eaux usée avant l'emplacement de la station**

Les effluents sont collectés par le réseau d'assainissement existant, mais ne subissaient aucun traitement particulier [21].

### **II.4. Point de rejet (destination)**

#### **II.4.1. L'eau épurée**

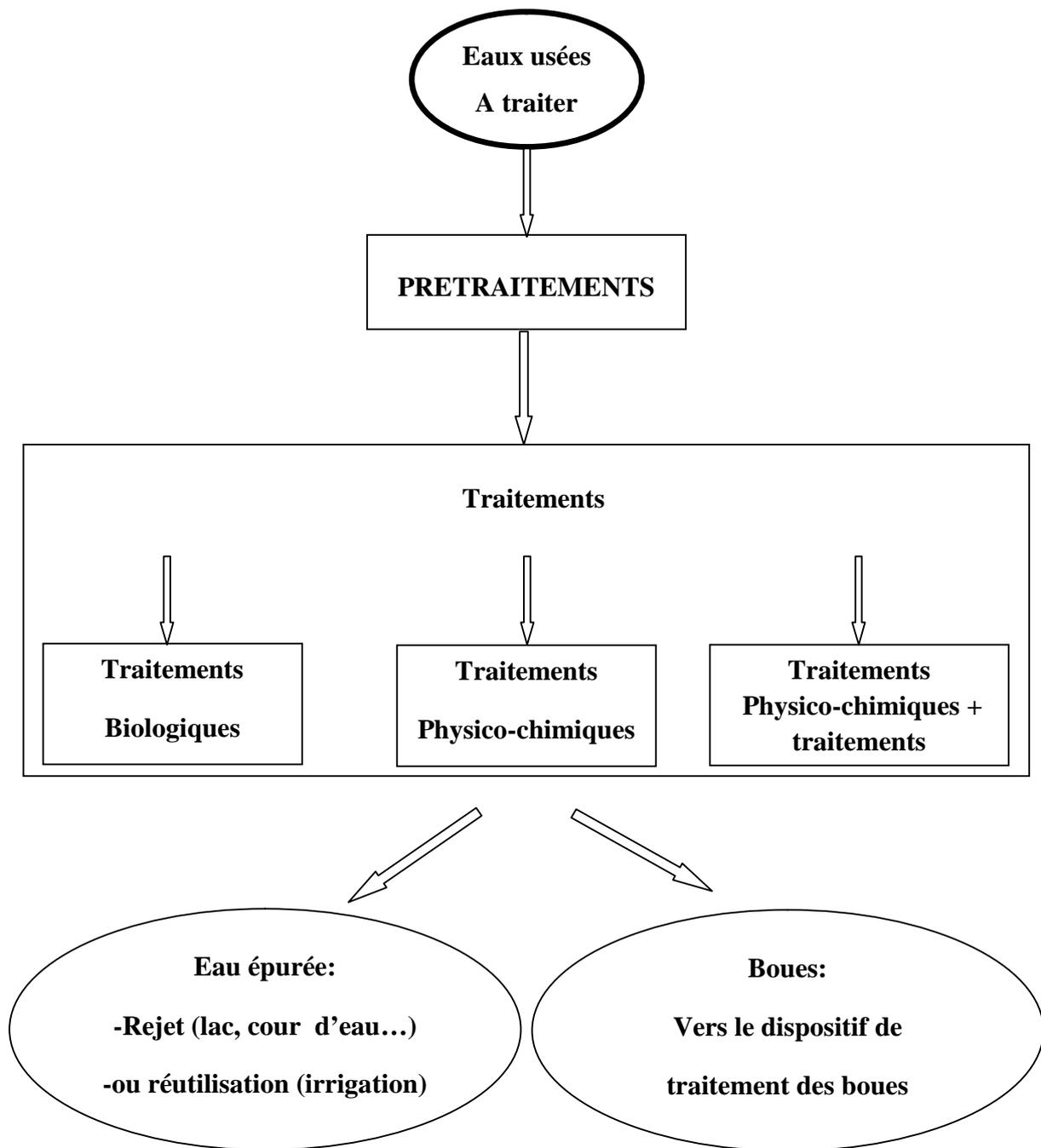
Le rejet est réalisé dans l'Oued SEYBOUSE situé en contrebas de la station d'épuration à 331 m de distance, les effluents sont acheminés jusqu'à l'Oued par une canalisation de rejet [21].

**II.4.2. Les sous-produits issus de l'épuration**

- **Boues** : Les boues sont épaissies puis hydratées sur lits de séchage avant leur envoi en décharge (ou autres= utilisation Agricole).
- **Les produits de dégrillage** : Les refus de dégrillage sont évacués par un tapis transporteur, ou une vis de convoyage dans une benne à ordure.
- **Graisses et huiles** : Elles sont stockées dans une fosse a graisse avant enlèvement.
- **Sables** : Ils sont extraits de l'ouvrage de prétraitement, séparés de leur eau par un classificateur, puis stockés dans une benne relevable [21].

**II.5. Description sommaire de la station****II.5.1. Procédé d'épuration utilisé au niveau de la station**

Compte tenu de la qualité des effluents à traiter et du niveau de rejet requis, la filière de traitement est du type boues activées à moyenne charge. Dans le traitement biologique des effluents, on fait généralement appel au processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau. A la sortie des égouts, les eaux usées urbaines de la ville de GUELMA sont épurées directement dans la station d'épuration, une série de traitement primaire permettent d'éliminer rapidement les déchets les plus grossiers mais aussi les sables, les graisses, et des matières en suspension. Ensuite un traitement biologique permet d'éliminer le reste de la pollution (STEP Guelma, 2008). Les eaux usées (ou effluents) arrivent en tête de la station d'épuration et subissent (Figure 6) [21].



**Figure 6** : Schéma général d'une station d'épuration.

### II.5.2. Prétraitement

Le prétraitement a pour objectif de séparer les matières les plus grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement.

Il comprend le dégrillage pour retenir les déchets volumineux, le dessablage, pour obtenir une meilleure décantation, le dégraissage et le déshuilage pour éviter l'encrassement de la station par des corps gras [23].

- On peut citer les trois opérations :
  - Dégrillage;
  - Dessablage;
  - Déshuilage, dégraissage

### **II.5.2.1. Le 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 7) [24].



**Figure 7** : Dégrillage STEP Guelma.

### **II.5.2.2. Le dessablage**

Le dessablage consiste à retirer de l'effluent les sables et les particules minérales plus ou moins fines, afin de protéger les conduites et les pompes contre la corrosion et éviter même le colmatage des canalisations par les dépôts à la cour de traitement, la technique classique du dessableur consiste à faire circuler l'eau dans une chambre de tranquillisation avec une vitesse d'environ de 0.3m/s qui permet le dépôt d'une grande partie des sables [25].

Selon le principe de fonctionnement on distingue deux types de bassin de dessablage :

Les dessaleurs longitudinaux et les dessaleurs circulaires.

### **II.5.2.3. Dégraissage-déshuilage**

Le dégraissage vise à éliminer la présence de graisse dans les eaux usées, graisses qui peuvent gêner l'efficacité des traitements biologiques qui interviennent ensuite. Le dégraissage

s'effectue par flottation. L'injection d'air au fond de l'ouvrage permet la remontée en surface des corps gras. Les graisses sont raclées à la surface, puis stockées avant d'être éliminées[26].



**Figure 8 :** Dessablage, Dégraissage STEP Guelma.

### **II.5.3. Traitement primaire (décantation primaire)**

Après les prétraitements, il reste dans l'eau une charge polluante dissoute et des matières en suspension. Les traitements primaires ne portent que sur les matières décantables (décantation primaire) [27].

Dans ce cas, la séparation qui s'effectue par gravité ne concerne que les particules de diamètre supérieur à 100 micromètres. Celle de diamètre inférieur à 100 micromètres ne décantent pas, mais seront entraînées vers les unités ultérieures de traitement.

Les bassins de décantation (Figure 9) sont des bassins à ciel ouvert, l'effluent brut arrive par un point central, les matières décantables en suspension dans l'eau vont se séparer de l'effluent et se déposer au fond du bassin ou elles seront raclées par un pont radial tournant et les eaux de surface sont déversant.

Les matières décantables ainsi obtenues par séparation de l'effluent appelée les boues primaires qui sont récupérées et orientées vers le traitement des boues [27].

- Forme : cylindro-conique.
- Nombre d'ouvrages : 02.
- Surface totale minimum : 1.394m<sup>2</sup>.
- Surface/Bassin minimum : 697m<sup>2</sup>.
- Diamètre de bassin minimum : 30m.
- Hauteur d'eau : 3.0m [27].



**Figure 9** : Décantation primaire (STEP Guelma 2022).

#### **II.5.4. Traitement secondaire**

C'est lors de ce traitement que s'élimine l'essentiel des agents polluants dans les eaux usées à 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'à 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 [28]. Il comporte deux étapes principales :

##### **II.5.4.1. Traitement biologique**

Le traitement biologique se déroule au niveau de bassin d'aération et comporte :

###### **a. Elimination de carbone**

La boue activée est constituée essentiellement de bactéries et de protozoaires, parfois de champignons, de rotifère et de nématodes. Les bactéries y constituent le groupement le plus important, responsable principalement de l'élimination de la pollution d'une part et de la formation des flocons d'autre part. La nature des composés organiques constituant la pollution influe naturellement sur le genre dominant, de même que les conditions du milieu : pH, température, oxygène dissous etc.

Pour l'élimination du carbone dans les effluents la voie aérobie est utilisée car l'oxygène est associé aux réactions de dégradation et elles s'instaurent spontanément dans les eaux suffisamment aérées. Le carbone organique se retrouve sous forme de  $\text{CO}_2$  et de biomasse. Après la dégradation des matières organiques, la cellule passe par différentes phases de

croissance et décroissance. Mais, comme la croissance bactérienne nécessite la présence d'autres éléments nutritifs, en particulier l'azote et le phosphore contenus dans les effluents, leur élimination est donc nécessaire [6].



**Figure 10 :** Bassin d'aération.

### **b. 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 définir sous le terme de boues activées. Une bonne gestion de l'aération permet également d'assurer les réactions de nitrification et de dénitrification [29].

- L'aération s'effectue dans deux bassins longitudinaux fonctionnant en parallèle.
- Surface d'un bassin : 1.037m<sup>2</sup>.
- Longueur d'un bassin : 64.40m.
- Largeur d'un bassin : 16.10m.

#### **II.5.4.2. 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 où 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 (Figure11) [30].



**Figure 11** : décontraction secondaire.

## II.5.5. Traitement trentaine

### II.5.5.1. Élimination de l'azote

Les eaux usées contiennent différents composés azotés : protéines, urée et produits de décomposition ainsi que l'azote sous forme minérale. Son élimination biologique se réalise en deux étapes qui sont chronologiquement la nitrification et la dénitrification. Parallèlement une partie de l'azote est utilisée pour la synthèse bactérienne par assimilation.

