



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Ecole Nationale Polytechnique



Département du Génie de l'Environnement

Laboratoire des Biotechnologies Environnementales et Génie des Procédés

PROJET DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR  
D'ETAT EN GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

THÈME :

## Traitement des effluents textiles et de l'eau de mer par Electrocoagulation

Dirigés par :

Mme A. BAKALEM

Pr. N. MAMERI

Etudiés et présentés par :

M<sup>elle</sup> LOUNICI Djamila

M<sup>elle</sup> KAHLERRAS Zineb

Soutenu le : 22/06/2013.

Etudiés par

Pr. N. ABDI

Pr. H.GRIB

Professeur à l'ENP

Professeur à l'ENP

Présidente

Examineur

## ***Dédicace***

**«Au nom de Dieu le tout puissant et le très miséricordieux par la grâce duquel on a pu réaliser ce travail que je dédie : »**

*A deux étoiles qui m'ont éclairée le chemin de la vie. A ceux qui m'ont tout donné sans rien en retour : **Mes très chers parents**. Par leur grand soutien et leurs encouragements, par leurs dévouements exemplaires et les énormes sacrifices qu'ils m'ont consentis durant mes études et qui ont toujours aimé me voir réussir : Je ne trouverai jamais les mots pour les remercier... Que Dieu vous Garde et vous Alloue bonne santé, bonheur, prospérité et vous Offre le Paradis de votre choix.*

*A mes grands-parents Que Dieu les Protège et leur Prête une bonne santé et une longue vie.*

*A mes deux petits frères Amine et Sofiane auxquels je souhaite beaucoup de réussite et de succès dans leur vie.*

*A ma chère tante Fetouma En témoignage de mon amour, de mon profond respect et amour.*

*A mes cousine imane et a mes cousins Larbi et Abdou A qui je souhaite beaucoup de bonheur et de réussite dans leurs vie*

*A ma chère tata Zhora et ces filles Asia et Sonia et leurs enfants Sammy Adem et Adel. « Qu'ALLAH les gardes et les protège. »*

*A la personne qui a changé mes visions de vue  
«Bachir Fahas»*

*Mille et mille merci Bachir je ne te remercierai jamais assez.*

*A Ami SALAH En témoignage de mon profond respect, merci pour votre soutien moral le long de ces années d'étude.*

*A celle qui m'a toujours ouvert ses bras et soutenue, celle qui m'a écoutée, encouragée et aidée, dans tout ce que j'ai entrepris, celle qui a toujours été là dans mes moments de stress: ma très chère et unique sœur « Sourour». Ta place dans mon cœur est particulière. Nulle dédicace et nulle parole ne puissent exprimer ma profonde affection à ton égard. Je te souhaite tout le bonheur et le succès que tu mérites tant.*

*A ma chère kaouther qui m'a beaucoup aider tout au long de mon cursus universitaire merci et mille merci kaouther.*

*A tout mes camarades du département Génie de l'environnement  
A toute personne chère à mon cœur,*

***Djamila***

## ***Dédicace***

*Avec l'aide de Dieu le tout puissant j'ai pu arriver à cueillir le fruit de plusieurs années de travail, je le dédie :*

*A mes très chers parents qui ont veillé à me soutenir, m'encourager et à me faire confiance tout au long de mon parcours, pour leurs sacrifices et les encouragements durant toute la période de mes études, je leur doit ma réussite. Je prie Allah pour qu'il les garde et les protège.*

*A mes très chères sœurs précieuses, Lynda, Amina, Fatma-Zohra et mes frères Ahmed et Ilyes, que Allah les protège.*

*A ma grand-mère qui a beaucoup prier pour moi.*

*A l'époux de ma sœur Abd EL-Ghani*

*A mes amies, Djamila, Safaa, Soumia, Mounia, Nassima, Ichrak, Yanel, Rym, ...*

*A mes amis, qui ont toujours été la pour moi : Ilyes, Chouaib, Cherif Said, Juba, Amine, ...*

*A toutes les personnes chères à mon cœur.*

*A tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail, j'espère qu'ils trouveront dans ce mémoire toute ma gratitude.*

***Zineb***

## ***Remerciements***

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à nos deux directeurs de mémoire, Madame Amel BAKALEM\_DJEMAI, Maitre Assistante à l'UMBB de Boumerdès, et Monsieur le Professeur Nabil MAMERI, Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique, pour leurs conseils et leur suivi durant la réalisation de notre Projet de fin d'étude.

Nous adressons nos remerciements, à Madame la professeur Nadia ABDI pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de présider le jury de notre soutenance. , et Monsieur le professeur Hocine GRIB Directeur du Laboratoire des Biotechnologies Environnementales BIOGEP d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nos sincères remerciements vont à Monsieur SLATNIA qui nous a accueillis dans son laboratoire et qui a mis le matériel de son laboratoire à notre disposition, ainsi qu'à Monsieur Abd El Malek CHERGUI pour son aide précieuse.

Nous remercions également Monsieur Rabah BOUARAB Chef du département Génie de l'Environnement, et Madame MOHALBI chef du département Génie Chimique.

Nous exprimons notre profonde gratitude envers Monsieur CHERIF de FLY CHEMICAL de nous avoir donné gracieusement le colorant avec lequel nous avons travaillé, et de nous avoir mis en contact avec l'entreprise SOTRADAL.

Nous exprimons notre reconnaissance, à Monsieur A. MHENI de l'entreprise SOTRADAL qui a été très disponible et qui nous a fait profiter de sa grande expérience dans le domaine du textile, ainsi qu'à tout le personnel de l'entreprise.

Nous remercions Monsieur MOUALI pour sa collaboration, et Monsieur DOUADI, M<sup>elle</sup> Leila BENSADALLAH, Madame RADIA et HAMIDA pour leur aide et leur soutien.

nous sommes heureuses de remercier nos camarades du département Génie de l'environnement et du Génie Chimique pour les bons moments qu'on a passé ensemble, en particulier DJAHIDA, ILYES, ISLEM, CHOUAIB, SABER, MAHDI, SAID et ANES.

Enfin, que toute personne ayant participé à l'élaboration de ce travail puissent trouver l'expression de notre sincère gratitude.

## LISTE DES ABREVIATIONS

A : Absorbance

$C_i$  : Concentration initiale (mol/L)

cm : Centimètre

COT : Carbone organique total (mg/L)

DCO : Demande Chimique en Oxygène (mg O<sub>2</sub>/L)

D.O : Densité optique

$\varepsilon$  : coefficient d'extinction molaire

e : La charge élémentaire ( $1,602 \cdot 10^{-19}C$ ).

%E : Rendement exprimé en pourcentage

EC : Electrocoagulation

ECM : Electrocoagulation monopolaire

ECB : Electrocoagulation bipolaire

F : Constante de Faraday ( $F = 96,48$ )

I : Intensité du courant électrique (A)

k : Constante cinétique

L : Litre

$\lambda$  : longueur d'onde (nm)

m : La masse

MES : Matières en suspensions (mg/L)

mg : Milligramme

min : Minute

MO : Matière organique

mol : Mole

N : Normalité (mol/L)

nm : Nanomètre

NTU : Turbidité normalisée

pH : Potentiel d'hydrogène

R<sup>2</sup> : Coefficient de corrélation.

t : Temps

UV- VIS : Ultra-violet-Visible

## LISTE DES FIGURES

Figure III-1 : Les groupes réactifs du colorant réactif.....	12
Figure III-2 : Comportement du colorant à mordant en présence du textile. ....	14
Figure IV-1 : Potentiel électrique de particules colloïdales .....	20
Figure IV-2 : Schéma du principe de l'électrocoagulation.....	22
Figure IV-3 : Différents types de connexion.....	25
Figure IV-4 : Décomposition de la tension de cellule électrochimique .....	28
Figure V-1 : Montage du dispositif d'électrocoagulation .....	32
Figure V-2 : Spectre d'absorption du colorant (Bleu Turquoise Tubantin FBL).....	35
Figure V-3 : Courbe d'étalonnage du colorant Bleu Turquoise Tubantin FBL .....	35
Figure V-4 : Courbe d'étalonnage de la DCO.....	36
Figure VI-1 : Cinétique de traitement des solutions synthétiques par ECM .....	37
Figure VI-2 : Influence du nombre d'électrodes sur l'élimination du colorant pour une eau synthétique douce (1g/l).....	39
Figure VI-3 : Influence du nombre d'électrodes sur l'élimination du colorant pour une eau de mer synthétique (35g/l).....	40
Figure VI-4 : Influence de l'intensité du courant (I) l'élimination du colorant pour une eau synthétique douce (1 g/l).....	42
Figure VI-5 : influences de la densité de courant (I) en fonction du temps eau de mer synthétique (35 g/l) .....	43
Figure VI-6 : Influence du pH initial sur l'élimination du colorant pour une eau synthétique douce (1g/l).....	44
Figure VI-7 : Influence du pH initial sur l'élimination du colorant pour eau de mer synthétique (35g/l) .....	45
Figure VI-8 : Hydrolyse de l'aluminium en fonction du pH.....	46
Figure VI-9 : Influence de la concentration initiale en colorant pour une eau synthétique douce (1g/l). .....	47
Figure VI-10 : Influence de la concentration initiale en colorant pour une eau synthétique (35g/l).....	48
Figure VI-11 élimination de la matière organique en fonction du temps.....	49
Figure VI- 12 : Evolution de l'élimination de la matière organique présente dans l'effluent.....	50
Figure VI-13 : Elimination du COT dans l'eau de mer après traitement. ....	51
Figure VI-14 : Evolution de l'élimination de la turbidité de l'eau de mer. ....	52

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau V-1 : Caractéristiques du colorant Bleu turquoise Tubantin FBL .....	31
Tableau V-2 : La composition chimique de l'effluent réel .....	31
Tableau VI-1 : Les caractéristiques de l'effluent de l'eau de mer.....	50

## TABLE DE MATIERES

INTRODUCTION.....	1
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
L'EAU ET SA POLLUTION	
I-1- Classification de la pollution des eaux : .....	3
I-1-1- Pollution d'origine urbaine : .....	4
I-1-2- Pollution d'origine industrielle : .....	4
I-1-3- Pollution d'origine agricole : .....	4
I-1-4- Phénomènes naturels : .....	4
I-2- Polluants présents dans l'eau : .....	4
LA POLLUTION INDUSTRIELLE TEXTILE	
II-1- Description succincte de l'industrie textile .....	7
II-1-1- L'activité mécanique .....	7
II-1-2- La finition textile (ou ennoblissement) .....	7
II-2- Utilisation de l'eau dans l'industrie textile .....	8
II-3- Caractéristiques des effluents industriels textiles.....	8
LES COLORANTS	
III-1-1- Classification technologique .....	10
III-1-2- Classification technique.....	11
III-1-3- Classification chimique .....	12
III-1-4- Classification tinctoriale.....	12
III-2- Colorants textiles, Environnement et santé.....	15
III-2-1-Toxicité des colorants.....	15
III-2-2- Les dangers potentiels .....	16
III-2-3- Les dangers à long terme.....	16
TRAITEMENT DES EFFLUENTS TEXTILES	
IV-1- Méthodes biologiques.....	18
IV-2- Méthodes physiques .....	19
IV-3- Méthodes physico-chimiques .....	19
IV-3-1- Coagulation floculation.....	19
IV-3-2-Coagulation .....	20
IV-3-3-Floculation.....	21
IV-4- METHODES ELECTROCHIMIQUES .....	21
IV-4-1-ELECTROCOAGULATION .....	21
IV-4-1-1-Principe du procédé .....	22

