

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

**Université de Bouira**  
*Akli Mohand Oulhadj*



**جامعة البويرة**  
أكلي محمد أولحاج

*Université de Bouira*  
*Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées*  
*Département de Génie Des Procèdes*

## *Mémoire de Master*

**Filière : Génie Des Procèdes**  
**Option : Sciences Et Génie De L'environnement**

**Thème :**

***Elaboration d'un réacteur pour le traitement d'un effluent industriel par électrocoagulation : cas d'un effluent d'industrie de peinture (EFP)***

**Présenté par :**

**Aouchiche Sofiane.**

**Bouferkas Mohamed el-hadi.**

**Membre du jury :**

**Nom et Prénom**

Mr Kernani Redha

Mr Lounici Hakim

Mme HADIOUCHE Dalila

**Grade**

MCA

Professeur

MCB

Promoteur

Président De Jury

Examinatrice

**Année Universitaire : 2016/2017**

# **Dédicaces**

*A mon défunt père*

*A ma mère*

*Pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

*A mes chères sœurs Noura ouisa et Cherifa, djahida, et Linda et leurs enfants, pour leurs encouragements Permanents, et leur soutien moral.*

*A mes chers frères, boualem, Djilali et Kamel, pour leur appui et leur encouragement.*

*A ramdane et Brahim.*

*A ma chère Samia.*

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours Universitaire.*

*A tous mes amis.*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible.*

*Ainsi qu'aux martyrs de la liberté.*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

*A mon père  
A ma mère*

*Pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs  
Prières tout au long de mes études*

*A mes chères sœurs Samia et nourelhouda amira rahma pour leurs  
encouragements permanents et leur soutien moral.*

*A mon cher petit frère, Younes, pour son appui et son encouragement.*

*A chihab eldin et Nabil.*

*A ma chère Sara.*

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours  
universitaire*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués et le fruit  
de votre soutien infailible.*

*Sans oublier mes amis en général.*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

*Ainsi qu'aux martyrs de la liberté.*

# Remerciements

*Dieu merci pour m'avoir donné la santé, la volonté et le courage sans lesquels ce travail n'aurait pas été réalisé.*

*Ce modeste travail s'est fait au laboratoire génie des procédés de l'université de Bouira en collaboration avec le laboratoire de L'ENAP.*

*En guise de reconnaissance, je tiens à témoigner mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de mon stage de fin d'étude et à l'élaboration de ce modeste travail.*

*Mes remerciements vont tout d'abord à toutes ma famille pour leur encouragement et spécialement à mon grand frère Boualem pour ses idées et son aide.*

*Mes sincères gratitudes à Mr Redha Kernani enseignant à l'université de Bouira pour son engagement et pour la qualité de son enseignement, ses conseils et son intérêt incontestable qu'il porte à notre travail.*

*Ma pensée va directement vers le professeur Lounici Hakim qui a veillé à ce que les étudiants réussissent leur travail de fin d'étude.*

*Je tiens à remercier l'ensemble du personnel de l'usine Mr Saadi Foudil en premier pour son aide ainsi qu'à Monsieur Fersadou chef de service au sein de l'ENAP pour leur patience, leurs conseils pleins de sens et pour le suivi et l'intérêt qu'ils ont portés à nos travaux.*

*Je tiens à remercier chaleureusement Samia Debbi qui m'a aidé à faire un travail remarquable en m'aidant à traduire ce qui 'il faut pour ma thèse.*

*Enfin, je n'oserais oublier de remercier tout le corps professoral de l'université Bouira pour le travail énorme qu'ils ont effectué pour nous créer les conditions les plus favorables pour le déroulement de nos études.*

*Dans l'impossibilité de citer tous les noms, nos sincères remerciements vont à tous ceux et celles, qui de près ou de loin, ont permis par leurs conseils et leurs compétences la réalisation de ce mémoire.*

# **Table des matières**

## Table des matières

	<b>TITRES</b>	<b>SYMBOLE ET NUMERO DE PAGE</b>
	Listes des figures	A
	Listes des tableaux	B
	Résumé	C
	Liste des aabréviations	D
	Introduction générale .....	1
	<b>Partie I : Etude bibliographique .....</b>	<b>6</b>
	<b>Chapitre I : Les rejets liquides et leurs impacts sur l'environnement, cas d'un effluent de peinture</b>	
<b>1.1.</b>	Introduction .....	6
<b>1.2.</b>	Définition des rejets liquide .....	6
<b>1.3.</b>	Les rejets liquides dans l'environnement .....	7
<b>I.3.1.</b>	Les lixiviats .....	7
<b>1.3.1.1</b>	Pollution par les matières organiques et minérales .....	7
<b>1.3.1.2</b>	Pollution par les métaux lourds .....	8
<b>1.3.1.3</b>	Pollution par les microorganismes .....	8
<b>1.3.2</b>	Les émulsions .....	8
<b>1.3.3.</b>	Les colorants .....	10
<b>1.3.4.</b>	Les rejets de l'industrie agroalimentaire .....	12
<b>1.4.</b>	Effluents de fabrication de peinture (EFP) ; pollution et caractéristiques .....	14
<b>1.4.1</b>	La Source des EFP .....	14
<b>1.4.2.</b>	Consommation d'eau .....	15
<b>1.4.3.</b>	Les rejets .....	15
<b>1.5</b>	Conclusion .....	18
	<b>Chapitre II: Les techniques d'épuration des EFP</b>	
<b>2.1.</b>	Introduction aux techniques d'épuration dans le cas EFP .....	19
<b>2.2.</b>	Technologie d'épuration des EFP .....	20
<b>2.2.1.</b>	Les méthodes principales les plus utilisés dans le traitement des (EFP).....	22
<b>2.2.2.</b>	Élimination des métaux lourds dans les effluents de peinture (EFP) .....	
<b>2.3</b>	Couts de quelques technologies épuratoires précédemment citées .....	25
<b>2.3.1</b>	Les techniques membranaires .....	25
<b>2.3.1.1</b>	Cas de l'osmose inverse.....	26
<b>2.3.1.2</b>	Cas de l'ultrafiltration et nano filtration.....	26
<b>2.3.1.3</b>	Cas de l'échangeuse d'ions.....	27
<b>2.3.1.4</b>	Electrocoagulation.....	28
<b>2.4.</b>	Coûts du traitement .....	29
<b>2.5.</b>	Les techniques émergentes.....	30
<b>2.6.</b>	Conclusion.....	31

## Table des matières

### Chapitre III: L'électrocoagulation

3.1.	Introduction.....	32
3.2.	Electrocoagulation.....	33
3.2.1.	Définition .....	33
3.3	Utilisation de l'électrocoagulation.....	34
3.4	Principe du procédé d'EC .....	35
3.5	Les réactions aux électrodes.....	36
3.5.1	Electrodes en aluminium.....	36
3.5.2	Electrodes en fer.....	38
3.6	Coagulation-floculation.....	40
3.7	Les différents types d'électrodes et connections électriques.....	41
3.7.1	Electrodes mono polaires.....	41
3.7.2	Electrodes bipolaires.....	43
3.8	Principe loi d'électrolyse .....	44
3.8.1	Loi de Faraday.....	44
3.8.2	Rendement faradique et rendement énergétique.....	45
3.8.3	Différentes expressions du rendement peuvent être utilisées.....	46
3.9	Facteurs influençant l'électrocoagulation.....	47
3.10	Nouveautés sur l'électrocoagulation.....	48
3.11	Aspect économique et environnementale.....	50
3.12	Comparaison.....	50
3.13	Avantages et inconvénients du procédé d'électrocoagulation.....	50
3.14	La consommation énergétique .....	52
3.15	Dose de coagulant.....	53
3.16	Optimisation.....	54
3.17	Conclusion.....	55

## Partie II : Etude expérimentale .....56

### Chapitre IV: Matériels et méthodes

4.1.	Matériels et méthodes .....	56
4.1.2	Présentation de l'unité de production de peinture (ENAP) .....	56
4.2.	Présentation du milieu récepteur.....	57
4.3.	Les maladies à transmissions hydriques enregistrées dans la Wilaya de Bouira..	58
4.4.	Conditions de prélèvement et de conditionnement.....	59
4.5.	Dispositif expérimental .....	59
4.6.	Réactifs.....	60
4.7.	Protocole expérimental .....	63
4.8.	Mesure des PARAMETRES (pH et T) .....	64
4.9.	Mesure de turbidité.....	64
4.10.	Mesure de la matière grasse .....	65

### Chapitre V : Résultats et discussion

5.1.	Résultats et discussion .....	67
5.1.1	Caractéristiques de l'effluent.....	67

## Table des matières

<b>5.2.</b>	Paramètres influençant le traitement .....	69
<b>5.2.1</b>	Influence de du temps sur le procédé d'électrocoagulation.....	69
<b>5.2.2</b>	Influence de l'intensité sur le procédé d'électrocoagulation.....	71
<b>5.2.3</b>	Influence du nombre d'électrode et de la distance inter électrode sur le procédé d'électrocoagulation .....	73
<b>5.2.4</b>	Couplage électrocoagulation/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (peroxi électrocoagulation) .....	75
<b>5.2.5</b>	Effet de la nature et la concentration de l'électrolyte (NaCl).....	78
<b>5.2.6</b>	Influence du pH sur le procédé d'électrocoagulation .....	80
<b>5.2.6.1</b>	Les mécanismes de formation et de la forme de l'aluminium dans l'eau .....	81
<b>5.3.</b>	Conclusion.....	84

<b>Conclusion Générale</b> .....	85
----------------------------------	----

<b>Références Bibliographiques</b> .....	88
--	----

## Annexes

# Liste des figures

Liste des figures

<b>N° FIGURE</b>	<b>Le titre</b>	<b>Page</b>
I.1	Les différents types des rejets liquides	<b>6</b>
I.2	Emulsion huile dans l'eau (a) et eau dans l'huile (b)	<b>9</b>
I.3	Exemples des groupes chromophores et auxochromes des colorants de Types azoïques et anthraquinones	<b>10</b>
I.4	Schéma représentant le process de fabrication des peintures et les points d'émissions	<b>16</b>
I.5	Schéma montrant les modifications ayant lieu au niveau d'une industrie de peinture	<b>17</b>
III.1	Diagramme de venn des principaux processus formant le procédé d'électrocoagulation	<b>34</b>
III.2	Principe du procédé d'électrocoagulation	<b>36</b>
III.3	Diagramme de prédominance de l'espèce aluminium en fonction du pH	<b>38</b>
III.4	Diagramme de Pourbaix du fer	<b>41</b>
III.5	Connexion en parallèle d'électrodes en mono polaires	<b>42</b>
III.6	Connexion en série d'électrodes en mono polaires	<b>43</b>
III.7	Connexion des électrodes en bipolaires	<b>45</b>
IV.1	Vue aérienne usine de l'usine de peinture lakhdharia	<b>57</b>
IV.2	Retenue d'eau (milieu récepteur)	<b>58</b>
IV.3	Schéma du dispositif expérimental du procédé électrochimique	<b>61</b>
IV.4	Dispositif expérimental du procédé électrochimique	<b>62</b>
IV.5	Vue du haut du dispositif expérimental du procédé électrochimique en plein fonctionnement	<b>62</b>

V.1	Effet du temps sur l'électrocoagulation	<b>70</b>
V.2	Effet du temps sur l'électrocoagulation	<b>71</b>
V.3	Variation de la turbidité et de la matière grasse en fct de l'intensité	<b>72</b>
V.4	Variation de la turbidité et de la matière grasse après filtration en fct de l'intensité	<b>73</b>
V.5	Variation de la turbidité avant et après filtration en fct du nombre d'électrodes	<b>74</b>
V.6	Variation de la turbidité avant et après filtration en fct du nombre d'électrodes	<b>74</b>
V.7 et V.8	Variation de la matière grasse et de la turbidité avant et après filtration en fct de la concentration en H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	<b>77</b>
V.9	Variation de la matière grasse avant et après filtration en fct de la concentration en NaCl	<b>79</b>
V.10	Variation de la turbidité avant et après filtration en fct de la concentration en NaCl	<b>80</b>
V.11	Variation de la turbidité et de la matière grasse avant et après filtration en fct du pH	<b>82</b>
V.12	Variation de la turbidité et de la matière grasse après filtration en fct du pH	<b>83</b>

# Liste des tableaux

## Liste des tableaux

<b>N° TABLEAU</b>	<b>TITRE</b>	<b>PAGE</b>
<b>I.1</b>	<b>Les caractéristiques principales des différents types de lixiviats</b>	<b>7</b>
<b>I.2</b>	<b>Valeurs moyennes des caractéristiques des rejets laitiers</b>	<b>12</b>
<b>I.3</b>	<b>La consommation de l'eau par les entreprises enquêtées (Année 2009) Production de l'entreprise consommation de l'eau M 3/an</b>	<b>13</b>
<b>I.4</b>	<b>Mode de traitement des eaux usées par les entreprises enquêtées</b>	<b>13</b>
<b>I.5</b>	<b>Les caractéristiques des effluents de peintures</b>	<b>15</b>
<b>II.1</b>	<b>Les méthodes principales les plus utilisés dans le cas d'un effluent de peinture</b>	<b>20</b>
<b>II.2</b>	<b>Rendement de diverses méthodes d'élimination des métaux lourds.</b>	<b>23</b>
<b>II.3</b>	<b>Rendement d'élimination des métaux lourds par la chaux – coagulation, décantation et neutralisation par CO<sub>2</sub></b>	<b>25</b>
<b>II.4</b>	<b>Les paramètres évalués pour le procédé d'électrocoagulation</b>	<b>29</b>
<b>II.5</b>	<b>Coût d'investissement en traitement dans le secteur des industries de peinture</b>	<b>30</b>
<b>III.1</b>	<b>Etude comparative du coût d'exploitation entre la CC et l'EC</b>	<b>53</b>
<b>IV.1</b>	<b>Les principales maladies à transmission hydriques dans la Wilaya de Bouira 1988-2008) Nombre des cas</b>	<b>58</b>
<b>V.4</b>	<b>Valeurs moyennes des paramètres physico- chimiques principale de la zone sud</b>	<b>67</b>
<b>V.2</b>	<b>Valeurs moyennes des paramètres physico- chimiques principale de la zone nord</b>	<b>68</b>



# Résumé

## Résumé

L'objectif de ce travail consiste en une étude de la faisabilité du traitement d'un effluent réel d'une industrie de peinture par le procédé d'électrocoagulation (EC), et de comparer les performances de celui-ci vis-à-vis des autres méthodes de traitement. Un échantillon réel d'eaux polluées d'une industrie de peinture locale a été utilisé dont le but d'éliminer les matières grasses et le taux de turbidité contenu dans cet effluent. On a procédé tout d'abord par la conception d'un réacteur (EC) avec du plexiglas, le tout posé sur un support en bois. On a opté pour un montage en mode bipolaire [ECB].

Pour se faire, les caractéristiques de l'effluent et les valeurs optimales sont prises en considération. Les valeurs optimales de ces paramètres sont fixées préalablement pour les essais entrepris : turbidité initiale de l'eau résiduaire, pH, le taux de matières grasses utilisées dans l'EC. Pour le suivi des paramètres de qualité de l'eau, la turbidité a été choisie en premier lieu parmi tant d'autres paramètres, car sa mesure est simple, rapide et fiable.

La turbidité nous renseigne sur le taux des particules en suspension, minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, dans une eau. Pour consolider le tout, nous avons opté pour un autre paramètre, à savoir les matières grasses, car elles nous renseignent aussi, autant que la turbidité, sur la pureté et la qualité de l'eau. Le contrôle des paramètres s'est fait avant et après le traitement.

Pour finir, nous avons opté pour un couplage de procédé par peroxy-électrocoagulation; la méthode repose sur l'ajout d'un agent oxydant, dans notre cas le peroxyde d'hydrogène, qui sera régénéré par voie électrochimique par effet de rémanence pour plus de performance en termes d'épuration, et cela dans les conditions optimales opératoires.

Les résultats expérimentaux montrent que l'électrocoagulation est très efficace, et est capable de réaliser un abattement en termes de turbidité et de matières grasses supérieur à 90%, et cela pour une densité du courant de 15mA/cm, et un temps de traitement de 60min. La consommation énergétique montre ainsi que l'électrocoagulation et le couplage peroxy-électrocoagulation restent très efficaces comparé aux procédés membranaires, pour ce genre d'effluents.

**Mots-clés:** Traitement des eaux- Effluent- Industrie de Peinture- Electrocoagulation.

## **Abstract:**

This study aims to define the treatment possibility of an effective paint industry effluent through the Electro coagulation process (EC); then, to further define its efficiency comparing to other treatment technologies. An effective sample of a local paint factory wastewater has been treated in order to purify it from fat content and turbidity concentration. Thus, we have first carried out a reactor (EC) made of Plexiglas, and placed on a wood support. We have chosen a design based on bipolar mode (BEC).

Effluent characteristics and its optimal values have been taken into consideration, as we have defined the optimal values of these parameters before carrying out the several tests: primary turbidity concentration of wastewater; pH, and fat content submitted to the Electro coagulation process. Turbidity has been selected as the main element in order to assess water quality parameters, since it remains easy, fast and reliable to measure.

Indeed, turbidity informs us about suspended particles concentration, either mineral or organic; living or detritic. In addition to this, we have selected another parameter: fat content, whose role is as important as turbidity, in order to be aware of water quality and purity level. These parameters have been assessed before and after the treatment.

Finally, we have selected a coupling process by Peroxi-Electrocoagulation (p-EC); this process consists in adding an oxidising agent, which is in our case, hydrogen peroxide, likely to be regenerated in an electrochemical way through persistence impact, as to guarantee a higher purification performance within operative and optimal conditions. The experimental results show that Electro coagulation process is very efficient, since it has been able to reduce more than 90% of turbidity and fat concentration; this, with a power density of 15mA/cm, corresponding to a treatment time of 60min. Thus, the power consumption shows here that Electro coagulation and Peroxi-Electrocoagulation remain very efficient with such kind of effluents, comparing to membrane technologies.

**Keywords:** Water treatment-Effluent- Paint industry- Electro coagulation.

---

## Nomenclature

DCO : Demande chimique en oxygène

DBO<sub>5</sub> : Demande biologique en oxygène après 5jours

COT : Carbone organique total

DBO : Demande biologique en oxygène

MES : Matières en suspensions

MVS : Matière volatile sèches

AGV\* : Acides gras volatils

DTO : Demande totale d'oxygène

CE : conductivité électrique

EC : Electrocoagulation

CC : coagulation-chimique

E<sub>Eq</sub> : Potentiel d'équilibre

E<sub>App</sub> : Tension mesurée aux bornes de l'électrolyseur

E° : Potentiel standard (Volt)

I : Intensité du courant imposé

R<sub>E</sub> : Rendement énergétique

R<sub>F</sub> : Rendement Faradique

R<sub>T</sub> : Rendement des tensions

F : Constante de Faraday

N: Nombre d'Avogadro

Al: Aluminium

Fe: Fer

EFP : effluents de peinture

UF : ultrafiltration

NF : nanofiltration

EFP : effluent de peinture

# **Introduction générale**

## Introduction générale

L'accès à l'eau dans le monde est un problème majeur, non résolu dans de nombreux pays, et souvent lié à la pauvreté. Malgré l'abondance de l'eau sur la planète, la quantité d'eau douce disponible en représente une infime proportion. La gestion et la protection des ressources en eau s'inscrit depuis une dizaine d'années dans les objectifs pour le millénaire.

L'eau reste difficile d'accès dans de nombreuses régions du monde vu sa rareté ; 97.5% du volume d'eau de la planète sont des eaux salées. 70% des 2.5% de l'eau douce restante sont gelées. L'eau douce disponible se réduit en fait à 40 000km<sup>3</sup> soit 6700m<sup>3</sup> par personne en moyenne exploitable par le biais de techniques économiques raisonnables.

Dans certaines zones (à l'instar de l'Afrique du Nord et Moyen Orient), le manque d'eau et l'importante population ont fait chuter ce ratio à 1 250m<sup>3</sup> par personne. C'est le stress hydrique (plancher en-dessous duquel le développement social et économique n'est pas possible).

L'eau se répartie d'une manière inégalée dans le monde : 12% de la population mondiale a moins de 2000m<sup>3</sup> par personne (70% des habitants du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord ; 25% des habitants de l'Afrique sub-saharienne - le Sahel par exemple-; 20% des Européens Ouest et Est -Belgique, Angleterre, etc...-, 5% des habitants de l'Asie de l'Est et de l'Amérique Latine). Six pays reçoivent uniquement la moitié de l'eau douce disponible (Brésil, Russie, Chine, Canada, Indonésie, Etats-Unis) tandis que certaines zones souffrent d'un stress hydrique(Californie Mexique, Côte Ouest de l'Amérique du Sud, Afrique, Proche et Moyen Orient, Asie centrale, Iran, Pakistan, Inde de l'Ouest, etc...).

La mauvaise qualité des eaux et la pollution ont provoqué 1.5 milliards de malades dans le monde. Des maladies comme la dysenterie cause 5 millions de morts par an selon l'OMS. Les trois dernières décennies ont été particulièrement calamiteuses pour l'eau (résurgence du choléra, fièvre, typhoïde, trachome...).

L'eau est donc, avec la famine, l'une des plus grandes plaies du siècle. Selon l'OMS, 80% des maladies du monde en développement seraient liées à la qualité de l'eau. Le manque d'accès à l'eau potable et à l'assainissement reste la première cause de mortalité mondiale. Le secteur de l'agriculture est le premier consommateur en eau ; il utilise plus de 70% des volumes d'eau douce. Vient ensuite l'industrie avec 22% d'utilisation et les 8% restants relèvent des usages domestiques (seulement 1.5%\* pour la boisson).Le nombre de mégapoles dépassant les 10 millions d'habitants, est d'une vingtaine aujourd'hui, et il va doubler d'ici 20 ans. L'approvisionnement des villes et le traitement des eaux usées s'accroissent ; le coût de l'eau augmente avec les infrastructures qui sont de plus en plus importantes, et où l'eau reste dans l'espace urbain et industriel sans être rejetée dans la nature. De ce fait, les gouvernements mondiaux ont commencé à reconnaître l'eau comme une ressource essentielle pour la santé, la prospérité et la paix mondiales. [1]

Si la pollution domestique des ressources est relativement maîtrisée ou définie, les rejets industriels sont, au contraire, caractérisés par leur très grande diversité suivant l'utilisation qui est faite de l'eau au cours du processus industriel. [1]

Les eaux industrielles lorsqu'elles sont biodégradables, sont en général traitées biologiquement, mais pour de nombreuses industries. Ceci est impossible notamment à cause de la non-biodégradabilité des polluants, de la toxicité envers les bactéries, de la variation importante de charge polluante au cours du temps, de la lenteur du traitement ou de la grande concentration du polluant (prétraitement, dilution). Cependant, les technologies de traitement des eaux industrielles doivent être en mesure de fonctionner sur une large gamme de polluants. De plus, les petites technologies et celles de traitement délocalisé sont souvent préférables à un traitement centralisé. Le traitement centralisé nécessite des réseaux de transport coûteux tant du point de vue de l'investissement que du fonctionnement. De plus, le mélange d'eaux de qualités différentes diminue la capacité de l'épuration de l'ensemble.

De même, les rejets industriels posent de gros problèmes de par leur diversité et leur composition. On peut dire ainsi que pour chaque catégorie d'effluents industriels, un traitement particulier doit être appliqué. Tandis que les peintures se composent généralement de pigments organiques et inorganiques et de colorants, d'allongeurs, épaississants cellulosiques et non cellulosiques, latex, agents émulsionnants, agents anti-moussants, conservateurs, solvants et agents de coalescence.

Les eaux usées de peintures sont générées principalement en raison des opérations de nettoyage des mélangeurs, des réacteurs, des machines d'emballage et des planchers. Ensuite, et dû au degré variable de produits chimiques utilisés, les eaux usées contiennent des concentrations appréciables de carbone, demande biologique d'oxygène (DBO) et demande chimique en oxygène (DCO), mais aussi des matières solides en suspension. Ainsi que les composés toxiques et colorants. Le rejet de ces eaux usées dans l'environnement entrave la pénétration de la lumière, endommage la qualité des flux de réception, ce qui engendre une toxicité élevée pour les organismes de la chaîne alimentaire et pour la vie aquatique. [2]

De nos jours, la stratégie nationale du développement durable en Algérie se matérialise particulièrement à travers un plan stratégique qui réunit trois dimensions à savoir : Sociale, Economique et Environnementale (MRE, 2012). Le réseau national d'assainissement totalise un linéaire de 27000 kilomètres. Le taux de recouvrement est, hors population éparse, de 85%. Le volume global des eaux usées rejetées annuellement est évalué à près de 600 millions de m<sup>3</sup>, dont 550 pour les seules agglomérations du nord.

Ce chiffre passerait à près de 1150 millions de m<sup>3</sup> à l'horizon 2020. La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficitaires en eau conventionnelle (MRE, 2012). Parmi les stations d'épuration exploitées par l'ONA (Office nationale d'assainissement) à travers les 43 wilayas (Départements), quelques-unes sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. A la fin 2011, le volume réutilisé est estimé à 17 millions de m<sup>3</sup>/an, afin d'irriguer plus de 10 000 hectares de

superficie agricoles (MRE, 2012). Le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles évoluera d'une manière significative d'environ 17 millions de m<sup>3</sup> en 2011 à environ 200 millions de m<sup>3</sup> en 2014, et le nombre de stations concernées sera de 25 stations d'épurations à l'horizon 2014 (MRE, 2012).

Les stations d'épurations gérées par l'ONA concernées par les projets de réutilisation des eaux usées épurées en cours d'étude ou de réalisation, sont au nombre de 12, pour l'irrigation de plus de 8 000 hectares de terres agricoles (MRE, 2012). Un plan d'action entre l'ONA et l'ONID (Office national d'irrigation et de drainage) est en cours d'étude, pour définir les possibilités réelles d'une éventuelle réutilisation des eaux usées épurées des stations d'épurations exploitées par l'ONA pour l'irrigation des grands périmètres d'irrigation (GPI) gérés par l'ONID au niveau des cinq (05) bassins hydrographiques à l'échelle nationale (MRE, 2012).

Ainsi, les petites installations locales de traitement des eaux sont nécessaires pour un grand nombre de pollutions industrielles. La coagulation chimique est l'une des techniques sans cesse fortement utilisées. Par contre, certains inconvénients sont induits par la présence de sels métalliques, l'acidification de l'eau traitée et la quantité importante de boues à disposer. Une alternative intéressante à ces procédés est l'électrocoagulation (EC) qui permet de former in situ un agent coagulant agissant directement sur l'eau brute, même si celle-ci est fortement chargée.

En Algérie, les eaux usées représenteront un volume très appréciable de près de 2 milliards de m<sup>3</sup>, si la demande en eau est totalement satisfaite à cet horizon. Un tel volume, une fois épuré, pour des considérations écologiques ou de protection des ressources en eau, sera très apprécié quant à son utilisation par l'agriculture ou l'industrie. La stratégie du Ministère des Ressources en Eau dans le domaine de l'épuration est basée sur la protection de la ressource hydrique, l'éradication des fosses septiques, le confort et le bien-être des citoyens, la protection du littoral conformément à la Convention de Barcelone et la réutilisation des eaux usées épurées, notamment à des fins agricoles. Actuellement, l'Algérie dispose de 134 stations d'épuration (STEP et lagunes) en fonctionnement avec une capacité installée estimée à 12 millions EQH (équivalent habitant) soit 800 hm<sup>3</sup>/an. La réutilisation des eaux usées épurées notamment à des fins agricoles est devenue l'un des axes principaux de la stratégie du secteur des ressources en eau en Algérie.

L'assainissement en Algérie a toujours fait partie des missions relevant du domaine de l'hydraulique et sa gestion est restée indissociable de celle de l'alimentation en eau potable. « *L'assainissement a été considéré comme le parent pauvre des investissements du secteur des ressources en eau* ».

Depuis l'indépendance, et durant les trois premières décennies, les systèmes d'assainissement hérités de la période coloniale étaient basés sur des égouts qui débouchaient sur les oueds pour finir en mer, engendrant ainsi la pollution des eaux et du littoral. Cette situation a changé à la suite de la création du Ministère des Ressources en eau, le 25 octobre 2000. En effet, la gestion de l'assainissement est dissociée de celle de l'alimentation en eau potable. La création d'une direction de la gestion de l'assainissement et de la protection de

l'environnement au sein de ce ministère s'est concrétisée par une meilleure prise en charge de l'assainissement. D'autant que les pouvoirs publics ont pris conscience de l'urgence qui devait être prise en considération, en matière de réalisation et de rénovation des réseaux d'assainissement et d'infrastructures d'épuration des eaux usées. [3]

Sur ce, plusieurs méthodes de traitement sont applicables en ce sens, à savoir les techniques d'adsorption comme le charbon actif, puis les techniques membranaires comme la nano et l'ultrafiltration...etc. Puis au final, les techniques des POA, sans oublier les couplages de procédés, ainsi que les traitements biologiques et les procédés électrochimiques, à savoir en premier lieu l'électrocoagulation, qui fera l'objet de notre recherche.

Il sera donc question dans le présent travail, d'évaluer l'efficacité du procédé d'électrocoagulation dans le cadre du traitement d'un effluent industriel : cas d'un effluent de peinture, en mettant l'accent sur les paramètres de turbidité et matières grasses.

L'électrocoagulation est un moyen simple qui permet de flocculer les matières en suspension contenues dans une solution. Elle est basée sur la dissolution électrochimique d'une anode pour générer in-situ le coagulant. Les anodes en aluminium et en fer sont les plus utilisées; elles présentent l'avantage d'être bon marché et disponible, surtout pour les pays en voie de développement. Plusieurs études menées et résultats ont déjà démontré l'efficacité de ce procédé à traiter ce genre d'effluent.

Afin d'atteindre les objectifs visés par la présente étude, nous avons divisé notre travail en deux parties, qui s'articuleront comme suit :

La première partie intitulée "**Etude bibliographique**" comportera trois chapitres : En **premier chapitre**, nous aborderons la question des rejets liquides en général et leur composition, spécialement les rejets de peinture et leur caractéristique, ainsi que leur source. Il sera ensuite question **en deuxième chapitre** des modalités de traitement de ces effluents de peinture, ainsi que les technologies qui ont été mises à disposition afin de traiter ce genre d'effluent, en mettant l'accent, en fin de chapitre, sur la méthode de l'électrocoagulation. Le **chapitre trois** sera ainsi consacré à l'exposé de cette méthode nouvelle, à savoir son principe de fonctionnement, ses domaines d'application, ses avantages et inconvénients, et en dernier lieu, une brève comparaison en termes de coût avec la coagulation chimique.

La deuxième partie intitulée "**Etude expérimentale**" comportera le **quatrième chapitre** dans lequel nous exposerons la méthode ou le protocole suivi en adoptant l'électrocoagulation comme procédé de traitement d'un effluent de peinture. Le **cinquième et dernier chapitre** servira de rapport et de mise en essai du procédé d'électrocoagulation en évaluant ses performances de traitement.

En conclusion, nous étalerons les divers résultats obtenus suite à notre expérimentation, ainsi que les difficultés rencontrées, ajouté à cela d'éventuelles perspectives susceptibles de constituer objet d'études.

## Références bibliographiques

[1] chapitre 3 Le problème de l'eau dans le monde, bilan à la lumière de la conférence de Mexico

[2] de H Djalal - 2008 <https://www.cairn.info/revue-management-et-avenir-2008-6-page-275.htm>

[3] HANNACHI A. 1, GHARZOULI R. 2, DJELLOULI Tabet Y.3 GESTION ET VALORISATION DES EAUX USEES EN ALGERIE Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°19, Septembre 2014, pp. 51-62 Larhyss/Journal n° 19, Septembre 2014

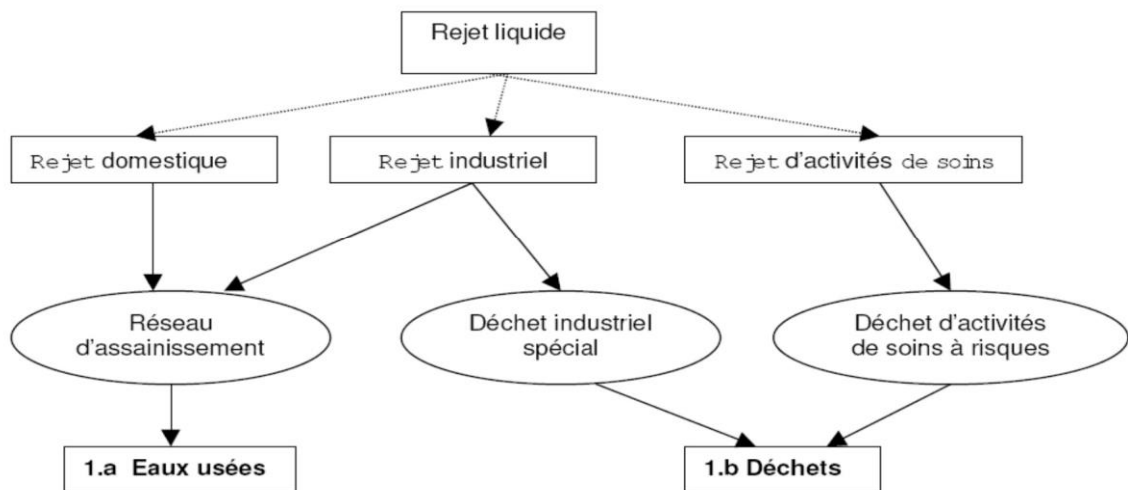
# Chapitre 1

## I.1. Introduction

Les polluants de l'eau à traiter ont diverses origines, ils peuvent être inorganiques ou organiques, certains sont facilement dégradables chimiquement ou biologiquement, d'autres sont récalcitrants aux méthodes de traitement classiques. En effet, le problème de la pollution, par exemple, par la matière organique devient de plus en plus critique ce pourquoi, il est très important de disposer d'outils capables de détecter la présence de polluants ou substances toxiques au sein des milieux aqueux, tels que : les écosystèmes aquatiques, l'eau des stations d'épuration, les effluents industriels, afin de pouvoir envisager d'éventuels traitements d'éliminations ou de dégradations ; et dans ces conditions, il est nécessaire de rechercher un mode de traitement adapté.