L'azote subi différentes transformations au cours d'un traitement biologique : passage de la forme nitreuse puis nitrique et de retour à la forme gazeuse. Chacun des composés formés au cours de ces différentes étapes à un poids moléculaire différent.



Pour la dénitrification les bactéries ont besoin d'un environnement très pauvre en oxygène. L'arrêt des aérateurs ne permet pas à lui seul d'atteindre cet objectif, c'est en fait la surconsommation d'oxygène par les bactéries présentes dans le milieu qui engendre un environnement presque totalement anoxie. Il s'agit donc d'une dénitrification combinée, qui utilise simplement comme substrat exogène l'eau d'égout elle-même. La cinétique est lente et la dénitrification n'est pas complète. Ce système profite de la recirculation des boues activées pour maintenir une teneur en substrat suffisante [30].

### II.5.5.2. Élimination de phosphore

Une bactérie mise en anaérobie (stress anaérobie) se met à consommer 4 fois plus de phosphate quand on lui redonne de l'oxygène (bassin d'aération). On distingue l'épuration

biologique par cultures fixées (la biomasse se développe sur un support) et par cultures libres (la biomasse est maintenue en mélange intimes avec l'effluent dans un bassin d'aération) [31].

### **II.5.5.3. Elimination des germes pathogènes (chloration)**

- ★ Débit à traiter : 2.180 m<sup>3</sup>/h ;
- ★ Dose de chlore : 05 mg/l ;
- ★ Choix de l'oxydant : NaClO<sub>4</sub> ;
- ★ Concentration en chlore actif : 138g/l ;
- ★ Degré chronométrique solution utilisée : 12% ;

La chloration se fait dans un bassin à l'aide d'hypochlorite de calcium équipée de Chicane pour permettre un temps de contact suffisant [30].



**Figure 12** : Bassin de désinfection.

**II.6. Traitement des boues**

Le traitement des boues est défini comme l'ensemble des opérations visant à modifier les caractéristiques des boues en excès afin de rendre leur destination finale fiable et sans nuisance [32].

On distingue trois (03) grands types de traitement :

1- Des traitements de stabilisation, de type biologique, chimique ou thermique, dont l'objectif est de réduire la fermentescible des boues pour atténuer ou supprimer les mauvaises odeurs.

2- Des traitements de réduction de la teneur en eau des boues, visant à diminuer la quantité de boues à stocker et à épandre, ou améliorer leurs caractéristiques physiques par :

- L'épaississement vise à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues sans pour autant modifier la caractéristique liquide de la boue qui peut se faire simplement par voie gravitaire dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation).
- La déshydratation, qui correspond en fait à une augmentation forte de siccité, modifiant l'état physique des boues. Celle-ci passant de l'état liquide à l'état pâteux ou solide.

3- Le séchage élimine en grande partie ou la totalité de l'eau par évaporation, soit par voie naturelle (figure 13), soit par voie thermique.



**Figure 13** : lits de séchage.

**II.7. Objectif du traitement / objectif de la STEP**

Le rôle principal de la station de traitement des eaux usées est de réduire la pollution « en nettoyant » les eaux usées domestiques et industrielles de façon à rejeter à la rivière des eaux traitées compatibles avec la qualité souhaitée et dans les normes idéales.

Pour la station de la ville de Guelma le rejet doit se conformer aux normes ci-après :

- DBO : inférieure à 30mg/l sur 24h. sans dépasser 40mg/l sur 02 heures.
- MES : inférieure à 30mg/l sur 24heures.
- DCO : inférieure à 90mg/l sur 24h sans dépasser 120mg/l sur 02heures.

Ceci conduit aux rendements d'élimination moyens suivant :

- DBO: 91 ,12%;
- MES: 93 ,15%;
- DCO: 82,00%;

La station permet ainsi de respecter l'environnement et de produire des boues (amendement organique et substance fertilisante utilisés éventuellement en agriculture).

**II.7.1. Eau traitée**

La qualité de traitement est assurée lorsque les rendements correspondant aux normes mentionnées dans le journal officiel de la **république algérienne** ou celles des normes **internationales** [30].

**II.8. Avantages et inconvénients et limites des procédés biologiques**

Les procédés biologiques présentent quelques inconvénients et limites d'utilisation, dont les plus importants sont les suivants :

- Coûts d'investissement, de fonctionnement et d'entretien généralement élevés ;
- Temps de séjour hydraulique importants requis pour le traitement, d'où des surfaces de bassin étendues ;
- Étanchéité des bassins nécessaires pour empêcher l'infiltration des polluants dans le sol (requiert des investissements supplémentaires) ;

- Formation de quantités importantes de boues biologiques (biomasse) nécessitant une gestion particulière.

Mais ils possèdent des avantages par rapport aux autres procédés dont les plus importants sont les suivants :

- Bonnes performances épuratoires par rapport aux traitements physico-chimiques.
- L'épuration biologique est le plus économique en exploitation [33].

### **Conclusion**

A travers ce chapitre qui détaille le rôle de la STEP de la ville de Guelma ainsi les différentes étapes nécessaires au traitement des eaux usées par le biais des différentes analyses et suivis effectués à la station dont l'objectif est de traiter ces eaux usées pour qu'elles répondent aux normes de rejets ; et permet aussi d'apprécier les propriétés des effluents (solide et liquide) de la STEP et de la ville de Guelma [29].

Les conséquences de la pollution de l'eau sont multiples, que ce soit directement sur l'homme ou sur l'environnement dans lequel il vit. Ainsi, le traitement des eaux usées répond à deux enjeux fondamentaux : la protection des ressources en eau et du patrimoine naturel et la qualité de vie [34].

## CHAPITRE III

**III.1. Définition de l'électrocoagulation**

L'électrocoagulation est la fusion des sciences de l'électrochimie et de la coagulation. En effet, l'électrocoagulation est un procédé électrochimique complexe qui met à profit un éventail de phénomènes physiques et chimiques pour entraîner l'abatement des polluants disséminés dans l'effluent. Ce procédé s'opère à l'aide d'électrodes (anodes et cathodes), lesquelles sont plongées dans le milieu aqueux [35].

**III.2. Historique du procédé d'électrocoagulation**

Le premier document rapportant l'utilisation de l'électrocoagulation (E.C) pour les effluents est un brevet américain déposé en 1880 par Webster [35] qui utilisait des électrodes en fer pour le traitement des eaux polluées. La même année, une station d'épuration fut construite sur la base de ce Brevet à Salford (Grande-Bretagne) pour traiter les eaux polluées urbaines. En 1909, Harries déposa un nouveau brevet sur ce procédé : les anodes étaient alors constituées de plaques de fer et d'aluminium. 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.

En 1946, Stuart étudia plus précisément le procédé avec un réacteur équipé d'électrodes en aluminium. Comparant le procédé de coagulation physico-chimique et le procédé électrochimique, il observa que le phénomène de coagulation semble plus rapide avec la méthode électrochimique.

Depuis que les recherches se sont poursuivies sur les effluents de caractéristiques très différentes.

L'importance de l'électrocoagulation s'est accrue du fait de son efficacité, généralement supérieure aux autres techniques, pour éliminer les différentes formes de pollution, répertoriées par les indicateurs suivants [39] :

- DCO : Demande chimique en oxygène,
- DBO : Demande biologique en oxygène,
- COT : Carbone organique total,
- MES : Matières en suspensions,
- TDS : Taux de solides dissous,

- TAC : Titre alcalimétrique complet,
- Les métaux lourds,
- ABS : Coloration liée à l'absorbance de l'effluent.

### **III.3. Principe du procédé d'électrocoagulation**

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 ( $\text{Fe}_2^+$ ,  $\text{Fe}_3^+$ ,  $\text{Al}_3^+$ ) susceptible de produire un coagulant en solution et de provoquer une (coagulation-floculation) des polluants que souhaite éliminer. Le champ électrique crée un mouvement d'ions et de particules chargés. Cette action permet de rassembler les matières en suspension sous forme de floes qu'on élimine ensuite par un procédé physique classique (décantation, flottation, filtration).

La figure 14, présente le principe du procédé avec les électrodes d'aluminium. Les anodes et les cathodes utilisées peuvent avoir différentes configurations. Elles peuvent se présenter sous forme de plaques, de sphère à lit fluidisé, de fil, de tige ou tube. Ces électrodes peuvent être constituées de divers métaux qui sont choisis de manière à optimiser le procédé de traitement.

Les deux métaux communément utilisés sont le fer et l'aluminium.

L'E.C consomme de l'énergie électrique essentiellement pour dissoudre l'anode sacrificielle [40].

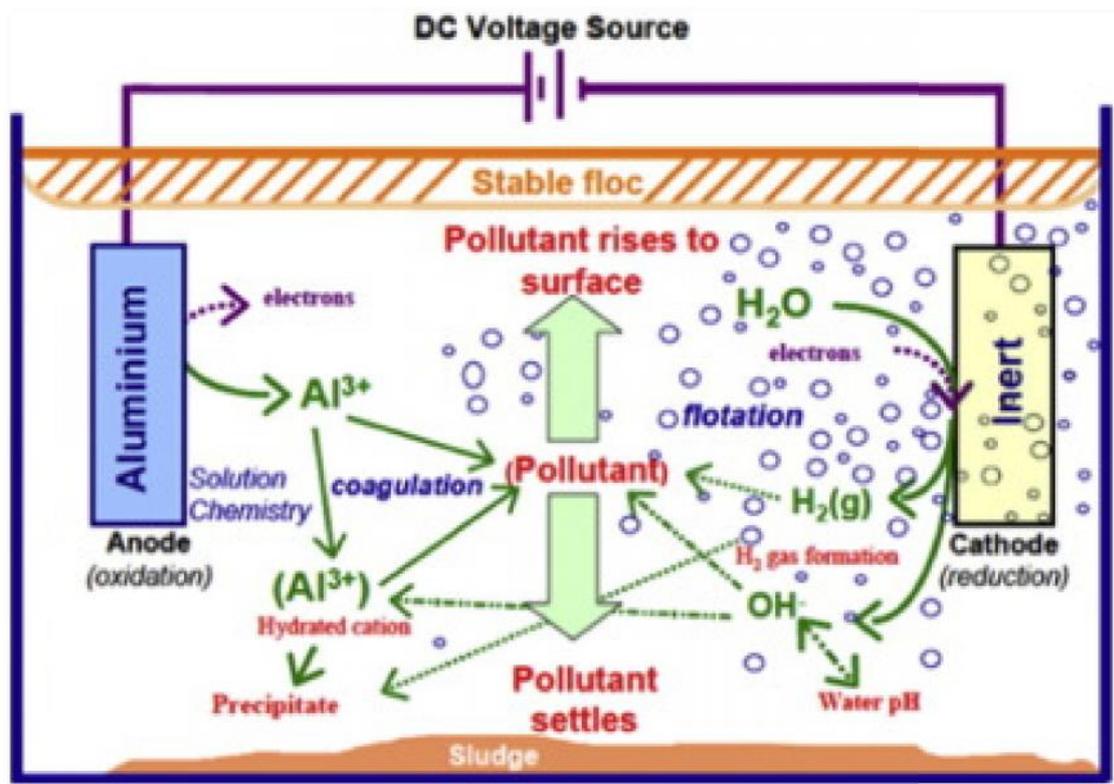


Figure 14 : Schémas du procédé d'électrocoagulation [40].