IV-4-1-2- Conception de la cellule de l'EC .....	23
IV-4-1-3- Les différents types d'électrodes et de connexion électrique : .....	24
IV-4-1-4- principales lois de l'électrolyse : .....	25
IV-4-1-5- Avantages de L'électrocoagulation : .....	28
IV-4-1-6- Inconvénients de l'électrocoagulation : .....	29
<b>PARTIE EXPERIMENTALE</b>	
<b>MATERIELS ET METHODES</b>	
V-1- Matériels .....	30
V-1-1- Effluents synthétiques.....	30
V-1-1-1- L'eau douce synthétique.....	30
V-1-1-2- L'eau de mer synthétique .....	30
V-1-2- Le colorant.....	30
V-1-3- Effluent réel : .....	31
V-1-4- Eau de mer.....	32
V-1-5- Dispositif expérimental.....	32
V-1-5-1- Le réacteur pilote d'électrocoagulation.....	32
V-1-5-2- pH-mètrie .....	33
V-2- Méthodes.....	33
V-2-1- Techniques d'analyse utilisées .....	33
V-2-1-1- Spectrophotométrie d'absorption UV-Visible.....	33
V-2-1-2- Déroulement des expériences.....	34
V-2-2- Etude spectrophotométrique du colorant.....	34
V-2-2-1- Le spectre d'absorbance du colorant Bleu Turquoise Tubantin FBL.....	34
V-2-2-2- Courbe d'étalonnage du colorant Bleu Turquoise Tubantin FBL.....	35
V-2-3- Mesure de la DCO de l'effluent textile réel : .....	35
V-2-3-1- Courbe d'étalonnage de la DCO : .....	36
V-2-4- Mesure du Carbone Organique Totale (COT) pour l'eau de mer :.....	36
<b>RESULTATS ET DISCUSSIONS</b>	
Essais « tests ».....	37
VI-1- Optimisation du réacteur .....	39
VI-1-1- Effet du nombre d'électrodes .....	39
VI-1-2- Effet de l'intensité de courant .....	42
VI-1-3- Effet du pH initial.....	44
VI-1-4- Effet de la concentration initiale du colorant .....	47
VI-2- Application de l'électrocoagulation à deux effluents réels.....	49
VI-2-1 : effluent textile réel.....	49

VI-2-2- l'eau de mer .....	50
CONCLUSION GENERALE .....	54
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	56
ANNEXE .....	59

# *INTRODUCTION*

# Introduction

---

Dieu Le Tout Miséricordieux Dit:

**« A partir de l'eau Nous avons constitué toute chose vivante »**

L'eau est un capital vital qui existe en quantité immuable depuis des millénaires, et qui ne cesse de se répercuter dans l'esprit de l'homme, et tente surtout aux jours de ce troisième millénaire à vénérer ce liquide précieux et réagir contre toutes sortes de contaminations qui souillent ses ressources.

**La question de l'eau et de sa pollution est aujourd'hui au centre des préoccupations des États du monde entier, qu'ils soient développés ou en voie de développement.**

L'Algérie à l'instar des autres pays du monde est confrontée à la rareté de cette ressource vitale, qui est aggravée par la forte pression sur le potentiel en eau en raison de la progression démographique. Parallèlement à cette situation, les phénomènes qui contribuent à la dégradation de la qualité de l'eau et par conséquent à la perturbation de tout l'écosystème se multiplient et s'intensifient à cause de la grande révolution industrielle qui génère une pollution accrue en quantité et en qualité.

Le dessalement des eaux de mer est une alternative qui permet d'augmenter la quantité d'eau propre à la consommation mais cette alternative peut être perturbée par la présence de polluants dans l'eau d'où l'utilité des opérations de prétraitement avant le dessalement.

La problématique du traitement de l'eau se pose au fil du temps pour faire face d'une part, à des nuisances voire des pollutions de plus en plus diverses, et d'autre part à chercher à utiliser des procédés de plus en plus efficaces et à moindre coût. L'amélioration sans cesse de ces procédés vise à compléter et à perfectionner le traitement conventionnel par celui dit propre tel que les techniques physico-chimiques.

Pour cela, plusieurs études ont été entamées ces dernières années et ce dans le but de rechercher le procédé de traitement le plus économique et le plus efficace. Des améliorations progressives, en qualité et en quantité d'eaux utilisables dans de nombreux domaines, ont été apportées au fur et à mesure de la mise au point de procédés de traitement de plus en plus performants. Pour notre part, nous avons opté pour le traitement électrolytique.

## Introduction

---

L'électrocoagulation est un procédé électrochimique qui utilise la dissolution des anodes lors de l'imposition du courant pour traiter les eaux usées riches en métaux, mais également en matière organique. En effet, les ions métalliques mis en solution lors du passage du courant se complexent pour former des hydroxydes, et ce sont ces composés qui jouent le rôle d'agents coagulants. Les hydroxydes réagissent avec les matières en suspension ainsi qu'avec certains composés dissous et permettent leur coagulation et la floculation de ces agglomérations de particules. Après traitement, l'effluent est décanté afin de séparer le liquide clair.

L'électrocoagulation est une technologie à fort potentiel pour le traitement des eaux usées. Ce procédé est portable et a la capacité d'éliminer un large spectre de polluants.

Les principaux mécanismes et les configurations idéales des réacteurs font aujourd'hui l'objet de débats dans la littérature scientifique. À l'heure actuelle, la conception du réacteur reste relativement empirique. Ces études ont toujours prouvé la viabilité de la technologie, mais à cause de la complexité des phénomènes mis en jeu, un travail de recherche important semble encore nécessaire pour utiliser le procédé électrocoagulation au maximum de son potentiel. Cependant le procédé est particulièrement intéressant pour traiter des mélanges complexes comprenant une pollution organique, minérale, colorée et de métaux lourds

Ce procédé est également très prometteur dans le prétraitement des eaux de mer destinées au dessalement. [1]

L'objectif de notre travail est d'optimiser les paramètres de fonctionnement d'un réacteur électrochimique pilote pour le traitement des eaux douce et eaux de mer et pour cela nous avons appliqué l'électrocoagulation pour des eaux douces et des eaux de mer synthétiques colorées

Après optimisation des paramètres nous avons traité un effluent textile réel récupéré auprès d'une entreprise industrielle de textile et une eau de mer fortement polluée récupérée de la plage ARDIS.

*PARTIE*  
*BIBLIOGRAPHIQUE*

*L'EAU ET  
SA POLLUTION*

« La Terre, la planète bleue », « l'eau, source de vie ». Deux expressions courantes qui rappellent l'importance de l'eau dans notre quotidien. Toute l'eau de notre planète n'est pas accessible de la même manière aux besoins de l'Homme. Ainsi 97,2% de l'eau est salée, donc moins accessible, puisqu'elle nécessite d'importants traitements pour la rendre potable.

Les 2,8% restants sont de l'eau non salée. L'essentiel de cette eau est immobilisé sous la forme de glaciers et de calottes glaciaires peu ou pas exploitables. La quantité d'eau réellement utilisable presque immédiatement ne représente que 0,61% du total de l'eau sur Terre. Et nous sommes près de 6 milliards d'individus aux besoins chaque jour plus important.

Outre les problèmes de quantité se posent ceux de la qualité de l'eau. La pollution de l'eau est due essentiellement aux activités humaines ainsi qu'aux phénomènes naturels.

La pollution de l'eau qui affecte les rivières, les mers, les nappes phréatiques et les lacs, est le résultat du rejet des eaux usées sans traitement ou avec un niveau de traitement insuffisant : cela provoque une dégradation de l'écosystème. Le problème est encore plus grave dans le cas des effluents industriels qui présentent un caractère toxique beaucoup plus prononcé.

Le contrôle de la pollution de l'eau se présente comme un des domaines majeurs de l'activité scientifique. Les actions engagées se font par une gestion globale des effluents en privilégiant les actions de réduction de la pollution, notamment par la mise en place de techniques telles que la décoloration. Et, bien que les composés organiques colorés ne constituent qu'une fraction mineure de la charge organique des eaux usées, leur couleur les rend esthétiquement inacceptables. Par ailleurs, cette forte coloration des eaux est néfaste puisqu'elle provoque une eutrophisation des eaux et donc une asphyxie des microorganismes.

### **I-1- Classification de la pollution des eaux :**

On peut utiliser divers critères de classification, reposant sur l'origine, la nature des polluants, la nature des nuisances créées (répercussions sur la santé publique, sur l'équilibre écologique en rivière ou en lac...).

Selon l'origine de la pollution, on distingue quatre catégories de pollution : la pollution urbaine, la pollution agricole, la pollution industrielle et la pollution due aux phénomènes naturels.

## **I-1-1- Pollution d'origine urbaine :**

Le « tout –à– l'égout » est une expression significative ; elle exprime la diversité de la pollution urbaine de l'eau. Les polluants urbains sont représentés par les rejets domestiques, les eaux de lavage collectif et de tous les produits dont se débarrassent les habitants d'une agglomération notamment les rejets des petites entreprises industrielles.

## **I-1-2- Pollution d'origine industrielle :**

Le développement accéléré des techniques industrielles modernes a engendré une pollution très importante. En effet, celle-ci est devenue plus massive, plus variée et plus insidieuse. Devant l'extrême diversité de ces rejets, une investigation propre à chaque type d'industrie est nécessaire : il est donc primordial d'être parfaitement informé sur les procédés de fabrication et le circuit des réactifs et des produits. Il est évident que les effluents déversés sans traitement approprié entraînent des changements indésirables dans le milieu récepteur et des pollutions très néfastes.

A ce propos, parmi les grandes industries polluantes, l'industrie textile occupe une place suffisamment importante pour être prise en compte.

## **I-1-3- Pollution d'origine agricole :**

Ce type de pollution est dû à l'utilisation des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures et à faciliter la vie des agriculteurs. Ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie, les eaux de surface par lessivage et ruissellement et les nappes par infiltration. [2]

## **I-1-4- Phénomènes naturels :**

Divers phénomènes naturels sont aussi à l'origine de pollution (par exemple, une éruption volcanique, un épanchement sous-marin d'hydrocarbures, le contact avec des filons géologiques (métaux, arsenic), une source thermo-minérale...etc. [3].