## I.2. Définition des rejets liquide

Dans le terme général, l'effluent désignant une eau résiduaire urbaine ou industrielle est plus généralement tout rejet liquide véhiculant une certaine charge polluante dissoute, colloïde ou particulaire. Les effluents recèlent des composants organiques ou chimiques nuisibles à l'environnement qui sont représentés dans le schéma suivant [1]



**Figure I.1.** Les différents types de rejets liquides

### I.3. Les rejets liquides dans l'environnement

#### I.3.1. Les lixiviats

Le lixiviat est défini comme étant l'eau qui percole à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et chimiquement de substances minérales et organiques c'est « le jus des poubelles ». La composition des déchets enfouis, leur degré de décomposition, leur taux d'humidité et l'âge de la décharge sont les principaux paramètres influençant la composition du lixiviat. La production massive de celui-ci engendre des risques de pollution des sols, des rivières et des nappes phréatiques, Il est donc nécessaire de le collecter et de le traiter avant son rejet dans le milieu naturel. [2]

. Nous présenterons dans le tableau I.1 les principales caractéristiques des différents types de lixiviats :

**Tableau I.1** : Les caractéristiques principales des différents types de lixiviats. [3]

	Lixiviats jeunes	Lixiviats intermédiaires	Lixiviats stabilisés
Age de la décharge	< 5 ans	5 – 10 ans	> 10 ans
PH	< 6,5	6,5 - 7,5	> 7,5
DCO (g l <sup>-1</sup> )	10 - 20	5 - 10	< 5
DBO <sub>5</sub> / DCO	> 0,5 Bonne	0,1 - 0,5	< 0,1
Biodégradabilité		Assez faible	Très faible
AGV* (% du COT)	> 70	5 - 30	< 5

AGV\* : acides gras volatils.

Ce type de rejet peut engendrer essentiellement trois types de pollution : pollution par les matières organiques et minérales, pollution par les métaux lourds et la pollution par les microorganismes. [3]

#### 1. Pollution par les matières organiques et minérales

La fraction minérale des lixiviats est essentiellement constituée de chlorures, sulfates, bicarbonates, potassium, sodium et ammonium. La partie organique est liée à l'âge des déchets. La matière organique peut se retrouver dans les eaux de surfaces et souterraines quand les conditions minimales d'enfouissement de déchets ne sont pas respectées.

Cependant, même si dans certaines les décharges on assiste à la mise en place des géo membranes, la durée de vie de ces matériaux est mal connue vu qu'ils sont soumis à l'agressivité chimique des lixiviats. Une éventuelle fuite dans ces membranes peut occasionner la contamination de la nappe. [3]

## 2. Pollution par les métaux lourds

La migration des métaux lourds dans les sols à partir de la décharge des déchets suite à la lixiviation et leur infiltration vers les eaux souterrainement en jeu, engendre un grand nombre de phénomènes : Solubilisation à pH acide, complexations par la matière organique de type humique, précipitation à pH basique, rétention des matières en suspension sur des particules de sol, adsorption des ions ou des molécules à la surface des grains de matrice poreuse, phénomène d'échange d'ions. [3]

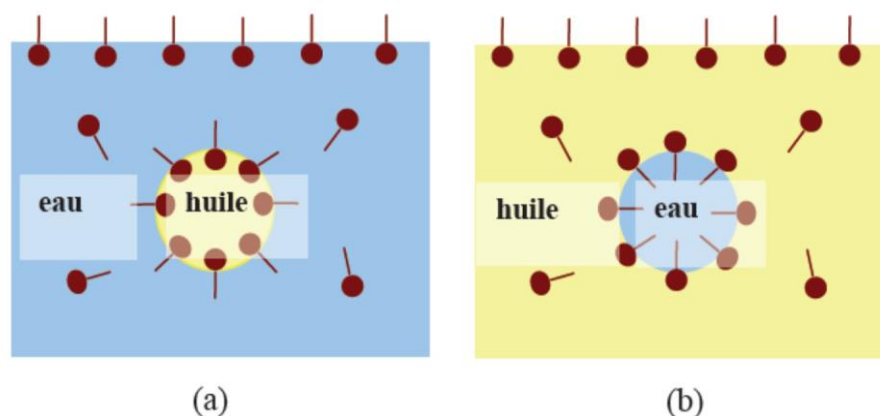
## 3. Pollution par les microorganismes

L'effectif bactérien dans le lixiviat brut oscille entre  $0,04 \cdot 10^6$  et  $0,34 \cdot 10^6$  bactéries  $\text{ml}^{-1}$  et la biomasse bactérienne varie entre 8,78 et 77,51  $\mu\text{g c l}^{-1}$  plusieurs maladies hydriques sont causées par la consommation des eaux contaminées par les lixiviats qui contiennent des microorganismes pathogènes. Durant la dernière décennie, les problèmes relatifs à l'eau sont devenus de plus en plus vastes, avec l'émergence de nouvelles maladies infectieuses et la réémergence d'autre qui sont déjà connues, (*salmonelle, choléra, shigellose*). [3]

D'après une étude toxicologique officielle conduite dans 56 décharges de déchets municipaux, 133 produits chimiques toxique dont 32 causent le cancer, 10 causent des malformations et 21 causes des endommagements génétiques, ont été mis en évidence et comparé à 72 produits dans les décharges de déchets industriels. [4]

### I.3.2. Les émulsions

Une émulsion est un cas particulier de colloïde. Les deux substances liquides en présence sont appelées les phases, une phase continue, l'autre phase discontinue est dispersée dans la première phase sous forme de petites gouttelettes. Les émulsions sont souvent composées d'une phase aqueuse, et d'une phase organique. Une émulsion huile dans l'eau (H/E) est composée d'une phase huileuse dispersée dans une phase aqueuse, il s'agit d'une émulsion "directe" une émulsion eau dans l'huile (E/H) est composé d'une phase aqueuse dispersée dans une phase huileuse. Une émulsion E/H est plus grasse au toucher car le toucher correspond majoritairement à la nature de la phase externe. Une telle émulsion est dite "inverse". [5]



**Figure I.2.** Les types d'émulsion (huile /eau) et (eau/huile)

Ci-dessous, est listé l'effet des émulsions sur l'environnement récepteur

Les huiles, en flottant sur la surface des eaux empêchent tout échange entre l'atmosphère et la vie aquatique, elles peuvent provoquer très rapidement des catastrophes écologiques. Ils peuvent en effet provoquer l'anéantissement de certaines espèces du milieu aquatique, ou pour le moins, de graves perturbations de l'écosystème. [6]

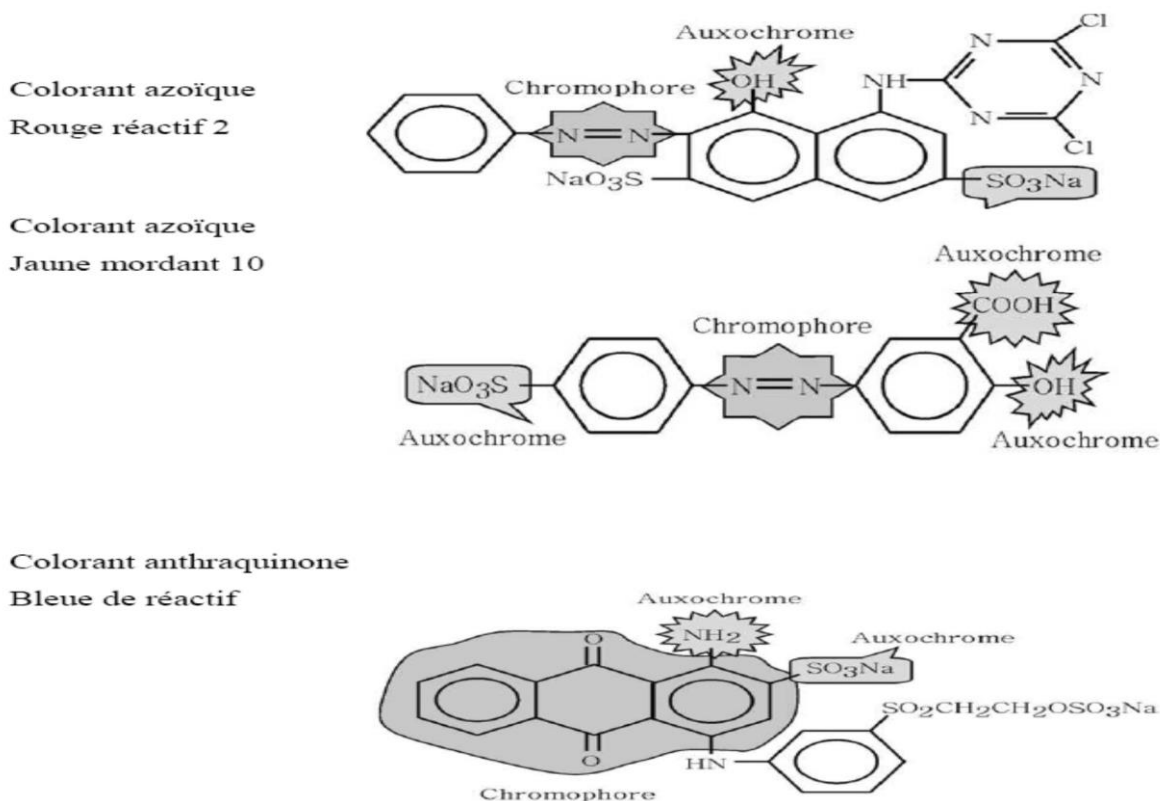
Le rejet direct constitue un danger pour l'environnement car ces effluents, très chargé en tensioactifs et en polluants organiques, présentent une DCO variant de 3 à 200 g /L [7]. De plus, du fait de leur grand pouvoir de pénétration dans le sol, ils constituent une menace très grave pour les nappes phréatiques.

Les développements importants des formulations ainsi que les préparations des émulsions synthétiques ou semi synthétiques compliquent d'avantage, le problème de l'épuration de ces effluents [8], pour cela les industriels doivent :

- Choisir des fluides de coupes non agressifs,
- Réduire aux maximums la consommation d'huile à la source,
- Prolonger les durées de vie des huiles,
- Les gérées rationnellement,
- Traiter les fluides avant leur rejet.

### I.3.3. Les colorants

D'une manière générale, les colorants consistent en un assemblage de groupes chromophores, aux chromes et de structures aromatiques conjuguées (cycles benzéniques, anthracène, pérylène, etc.). Lorsque le nombre de noyaux aromatiques augmente, la conjugaison des doubles liaisons s'accroît et le système conjugué s'élargit. L'énergie des liaisons  $\pi$  diminue tandis que l'activité des électrons  $\pi$  ou  $n$  augmente et produit un déplacement vers les grandes longueurs d'onde. De même, lorsqu'un groupe auxochrome donneur d'électrons (amino, hydroxy, alkoxy, etc.) est placé sur un système aromatique conjugué, ce groupe se joint à la conjugaison du système  $\pi$ , la molécule absorbe dans les grandes longueurs d'onde et donne des couleurs plus foncées. [9]



**Figure. I.3.** Exemples des groupes chromophores et auxochromes des colorants de types azoïques et anthraquinones. [9]

Le principal problème environnemental qui se pose dans l'industrie textile et l'industrie de peinture est celui des quantités d'eau rejetées et de leur charge chimique. Les autres questions importantes sont la consommation énergétique, les émissions dans l'atmosphère, les déchets

solides et les odeurs qui peuvent représenter des nuisances significatives dans certains traitements. Cependant, les émissions dans l'atmosphère sont habituellement captées à la source. Comme elles sont contrôlées depuis longtemps dans différents pays.

En revanche, les rejets liquides de ces industries persistent comme un sérieux problème dont les industriels doivent en prendre considération en raison des effets dramatique sur l'environnement dont les plus importants sont listés ci-dessous :

- **Sous oxygénation** : lorsque des charges importantes de matière organique sont apportées au milieu via des rejets ponctuels, les processus naturels de régulation ne peuvent plus compenser la consommation bactérienne d'oxygène [9]. Man ahan estime que la dégradation de 7 à 8 mg de matière organique par des micro-organismes suffit pour consommer l'oxygène contenu dans un litre d'eau. [10]
- **Couleur, turbidité, odeur** : l'accumulation des matières organique dans les cours d'eau induit l'apparition de mauvais goûts, prolifération bactérienne, odeurs pestilentielle et colorations anormales. Willmott et al [11] ont évalué qu'une coloration pouvait être perçue par l'œil humain à partir de  $5 \cdot 10^{-6}$  g/ L. En dehors de l'aspect inesthétique, les agents colorants ont la capacité d'interférer avec la transmission de la lumière dans l'eau, bloquant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques.
- **La persistance** : les colorants organiques synthétiques sont des composés impossibles à épurer par dégradations biologique naturelle. [12] Cette persistance est due principalement à leur réactivité chimique :
  - Les aromatiques sont plus persistantes que les alcanes,
  - Les composés saturés sont plus persistants que les insaturés,
  - La persistance des aromatiques augmente avec le nombre de substituant,
  - Les substituant halogènes augmentent plus la persistance des colorants que les groupements alkyles.
- **Bio – accumulation** : Si un organisme ne dispose pas de mécanismes spécifiques, soit pour empêche la résorption d'une substance telle qu'un colorant, soit pour l'éliminer une fois qu'elle est absorbée, alors cette substance s'accumule. Les espèces qui se trouvent à l'extrémité supérieure de la chaîne alimentaire, y compris l'homme, se

retrouvent exposées à des teneurs en substances toxiques pouvant être jusqu'à mille fois plus élevées que les concentrations initiales dans l'eau. [13]

- **Cancer** : Si la plupart des colorants ne sont pas toxiques directement, une portion significative de leur métabolite. [14] Leur effets mutagènes, tératogènes ou cancérogènes apparaissent après dégradation de la molécule initiale en sous-produits d'oxydation : amine cancérogène pour les azoïques, et leuco-dérivé pour les triphénylméthanes. [15]

### I.3.4. Les rejets de l'industrie agroalimentaire

Les effluents globaux de l'industrie agroalimentaire sont principalement constitués des eaux de pré-rinçage, inter-rinçage et rinçage des opérations de nettoyage en place. Les indicateurs qui permettent d'évaluer si un effluent peut être considéré comme polluant sont récapitulés dans le Tableau I.2

**Tableau I.2.** Valeurs moyennes des caractéristiques des rejets agroalimentaires, cas des rejets des laitières. [16]

Paramètres	Unités	Valeurs Moyennes	Valeurs Maximales	Normes Algériennes
Couleur	/	Blanche	/	/
Température	°C	25	30	30
pH	/	6	3 - 11	6,5 – 8,5
MES	mg/l	587		30
DBO <sub>5</sub>	mg/l	2460	4800	40
DCO	mg/l	4270	7500	120
DCO/DBO <sub>5</sub>	/	1,73		
Graisses	mg/l	120		
N Total	mg/l	150		40
N (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/l	8,47		
N (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	20.45		
P total	mg/l	90		2
(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	21		

Les caractéristiques physicochimiques révèlent que ces effluents présentent deux caractéristiques principales, la première est sa richesse en matière organique facilement biodégradable. Les variations plus ou moins élevées de débit, de température, de pH et de charge polluante représentent la deuxième caractéristique.

### En général

Les activités économiques, notamment l'activité des entreprises industrielles utilisent des quantités considérables est parfois très importante d'eau (tableau 1.3). La consommation des entreprises enquêtées est de 453 231 m<sup>3</sup>/an. Cette valeur représente la moyenne annuelle de la consommation de plus de 647 familles composées de cinq personnes, si on prend que la moyenne de la consommation d'une famille est de 700 m<sup>3</sup>/an. Cela confirme la nécessité de réutiliser les eaux usées par les entreprises pour préserver les ressources hydriques En conséquence, les rejets des eaux usées par les entreprises industrielles déversés sans traitement dans les oueds sont fortement chargés en polluants, ce qui pose le problème des risques sanitaires et engendrent des situations, parfois difficiles par le fait qu'ils créent des foyers propices au développement de certaines maladies épidémiques à cause de la contamination de certains points d'eau situés à proximité de la zone des rejets industriels.[17]

**Tableau I.3.** La consommation de l'eau par les entreprises enquêtées (Année 2009)  
Production de l'entreprise consommation de l'eau M<sup>3</sup>/an. [17]

Types d'activité industrielle	Consommation d'eau en m <sup>3</sup>
Ciment	282 797
Peinture	19 000
Détergent	53 080
Carrelage	7 200
Gaz industriel	70 000
Polystyrène	2 600

Plâtre

1 000

Ci-dessous, sont récapitulés les modes de traitement et d'élimination des rejets industriels

**Tableau I.4 : Mode de traitement des eaux usées par les entreprises enquêtées [17]**

Rejets	Effectif	%
Station d'épuration interne	6	54.4
Rejet dans le milieu naturel sans traitement	2	18,2
Fosse sceptique	3	27.3
Total	11	100

#### **I.4. Effluents de fabrication de peinture (EFP); pollution et caractéristiques**

Les effluents de fabrication de peinture (EFP) contiennent des composés extrêmement toxiques ainsi que des composés bio réfractaires et récalcitrants, en général les effluents de peinture sont alcalins et contiennent des concentrations appréciables du carbone (demande biologique en oxygène (DBO) et de demande chimique en oxygène (DCO), les matières en suspension, les solides, les composés toxiques et sulfate coloré et du poly aluminium de chlorite. [18] Ceux-ci nuisent à la vie aquatique, à la faune et peuvent également contaminer la chaîne alimentaire s'ils sont répandus par les eaux de pluie. Par ailleurs, les effluents de peinture présentent un danger pour la santé humaine puisqu'ils peuvent irriter les yeux, la peau, les poumons, comme ils peuvent également engendrer des troubles respiratoires, les faiblesses musculaires, affectations du foie et des reins. Ces effluents doivent être traités avant leur rejet, ceci suite à des restrictions légales en zones industrielles, en matière de protection de l'environnement. [19]

Ces effluents proviennent principalement des opérations de nettoyage des mélangeurs, des réacteurs, des machines d'emballage et des planchers, et au degré variable des produits chimiques utilisés.

##### **I.4.1 la Source des EFP**

La pollution peut être due à un mauvais fonctionnement ou à une mauvaise gestion, elles peuvent être dues à des processus internes, à des fluctuations saisonnières, à un manque de contrôle. Cet effluent non traité pourrait représenter un problème de pollution de l'eau si elle ne

respecte pas les lois environnementales pertinentes. Les polluants majeurs de l'industrie de peinture sont des solides en suspension qui peuvent être considérablement réduits par l'application efficace de méthodes de traitement classiques pratiquées dans l'industrie des métaux lourds.

La plupart des déchets de nettoyage proviennent du nettoyage de l'équipement utilisé pour la fabrication de peintures à base d'eau. Les plus fréquemment nettoyés sont les machines de remplissage, les teintures et les diluants et les mélangeurs. Les autres sources d'eaux usées générés lors des opérations de nettoyage comprennent le lavage du matériel utilisé pour la préparation de peintures à base de solvant, de résines et d'autres produits. Les équipements utilisés pour réparer ces produits sont fréquemment nettoyé avec des solvants. Lorsque l'eau est utilisée c'est souvent comme une solution caustique qui nécessite un traitement ultérieur (neutralisation) avant la décharge [20]. Les indicateurs qui permettent d'évaluer si un effluent peut être considéré comme polluant sont récapitulés dans le Tableau I.5

**Tableau I.5. Caractéristiques des effluents de peintures [20].**

Paramètres	PH	D.O.B mg/L	D.C.O mg/L	TSS mg/L	TDS mg/L	S.S mg/L	Couleur Pt/Co	Huile et graisse mg/L
Peinture à base de solvants	7.7	66	221	39	353	-	15	28
Peinture à base d'eau	7.7	3000	5930	1485	1659	-	Hors norme	402
Encre d'imprimerie	7.1	220	680	123	403	0.5	40	168
Résines	7.4	615	1344	218	790	3	55	89

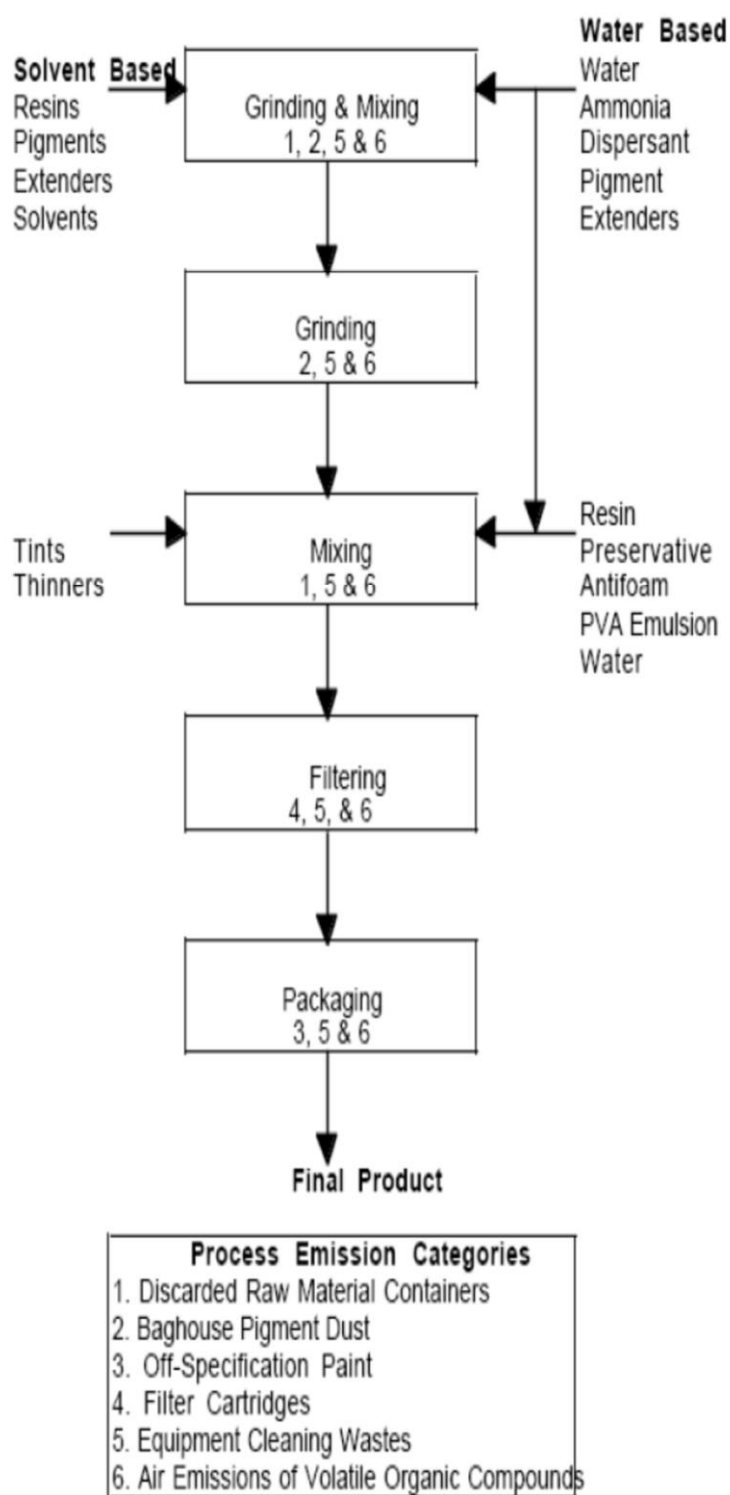
#### **I.4.2. Consommation d'eau**

Les industries de production des peintures utilisent principalement l'eau comme composant à intégrer dans le processus et dans les produits, comme moyen de refroidissement, de condensation et de production de vapeur. [21]

#### **I.4.3. Les rejets**

Les nuisances liées à la fabrication de peinture proviennent surtout des composés organiques volatils (COV). Cela est dû à la nature des constituants (liant, solvant...). La figure ci-après reprend le procédé de fabrication en indiquant pour chaque étape les sources d'émission.

**[21]**



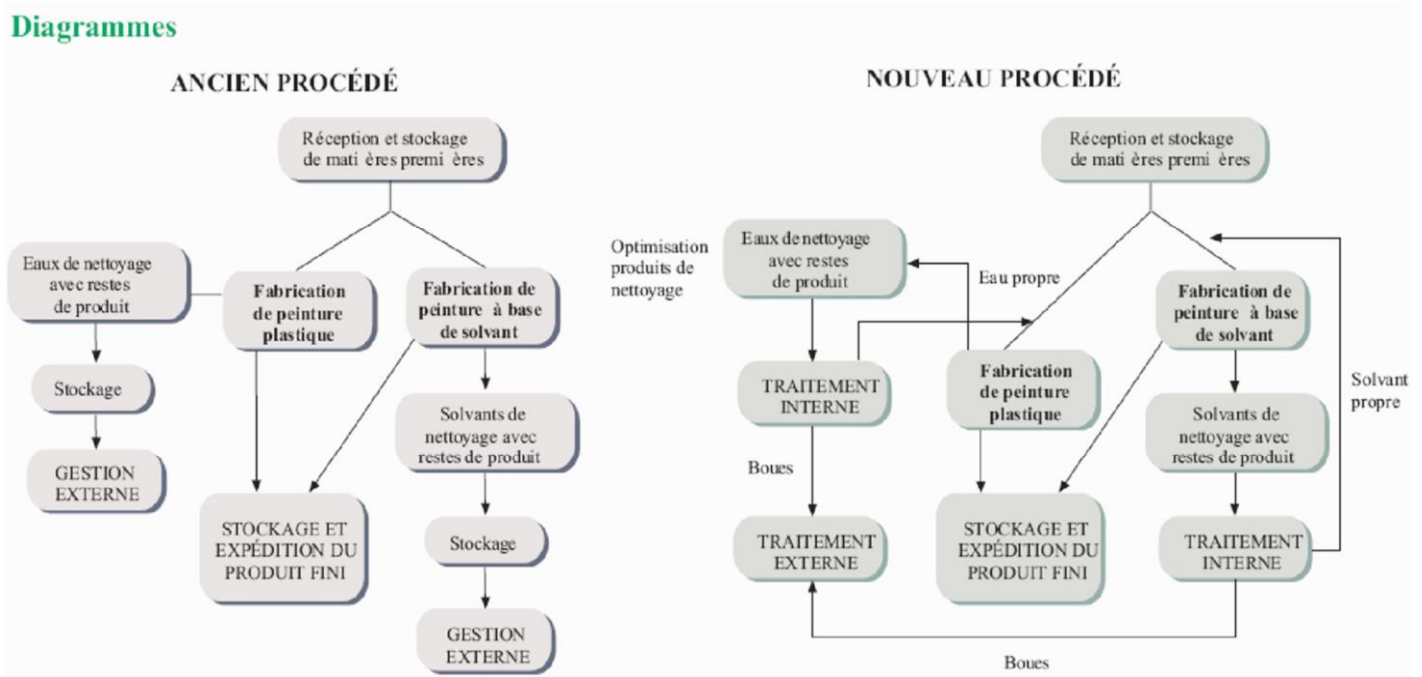
**Figure I.5.** Etapes du procédé et sources d'émission de polluants de la fabrication des peintures.

[21]

Dans la plupart des plans, le mélange et le broyage des matières premières sont réalisés en une étape de production. Les pigments et une partie du liant et de la base liquide ou l'agent mouillant est mélangé dans une pâte d'une consistance spécifiée. Cette pâte est alimentée à un broyeur ou mélangeur à grande vitesse qui disperse les pigments (en cassant la particule des agrégats, plutôt que par réduction de la taille des particules). [21]

Dans le cadre du procédé de production des peintures plastiques et de vernis, les flux de déchets générés lors de l'étape de nettoyage contiennent des restes de pigments et de résines (solvant sale et eau sale). Ces déchets de nettoyage (eaux et solvants) devraient être traités par un service externe comme déchets industriels liquides. Le schéma ci-dessous représente les modifications des opérations de fabrication de peinture afin d'éviter les gaspillages et les la pollution , Dans le cas du solvant sale, un pourcentage de ce produit déjà distillé était rendu à l'entreprise et réutilisé dans les opérations de nettoyage L'entreprise a optimisé les opérations de nettoyage en mettant en œuvre un certain nombre d'actions dont l'objectif consistait à pouvoir réutiliser non seulement l'eau mais également le solvant employé dans le cadre de ces opérations.[22]

**Figure I.6.** Schéma montrant les modifications ayant lieu au niveau d'une industrie de peinture [22].



## 1.5 Conclusion

Les effluents de peinture contiennent de forte teneur en polluants qui sont récalcitrants et ne peuvent pas être éliminés par un simple traitement. Leur composition démontre que pour parvenir à diminuer leur teneur ou du moins avoir la norme de rejets les concernant on doit employer des méthodes plus performantes avec un fort taux de rabattement de DCO, DBO et COT et matières en suspension.

Et comme perspectives, toutes usines se doivent d'éviter la fabrication des composés azoïques toxiques et d'y remédier par des substituants moins toxiques et facilement plus dégradables. La sensibilisation et la prévention contre le gaspillage en mettant des capteurs signalant des fuites, optimiser les procédés de fabrication de peinture comme dans le cas du lavage et rinçage d'équipement il se fait par régénération du solvant avant son rejet définitif.