#### III.4. Les différents matériaux utilisés pour les électrodes

Les électrodes les plus couramment utilisées sont celles en fer et en aluminium. Cependant des essais ont été conduits sur d'autres types d'électrode.

Le tableau suivant illustre quelques couples d'anode/cathode qui sont utilisés en électrocoagulation.

Tableau 3 : Matériaux d'électrodes utilisés en E.C[41].

Electrodes utilisées	Références
Anode en plomb et cathode en acier inox	Viket al. (1984)
Titane /Platine et Ti/Pt/Ir	Garrote et al. (1995)
Al et Mn	EDF GDF Services et partenaires (1995)
Fe/Fe	Ibanez et al. (1995), Ögütveren and Koparal (1997), Ibanez et al. (1998), Hansen et al. (2006), Lai et al. (2006), Mrozowski et al. (1983), Golder et al. (2005), Wilcock et al. (1996), Christoskova et al. (1988), Do et Chen (1994), Zaroual et al. (2006), Golder et Samanta (2006), Meneses et al. (2005), Ünet al. (2006), Daneshvaret al. (2006).
Fe/Al ou Al/Fe	Gao et al. (2005), Mollah et al. (2004), Holger (1995), Damien et al. (1992), Mrozowski et Zielinski (1983), Kobyaet al. (2006), Can et al. (2006).
Ti/acier	Jordao et al. (1997).
Comparaison Al et Fe	Golder et al. (2006), Kobyaet al.(2006).
Al/Al	Murell, Wilfried Anthony (1987), Doniniet al. (1994), Groterud et Smoczynski (1992), Biotys (1995), Lu et al. (1999), Rubach et Saur (Octobre 1997), Michel (1996), Khemiset al. (2006), Kobyaetal. (2006), Ögütveren et Koparal (1997), Lai et Lin (2006), Mrozowski et Zielinski (1983), Do et Chen (1994).
Al/Cu et Fe/Cu	Tsai et al. (1997)
Al/Sn	Kliskic et al. (1998).
Zn/Ni	Roey et Gudin (1996)

### III.5. Les réactions aux électrodes : rendement faradique

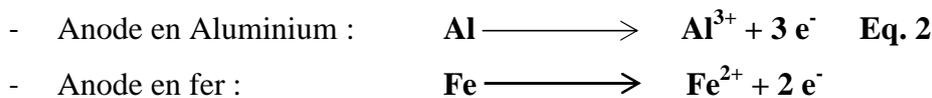
L'effluent va passer à l'intérieur d'une cellule formée d'un ou plusieurs couples d'électrodes entre lesquelles existe un courant électrique qui va créer des réactions électrochimiques.

#### ➤ A l'anode

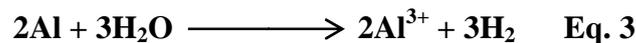
On a l'oxydation et le métal va passer de l'état solide à l'état ionique selon la réaction :



Suivant la nature du métal, on peut avoir l'une ou l'autre des réactions suivantes :



Du fait du potentiel standard très négatif du couple  $Al/Al^{3+}$ , l'aluminium réagit avec l'eau en présence d'anions tels que les chlorures.



A la cathode, lieu de réduction, le solvant, on l'occurrence l'eau, se réduit suivant la réaction :



Les cations métalliques forment des complexes avec les ions hydroxydes. L'espèce majoritaire dépend du pH du milieu.

Dans le cas de l'aluminium, on trouve une multitude de complexes anioniques et cationiques

- Les mono complexes :  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al(OH)_2^+$ ,  $Al(OH)_4^-$
- Les poly complexes :  $Al_2(OH)_2^{4+}$ ,  $Al_2(OH)_5^+$ ,  $Al_6(OH)_{15}^{3+}$ ,  $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$
- Les espèces amorphes et très peu solubles telles que  $Al(OH)_3$ ,  $Al_2O_3$

Les complexes s'adsorbent sur les particules et annulent aussi leurs charges colloïdales, ce qui conduit à déstabiliser l'émulsion. Cela se passe de cette manière dans le cas de la coagulation chimique. On note les différences au niveau de la source de coagulant chimique et électrochimique et au niveau de la présence du champ électrique dans le cas de l'électrocoagulation qui facilite la migration des espèces.

➤ **A la cathode**

La réduction de l'eau conduit à la formation d'hydrogène dont le dégagement permet la flottation des particules floculées. La taille des microbulles est assez faible et estimée entre 20 et 30 micromètres. Ces bulles empêchent ou réduisent la formation des dépôts sur la cathode et donc augmentent le rendement de l'EC quel que soit le type d'électrode utilisé.

Dans le cas des électrodes en fer, l'oxydation de l'eau à l'anode par la formation d'oxygène contribue à oxyder les ions ferreux en ferriques pour rendre efficace la flottation.

Le rendement faradique très supérieur à l'unité lorsque les électrodes d'aluminium sont utilisées peut s'expliquer par l'oxydation chimique de l'aluminium par les ions  $\text{OH}^-$  produits ou bien par la présence des ions de  $\text{Cl}^-$  qui réduit la passivation de l'aluminium [42].

### **III.6. 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. Dans la majorité des procédés d'EC destinés à des applications industrielles ou à des installations de faible et moyenne échelles, les électrodes se présentent sous diverses formes géométriques ; plaques planes parallèles, cylindres, sphères en lit fixe, ou sous forme de système rotatif [43].

### **III.7. Principales lois de l'électrolyse**

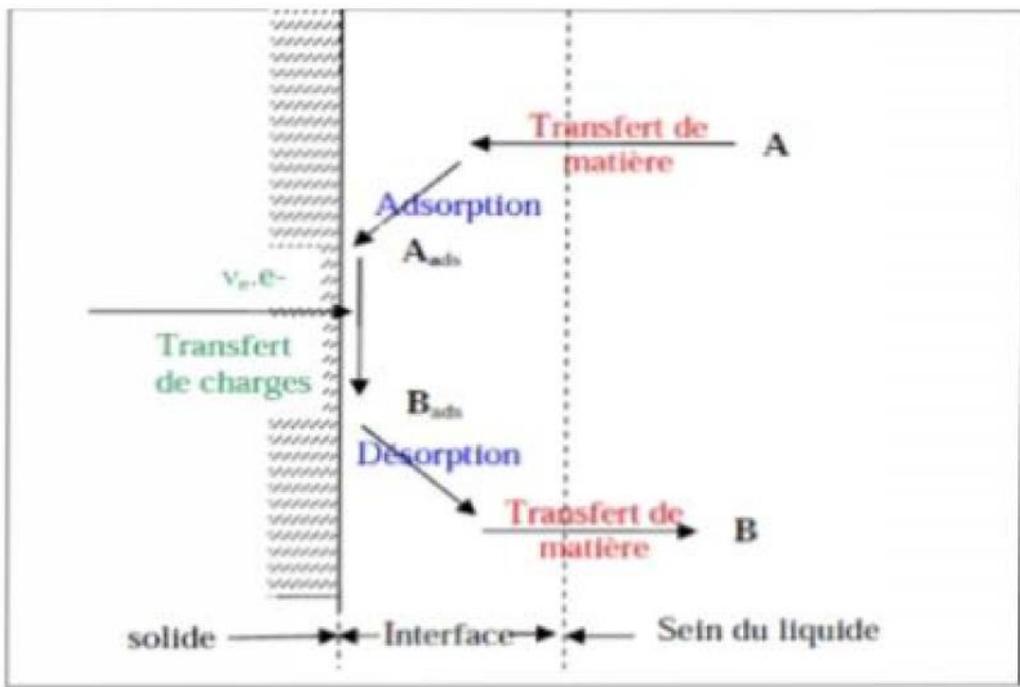
Le procédé d'électrocoagulation met en œuvre plusieurs types de phénomènes tels que les réactions chimiques inter-ioniques, les réactions électrochimiques d'oxydoréduction, les phénomènes physiques de transfert de charge à l'interface électrode solution, les adsorptions physiques ou chimiques entre hydroxydes 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 [43].

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 :

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

### III.7.1. La cinétique de transfert de charge ou loi de Butler-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 15 illustre les étapes de transfert de matière dans une cellule électrochimique [43].



**Figure 15 :** Les étapes de transfert de matière dans une cellule électrochimique.

### III.7.2. La loi de Faraday

La quantité de matière produite et consommée lors d'une réaction électrochimique qui se calcule par la loi de Faraday, et qui est fonction de la durée de l'opération  $t$  et de l'intensité du courant  $I$ .

$$m = \frac{I \cdot t \cdot m}{n \cdot F} \quad \text{Eq. 5}$$

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<sup>-1</sup>).

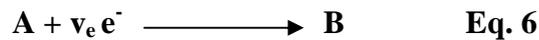
F : constante de Faraday (96500 C.mol<sup>-1</sup>).

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

Cette relation suppose que les électrons échangés ont uniquement servi à la réaction considérée.

Une partie de l'énergie imposée peut être utilisée par des réactions secondaires, d'où la notion de rendement faradique. Il se détermine par le rapport de la quantité théorique d'électricité nécessaire pour produire ou consommer une mole de B sur la quantité d'électricité réellement consommée ou produite.

Soit la réaction suivante :



Le rendement faradique est donné par :

$$= \frac{v_e F m E}{Q M B} \quad \text{Eq. 7}$$

Avec Q, la charge électrique et m<sub>B</sub> la masse de l'espèce B formée.

### III.8. Comparaison entre la floculation-coagulation chimique et l'EC

La coagulation chimique ou la floculation/coagulation chimique a souvent été opposée à l'électrocoagulation pour justifier le choix de l'une ou de l'autre.

Toute coagulation est l'agrégation des particules colloïdales résultant d'une diminution de la charge statique surfacique ou/et de la création d'une liaison inter-particules, conduisant ainsi à un pontage des particules. Quand cela se fait par l'ajout de produits chimiques, on parle de coagulation chimique.

L'électrocoagulation se base sur une production in situ de cations métalliques par la dissolution d'électrodes sous l'effet d'un courant électrique. Ces agrégats produits peuvent

être ensuite éliminés par décantation, filtration ou sédimentation. Malgré leur ressemblance, le procédé d'électrocoagulation et la coagulation chimique diffèrent tant sur la mise en œuvre pratique que sur les processus mis en jeu [44].