## **I-2- Polluants présents dans l'eau :**

On distingue plusieurs catégories de polluants tels que :

- **Les sels minéraux** : Ils représentent, à la fois par les masses mises en cause et par les effets biologiques des polluants majeurs. Ils nuisent à la potabilité des eaux superficielles et même aux usages industriels si leur concentration est importante.
- **Les acides et les alcalins** : Déchargés par l'industrie chimique et d'autres installations industrielles, ils sont indésirables non seulement pour les activités récréatives (nage, pêche, navigation), mais aussi pour la vie aquatique. Il est généralement admis que pour la survie des poissons, le pH doit se situer dans une fourchette comprise entre 4,5 et 9,5. En théorie, le pH devrait être neutre pour que l'eau soit considérée comme pure. Le fonctionnement d'une station d'épuration est également perturbé par la présence de ces polluants.
- **Les matières en suspension (MES)**: Elles désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Les MES confèrent à l'eau un aspect trouble au fur et à mesure que les sédiments se déposent au fond ; elles diminuent la luminosité dans l'eau, donc freinent la photosynthèse. Les espèces végétales se développent plus difficilement, l'oxygène qu'elles produisent diminue dans le milieu, et les espèces animales en souffrent. Elles peuvent rendre les eaux très opaques et provoquer aussi une eutrophisation.
- **Les matières organiques (M.O)**: Ce sont tous les déchets carbonés tels que la cellulose produite par les papeteries, le sucre et le lactosérum des industries agroalimentaires ainsi que les hydrocarbures. A l'inverse des MES, ces matières constituent une nourriture de choix pour les micro-organismes de l'eau et provoquent leur prolifération. Les micro-organismes se mettent alors à vider le milieu de son oxygène, ce qui s'avère fatal pour la vie aquatique. Lorsque le milieu se retrouve totalement vidé de son oxygène, les micro-organismes vont le chercher dans les sulfates dissous ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), qu'elles réduisent en sulfure, qui se dégage sous forme de sulfure d'hydrogène en engendrant une odeur d'œufs pourris. Cette odeur nauséabonde est caractéristique d'une eau très polluée.
- **Les matières inhibitrices (MI)** : Elles s'avèrent toxiques pour les daphnies (zooplancton). On y trouve des métaux ou métalloïdes (mercure, plomb), des pesticides, notamment les organochlorés (lindane), certaines huiles minérales et certains hydrocarbures. Les MI présentent des risques d'effets toxiques immédiats ou différés par accumulation dans les chaînes alimentaires et des risques d'effets cancérogènes.

- **Les déchets solides divers :** Ce sont des objets divers d'origines variées, qui posent des problèmes d'esthétique (rejet sur les rives et les plages) et de gêne (avarie à des engins de pêche) et peuvent, en se déposant sur les fonds, causer préjudice à la faune et à la flore aquatique.
- **Les détergents synthétiques:** Ils comprennent un groupe de produits qui sont à la fois émulsionnants et moussants. Ils ont plusieurs inconvénients tels que la formation de mousse sur les rivières qui apparaît à partir de 0,3 à 1 mg/L. Leur dégradation par les bactéries peut aboutir à des molécules non moussantes mais non biodégradables qui peuvent s'accumuler dans les organismes. De même, en AEP, le goût de savon peut apparaître à des doses très faibles (quelques µg/L).
- **Les matières colorantes:** Leur déversement dans le milieu aquatique même à de très faibles concentrations, a un grand impact. Elles modifient la transparence et l'éclairement du milieu. L'action chlorophyllienne s'en trouve ralentie, la production d'oxygène en est diminuée et il y a tendance à l'installation des conditions anaérobies et d'eutrophisation.
- **La pollution thermique:** Elle est due au rejet des eaux utilisées pour le refroidissement d'installations industrielles diverses. Cet échauffement engendre de nombreux inconvénients tels que l'appauvrissement des eaux en oxygène, l'action stimulante sur la vitesse de multiplication d'algues, la croissance de l'activité bactérienne...etc.

*LA POLLUTION  
INDUSTRIELLE  
TEXTILE*

## II-1- Description succincte de l'industrie textile :

L'industrie textile rassemble de très nombreux métiers tout au long d'une chaîne de transformation partant de matières fibreuses jusqu'à des produits semi-ouvrés ou entièrement manufacturés. Elle présente l'avantage de représenter une filière complète qui va de la matière brute au produit fini livrable au consommateur [4].

Les fibres textiles sont des substances susceptibles d'être transformées en fil, puis en tissu, bonneterie, dentelle, corde et ficelle. Elles peuvent provenir du règne animal, végétal, minéral ou chimique [5].

L'industrie textile comprend essentiellement deux types d'activité : activité mécanique et activité d'ennoblissement.

### II-1-1- L'activité mécanique :

Elle regroupe les opérations de filature et de tissage. Ces opérations peuvent être définies comme suit :

- **Filature** : on désigne sous le nom de filature, l'ensemble des opérations industrielles qui transforment la matière textile en fil.
- **Tissage** : c'est l'opération qui consiste à entrecroiser les fibres perpendiculairement les unes aux autres pour en former des tissus.

### II-1-2- La finition textile (ou ennoblissement) :

Elle regroupe les opérations de blanchiment, de teinture, d'impression et d'apprêts :

- **Le Blanchiment** : c'est une opération ou un ensemble d'opérations industrielles qui ont pour but de décolorer les fibres textiles.
- **La Teinture** : elle est destinée à donner à une fibre, un fil ou un tissu dans toute sa longueur et dans toute son épaisseur, une teinte uniforme, différente de sa teinte habituelle. Elle s'obtient en fixant un colorant sur la fibre d'une manière durable.
- **L'impression** : a pour but d'obtenir des dessins blancs ou colorés à la surface des tissus.

- **Les apprêts** : on donne le nom d'apprêts aux divers traitements mécaniques ou chimiques que l'on fait subir aux fils et aux tissus avant ou après les opérations de blanchiment, teinture et impression.

### II-2- Utilisation de l'eau dans l'industrie textile :

Les industries textiles demandent de grandes quantités d'eaux à divers stades de la fabrication, qui sont l'objet des traitements suivants :

- **Adoucissement** ou déminéralisation des eaux destinées à la préparation du fil, spécialement lorsqu'il s'agit de textile artificiel. (Adoucissement, souvent précédé de décarbonatation des eaux destinées au blanchiment et à la teinture des fibres).

- **Traitement** des eaux d'alimentation des chaudières, dont les volumes d'appoint sont souvent importants.

- **Déminéralisation** des eaux destinées au conditionnement de l'air des salles de filature ou de tissage (osmose inverse, échange d'ions).

### II-3- Caractéristiques des effluents industriels textiles :

La grande diversité des industries textiles par les fibres à traiter (naturelles, artificielles), les procédés de teinture (en bourre, en fils, en pièces, ...) et les produits utilisés se répercute sur la nature et la masse de pollution rejetée.

- L'activité mécanique n'engendre qu'une très faible pollution à l'exception de celle provenant des ateliers de peignage et de lavage des laines. Les pesticides sont parfois utilisés pour la préservation des fibres naturelles et ceux-ci sont transférés dans les rejets d'eau durant les opérations de lavage et de récupération [6].

- La finition textile est généralement très polluante, elle peut se caractériser par les produits suivants :

➤ **AOX** : Ils proviennent des produits auxiliaires de teinture, de certains colorants, des produits de blanchiment, surtout l'eau de javel ( $\text{ClO}^-$ ) et du chlorite ( $\text{ClO}_2^-$ ). Les produits plus ou moins halogénés sont considérés comme dangereux car Ils peuvent donner des composés qui appartiennent à la classe des AOX.

- **Urée** : Il est utilisé par l'ennoblisseur pour dissoudre de grandes quantités de colorants, (pour la teinture par foulardage ou pour les pâtes d'impression). Rejetés dans les cours d'eau, ces produits, comme les nitrates et phosphates, favorisent la prolifération des algues qui consomment énormément d'oxygène qu'elles puisent dans l'eau et ceci au détriment des espèces animales qui sont ainsi asphyxiées.
- **Réducteurs** : utilisés en teinture des colorants de cuve et au soufre. Rejetés dans les cours d'eau, les réducteurs consomment l'oxygène du milieu.
- **Électrolytes** : Rejetés dans les cours d'eau, ils provoquent une salinité excessive des eaux qui peut perturber la vie aquatique. Pour mesurer la teneur en électrolytes, on mesure la conductivité de l'eau [7].
- **Colorants** : Leur déversement dans le milieu aquatique même à de très faibles concentrations, a un grand impact. Ils modifient la transparence et l'éclairement du milieu. L'action chlorophyllienne s'en trouve ralentie, la production d'oxygène en est diminuée et il y a tendance à l'installation des conditions anaérobies et d'eutrophisation.

Les effluents industriels textiles comprennent d'autres polluants comme :

- des acides organiques et minéraux, des alcalis (soude, carbonate) ;
- des oxydants, provenant du blanchiment qui se fait à l'eau oxygénée, à l'eau de javel, au chlorite, au perborate, ou constitués par les bichromates...etc. ;
- des adjuvants (mouillants et détergents) et des émulsifiants (alginates et white-spirit utilisés pour la préparation des pâtes d'impression) ;
- des produits de mercerisage et d'apprêt (amidon, alginates, enzymes...) [8].

# *LES COLORANTS*

Un colorant est une substance qui possède deux propriétés spécifiques, indépendantes l'une de l'autre, la **couleur** et l'**aptitude** à être fixée sur un support tel qu'un textile [9].

Un colorant doit posséder, outre sa couleur propre, la propriété de teindre. Cette propriété résultant d'une affinité particulière entre le colorant et la fibre, est à l'origine des principales difficultés rencontrées lors des traitements. En effet, selon le type d'application et d'utilisation, les colorants synthétiques doivent répondre à un certain nombre de critères afin de prolonger la durée de vie des produits textiles sur lesquels ils sont appliqués : résistance à l'abrasion, stabilité photolytique des couleurs, résistance à l'oxydation chimique (notamment par les détergents) et aux attaques microbiennes.

L'affinité du colorant pour la fibre est particulièrement développée pour les colorants qui possèdent un caractère acide ou basique accentué. Ces caractéristiques propres aux colorants organiques accroissent leur persistance dans l'environnement et les rendent peu disposés à la biodégradation [10]. Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 380 à 750 nm). La transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur un corps, ou par transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés groupes CHROMOPHORES.

La molécule colorante est un chromogène [11]. Plus le groupement chromophore donne facilement un électron, plus la couleur est intense.

### III-1- Classification des colorants :

Les colorants synthétiques sont classés selon leur structure chimique et leur méthode d'application sur différents substrats (textiles, papier, cuir, matières plastiques, etc.).

#### III-1-1- Classification technologique :

Depuis la découverte de la « mauvéine » par Perkin en 1856, de très nombreux colorants ont été élaborés. On en dénombre aujourd'hui plus de 10 000 en production industrielle et il a été nécessaire d'avoir un système de classification. Celui-ci constitue l'**index des couleurs (C.I.)**, qui répertorie la majorité des colorants mis sur le marché.

La classification technologique permet à l'utilisateur de connaître le mode d'application du colorant, et donc ses domaines d'utilisation, ses propriétés (solubilité, affinité pour tel type de fibres ou matériaux, nature de la fixation ...). Il est souvent difficile de connaître la composition chimique des colorants car la confidentialité sur la composition chimique est généralement préservée.