# Chapitre 2

## **II.1. Introduction aux techniques d'épuration dans le cas d'un effluent d'industrie de peinture**

Les entreprises d'effluents de la fabrication de la peinture (EFP) contiennent des composés toxiques et des composés bio réfractaires organiques tels que la DCO, DBO et COT. Cela nuit aux poissons, à la faune et à la contamination de la chaîne alimentaire s'ils sont directement versés dans le milieu naturel. Les eaux usées de peinture ont également des effets néfastes sur les occupants d'une industrie, et sur la santé humaine. Si utilisé dans des zones fermées, ses composants chimiques peuvent irriter les yeux, la peau et les poumons et causer des maux de tête et des nausées. Il peut également contribuer à des problèmes respiratoires, la fatigue musculaire, le foie et dommages aux reins. L'EFP doit être nécessaire pour se décharger après le traitement en raison de restrictions légales dans la zone industrielle organisée et la préservation de l'environnement. [1]

Il existe de nombreuses techniques différentes pour éliminer la DCO, la COT et la couleur des eaux usées industrielles telles que la biodégradation, l'adsorption, la Filtration par membrane, coagulation-floculation, processus d'oxydation avancés tels que l'ozone, le photochimique, le Fenton, l'électrochimie. [2-8]

Il est clair qu'il n'existe pas encore de procédé unique d'épuration et que dans l'arsenal des méthodes envisageables, une combinaison de plusieurs procédés mécaniques, physiques, biologiques et chimiques, est souvent indispensable pour des raisons liées à la nature différente des polluants et a des besoins spécifiques, rejet, réutilisation ou valorisation de l'effluent. [9]

Au cours de ces vingt dernières années, il y a eu un développement important de système innovants utilisés dans les traitements et les stations d'épuration aussi bien dans les procédés que dans les infrastructures, en particulier l'arrivée des biotechnologies a été un réel bouleversement à tel point que la biodégradation est devenue la méthode de choix à l'échelle industrielle pour la dépollution des eaux usées en traitement secondaire. [9]

## II.2. Technologie d'épuration des EFP

Les procédés qui ont été appliqués pour traiter les effluents industriels comprennent la neutralisation, la floculation, la coagulation, la décantation, adsorption de carbone, détoxification des composés organiques par oxydation par l'utilisation des systèmes ultraviolets ou des solutions de peroxyde, et par traitement biologique. Le carbone épuisé des processus d'adsorption peut être renvoyés pour la régénération ou la combustion. L'osmose inverse, l'ultrafiltration, et d'autres techniques de filtration sont utilisées pour récupérer et concentrer les intermédiaires de processus de fabrication de peinture. Un réacteur diphasique destiné à la biodégradation des COV représente aussi une bonne alternative pour le traitement des effluents. [10]

Cependant, pour les EFP, plusieurs méthodes ou procédés ont été appliqués pour traiter ces effluents. Le tableau ci-dessous reprend les méthodes principales les plus utilisés :

### II.2.1. Les méthodes principales les plus utilisés dans le traitement des effluents d'industrie de peinture. [11]

Le tableau II.1 ci-dessous reprend les méthodes principales les plus utilisés. [11]

Technique	Principe	Avantages	Application
Ultrafiltration	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technique membranaire de séparation soluté/solvant</li> <li>• Membranes utilisées : minérales ou organiques</li> <li>• Principe de séparation : tamisage Forces de transfert : gradient de pression</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Economie d'eau et de produits chimiques - Facilite le recyclage ou la réutilisation de l'eau -Etc</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Récupération et recyclage de peintures</li> <li>• Régénération des bains de peinture par électrophorèse</li> <li>• Traitement d'effluents d'encollage et de teinture de l'industrie Textile, - Etc</li> </ul>
Nanofiltration	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtration tangentielle avec un transfert de Matière à travers la membrane dû à un gradient De pression pouvant varier de 10 à 40 bars.</li> <li>• Membranes utilisées : microporeuses organiques</li> <li>• Principe de séparation : tamisage et sorption-diffusion</li> <li>• Forces de transfert : gradient de pression</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonctionne à pressions inférieures à celles de l'osmose-inverse</li> <li>• Sélectivité de séparation spécifique pour les ions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traitement des effluents (Contenant des molécules organiques) dans l'industrie du papier, du bois, de la teinture, du textile...</li> <li>• Fabrication d'eaux de procédés</li> </ul>

Pervaporation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procédé de séparation des constituants d'un mélange liquide, par Vaporisation partielle au travers d'une membrane Dense présentant une affinité préférentielle pour l'un des constituants.</li> <li>• Membranes utilisées : denses et organiques</li> <li>• Principe de séparation : sorption - diffusion - désorption</li> <li>• Forces de transfert : gradient d'activité chimique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La simplicité de conduite et de contrôle</li> <li>• La reproductibilité et fiabilité des performances</li> <li>• La faible Consommation d'énergie etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Séparation des solvants organiques Contenus dans l'eau, pour la récupération et recyclage des eaux qui contiennent des solvants</li> <li>• Séparation et recyclage des solvants contenus dans l'eau procédant de cabines de peinture, ayant subi au préalable une Floculation visant à séparer les solides contenus</li> </ul>
Electrocoagulation [12]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procédé de traitement par voie électrochimique</li> <li>• Utilisation d'une électrode en alun ou fer</li> </ul> <p>Corrosion et dissolution contrôlée des électrode</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le procédé d'électrocoagulation ne nécessite pas l'ajout de substances chimiques</li> <li>• L'électrocoagulation nécessite peu de maintenance</li> <li>• Moins chère que la plupart des autres technologies, avec en plus des résultats conséquents et sûrs.</li> <li>• Utilisation de l'électrocoagulation permet de réduire le traitement. Aussi,</li> <li>• Ce procédé Donne la possibilité d'automatisation.</li> <li>• Elle permet d'éliminer des virus et des bactéries et aussi les matières les moins biodégradables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eaux synthétiques Contenant du chrome</li> <li>• Eaux usées de Manufacture de Cigarettes, plus eaux Domestiques</li> <li>• Eaux usées domestiques avec Effluents industriels</li> <li>• Effluents textiles Effluent textile Synthétique</li> <li>• Emulsions eau/huile</li> </ul>

### II.2.2 Élimination des métaux lourds dans les effluents de peinture (EFP)

Dans le globe terrestre, on trouve 94 éléments naturels que le système périodique a classé de l'hydrogène (nombre atomique = 1) au plutonium (nombre atomique = 94), de point de vue chimique, 71 éléments sont des métaux ; parmi eux, une soixantaine sont considérés comme métaux lourds.

Les métaux lourds sont donc des composants indispensables de notre terre et de tout ce qui s'y développe. Ils sont présents partout, mais leurs concentrations peuvent varier, ils peuvent aller de quelques dizaines de grammes par kilo (exemple le fer) à une fraction de picogramme par kilo (platine, iridium).

Dans la nature, certains métaux se présentent sous forme brute ou libre, mais généralement, ils sont connus comme minéraux, le plus souvent dans des liaisons insolubles avec l'oxygène, les silicates, carbonates, sulfures, phosphates...etc.

La pollution par les métaux lourds se fait par deux voies, les apports naturels proviennent de l'érosion naturelle des sols caractérisés par leur niveau géochimique, ils s'y ajoutent l'érosion des sols agricoles déjà contaminés par les retombées atmosphériques, l'autre voie est : les apports anthropiques qui proviennent des activités urbaines et industrielles et par l'utilisation des fertilisants dans l'agriculture [13]

Les métaux lourds en termes d'Oligo éléments sont nécessaires à la vie, Par contre, quelques métaux sont toxiques pour les organismes vivants (Homme, animaux, plantes, microbes) c'est-à-dire dangereux pour leur survie. En plus de leur grande toxicité, certains de ces métaux s'accumulent fortement dans les organismes vivants, et de ce fait, se retrouveront dans la chaîne alimentaire, on parlera de bioaccumulation. [14]

Du coup les industriels sont dans l'obligation de traiter ce genre d'effluent contaminé par ces derniers Les techniques de traitements des métaux lourds sont nombreuses beaucoup de progrès ont été fait dans ce contexte.

Parmi ces techniques, on peut citer les procédés de précipitation chimique, la floculation, l'échange d'ion, l'électrolyse, les procédés membranaires et l'adsorption. Mais Ces techniques sont très coûteuses ce qui rend leurs utilisations limitées. [15-24]

Les technologies existantes pour l'élimination des métaux lourds des eaux résiduaires Industrielles sont utilisées selon la zone et les couts. Si ces métaux lourds sont présents sous forme de composés Inorganiques, ils sont Généralement éliminés sous forme de précipite par addition de chaux ou de soude caustique. L'élimination des ions de métaux lourds polluant les effluents peut aussi se faire par l'échange d'ions ; on utilise alors la soude caustique plutôt que

la chaux pour accroître la sélectivité de la Résine. Certains ions et certains composés organiques métalliques peuvent également être éliminés par adsorption sur charbon actif ; on fait parfois aussi appel à l'osmose inverse. [25]

**Tableau II.2. Rendement de diverses méthodes d'élimination des métaux lourds.**  
Source : Chemical Engineering, 1988, vol. 95, n°16, p76. Cite dans Commission Economique [25]

Métal	Techniques et Méthodes	Extraction
Zinc	Précipitation par la chaux (pH 10) + filtration	>99%
Arsenic	Précipitation par chaux, alun ou fer	>90%
	Aluminium activé	>95%
	Echange d'ions ou osmose inverse	<90%
Baryum	Précipitation par la chaux, pH 11	<95%
	Echange d'ions	>90%
	Osmose inverse	>95%
Cadmium	Précipitation par la chaux	>90%
	Echange d'ions ou osmose inverse	>90%
Chrome III	Précipitation par la chaux	98%
	Echange d'ions	90%-98%
	Coagulation par le fer ou l'alun	<90%
CHROME VI	Osmose inverse	>90%
	Coagulation par le fer	>90%
	Echange d'ions	<90%
Cuivre	Osmose inverse	>90%
	Précipitation par la chaux	>90%
	Echange d'ions	<95%

	Osmose inverse	>95%
Plomb	Coagulation par l'alun	>50%
	Coagulation par le fer ou l'alun	>95%
	Précipitation par la chaux	>97%
Mercure	Echange d'ions ou osmose inverse	<95%
	Précipitation par la chaux (PH>10,5)	<90%
	Charbon actif active	<95%
Nickel	Osmose inverse	<85%
Sélénium	Précipitation par chaux -filtration	88%-98%
	Précipitation par la chaux	<50%
	Coagulation par le fer	<80%
	Aluminium active	>95%
	Osmose inverse	75%-99%

**Tableau II.3** Rendement d'élimination des métaux lourds par la chaux – coagulation, décantation et neutralisation par CO<sub>2</sub> [26]

Métal	Eaux usées (mg/l)	Effluent (mg/l)	Rendement %
Ag	0.24-1.51	0.01-0.02	96-99
As	7.00-8.40	0.20-0.30	96-97
Ba	0.36-1.08	0.04-0.14	87-89
Cd	0.54-5.78	0.01-0.19	95-99
Co	0.42-1.29	0.04-0.09	90-96
Cr6+	0.45-1.40	0.30-1.25	11-33
Cu	0.60-1.47	0.04-0.23	84-93
Hg	3.26-4.45	0.29-0.61	86-91
Mn	1.37-2.26	0.01-0.02	99
Ni	0.75-1.36	0.11-0.20	85
Pb	0.41-1.21	0.04-0.05	90-96
Zn	7.34-9.61	0.12-0.18	97-99

## II.3 Coûts de quelques technologies épuratoires précédemment citées

### II.3.1 LES TECHNIQUES MEMBRANAIRES

Le coût du module membranaire est proportionnel à sa capacité, alors que des économies d'échelle peuvent être réalisées par rapport au coût de l'équipement restant. Il en suit que les systèmes à grande capacité se caractérisent par des coûts d'équipement globaux relativement faibles. Cette tendance, cependant, devient insignifiante avec de grands systèmes (plus de 9092,18 m<sup>3</sup>/j), car le coût du module membranaire représente la plus grande partie du coût global de l'unité. Comme le montre ce chiffre, les coûts d'équipement varient entre 0,4 US \$ et 0,8 US \$ par m<sup>3</sup>. [27]

À l'exclusion de la main-d'œuvre, les éléments essentiels de coût du process et maintenance sont principalement des produits de remplacement de la membrane, des produits chimiques et de la Puissance. Ces coûts sont proportionnels à la capacité de la station, mais ils ne varient pas grandement, et donc des économies d'échelle peuvent être atteintes on parle de 18927,059 m<sup>3</sup>/j. Pour les très grandes stations d'épuration, avec une capacité supérieure à 113652,25 m<sup>3</sup> / j, les coûts de maintenance et de process coutent environ 0,1-0,15 \$ US pour 3,785 m<sup>3</sup> d'eau produite. [28]

#### II.3.1.1 Cas de l'osmose inverse

Les processus de l'osmose inverse sont de gros consommateurs de puissance. Un système d'osmose inverse composite à couche unique et à couche mince avec une efficacité de la pompe de 78 % et une efficacité moteur de 93 % nécessite 4 kWh pour 3,78541 m<sup>3</sup> de produit de l'eau, tandis qu'un système d'osmose inverse à double passage consomme 8 kWh pour 3,78541 m<sup>3</sup> d'eau produite. La consommation d'énergie dépend de la qualité de l'eau de source. L'eau de mer, par exemple, consommera environ 25-30 kWh pour 3,78541 m<sup>3</sup> d'eau de produit. Ceci est attribuable au fait que le système doit fonctionner à des pressions plus élevées avec des taux de récupération plus faibles. [28]

Ajouter à cela que les couts de maintenance représentent 6 à 10 % du cout total de la production de l'eau. Le cout est estime a durée de vie de 3 à 5 ans. À titre d'exemple, le prix

d'un film mince de 8 x 40 pouces avec module composite est d'environ 1 200 \$ US, Le même module de membrane, mais pour l'eau de mer, coûte environ US \$ 1,700. [28]

### II.3.1.2 Cas de l'ultrafiltration et nanofiltration

Les usines NF et UF de plus grande capacité deviennent économiquement viables, selon un récent sondage sur 74 de ces usines dans le monde. Le coût de l'unité de traitement variait entre 0,5 \$ US par 3,785 m<sup>3</sup> pour les stations avec des capacités supérieures à 22730,45 m<sup>3</sup>, et 2,5 dollars EU par 3,785 m<sup>3</sup> pour les unités d'une capacité de 45,4609 m<sup>3</sup>. Les coûts unitaires du système membranaire semblaient être similaires pour l'UF et la NF.

En ce qui concerne le coût en capital des installations, y compris le coût du système de membrane en plus du coût de tous autres équipements de procédé, l'enquête a conclu que des économies d'échelle étaient possibles et que tant l'UF que les NF ont été caractérisés par des coûts unitaires de capital de stations similaires pour les stations à petite échelle (moins de 4546,09 m<sup>3</sup>)., les stations UF semblent avoir des coûts inférieurs aux usines de NF, en raison de leur faible consommation d'énergie et de leurs coûts de remplacement des membranes Enfin, le coût en capital a été amorti sur une période de 20 ans avec un taux d'intérêt de 7%.

En outre, l'effet de l'augmentation de la capacité sur le coût de la station a été étudié, tout comme les effets du prétraitement avec NF, UF et les Système de traitement conventionnels. [29]

Les Coûts par rapport aux conditions d'exploitation, ont été estimés pour différentes fréquences de nettoyage et divers flux de perméat et de récupération. Des flux de perméat supérieurs et des taux de récupération inférieur ont été associés à une membrane pour les coûts du cycle de vie. Pour une installation de 227304,5 m<sup>3</sup> qui opère à un flux de 0,0378 m<sup>3</sup>, par exemple, les coûts ont diminué de 0,278 \$ US / m<sup>3</sup> à 0,181 \$ US / m<sup>3</sup> lorsque les taux de recouvrement sont passés de 30 à 75%. De même, lorsque le taux de récupération a été fixé à 75% et le flux a été doublé de 0,0378 à 0,0757 m<sup>3</sup>, les coûts ont diminué de 0,81 \$ US / m<sup>3</sup> à 0,152 \$ US / m<sup>3</sup>. Cette réduction s'est produite malgré le fait que la fréquence de nettoyage a quintuplé. [30]

### II.3.1.3 Cas de l'échangeuse d'ions

Le coût des équipements d'une unité échangeuse d'ions varie considérablement, selon la norme à laquelle les unités sont construites selon le ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Les unités échangeuses d'ions sont habituellement Chères. Elles sont garnies de caoutchouc naturel. Elles sont entièrement automatisées et ont une durée de vie utile de 20 à 30 ans. Systèmes moins coûteux - coûtant un tiers en moins qu'un élément haut de gamme –leur durée de vie varie de cinq à dix ans, et peut nécessiter des remplacements des composantes pendant cette période. Ils sont généralement constitués de récipients en fibre de verre et de vannes en PVC, avec des capteurs électroniques.

Pour les estimations de l'ordre de grandeur d'une unité, la règle empirique est de multiplier le coût de la résine utilisée dans une station échangeuse d'ions par Sept. Par exemple, un système qui a  $2,83168 \text{ m}^3$  de résine d'acide cationique (coût 45 US \$ /  $\text{m}^3$ ) et un autre de  $2,83168 \text{ m}^3$  de résine de base anionique (prix 160 US \$ /  $\text{m}^3$ ) devraient coûter environ  $7 \times (4500 + 16000) = 140000$  US \$.

Le coût de l'installation de l'équipement est estimé à 30 % du coût de l'équipement, tandis que le coût total de la centrale peut fluctuer autour de 250 % du coût de l'équipement. Les coûts énergétiques représentent environ 3 à 5% d'opération de maintenance. Les produits chimiques représentent La plus grande partie des coûts des opérations de maintenance. [31]

### II.3.1.4 Electrocoagulation. [32]

Le cout opérationnel de l'électrocoagulation , de la consommation de l'Energie et la consommation des électrodes sont des paramètres économique très importants dans le processus d'électrocoagulation elles sont prises en considération dans le calcul du cout de fonctionnement, soit en \$ par litre d'eau traitée ou \$ par quantité d'ions fluorures éliminés .Les autres couts tels que la main d'œuvre ,l'entretien ,déshydrations des boues et autres dispositions sont supposées fixes et ne sont pas incluses dans les calculs .

$$\text{Cout opérationnel} = aC_{\text{energie}} + bC_{\text{electrode}}$$

Ou  $C_{\text{energie}}$  et  $C_{\text{electrode}}$  sont la consommation par quantités d'ions fluorures éliminés ou par  $\text{m}^3$  d'eau traitée, lesquels sont obtenus expérimentalement. Les variables **a** et **b** sont obtenus du prix du marché algérien de décembre 2006, et il est comme suit :

-a : prix de l'énergie électrique 0.0247 US \$/KWh,

-b : prix du matériel de l'électrode 0.3 US \$ /KG pour l'aluminium

**Tableau II.4 Les paramètres évalués pour le procédé d'électrocoagulation**

<b>C(KWh/m<sup>3</sup>)</b>	<b>0.5</b>
<b>M<sub>EXP</sub> (g)</b>	<b>0.214</b>
<b>M<sub>theo</sub> (g)</b>	<b>0.201</b>
<b>Φ (%)</b>	<b>106</b>
<b>Cout opératoire (US \$ /m<sup>3</sup>)</b>	<b>0.065</b>

#### **II.4. Coûts du traitement. [33]**

L'indicateur physique économique est le débit à traiter en  $\text{m}^3/\text{h}$ . Les coûts de référence sont ainsi exprimés par une fourchette de coûts en k€ HT par classe de débit à traiter.

Les coûts de référence correspondent à des coûts d'investissement par tranche de débit d'eau polluée à traiter. Dans certains cas, des coûts de fonctionnement sont également indiqués. Les coûts de référence sont estimatifs. Ils s'entendent hors taxes et hors honoraires. Ils ne prennent pas en compte les fournitures et travaux nécessaires pour le cheminement de l'alimentation électrique, l'air comprimé, l'eau ou toute autre utilité des installations projetées. Ils ne comprennent pas non plus les connections d'instrumentation, d'automatismes ou de report d'information, ni la voirie, la clôture, ou d'autres éléments d'ordre architectural ou paysager. Les coûts sont présentés par type de traitement sur la base des volumes et des charges observés lors de la campagne d'inventaire réalisée lors de la première phase de l'étude.

**Tableau II.5 Cout d'investissement en traitement dans le secteur des industries de peinture [33]**

Secteur industriel	Débit (m <sup>3</sup> /j)			Traitement préconise	Investissement (k€)
	Min	Max	Moy		
Peinture	4	162	57	Résines échangeuse d'ions	60-80
				Charbon actif	12-15
				Osmose inverse	190-200

## II.5 Les techniques émergentes [33]

Elles sont issues des programmes de recherche et de développement et il n'y a pas de recul nécessaire pour les dimensionnées Les fiabilisées. Nous pouvons citer à titre d'exemple le traitement du mercure par les Calixarènes en milieu aqueux. Bien que nous ayons cité un certain nombre de Techniques de ce type. Nous avons ainsi pu dresser en (annexe1) un tableau récapitulatif des traitements Envisageables pour chaque substance en distinguant les traitements de base (ou prérequis) des Traitements de finition.

## II.6 Conclusion

Il existe plusieurs méthodes et technologie d'épuration des effluents industrielles et spécifiquement les effluents d'industrie de peinture. Cependant on a pris l'exemple d'en citer quelques-unes d'entre elles telles que l'ultrafiltration, nanofiltration et la pervaporation ainsi que leur principes et avantages.

Il faut toutefois noter que de nouvelles techniques voient le jour. Si aujourd'hui on a peu de recul et qu'à notre connaissance elles ne sont pas encore au stade de la commercialisation, les coûts des traitements disponibles peuvent rendre ces techniques compétitives dans l'avenir. Nous citons par exemple l'oxydation par voie humide qui peut offrir des perspectives intéressantes à long terme.

Parmi les méthodes d'épuration des effluents émergentes on a choisi le procédé d'électrocoagulation comme méthode de traitement afin d'étudier la faisabilité de ce procédé à traiter un tel effluent. Sa faisabilité réside dans la capacité à atteindre des taux d'abattement satisfaisants et de comparer celui-ci aux autres méthodes de traitement et cela en termes d'efficacité, du cout et du temps.

# Chapitre 3

### III.1 Introduction

Le premier document rapportant l'utilisation de l'EC pour le traitement des effluents est un brevet américain déposé en 1880 par Webster qui utilisait des électrodes en fer.

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 dépose un nouveau brevet sur ce procédé : les anodes étaient alors constituées par des 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 étaient deux fois plus élevé que celui d'un traitement classique

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

Se base sur les résultats de Stuart et réalise une comparaison économique des deux procédés. Il estime que pour les installations de petites tailles, l'électrocoagulation peut s'avérer plus compétitive que les procédés classiques. Les recherches se sont poursuivies sur les effluents de caractéristiques très différentes : s'intéresse à la possibilité de traiter les eaux de surface pour la production d'eau potable alors il propose un traitement des eaux usées en éliminant les phosphates par (EC).

L'électrocoagulation (EC) est une technique de traitement des eaux polluées qui a montré son efficacité dans le traitement de certains polluants solubles ou colloïdaux, tels que rencontrés dans des rejets liquides contenant des métaux lourds, des émulsions et des suspensions. L'eau comportant des nitrates, des fluorures, du plomb, peut être traité par ce procédé. [1]

. L'électrocoagulation est particulièrement intéressante pour les effluents très fortement chargés en pollution organique, jusqu'à 200 g/L, les effluents colorés et ceux contenant des métaux lourds. Elle est donc aussi particulièrement intéressante sur les sites industriels composés de petites unités indépendantes et dont les effluents sont mélangés.

Le traitement de ces effluents industriels, pouvant contenir une pollution complexe, organique, minérale et colorée de composition et de débit variables dans le temps, nécessite un prétraitement robuste avant d'être acheminés vers une station de traitement biologique classique. [2]

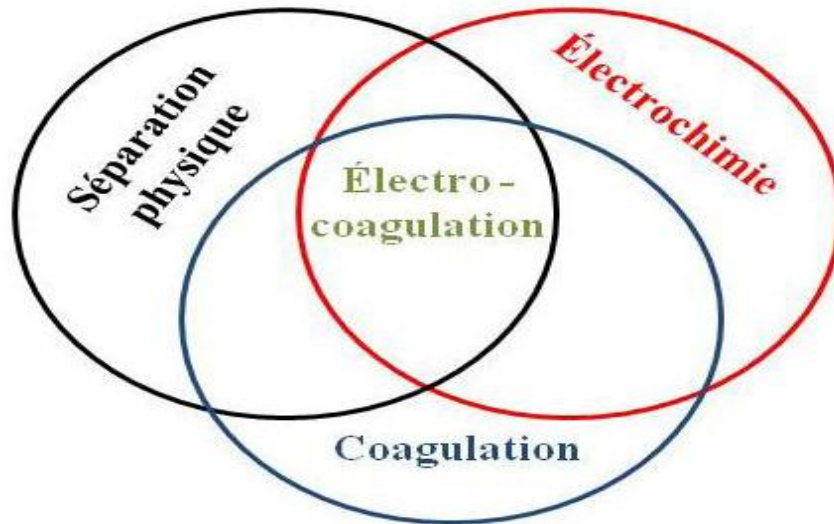
## **III.2 Electrocoagulation**

### **III.2.1 Définition**

C'est un procédé électrochimique d'oxydation indirect dans lequel un réactif redox dissous existe ou est généré à partir de la phase de l'électrode dans le but de participer à la réaction de coagulation. Durant le phénomène de la coagulation, le coagulant est en général ajouté sous forme de substances chimique adéquates. Lors du procédé d'électrocoagulation, le coagulant est généré in situ par oxydation électrolytique d'une anode solide appropriée. [3]

L'électrocoagulation (**EC**) est un procédé qui résulte de l'interaction de trois technologies fondamentales qui sont : l'électrochimie, la coagulation et la flottation (**figure III.1**) [4]. Elle se réfère à la production électrochimique d'agents destabilisants qui provoquent la neutralisation de la charge en vue de la réduction des polluants. [5] La destabilisation des colloïdes se fait sous l'action du champ électrique induit entre les électrodes et par l'action des composés coagulants produits par oxydation de l'anode.

Ces composés sont chargés électriquement, destabilisent le système colloïdal dans lequel des particules Solides sont initialement présentes et forment des flocs de particules qui peuvent être facilement séparables par flottation ou par la décantation. La flottation généralement est améliorée par la formation des bulles de gaz durant l'électrolyse du solvant (eau). [6]



**Figure III.1 :** Diagramme de venn des principaux processus formant le procédé d'électrocoagulation. [7]

### III.3 : Utilisation de l'électrocoagulation [8]

✓ L'EC a été largement appliquée avec succès par différents auteurs pour le traitement d'effluent de natures diverses, et notamment en Algérie. Ainsi, (*Mammeri N. et.al*) ont étudié l'élimination des ions fluorures dans les eaux du Sud Algérien par électrocoagulation (type bipolaire) en utilisant des électrodes en aluminium, Ils sont arrivés à diminuer la concentration en fluorures de  $6.0 \text{ mg. l}^{-1}$  à moins de  $0.8 \text{ mg. l}^{-1}$  avec un taux d'élimination de fluor est de 90%.

✓ L'EC à été utilisée pour l'élimination des nitrates et des phosphates retrouvés dans les eaux de surfaces, surtout dans les Zones où l'agriculture est la principale industrie, ces eaux sont responsables d'un problème majeur qui est le phénomène de l'eutrophisation.

✓ Le traitement de l'eau polluée par les rejets d'une industrie de raffinage mécanique et chimique, caractérisée par une teneur élevée en matières en suspensions, une DCO supérieure à  $500 \text{ mg l}^{-1}$ , une concentration en cuivre de l'ordre de  $100 \text{ mg l}^{-1}$ , a permis d'atteindre 99% d'élimination du cuivre et 75% de DCO en utilisant des électrodes en fer et en aluminium respectivement.

✓ Le procédé d'EC a été utilisé pour le traitement des solutions colorées telles que le bleu de méthylène et jaune éosine.

✓ Des chercheurs thaïlandais ont isolé des produits naturels à partir des plantes par EC ; celle-ci donne des résultats meilleurs que, l'extraction par solvants où des solvants organiques toxiques utiliser en grandes quantités et qui peuvent engendrer éventuellement d'autres contaminations.

✓ M. Kobya et al ont traité par EC des rejets d'usine du traitement des pommes de terre très chargés en composés organique incluant des carbohydrates, de l'amidon, des protéines, des vitamines, des pectines et des sucres qui sont responsables d'une grande partie de la charge caractériser par la DCO, DBO et de matières en suspension

✓ Les résultats obtenus suite à l'élimination de la lignine et du phénol des effluents de papeteries par EC ont prouvé que celle-ci peut être une alternative efficace pour le traitement de ce genre d'effluents.

✓ Hosny (1996) a démontré que l'ajout de NaCl à une émulsion (huile/eau) diminue la consommation d'énergie pendant le processus d'électro flottation par une augmentation de la conductivité de la solution à traiter.

✓ Aoudj A. et al. ; Martinez-huitle C.A. et al. Ont appliqué le procédé d'EC pour le traitement des eaux usées contenant des colorants textiles industriels.

✓ Essadki AH, Gourich B. et. al ont procédé à la comparaison entre les procédés d'électrocoagulation/ flottation et un réacteur agité à lit fluidisé externe appliquer à la défloration de l'eau potable.

✓ Yahoui O. et. al. Ont traités des eaux usées de l'usine l'huile d'olive par la combinaison d'ultrafiltration électrochimique et de procédé bipolaire.

- ✓ Zongo, I. et al. Ont traités deux Effluents textiles et un effluent Simulé de Tannerie par électrocoagulation. Le traitement de la couleur a permis d'avoir jusqu'à 93 à 99% d'abattement pour tous les effluents indépendamment de la densité de courant.

### III.4 Principe du procédé d'EC [8]

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) immergée dans un électrolyte contenu dans un réacteur pour générer, in situ, des ions ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ), susceptibles de produire un agent coagulant en solution et de provoquer une coagulation-floculation des polluants que l'on souhaite éliminer. L'électrolyse peut également coaguler les composés solubles oxydables ou réductibles contenus dans l'effluent. Le champ électrique crée un mouvement d'ions et de particules chargées. Cette action permet de rassembler les matières en suspension sous forme de floccs qu'on élimine ensuite par un procédé physique classique (décantation, flottation, filtration).

La figure (II.2), présente le principe du procédé avec des électrodes constituées de divers métaux communément utilisés sont le fer et l'aluminium. Les anodes et les cathodes utilisées peuvent avoir différentes configurations. Elles peuvent se présenter sous forme de plaques, de boules, de sphères à lit fluidisé, de fil de tige et de tube. L'EC consomme de l'énergie électrique essentiellement pour dissoudre l'anode sacrifiée [9].

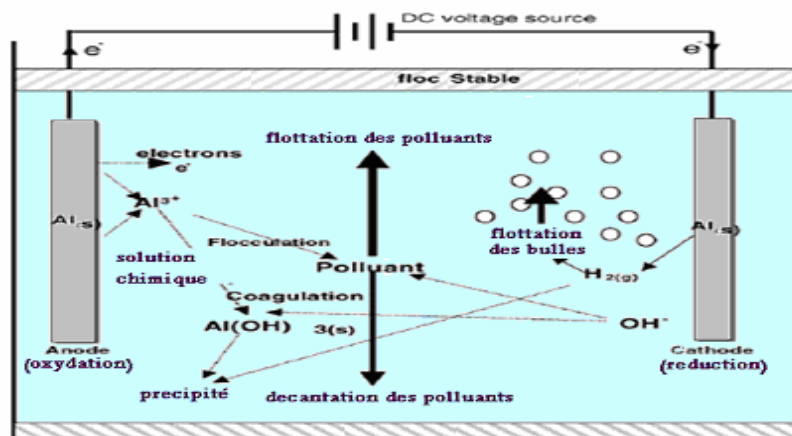


Figure III .2 : Principe du procédé d'électrocoagulation [9]

### III.5 Les réactions aux électrodes [9]

#### III.5.1 Electrodes en aluminium

Dans le cas de l'aluminium les principales réactions qui ont lieu sont :

**A l'anode** : lieu d'oxydation. Le métal passe de l'état solide à l'état ionique selon la réaction (II.1).



Si le potentiel positif est très important il peut y avoir formation d'oxygène selon la réaction (II.2).



**A la cathode** : lieu de réduction. Les réactions pouvant avoir lieu sont :



Ces réactions dépendent du pH de milieu (neutre ou basique), l'hydrogène est produit selon la réaction (II.3), alors qu'en milieu acide l'équation (II.4) décrit mieux l'évolution de l'hydrogène à la cathode.

Les ions 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.

- Les mono complexes :  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^{+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_4^{-}$ .
- Les poly complexes :  $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$ ,  $\text{Al}_2(\text{OH})_3^{3+}$ ,  $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$ ,  $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$ .
- Les espèces amorphes et très peu solubles telles que  $\text{Al}(\text{OH})_3$  et  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

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

La figure (III.3) : représente le diagramme de prédominance des espèces aluminium en fonction du pH. A partir de ce diagramme, on remarque que :

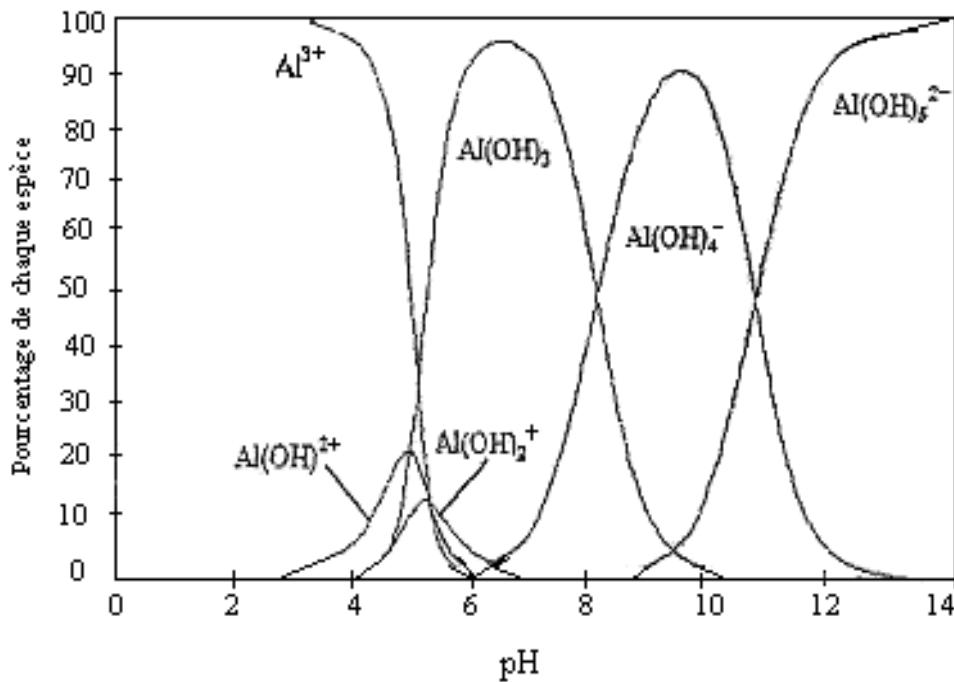


Figure III.3 : Diagramme de prédominance de l'espèce aluminium en fonction du pH

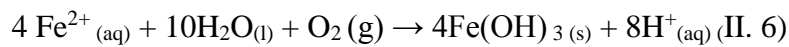
- A  $pH < 3$ , l'aluminium est principalement sous la forme trivalente  $Al^{3+}$ , cette forme de monomère devient négligeable en milieu moins acide ( $pH > 6$ ).
- La forme ionique  $Al(OH)^{2+}$  apparaît vers pH de l'ordre de 3 pour atteindre un maximum de concentration (20% de l'aluminium présents) vers un pH égal à 5.
- Dans la zone de pH comprise entre 5 et 8, l'espèce la plus répandue en solution est l'hydroxyde d'aluminium  $Al(OH)_3$  avec un maximum de 95% vers  $pH=6,5$ . Il existe également les cations  $Al(OH)^{2+}$  et  $Al(OH)_2^+$ .
- L'ion  $Al(OH)_4^-$  commence à se former vers un  $pH=6$  et atteint son maximum de 90% de l'aluminium présent dans la solution vers un pH de 9,5, le reste de l'aluminium étant sous la forme d'hydroxyde d'aluminium  $Al(OH)_3$  et de  $Al(OH)_5^{2-}$ .
- En milieu alcalin ( $pH > 11$ ), on trouve deux complexes anioniques  $Al(OH)_4^-$  et  $Al(OH)_5^{2-}$  qui deviennent majoritaires à  $pH > 12$ .