- Coagulation-floculation par des électrolytes : les sels les plus utilisés dans le traitement des eaux sont les sels de fer et d'aluminium. Ces sels, électrolytes forts, fournissent, par dissociation dans la solution, des cations trivalents à fort pouvoir déstabilisant. Certains électrolytes peuvent agir, par réaction ou adsorption chimique, avec les composés de la surface des particules et modifient de façon irréversible la charge particulaire. Si la quantité d'ions adsorbés est plus élevée que le nombre de sites à la surface, on assiste à une déstabilisation due à l'inversement de la charge.
- Coagulation floculation par des poly électrolytes : dans ce cas, le coagulant est un poly électrolyte. C'est donc un cas particulier de coagulation par adsorption, où l'un des groupes fonctionnels du polymère peut s'adsorber à la surface de la particule alors que le reste de la chaîne est momentanément libre. L'autre groupe fonctionnel peut à son tour s'adsorber sur une ou plusieurs autres particules : c'est la coagulation par pontage.

On peut aussi comparer la coagulation chimique (CC) et l'électrocoagulation (EC) de la façon suivante [45] :

- La coagulation chimique s'opère par ajout discontinu de coagulants alors que l'électrocoagulation s'opère par ajout continu de cations métalliques et la concentration de ce coagulant augmente avec le temps de traitement
- Les polluants sont séparés différemment avec une décantation comme seule possibilité pour la coagulation chimique et une possibilité de combinaison flottation/décantation pour l'électrocoagulation, ce qui rend d'ailleurs intéressante une étude comparative de la turbidité.
- Le mode de traitement par électrocoagulation n'est pas modulable selon la nature des polluants alors que pour des colloïdes très fins, la coagulation chimique impose des étapes plus lentes et des quantités de coagulants importantes.
- La coagulation chimique a des boues plus hydrophiles et moins denses qu'en électrocoagulation.

**III.9. Avantages et inconvénients du procédé d'électrocoagulation**

Comme tous les procédés d'épuration des eaux, l'électrocoagulation possède des Avantages et des inconvénients qui limitent ses domaines d'applications [46].

- ❖ Le procédé d'électrocoagulation ne nécessite pas l'ajout de produit chimique, il nécessite l'ajout de petite quantité d'additif pour améliorer la conductivité électrique de l'effluent.
- ❖ L'eau usagée traitée par l'EC donne de l'eau de gout agréable, claire, sans Couleur et Inodore...etc.
- ❖ Le procédé de l'EC a l'avantage d'éliminer les plus petites particules Colloïdales.
- ❖ L'application d'un champ électrique entre les électrodes entraîne Les particules dans un mouvement plus rapide, facilitant de ce fait leur Agglomération.
- ❖ L'électrocoagulation présente quelques inconvénients parmi lesquelles on peut citer :
- ❖ l'effluent traité par électrocoagulation doit être un électrolyte ce qui impose un ajout de sel pour certains effluents faiblement conducteurs.
- ❖ électrodes sacrificatoires sont dissoutes dans l'effluent à traiter en raison de l'oxydation, et doivent être régulièrement remplacées.
- ❖ la maintenance des installations est parfois coûteuse, le nettoyage et changement des électrodes nécessite l'arrêt du procédé au cours de ces opérations.

**Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté le procédé d'électrocoagulation comme procédé de traitement des eaux par dissolution in-situ des électrodes sous l'effet d'un courant électrique. Les domaines d'application de ce procédé sont très larges, allant du traitement global jusqu'au traitement très ciblé avec des effluents organiques ou minéraux.

## CHAPITRE IV

## Introduction

Rappelons que cette étude a pour objectif de l'évolution de l'efficacité du traitement par l'électrocoagulation comme alternative au procédé conventionnelle de coagulation chimique pour le traitement des eaux usée au niveau de STEP de la ville de Guelma qui utilise le procédé de traitement par boues activées visant l'élimination simultanée de la pollution organique exprimée par l'abattement de la demande chimique en oxygène (DCO) la charge microbologique de l'eau usée exprimée par l'abattement de la demande biologique en oxygène (DBO), les matières en suspensions (MES) et enfin la turbidité.

### IV.1. Points et période de prélèvement

Pour le suivi des paramètres physico-chimique et les différentes analyses des eaux usée de la station d'épuration de la ville de Guelma traitées par l'électrocoagulation, on vu de les comparer avec les analyses des eaux usée traité par l'électrocoagulation, les prélèvements ont été effectués pendant les 3 mois de mars, avril et mai 2022. Chaque prélèvement comporte deux échantillons : le premier est prélevé à l'entrée de la station constituant ainsi l'eau brut et l'autre du bassin de désinfection constituant l'eau traitée comme le montre la figure(16).



**Figure 16** : Points de prélèvement.

## **IV.2. Méthode d'analyse physico-chimique**

La détermination des paramètres physico-chimiques peut être effectuée sur les eaux usées résiduelles urbaines (ERU) brute ou sur les effluents après traitement. Bien qu'ils ne figurent pas dans les normes de rejet des stations d'épurations, hormis le pH, ils sont susceptibles de fournir des renseignements utiles pour apprécier la qualité de ces eaux ainsi que la qualité du traitement effectué. Leur mesure peut être réalisée également à différents endroits de la filière de traitement de l'eau et apporter ainsi de précieux renseignements sur le déroulement de l'épuration, permettant de conduire et d'améliorer le traitement. Ils sont donc indispensables au responsable de la station d'épuration [47].

### **IV.2.1. Mesure in situ**

#### **IV.2.1.1. La Température**

Les mesures de la température de l'eau sur le lieu de prélèvement de l'échantillon sont une partie intégrante du traitement des eaux.

##### **➤ Appareillages**

La température est mesurée au même temps avec le pH par le pH mètre (Figure 17).

#### **IV.2.1.2. Potentiel hydrogène pH**

##### **✓ Principe**

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution. Le pH est un facteur physique qui participe au même titre que la conductivité, l'alcalinité, la température à la répartition des organismes dans les écosystèmes aquatiques. Ainsi pour une reproduction piscicole acceptable, le pH doit être compris entre 6,5 et 8,5.

##### **✓ Intérêt de la mesure du pH**

Le pH de l'eau traitée rejetée dans le milieu naturel va influencer la vie de la faune et de la flore de ce milieu. C'est pour cette raison que l'arrêté du 22 décembre 1994 impose, pour les rejets de station d'épuration, un pH compris entre 6 et 8,5 [48].

##### **✓ Appareillage**

- pH mètre à électrode.
- Récipient contient l'eau à analyser (Figure 17)

✓ **Mode opératoire**

- Rincer l'électrode d'abord avec de l'eau distillée
- Immerger l'électrode dans l'échantillon.
- faire la lecture après la stabilisation de pH au pH mètre.

#### **IV.2.1.3. La conductivité électrique**

La conductivité électrique d'une eau traduit l'aptitude que possède celle-ci à laisser le courant électrique. Le transport des charges se faisant par l'intermédiaire des ions contenus dans l'eau, Il est logique d'admettre que la conductivité d'une eau sera d'autant plus importante que sa minéralisation sera élevée. Il existe donc une relation entre la conductivité d'une eau et sa minéralisation, d'où l'intérêt de la mesure de la conductivité, mesure instantanée, pour connaître la minéralisation d'une eau. L'unité de conductivité utilisée en chimie des eaux est micro siemens ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) [49].

★ **Principe**

La mesure est basée sur le principe d'utilisation d'un appareil spécifique qu'on nomme ; conductimètre à électrodes.

★ **Appareillage**

- conductimètre à électrodes.
- Récipient contient l'eau à examiner. (Figure 17)



**Figure 17** : pH mètre (à gauche (en vert)) et conductimètre (à droite (en gris)).

#### IV.2.1.4. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes.

Dans le domaine de l'épuration, il est indispensable pour la dégradation biologique des matières polluantes qui se fait principalement en aérobiose. Sa concentration est très faible et, le plus souvent proche du zéro dans les eaux résiduaires (ERU) brutes, du fait des concentrations importantes en composés réducteurs et de l'activité des microorganismes présents. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs dont, la température, la pression de la force ionique du milieu. Elle est régie par la loi d'HENRY qui établit une proportionnalité entre la pression partielle en O<sub>2</sub> dans l'atmosphère et sa concentration dans l'eau [48].

##### ★ Principe

L'opération consiste à mesurer l'oxygène dissous par l'oxymétrie comme appareil spécifique

##### ★ Appareillage

- bécher de 400ml.
- oxymétrie portatif.
- l'eau à analyser.

-l'eau distillée.

★ **Mode opératoire**

--Rincer l'électrode d'abord avec de l'eau distillée.

-Immerger l'électrode dans l'échantillon.

-faire la lecture après la stabilisation d'oxygène dissous à l'oxymétrie. (Figure18)



**Figure 18** : l'oxymètre portable

**IV.2.2. Paramètre chimique**

**IV.2.2.1. Demande biologique de l'oxygène ( $DBO_5$ )**

C'est la quantité totale d'oxygène consommée par les bactéries pour oxyder les matières organique biodégradable présente dans les eaux usées. La quantité d'oxygène nécessaire à l'auto-épuration s'exprime en fonction de la  $DBO_5$ . Cet indice est le principal paramètre permettant de mesurer la charge de pollution organique contenue dans une eau qui proviennent surtout des sanitaires et des cuisines sous forme de protides, glucides (sucres), lipides (graisses), urée et produits du métabolisme et de dégradation.

★ **Principe d'analyse**

La  $DBO$  est mesuré au bout de 5 jours à  $20^{\circ}C$  ( $T^{\circ}$  favorable à l'activité des micro-organismes consommateur d'oxygène) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite).

- ★ 02 échantillons sont nécessaire ; le 1<sup>er</sup> sert à la mesure de la concentration initiale en  $O_2$ , et le second à la mesure de la concentration résiduaire en  $O_2$  au bout de 5 jours.
- La  $DBO_5$  est la différence entre les  $O_2$  concentration.
- **Matériel**
  - Oxymetre.
  - Agitateur magnétique.
  - Aérateur.
  - Flacon.
  - Eau ultra pure pour la dilution.



Figure 19: Dispositif de mesure de la  $DBO_5$

- **Protocole opératoire**

#### A. Préparation de l'eau dilution

Mettre la vielle de prélèvement, dans un récipient de l'eau du robinet dans laquelle on plonge pendant 24h un aérateur pour la saturation en  $O_2$  laisser reposer 12h. Le facteur de dilution pour eau usée et de 50 à 100 ( $DBO$  moyen=300mg/l) pour un effluent domestique

#### B. Préparation des flacons de mesure

- Verser dans le flacon un peu d'eau de dilution puis la quantité mesurée d'échantillon puis remplir le reste du flacon avec de l'eau de dilution.

- Fermer le flacon sans y laisser d'air pénétrer.

-Faire ainsi 2 flacons identiques.