Cette classification comprend trois éléments :

- Le nom générique de la classe d'application ;
- La couleur ;
- Le numéro d'ordre chronologique d'inscription au "color index "

### III-1-2- Classification technique :

Les colorants utilisés dans l'industrie textile contiennent habituellement des groupes acides sulfoniques qui leur confèrent une hydrosolubilité appropriée et qui permettent à la molécule du colorant de se lier ioniquement aux sites chargés du réseau polymérique du tissu. On peut classer les colorants organiques en deux catégories suivant leur synthèse :

- Colorants naturels
- Colorants synthétiques

**Les colorants naturels :** Ils sont très répandus, surtout dans les plantes (bois, racines, graines, fleurs et fruits) et même dans les micro-organismes et le corps des animaux. On les trouve à l'état libre ou liés à des glucides ou des protéines, exemple : garance, cochenille, indigo, pourpre.

Aujourd'hui, l'importance économique des colorants organiques naturels a beaucoup diminué. Du fait de leur cherté, on ne les utilise dans l'industrie textile, du cuir et du papier que pour des traitements spéciaux. Ils restent, en revanche très utilisés dans les produits alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques soumis à des réglementaires plus strictes.

**Les colorants synthétiques :** Les colorants synthétiques dominent aujourd'hui le marché surtout que leurs propriétés peuvent être précisément adaptées à leur utilisation. Tous ces colorants sont synthétisés principalement à partir des produits pétroliers, notamment du benzène et de ses dérivés (toluène, naphthalène, xylène et anthracène) [12].

Ils sont de plus en plus utilisés dans les industries de coloration et des textiles grâce à leur synthèse assez facile, à leur production rapide et à la variété de leurs couleurs comparées aux colorants naturels.

### III-1-3- Classification chimique :

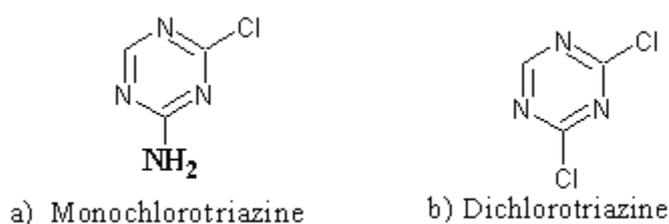
Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore. Les classes chimiques les plus utilisées dans les colorants textiles sont principalement les colorants azoïques puis les colorants anthraquinoniques et les phtalocyanines.

### III-1-4- Classification tinctoriale :

Si la classification chimique présente un intérêt pour le fabricant de matières colorantes, le teinturier préfère le classement par domaines d'application.

➤ **Les colorants réactifs :** Les colorants réactifs constituent la dernière classe de colorant apparue sur le marché. Leur utilisation est très importante, notamment dans le domaine de l'habillement (la solidité à la lumière n'est suffisante que pour des applications en ameublement).

Ce sont des colorants de synthèse constitués d'une partie colorante chromogène (groupe chromophore) sur laquelle est (sont) fixé(s) un (ou plusieurs) groupement (s) réactif(s) électrophile(s) destiné(s) à former une liaison chimique stable, covalente, solide avec les fonctions hydroxyles de la cellulose et les NH<sub>2</sub> et NH des polyamides, voire plus rarement avec les fonctions amines ou sulfures des protéines de la laine [13]. La réaction entre le colorant et la cellulose est obtenue par l'action d'un agent alcalin (soude caustique, carbonate de sodium,...etc.) qui absorbe l'atome ou le groupement réactif électronégatif du colorant pendant que l'ion coloré se lie à la cellulose.



**Figure 1 : Les groupes réactifs du colorant réactif.**

➤ **Les colorants directs :** Ce sont des colorants à caractères anioniques ( $\text{R-SO}_3\text{Na}$ ) ; ils sont solubles dans l'eau et utilisés en solution aqueuse. La solubilité de ces colorants dans l'eau est réduite par l'addition des sels neutres de métaux alcalins (sulfate de sodium, chlorure de sodium, etc).

Ceux d'entre eux qui sont les moins stables à la lumière sont utilisés à la teinture des tissus de doublures, des fils de laine, des tapis et pour beaucoup d'articles à bon marché [14].

➤ **Les colorants dispersés :** Les colorants dispersés (ou dispersifs) donnent des couleurs stables à la lumière, aux acides, au formaldéhyde et aux actions thermiques. Ils sont non-ioniques, insolubles dans l'eau et sont utilisés pour la coloration sous forme de dispersion aqueuse.

Pratiquement insolubles dans l'eau, ils sont par contre solubles dans la phase organique des fibres dépourvues de groupement acides ou basiques (fibres synthétiques telles que polyester, polyamide, polyacrylonitrile...).

Ils sont importants pour la teinture de l'acétate de cellulose et des fibres synthétiques et ne renferment pas de groupement solubilisant ( $-\text{SO}_3\text{Na}$ ). Ils portent des noms commerciaux, dont leur marque est donnée entre parenthèses: Artisil (SANDOZ), Céliton (BASF), Cibaset (CIBA), Duranol (ICI), Sétacyl (GEIGY), Acétoquinone (FMC), exemple : rouge, violet, bleu, ...etc.

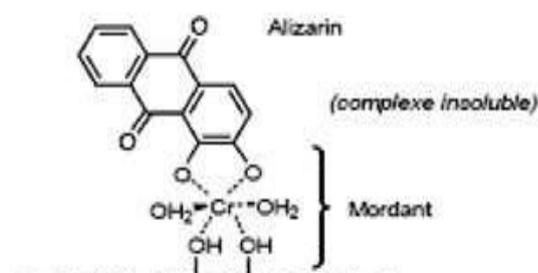
Les colorants dispersés sont essentiellement adsorbés sur la fibre polyamide par une attraction sur des sites polaires en nombre limité et le mécanisme de dissolution est en réalité presque marginal. Bien que ce type d'adsorption corresponde à des liaisons avec la fibre bien plus fortes que dans le cas du polyester où le colorant est dissout, ces liaisons sont facilement rompues par un rupteur de liaisons polaire tel que l'eau. Les solidités au lavage de fibres de polyamide teintées en colorant dispersé sont donc médiocres. Ainsi, on doit connaître la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant- substrat est du type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes.

➤ **Les colorants acides ou anioniques :** Ils sont solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonates ou carboxylates, ils sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorant-fibre est le résultat de liaisons

ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupements amino des fibres textiles.

➤ **Les colorants basiques ou cationiques ;** Les colorants basiques ou cationiques sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres. En phase de disparaître dans la teinture de la laine et de la soie, ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur lesquelles ils permettent des nuances très vives et résistantes.

➤ **Les colorants à mordants :** Les colorants à mordants contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile.



**Figure 2 : Comportement du colorant à mordant en présence du textile.**

➤ **Les colorants de cuve :** Les colorants de cuve sont des colorants insolubles dans l'eau. Cependant, sous l'action d'un réducteur, le dithionite de sodium ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ), un colorant de cuve donne son leuco-dérivé c'est-à-dire le produit de réduction incolore ou blanc et soluble dans l'eau.

Le leuco-dérivé présente une affinité pour certaines fibres textiles telles que le coton, le lin, la laine et la soie. Par oxydation à l'air ou à l'aide d'un agent oxydant, le colorant initial insoluble dans l'eau est régénéré au sein de la fibre.

Les colorants de cuve appartiennent à la classe chimique des anthraquinones et à celle des indigoïdes, leurs qualités de résistance notamment en font un des groupes les plus importants des colorants synthétiques [15]. Quelques colorants de cuve ont trouvé une place parmi les pigments de l'industrie des vernis, en raison de leur grande stabilité à la lumière [16].

**III-2- Colorants textiles, Environnement et santé :**

Le principal problème environnemental qui se pose dans l'industrie textile 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.

Les émissions dans l'atmosphère sont habituellement captées à la source. Comme elles sont contrôlées depuis longtemps dans différents pays. On dispose de bonnes données historiques sur les rejets atmosphériques pour chaque procédé spécifique. Ce n'est pas le cas pour les émissions dans l'eau.

En effet, les flux provenant des différents procédés sont mélangés et donnent un effluent final dont les caractéristiques résultent d'une combinaison complexe de facteurs, tels que les types de fibres et les présentations de matières traitées, les techniques mises en œuvre et les types de produits chimiques et d'adjuvants utilisés.

**III-2-1-Toxicité des colorants :**

La toxicité des colorants vient de l'ignorance des chercheurs ou des utilisateurs de leurs structures chimiques qui diffèrent d'un type à un autre. Ainsi que du mode de l'emploi lors de l'utilisation.

Beaucoup d'études ont montré les effets toxiques et/ou cancérogéniques des colorants azoïques, ce qui signifie que les effluents contenant ces colorants doivent être traités avant d'être rejetés en milieu naturel. Leur toxicité est en fait due à la teneur en groupements cancérigènes tels que les groupements aromatiques, phtalogènes, cyanurés, sel de barium et de plomb. Ces groupements cancérigènes (sous forme électrophile ou radicalaire) attaquent les bases pyrimidiques de l'ADN et de l'ARN et causent par conséquent, une altération du code génétique avec mutation et risque de cancer ! [17]

Miller s'est intéressé particulièrement à la toxicité des colorants azoïques, lesquels sont caractérisés par la présence de groupe azo ( $-N=N-$ ). La rupture des liaisons azoïques de ces dernières entraîne la formation d'amines primaires qui causent la méthémoglobinémie, caractérisée par un empêchement du transport d'oxygène dans le sang.

L'allergie respiratoire aux colorants réactifs a été rapportée pour la première fois en 1978 par Alanko [18] chez des sujets employés à la pesée et au mélange de ces colorants en poudre depuis deux ans et présentant un asthme et / ou rhinite d'origine professionnelle.

### III-2-2- Les dangers potentiels :

➤ **Eutrophisation** : est la modification et la dégradation d'un milieu aquatique, lié en général à un apport excessif de substances nutritives (azote provenant surtout des nitrates agricoles et des eaux usées, et secondairement de la pollution automobile, et phosphore, provenant surtout des phosphates et des eaux usées), qui augmentent la production d'algues et d'espèces aquatiques.

Sous l'action des microorganismes, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans le milieu naturel. Ces ions minéraux introduits en quantité trop importante peuvent devenir toxiques pour la vie piscicole et altérer la production d'eau potable. Leur consommation par les plantes aquatiques accélère leur prolifération anarchique et conduit à l'appauvrissement en oxygène par inhibition de la photosynthèse dans les strates les plus profondes des cours d'eau et des eaux stagnantes [19].

➤ **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. On estime que la dégradation de 7 à 8 mg de matière organique par des microorganismes suffit pour consommer l'oxygène contenu dans un litre d'eau. . [20]

➤ **Couleur, turbidité, odeur** : l'accumulation des matières organiques dans les cours d'eau induit l'apparition de mauvais goûts, prolifération bactérienne, odeurs pestilentielles et colorations anormales. Willmott et al. 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

### III-2-3- Les dangers à long terme :

➤ **La persistance**: les colorants organiques synthétiques sont des composés impossibles à épurer par dégradations biologique naturelle [21]. Cette persistance est due principalement à leur réactivité chimique :

- les aromatiques sont plus persistants que les alcanes;

- Les composés saturés sont plus persistants que les insaturés ;
- La persistance des aromatiques augmente avec le nombre de substituants ;
- Les substituants halogènes augmentent plus la persistance des colorants que les groupements alkyles.