### III.5.2 Electrodes en fer

L'oxydation du fer dans un système électrolytique produit l'hydroxyde de fer,  $\text{Fe}(\text{OH})_n$ , où  $n=2$  ou  $3$ . Selon Mollah et al., Deux mécanismes peuvent être procédés pour décrire les réactions d'électrolyse aux électrodes.

#### ➤ Mécanisme 1

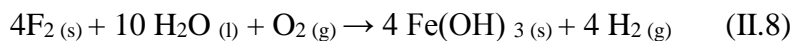
##### Anode :



##### Cathode:

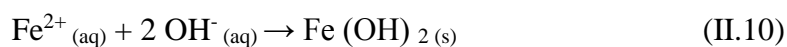


Autre:



#### ➤ Mecanisme 2

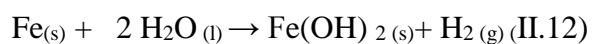
##### Anode



##### Cathode



Autre:



Le  $\text{Fe}(\text{OH})_n$  formé reste dans la phase aqueuse comme suspension gélatineuse, qui peut éliminer les polluants de l'eau usagée par la complexation ou par attraction électrostatique suivie de coagulation. De même que l'aluminium, les ions ferriques produits par oxydation électrochimique d'électrode de Fer peuvent former des espèces monomériques tel que  $[\text{Fe}(\text{OH})_6^{3+}, \text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}_2^+, \text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4\text{OH}_2^{2+}, \text{Fe}(\text{OH})_3$  et  $\text{Fe}(\text{OH})_4^-]$  et des espèces polymériques  $[\text{Fe}_2(\text{H}_2\text{O})_9\text{OH}_4^{2+}, \text{Fe}_2(\text{H}_2\text{O})_6\text{OH}_4^{2+}]$  Selon le pH du milieu aqueux dans le procédé de l'EC.

Les complexes (c-à-d produits d'hydrolyse) ont une tendance prononcée pour polymériser à pH 3.5 – 7.0. Dans des conditions très acides (pH < 2.0),  $\text{Fe}(\text{OH})_6^{3+}$  reste en solution, mais comme le pH ou la concentration de coagulant augmente, l'hydrolyse du fer se produit pour former  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

Pourbaix [10] a déterminé, à l'aide d'un diagramme potentiel- pH du fer (**Figure III.4**) pour une concentration en fer dissout de  $10^{-2}$  mol.  $\text{L}^{-1}$ , le domaine de stabilité d'espèces générées par les réactions électrochimiques entre les métaux et l'eau. Pourbaix a supposé que, dans l'eau, les espèces prédominantes issues du fer ( $\text{Fe}_{(s)}$ ) sont :  $\text{Fe}^{2+}_{(aq)}$ ,  $\text{Fe}^{3+}_{(aq)}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_{2(s)}$  et  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

D'après ce diagramme, on distingue trois Zones :

- La Zone de stabilité thermodynamique du métal dite d'immunité.
- La Zone de corrosion où il y a une attaque du métal avec formation d'ions (libres ou complexe).
- La Zone de passivation où la surface du métal se recouvre d'une couche d'hydroxydes de fer en absence d'agitation.

Les ions  $\text{Fe}^{2+}_{(aq)}$ , et  $\text{Fe}^{3+}_{(aq)}$ , n'existent qu'à pH acide. A pH basique, ils s'hydrolysent pour former les hydroxydes de fer  $\text{Fe}(\text{OH})_{2(s)}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$ , insolubles (constante de solubilité à 20°C :  $K_s(\text{Fe}(\text{OH})_2(s)) \approx 1.6 \cdot 10^{-14}$  et  $K_s(\text{Fe}(\text{OH})_3(s)) \approx 10^{-36}$ ).

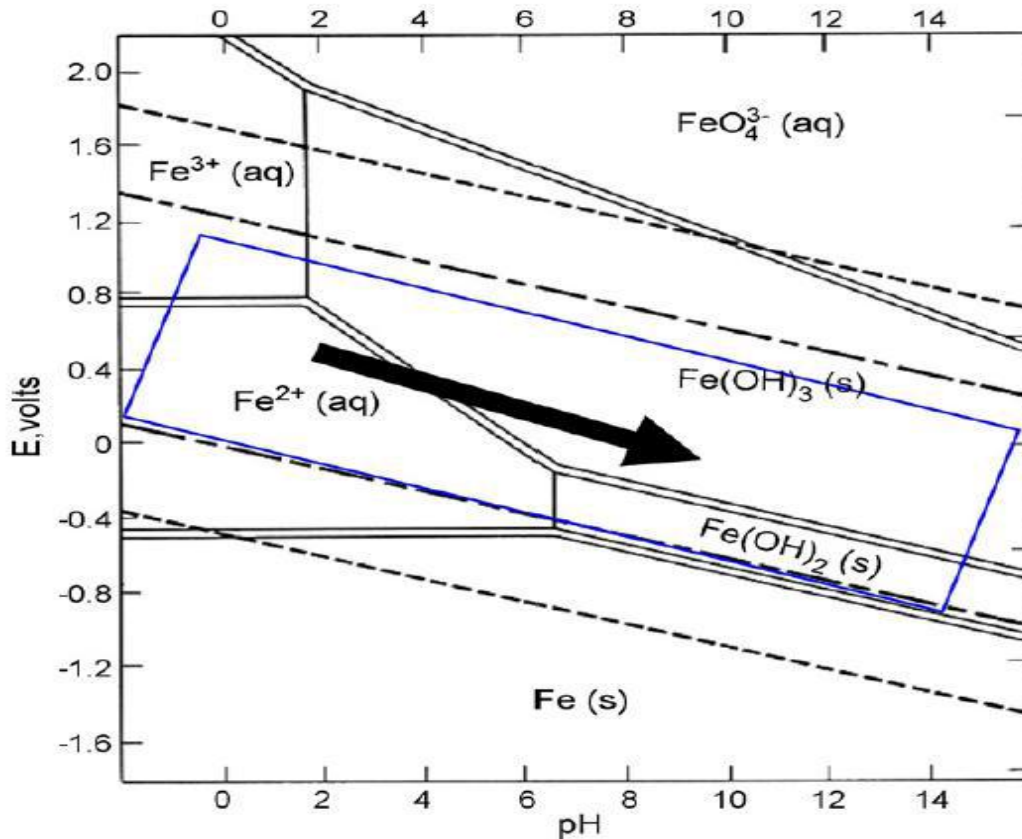


Figure III.4 : Diagramme de Pourbaix du fer [10].

### III.6 Coagulation-floculation

La coagulation-floculation facilite l'élimination des MES (Matières En Suspension) et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floes dont la séparation s'effectue par décantation, flottation et/ou filtration.

C'est donc un traitement physique qui permet d'éliminer tout ou une partie des polluants des effluents notamment les fractions particulaires inertes ou vivantes, les fractions floculables des matières organiques et de certains métaux lourds, les micropolluants associés aux MES et les macromolécules colloïdales. [11]

Le temps de décantation des particules coagulées dépend du type de particules, du diamètre des particules et de leur surface spécifique.

Ce temps va d'une seconde pour du gravier coagulé ayant un diamètre de 10 mm et une surface spécifique de  $6.102 \text{ m}^2.\text{m}^{-3}$  à 20 ans pour du colloïde de  $10\text{-}2 \mu\text{m}$  ayant une surface spécifique de  $6.108 \text{ m}^2.\text{m}^{-3}$ . [12]

Il est donc impossible que certaines particules notamment les colloïdes et les particules à surface spécifique très élevée décantent naturellement. Pour obtenir la décantation de ces particules, il faudrait assembler un très grand nombre de colloïdes en agrégats d'au moins 10 à 100  $\mu\text{m}$ . Malheureusement, ces particules exercent entre elles des forces de répulsion de nature électrostatique empêchant leur assemblage. [13]

C'est ce phénomène qui rend certaines suspensions totalement stables. La déstabilisation des entités en suspension passe par des phénomènes d'adsorption, expliqués par la théorie de la double couche. Elle explique comment les colloïdes sont traités par coagulation.

### III.7 Les différents types d'électrodes et connexions électrique

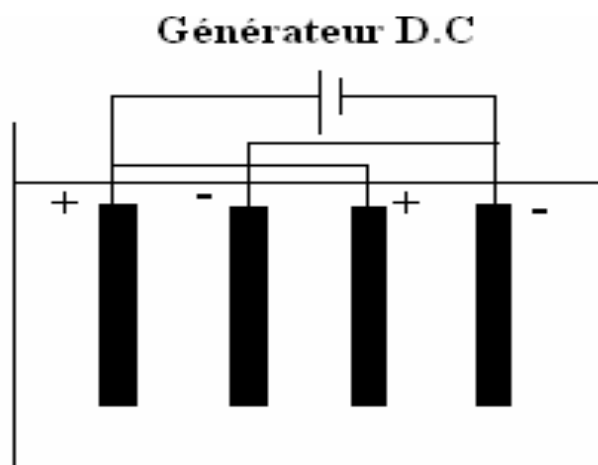
Une cellule d'EC à deux électrodes ne convient pas pour le traitement des eaux usées, du fait que la vitesse de dissolution du métal n'est pas exploitable et il est alors nécessaire d'utiliser des électrodes présentant de grandes surfaces. [14]

Ceci est rendu possible par l'utilisation d'électrodes supplémentaires mono polaire ou bipolaires :

#### II.7.1 Electrodes mono polaires

Les électrodes mono polaires peuvent être connectés soit en parallèle, soit en série.

- ❖ **Connexion parallèle** La figure (III.5) montre un dispositif simple de cellule d'EC avec une paire d'anodes et une paire de cathode disposées en parallèle.

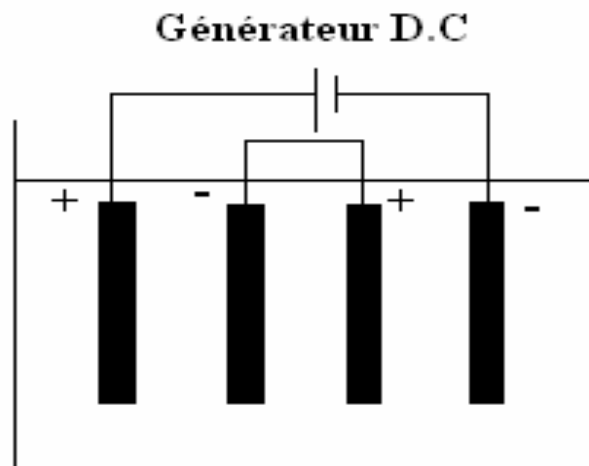


**Figure III.5** : connexion en parallèle d'électrodes mono polaires. [15]

Cette cellule de l'(EC) consiste essentiellement en paires de plaque de métal conducteur placées entre deux électrodes parallèles et une source de courant continu. Les plaques métalliques conductrices sont appelées communément « électrode sacrificielles » . L'anode sacrificielle abaisse le potentiel de dissolution de l'anode et minimise la passivation de la cathode ; les électrodes sacrificielles peuvent être constituées des mêmes matériaux que l'anode ou de matières différentes. [16]

### ❖ Connexion en série

Comme le montre la **figure (II.6)**, chaque paire d'électrodes sacrificielles est interconnectée l'une avec l'autre, et n'a donc pas d'interconnexions avec les électrodes externes. Cette disposition de cellules EC avec des électrodes mono polaires en série est similaire du point de vue électrique à une simple cellule avec plusieurs électrodes et des interconnexions.



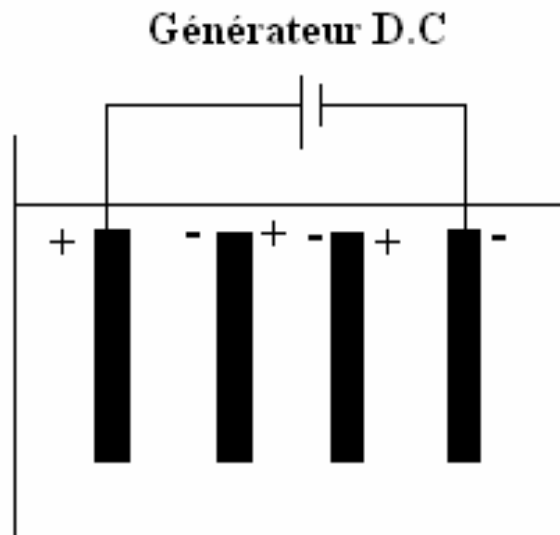
**Figure III.6** connexion en série d'électrodes mono polaires. [15]

Dans un montage en série, une même intensité de courant traverse toutes les électrodes, la tension (différence de potentiel) nécessaire est plus importante, puisque les résistances s'additionnent. Il faudrait un générateur permettant d'imposer des intensités relativement faibles et des tensions plus élevées.

### III.7.2 Electrodes bipolaires

Seules les deux électrodes mono polaires sont connectées à la source de courant sans aucune interconnexion entre les électrodes sacrificielles. Les différentes électrodes sont placées comme l'indique la **figure (III.7)**.

Cet arrangement permet une installation plus simple, facilite la maintenance lors de l'utilisation. Quand le courant électrique traverse les deux électrodes monos polaires, les faces non chargées des plaques conductrices seront transformées en faces chargées, qui auront alors une charge opposée par rapport au côté parallèle qui lui est adjacent ; les électrodes sacrificielles sont alors dites électrodes bipolaires.



**Figure III.7 :** connexion des électrodes bipolaires. [15]

### III.8 principe de loi d'électrolyse. [17]

#### III.8.1 Loi de Faraday

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

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

Il est possible de déterminer la masse de métal dissoute et d'hydrogène formé pendant une durée  $t$  d'électrolyse à un courant  $I$ , en utilisant la loi de Faraday :

$$\mathbf{m} = \frac{I \cdot t \cdot M}{n \cdot F} \quad (\text{Eq. II.1})$$

Avec :  $m$  : masse du métal dissous ou de gaz formé (g) ;

$I$  : intensité du courant imposé (A) ;

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

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

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

Si le modèle d'électrolyse comprend p électrodes, et est alimenté par un liquide ayant un débit  $Q_e$ , alors :

$$C = \frac{m.(p-1)}{Q_e} \text{ (Eq.II.2)}$$

Avec :

C : débit massique de métal de dissous ( $\text{Kg. h/m}^3$ ) ;

$Q_e$  : débit d'alimentation de la cellule ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ;

P : nombre d'électrodes ;

m : quantité théorique de métal dissous (Kg).

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

### III.8.2 Rendement faradique et rendement énergétique

Soit la réaction électrochimique :



Avec :

A : espèce oxydante ;

P : espèce réductrice ;

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

$\gamma_p$  : nombre de moles de p produites.

Si cette réaction est la seule à se produire, la loi de Faraday indique que la production de  $\gamma_p$  moles de p nécessite le passage de  $\gamma_p$  d'électrons, c'est - à- dire, la quantité d'électricité  $Q_0$  telle que :

$$Q_0 = n \cdot N \cdot e_0 = nF \quad (\text{Eq.II.3})$$

Avec:

N: nombre d'Avogadro ( $6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ );

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

$e_0$  : la charge élémentaire ( $1.602 \cdot 10^{-19}$ ) ;

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

Le courant d'électrolyse est alors entièrement utilisé par cette réaction. Dans le cas ou plusieurs réactions électrochimiques se produisent en même temps, on évalue le rendement faradique par rapport à la réaction

### III.8.3 Différentes expressions du rendement peuvent être utilisées [18]

➤ Le rendement en courant ou rendement faradique  $\phi_c$

$$\phi = \frac{\text{Quantité d'électricité nécessaire pour produire } \gamma_p \text{ mole s de p}}{\text{Quantité de l'électricité réellement consommée pendant l'électrolyse}} \quad (\text{Eq.II.4})$$

Soit :

$$Q_c = \frac{I_{\text{théorique}} \cdot t}{I_{\text{consommée}} \cdot t} \quad (\text{Eq.II.5})$$

➤ Le rendement énergétique RE défini par :

$$R_e = \frac{\text{Energie minimal nécessaire pour produire } \gamma_p \text{ moles p}}{\text{Energie réellement consommée pendant l'électrolyse}} \quad (\text{Eq.II.6})$$

Soit

$$R_e = \frac{I_{\text{théorique}} \cdot E_{eq}}{I_{\text{consommée}} \cdot E_{app}} \quad (\text{Eq. II.7})$$

Avec :

$E_{Eq}$  : potentiel d'équilibre ( $E_{Eq} = E_{O (anode)} - E_{O (cathode)}$ )

Où  $E_O$  sont les potentiels d'abandon des électrodes ( $i=0$ ).

$E_{App}$  : tension mesurée aux bornes de l'électrolyseur. Le rapport  $E_{Eq} / E_{App}$  représentant le rendement des tensions  $R_T$ , on peut aussi écrire le rendement énergétique comme  $R_E = \varphi_c \cdot R_T$ .

### III.9 facteurs influençant l'électrocoagulation

Les procédés d'électrocoagulation, largement utilisés dans le domaine des traitements des eaux, ont montré leur flexibilité pour l'élimination de différentes formes de pollution et de polluants. Son efficacité est également très influencée par plusieurs paramètres, qui sont :

#### ➤ Nature des électrodes

Dans chaque nouvelle technologie, les matériaux constituant l'électrode jouent un rôle important. Ces électrodes constituent le cœur d'une installation de traitement électrochimique et le choix approprié des matériaux constituant les électrodes est très important. [19]

#### ➤ Dispositions des électrodes

L'un des paramètres les plus déterminants intervenant lors du traitement par la technique d'électrocoagulation et même dans tout procédé électrochimique, est la distance inter électrodes. Les distances inférieures à 1 cm sont difficiles à réaliser à l'échelle industrielle et aussi pour éviter les courts circuits. Les valeurs supérieures à 2.5 cm ne seraient pas intéressantes, la résistance ohmique serait très grande. [20]

#### ➤ La densité de courant

Comme la coagulation est fonction de la concentration en métal dissous en solution [21] ; En électrocoagulation, la dissolution du métal dépend de la densité du courant appliqué, cette dernière étant liée à la loi de Faraday (Eq.II.1).

#### ➤ Température

Plusieurs études ont été effectuées sur l'influence de la température lors du processus de coagulation floculation. M.F. Mohtadi et al [22]. Notent que l'abaissement de la température entraîne une décroissance de la taille des floes et un déplacement du pH

Optimum de floculation vers des pH basiques. Par ailleurs, Darne et al [23]. Indiquent que la température a un effet inhibiteur sur les mécanismes de floculation pour des valeurs inférieures à 10 ° C.

➤ **Le pH initial du milieu et la conductivité**

L'électrocoagulation étant un cas particulier de la coagulation chimique, le pH affectera cette dernière de la même manière. Aussi, le pH peut affecter les réactions électrochimiques mises en jeu. Ce paramètre est d'une très grande importance pour le procédé d'EC et a été largement étudié [24].

Des chercheurs ont montré que durant le Processus d'électrocoagulation le pH de l'eau augmente approximativement d'une unité [25,26]. De même que l'augmentation du pH est due au dégagement de l'hydrogène à la cathode. [27]

L'augmentation de la densité de courant est accompagnée par une augmentation de la conductivité électrique finale de la solution qui serait due aux ions hydroxydes (OH<sup>-</sup>) libérés pendant le processus d'électrocoagulation.

Il est bien connu que la densité de courant détermine non seulement la dose du Coagulant mais aussi le taux de production des bulles et la croissance des floes [28,29] qui peuvent influencer sur l'efficacité Du traitement par électrocoagulation. L'efficacité du traitement augmente significativement avec l'augmentation du temps d'électrolyse.

L'EC a été utilisée pendant toutes ces années sans véritablement connaître un succès et sans qu'elle ne soit acceptée par les populations et les industriels.

Cependant, ces dernières années, on constate un regain d'intérêt, et son utilisation s'est accrue et bon nombre d'industriels font appel à elle pour le traitement de leur effluent.

La technologie a été optimisée pour minimiser la consommation énergétique et pour augmenter l'efficacité du traitement. Son efficacité a été démontrée sur divers polluants. Il est efficace dans le traitement des métaux lourds tels que Pb, Cd, Cr et As ; les métaux tels que Mn, Cu, Zn, Ni, Al, Fe, Sn, Mg, Se, Mo, Ca et Pt ; également des anions tels que CN<sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup> et Cl<sup>-</sup>, les non métaux tels que le phosphore et des composés organiques, Hydrocarbures Totales de Pétrole (TPH), Toluène, Benzène et Xylène (TBX), Methyl tert-butyl ether (MTBE), DBO, MES, Minéraux, colorants organiques, huiles et graisses tous des effluents industriels variés. [30]

Elle a aussi été testée sur les problèmes de la consommation humaine, comme par exemple la de fluoruration. [31]

La majorité de ces investigations démontrent un bon abattement des polluants principaux et un intérêt certain pour la mise à l'échelle industrielle.

### III.10 Nouveautés sur l'électrocoagulation

L'électrocoagulation a le potentiel d'être choisie distinct économiquement parlant et du point de vue environnemental pour le traitement des eaux usées et d'autres problèmes liés à la gestion de l'eau. L'EC est une technique efficace depuis l'adsorption de l'hydroxyde sur le minéral les surfaces sont 100 fois plus grandes «in situ » plutôt que sur pré-précipité d'hydroxydes lorsque des hydroxydes métalliques sont utilisés comme coagulant. L'EC nécessite des équipements simples, pouvant être conçus pour pratiquement n'importe quelle taille. Le phénomène de l'EC a été connue comme un procédé électrochimique technique du siècle dernier. Il a été utilisé avec différents degrés de succès pour le traitement de l'eau et des eaux usées obtenu à partir de diverses sources. Cependant, il y a eu très petite discussion concernant l'amélioration de la conception et performance des réacteurs EC en ce qui concerne la consommation d'énergie ou pour comprendre les mécanismes réels pour aider à délimiter les paramètres physiques et chimiques impliqués dans le processus EC. [32]

Dans un article récent Jiang et al. ont signalé que le traitement des eaux usées par une technique d'électrocoagulation/flottation hybride en utilisant des électrodes en aluminium. Les auteurs ont conçu deux différents réacteurs de l'EC pour évaluer leur performance de traitement de l'eau et à découvrir les meilleures configurations pour maximiser l'efficacité du traitement. Les réacteurs EC ont été configurés avec des arrangements d'écoulement transversal. Les électrodes d'aluminium ont été connectées en série en mode bipolaire, et les électrodes cuivre en mode monopolaires connectées en parallèle. L'efficacité actuelle ( $\Phi$ ) requise pour la production de  $Al_3^+$  dissous en raison du passage d'électricité, la charge  $Q(C)$  dans un volume  $V(m^3)$  d'eau a été calculée en utilisant la loi de Faraday :

$$\Phi = 3FV / [Al(III)].$$

Q où F est la constante de Faraday. L'énergie électrique spécifique La consommation (SEEC) a été calculée en fonction de la tension cellulaire appliquée (U) :

$$\text{SEEC [kWh (kg Al}_3^+)^{-1}] = nFU / 3,6 \times 10^3 M_{\text{Al}} \Phi$$

Où n est le nombre de moles d'électrons par mole de l'aluminium dissous. On conclut que la configuration de l'électro coagulateur a donné de meilleur résultats qu'une configuration de flux horizontal, à la fois bipolaire et monopolaire. En outre, la performance du processus de l'EC s'est révélée supérieure à celle de la coagulation chimique conventionnelle avec du sulfate d'aluminium. [33]

### III.11 Aspect économique et environnementale

L'électrocoagulation est une technique attirante et convenable pour le traitement des différents effluents en raison de ses nombreux avantages tels que sa Compatibilité environnemental, son adaptabilité, son efficacité et son faible coût. [34,35]

Ce processus est caractérisé par un matériel simple, facile à réaliser et ne nécessitant pas l'ajout de produits chimiques.

### III.12 Comparaison

Contrairement à la coagulation chimique, l'électrocoagulation élimine plus facilement les plus petites particules (particules fines ou colloïdales).

En fait, la présence du champ électrique induit par la différence de potentiel existant entre les électrodes entraîne la mise en mouvement des particules colloïdales et contribue ainsi à la coagulation de celles-ci.

Ce champ électrique peut également avoir la capacité de diminuer le nombre de microorganismes dans l'effluent à traiter. En effet, de part et d'autre de la fine membrane bactérienne, il existe un champ électrique qui est de l'ordre de quelques centaines de volts par centimètre. [36]

Lorsqu'une solution contaminée est soumise à un champ électrique supérieur au champ existant au niveau de la membrane bactérienne, un effet bactéricide est observé. Aussi, lors de l'électrocoagulation a un effet bactéricide peut être observé par neutralisation des charges bactériennes. [37]

### III.13 Avantages et inconvénients du procédé d'électrocoagulation

Comme tous les procédés de traitement des eaux, l'électrocoagulation possède des avantages et des inconvénients qui favorisent ou limite ses domaines d'application.

➤ **Avantages [40,41,42]**

- ✓ Le procédé d'électrocoagulation ne nécessite pas l'ajout de substances chimiques

Le floc est plus compact et le volume des boues est beaucoup plus faible qu'avec un procédé de coagulation floculation chimique.

- ✓ L'agitation violente qu'il faut provoquer dans la floculation chimique pour que les colloïdes accèdent à la surface de l'hydroxyde (1 cm<sup>3</sup> d'hydroxyde de fer développe 6000 m<sup>2</sup> de surface), endommage l'accroissement sensible du volume des boues et disperse le floc.

- ✓ L'électrocoagulation-floculation donne d'excellents résultats pour les effluents chargés essentiellement de matières colloïdales ou de matière en suspension : on atteint, dans ces cas, des taux d'élimination de 90% à 98% de DTO et de 98% à 99% pour les MES C'est le cas particulièrement pour les effluents de lavage de laine, colorants, papiers peints.

- ✓ Cette méthode permet aussi de tuer les bactéries et virus à 100%. En tout état de cause, l'électrocoagulation –floculation permet d'éliminer 60 à 80% de la charge polluante ; elle présente aussi l'avantage d'éliminer les matières les moins biodégradables et de rendre ainsi plus facile un traitement biologique en aval.

- ✓ Les réalisations existantes sont très nombreuses et en général de petites dimensions. Leur avantage est qu'elles nécessitent peu de maintenance, peu de suivi par l'opérateur et demandent peu d'énergie,

- ✓ La dépense d'énergie est variable d'une application à l'autre, elle est souvent comprise entre 0,5 et 4 KWh par m<sup>3</sup> traité.

- ✓ La conséquence est que cette technique est souvent moins chère que la Plupart des autres technologies, avec en plus des résultats conséquents et sûrs.

- ✓ L'utilisation de l'électrocoagulation permet de réduire le traitement. Aussi, ce procédé

Donne la possibilité d'automatisation.

➤ **Inconvénients**

- ✓ Le procédé d'électrocoagulation est basé sur des réactions électrochimiques. L'effluent à traiter doit donc être un électrolyte ce qui importe un ajout de sel (généralement Na Cl) pour certains effluents faiblement conducteurs.

- ✓ La présence des ions calcium et hydrogénocarbonates provoquent la formation de dépôts de carbonate de calcium sur la cathode ce qui augmente la résistance électrique de la cellule.

- ✓ L'électrocoagulation est sans effet sur certains types de pollutions telles que celles dues à des fluides parfaitement miscibles à l'eau (exemple le benzène ou les solvants oxygénés). En revanche, les résultats sont moins probants avec les matières organiques solubles ; on ne dépasse guère 20% d'élimination de la DTO.

- ✓ La maintenance des installations, le nettoyage et le changement des électrodes impliquent une perte de temps dû à l'arrêt du procédé au cours de ces opérations.

### **III.14 La consommation énergétique**

Les électrodes en aluminium consommées dans le procédé d'EC, les frais d'exploitation du processus sont considérés comme directement reliés à la consommation énergétique pendant l'électrocoagulation La consommation d'énergie électrique est définie comme étant la quantité d'énergie électrique consommée par la masse d'unité de la quantité de matière enlevée. **[43]**

**Tableau III.1.** Etude comparative du coût d'exploitation entre la CC et l'EC [43]

Turbidité initiale  (NTU)	EC			CC		
	[Al <sup>3+</sup> ] Consommé à l'optimal de Clarification  (Kg/m <sup>3</sup> )	Energie consommée (Kwh/m <sup>3</sup> )	Coût Total (DZD/m <sup>3</sup> )	[Al <sup>3+</sup> ] Consommé à l'optimal de Clarification  (Kg/m <sup>3</sup> )	Energie consommée (KWh/m <sup>3</sup> )	Coût Total (DZD/m <sup>3</sup> )
200	18.89 10 <sup>-3</sup>	0.4033	6.15	15.81 10 <sup>-3</sup>	Négligeable par rapport au prix du coagulant	11.70
400	37.77 10 <sup>-3</sup>	0.7776	12.17	39.73 10 <sup>-3</sup>		29.40
600	56.66 10 <sup>-3</sup>	1.1981	18.39	55.14 10 <sup>-3</sup>		40.80
800	67.99 10 <sup>-3</sup>	1.4377	22.07	79.05 10 <sup>-3</sup>		58.50
1000	86.87 10 <sup>-3</sup>	1.7955	28.03	94.86 10 <sup>-3</sup>		70.20

### III.15 Dose de coagulant

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 au voisinage de la cathode. Les métaux d'aluminium et fer sont généralement utilisés comme anode. Leur dissolution conduit à la formation des hydroxydes métalliques, oxy-hydroxydes métalliques et des hydroxydes polymériques. 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 extractibles par précipitation, filtration ou flottation. [44]

Il est bien connu que la densité de courant détermine non seulement la dose du Coagulant mais aussi le taux de production des bulles et la croissance des floccs qui peuvent influencer sur l'efficacité Du traitement par électrocoagulation. L'efficacité du traitement augmente Significativement avec l'augmentation du temps d'électrolyse. [45]

### III.16 Optimisation

L'optimisation est généralement réalisée en faisant varier un seul facteur tout en gardant tous les autres facteurs stables dans les expériences classiques multifactorielles fixées à un ensemble spécifique de conditions. Cette méthode prend du temps et nécessite un grand nombre d'expériences.

Les limites de la méthode classique peuvent être évitées en optimisant tous les paramètres collectivement par la conception expérimentale statistique telle que la surface de réponse.

La performance du procédé électrochimique peut être évaluée sur la base de plusieurs mesures telles que la DCO, la turbidité et des MES. Les conditions optimales de décantation peuvent être établies en fonction de divers critères techniques, telles que la durée d'imposition du courant, du pH, et la densité du courant. Les plans d'expérience servent à optimiser l'organisation des essais.

Cette organisation permet d'obtenir le maximum de renseignements avec le minimum d'expérience. Elle permet également d'obtenir une assez bonne précision sur un large spectre de valeurs des paramètres opératoires lors de la modélisation des résultats.

Les variables que l'on désire étudier sont appelées « facteurs ». En général un facteur varie entre deux bornes : la borne (niveau) inférieure et la borne (niveau) supérieure. Les grandeurs qui intéressent l'expérimentateur et qui sont mesurées à chaque expérience sont appelées les « réponses », En l'absence de toute information sur la fonction qui lie la ou les réponses aux facteurs, on se donne, a priori, une loi d'évolution. [46]

**III.17 Conclusion**

L'électrocoagulation consiste à générer les réactifs nécessaires par oxydation d'une électrode (anode) sacrificielle.