#### C. Mesure de temps

Doser l'O<sub>2</sub> dissous dans 1 flacon d'échantillon dilué (T<sub>0</sub> en mg/l).

#### **D. Incubation**

Placer les deux flacons restant à l'obscurité pendant 5 jour.

#### **E. Mesure au temp 5 jours**

Doser l'O<sub>2</sub> dans le flacon d'échantillons dilué pendant(T<sub>5</sub> en mg/l).

#### **F. Résultat**

La lecture se fait comme suit:

$$DBO = F(T_0 - T_5)$$

#### **IV.2.2.2 Détermination des matières en suspension (MES)**

- **Principe d'analyse**

On évalue le poids sec du résidu, obtenu par filtration de l'échantillon d'eau après passage à l'étuve à 105°C (figure20).

#### **Matériels**

- Dispositif de filtration (trompe à eau, fiole et entonnoir de filtration). (Figure21).
- Disque filtrant en fibre.
- Etuve à 105°C.
- Balance de précision.
- Dessiccateur (figure22).



**Figure 20:** Etuve à 105°C



**Figure 21:** Filtration apparatus



**Figure 22:** desiccator.

✓ **Protocole opératoire**

Préparation des filtres: On lave les filtres à l'eau distillée, et après on les sèche à l'étuve (pendant une 1 heure à 105°C), ensuite on les place en attente dans le dessiccateur [50].

• **La méthode**

- 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 (1000 ml) à analyser sur le disque filtrant.
- On met le disque dans l'étuve pendant 1 h à 105°C.
- On laisse le filtrant refroidir au dessiccateur.
- Après on pèse le filtre et on marque le poids comme  $M_1$  [50].

• **Résultat**

La lecture se fait comme suit:

$$MES = M_1 - M_0 / 1000(\text{mg} / \text{l})$$

**IV.2.2.3.Demande chimique de l'oxygène (DCO)**

Ce paramètre permet de quantifier la matière oxydable contenue dans l'eau par la mesure du taux d'oxygène nécessaire pour la dégrader. La DCO est exprimée en mg d'O<sub>2</sub>/L. Les valeurs élevées de la DCO indiquent la présence d'une forte contamination liée à la présence de polluants réfractaires d'origine organique et minérale issus des activités anthropiques ou naturelles [51].

**Principe**

Le principe est d'oxyder la substance réductrice de l'effluent par un excès connu de bichromate de potassium en milieu sulfurique à l'ébullition.

Après chauffage, refroidissement et dilution, on dose l'excès de bichromate par une solution de sel de Mohr.

La DCO est exprimée sous forme d'une concentration en ppm ou mg/L [52].

**✓ Matériels**

- Eau brute.
- Eau épurée.
- Réacteur DCO
- Spectrophotomètre
- 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 le réacteur DCO pour le chauffage à une température de l'ordre de 148°C pendant deux heures;
- Après deux heures on laisse les kits se refroidissent, ensuite on mesure la DCO avec le spectrophotomètre.



**Figure 23:** Réacteur utilisée pour la mesure de la DCO à gauche et un spectrophotomètre à droite

#### IV.2.2.4. L'azote des Nitrates $\text{NO}_3^-$

##### ✓ Matériels

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

##### ✓ Mode opératoire

- Prendre 1 ml d'eau analyzer
- Ajouter 0.2ml de reactife A
- Attendre 15 minutes
- Après les 15 minutes om mesure l'absorption de la préparation par le spectrophotomètre.



**Figure 24:** Photo représentant la manipulation pour la détermination de  $\text{NO}_3^-$

**IV.2.2.5. L'azote des Nitrites  $\text{NO}_2^-$** **✓ Matériels**

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

**✓ Mode opératoire**

- Prendre 0.2 ml d'eau analyzer
- Agiter le kit pendant 3 secondes.
- Attendre 10 minutes
- Après les 10 minutes on mesure l'absorption de la préparation par le spectrophotomètre.

**IV.2.2.6.L'azote ammonium  $\text{NH}_4^+$** **✓ Matériels**

- Kits (tubes contenant les réactifs).
- Eau brute.
- Eau épurée.
- Spectrophotomètre.

**✓ Mode opératoire**

- Ajouter 0,2 ml de l'eau brute dans le kit.
- Agiter le kit pendant 3 secondes.
- Laisser le kit pendant 15 min, puis mesurer la concentration d'échantillon avec le spectrophotomètre.
- On ajoute 5 ml de l'eau épurée dans le kit et refaire les mêmes étapes de l'eau brute



Figure 25: Photo représentant la manipulation pour la détermination de  $\text{NH}_4^+$

#### IV.2.2.7. Orthophosphate $\text{PO}_4^{3-}$

##### ✓ Matériels

- Kits (tubes contenant les réactifs).
- Spectrophotomètre.

##### ✓ 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 0,5 ml d'eau + 0,2 de réactif B et refaire les mêmes étapes de l'eau brute



Figure 26: Photo montrant la manipulation pour la détermination d'  $\text{PO}_4^{3-}$

#### IV.3. Technique d'électrocoagulation (EC)

La technologie des procédés d'électrocoagulation étant très diverse, nous avons choisi de travailler avec un système simple, et maniable; nous le présentons dans dispositif

expérimental illustré par le schéma ci-dessous ;(Figure 27). Il consiste en un réacteur électrochimique (cellule) à des électrodes cylindrique parallèles en alliage d'aluminium entre lesquelles nous avons appliqué une différence de potentiel à l'aide d'un générateur de courant continu (alimentation stabilisé). Un échantillonnage nous permet de suivre les différents paramètres du traitement tell que ( $T^{\circ}\text{C}$ , pH, conductivité, turbidité, MES, DCO).Le matériel et les méthodes d'analyse utilisés dans cette étude peuvent être classés comme suite :

1. Le dispositif expérimental (poste d'électrocoagulation).
2. Le mode opératoire.
3. Résultats et discussion (suivi des différents paramètres opératoires).



Figure 27 : Le dispositif expérimental d'électrocoagulation

#### IV.3.1.Description du montage expérimental :

Le dispositif expérimental qu'on a travaillé avec (d'après la figure en dessus) a une composition comme suite :

1. Un statif support.
2. Deux électrodes en aluminium.
3. Réacteur électrochimique (cellule).

4. Agitateur magnétique.
5. Générateur de courant continu (alimentation stabilisée).

### **IV.3.2. Mode opératoire**

Les essais d'électrocoagulation ont été réalisés en suivant le même protocole. Avant chaque essai, un récipient contenant des électrodes dans lequel sont lavées avec une solution diluée de l'acétone afin d'éliminer toutes impuretés antécédentes aux électrodes telle que la couche fine d'alumine qui peut se produire avec l'oxygène de l'air à la surface des électrodes.

Celui-ci est montées par la suite et fixées par une noix de serrage puis immerger dans un volume de 500 ml constituant notre échantillon à traiter par l'électrocoagulation dans la cellule électrochimique développant ainsi une surface immergée nominale de  $19,65 \text{ cm}^2$  ses électrodes sont reliées au bloc d'alimentation (générateur de courant électrique) stabilisé en courant continu qui peut être réglé à l'ampérage désiré.

L'ensemble est soumis à une agitation faible sur une plaque d'agitation magnétique pour homogénéisation ; favorisant ainsi les contacts polluants agent coagulation généré in-situ par l'oxydation de l'anode d'aluminium.

Afin d'augmenter la conductivité du milieu et diminuer d'avantage la résistance ohmique du milieu, on préconise l'ajout de chlorure de sodium (NaCl) c'est la raison pour laquelle on ajoute au début de chaque essai, une très faible quantité de solution de sel à raison de  $0,02 \text{ g/l}$ . Le choix de chlorures de sodium découle du fait que les ions chlorures réduisent d'une manière significative les effets indésirables de d'autres anions tels que  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  par exemple, en évitant la précipitation du carbonate de calcium contenu dans les eaux usées contenant du calcaire, qui pourrait former une couche isolante sur la surface des électrodes et augmenter ainsi la résistance de la cellule électrochimique. Les ions chlorures peuvent être également oxydés pour donner des formes activées de chlore, tels que les anions hypochlorites qui ont un pouvoir oxydant élevé sur certains Polluants.

Aussi pour régler le pH du milieu à la valeur désirée, on préconise l'ajoute de l'acide chlorhydrique (HCl) pour obtenir un pH acide et même pour obtenir un pH basique on ajoute une très faible quantité de solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) d'une très faible concentration.

De par le passage du courant dans les électrodes, s'enclenchent divers mécanismes physico-chimiques. Les effets de l'intensité du courant électrique entre 0.1A à 2A ainsi que le temps d'électrocoagulation (temps maximum de 30 min) sur les différents paramètres physico-chimiques (pH, T°, conductivité, abattement de : DCO et le DBO<sub>5</sub>) ont été suivi et étudié.

### **IV.3.3. Résultats et discussion d'étude préliminaire**

Cette partie est consacrée à l'évaluation des performances du procédé d'électrocoagulation pour le traitement des eaux usées de la STEP de Guelma.

Les eaux usées sont traitées en discontinu dans le dispositif expérimental pour différentes intensités de courant. L'étude cinétique du traitement permet de déterminer les conditions optimales de traitement.

### **IV.3.4. Suivi des paramètres opératoires**

Afin d'évaluer l'efficacité du traitement par l'électrocoagulation des eaux usées issues de la STEP de Guelma, nous avons procédé aux mesures des paramètres que nous aient semblés avoir une influence significative sur ce mode de traitement à savoir (le pH du milieu, intensité de courant, la température, la conductivité). La turbidité, l'analyse de la demande chimique en oxygène (D.C.O), les matières en suspension et la perte en point des électrodes sont aussi suivie. Ses dernières analyses sont très importantes pour évaluer le rendement de l'abattement de la pollution des eaux traitées par cette technique.

Les caractéristiques des eaux usées de la S.T.E.P de Guelma avant traitement par électrocoagulation sont donnés par le tableau suivant :

**Tableau 4** : Caractéristiques des eaux usées de la S.T.E.P à 2022.

Paramètre	Valeur moyenne	Maximum
PH	7.87	7,93
T° (C)	13,3	14,3
Conductivité ( $\mu$ s)	1,26	1,35
D.C.O (mg d'O <sub>2</sub> /l)	223	300
MES (mg/l)	115	135
DBO <sub>5</sub> (mg d'O <sub>2</sub> /l)	215	284,4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	3,82	4,9
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,63	1,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	12.24	15.3

A travers les résultats de ce tableau nous pouvons observer que le potentiel d'hydrogéné (pH) initial d'une valeur moyenne de 7.87 une indication préalablement très favorable pour un traitement d'électrocoagulation car tout se repose sur la valeur initiale du pH, un paramètre jugé clé pour un tel traitement, générées au cours d'électrocoagulation, en particulier l'hydroxyde d'aluminium amorphe Al(OH)<sub>3</sub> (s) agent coagulant généré **in-situ** , stable et majoritaire dans la zone ou le pH est de 6 à 8.