➤ **La bioaccumulation** : désigne la capacité des organismes à absorber et concentrer dans tout ou une partie de leur organisme (partie vivante ou inerte telle que l'écorce ou le bois de l'arbre, la coquille de la moule, la corne, etc.) Certaines substances chimiques, éventuellement rares dans l'environnement (oligoéléments utiles ou indispensables, ou toxiques indésirables).

Chez un même organisme, cette capacité peut fortement varier selon l'âge et l'état de santé, ou selon des facteurs externes (saison, teneur du milieu en nutriments ou cofacteurs).

Certaines substances non ou peu dégradables comme les colorants sont persistantes dans les organismes (bio-persistance) vivants car elles ne sont pas métabolisées. Leur possibilité d'accumulation est d'autant plus importante que les organismes n'ont pas d'autres alternatives que de les éliminer (processus long) ou de les stocker.

➤ **Cancer** : si la plupart des colorants ne sont pas toxiques directement, une portion significative de leurs métabolites l'est [36]. Leurs effets mutagènes, tératogènes ou cancérigènes apparaissent après dégradation de la molécule initiale en sous-produits d'oxydation: amine cancérigène pour les azoïques et leuco-dérivé pour les triphénylméthanes.

➤ **Les sous produits de chloration (SPC)** : le chlore utilisé pour éliminer les microorganismes pathogènes réagit avec la matière organique pour former des trihalométhanes (THM) [23] pouvant atteindre plusieurs centaines de mg/L. Les SPC sont responsables de développement de cancer du foie, des poumons, des reins et de la peau chez l'homme.

*TRAITEMENT DES  
EFFLUENTS TEXTILES*

Au cours des différentes étapes de teinture, des quantités plus ou moins importantes de colorants sont perdues par manque d'affinité avec les surfaces à teindre, et à cause de leurs toxicités, ces effluents nécessitent un traitement préalable avant d'être déversés dans le milieu naturel.

Plusieurs techniques physiques, chimiques ou biologiques peuvent être utilisées comme prétraitement, traitement majeur ou post traitement pour éliminer les colorants textiles des effluents

#### **IV-1- Méthodes biologiques :**

La présence dans les eaux ou dans le sol, de polluants organiques a toujours existé. Leur élimination par des microorganismes constitue le moyen biologique que la nature a utilisé pour l'épuration des milieux naturels. Ces procédés biologiques se produisent selon deux modes: traitements en aérobie et traitement en anaérobie

##### **- Traitement aérobie :**

Ce procédé est resté longtemps un moyen pour dégrader un grand nombre de polluants organiques. Il s'est avéré efficace pour une certaine catégorie de rejets textiles [24]. Notons cependant que des colorants tels que les azoïques, les colorants acides et les colorants réactifs se sont révélés persistants et résistent à ce mode de traitement [25]. La décoloration observée dans ces cas n'est attribuée qu'à l'adsorption de ces polluants sur la boue activée et non à leur dégradation.

##### **- Traitement anaérobie**

Ce procédé utilisé sur les boues résiduaires des stations d'épuration des eaux permet de produire des quantités importantes en méthane. Ce dernier est utilisé comme source d'énergie notamment pour le chauffage ou pour l'éclairage. Des études ont montré que la réduction, voire la disparition, de la couleur n'est pas accompagnée de la minéralisation des colorants. La formation de composés intermédiaires plus toxiques, notamment des amines a été signalée dans la littérature. Venceslau et al. ont estimé la réduction de coloration par les procédés biologiques à seulement 10-20 % [26]. Cette constatation laisse à présager d'autres techniques qui permettraient d'abaisser le degré de réfractabilité de la charge polluante en association avec les méthodes biologiques.

**IV-2- Méthodes physiques :****- Adsorption sur charbon actif et autres matériaux :**

L'adsorption est un procédé d'élimination des polluants organiques ou minéraux présents dans des effluents aussi bien liquides que gazeux. Plusieurs modèles théoriques ont été élaborés pour décrire les mécanismes de ces phénomènes. Nous y reviendrons dans la suite de cette étude. Par ce procédé, le polluant est transféré de la phase fluide vers la surface du solide. Même avec le charbon actif considéré comme l'un des adsorbants les plus efficaces, ce mode de traitement reste très limité pour l'élimination de tous les colorants du fait de la cherté du charbon actif. Seuls les cationiques, colorant à mordant, dispersés ou dits de cuve et réactifs sont éliminés par cette technique [22].

**- Filtration sur membrane :**

Dans ce procédé, les polluants sont retenus par une membrane semi perméable dont le diamètre des pores est inférieur à celui des molécules à éliminer. Cette technique est largement utilisée dans le dessalement de l'eau de mer. Selon la qualité de l'eau désirée, on distingue la microfiltration, l'ultrafiltration ou la nanofiltration ou encore l'osmose inverse. La nanofiltration s'applique surtout au traitement des bains de teinture de colorants réactifs en agissant comme un filtre moléculaire tandis que la microfiltration retient les matériaux colloïdaux tels que les colorants dispersés ou de cuve grâce à une «membrane écran» [27].

L'ultrafiltration ne s'applique qu'à la réduction de la DCO et des solides en suspension [28], et ne se montre réellement efficace qu'en combinaison avec la coagulation/floculation.

Actuellement, des recherches sont menées dans le but de mettre en œuvre des membranes nouvelles à prix abordable. En effet, ces procédés restent très limités dans leurs applications car ils nécessitent des investissements importants à cause en grande partie du prix des matériaux utilisés et de leur mise en œuvre.

**IV-3- Méthodes physico-chimiques :****IV-3-1- Coagulation floculation :**

C'est un traitement physico chimique 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, ainsi que les micropolluants.

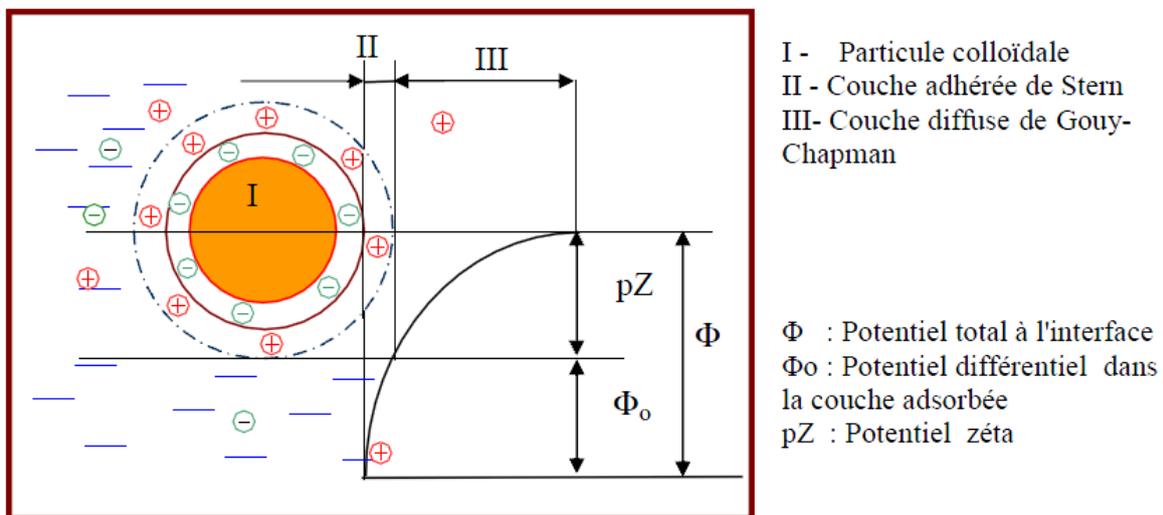
- Théorie de la double couche :

Les colloïdes sont généralement chargés négativement. Afin de neutraliser cette charge négative de surface, des ions positifs présents dans l'eau brute ou ajoutés sont attirés et forment une couche autour des colloïdes. [29]

Helmholtz : selon cette théorie, la totalité de la surface du colloïde est recouverte par les ions positifs assurant ainsi une électro neutralité.

Gouy-Chapman : la couche d'ions positifs est inégalement répartie autour du colloïde ; la neutralité s'obtient à plus grande distance.

Stern combine les deux et arrive à la neutralisation des colloïdes par une double couche.



**Figure 1 : Potentiel électrique de particules colloïdales**

Un colloïde se caractérise par deux potentiels [28]:

Potentiel thermodynamique ou potentiel de Nernst ;

Potentiel zêta ou potentiel électrocinétique.

- Le potentiel thermodynamique : est présent à la surface même du colloïde mais il n'est malheureusement pas mesurable par des méthodes simples [28]
- Le potentiel zêta: reste négatif comme la charge générale des colloïdes. Il donne le niveau de l'interaction mutuelle des colloïdes et se mesure par électrophorèse [28].

#### IV-3-2-Coagulation :

La coagulation est par définition le phénomène de déstabilisation des particules colloïdales, qui peut notamment être obtenu par neutralisation de leurs charges électrique. Le produit utilisé pour cette neutralisation est appelé : coagulant. [30] Les coagulants les plus communément employés dans la pratique se limitent au : sulfate d'aluminium  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $nH_2O$ , polychlorure d'aluminium  $AlnOHmCl3n-m$ , chlorure ferrique  $FeCl_3$ , sulfate de fer  $FeSO_4$ ,  $nH_2O$  et sulfate ferrique  $Fe_2(SO_4)_3$ . Dans des cas particuliers, il est fait appel à : l'aluminate de soude  $NaAlO_2$ , la chaux  $CaO$ ,  $Ca(OH)_2$  pour attaquer la structure des matières à précipiter et favoriser ainsi la création d'un système moins stable susceptible d'être définitivement précipité par les réactifs précédents [31].

#### **IV-3-3-Floculation :**

La floculation c'est une technique de traitement chimique par agglomération de particules solides finement divisées et dispersées dans un liquide. Dans certaines conditions, ces particules tendent à se rassembler et à sédimenter. La floculation a lieu dans un réacteur situé après la coagulation où sont ajoutés des polyélectrolytes (chaînes organiques à densité élevée de charges), sur lesquels les particules se fixent, formant ainsi des particules de plus grande dimension et facilement décantables. [32]

Les coagulants inorganiques tels que l'alun donnent les résultats les plus satisfaisants pour la décoloration des effluents textiles contenant des colorants dispersés, de cuve et au soufre, mais sont totalement inefficaces pour les colorants réactifs, azoïques, acides et basiques. Par ailleurs, la coagulation- floculation ne peut être utilisée pour les colorants fortement solubles dans l'eau. D'importantes quantités de boues sont formées avec ce procédé : leur régénération ou réutilisation reste la seule issue mais demande des investissements supplémentaires [33].

Récemment, des polymères organiques développés ont été très efficaces en tant que coagulants des colorants même pour les colorants réactifs, avec une faible production de boues. Cependant, la majorité des polymères utilisés pour l'élimination des colorants sont cationiques et peuvent être très toxiques pour la vie aquatique à de faibles concentrations (moins de  $1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) [34].