Plusieurs applications du procédé ont été réalisées sur différents types d'effluents et montrent une efficacité très élevée et un cout de traitement compétitif par rapport aux procédé classique.

Son efficacité est également très influencée par plusieurs paramètres que la densité du courant, pH du milieu, la nature du matériau constituant les électrodes.

Mais malgré la performance du procédé d'électrocoagulation, ce dernier possède des avantages et des inconvénients qui favorisent ou limitent ses domaines d'application.

# Chapitre 4

## **IV.1 Matériels et méthodes**

### **IV.1.2 présentation de l'unité de production de peinture (ENAP)**

L'unité de production de peinture de Lakhdaria (Wilaya de Bouira) longe la route nationale n°5, et elle est située derrière (entre la route nationale et la ville) la ville d'el Hayat (zbarbora) voir figure annexe 1, elle est située au sud de l'Aéroport d'Alger a : 65 Km et à 80 Km du port, rattachée au réseau ferroviaire Alger Constantine, sa principale activité est celle de produire des Peintures, Colles, Emulsions, Résines et Siccatifs.

Avec plusieurs Gamme telles : les Peintures pour bâtiment, Industrie, anticorrosion, marine et carrosserie, vernis, diluants et colles. Semi-finis : émulsions, résines, siccatifs. Elle s'étend sur une superficie totale de 8,18 hectares, et d'une superficie couverte de 1,6 hectares avec un type de construction en béton et charpente métallique, elle a son effectif plus de 330 agents et une capacité de production de 18000 T/an (1x 8) colles et de 13500 T/an semi-finis, l'usine se départage en 2 zone, la zone nord ou les semi finis sont produits et la zone sud qui produit les colles et les peintures.

Cette usine est à l'origine d'une quantité importante de rejets issus de la production, des cantines et sanitaires. Ces rejets sont déversés sans traitement en amont à une centaine de mètres à l'ouest de l'usine par le biais de deux conduits principaux respectivement zone nord et zone sud, ces deux conduits se rejoignent dans un milieu récepteur (zone de prélèvement), il est également impératif de préciser que la zone de prélèvement se situe à proximité d'un ensemble d'habitation ce qui amène à la nécessité de purifier ces rejets vu leur contenance et leur impact sur la santé humaine et l'environnement. Situation spatiale : Latitude : 36°33'51.49 ; Longitude : 3°35'50.18 ». [1]



Figure IV.1 vue Aérienne de l'usine de peinture lakhdharia

#### IV.2 Présentation du milieu récepteur :

Le milieu récepteur est une retenue d'eau (une fosse de faible profondeur) qui est creusée par le rejet lui-même depuis le conduit de la zone nord vers la zone sud et a dû provoquer une anoxie du milieu vu la stagnation du coup cela à engendrer une eutrophisation importante et polluer tout le milieu. **Voir annexe 1**



**Figure IV.2 : Retenue d'eau (milieu récepteur)**

### **IV.3 Les principales maladies à transmissions hydriques enregistrées dans la Wilaya de Bouira [2]**

L'impact et la nature des rejets sans traitement en amont d'une industrie de peinture, une enquête a été menée dans la wilaya de Bouira sur une période de dix années afin d'en cerner les causes d'analyser les composants néfastes qui nuisent à la santé humaine. Ces polluants se transmettent par voie hydriques et causent beaucoup de problèmes de santé. Des cas de typhoïde et d'hépatite virale sont recensés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV.1 Les principales maladies à transmission hydriques dans la Wilaya de Bouira 1988-2008) Nombre des cas, Source :** Direction de planification et d'aménagement de territoire de la Wilaya de Bouira (1) Rapport final : Plan d'aménagement de la Wilaya de Bouira, 1990, Alger. [2]

<b>Années</b>	<b>1988</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
<b>Maladies</b>								
<b>Choléra</b>	29	0	0	0	0	0	0	0
<b>Typhoïde</b>	107	56	4	27	11	18	07	20
<b>Hépatite virale</b>	120	25	18	21	44	44	53	74

#### IV.4 Conditions de prélèvement et de conditionnement

L'échantillonnage a été fait le 02/05/2017 à partir de 9h50 depuis les conduits de rejets

Les échantillons sont prélevés de zone différente vu que l'usine est séparée en deux compartiment. L'échantillon est pris dans des conditions strictes avec un contrôle continu de paramètre tel que le débit la Température. Le pH.

Le premier échantillon de la zone nord est pris à 9h55 du matin. Puis stockés dans un jerrican de 20 L.

Le deuxième échantillon est prélevé juste après le premier à 10h20 et dans les mêmes conditions. Les échantillons sont stockés dans des jerricans à l'ombre puis sous froid jusqu'au labo et ensuite on l'a reparti dans des bouteilles d'un litre et demi puis on les a mises dans la chambre à glace à une température de -2 °c et pour éviter toute prolifération et pour ne pas fausser les caractéristiques, La quantité totale de l'effluent prélevées est de 60 L en deux reprises. La prise est faite après avoir mesurer le débit. Les conditions de prélèvements et de stockage suivis selon le manuel des protocoles pour les méthodes générales d'échantillonnage voir **annexe 1**. Le tableau suivant montre les caractéristiques des prélèvements.

#### IV.4. Caractéristiques des échantillons au point de prélèvement

<i>Paramètres</i>	<i>Caractérisation des prélèvements</i>
<i>pH</i>	<i>8.1</i>
<i>MG(mg/l)</i>	<i>10</i>
<i>Turbidité(NTU)</i>	<i>69.1</i>
<i>Dbo5(mg/l)</i>	<i>180</i>
<i>Débit(L/h)</i>	<i>514.5</i>
<i>Temp(c°)</i>	<i>17</i>
<i>Chlorures(mg/l)</i>	<i>293</i>
<i>C.E (ms<sup>-1</sup>)</i>	<i>1600</i>
<i>MST(mg/L)</i>	<i>1.24</i>

### IV.5 Dispositif expérimental

Dans ce travail on a opté pour un réacteur ouvert en mode bipolaire (ECB). Le réacteur est fabriqué à partir du plexiglas, il est constitué d'une partie supérieure et d'une autre inférieure, la partie supérieure est sous forme d'un parallélépipède faisant office de décanteur et la partie inférieure est constituée de deux plaques latérales inclinées par rapport à la partie supérieure afin que le processus de décantation soit efficace. L'alimentation est assurée par un ampéromètre de type **GW - INSTEK (GPS -30300)**.

On a opté pour un barbotage pour assurer l'agitation avec une pompe Eheim Compact 300 qui offre un débit réglable de 150 à 250 l/h avec une hauteur de remontée de 50 cm Et une faible consommation de 5W.les électrodes utilisées sont en aluminium pure en forme de T ayant une dimension de 16 cm de longueur et de 12 cm de largeur avec 1 mm d'épaisseur ce qui fait une surface totale de travail qui est de 192 cm<sup>2</sup> dont 24 cm<sup>2</sup> représente la zone morte non utilisée (non immergée).la surface totale du réacteur est de 5460 cm<sup>2</sup> ce qui est de 5,460 L de volume total du réacteur .

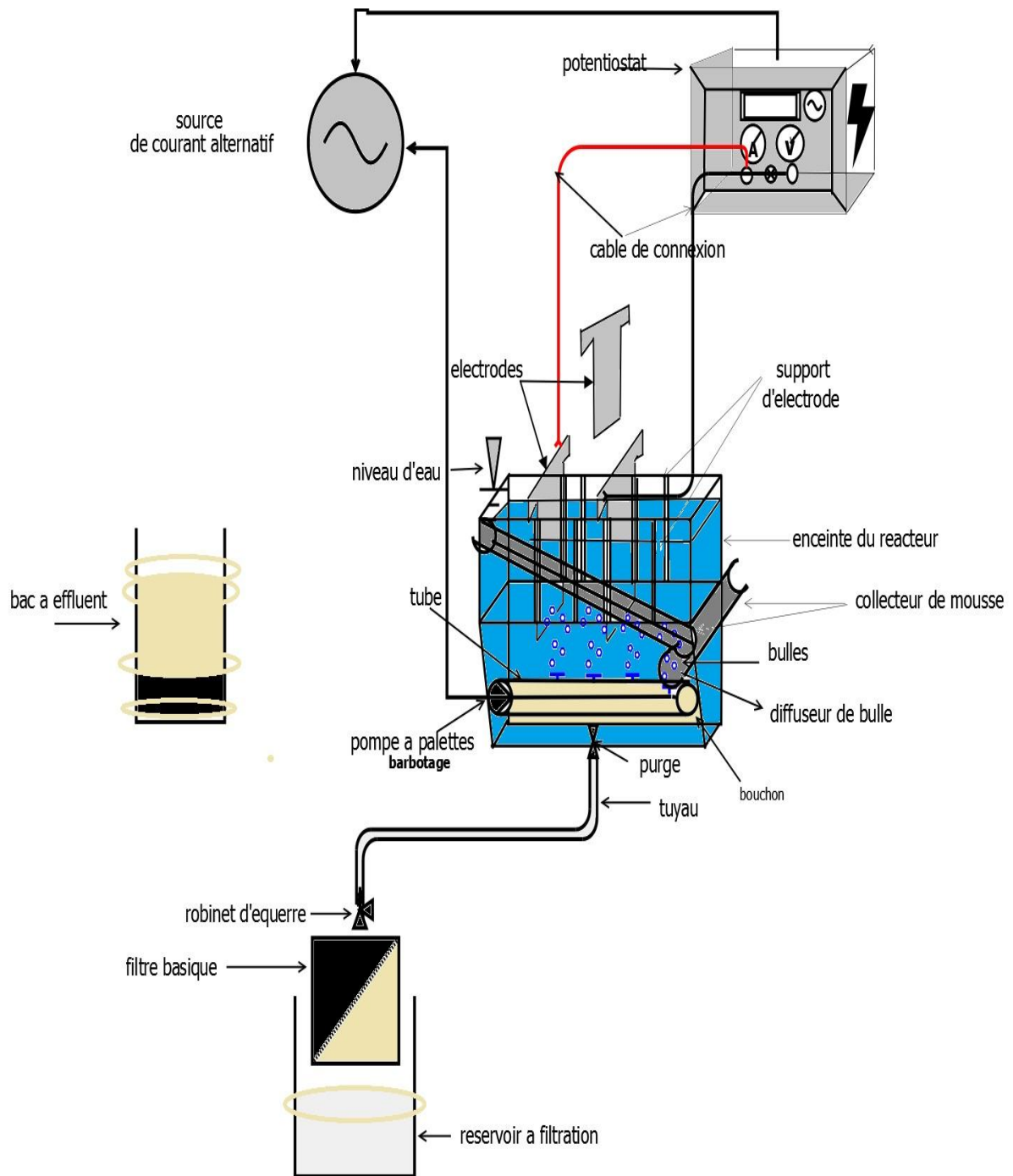
Pour effectuer le traitement électrochimique d'un effluent de peinture, on a mis en œuvre un montage électrochimique qui contient :

- ✓ Une pompe à eau
- ✓ Une alimentation du courant continue
- ✓ Des électrodes en aluminium pure plan (anode et cathode avec un nombre variable), d'une distance inter-électrode de 1 à 3 cm avec une surface de 192 cm<sup>2</sup> ;
- ✓ Un support d'électrode pour maintenir les plaques stables à une distance fixe. Voir annexe1

### IV.6 Réactifs

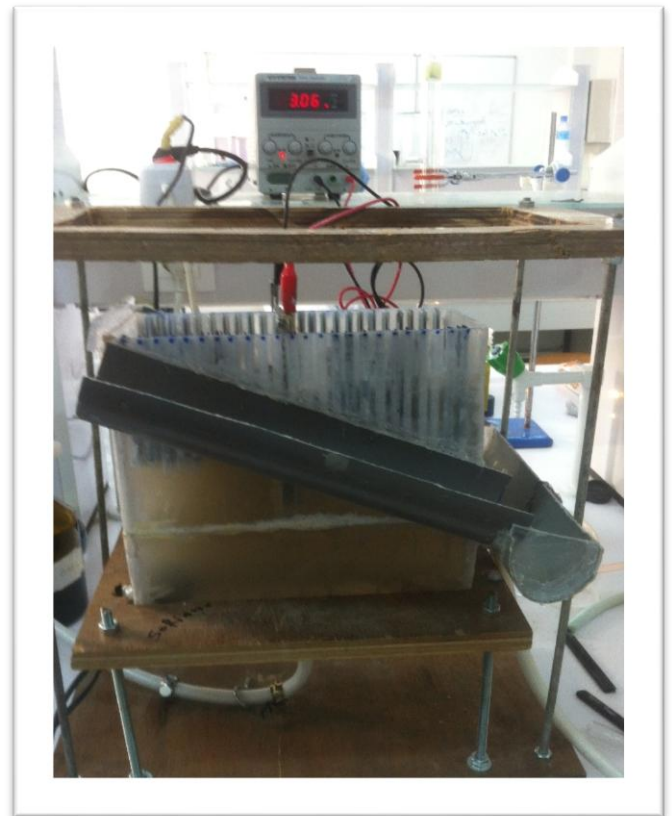
Comme réactif nous avons utilisé comme solvant le chloroforme et comme neutralisateur le Koh et le Noah de normalité égale à 0.1 N.

À la fin nous avons utilisé le peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) et du Na cl comme, respectivement agent oxydant et électrolyte. Les réactifs utilisés sont de qualité analytique.



**Figure IV.3** : Schéma du dispositif expérimental du procédé électrochimique.

**Figure IV.3** : dispositif expérimental du procédé électrochimique.



**Figure IV.5** : vue du haut du dispositif expérimental du procédé électrochimique en plein fonctionnement



## IV.7 Protocole expérimental

La solution à traiter est un rejet réel d'un effluent de peinture, on a utilisé un réacteur ayant un volume total de 5.4 L dont 4.1 L de volume réactionnel, La Distance inter-électrode est maintenue à distance de 1 à 3 cm selon les essais.

Les électrodes sont nettoyées avant d'être mises dans le réacteur afin d'éviter toute contamination. L'intensité du courant varie de 30 mA jusqu'à 3 A, ce qui nous donne des densités appliquées variant de 1.562 A/m<sup>2</sup> jusqu'à 15.56 A/m<sup>2</sup>.

Après avoir repartis dans des bouteilles d'un litre puis mis à la chambre à glace l'effluent est mis dans un récipient de 4.5 L pour bien mélanger et ajuster le pH du mélange. Un volume de 4.1 L est introduit dans le réacteur (volume du réacteur).

L'agitation est assurée par une pompe avec une hauteur de remontée de 50 cm Cette pompe de remontée Eheim Compact 300 offre un débit réglable de 150 à 250 l/h avec une hauteur de remontée de 50 cm. Sa consommation est de 5 W.

Le générateur de courant, peut atteindre une intensité maximale de 3A et une tension de 30 V. Les coûts d'exploitation étaient de 0,187 et 0,129 € / m<sup>3</sup> pour les électrodes Fe et Al, respectivement. [3]

Le procédé électrochimique repose sur le phénomène d'électrolyse qui est une réaction électrochimique basée sur le passage du courant entre 2 électrodes qui provoquent une oxydation de la matière organique présente dans l'effluent et qui se dégrade automatiquement, Ceci grâce à une cellule comportant anode et cathode immergées dans le milieu réactionnel.

Dès la mise sous tension des électrodes, la réaction est activée spontanément et on remarque la formation d'une mousse à la surface de la solution et la paroi intérieure du réacteur. Cette mousse est due à l'oxydation des matières grasses et organiques.

Les électrodes en aluminium sont montées en parallèles à l'intérieur du réacteur, Le branchement est fait sur les électrodes extrêmes. Après avoir régler le Ph de la solution et régler l'intensité du courant choisis on a déclencher l'opération qu'on a suivis pendant un temps déterminé. Les prélèvements sont effectués pendant le traitement à des intervalles de temps prédéfinis, filtrés avec du tissu puis laissés décanter pendant une heure avant de les analysés par la turbidité et le taux de matière grasse, pH.

A la fin de chaque expérience, les électrodes sont nettoyées. Après avoir été rincées et séchées, les électrodes sont légèrement polies à l'aide d'un papier à verre, rincées à nouveau et séchées (annexe 1). Par la suite, afin d'éviter toute contamination. Toutes les expériences ont été effectuées à la température ambiante (approximativement  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ).

Les échantillons d'eau dans ce travail ont été principalement fixés pour assurer une meilleure fiabilité et reproductibilité des résultats. Les échantillons d'eau ont été prétraités selon **Mäkelä et al.** (1992, 20-27) en ajoutant un acide fort approprié ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  ou  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) et éventuellement en les filtrant par un papier filtre de  $0,45 \mu\text{m}$ , après quoi ils ont été réfrigérés.

Les expériences de la CE réalisées ont été pour la plupart du moins dupliquées ou triplées et les résultats ont montré une bonne répétabilité., en raison de la nature préliminaire et / ou de la portée de ces travaux, les expériences ont été menées principalement en single. On, s'est permis une agitation de l'eau dans l'appareil d'EC pour homogénéiser encore davantage l'émulsion et s'assurer qu'aucune séparation n'a eu lieu sans électricité.

En outre, les instruments d'analyse / mesure ont été calibrés régulièrement pour assurer la fiabilité des résultats. Étant donné que l'autre (c'est-à-dire la majorité) des analyses d'échantillons d'eau de ce travail ont été menées dans un laboratoire accrédité, leurs résultats peuvent être considérés comme fiables.

#### **IV.8 Mesure des PARAMETRES (pH et T)**

Le Ph et la température ont été mesurés en utilisant un appareil de **type O'HAUS** (voir annexe1). Le pH des solutions se situe entre 4 et 10 selon la quantité ajoutée de NaCl 0.1 et KOH 0.1 de normalité

#### **IV.9 Mesure de turbidité**

La turbidité est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau. Elle est déterminée à l'aide d'une néphélométrie. Cet appareil mesure la lumière dispersée par les particules en suspension avec un angle de  $90^\circ$  par rapport au faisceau de lumière incident.

Les analyses physico-chimiques des eaux usées ont été effectuées, à température ambiante, selon les méthodes décrites par Rodier.

Le calcul du taux d'abattement d'un paramètre X, exprimé en pourcentage, est basé sur la formule suivante : % Abattement (X) = 
$$\frac{(C_i(X) - C_f(X)) \times 100}{C_i(X)}$$

C<sub>i</sub> : Concentration initiale de X dans l'eau usée

C<sub>f</sub> : Concentration finale de X dans l'eau usée traitée.

Les cuvettes doivent être propres et exemptes de dépôt, de tache, de buée ou de marque susceptibles d'affecter le faisceau lumineux. Après usage, les cuvettes sont rincées à plusieurs reprises avec de l'eau chaude et déminéralisée. Elles sont ensuite placées dans un support de façon à permettre à l'eau de s'écouler et au tube de sécher. Les étalons sont contenus dans des cuvettes scellées. Ils ne nécessitent aucun entretien particulier sauf le remplacement à la date d'expiration.

DOSAGE – Pour démarrer l'appareil : – Fermer le capot. – Mettre appareil sous tension. – Laisser préchauffer l'appareil environ 60 minutes, choisir le mode ratio.

Agiter l'échantillon et remplir dans une cuvette jusqu'au trait (environ 30 ml) en prenant soin de manipuler la cuvette par la partie supérieure. Boucher la cuvette. Procéder de la même manière avec les échantillons de contrôle. Note – Afin d'éviter que les cuvettes ne s'embuent, s'assurer que les échantillons et les matériaux de référence sont à la température ambiante avant de procéder aux mesures. – Tenir la cuvette par le bouchon et essuyer la surface extérieure au moyen d'un tissu doux afin de ne pas laisser de film gras. Placer la cuvette dans le puit de mesure et fermer le capot. – Lire lorsque le signal est stable et noter le résultat. [44]

La turbidité a été mesurée en utilisant un appareil de **type AL250T-IR - AQUALYTIC**.

#### IV.10 Mesure de la matière grasse

La matière grasse a été mesurée en utilisant le chloroforme comme solvant afin de séparer les phases (aqueuse et organique), on a isolé la phase organique contenant les matières grasses et éliminer la phase aqueuse à l'aide d'une ampoule à décantation. La phase organique est recueillie dans des tubes à essai de 8 ml qui sont séchés et pesés au préalable, après une durée de centrifugation (centrifugeur de type **HETTICH annexe 1**) de 15 min on a par la suite chauffés à l'aide d'une plaque chauffante (**type nahita Blue annexe 1**) puis mis au dessiccateur pour une période de 24 h afin d'éliminer toute traces d'humidité et absorber les vapeurs du

chloroforme restantes. Les tubes ainsi sec et exempts de toutes contamination sont pesés une autre fois la soustraction du poids du tube vide à partir du tube plein nous permet de calculer et de cerner le taux de matière grasse, il faut noter que pour chaque essai on prend 3 tubes, après chaque essai on calcule leur différence de poids puis on divise sur trois afin de faire la moyenne ce qui donne des résultats plus précis.

# Chapitre 5

## V.1 Résultats et discussion

### V.1.1 Caractéristiques de l'effluent

Vu la situation réelle des rejets de cette entreprise, on a utilisé un effluent d'une unité de peinture située à palestro (ALGERIE), L'effluent ne subit aucun traitement en amont et il est rejeté tel quel vers le milieu récepteur à travers deux points de rejets vu que l'usine est séparée en deux zone (zone nord et sud). Les eaux usées brutes de la zone sud sont caractérisées par plusieurs paramètres physico-chimiques et les valeurs moyennes des principaux paramètres sont rassemblées dans les **tableaux V.1.et V.2.**

A travers cette classification, on distingue trois groupes majeurs en fonction de la DCO du rejet : **Tableau V.4 : valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques principale de la zone\_sud**

Paramètres	Résultats	Valeurs limites
Température (°c)	17	30
pH	5.96	6.5-8.5
DBO5 (mg/L)	140	35
DCO (mg/L)	2800	120
MES (mg/L)	33	35
MG (mg/L)	5.2	20

1. Très concentré (DCO > 1600 mg/L).
2. Moyennement concentrés (800 mg/L < DCO < 1600 mg/L).
3. Faiblement concentré (DCO < 800 mg/L).

D'après le tableau V.1, la DCO et la DBO de ces eaux appartenant à la catégorie (très concentrée), et cela selon la classification des effluents de textile ou de teinture.

D'après ce tableau, on constate que ces eaux brutes sont à des températures moyennement fraîches, de qualité physico-chimiques variable en fonction de la zone. Et du rythme de production puis du milieu récepteur, en général, ces eaux sont proches de la neutralité (pH au

tour de 6.5 et 8), très chargées en matières organiques, matières en suspension. Le taux élevé de DCO et de DBO s'explique par la présence d'une cantine et des sanitaires vu que la zone sud ne contient que des bureaux et une unité de produits finis prêt à l'utilisation.

**Tableau V.2 : valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques principale de la zone nord**

Paramètres	Résultats	Valeurs limites
Température (°C)	17	30
pH	8.46	6.5-8.5
DBO5 (mg/L)	89	35
DCO (mg/L)	140	120
MES (mg/L)	60	35
MG (mg/L)	5.2	20

A travers cette classification, on distingue trois groupes majeurs en fonction de la DCO du rejet :

- 1.Très concentré (DCO > 1600 mg/L).
- 2.Moyennement concentrés (800 mg/L < DCO < 1600 mg/L).
- 3.Faiblement concentré (DCO < 800 mg/L).

D'après ce tableau, on constate que ces eaux brutes sont à des températures moyennement fraîches, de qualité physico-chimiques variable en fonction de la zone. Et du rythme de production puis du milieu récepteur, en général, ces eaux sont proches de la neutralité

(pH au tour de 6.5 et 8), très peu chargées en matières organiques, et matières en suspension.

Notant bien que dans la zone nord il y a une unité de production des produits semis finis tel que les siccatifs les adjuvants... etc.

## V.2 Paramètres influençant le traitement

### V.2.1 Influence de du temps sur le procédé d'électrocoagulation

On a varié la durée de traitement de l'effluent par EC dans le but de démontrer son efficacité et on a constaté d'après les résultats que le temps d'électrolyse joue un rôle prépondérant et a un impact sur la qualité du traitement. la durée de Traitement est de 32 minutes avec un intervalle de 2 min pour les premiers prélèvements puis de 5 min pour les derniers prélèvements.

La durée de traitement de l'effluent à traiter est un paramètre qui joue un rôle important dans le traitement par voie électrochimique [1], On constate Pour démontrer son effet sur l'efficacité du traitement que le taux d'abattement augmente avec le temps d'électrolyse, Le pH initial est fixé à 6, Le temps du traitement est fixé à 32 minutes avec un courant imposé de 0.03A.

On observe bien d'après les résultats obtenus et le graphe **figure 1** la diminution de la turbidité au fur à mesure que le temps d'EC augmente et cela après 32 minutes de traitement puis filtration on a obtenu un taux d'abattement légèrement au-dessus des 50% ce taux d'abattement s'explique par l'élimination de floes dont la quantité augmente au fur à mesure et qui vont être entraînés vers la surface par les microbulles de gaz produites au cours du procédé engendrant le processus de clarification [2], en ce qui concerne les matières grasses on a obtenu un taux d'abattement dépassant les 90% ce taux est engendré par l'oxydation des matières grasses et la formation de mousse et cela après décantation puis filtration.

Le faible taux d'abattement dans le cas de la turbidité s'explique par la faible intensité appliquée qui est de 0.03A/15 cm<sup>2</sup>.

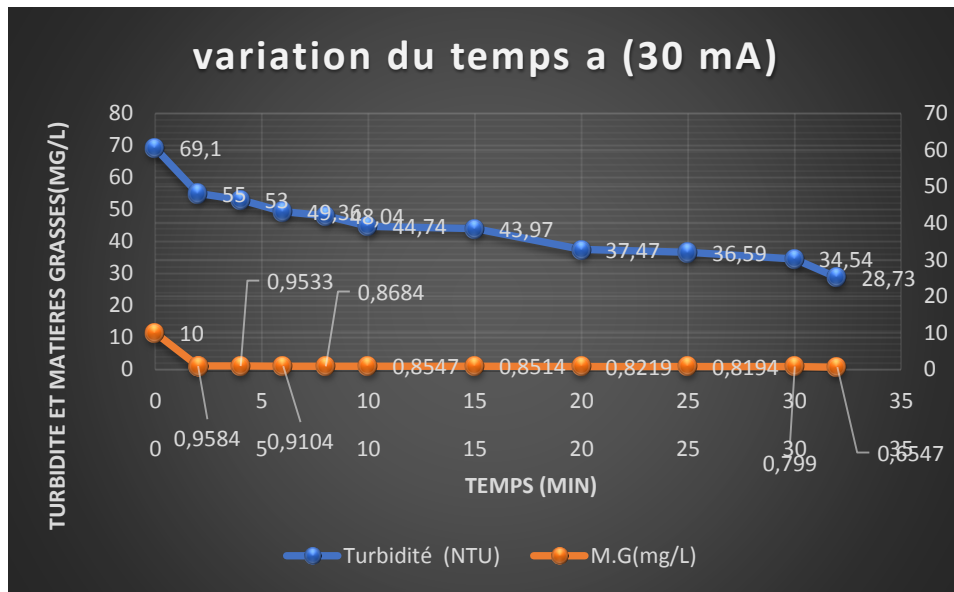


Figure 1 : effet du temps sur l'électrocoagulation

On a reproduit les mêmes conditions que le premier essai mais avec une intensité appliquée élevée qui est de 100 mA. Du coup on constate (**figure 2**) une amélioration nette du taux d'abattement de la turbidité ainsi que de la matière grasse et cela au fur à mesure que le temps d'électrolyse augmente. Dans cet essai Le pH initial est fixé à 6 Le temps du traitement total est fixé à 32 minutes avec un courant imposé de 0.1 A.

On constate que Lorsque la densité de courant augmente, le temps de traitement diminue en raison de la forte dissolution des électrodes. Il en résulte donc davantage de déstabilisation des particules du polluant ; par ailleurs le taux de production des bulles d'hydrogène augmente et leur taille diminue lorsque la densité de courant augmente. Tous ces effets sont bénéfiques pour une élimination efficace du polluant par flottation. Il en résulte donc davantage de déstabilisation des particules du polluant ; par ailleurs le taux de production des bulles d'hydrogène augmente et leur taille diminue lorsque la densité de courant augmente. [2]

On observe bien d'après les résultats obtenus et le graphe **figure 2** la diminution de la turbidité au fur à mesure que le temps d'EC augmente et cela jusqu'à après filtration on a obtenu un taux d'abattement légèrement au-dessus des 60% ce taux d'abattement s'explique par l'élimination de floes dont la quantité augmente au fur à mesure et qui vont être entraînés vers la surface par les microbulles de gaz produites au cours du procédé en ce qui concerne les matières grasses elles s'oxydent du fait du courant imposé et de cela en résulte une quantité de

mousse non négligeable. On a obtenu un taux d'abattement de 90% pour la matière grasse et cela après décantation puis filtration.

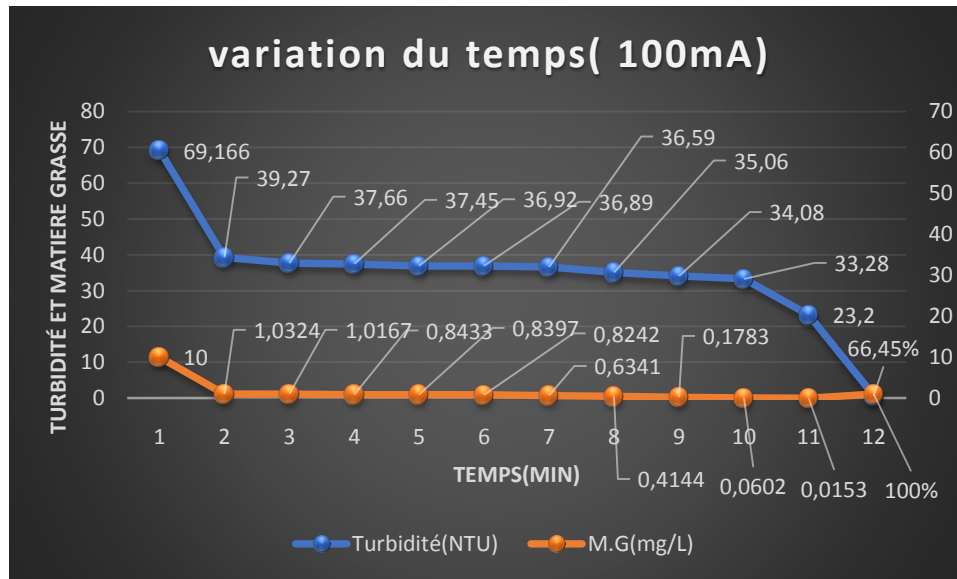


Figure 2 : effet du temps sur l'électrocoagulation

### V.2.2 Influence de l'intensité sur le procédé d'électrocoagulation

L'efficacité de traitement des eaux généralement, et des émulsions plus particulièrement est directement liée à la concentration du coagulant. Dans notre cas, le coagulant se produit par dissolution des électrodes, il est donc important de connaître l'effet de la densité du courant appliquée aux bornes des électrodes. Sachant que l'intensité est un paramètre directement contrôlable à partir du générateur du courant.

L'EC réalise cet ajout d' $Al^{3+}$  proportionnellement à la densité du courant appliquée aux électrodes. Cette densité de courant ajuste aussi la production de bulles d'hydrogène, nécessaire à la formation de floccs d'hydroxydes d'aluminium décantables [3]. Une production insuffisante d' $Al^{3+}$  et de bulles d'hydrogène, en dessous de la concentration nécessaire ou optimale, affecte négativement l'efficacité du procédé.