(1)



(2)



(3)

**Figure 28** : Différents postes d'électrocoagulation (photographie) des eaux usées à différentes intensités de courant : (1) 0.1A , (2) 0.2 A , (3) 0.5A. (temps de 30 min).

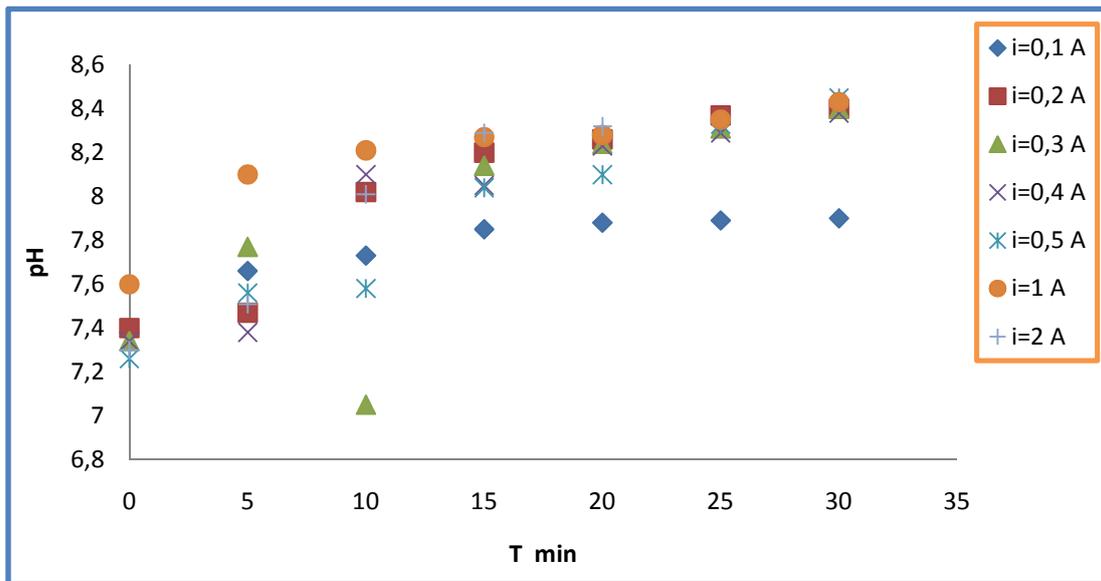


Figure 29 : Variation du pH du milieu en fonction du temps d'EC

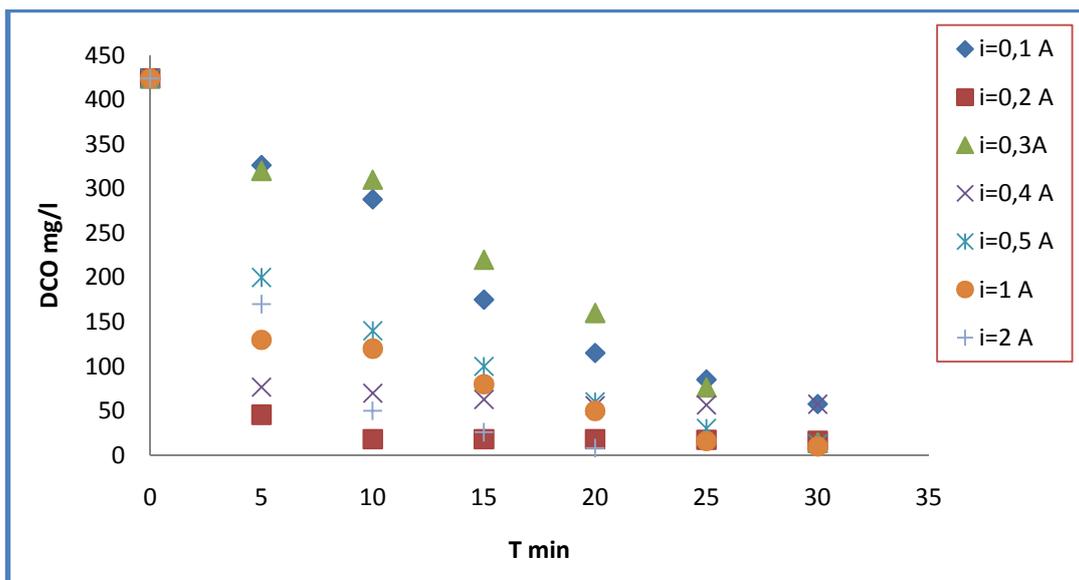


Figure 30 : Variation de DCO en fonction du temps d'E.C

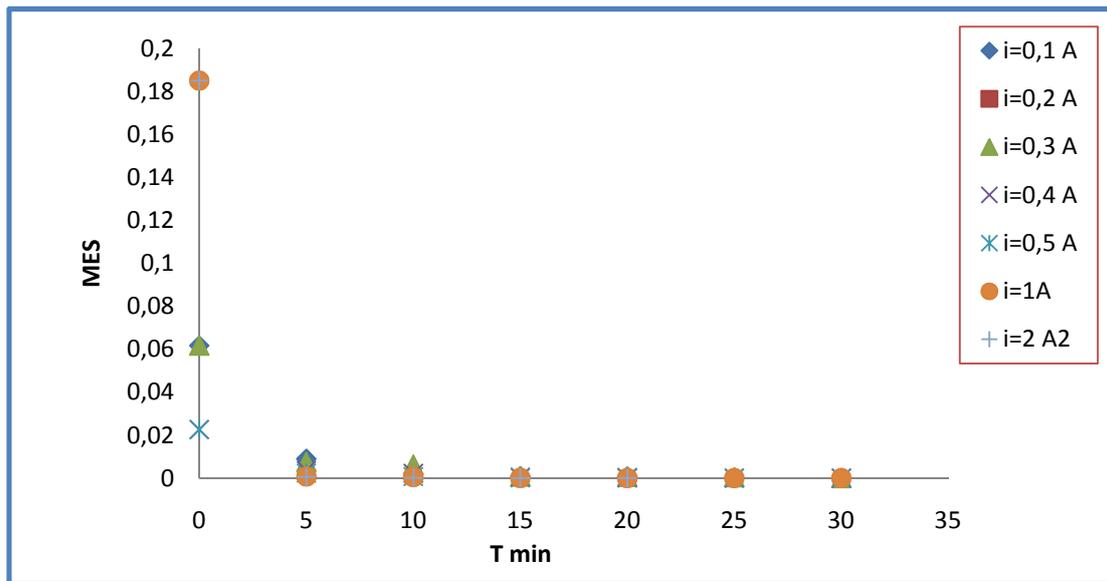


Figure 31 : Variation de MES en fonction du temps d'E.C

#### IV.3.5. Discussion :

La figure 29 présente la variation du pH de l'eau électrocoagulée au cours du temps (30 min) pour différents intensités de courant (0,1 à 2A) et nous remarquons bien que cette variation est semblable est similaire pour chaque intensité de courant c'est-à-dire d'un pH initiale de 7,26 jusqu'à un pH finale maximale de 8,45 et d'après ce qui a été présenté dans notre partie bibliographique que ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibre physico-chimiques des espèces formées au cours d'électrocoagulation (*diagramme de Pourbaix*) où à l'anode, lieu d'oxydation, le métal qui l'aluminium va passer de l'état solide à l'état ionique selon la réaction:



Et la réaction de formation d'hydrogène:



A la cathode, lieu de réduction, le solvant, en l'occurrence l'eau, se réduit suivant la réaction :



Les cations métalliques forment des complexes avec les ions hydroxydes. L'espèce majoritaire dépend du pH du milieu qui est dans notre cas très favorable à la stabilité de tels espèces

formés Dans la zone de pH comprise entre 5 et 8, l'espèce la plus répandue en solution est l'hydroxyde d'aluminium amorphe ( $\text{Al}(\text{OH})_{(s)3}$ ) avec un maximum de **95 % vers pH=6,5**. Il existe également les cations  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  et  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ .

Ces complexes jouent le rôle de coagulant Ils s'adsorbent sur les particules et annulent ainsi les charges colloïdales ce qui conduit à déstabiliser l'eau usée. Ce rôle est similaire à celui des coagulants chimiques dans les traitements chimiques classiques.

La différence réside donc dans la source des réactifs qui est chimique pour les procédés classiques et électrochimiques pour l'électrocoagulation. L'électrocoagulation se distingue des traitements physico-chimiques classiques par la présence d'un champ électrique pendant le traitement. Il facilite la migration des espèces chargées et leur adsorption sur les particules polluantes. A la cathode, la réduction de l'eau conduit à la formation de microbulles d'hydrogène. Leur taille moyenne est de l'ordre de 10-20 $\mu\text{m}$  au voisinage de l'électrode. Ces microbulles s'adsorbent à leur tour sur les espèces flocculées et entraînent ainsi leur flottation. Les microbulles diminuent la formation de dépôts sur la cathode.

Dans plusieurs applications, la formation. La récupération des boues peut être effectuée dans le réacteur lui-même ou dans un bassin de décantation en aval.

**La figure 30** la variation de la DCO au cours du temps. La DCO est diminué à chaque fois le courant à partir l'EC vas augment qui donne la quantité d'oxygène dissous pour oxydée les micro-organismes diminue c'est-à-dire le courant il jouée le rôle qui destiner sur micro-organisme.

**La figure 31** c'est la variation de MES en fonction de temps (T min).on observe que les quantités des MES ils diminuent avec augmentation le courant jusqu'à t'en vers à zéro gramme par litre c'est bonne résultats qui donne à partir des l'EC.