#### **IV-4- METHODES ELECTROCHIMIQUES :**

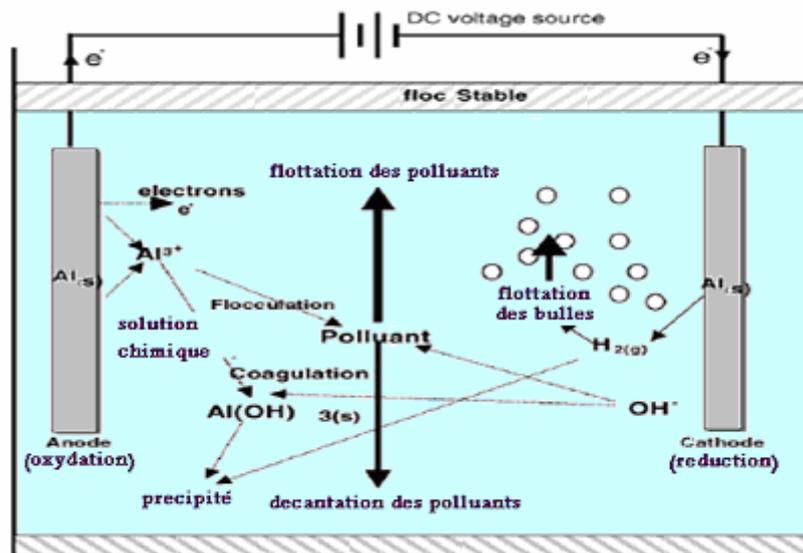
##### **IV-4-1-ELECTROCOAGULATION :**

L'électrocoagulation est une méthode de traitement des eaux basé sur la dissolution électrochimique d'un métal sacrificiel qui, une fois dans l'effluent et moyennant les autres

réactions connexes telle que l'électrolyse de l'eau, donne des complexes d'hydroxydes métalliques qui vont assurer l'adsorption puis la floculation des particules et des composés polluants dissous. [35]

#### IV-4-1-1-Principe du procédé :

Le procédé d'électrocoagulation est basé sur le principe des anodes solubles. Il s'agit, d'imposer un courant (ou potentiel) entre deux électrodes (fer ou aluminium) immergées dans un électrolyte contenu dans un réacteur pour générer, in situ, des ions ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ) susceptibles de produire un coagulant en solution et de provoquer une coagulation – floculation des polluants que l'on souhaite éliminer. L'électrolyse peut également coaguler les composés solubles oxydables ou réductibles contenus dans l'effluent. Le champ électrique crée un mouvement d'ions et de particules chargées. Cette action permet de rassembler les matières en suspension sous forme de flocs qu'on élimine ensuite par un procédé physique classique (décantation, flottation, filtration). La figure suivante présente le principe du procédé avec des électrodes d'aluminium. [36]

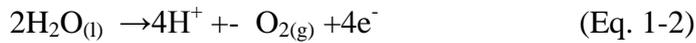


**Figure 2 : Schéma du principe de l'électrocoagulation [30].**

Les anodes et les cathodes utilisées peuvent avoir différentes configurations. Elles peuvent se présenter sous forme de plaques, de boules, de sphères à lit fluidisé, de fil, de tige ou de tube. Ces électrodes peuvent être constituées de divers métaux qui sont choisis de manière à optimiser le procédé de traitement. Les deux métaux communément utilisés sont le fer et l'aluminium). [37]

- Les principales réactions qui se déroulent avec les électrodes (cas des électrodes en aluminium) sont :

- A l'anode :



- A la cathode :



Il est aussi possible d'utiliser d'autres métaux comme anode soluble. Néanmoins, l'aluminium et le fer restent les plus utilisés grâce à leur prix abordable et à leur forme ionique qui présente une valence élevée.

Dans le cas d'une anode en aluminium, le cation métallique formé est  $\text{Al}^{3+}$  [53], tandis que l'utilisation d'une électrode en fer conduit à la formation d'ions ferreux  $\text{Fe}^{2+}$ , qui peuvent s'oxyder en présence d'oxygène dissous ou bien par auto oxydation pour donner les ions ferriques  $\text{Fe}^{3+}$ . [38]

Les cations métalliques forment des complexes avec les ions hydroxydes. L'espèce majoritaire dépend du pH du milieu. Dans le cas de l'aluminium, on trouve une multitude de complexes anioniques et cationiques. [39]

On peut distinguer:

- Les mono complexes tels que  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})^{-4}$ .
- Les poly complexes tels que  $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$ ,  $\text{Al}_2(\text{OH})^{5+}$ .
- Les espèces amorphes et très peu solubles telles que  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Ces espèces jouent le rôle de coagulant et conduisent à la formation de précipités, puis de floccs facilement éliminables.

#### IV-4-1-2- Conception de la cellule de l'EC :

Il est important de concevoir la cellule de l'EC de sorte que l'efficacité maximum puisse être réalisée. En faisant face à ce problème, les facteurs suivants doivent être pris en compte :

- La chute ohmique entre les électrodes doit être réduite au minimum.

- L'accumulation des bulles des gaz  $O_2$  et  $H_2$  à la surface des électrodes doit être réduite au minimum. [32].
- L'empêchement du transfert de masse à travers l'espace entre les électrodes doit être minimum. La chute ohmique dépend de :
  - la conductivité de la solution d'électrolyte.
  - la distance entre les deux électrodes.
  - la géométrie de l'électrode.

La grandeur de l'erreur due à la chute ohmique peut être réduite au minimum de trois manières différentes :

- utilisation d'une solution fortement conductrice.
- diminuer la distance entre les électrodes.
- Conception d'un moyen électronique de compensation de la chute ohmique (action de rétroaction d'un potentiostat).

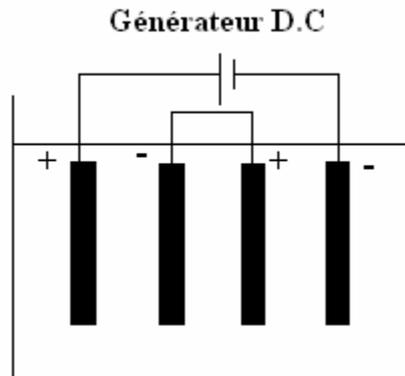
#### **IV-4-1-3- Les différents types d'électrodes et de connexion électrique :**

Plusieurs technologies d'électrocoagulation existent. Les cellules électrochimiques peuvent être montées en série ou en parallèle seules ou associées à d'autres types de procédés tels que les méthodes biologiques, les filtres presses, des décanteurs ou d'autres méthodes physiques de traitement. Diverses géométries de plaque existent telles que les plaques planes, cylindriques, sphères en lit fixe, ou sous forme de système rotatif. La simplicité de manipulation et d'entretien des plaques planes parallèles rend les expériences sur l'électrocoagulation plus aisées. Divers modes de connexions sont étudiés :

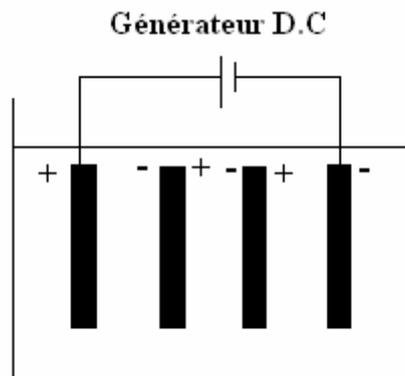
- Connexion mono polaire en série. [40]
- Connexion mono polaire en parallèle. [41]
- Connexion bipolaire en série. [42]

Ces trois modes de connexions diffèrent par leurs expressions de tension électrique et d'intensité de courant dans la cellule d'électrolyse. L'utilisation du mode en série est plus judicieux et conseille, 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 résulte donc une moindre consommation électrique. [30]

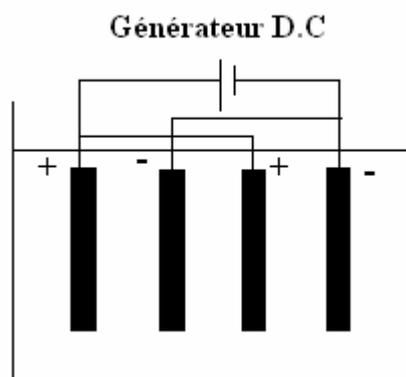
(a) : Connexion mono polaire en série et équivalent électrique.



(b): Connexion bipolaire et équivalent électrique.



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



**Figure 3 : Différents types de connexion. [30]**

#### IV-4-1-4- principales lois de l'électrolyse :

Le procédé d'électrocoagulation met en œuvre plusieurs types de phénomènes tels que les réactions chimique inter-ionique, les réactions électrochimique d'oxydoréduction, les

phénomènes physique de transfert de charge à l'interface électrode solution. Les adsorptions physiques ou chimiques entre hydroxydes et polluants et adsorption chimique entre les ions métalliques et la pollution. l'hydrodynamique dans l'espace inter électrodes, les interactions gaz-liquide (gaz produits et la solution). [35]

La compréhension de tous ces phénomènes se fait par la maîtrise des lois suivantes

➤ cinétique de transfert

la cinétique de transfert de charge ou de matière qui se produit à l'interface électrode-solution régit les courbes courant-potentiel. on distingue essentiellement dans la réaction, le transfert de l'espèce A du sein de la solution vers la surface d'électrode. l'adsorption chimique ou physique de A selon sa nature à la surface de l'électrode, le transfert de charge entre la surface et l'espèce adsorbée conduisant à la formation de B, la désorption de l'espèce B et le transfert de cette espèce depuis la surface vers l'électrolyte. [35]

➤ Loi de Faraday

La quantité de matière produite ou consommée lors d'une réaction électrochimique se calcule par la loi de Faraday et est fonction de la durée de l'opération  $\Delta t$  et l'intensité du courant I. [35]

$$m = I \cdot \Delta t \cdot M/n \cdot F$$

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

I : intensité du courant imposé (A).

t : durée d'électrolyse (s).