Plus la quantité d'aluminium produite est élevée, plus la coagulation est importante, donc la déstabilisation est plus significative. [4]

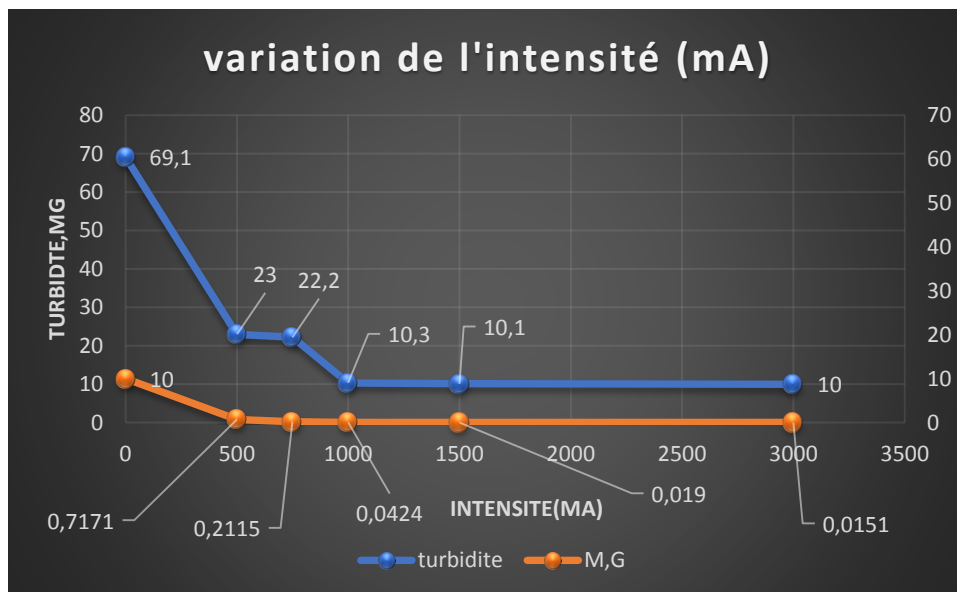
La densité de courant détermine la formation d'hydrogène gazeux et la dose de coagulant bien que l'efficacité du courant de dissolution soit beaucoup plus élevée pour l'aluminium que pour le fer. [5]

Dans cette partie du travail on s'est penché sur l'influence de l'intensité du courant appliquée aux électrodes. Les intensités soumises aux électrodes sont : 500, 750, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 et 3500 mA.

On voit qu'à partir des résultats de la **figure 3 et 4** que dès les premières minutes d'EC on a un taux d'abattement de 66.71 % et cela jusqu'à atteindre un taux d'abattement de 85.52 et 99.85 % respectivement pour la turbidité et la matière grasse. Un taux d'abattement proportionnel à l'intensité appliquée cela est dû à la vitesse de dissolution des électrodes et du coup la formation de bulles d'hydrogène decantables.

La matière grasse s'oxyde et produit des mousses au fur à mesure que l'intensité augmente cela est bien démontré par les résultats et les graphes suivants, Après avoir laissé le surnageant décanté pour une période de 24h on l'a filtré et analysé

Un abattement de de 92.05% et de 99.81 a été obtenu respectivement pour la turbidité ainsi que la matière grasse du coup la décantation et la filtration jouent un rôle important dans la précision des résultats.



**Figure 3 : variation de la turbidité et de la matière grasse en fonction de l'intensité**

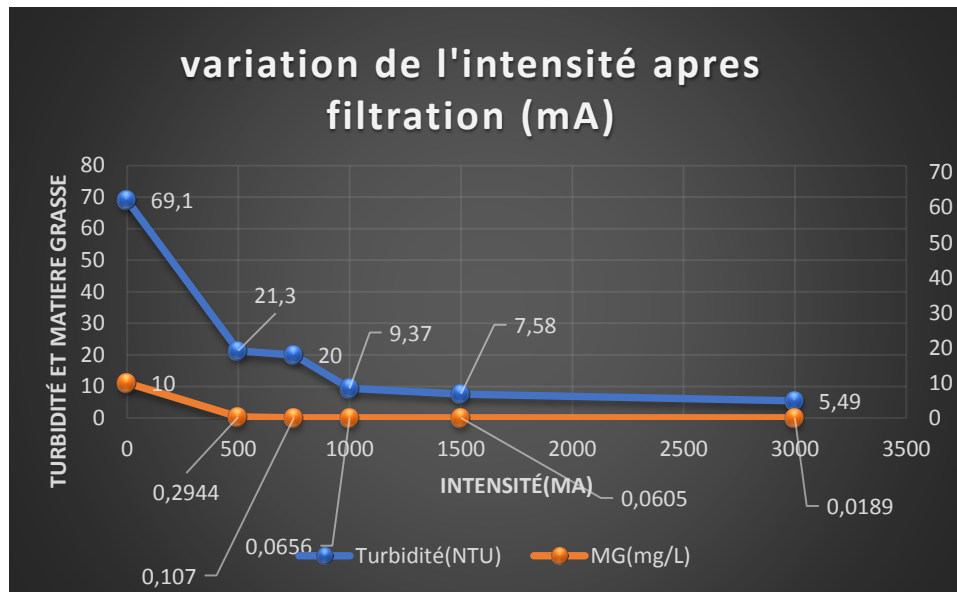


Figure 4 : variation de la turbidité et de la matière grasse après filtration en fonction de l'intensité

### V.2.3 Influence du nombre d'électrode et de la distance inter électrode sur le procédé d'électrocoagulation

Golder et ayhan estiment que l'utilisation du mode en série est plus judicieuse et conseillent, en outre, le fonctionnement bipolaire car celui-ci ne nécessite le branchement que de deux connexions (quel que soit le nombre d'électrodes), il en est donc une moindre consommation électrique. [6]

Après l'optimisation des paramètres les plus importants influençant sur le bon fonctionnement de l'électrocoagulation bipolaire ECB (deux électrodes seulement) nous avons retenu les optima des différentes conditions opératoires précédemment étudiées et nous avons essayé d'améliorer d'avantage l'efficacité du traitement par une augmentation du nombre d'électrode sacrificielles en connectant celles-ci en mode bipolaire et ceci dans le but de réduire la consommation du courant électrique.[7] Le courant électrique est maintenu constant le nombre d'électrode varie de 2 jusqu'à 24 (longueur du réacteur) avec une distance inter électrode variables de 1 à 3 cm. nous rappelons que Le branchement des électrodes est moins énergivore en mode bipolaire cela engendre une augmentation de dose du coagulant dissous avec le nombre d'électrodes et de l'intensité sauf que la conductivité du milieu joue un rôle important.

D'après les résultats obtenus (**figure 5,6**) on remarque que lorsque le nombre d'électrodes augmente le taux d'abattement des paramètres étudiés à savoir la turbidité et les matières

grasses baissent cela est dû à la diminution de l'intensité du courant qui est influencée par la distance inter électrodes et aussi une conductivité moyennement importante et cela dès qu'on dépasse le nombre de 4 électrodes et une distance de 3 cm mais cela n'empêche pas d'atteindre un taux d'abattement proche des 100% .

Notons bien que on a opté pour un montage bipolaire qui exige que le branchement soit sur les électrodes qui sont à l'extrémité.

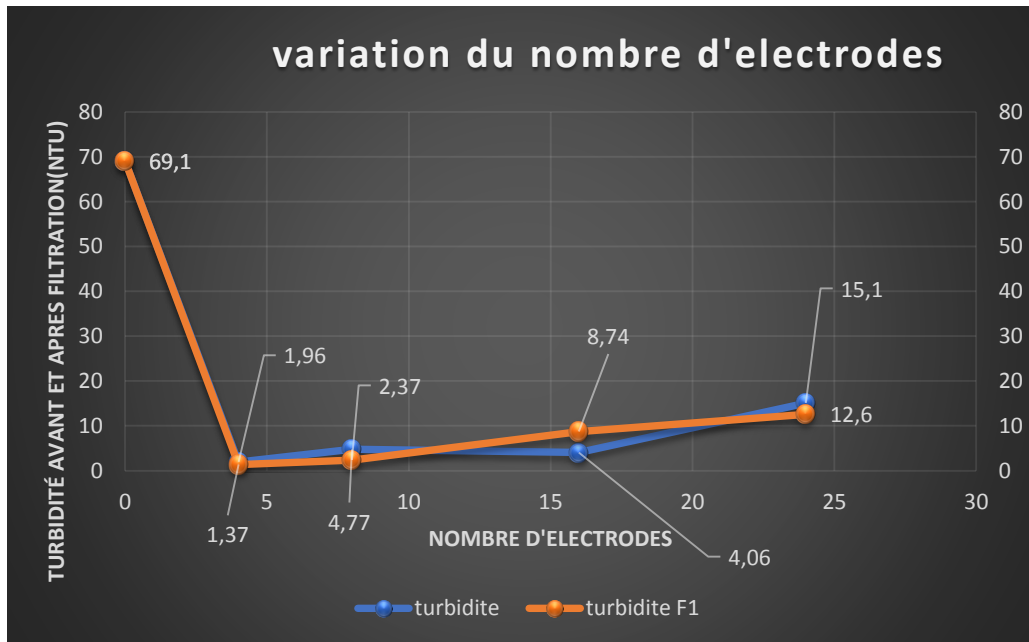


Figure 5 : variation de la turbidité avant et après filtration en fct du nombre d'électrodes

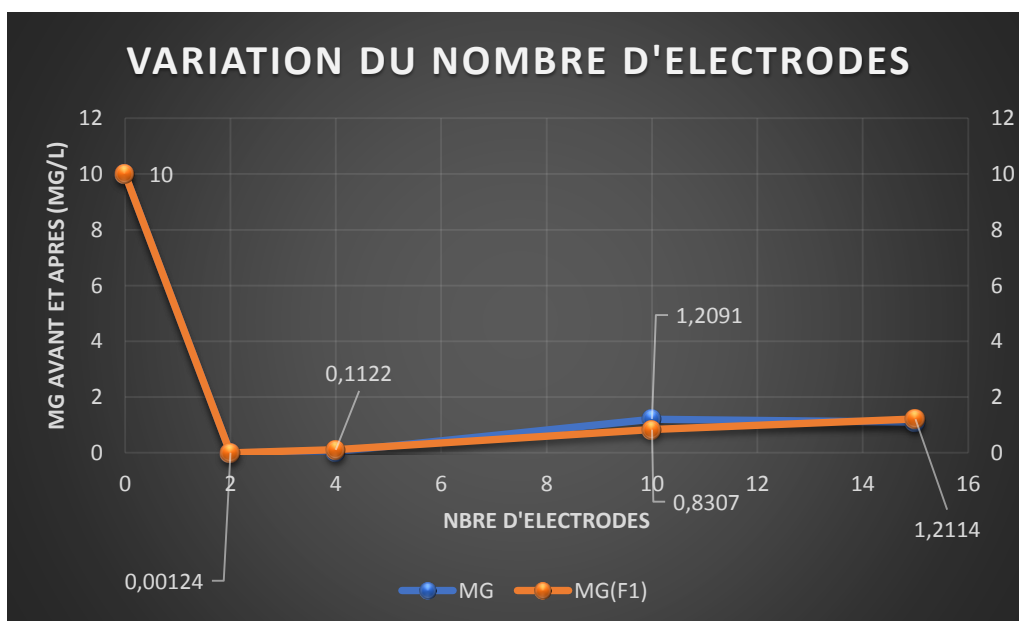


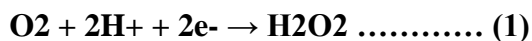
Figure 6 : variation de la matière grasse avant et après filtration en fct du nombre d'électrodes

### V.2.4 couplage électrocoagulation /H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (peroxi - électrocoagulation)

Ce travail visait à étudier le traitement de l'effluent d'industrie de peinture (EFP) par Peroxi-électrocoagulation / électrooxydation-électroflotation ce qui se traduit par couplage de deux procédés de traitement, En utilisant des électrodes bipolaires en aluminium sous différentes formes et selon les Conditions opératoires suivantes : pH, densité de courant, temps d'électrolyse, concentration en peroxyde d'hydrogène.

L'eau oxygénée (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) est utilisée comme agent d'oxydation, Les procédés les plus récents dans le traitement de ce type de pollution sont réalisés par l'oxydation des composés organiques biologiquement récalcitrants. Les procédés d'oxydation avancées reposent sur la formation in situ des radicaux hydroxyles OH• qui possèdent un pouvoir oxydant supérieure à celui des oxydants traditionnels, tels que Cl<sub>2</sub>, ClO<sub>2</sub> ou O<sub>3</sub>. Ces radicaux sont capables de minéraliser partiellement ou en totalité la plupart des composés organiques [8].

Parmi les POA's, l'utilisation du réactif de fenton est une technique efficace pour la dégradation de la matière organique. Cette technique est basée sur l'électro génération continue de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dans une solution acide par réduction de l'oxygène selon la réaction :



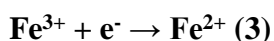
En milieu acide, l'ajout de Fe<sup>2+</sup> améliore le pouvoir oxydant de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, car le système

[H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] / [Fe<sup>2+</sup>] conduit à la formation des OH• suivant la réaction de Fenton :

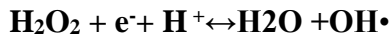


Les radicaux hydroxyles libérés dans le milieu réactionnel par la réaction de Fenton peuvent réagir avec les composés organiques pour produire les radicaux organiques (R• ou ROO• en présence d'oxygène).

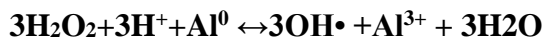
Le réactif de fenton se produit électro chimiquement dans la solution avec la génération simultanée de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> par réduction de l'oxygène au niveau de la cathode et la régénération des ions Fe<sup>2+</sup> consommés par la réaction fenton, réaction (1) et (3)).



Dans notre cas l'ajout du  $Fe^{2+}$  est écarté vu qu'on travaille avec des électrodes en aluminium. Du coup le  $H_2O_2$  va réagir avec les complexes hydroxydes formés suite à la dissolution de l'anode, Certains des ions  $Al^{3+}$  formés dans l'anode peuvent être réduits à la cathode. En outre, le peroxyde d'hydrogène formera le radical hydroxyle à la cathode selon la réaction suivante [9] :



Ensuite, l'aluminium réagira dans la solution comme :



Une réaction séquentielle prend ensuite place entre l'hydroxyle Radical et un composé organique R [9]



L'élimination des polluants peut être attribuée au fait que le système subit simultanément des réactions suite à l'électrocoagulation Et aussi au processus réactionnel du  $H_2O_2$ . Des quantités excessives d'oxydant n'ont pas ou ont légèrement un effet défavorable sur la performance en raison du balayage radical induit par  $H_2O_2$  [9].

La plupart des polluants organiques dans les eaux usées pourraient être oxydés par un radical hydroxyle. Bien que le  $\cdot OH$  ait été formée par  $H_2O_2$ , ce qui pourrait améliorer la capacité d'oxydation du traitement ainsi que l'augmentation de la concentration d' $H_2O_2$ , la tendance dégressive a démontré que l' $H_2O_2$  excessif pouvait également consommer le  $\cdot OH$  et devenir le réactif d'élimination du radical hydroxyle [10]

En outre, la présence d'ions chlorure ( $Cl^-$ ) présente des avantages, en particulier lors de l'utilisation de plaques d'aluminium. Il a été suggéré que les chlorures sont le potentiel de panne de l'aluminium par corrosion par piqûres. Pendant l'électrolyse de l'aluminium dans l'anode, le film d'alumine est généralement formé en surface, ce qui provoque une consommation d'énergie accrue et une diminution de l'efficacité du processus, car elle peut inhiber la libération d'ions

d' $Al^{3+}$  comme transfert d'électrons. Par conséquent, l'efficacité du système peut être considérablement augmentée grâce à la ventilation du film d'alumine ( $Al_2O_3$ ). [11]

**Suite aux figures 7 et 8** et aux résultats on comprend que le  $H_2O_2$  influe de manière positive sur le processus d'électrocoagulation. Le taux d'abattement augmente au fur à mesure des concentrations ascendantes du  $H_2O_2$  atteignant un taux d'élimination de 94.79 % et de 97.04 % après décantation et filtration. L'augmentation des concentrations de  $H_2O_2$  a amélioré l'efficacité de la dégradation de la matière organique. Les concentrations élevées de  $H_2O_2$  ont générées plus de radicaux hydroxyles qui ont améliorés L'efficacité de suppression d'une Partie des matières en suspension donnant ainsi un taux d'élimination de turbidité élevée.

On constate une quantité importante de mousse, elle est due à l'oxydation des matières grasses du fait du processus d'oxydation par le  $H_2O_2$  et ainsi que de l'électrocoagulation.

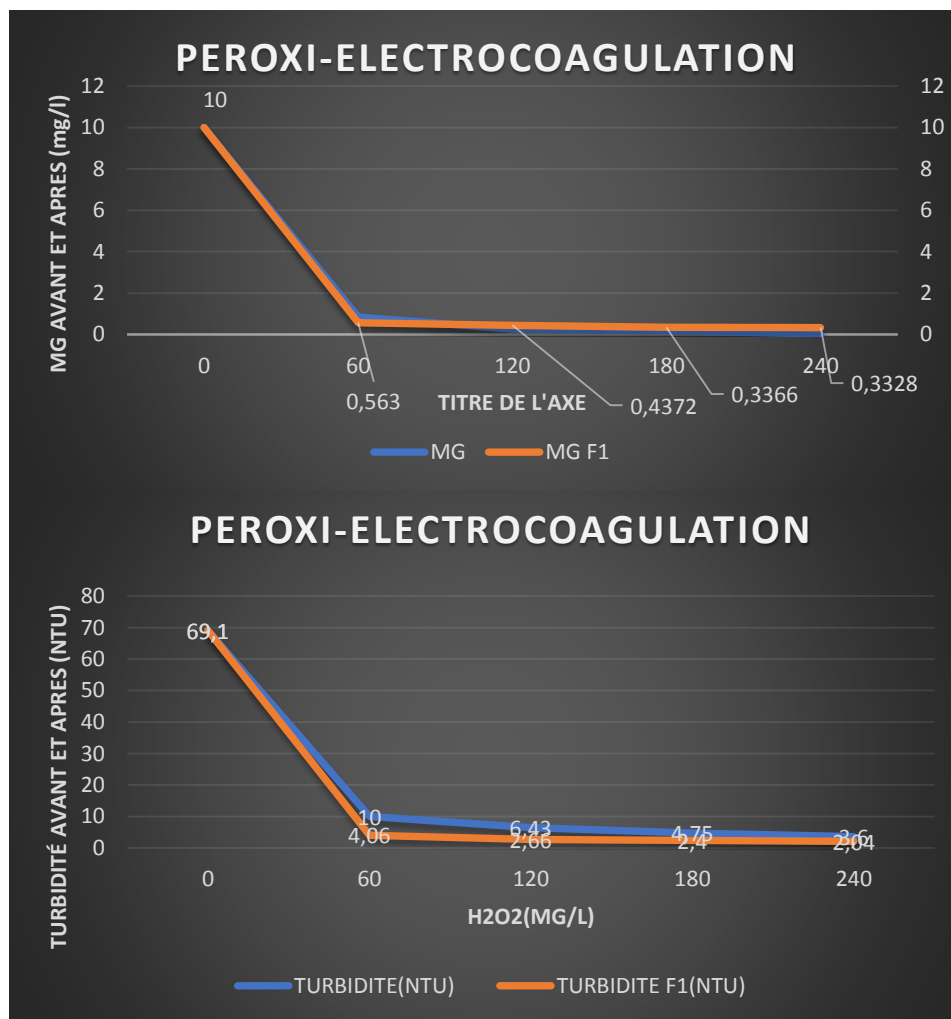


Figure 7 et 8 : variation de la matière grasse et de la turbidité avant et après filtration en fonction de la concentration en  $H_2O_2$

### V.2.5 Effet de la nature et la concentration de l'électrolyte (NaCl)

L'influence de la nature et de la concentration de l'électrolyte dans les procédés d'EC a été étudié [12]. Dans le cas de l'utilisation d'électrodes en aluminium, plusieurs types d'électrolytes ont été utilisés, tels que NaCl [13], Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [14] et CaCl<sub>2</sub> [15] ... etc. NaCl est un sel présentant une faible toxicité à des concentrations modérées, un coût raisonnable, une conductivité et une solubilité élevée. Il joue aussi le rôle d'un électrolyte support. L'ajout de NaCl est presque sans effet sur le pH initial de la solution

Souvent, l'utilisation du chlorure de sodium (NaCl) est privilégiée du fait que les ions chlorures réduisent de manière significative les effets indésirables d'autres anions tels que HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, en évitant la précipitation du carbonate de calcium contenu dans une eau calcaire, qui pourrait former une couche isolante sur la surface des électrodes et augmenter la résistance de la cellule. [16]

Le sel de table est généralement utilisé pour augmenter la conductivité des eaux usées à traiter. En plus de sa contribution ionique dans le transport de la charge électrique, on a constaté que les ions chlorure pouvaient réduire considérablement les effets néfastes d'autres anions tels que HCO<sub>3</sub> et SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. [17]

En général, il est évident que lorsque la concentration de Cl-ion diminue, l'élimination de la DCO a également diminué proportionnellement. Cela implique que l'oxydation des composés organiques dépend du chlore actif généré lors de l'électrolyse. En présence d'ion chlorure, l'efficacité catalytique forte de l'ion ionique contribue à la conversion des polluants organiques en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O. [18] En outre, l'électro-oxydation indirecte impliquant diverses formes de chlore était un processus prédominant dans l'élimination des polluants organiques du milieu chloré.

Dans cet essai nous avons réuni les conditions optimales (pH = 7, I=3A t= 60 min) afin d'obtenir des taux d'abattement en termes de turbidité et de matières grasses supérieur par rapport aux conditions primaires, pour cela Nous avons varié la concentration de NaCl de 60 mg/L jusqu'à atteindre 4 fois cette concentration ce qui fait une concentration finale de 240 mg par 4.1 L à la fin du traitement.

Dans la présente étude, nous avons examiné l'effet de ce paramètre sur l'électrocoagulation. Pour cela, quatre concentrations de NaCl ont été examinées, en l'occurrence 60, 120, 180 et 240 mg/L. **Les figures 9 et 10** représentent respectivement

l'évolution du taux d'abattement de la turbidité en fonction des doses de NaCl ajoutés pendant la durée totale du traitement qui est de 60 min avec un courant maximal de 3 A avec 2 électrodes en ECB

A travers les résultats obtenus Nous avons suivi l'évolution de l'abattement de la turbidité en fonction du temps Les Résultats sont représentés sur **la figure 9**. Après 5 min d'électrolyse, On constate une nette évolution du taux d'abattement qui est proportionnel à la dose de l'électrolyte ajoutée avec un taux d'abattement de 95.6 % dès les 5 premières minutes de traitement et cela allant jusqu'à atteindre un taux d'abattement de 98.61% à la fin du traitement avec la dose maximale en électrolyte qui est de 240 mg/L et de 98.65% après décantation et filtration.

Après une heure d'électrolyse l'abattement a atteint 98.65%. Les ions chlorures étant corrosifs, ils attaquent les électrodes et de ce fait augmente la dissolution de ces dernières, ce qui a pour effet une augmentation de l'efficacité du procédé. [19]

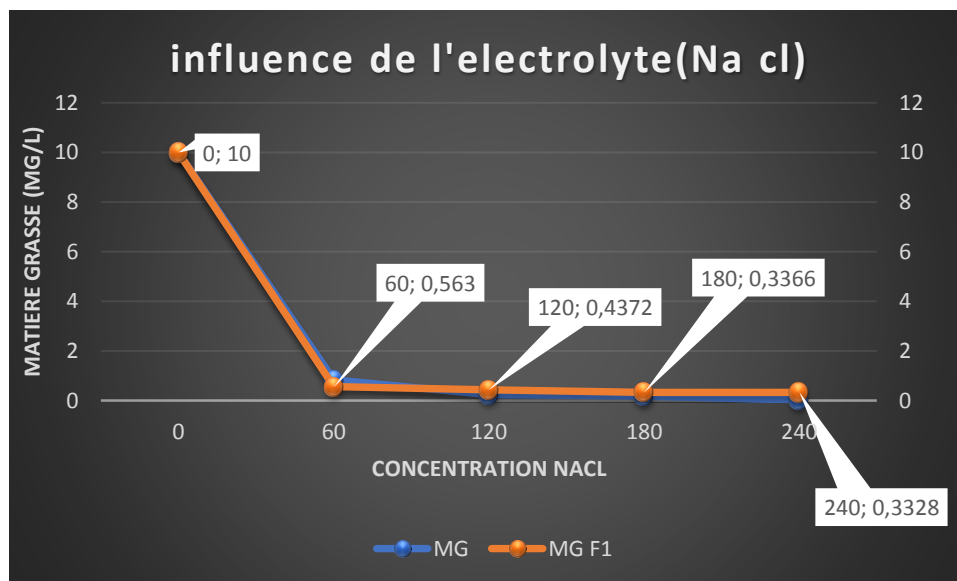


Figure 9 : variation de la matière grasse avant et après filtration en fonction de la concentration en NaCl

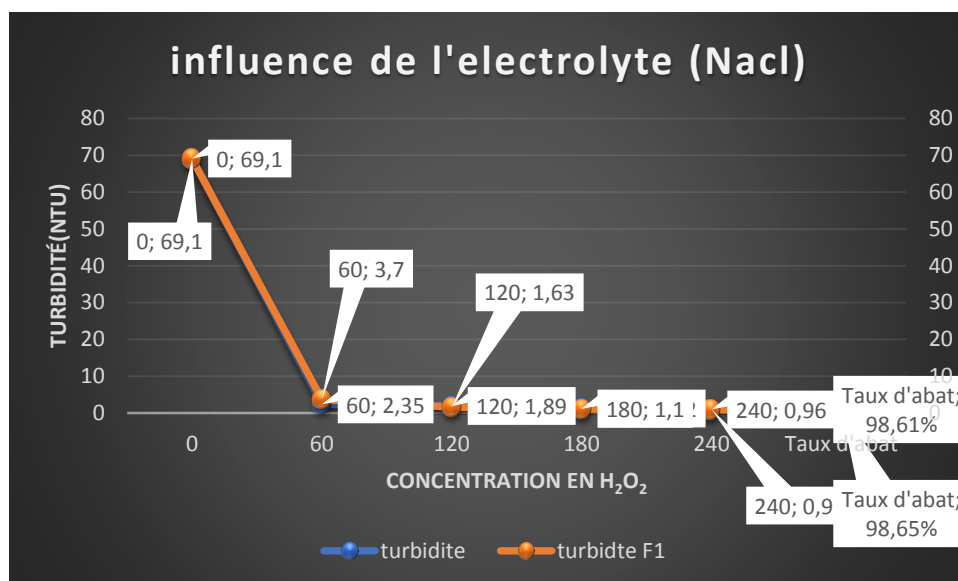


Figure 10 : variation de la turbidité avant et après filtration en fonction de la concentration en NaCl

### V.2.6 Influence du pH sur le procédé d'électrocoagulation

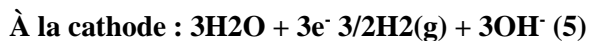
Le pH initial est connu comme l'un des principaux facteurs qui contrôlent la performance de l'électrocoagulation [20]. Le pH initial de l'effluent de l'eau usée est un facteur opératoire important qui influence les performances du processus électrochimique. Il est considéré comme un facteur critique pour la formation d'hydroxyde amphotère :  $\text{Al}(\text{OH})_3$  qui est responsable de la formation des floccs.

L'effet du pH de coagulation est très prononcé pour les paramètres de potabilisation tels que la turbidité et les Matières grasses, la DCO et COT ... etc. L'augmentation du pH de coagulation entraîne une diminution des turbidités, les plus faibles turbidités et concentrations cependant prises séparément et mettent toujours en évidence des turbidités et les concentrations, ainsi que des pH de coagulation plus élevés permettent d'obtenir des résiduels en turbidité plus faibles quelle que soit la dose de coagulant, ces conditions de pH favorisent la coagulation par entraînement. Plus le pH augmente, plus l'élimination de la turbidité est optimale.

Aux faibles valeurs de pH, l'aluminium est pratiquement à l'état ionique trivalent  $\text{Al}^{3+}$ . Lorsque le pH augmente, le  $\text{Al}^{3+}$  se combine avec les ions  $\text{OH}^-$  pour donner successivement les espèces ioniques  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  et  $\text{Al}(\text{OH})^{4-}$ . La solubilité de l'aluminium trivalent est quasiment nulle pour les pH entre 6 et 7. Au-delà, elle augmente grâce à la formation des ions  $\text{Al}(\text{OH})^{4-}$ . Les cations Al réagissent avec les molécules d'eau et différents anions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , des silices, des matières organiques. Plusieurs autres formes d'aluminium sont susceptibles d'exister par polymérisation et hydrolyse. Soulignons cependant que le pH change

au cours de l'électrocoagulation, comme mentionné dans les articles précédents [12 et 19 *ibid.*]. Ils précisent que cette évolution dépend du pH initial et des capacités tampons de la solution, en raison de la production et la consommation des ions OH<sup>-</sup> au cours de l'EC, ce qui permet d'éviter une variation brusque du pH de la solution. On constate une nette proportionnalité entre la concentration en Al<sup>3+</sup> mise en réaction avec les particules d'eau et le taux de réduction de la turbidité initiale :

### V.2.6.1 Les mécanismes de formation et de la forme de l'aluminium dans l'eau



Les résultats démontrent l'effet étudié sur le processus d'électrocoagulation qu'on a traduit en suite en termes d'élimination de la turbidité et de la matière grasse, pour cela nous avons effectué une série d'essais avec six valeurs de pH à savoir 4, 6, 7, 8, 9, 10. Ce pH a été ajusté avant chaque essai avec des solutions NaOH et KOH 0.1 N. Les résultats sont présentés sur la figure 12 Après 24 heures de décantation.

D'après les résultats **figure 13 et 14** obtenus on constate que dès le déclenchement de la procédure de traitement on a des taux d'abattements en termes de turbidité allant de 37.77 % jusqu'à 81.46% respectivement pour des pH acides de 4 et 6. le plus fort taux d'abattement est de 96 % atteint à un pH neutre Cela est dû à la déstabilisation électrostatique des particules par la production du coagulant in situ engendré par la dissolution des électrodes, donc y a une nette proportionnalité entre la concentration en Al<sup>3+</sup> mise en réaction avec les particules d'eau et le taux de réduction de la turbidité initiale, les conditions opératoire sont (I=3 A, t=60 min et un branchement avec 2 électrodes).

Pour des pH basiques de 8, 9 et 10 On constate une légère diminution du rendement d'élimination d'après l'observation du diagramme classique de solubilité de l'aluminium [21], indique que des formes solubles de l'aluminium peuvent se former à pH très basique comme l'anion Al(OH)<sup>4-</sup> réduisant ainsi l'efficacité du traitement. La diminution du taux de réduction de la turbidité après pH = 7 (neutre), explique bien cela.

En dehors du domaine de prédominance de la forme  $\text{Al}(\text{OH})_3$  hydrophile. [21] en effet dans le cas de L'EC, la réaction de production de cette forme est optimale à pH compris entre 6 et 7.5. Ceci Confirme l'importance du pH dans la clarification des eaux résiduaires, c'est dans ce domaine de pH que l'on observe, le maximum de réduction de turbidité.

Des résultats similaires ont été obtenus par Kobya et Al. (2003) sur la turbidité du textile, et Les effluents de l'usine en général.

98% de l'élimination des colorants par L'électrocoagulation a été atteinte à pH 5,5, pendant l'augmentation Ou une diminution du pH cette efficacité a diminué autour de 20%.

Cerqueira et al. (2009) ont montré Qu'à pH 6,5 l'efficacité d'élimination de la DCO était faible, mais la turbidité et l'élimination des couleurs étaient élevées à Densité de courant de 15 A / m<sup>2</sup> Pendant 30 min pour les électrodes d'aluminium.