### **Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée par la boue activée**

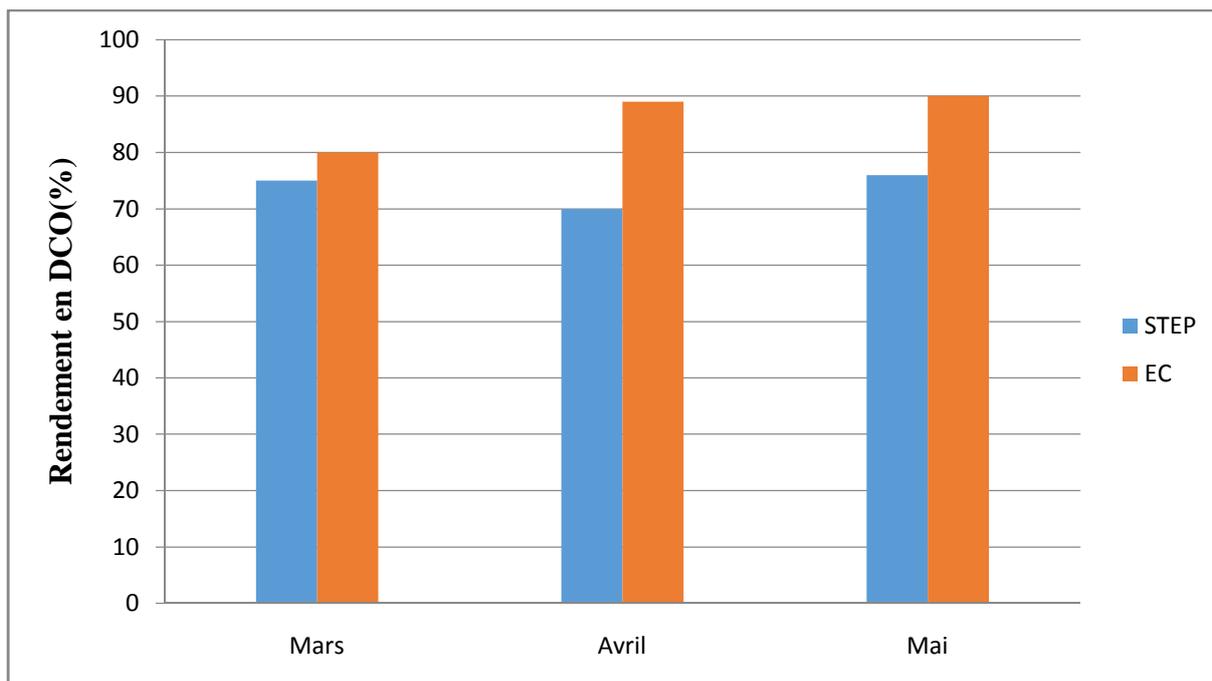
Les résultats des analyses physico-chimiques à l'entrée et à la sortie de la STEP de Guelma des 3 mois janvier, février et mars de l'année 2022. Sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau 5** : Résultats des analyses physico-chimiques pour le premier trimestre de l'année 2022.

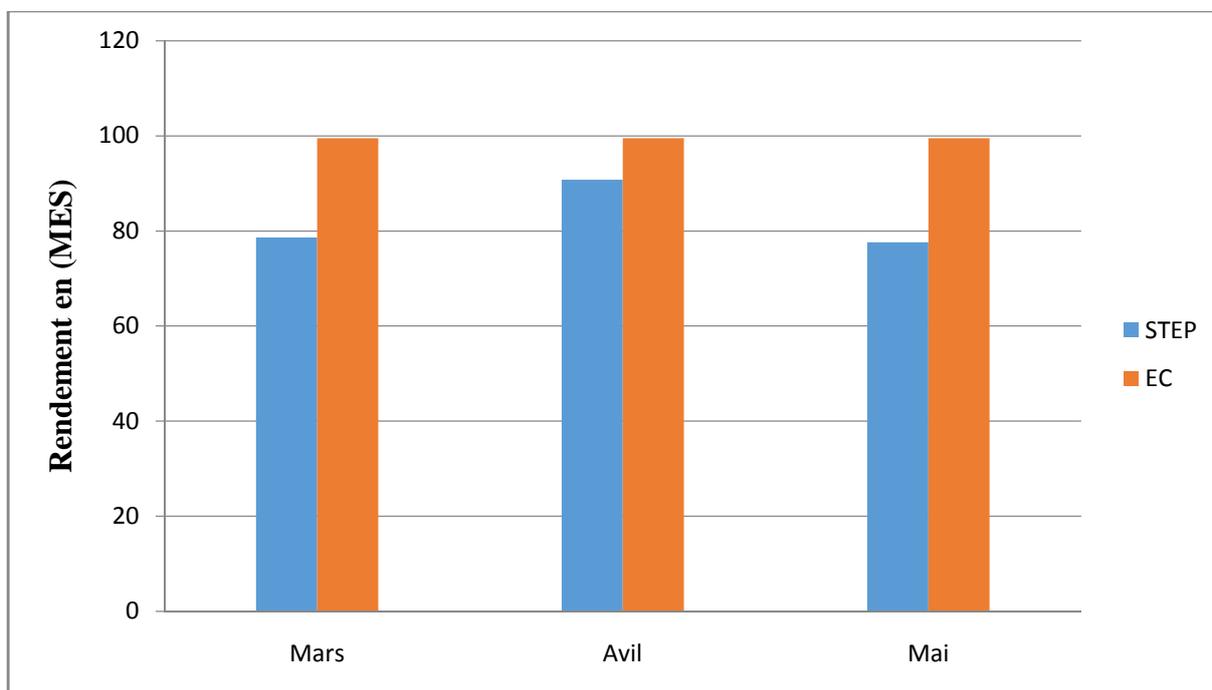
	<b>T</b> °c	<b>Cond</b> µs	<b>pH</b>	<b>DCO</b> mg/l	<b>MES</b> mg/l	<b>NH<sub>4</sub></b> mg/l	<b>NO<sub>3</sub></b> mg/l	<b>NO<sub>2</sub></b> mg/l	<b>OPO<sub>4</sub></b> Mg/l
<b>Janvier</b>	11.5	1.20	7.86	300	130	15.3	4.4	1.3	1.1
	11.8	1.18	7.93		20	1.04	12	0.13	1.03
<b>Février</b>	14.3	1.35	7.82	184	80	14.5	4.9	0.35	1.30
	14.0	1.21	8.1	36.8	20	2.5	11.78	0.37	0.73
<b>Mars</b>	14.1	1.23	7.93	185	135	7.48	2.15	0.26	1.82
	14.5	1.11	7.86	29.8	20	0.86	12.52	0.45	1.15

**Etude comparative entre le traitement par boue activée (STEP de Guelma) et l'électrocoagulation :**

Comme notre objectif principale est de comparer les deux méthodes de traitement, nous avons procédé à faire une étude comparante entre les rendement d'abattements de DCO et MES des deux traitées au niveau de la STEP de Guelma et l'électrocoagulation.



**Figure 32 :** Abattement de DCO au cours des derniers trois mois 2022 (STEP)



**Figure 33 :** Abattement de MES au cours des derniers trois mois 2022 (STEP)

## Conclusion générale

### Conclusion générale

L'objectif principal de ce présent travail était d'analyser et de démontrer l'intérêt du procédé d'électrocoagulation pour le traitement des eaux usées hautement chargées en demande chimique en oxygène et en matières.

Nous avons suivi les cinétiques d'abattement des différents polluants exprimés par la DCO et MES au cours d'électrocoagulation.

Les conditions opératoires étaient très variables. Les intensités varient entre 0,1A à 2A, le temps de traitement étant de 30 minutes maximum, selon la nature des eaux usées.

Les résultats obtenus sont très satisfaisants avec des rendements d'abattement supérieurs à 98% de la pollution organique et presque de 100% pour les matières en suspensions.

L'effet de l'intensité du courant ne change pas l'allure mais entraîne une réduction du temps nécessaire à atteindre l'abattement maximal : cela est expliqué par: une vitesse de dissolution d'aluminium plus élevée à fortes intensités de courant. Les eaux usées chargées sont généralement plus faciles à traiter que celles moins chargées avec formation de floes plus grands qui décantent plus rapidement.

Le traitement par électrocoagulation s'est avéré être très efficace pour l'abattement de la demande chimique en oxygène et enfin des matières en suspensions.

Celui-ci a été réalisé pour les eaux usées et que nous avons constaté des valeurs d'abattement de 100% à la fin du traitement quelle que soit l'intensité du courant.

Le temps de traitement est d'autant plus court que l'intensité du courant est faible et que l'eau traitée est chargée qui est un grand avantage pour cette technique de traitement originale, ceci peut être expliqué par le fait qu'il existe une certaine quantité d'aluminium optimale au cours d'électrocoagulation

A la fin de ce travail, nous avons réalisé une étude comparative de l'électrocoagulation et de la coagulation chimique par boue activée adopté au niveau de la station des traitements des eaux usées de la ville de Guelma.

Cette étude cinétique a porté sur le rendement en abattement de DCO et des matières en suspensions.

Nous avons mis en évidence l'avantage de l'électrocoagulation pour le traitement des eaux chargées. Le traitement des matières en suspensions donne un avantage remarquable au procédé d'électrocoagulation aussi bien en terme de temps de traitement que d'abattement maximal atteint.

Comme tout procédé de traitement des eaux, l'électrocoagulation possède des limites telles que les types d'effluents susceptibles d'être traités, la valeur de l'abattement maximal et le temps de traitement dans les procédés continus. Néanmoins, les résultats réalisés nous ont montrés que ce procédé est prometteur dans le domaine du traitement des eaux fortement chargées.

Il reste encore un énorme travail à réaliser pour mieux expliquer le rôle de l'électrocoagulation vis à vis de certaines types d'effluents pour les quelles ce procédé n'a pas d'effet notable. L'effet du champ électrique sur les résultats d'abattement de la pollution nous semble très important surtout pour les eaux contenant des colloïdes ou matières en suspensions huileuses ou autres sous formes d'émulsions à fort potentiel zeta.

L'utilisation d'autres types d'alliages est également envisagée afin de trouver un alliage efficace et peu coûteux l'ultime objectif souhaité pour cette nouvelle technique de traitement.

Le courant électrique continu est généralement utilisé pour l'électrocoagulation mais nous pouvons tester le courant sinusoïdal positif qui peut être très avantageux économiquement.

Il est important à noter ici que les responsables de la STEP de Guelma ont fortement apprécié la qualité et l'originalité de ce travail et qu'une convention et collaboration scientifique est en train d'être concrétisée.

## Références bibliographiques

- [1] **F. Ladjel.** Exploitation d'une STEP a boue activée et d'une lagune, niveau II. Office National de l'Assainissement, centre formation de l'Assainissement CFFMA-BOUMEDES. (2010).
- [2] **A. Djemam.** Contribution à l'étude du traitement des eaux usées de la ville de Guelma. Mémoire de master. Université 8 mai 1945. Guelma. (2011).
- [3] **M. METAHRI.** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes, cas de STEP EST de ville de TIZI\_OUZOU, Thèse de Doctorat. Université Mouloud Mammeri de TIZI\_ OUZOU, (2012).
- [4] **K. Mohammed Belkebir, K. Saidi.** Etude des effets de l'opuntia ficus indic sur les rejets des eaux usées de peinture. Mémoire de master. Université Djilali BOUNAMMA de khémis miliana. (2020).
- [5] **S. W. Dekhil.** Traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville de Bordj Bou Arreridj en Algérie effectué par la station d'épuration des eaux usées ONA. Mémoire Online. Université Mohamed El Bachir Elibrahimi (Algérie), (2012).
- [6] **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. Université 8 mai 1945. Guelma. (2015).
- [7] **Baumont .S, Camard. J. P, Lefranc A, Franconi. A.** Réutilisation des eaux usées : Risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS.
- [8] : **I. Diori, S. Mahmoud, S. Gharaibeh.** Removal of phenol and aniline from water using Jordanian Organoclays clayres. (1997).
- [9] **S. Belbachir, S. Habbeddine.** Etude d'un système d'épuration des eaux usées des localités De Nedroma et Ghazaouet. Mémoire de master, Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen, (2017).
- [10] **Rodier. J.** L'analyse de l'eau naturelle , eaux résiduaires eaux de mer ,8ème Edition DUNOD Technique , Paris, Année (2005).
- [11] **Duguet J-P ; Bernazeau F ; Cleret D ; Gaid A ; Laplanche A ; Moles J, Montiel A ; RIOU G ; Simon P.** Réglementation et traitement des eaux destinées à la Consommation humaine. 1ère édition. ASTEE (Association Scientifique et Technique pour L'environnement). (2006).
- [12] **OMS.** Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées. (2007).