M : poids moléculaire de l'élément considéré (g.mol)

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

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 :

$$C = m \cdot (p-1) / Q_e$$

Avec :

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

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

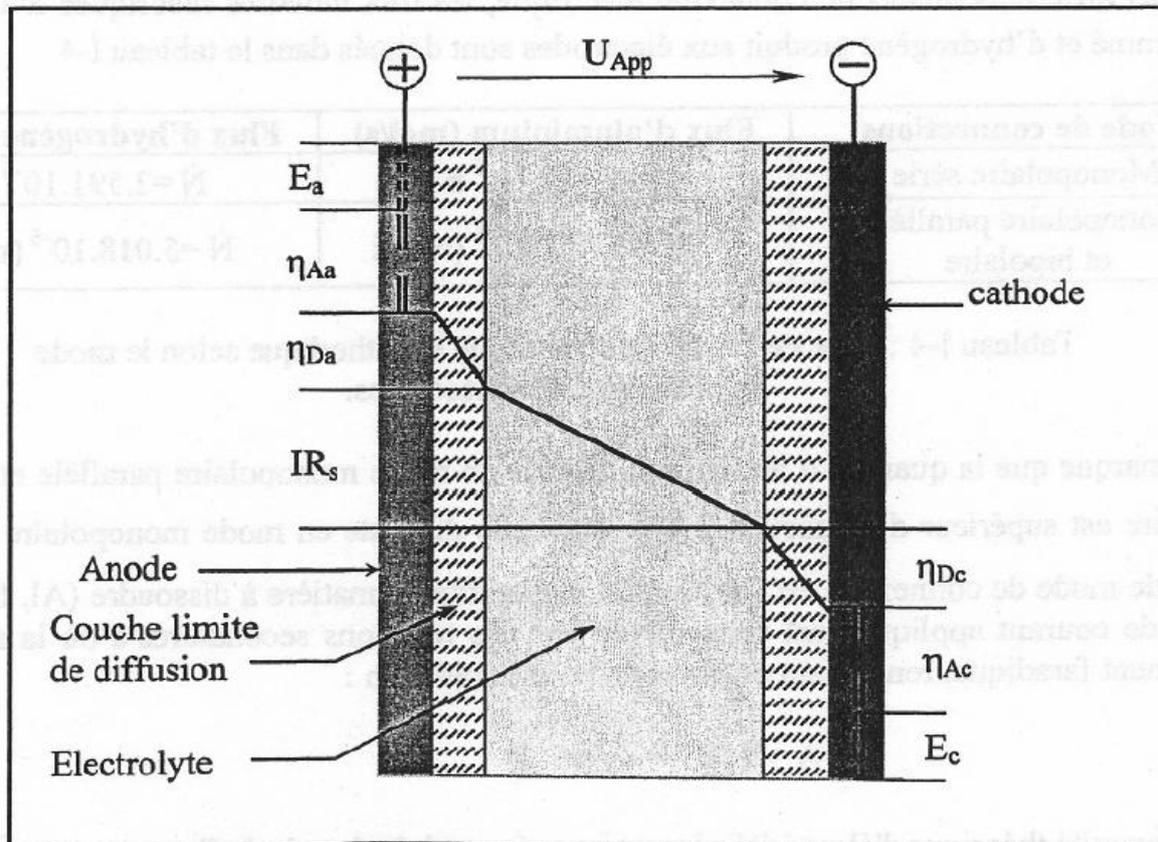
$p$  : nombre d'électrodes.

$m$  : quantité théorique de métal dissous (kg).[35]

➤ La tension de cellule

Lorsque le courant circule dans une cellule électrochimique. Il en résulte une augmentation de la tension. Cette tension se décompose en plusieurs éléments : [42]

1. Le potentiel d'équilibre réversible de l'anode,  $E_{o,a}$ .
2. La surtension d'activation à l'anode,  $\eta_{Aa}$ , qui est fonction de la densité de courant.
3. La surtension de diffusion à l'anode  $\eta_{Da}$ , est le résultat de la différence de concentration de l'espèce A entre l'anode et l'électrolyte, due à la lenteur relative des phénomènes de diffusion-convection.
4. La chute ohmique dans la masse de la solution, qui transforme une partie de l'énergie électrique fournie en chaleur, par effet joule.
5. La surtension de diffusion à la cathode  $\eta_{Dc}$ , générée par le gradient de concentration au voisinage de la cathode.
6. La surtension d'activation,  $\eta_{Ae}$ , de la réaction électrochimique se produisant à la cathode.
7. Le potentiel d'équilibre réversible de la cathode,  $E_{oe}$



**Figure 4 : Décomposition de la tension de cellule électrochimique**

#### IV-4-1-5- Avantages de L'électrocoagulation :

- L'électrocoagulation nécessite un équipement simple, facile à utiliser avec suffisamment de latitude opérationnelle. [32]
- Pas d'ajout de substances chimiques, plusieurs études ont montré l'efficacité de l'EC sans aucune variation de conductivité initiale du rejet à traiter, ce qui évite d'autres formes de traitement en aval. [31]
- Ce procédé d'électrocoagulation est efficace pour l'élimination des polluants colloïdaux très fins.
- EC permet d'obtenir des boues plus denses et moins hydrophiles. Cela rend la décantation et la flottation plus aisée et diminue le volume des boues. Et cela permet la réduction du temps et des coûts de traitement des boues. [33]
- Le champ électrique entre les électrodes conduit à la destruction de certaines souches de bactéries. [33]

- Les bulles d'air produites peuvent entraîner les polluants à la surface de la solution à traiter ou ils peuvent être facilement concentrés, rassemblés et éliminés. [32]
- L'électrocoagulation offre la possibilité de traiter des effluents par oxydation et réduction de plusieurs composés dissous tel que les nitrites, les sulfures, les cyanures, les sulfites, les chromates et les ions fluorures. [35]
- l'utilisation de l'électrocoagulation permet de réduire le temps de traitement : ce procédé permet un grand gain en compacité des installations et une possibilité d'automatisation. [30]
- La technique d'EC peu être utilisée dans les zones rurales ou l'électricité n'est pas disponible par simple raccordement à un panneau solaire qui génère assez d'électricité pour le processus. [30]
- Le procédé d'EC est économique et nécessite peu d'entretien. [32]
- Ce procédé peut être efficace pour le traitement des eaux de mer car cette eau a une salinité élevé. Cette propriété va engendrer l'accroissement de la conductivité électrique d'où l'augmentation de l'efficacité. [43]

### **IV-4-1-6- Inconvénients de l'électrocoagulation :**

- Les électrodes consommables sont dissoutes dans l'eau polluée par effet d'oxydation, elles nécessitent un remplacement. [32]
- L'électricité utilisée peut être onéreuse dans certains pays. [32]
- La formation et le dépôt de tartre sur les électrodes représentent une part importante de la consommation électrique du procédé. [30]
- Ce procédé peut causer la formation d'une couche gélatineuse d'hydroxyde.
- Une présence importante d'ions calcium et hydrogénocarbonate provoque l'apparition d'un dépôt de tartre au niveau de la cathode, augmentant ainsi, la résistance de la cellule [30].

*PARTIE*  
*EXPERIMENTALE*

*MATERIELS*  
*ET*  
*METHODES*

**V-1- Matériels :****V-1-1- Effluents synthétiques :**

Les solutions servant aux essais ont été préparées au laboratoire à partir de l'eau du robinet à la température ambiante. Selon l'essai, différentes quantités de polluant et de chlorure de sodium (NaCl) ont été dissoutes dans l'eau. Le pH de l'eau a été ajusté avant le début de l'essai à l'aide de solutions d'hydroxyde de sodium 5N et d'acide chlorhydrique 5N.

Pour des raisons purement pratiques, nous avons choisit comme polluant une substance témoin dont la concentration est facilement suivie par des mesures spectrophotométrique, le Bleu Turquoise FBL un colorant très utilisé en industries textiles.

**V-1-1-1- L'eau douce synthétique :**

Elle a été préparée par dissolution dans de l'eau du robinet d'une quantité de sel de 1g/L, et pour une concentration  $C_0$  donnée en colorant.

**V-1-1-2- L'eau de mer synthétique :**

Elle a été préparée par dissolution dans de l'eau du robinet d'une quantité de sel de 35g/L, et pour une concentration  $C_0$  donnée en colorant.

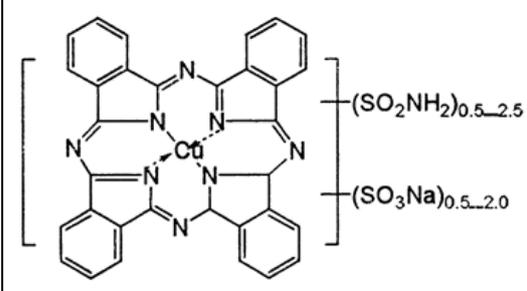
**V-1-2- Le colorant :**

Le colorant qui a fait l'objet de la présente étude est le bleu turquoise Tubantin FBL. C'est un colorant synthétique destiné à la teinture chimique. Il nous a été fourni gracieusement par l'Entreprise des Textiles SOTRADAL.

Le colorant Bleu turquoise Tubantin FBL est un colorant inorganique direct, sa dénomination selon le Color Index (CI) est 74190, Il a un groupement caractéristique qui est le monochlorothiazine, et un groupement essentiel, le phtalocyanine de cuivre, détectable par spectroscopie UV-Visible. Il est destiné à l'impression du coton et des fibres cellulosiques et son groupe actif est un phtalocyanine de cuivre. Les tissus imprimés avec cette gamme de colorants ont un excellent niveau de brillance ainsi qu'une très bonne solidité.

Les caractéristiques du colorant sont présentées dans le tableau 1 :

**Tableau 1 : Caractéristiques du colorant Bleu turquoise Tubantin FBL :**

Nom chimique	Structure	Classe chimique	$\lambda_{\max}$ (nm)
Bleu turquoise Tubantin FBL	 <p style="text-align: center;"><math>C_{35}H_{26}N_8Na_4O_{17}S_4</math></p>	Direct	605

**V-1-3- Effluent réel :**

Le rejet réel que nous avons traité en deuxième partie de notre étude a été prélevé dans une unité de production de textiles à Boufarik – BLIDA, il s'agit de l'entreprise SOTRADAL, et ceci juste après le procédé de teinture par un mélange des Cinq colorants suivants : Bleu Turquoise SOLAR FBL 400%, Bleu Suprantine BWL 300%, Jaune Celliton.G, Bleu Cibacette BF et Rouge Cetylon, en plus d'autres composés chimiques comme Indiqué dans le tableau V-2 :

**Tableau 2 : La composition chimique de l'effluent réel :**

Composés	Valeurs
Bleu Turquoise SOLAR FBL 400%	0.12 %
Bleu Suprantine BWL 300%	0.61 %
Jaune Celliton.G	0.06 %
Bleu Cibacette BF	0.06 %
Rouge Cetylon	0.06 %
Sel (NaCl)	2.5 Kg
Acide Acétique concentré	0.5 L
$Na_2CO_3$	500 g
S.T.A (Sondo clean PC)	200 ml

Les valeurs du tableau sont calculées pour 100L d'effluent.

Le pH du rejet au prélèvement était de 7,99 et sa température de 90°C, mesurés par le pH-mètre.

**V-1-4- Eau de mer :**

L'eau de mer que nous avons traité a été prélevé du coté de la plage située sur la rive Est d'Alger, a cote du centre commercial *ARDIS*.

Le pH de l'eau de mer mesuré juste après prélèvement est de 8.13 et sa conductivité est de  $45\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$

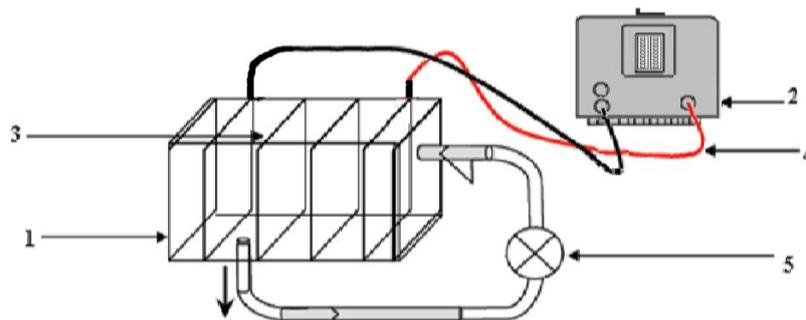
**V-1-5- Dispositif expérimental :****V-1-5-1- Le réacteur pilote d'électrocoagulation :**

Les expériences sont réalisées dans un réacteur électrochimique pilote en acier de dimensions  $100\times 37\times 40\text{ cm}^3$ , et en utilisant des électrodes en Aluminium de  $37\times 17\text{ cm}^2$  pour celles des extrémités, et de dimension de  $37\times 20\text{ cm}^2$  pour les intermédiaires.