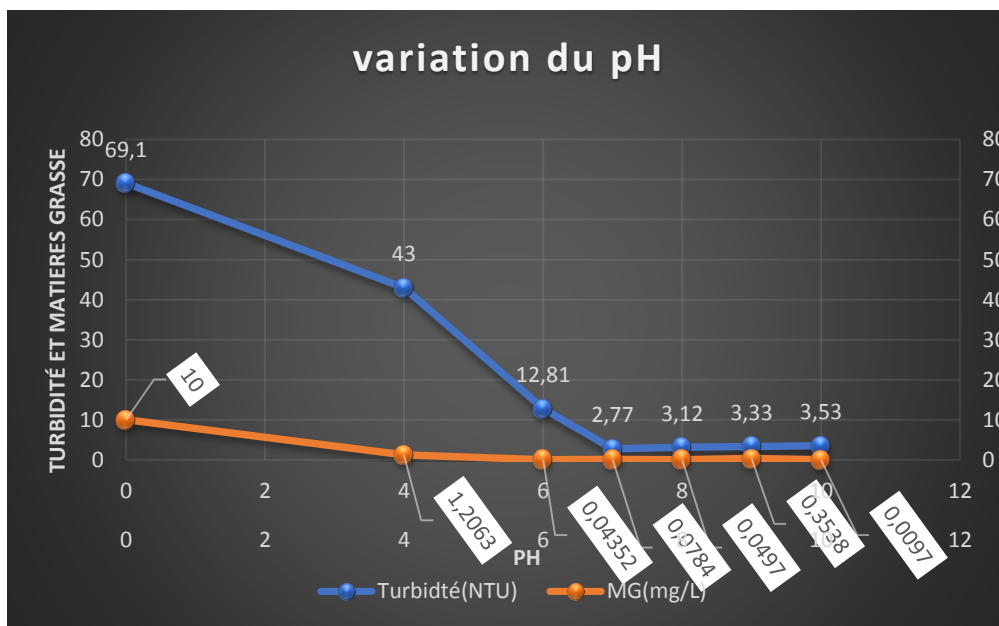


Figure 11 : variation de la turbidité et de la matière grasse avant et après filtration en fonction du pH

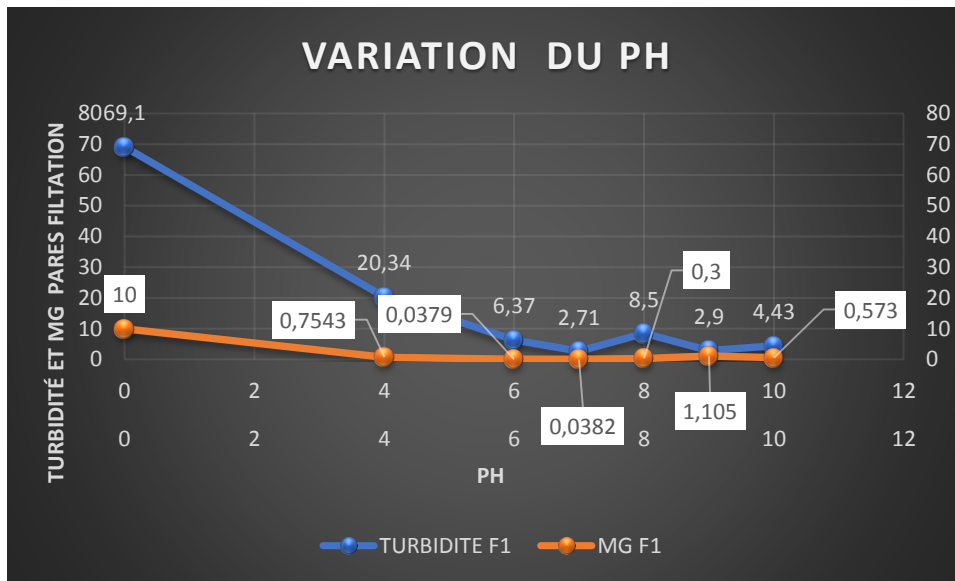


Figure 12 : variation de la turbidité et de la matière grasse après filtration en fonction du pH

### V.3 conclusion

La caractérisation de l'effluent provenant d'une société industrielle de peinture montre que ces rejets sont de couleur brunâtre vers le noirâtre et contiennent des teneurs très élevées en matière organique difficilement biodégradables, en matière en suspension. Le traitement de ces effluents est donc nécessaire avant de les rejeter au milieu récepteur.

Dans cette étude, le traitement des eaux usées est réalisé par voie électrochimique (procédé d'électrocoagulation). Cela a induit que les facteurs (le pH initial, le temps d'électrolyse, Nombre d'électrode, Intensité du courant) influent sur le taux d'élimination de la décoloration et de la matière organique. Les meilleurs résultats sont obtenus à des pH neutres, Laisse à retenir que L'électrocoagulation est une technique de traitement très efficace pour le traitement des eaux polluées. Les taux d'abattement atteints sont très élevés plus de 85 % pour la turbidité et de 90 % pour la matière en grasse. et cela après avoir fait la moyenne des deux paramètres suivis.

Le champ électrique créé entre les électrodes et la formation de certains oxydants ou de quelques acides hypochloreux ont un effet bactéricide très important. De plus la déstabilisation des colloïdes et la formation des petits floccs suite à la dissolution de l'anode provoqueraient l'adsorption, la neutralisation et la précipitation des éléments polluants.

L'ajout de quelques sels (NaCl ...) ou l'association de l'électrocoagulation à la coagulation chimique peuvent se révéler nécessaire pour réduire le prix du traitement tout en préservant le rendement du système. L'ajout de NaCl dans notre cas avec une densité de courant de 3 A et une concentration de 240 mg/l nous a permis d'atteindre des taux d'abattement de 98 % pour la turbidité ainsi que les matières grasses.

Le couplage des procédés électrochimiques permet de donner de meilleurs résultats dans notre cas l'ajout du H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (réactif fenton) au peroxy-électrocoagulation nous a permis d'atteindre les 100 % pour les matières grasses cela est dû à la production d'un puissant oxydant par effet de rémanence, avec un courant imposé de 3 A et une concentration finale en H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 240 mg/4.1L. Il faut noter qu'une quantité importante de mousse a été produite au cours de cet essai.

# **conclusion générale**

## Conclusion Générale

L'électrocoagulation est une méthode de traitement des eaux usées développée en 1889. Après avoir été délaissée pendant quelques années, elle reprend de l'importance à partir des années 90 comme le montrent les nombreuses publications sur cette thématique à partir de cette date. Cette technologie est bien adaptée pour le traitement primaire des effluents complexes pour lesquels les traitements biologiques ont montré leur limite.

L'analyse bibliographique a montré qu'elle a été utilisée pour traiter des effluents très variés tels que des eaux de manufacture de cigarettes, des effluents de l'agroalimentaire, des solutions de colorants, des eaux phosphatées, des eaux de consommation, etc. Elle permet aussi d'éliminer simultanément certaines pollutions organiques, minérales et métalliques.

L'électrocoagulation s'opère par l'utilisation, le plus souvent, d'électrodes en fer ou en aluminium mais d'autres combinaisons d'électrodes telles que Pb/acier, Ti/Pt/Ir, Al/Mn, Fe/Al, Al/Fe, Ti/acier, Al/Cu, Fe/Cu, Al/Sn et Zn/Si ont été utilisées. Malgré les nombreux travaux publiés sur ce sujet couvrant un large spectre de type d'effluent traité par des réacteurs de différents types et opérant dans des conditions très différentes.

Dans notre cas on a évalué la faisabilité de traitement d'un effluent réel d'une industrie locale par le procédé d'électrocoagulation. Le présent travail illustre les résultats obtenus durant le traitement d'un échantillon prélevé au niveau d'une retenue d'eau lieu récepteur des effluents de l'usine ENAP de la ville de Palestro (Algérie) par le procédé d'électrocoagulation bipolaire.

Ce travail est séparé en deux parties, la première c'est l'étude des différents rejets, et les rejets des industries de peintures et leurs procédés de traitement.

La deuxième partie reprend le principe de fonctionnement de l'électrocoagulation et le traitement de l'effluent par celle-ci. L'influence des paramètres opératoires de l'électrocoagulation (temps d'électrocoagulation, intensité, pH...), ainsi que des propriétés physico-chimiques du rejet liquide avant traitement (pH initial, turbidité initiale, matière grasse), ont été étudiées dans le but d'obtenir des résultats meilleurs et d'étudier la faisabilité du procédé d'électrocoagulation dans le cas d'un effluent de peinture. En réalisant une précipitation complète du polluant.

L'efficacité du processus est évaluée en termes de turbidité, et d'abattement de matière grasse. Le traitement par électrodes d'aluminium avec une densité de courant maximale de  $3A/15\text{ cm}^2$  a permis une décoloration importante et une élimination de la turbidité dépassant les 50% au fur à mesure des essais jusqu'à dépasser les 90%, il en est de même Pour la matière grasse.

Puis on a ensuite opéré par couplage de procédé, en utilisant le  $H_2O_2$  qui est un agent d'oxydation (peroxi-électrocoagulation). Puis on a fait augmenter la conductivité du milieu en ajoutant du Na Cl comme électrolyte afin d'optimiser les conditions opératoires et d'avoir des rendements de plus en plus importants.

Au final on a réuni toutes les conditions optimales du procédé afin de garantir l'efficacité et la faisabilité du traitement par électrocoagulation d'un effluent d'industrie de peinture.

Les résultats obtenus montrent que le temps influence sur le procédé d'électrocoagulation, on observe bien d'après les résultats obtenus la diminution de la turbidité au fur à mesure que le temps d'EC augmente et cela jusqu'à atteindre une durée de 32 minute et après filtration on a obtenus un taux d'abattement légèrement au-dessus des 50%.

L'intensité joue un rôle majeur dans l'électrocoagulation car elle responsable de la dissolution des anodes donc c'est un moyen pour contrôler la dose du coagulant, les résultats confirment cela que dès les premières minutes d'EC on a un taux d'abattement de 66.71 % et cela jusqu'à atteindre un taux d'abattement de 85.52 et 99.85 % respectivement pour la turbidité et la matière grasse. Le nombre d'électrodes ainsi que la distance jouent aussi un rôle important dans le procédé d'électrocoagulation,

Le pH ainsi que la nature de l'électrolyte utilisé (NaCl ...) ou l'association de l'électrocoagulation à la coagulation chimique peuvent se révéler nécessaire pour réduire le prix du traitement tout en préservant le rendement du système. L'ajout de Na cl dans notre cas avec une densité de courant de 3A et une concentration de 240 mg/l nous a permis d'atteindre des taux d'abattement de 98 % pour la turbidité ainsi que les matières grasses.

. Les résultats obtenus sont plutôt convaincants et cela nous renseigne sur la faisabilité du procédé de l'électrocoagulation à traiter un effluent d'une industrie de peinture. Donc Cela est tout à fait faisable.

Et comme perspectives pour l'EC : Concevoir un réacteur (colloïdale) optimal pour un type d'effluent avec des formes coniques pour mieux cerner les colloïdes et ne pas leur laisser beaucoup d'espace pour qui ils se dispersent, Modélisation des réactions homogènes sur quelques types d'effluents, évaluation cout/efficacité et efficacité /temps. Une étude électrochimique de la dissolution du fer et de la formation des gaz pour comparer à celle déjà effectuée sur l'aluminium ; on peut envisager d'utiliser la spectroscopie d'impédance électrochimique sur une anode en alliage de fer. Une étude de la possibilité de valorisation des boues d'électrocoagulation.

# Références

## **Bibliographie**

### **CHAPITRE 1**

[1] **Dictionnaire sur l'environnement**, 1,001 et abréviations de l'environnement et du développement durable.

[2] Déchets ménagers et traitement de lixiviats. Extrait d'un master, (décembre 2008).

[3] **Kehila. Y, Aina. M, Mezouari. F, Matejka. G, Mamma. D**, Quelles perspectives pour l'enfouissement technique et le stockage éco-compatible des résidus solides dans les ped vis-à-vis des impacts sur l'hydrosphère urbaine ? Actes des JSIRAUF, Hanoi, (6 novembre 2007).

[4] **Souhaila Trabelsi**. Etudes de traitement des lixiviats des déchets urbains par les procédés D'oxydation avancée photochimiques et \_électrochimiques : application aux lixiviats de la Décharge tunisienne "Jebel Chakir". Sciences de la Terre. Université Paris-Est, 2011. Français. < NNT : 2011PEST1122 >.

[5] **ILHEM Moumeni et Souad Tahri**, Formulation des crèmes écrans totales, les émoullients et les humectants. Université Djillali liabes. Sidi Bel Abbas. Algérie diplôme d'étude supérieur en biologie, (2009).

[6] **CHAUVOT Jérémie – DAULHAC Anthony - LOYRIAC Sylvain**, Eco conception, usinage à sec, Ecole d'ingénieurs de Tarbes France 12/10/2008.

[7] **Bataller.H, Lamaallam. S, Lachaise. J, Graciaa. A. Dicharry. C**, cutting fluid emulsions produced by dilution of a cutting fluid concentrate containing a cationic/ nonionic surfactant mixture, Journal of Materials processing Technology, 152 (2004), 215-220.

[8] **GOUSMI NAWEL**, Etude paramétrique du traitement de microémulsions d'huile de coupe par le procédé d'électrocoagulation Présenté pour l'obtention du diplôme de magister en : génie des procédés spécialité : génie de l'environnement ,28/05/2011.

- [9] **H. B, Masour, O. Boughzalza, D. Dridi, D. Barillier, L. Chekir- Ghedira, R. Mosrati,** les colorantes textiles sources de contamination de l'eau : criblage de la toxicité et des méthodes de traitement. Journal of water science, vol. 24, n°3, (2011), (2009) -238.
- [10] **S. E. Manahan,** Environmental chemistry, Ed (6), Lewis publisher, (1994).
- [11] **N. J. Willmott, J. T. Guthrie, G. Nelson,** JSDC, 114 (1998) 38-41.
- [12] **Ganesh R.** Fate of azo dye in sludges. Th: chim: Virginia polytechnic institute and state university, 193 p, 1992
- [13] **Mme BENOSMAN née BENGRIINE Asma :** mémoire En vue de l'obtention du Diplôme de magistère Spécialité : Chimie Option : chimie inorganique et environnement Thème Dépollution des eaux usées sur un support naturel Chitosane-Bentonite ,2011
- [14] **Brown M. A. Deviti S.C.** Predicting azo dye toxicity. Critical review in environ. Sc. And Techn., 1993, 12, 3, 405- 414.
- [15] Santé Canada, chloration de l'eau, votre santé et vous, mars 1999a.
- [16] **H. Yahi, A. Hami,** Caractérisation et traitement biologique par boues activées d'effluents de laiterie. Algerian Journal of Technology, Vol 2, pp 571-580, SSN/1111-357X, Alger-Algérie, 2008.
- [17] **AMRANI Saloua,** Bejaïa. Les expériences des entreprises industrielles algériennes dans L'intégration de la dimension environnementale dans leur stratégie de gestion : Cas des entreprises industrielles de la Wilaya de Bouira.
- [18] **Dey, B.K.,** 1999. Wastewater recycling in a paint process. Thesis, Institute of COD removal after Chemical/Physical treatment was 92% Post Graduate studies in Research, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia) - [trad-Samia Debbi]
- [19] **Abdurrahman Akyol,** Intro, Treatment of paint manufacturing wastewater by electrocoagulation, Data in Desalination, Gebze Institute of Technology, Department of Environmental Engineering, Cayirova,41400, Gebze (Mars 29 mars 2017)- [trad-Samia Debbi]
- [20] **S, Vishali,** studies on treatability of paint industry wastewater by physical methods, university, department of chemistry, India, (2016-04-06)

[21] **brahim. S, dimitri.x** élaboration des fiches techniques des valeurs limites des rejets industriels, élaboration des dossiers techniques relatifs aux valeurs limites des rejets industriels dans le domaine public hydraulique, fiche\_vlr\_peinture-verniss-laques-encre, Rome, 2006

[22] Centre international de technologies de production plus propre, secteur de l'industrie chimique, fiche technique N°28.

## Chapitre 2

[1] **E.A. Mackey, P.R. Becker, R. Demiralaph, P.R. Greenberg, B.J. Koster, S.A. Wise**, Bioaccumulation of vanadium and other trace metals in livers of Alaskan cetaceans and pinnipeds, Arch. Environ. Contam. Toxicol. 30 (1996) 503–512.

[2-8] **J. Zhang, L. Giorno, E. Drioli**, Study of a hybrid process combining PACs and membrane operations for antibiotic wastewater treatment, Desalination 194 (2006) 101–107.

[3] **V. Lopez-Grimau, M.C. Gutierrez**, Decolorization of simulated reactive dye bath effluents by electrochemical oxidation assisted by UV light, Chemosphere 62 (2006) 106–112.

[4] **M. Minhalma, J.R. Dominguez, M.N. De PinhoCork**, processing wastewaters treatment by an ozonization/ultrafiltration integrated process, Desalination 191 (2006) 148–152.

[5] **I. Kabdasli, I. Arslan-Alaton, B. Vardar, O. Tunay**, Comparison of electrocoagulation Coagulation and the fenton process for the treatment of reactive dye bath effluent, Water Sci. Technol. 55 (2007) 125–134.

[6] **M.A. Aboulhassan, S. Souabi, A. Yaacoubi, M. Baudu**, Improvement of paint effluents coagulation using natural and synthetic coagulant aids, J. Hazard. Mater. B 138(2006) 40–45.

[7] **B.K. Dey, M.A. Hashim, S. Hasan, B. Sen Gupta**, Microfiltration of water-based Paint effluents, Adv. Environ. Res. 8 (2004) 455–466.

[8] **A. Akyol, H.C. Yatmaz, M. Bayramoglu**, Photocatalytic decolourization of Remazol Red RR in aqueous ZnO suspensions, Appl. Catal. B Environ. 54

[9] Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : procédés de traitement. 2007 - Factory and trade waste, <https://books.google.dz/books?isbn=2848671971> (vu le 24 septembre 2017)

## Références bibliographiques

[10] **MOUMOU, 2004 ; MBUYI MUNDELA, 2005.** Un réacteur diphasique destiné à la biodégradation des COV.

[11] assistance technique de la FAO convention fao/utf/mor019/mor ; projet de gestion des ressources en eau : Elaboration des dossiers techniques Relatifs aux valeurs limites des rejets industriels dans le Domaine Public Hydraulique Entre L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) Et la Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau (DRPE) MAROC.

[12] **S. ZODI** : Étude de l'épuration d'effluents de composition complexe par électrocoagulation et des couplages intervenants entre le traitement électrochimique et l'étape de séparation : application à l'industrie textile. **Inoussa ZONGO** pour l'obtention du titre de docteur de l'inpl étude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation : application au traitement de deux effluents textiles et d'un effluent simulé de tannerie.

[13] **MARC VERLOO** : les métaux lourds dans les denrées alimentaires, origines et évolution des teneurs, Bioressource technology (2003).

[14] **André PICOT** : Intoxication de l'organisme par les métaux lourds et autre toxiques, thèse novembre 2003, Paris

[15] **DEGREMONT** : Mémento technique de l'eau, 9ème édition. Ed. Lavoisier, paris (1989).

[16] **S. ACHOUR, L. YOUCEF** : Elimination du cadmium par adsorption sur Bentonites sodique et calcique. Université de Biskra, Algérie (2003).

[17] **Larbi EL HAMMARI** : Synthèse et études physico-chimiques des phosphates de calcium poreux greffés par des molécules organiques : Structure et processus d'adsorption. Thèse juillet 2007. Faculté des sciences, université Mohammed v agdal, rabat, Maroc

[18] **Ratiba BOUSSEN** : Valorisation de l'acide phosphorique par précipitation du cadmium et per traction de l'uranium, Thèse, Rabat (Juillet 2007).

[19] **C. GAGNON, G. VAILLANCOURT et L. PAZDERNIK** : L'accumulation et l'élimination de cadmium par deux mousses, Fontinales dalecarlica et platyhypnidium riparioides (Influence de la concentration de cadmium, du temps d'exposition, de la dureté de l'eau et de l'espèce de mousses (septembre 1998).

## Références bibliographiques

- [20] **J.P. ROLLEY et M.Wienin** : la petite histoire du plomb et du zinc en Cévennes, Géologie de Cévennes.1993, France
- [21] CDC Child Hood lead poisoning Prevention program : Directives de l’OMS pour la qualité de l’eau de boisson, maladies liées à l’eau, Genève, 1993.
- [22] **Daniel J., CZICZO, et al** : Inadvertent climate modification due to anthropogenic lead, Nature Géoscience 2, 333-336 (2009), Atmospheric science. USA.
- [23] **Gérard Miquel** : Les effets des métaux lourds sur l’environnement et la santé. Rapport de Sénat, Avril 2001.France.
- [24] **Jean pierre candy, Jean-Marie Basset et Grégory Godard** : procédé d’élimination des métaux toxiques de l’eau. CNRS, Université de Lyon, 2002. France.
- [25] Chemical Engineering, 1988, vol. 95, n°16, p76. Cité dans Commission Economique pour l’Europe – L’utilisation rationnelle de l’eau et son traitement dans l’industrie chimique
- [26] **Crine M., Salmon T., Schlitz M.**, Procédés de traitement des eaux industrielles chargées en métaux lourds Métaux lourds. In Traitement des effluents liquides industriels. Actes du Séminaire mars1991, Vasel J-L., Vander Borgh P
- [ 27] WASTE-WATER TREATMENT TECHNOLOGIES: A GENERAL REVIEW United a survey of 25 recently constructed facilities in the US and Canada.
- [28] **Elarde and Bergman**, “The cost of membrane filtration”.
- [29] **S. Adham, J. Jacangelo and J.M. Lainé**, “Characteristics and costs of MF and UF plants,” Journal AWWA, May 1996.23
- [30]. **S. Chellam, C. Serra and M. Wiesner**, “Estimating costs for integrated membrane systems,” Journal AWWA, November 25
- [31]. **Pittner**, “Economics of Desalination
- [32] **Annane ouardia**, amélioration de la technique de de fluoruration par le nouveau procédé de l’électrocoagulation bipolaire, cite (ghosh et al.,2008., drouiche et al.,2008). p.88

[33] Etude sur les couts de réduction des rejets de substances toxiques rapport final Année de l'étude 2010 Auteur : IRH Ingénieur Conseil pour le compte de l'agence de l'eau RM&C, mto/cdl/fgo/10-0573

### CHAPITRE 3

[1] **Mounir BENNAJAH**, traitement des rejets industriels liquide par Electrocoagulation / Electrolocation en réacteur air lift. Thèse de doctorat. Institut national polytechnique de Toulouse

[2] **Inoussa Zongo**, étude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation : application au traitement de deux effluents textiles et d'un effluent simulé de tannerie thèse en cotutelle, présentée à l'institut national polytechnique de lorraine pour l'obtention du titre de docteur de l'inpl spécialité : génie des procédés et des produits

[3] **M.Y.A. Mollah, R. Schennach, J.R. Parga, D.L. Cocke**, Electrocoagulation (EC)—science and applications, *J. Hazard. Mater.*, 84, 29–41 (2001).

[4] **P.K. Holt, G.W. Barton, C.A. Mitchell**, The future for electrocoagulation as a localized water treatment technology, *Chemosphere*, 59, 355–367 (2005).

[5] **Savaş Koparal A., Ögütveren U.B.** Removal of nitrate from water by electrocoreduction and electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 2002. 83-94.

[6] **Szpyrkowicz L.** Hydrodynamics effects on the performance of electrocoagulation electroflotation for the removal of dyes from textile wastewater. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2005, 7844-7853/

[7] **Emamjomeh, M, Sivakumar**, denitrification using a monopolar electrocoagulation (ECF) process. *Journal of Environment Management* 91(2009 b) 516-522

[8] **LEMLIKCHI WAHIBA** élimination de la pollution des eaux industrielles par différents procédés d'oxydation et de Co précipitation Thèse de doctorat université mouloud Mammeri tizi ouzou, 31/10/2012

[9] **Daneschvar, N Ashassi-Sorkhabih, Tizpar A.** Decolourization of orange II by electrocoagulation method. *Séparation and purification technology*, (2003) 153-162.

[10] **diagramme Pourbaix** : Diagramme de prédominance de l'espèce aluminium en fonction du pH

[11] **Adamczyk Z.** Particle adsorption and deposition: role of electrostatic interactions. *Advances in Colloid and Interface Science*, (2003) 100-102, 267-347.

[12] **T.R. Demmin, PhD., and K.D. Uhrich Andco Degrémont SUEZ**, *Mémento Technique de l'eau*, dixième Edition, Tome 1 et 2 (2005). Improving Carpet wastewater treatment, *American Dyestuff Reporter* (1988) 13-32.

[13] **Buffle J.** complexation reactions in aquatic systems: an analytical approach. - p. chichester, john and Wiley 1988 692.

[14] **Can O.T., Bayramoglu M. Kobya** decolorization of reactive dye solutions by electrocoagulation using aluminium electrodes. *industrial and engineering chemistry reasearch*,2003,3391-3396

[15] **O. Annane** : Amélioration de la technique de dé fluoruration par le nouveau procédé D'électrocoagulation bipolaire. Thèse de Magister en Chimie de l'Environnement. Université De Tizi-Ouzou, 2011, pp33-54.

[16] **joseph Woodward, Amanda j. Hilldore,Sheeny K.Lan,C.J.Park;Abby W.Morgan,jo Ann C.Eurell,Sherrie G.Clark,Matthew B.Wheele,Russel D.jamison,Amy j.Wagoner hohnson** ,The mechanical properties and osteo conductivity of hydroxyapatite Bone scaffolds with multi-scale porosity ,*Biomaterials* 28 (2007) 45-54.

[17] **Hongjin qiu, Jian yang, Pradeep Kodai, joseph Koh, Guillermo A. Ameer**, A citric acid- based hydroxyapatite composite for orthopedic implants, *Biomaterials* 27(2006) 5845-5854

[18] **A. Benmoussa, C. Delaurent, j-L. Lacout, P.R. Loiseaud, M. MIKOUN** determination of cholecalciferol and related substances by calcium phosphate hydroxyapatite and calcium phosphate fluorapatite high-performance liquid chromatography, *journal of chromatography A*,731[1996]153-160

- [19] **Chen.G.**, Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and purification technology, 38 (2004) KKK L 11-41.
- [20] **Mollah M.Y.A., schennach R., parga J.R., cocke D.L.** Electrocoagulation (EC)-science and applications. journal of Hazardous Materials, B114 (2004) 199-210
- [21] **Madour.F, Brahim.N,** traitement d'émulsion d'huile de coupe par le procédé d'électrocoagulation. Thèse d'ingénieur d'état, ALGER, USTHB, (2007).
- [22] **M.F. Mohtadi, P.N. Rao** Effect of température on flocculation og aqueous dispersions wat. Res, (1973) 747 -767.
- [23], Etude de l'influence de la température dans le processus de coagulation flocculation, DEA.INS.A. Toulouse. [1981)
- [24] **Malika Aoudjehane, Malika Rezzouk, Amara Kellil, Yves Aurelle et Christine Guigui** Étude comparative de l'électrocoagulation et de la coagulation flocculation vis-à-vis de la déstabilisation d'une émulsion d'huile de coupe Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 23, n° 1, 2010, p. 17-30.
- [25] **Nabil S. Abuzaid Aladdin A Bukhari akariya Hamouz** Ground Water Coagulation Using Soluble Stainless-Steel Electrodes Article · September 2002
- [26] **RUBACH S. et I.F. SAUR** ,Onshore testing of produced waster by electrocoagulation. Filt. Sep., Octobre, (1997). 877-882.
- [27] **VIK E.A., D.A. CARLSON, A.S. EIKUM et E.T. GLESSING** Electrocoagulation of potable water. Water Res.,18, 1355-1360. (1984).
- [28] **HOLT P.H., BARTON G.W. (2002).** A quantitative comparaison between chemical dosing and Electrocoagulation, Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp., Vol. 211, Issues 2-3, 233-248.
- [29] **LETTERMAN R.D., AMIRTHARAJAH A., O'MELIA C.R.** Water Quality Treatment- A Handbook of community Water Supplies, Letterman R.D (Editor) 5th Edition, AWWA, McGraw-Hill, New York, 1248 p. (1999).

## Références bibliographiques

- [30] **H.A. Moreno C., D.L. Cocke, J.A.G. Gomes, P. Morkovsky, J.R. Parga, E. Peterson et C. Garcia**, Electrochemistry behind electrocoagulation using iron electrodes, ECS Transactions6 (2007a)1-15.
- [31] **M.M. Emamjomeh, M. Sivakumar**, An empirical model for defluoridation by batch monopolar electrocoagulation/flotation (ECF) process, Journal of Hazardous Materials B 131 (2006) 118-125.
- [32] **M. Yousuf A. Mollah<sup>1</sup>, Robert Schennach, Jose R. Parga<sup>2</sup>, David L. Cocke** Gill Chair of Chemistry & Chemical Engineering, Lamar University, Beaumont, TX 77710, USA Received 23 July 2000; received in revised form 22 December 2000; accepted 23 December 2000.
- [33] **J.-Q. Jiang, N. Graham, C. Andre, G.H. Kelsall, N. Brandon**, Water Res. 36 (2002) 4064
- [34] **HOLT P.H., BARTON G.W., MITCHELL C.** Electrocoagulation as a wastewater treatment, The 3rd Annual Australian Environmental Engineering Research Event (2006)
- [35] **BAYRAMOGLU M., KOBYA M., CAN T., SOZBIR M.** Operating Coast Analysis of Electrocoagulation of Textile Dye Wastewater, Sep. Purif Technol., Vol. 37, Issue 2, 117-125. (2004).
- [36]. **PERSIN F ET M RUMEAU** ; le traitement électrochimique des eaux et des effluents Tribune de l'eau, 42, 45-54 (1989)
- [37] **VERNHES M.C., A. BENICHOU et P. PERNIN (1999)**. Éradication des amibes libres par l'utilisation de champs électriques pulsés. Dans : *Journée d'Électrochimie*, 1 au 4 juin 1999, Toulouse, France.
- [38] **J. MIQUEL** l'épuration électrolytique des eaux résiduaires industrielles. Technique moderne1[1977] 31-33
- [39] **G. POTEAUX** épuration des eaux résiduaires par électrolyse. Technique moderne ?70 ,1, pp.42-44(1978)
- [40] **v. e cenkin and A. belevtsev**, electrochemical treatment of industrial wastewater effluent.wat. treat.j.7 (1985) 243-24

[41] **Tir Mohammed** utilisation des techniques électrochimiques dans le traitement des émulsion hydrocarbures/eau ,18/05/2009

[42] **I. Ayhan Sengil a, \*, Mahmut ozacar** Treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation using mild steel electrode journal of Hazardous Materials B137 (2006) 1197–1205 s Received 10 January 2006; received in revised form 27 March 2006; accepted 1 April 2006 Available online 19 April 2006.

[43] **Adel Aitbara\*, Sabir Hazourli, Soraya Boumaza, Soraya Touahria, Mouna Cherifi** Etude comparative d'efficacité de prétraitement des effluents d'une laiterie industrielle par coagulation-floculation et électrocoagulation en dynamique. Laboratoire de traitement des eaux et valorisation des déchets industriels, Faculté des Sciences, Département de Chimie, BP12, Annaba 23000, Algérie.

[44] **Aurélié, Electrocoagulation**, traitement de l'eau polluée. BTS métiers de l'eau 201002/10/10

[45] **BOUAOUINE O.1, KHALIL F.1\*, CHTIOUI H.1, ZAITAN H.2, HARRACH A.2** traitement par électrocoagulation des lixiviats de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès (Maroc) larhyss journal, issn 1112-3680, n°23, septembre 2015, pp. 53-67 ; cite (holt et al., 2002 ; letterman et al., 1999)

[46], **SALIM ZODI** Étude de l'épuration d'effluents de composition complexe par électrocoagulation et des couplages intervenants entre le traitement électrochimique et l'étape de séparation : application à l'industrie textile et papetière ,22 mars 2012

## CHAPITRE 4

[1] **vue aérienne de l'usine de lakhdharia**, Source google (vérifié le 24 septembre 2017)

[https://www.google.dz/maps?q=vue+aerienne+enap+lakhdaria&um=1&ie=UTF-8&sa=X&ved=0ahUKEwi-5\\_v4osPWAhWoAMAKHcRWCj0Q\\_AUICygC](https://www.google.dz/maps?q=vue+aerienne+enap+lakhdaria&um=1&ie=UTF-8&sa=X&ved=0ahUKEwi-5_v4osPWAhWoAMAKHcRWCj0Q_AUICygC)

[2] Les principales maladies à transmission hydriques dans la Wilaya de Bouira 1988-2008) Nombre des cas, Source : Direction de planification et d'aménagement de territoire de la Wilaya de Bouira (1) Rapport final : Plan d'aménagement de la Wilaya de Bouira, 1990, Alger.

[3] **Abstract -Abdurrahman Akyol**, Intro, Treatment of paint manufacturing wastewater by electrocoagulation, Data in Desalination, Gebze Institute of Technology, Department of Environmental Engineering, Cayirova,41400, Gebze (Mars 29 mars 2017)-[trad-Samia Debbi].

## CHAPITRE 5

[1] **Malika Aoudjehane, Malika Rezzouk, Amara Kellil, Yves Aurelle et Christine Guigui**, Étude comparative de l'électrocoagulation et de la coagulation floculation vis-à-vis de la déstabilisation d'une émulsion d'huile de coupe. Volume 23, numéro 1, 2010

[2] **Mounir BENNAJAH**, traitement des rejets industriels liquide par Electrocoagulation / Electrolocation en réacteur airlift. Thèse de doctorat. Institut national polytechnique de Toulouse, (Décembre 2007), Cite (*Mollah et coll., 2004*).

[3] **Adel Aitbara\*, Sabir Hazourli, Soraya Boumaza, Soraya Touahria, Mouna Cherifi** Etude comparative d'efficacité de prétraitement des effluents d'une laiterie industrielle par coagulation-floculation et électrocoagulation en dynamique. Laboratoire de traitement des eaux et valorisation des déchets industriels, Faculté des Sciences,

[4] **N. GOUSMI1**, : Etude paramétrique du traitement de microémulsions d'huile de coupe Par le procédé d'électrocoagulation Présenté pour l'obtention du diplôme de magister en : génie des procédés Spécialité : Génie de l'environnement ,28/05/2011.