- [13] **Xanthoulis.** Valorisation agronomique des eaux usées des industries agroalimentaires. (1993).
- [14] **SUSCHKA J, FERREIRA E.** Activated sludge respirometric measurements. Water Research. (1986).
- [15] **Zeghoud.** (2014). L'étude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra. Mémoire Master. Université d'El Oued.(2014).
- [16] **Henze harremoes.** Wastewater treatment : biological and chemical process.(1997).
- [17] **Manzoor, Q., Nadeem, R., Iqbal, M., Saeed, R., Ansari, T.M.,** Organic acids pretreatment Effect on Rosa bourbonia phyto-biomass for removal of Pb (II) and Cu (II) from aqueous media Bioresour. Technol. 132, 446e452. Marcos von Sperling 2007, Wastewatercharacteristics, treatment and disposal, IWA Publishing. Brasil. (2013).
- [18] **S. Boujema.** Contrôle des procédures de traitement des eaux usées dans la STEP du grand Bizerte. Mémoire de licence. Université de Carthage. Tunisie. (2011).
- [19] **D. HadeF, M. Hasni.** Etude de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux de l'oued de butane région de khémis Miliana W.Aindefla. Chimi. Master. Khémis Miliana. Université Djilali Bounnaama.
- [20] **S. Baha, F. Bensari.** Epuration des eaux usées domestique par les boues activées : étude de la performance de la STEP d'ain el houtz, Mémoire de master, Université de Abou Beker Belkaid Tlemcen, (2014).
- [21] **station d'epuration de la ville de Guelma STEP:** Office National de l'Assainissement. (2015).
- [22] **A. K.AZZEDINE.** Suivi du rendement épuratoire de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma. Mémoire de master. Université 8 Mai 1945 Guelma,(2016).
- [23] **Régis. B, Marc.S, Béchir.S.** Guide technique de l'assainissement (collecte épuration-conception-exploitation), 4ème édition, (2010).
- [24] **Altmeyer A., Abadia G., Schmitt S., le prince A.,** Risques microbiologiques et travail dans les stations d'épuration des eaux usées. Midico technique. (1990).
- [25] **Haoua. A.** Modélisation de séchage solaire sous serre des boues de station d'épuration urbaine, thèse de doctorat, université Louis Pasteur- Strasbourg I Discipline: Sciences pour l'ingénieur.(2007).
- [26] **Silman .S. Y.** Etude de réhabilitation de la station d'épuration de Salyportudal, département de génie civil, diplôme d'ingénieur de conception, université Cheikh antadiop de Dakar, Sénégal. (2002-2003).

- [27] **Allel M., Hamel W., Ben kirat A.** Suivi de l'efficacité des procédés de la station d'épuration de la ville de GUELMA (Nord-est Algérien). Mémoire de master. Université 8 mai 1945. Guelma. (2013).
- [28] **Karaali R., Khattal M., Reggam R.** Etude comparative de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux usées avant et après épuration : cas de la station d'épuration de la Ville de Guelma (Nord-est Algérien). Mémoire diplôme d'ingénieur. Université 8 mai 45. Guelma. (2008).
- [29] **S. Zitouni.** Traitement et analyses physico-chimiques des eaux usées de la STEP de Guelma. Mémoire de master. Université 8 mai 1945 Guelma (2014).
- [30] **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).
- [31] **A. Mehammdia, k. Touati :** Evaluation de l'efficacité de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Guelma. Mémoire de Master. Université de Guelma. (2020).
- [32] **A. Gaid. (1993b) :** traitement des eaux usées urbaines : techniques de l'ingénierie C5220, paris, France.
- [33] **Site :** [hmf.enseeiht.fr/CD0506/bei/bei\\_ere/1/html/.../choix.htm](http://hmf.enseeiht.fr/CD0506/bei/bei_ere/1/html/.../choix.htm). (Consulté le : 30/05/2022 à 20:30).
- [34] **N. Sahri. N. Boukharouba.** Effet de la nature des rejets sur le fonctionnement de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de GUELMA. Université 8 mai 1945 Guelma (2021).
- [35] **T. Picard.** Contribution à l'étude des réactions aux électrodes en vue de l'application à L'électrocoagulation. Thèse de doctorat. Universités de Limoges (2000).
- [36] **W. S. Holden /** Proceedings of the society of Water Treatment and Examination, 5 (1956).
- [37] **S. E. Sadek /** Federal Water Quality Administration of United States, Dept of interior, Rapport PB. (1970).
- [38] **E.A. Vik et al. /** Water Research, 18(11) (1984) 1355-1360.
- [39] **M. Bennajah,** Thèse de doctorat, institut national polytechnique de Toulouse, France (2007).
- [40] **HOLT .P, BARTON.G.W ,MICHELL .C.A.,** the future electro Coagulation as a localized water Treatment technology. Chemospheree, 355-367. (2005)
- [41] **I .Zongo.** Etude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation : Application au traitement de deux effluents textiles et d'un effluent simultané de Tannerie.

- [42] **Khemis. M, Tanguy.G, Leclerc.J.P, Valentin. G, Lopicque. F.** Electrocoagulation for The treatment of oil suspensions : Relation between the rates of électrodes réactions and the efficiency of wast eremoval. Process Safety and Environmental Protection 83, (2005).
- [43] **BOUDJAHM, H.** 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).
- [44] **DJADI, M, NAAMNI, A.** Electrocoagulation des solutions turbides en présence de biofloculant *Opuntia Ficus Indica* .Mémoire de MASTER. Université A. M. OULHADJ – Bouira.2019.
- [45] **P.K. Holt, G. w. Barton, M. Wark, C. A. Mitchell,** A quantitative comparaison between chemical dosing and electrocoagulation, colloids and surfaces A : physicochemical Engineering Aspects 211 (2002)
- [46] **SALMI, D, SLIMANI, K.** Application de l'électroflottation- électrocoagulation pour l'élimination d'un colorant textile cas du bleu d'indanthrène RS. Mémoire de Master. Université A. MIRA-BEJAIA, (2014).
- [47] **A. GAÏD.** Traitement des eaux usée urbaine ; Technique de l'Ingénie C 5 220, (1993) Paris, France.
- [48] **Rejsek F.** Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques. Ed CRDP, Aquitaine. France. (2002)
- [49] **Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A et Clooster Van M.(2011).**Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental). Larhyss Journal.
- [50] **A.K.AZZEDINE.** Suivi du rendement épuratoire de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma . Mémoire de master .université de Guelma (Algérie), 2016.
- [51] **Prasad et al.** Sedimentology on a corefrom Lonar Lake in India PANGAEA: Publishing Network for Geoscientific & Environmental Data Publishing (2014).
- [52] **Rodier J., Legube B., Merlet N., et Brunet R.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème édition. Paris: Dunod, (2005)

**Résumé :**

L'électrocoagulation est un procédé de traitement des eaux usées qui peut être très avantageux à plusieurs égards. Un premier objectif était d'analyser et de démontrer l'intérêt de ce procédé pour le traitement de ces eaux en suivant les différents paramètres physico-chimique (pH, l'intensité de courant, conductivité, temps d'E.C, T°) et que les résultats obtenus par ce traitement sont être très efficace pour l'abattement de la pollution, les matières en suspensions et de la turbidité.

D'excellents rendements épuratoires en DCO, MES ont été enregistrés. De plus, le pouvoir désinfectant de cette technologie mérite d'être exploité davantage.

Il existe toutefois des effets complémentaires induits par l'électrocoagulation : la production de boues et la consommation énergétique. Il est possible de remédier à ces effets.

La production de boues, bien qu'inévitable, est beaucoup moins importante que celle obtenue par le procédé classique de coagulation préconisé au niveau de la STEP de Guelma. Ceci confère un certain avantage au niveau de la fréquence de vidange des boues décantées dans le système d'assainissement autonome.

**Mots clés :** eaux usées, électrocoagulation, STEP Guelma.

**Abstract :**

Electrocoagulation is a method for treating wastewater can be very beneficial in many respects. A first objective was to analyze and demonstrate the usefulness of this method for the treatment of these waters following the different physicochemical parameters (pH, the current, conductivity, time E.C, T°) and the results obtained by this treatment is very effective for the reduction of pollution, material suspensions and turbidity. Excellent treatment is very effective of COD, TSS and turbidity were recorded. Of Moreover, this disinfecting power technology should be exploited further. There are, however, for additional induced electrocoagulation : sludge production and energy consumption. It is possible to overcome these effects. Sludge, production, although inevitable, is much less important than that obtained by the conventional coagulation advocated at the WWTP Guelma. This gives a certain advantage in the frequency of emptying sludge decanted into the wastewater system independently.

**Keywords :** wastewater, electrocoagulation,

:

التخثير الكهربائي هو عملية معالجة مياه الصرف الصحي والتي يمكن أن تكون مفيدة للغاية بعدة طرق. كان الهدف الأول هو تحليل وإثبات فائدة هذه العملية لمعالجة هذه المياه من خلال مراقبة مختلف المعلمات الفيزيائية والكيميائية (درجة الحموضة ، شدة التيار ، التوصيل ، وقت التيار الكهربائي ، درجة ) النتائج التي تم الحصول عليها من خلال هذا العلاج هي كائنات فعالة للغاية في

تم تسجيل عائدات تنقية ممتازة في المواد الصلبة العالقة  
الأكسجين ن القوة المطهرة لهذه التكنولوجيا تستحق المزيد من الاستغلال.

ومع ذلك ، هناك تأثيرات إضافية ناجمة عن التخثير الكهربائي: إنتاج الحمأة واستهلاك الطاقة. من الممكن معالجة هذه الأتار.

إن إنتاج الحمأة ، على الرغم من أنه أمر لا مفر منه ، أقل بكثير مما تم الحصول عليه من خلال عملية التخثير التقليدية الموصى بها في محطة معالجة مياه الصرف الصحي . يمنح هذا ميزة معينة على مستوى تكرار إفراغ الحمأة المستقرة في نظام الصرف الصحي

**الكلمات المفتاحية:** مياه الصرف الصحي ، التخثير الكهربائي ، محطة معالجة مياه الصرف الصحي