[5] **Abdelaziz Khennoussi, Mehdi Chaouch et Abdelkader Chahlaoui**, Traitement des effluents d'abattoir de viande rouge par électrocoagulation-flottation avec des électrodes en fer Un article de la revue Revue des sciences de l'eau Volume 26, Numéro 2, 2013, p. 135–150

[6] **Mounir BENNAJAH**, traitement des rejets industriels liquide par Electrocoagulation / Electroflotation en réacteur airlift. Thèse de doctorat. Institut national polytechnique de Toulouse, (Décembre 2007). Cite **Golder et ayhan**

[7] **LEMLIKCHI WAHIBA** élimination de la pollution des eaux industrielles par différents procédés d'oxydation et de Co précipitation Thèse de doctorat université mouloud Mammeri tizi ouzou,31/10/2012

[8] **S. Chergui – Bouafia\* et R. Alloun** Procédé d'oxydation avancée pour le traitement des eaux usées ,Revue des Energies Renouvelables ICRES-07 Tlemcen (2007) 163 – 170 163:

[9] **Yahya Esfandyari & Yousef Mahdavi & Mahdi Seyedsalehi & Mohammad Hoseini & Gholam Hossein Safari & Mohammad Ghanbari Ghazikali & Hossein Kamani & Jalil Jaafari** Dégradation and biodegradability improvement of the olive Mill wastewater by peroxi-electrocoagulation/electrooxidation electroflotation process with bipolar aluminium electrodes, cite (Bard,2004).

[10] **Hong S, Zhang H, Duttweiler CM, Lemley AT (2007)** Degradation of methyl tertiary-butyl ether (MTBE) by anodic Fenton treatment. J Hazard Mater 144 :29–40

[11] **Gao S, Du M, Tian J, Yang J, Yang J, Ma F, Nan J (2010)** Effects of chloride ions on electro-coagulation-flotation process with aluminum electrodes for algae removal. J Hazard Mater 182:827–834

[12] **N. Daneshvar, A.R. Khataee, A.R.A. Ghadim, M.H. Rasoulifard,** Decolorization of C.I. Acide yellow 23 solution by electrocoagulation process: Investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC), Journal of Hazardous Materials, 148, 566-572. 2007.

[13] **I. Kabdas, T. Arslan, T. Ölmez-Hanc, I. Arslan-Alaton, O. Tünay,** Complexing agent and heavy metal removals from metal plating effluent by electrocoagulation with stainless steel electrodes, Journal of Hazardous Materials, 165, 838–845. 2009.

[14] **U. Tezcan, A. Savas Koparal, U. Bakir Ogutveren,** Electrocoagulation of vegetable oil refinery wastewater using aluminum electrodes, Journal of Environmental Management 90, 428-433. 2009.

## Références bibliographiques

- [15] **A. E. Yilmaz, R. Boncukcuoglu, M. Kocakerim**, A quantitative comparison between electrocoagulation and chemical coagulation for boron removal from boron containing solution, *Journal of Hazardous Materials*, 149,475-481. 2007.
- [16] **N. GOUSMI 1,2, K. BENSADOK 2** étude de l'applicabilité du procédé d'électrocoagulation pour le traitement de rejets pétroliers1 Centre de recherche en technologies industrielles CRTI ex CSC, BP 64 Cheraga 1614, Alger, Algérie,
- [17] **Chen G (2004)** Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Sep Purif Technol* 38 :11-41
- [18] **R.M. SERIKAWA\*, M. ISAKA, Q. SU, T. USUI, T. NISHIMURA, H. SATO and S. HAMADA** Wet electrolytic oxidation of organic pollutants in wastewater treatment Center for Advanced Technology, Ebara Research Co. Ltd, 4-2-1 Honfujisawa, Fujisawa, 251-8502, Japan (serikawaL0032@erc.ebara.co.jp) Received 21 August 1999; accepted in revised form 15 February 2000
- [19] **W. Chih-Ta, C. Wei-Lung, K. Yi-Ming**, Removal of COD from laundry wastewater by electrocoagulation, *Separation and Purification Technology*, 19, 65-76. 2009.
- [20] **Ameziane Noureddine, Benaabidate, Lahcen Khennoussi Abdelaziz**, effet de l'épuration par électrocoagulation sur la pollution des effluents de l'hôpital Mohammed v de Mekkès. Cite (Chen, 2004 ; Daneshvar *et al.*, 2006).
- [21] **M. Pourbaix**, Atlas d'équilibres électrochimiques à 25C°, Gauthier - willars, Paris 168-175 (1963).
- [22] **Mehmet Kobya Orhan Taner Can Mahmut Bayramoglu** Treatment of Textile Wastewaters by Electrocoagulation Using Iron and Aluminum Electrodes Article · July 2003.

## Références bibliographiques

## Références bibliographiques

## Références bibliographiques

# Annexes

## Annexe 1. Valeurs limites de rejets industriels : cas du Maroc et d'autres pays

N°	Paramètre	Valeurs Limites Maroc Rejet direct	Valeurs Limites Maroc Rejet indirect	LYDEC Casablanca	Valeurs limites France	Valeurs maximales Algérie	Valeurs maximales Région Wallonne Belgique	Valeurs limites Maximales Suisse	Valeurs limites Rejet dans milieux naturels Sénégal	Valeurs maximales autorisées Rejets directs Ouest du Bengale, Inde
1	Température (°C)	30°C	3S	30	30	30	30	30		Ne doit pas dépasser de plus de 5°C la température De l'eau réceptrice
2	pH	6,5 – 85	6,5 – 8,5	5,5 - 8,5	5,5 - 8,5	5,5 à 8,5	-	6,5-9,0		6,5-9,0
3	MES mg/l	50	600	500	100	30	100	20	40	100
4	Azote Kjeldahl mgN/l	30 <sup>2</sup>	-	150/200	30	40	30		20	
5	Phosphore total P mgP/l	10 <sup>2</sup>	10	-	10	2	10		10	
6	DCO mgO <sub>2</sub> /l	500 <sup>2</sup>	1000	1200	300	120	300		200	250
7	DBO <sub>5</sub> mgO <sub>2</sub> /l	100 <sup>2</sup>	500	500	100	40	100		50	30 (3 jours à 27°C)
8	Chlore actif Cl mg/l	0,2	-	3,0	-	1,0		1,0		
9	Dioxyde de chlore ClO <sub>2</sub> mg/l	0,05	-	-	-					
10	PCB							0,001		
11	Aluminium Al mg/l	10	-	10	-	5,0	5,0			
12	Détergents (anioniques, cationiques et non ioniques) mg/l	3,0	-	-	-	2,0				
13	Conductivité en µs/cm	2700 <sup>3</sup>	-	-	-					
14	Salmonelles /5000 ml	Absence	A éliminer	-	-					
15	Vibrions cholériques/5000ml	Absence	A éliminer	-	-					
16	Cyanures libres (CN) mg/l	0,1	1,0	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
17	Sulfures libres (S <sup>-</sup> ) mg/l	1,0	1,0	1,0	-					
18	Fluorures (F) mg/l	1,5	15	10	15		15			2,0
19	Indice de phénols mg/l	0,3	5,0	5,0	0,3	0,5	0,1	0,5	0,5	1,0
N°	Paramètre	Valeurs Limites Maroc Rejet direct	Valeurs Limites Maroc Rejet indirect	LYDEC Casablanca	Valeurs limites France	Valeurs maximales Algérie	Valeurs maximales Région Wallonne Belgique	Valeurs limites Maximales Suisse	Valeurs limites Rejet dans milieux naturels Sénégal	Valeurs maximales autorisées Rejets directs Ouest du Bengale, Inde

20	Hydrocarbures mg/l	10	20	-	10	20	15	50	
21	Huiles et graisses mg/l	30	50	-	-	20			10
22	Antimoine (Sb) mg/l	0,3	0,3	-	-				
23	Etain (mg/l)						2.0		
24	Argent (Ag) mg/l	0,1	0,1	0,1	-				
24	Arsenic (As) mg/l	0,1	0,1	1,0	-		0.1	0.3	0.2
25	Baryum (Ba) mg/l	1	1	-	-				
26	Cadmium (Cd) mg/l	0,2	0,2	3,0	0,2	0,2		0.1	02
27	Cobalt (Co) mg/l	0,5	1,0	2,0	-				
28	Cuivre total (Cu) mg/l	0,5	1,0	1,0	0,5	3,0	2,0	0,5	3,0
29	Mercure total (Hg) mg/l	0,05	0,05	0,1	0,05	0,01			0,01
30	Plomb total (Pb) mg/l	0,5	0,5	0,1	0,5	1,0	1,0	0,5	0,1
31	Chrome total (Cr) mg/l	2,0	2,0	2,0	0,5				2,0
32	Chrome hexavalent (Cr VI) mg/l	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
33	Etain total (Sn) mg/l	2,0	2,0	0,1	2,0				
34	Manganèse (Mn) mg/l	1,0	1,0	-	1,0	1,0	2,0		2,0
35	Nickel total (Ni) mg/l	0,5	0,5	1,0	0,5	5,0	5	2,0	3,0
36	Sélénium (Se) mg/l	0,1	1,0	-	-				0,05
37	Zinc total (Zn) mg/l	5,0	5,0	1,0	2,0	5,0	5,0	2,0	5,0
38	Vanadium (V) mg/l								0,2
39	Fer (Fe) mg/l	3,0	3,0	0,5	-	5,0	5,0		3,0
40	AOX	5,0	5,0	-	1,0				

## Annexe 1. Valeurs limites de rejets industriels : cas du Maroc et d'autres pays (suite)

N°	Paramètre	Valeurs limites de rejet dans le milieu naturel (Rejet direct) Népal	Valeurs limites de rejet dans réseau d'égouttage (Rejet indirect) Népal	Valeurs limites de rejet dans le milieu naturel à partir d'une step mixte Népal	Valeurs limites de rejet dans le milieu naturel (Rejet direct) Taïwan	Valeurs limites de rejet direct Pakistan	Valeurs limites de rejet direct Japon	Banque mondiale
1	Température (°C)	Ne doit pas dépasser 40°C à 15 m à l'aval de la sortie de l'effluent	45	Ne doit pas dépasser 40°C à 15 m à l'aval de la sortie de l'effluent	Pour des effluents rejetés en eau de surface : 1) < 38°C (de mai à septembre)			Ne peut pas causer un accroissement de 3°C à la limite de la zone de mélange ou 100m
2	pH	5.5 to 9.0	5.5 to 9.0	5.5 to 9.0	°C 6.0~9.0			6-9
3	MES mg/l	30-200	600	50	30	200	300	50
4	Azote Kjeldahl mgN/l							
4'	Azote ammoniacal mgN/l	50	50	50	10			10
4''	Azote nitrique mgN/l				50			
5	Phosphore total P mgP/l				4			2
6	DCO mgO2/l	250	1000	250	100	150		250
7	DBO <sub>5</sub> mgO2/l	30-100	400	50	30	80	300	50
8	Chlore actif Cl mg/l	1	1000	1				0.2
9	Dioxyde de chlore ClO <sub>2</sub> mg/l							
10	PCB							
11	Aluminium Al mg/l							
12	Détergents (anioniques, cationiques et non ioniques) mg/l							
13	Conductivité en µs/cm							
14	Salmonelles /5000 ml							
15	Vibrions cholériques/5000ml							
16	Cyanures libres (CN) mg/l	0.2	2	0.2	1	1	1	
17	Sulfures libres (S <sub>l</sub> ) mg/l	2	2	2	1			1
N°	Paramètre	Valeurs limites de rejet dans le milieu naturel (rejet direct) Népal	Valeurs limites de rejet dans réseau d'égouttage (rejet indirect) Népal	Valeurs limites de rejet dans le milieu naturel à partir d'une step mixte Népal	Valeurs limites de rejet dans le milieu naturel (rejet direct) Taïwan	Valeurs limites de rejet direct Pakistan	Valeurs limites de rejet direct Japon	Banque mondiale

18	Fluorures (F) mg/l	2	10	2	10	15	1	15	20
19	Indice de phénols mg/l	1	10	1	10	1			0.5
20	Hydrocarbures mg/l								
21	Huiles et graisses mg/l	10	50	10	50	10			10
22	Antimoine (Sb) mg/l								
23	Phénol (mg/l)						0.1	5	
24	Argent (Ag) mg/l	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5			0.5
24	Arsenic (As) mg/l	0.2	1	0.2	1	0.5	1	0.1	0.1
25	Baryum (Ba) mg/l								
26	Cadmium (Cd) mg/l	2	2	2	2	0.03	1	0.1	0.1
27	Cobalt (Co) mg/l								
28	Cuivre total (Cu) mg/l	3	3	3	3	3	1	3	0.5
29	Mercure total (Hg) mg/l	0.01	0.01	0.01	0.01	0.005	0.01	0.005	0.01
30	Plomb total (Pb) mg/l	0.1	0.1	0.1	0.1	1	0.5	0.1	0.1
31	Chrome total (Cr) mg/l		2		2	2			0.5
32	Chrome hexavalent (Cr VI) mg/l	0.1		0.1		0.5	1	0.5	0.1
33	Étain total (Sn) mg/l								
34	Manganèse (Mn) mg/l					10	1.5	10	
35	Nickel total (Ni) mg/l	3	3	3	3	1			0.5
36	Sélénium (Se) mg/l	0.05	0.05	0.05	0.05	0.5			0.1
37	Zinc total (Zn) mg/l	5	5	5	5	5	5	5	2
38	Vanadium (V) mg/l								

## **8.2. Références internationales des VLR**

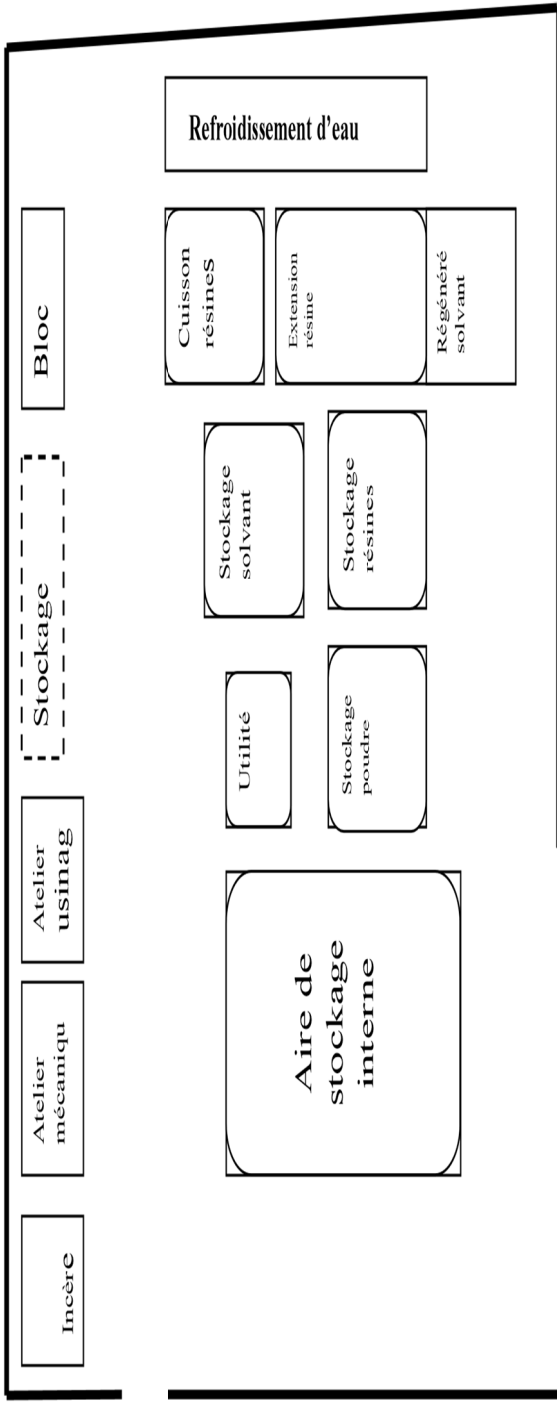
**Tableau I.13 : Valeurs limites de rejet belges et indiennes applicables au déversement des eaux usées provenant des entreprises qui produisent des vernis, des peintures, des encres d'imprimerie et des pigments. [37]**

Paramètres de pollution (mg/l)	Belgique		Inde [13]
	Rejet dans les eaux de surface	Rejet dans les égouts publics	
pH			6.0 to 8.5
MES			100
DCO	300		
BOD			50
Huiles et graisses			10
- cyanures (oxydables au chlore)	0,1	1	
- fer total + aluminium total	30	30	
- chrome total	2	5	2

Vue aérienne de l'usine de Iakhdharia

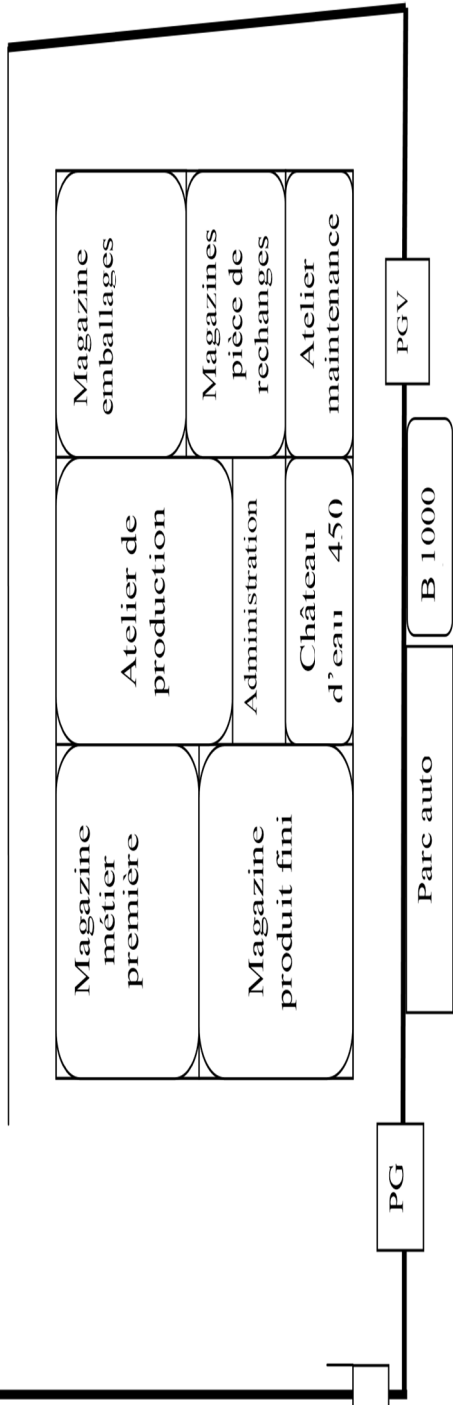


Habitation



Route vers village Zbarboursa

Voie ferrée Alger-Constantine



**plan de masse de l'usine de palestro**

PG : poste de Garde  
 PGV : poste de garde voiture

Le présent décret a pour objet, en application des dispositions de l'article 10 de la loi n° 03-10, de définir les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Il fixe les prescriptions techniques relatives aux installations générant ce type de rejets et les modalités de contrôle, notamment l'autocontrôle, visant à assurer la conformité des rejets aux valeurs limites fixées en annexe du présent décret.

<u>III-Réactifs</u>	<u>CARACTERISTIQUES</u>
<u>1-Chloroforme (BIOCHEM) :</u>	<p><u>Formule</u> : CHCl<sub>3</sub>  <u>Masse volumique</u> : 1,49 g/cm<sup>3</sup>  <u>Masse molaire</u> : 119,38 g/mol  <u>Point d'ébullition</u> : 61,2 °C  <u>Nom IUPAC</u> : Trichloromethane  <u>Point de fusion</u> : -63,5 °C</p>
<u>2-Peroxyde d'hydrogène à 30 % (BIOCHEM) :</u>	<p><u>Formule</u> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>  <u>Masse volumique</u> : 1,45 g/cm<sup>3</sup>  <u>Masse molaire</u> : 34,0147 g/mol  <u>Formule brute</u> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>;  <u>Nom UICPA</u> : peroxyde d'hydrogène  <u>S<sub>0</sub>gaz, 1 bar</u> : 232,95 J/mol·K</p>
<u>3-Na cl (BIOCHEM)</u>	<p><u>Masse molaire</u> : 58,44 g/mol  <u>Formule</u> : NaCl  <u>T° fusion</u> : 801 °C, 800,4 °C,  <u>Nom UICPA</u> : chlorure de sodium<sup>1</sup>  <u>1ère énergie d'ionisation</u> : 8,92 ± 0,06 eV (gaz)  <u>Masse molaire</u> : 56,1056 g/mol</p>
<u>4-KoH (BIOCHEM)</u>	<p><u>Formule</u> : KOH  <u>Nom IUPAC</u> : Potassium hydroxyde  <u>Masse volumique</u> : 2,12 g/cm<sup>3</sup>  <u>PKa</u> : 13,5  <u>Solubilité</u> : Eau, Alcool, Glycérol</p>

<u><i>Verreries :</i></u>	<u><i>CARACTERISTIQUES :</i></u>	
	Volume(ml)	Type de verre
<b><i>TUBES A ESSAI</i></b>	<b>25</b>	Pyrex
<b><i>Erlen Meyer</i></b>	<b>250</b>	Pyrex
<b><i>Becher</i></b>	<b>500</b>	Pyrex
<b><i>Entonnoir</i></b>	<b><i>Diamètre 0.4 cm</i></b>	Pyrex
<b><i>Ampoule a décantation</i></b>	<b>500</b>	Pyrex
<b><i>Eprouvette graduée</i></b>	<b>200</b>	Pyrex

**Matériels de laboratoire :**

Agitateur et chauffage (Stuart)



balance analytique(o'haus)



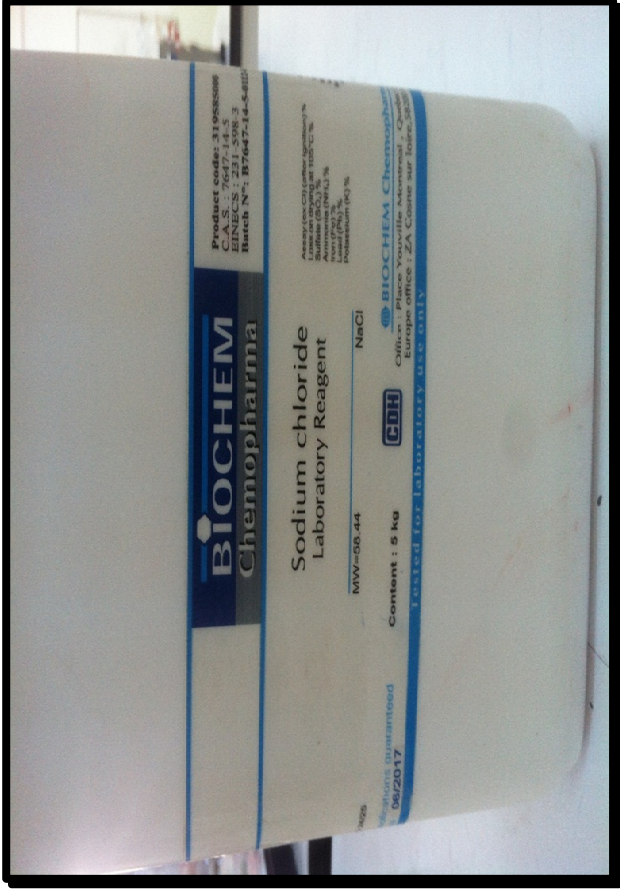
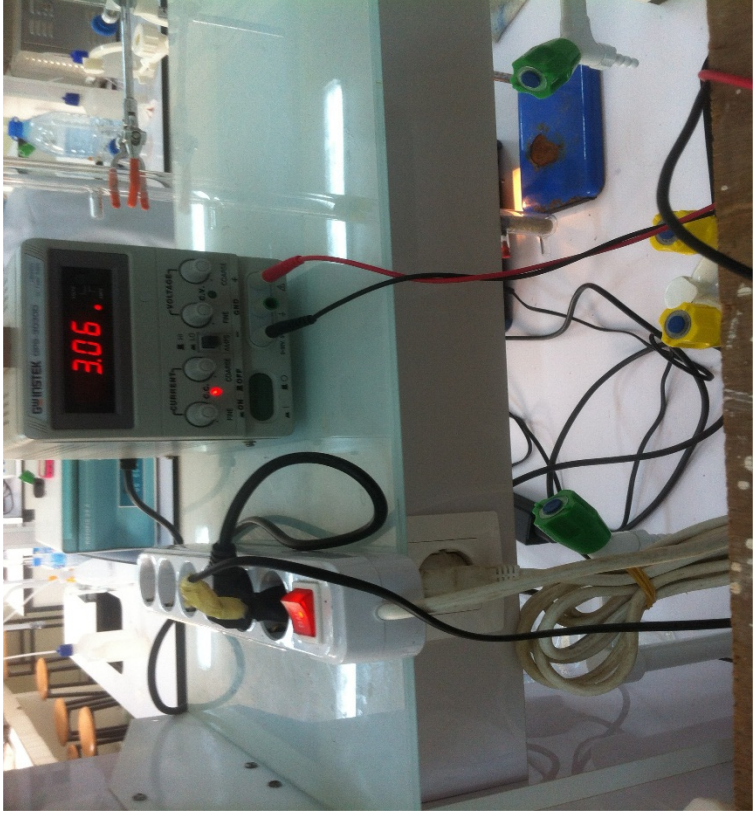


Figure 1.1 Na cl (BIOCHEM)



Figure 2 PEROXYDE D'HYDROGENE 30% (BIOCHEM)



*Figure 3 : générateur de courant*



*Figure 4 : réacteur en plein fonctionnement*



*Figure 5 réacteur avec support*



*Figure 6 : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*



*Figure 7 essai dispositif*



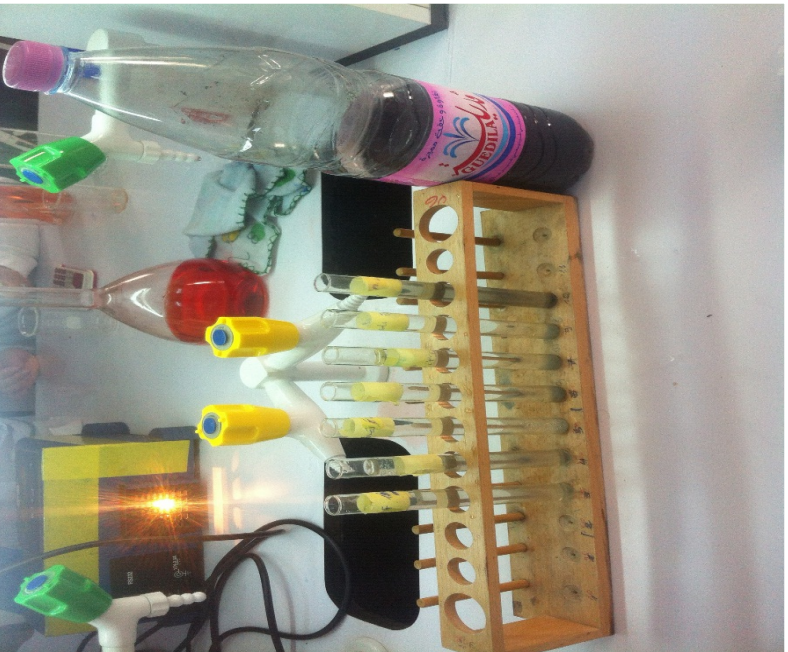
*Figure 8 PLAQUE CHAUFFANTE et agitateur (NAHITA)*



*turbidimetre HANNA INSTRUMENTS*



*Ph mètre o'haus*

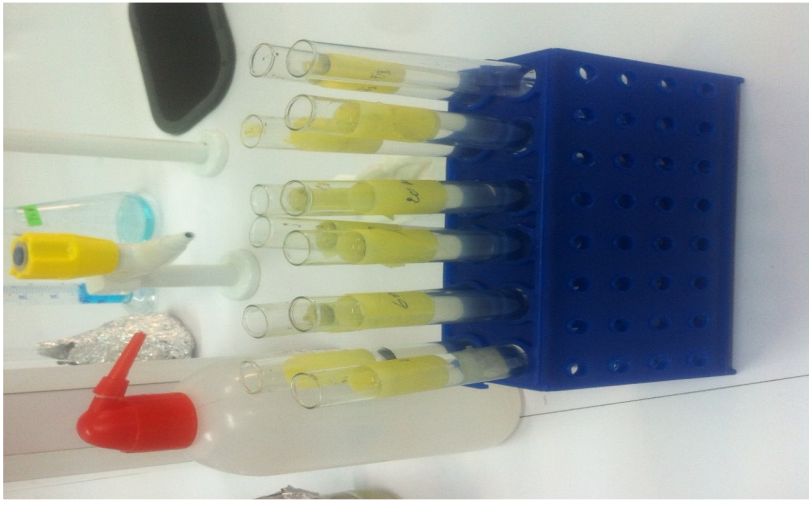












Traitement de finition	SECTEURS	Substances concernées
Filtre à sable Charbon actif Résines Osmose	Corg: oléfines, aromatiques, composés oxygénés, azotés, halogénés, sulfureux, phosphatés	As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, benzène, chloroforme, toluène, xylène
Charbon actif + Résines	Fusion du verre	Cu, Zn, l'octylphénol
	Cristallerie	Cr, Cu, Pb, Zn, l'octylphénol
	Fabrication industrielle d'acides: phosphorique, nitrique, sulfurique, chlorhydrique, fluorhydrique	Cr, Cu, Zn
	Fabrication de biocides et/ou produits phytosanitaires	As, Cr, Cu, Zn
	Préparation de pâte chimique	Zn
	Fonderie de métaux non ferreux	Cu, Ni, Zi,, fluoranthène
	Fonderie de métaux ferreux	Cu, nonylphénol
	Industrie agroalimentaire (animaux)	As, Cr, Cu, Zn
	Activité vinicole	Cr, Cu, Zn, Fluoranthène, l'octylphénol
	Autres industries agroalimentaires (végétale)	Cr, Cu, Zn, Chloroforme, 2,4,6 trichlorophénol, octylphénols
Charbon actif + Ultrafiltration + Osmose	Ennoblement textile	Cr, Cu, Zn, naphtalène, tribulphosphate, l'octylphénol, xylène
Charbon actif + Résines + Osmose	Installation de mise en œuvre de produits de préservation ou du traitement du bois	As, Cr, Cu
	Industrie de la céramique et des matériaux réfractaires	Données incohérentes
Résines ou Osmose	Production et/ou transformation des métaux non ferreux	Cr, Cu, Pb, Zn
Filtre à sable + Charbon actif	Centrale thermique de production d'électricité	Cu, nonylphénol
Aucun traitement nécessaire	Industrie des poudres et explosifs	1,2 dichloroéthane, As

Le tableau suivant regroupe les traitements de finition par secteur d'activité et les substances concernées.

Traitement de finition	SECTEURS	Substances concernées
Physico-chimique	Abattoirs	Cu, Zn
Physico-chimique + Charbon actif	Sidérurgie	Cr, Cu, Ni, Pb, Zn
Physico-chimique + Charbon actif + Osmose	Fabrication de papier carton	Cu, Zn,
Physico + Résines ou Ultrafiltration + Osmose	Blanchisserie	Cr, Cu, Pb, Zn
Charbon actif	Raffinage	Cu, xylène
Charbon actif et/ou Osmose	Industrie du traitement, revêtement de surface	Chloroforme, trichloréthylène, HAP, Métaux, nonylphénols, octylphénols, BTeX
Charbon actif + Osmose	Dépôts et terminaux pétroliers	Benzène, naphthalène, nonylphénol, toluène, xylène, Zn, Cu
	Lavage de citernes	Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, benzène, chloroforme, toluène, naphthalène, dichloroéthane, trichloroéthylène, nonylphénol, xylène
	Industrie du traitement, revêtement de surface	Chloroforme, trichloréthylène, HAP, Métaux, nonylphénols, octylphénols, BTeX
Charbon actif + Osmose  Ou Charbon actif + Résines	Regroupement, prétraitement des déchets dangereux	As, Cr, Cu, Ni, Zn, l'octylphénol, nonylphénol, toluène
	Installation de stockage de déchets non dangereux	As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, l'octylphénol, nonylphénol
	UIOM	Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, fluoranthène, naphthalène, l'octylphénol, nonylphénol
	Autres sites de traitement ou stockage de déchets	Cr, Cu, Pb, Zn, Naphthalène, fluoranthène, nonylphénol, l'octylphénol
	Industrie des polymères	Cr, Cu, Zn
	Fabrication de peintures	MES, métaux, certains composés organiques
	Industrie du plastique	Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, l'octylphénol, nonylphénol
	Industrie du caoutchouc	Cu, Zn, l'octylphénol
	Formulation galénique de produits pharmaceutiques	Chloroforme, Cr, Cu, naphthalène, xylène, zinc, nonylphénols
	Industrie du travail mécanique des métaux	Cr, Cu, Zn, l'octylphénol, nonylphénol
Industrie du traitement des cuirs et peaux	Cr, Cu, Pb, Zn, l'octylphénol	