L'eau est injectée dans la cellule de réacteur électrochimique au moyen de la pompe d'alimentation centrifuge, et sort par le tube de distribution. L'intensité du courant peut être maintenue constante au moyen d'un générateur de Miller THUNDERBOLT 300.

Le réacteur est rempli avec 100 L d'effluent (synthétique ou réel) à traiter et ceci dans les conditions opératoires choisies. Le pH est ajusté avec des solutions à 5N de NaOH ou HCl.

Le dispositif utilisé est schématisé sur la figure V-1 :



**Figure 1 : Montage du dispositif d'électrocoagulation**

Les numéros sur le schéma permettent de légénder le montage comme suit :

1. **réacteur** de dimensions  $100\times 37\times 40\text{ cm}^3$ .
2. **générateur** de courant électrique de type.
3. **électrodes** en métal (Aluminium).

4.  **fils électriques** de connexion.
5.  **pompe** pour faire circuler et homogénéiser la solution.

A part les électrodes, tous les matériaux en contact de l'effluent à traiter sont de nature isolante, la paroi de la cellule, le corps de la pompe, les tuyaux d'acheminement et les joints.

#### **V-1-5-2- pH-métrie :**

Les mesures du pH ont été réalisées à l'aide d'un pH-mètre «HANNA instruments pH 211» muni d'une électrode de pH en verre et une sonde pour mesurer la température.

#### **V-2- Méthodes :**

##### **V-2-1- Techniques d'analyse utilisées :**

##### **V-2-1-1- Spectrophotométrie d'absorption UV-Visible :**

La spectrophotométrie est une technique qui permet, entre autres d'identifier une substance chimique et de détermine la concentration d'un soluté dans une solution, par l'interaction des électrons des molécules du soluté (appelé chromophore) avec la lumière.

Lorsqu'un faisceau de lumière blanche d'intensité  $I_0$  traverse une solution d'un chromophore, ce dernier absorbe plus que d'autres certaines longueurs d'onde et restitue une intensité  $I$  du faisceau initial.

La détermination de la concentration des colorants est effectuée par dosage spectrophotométrie dans le domaine de visible, en utilisant la loi de Beer-Lambert.

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \varepsilon \cdot l \cdot C$$

A : Absorbance

$\varepsilon$  : coefficient de d'extinction spécifique du soluté (chromophore)

l : épaisseur de la cellule optique

C : la concentration de soluté

Le spectrophotomètre UV-visible utilisé est un appareil JENWAY6705 Séries spectrophotomètres single cell holder, possédant une gamme spectrale de 190nm à 900nm. Une cellule en QUARTZ de 10 mm a été employée.

**V-2-1-2- Déroulement des expériences :**

Nous avons opéré à l'aide du dispositif d'électrocoagulation présenté sur la figure VI-1.

On doit assurer au début de chaque expérience, un décapage mécanique des électrodes d'Aluminium, suivi d'un décapage chimique à la Soude (NaOH 5N) afin d'éliminer les dépôts suivi d'un rinçage et séchage

Pour une concentration  $C_0$  donnée en colorant, nous faisons circuler les 100L de la solution à traiter à travers le réacteur électrochimique tout en appliquant une intensité de courant fixée. Cette opération se fait pour une salinité et un pH initial donnés. Au fur et à mesure nous faisons le suivi de la cinétique d'abattement du colorant, pour cela des échantillons sont prélevés, ensuite filtrés sur un support filtrant, ne piégeant ainsi que les particules en suspension présentes en solution et non pas la coloration, et ceci à des intervalles de temps relativement courts au début de l'expérience pour arriver à des temps de prélèvement toutes les 15 minutes en fin d'expérience.

A la fin de chaque expérience la mesure d'absorbance  $A_{605}$  a été effectuée à une longueur d'onde maximale de  $\lambda_{\max} = 605$  nm, en utilisant un spectromètre UV-visible

L'efficacité d'élimination du colorant en pourcentage (E%) est calculée comme suit :

$$E(\%) = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

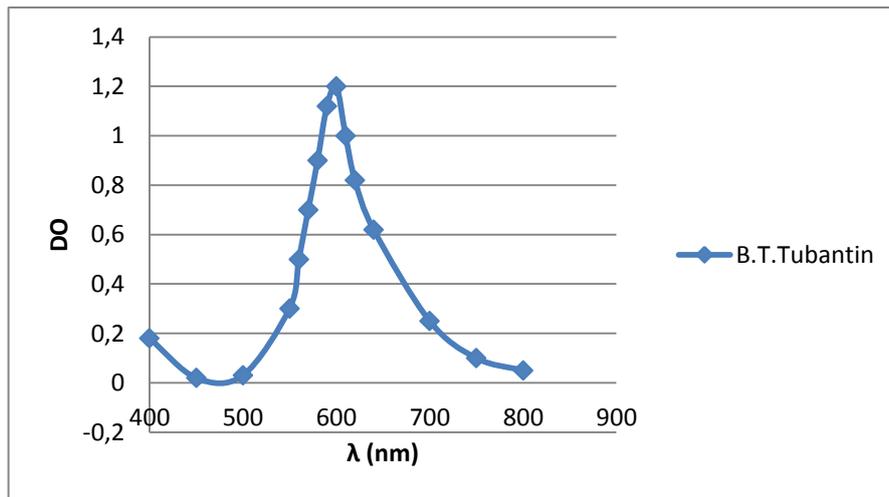
Avec :

$C_i$  : concentration initiale du colorant.

$C_f$  : concentration finale du colorant.

**V-2-2- Etude spectrophotométrique du colorant :****V-2-2-1- Le spectre d'absorbance du colorant Bleu Turquoise Tubantin FBL :**

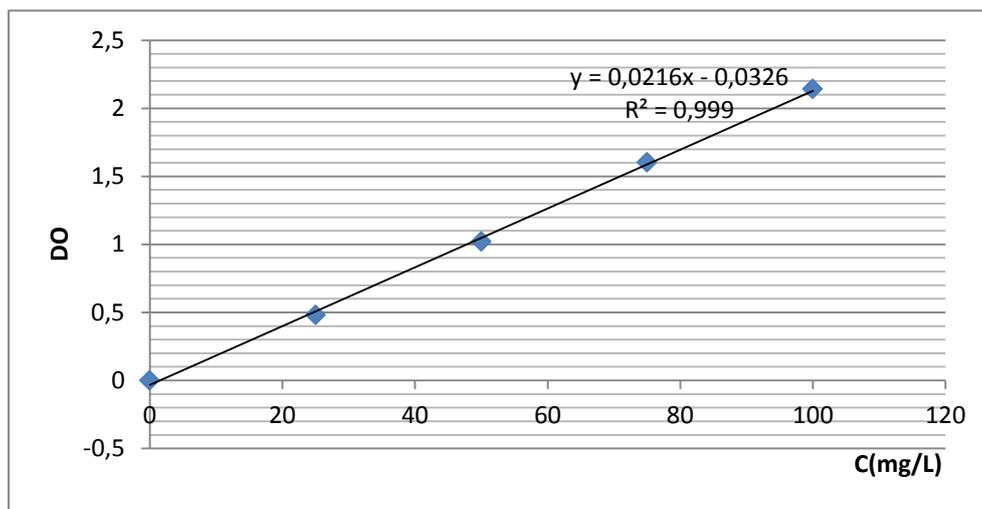
Le spectre d'Absorbance du colorant «bleu turquoise Tubantin FBL» est représenté sur la figure V-2.



**Figure 2 : Spectre d'absorption du colorant (Bleu Turquoise Tubantin FBL)**

#### **V-2-2-2- Courbe d'étalonnage du colorant Bleu Turquoise Tubantin FBL :**

Suite à la détermination des  $\lambda$  optimales pour une absorbance maximale du colorant étudié, une courbe d'étalonnage a été tracée afin de pouvoir estimer sa concentration en solution.



**Figure 3 : Courbe d'étalonnage du colorant Bleu Turquoise Tubantin FBL.**

#### **V-2-3- Mesure de la DCO de l'effluent textile réel :**

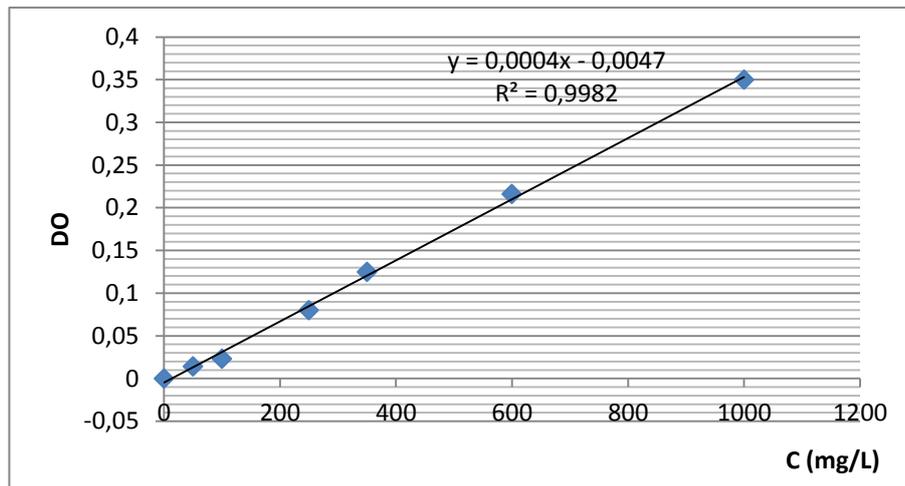
Les prélèvements effectués au cours du traitement d'électrocoagulation de l'effluent textile sont dosées par colorimétrie afin de suivre l'évolution de la DCO.

La détermination de la DCO est assurée par un DCO-mètre de type HACH DR2400 a 24 tube, la lecture se fait sur le spectrophotomètre à 600nm.

Le détail de cette méthode est résumé en annexe.

### V-2-3-1- Courbe d'étalonnage de la DCO :

La courbe d'étalonnage est effectuée à partir d'une solution étalon de biphtalate de potassium préparée à 851 mg/l avec de l'eau distillée et correspondant à 1000 g/l de DCO.



**Figure 4 : Courbe d'étalonnage de la DCO.**

### V-2-4- Mesure du Carbone Organique Totale (COT) pour l'eau de mer :

Afin de déterminer le taux d'abattement du COT de l'eau de mer, on a effectué des mesures de ce dernier par la méthode d'oxydation, pour cela on a pris les deux échantillons d'eau de mer, avant et après traitement.

Le protocole est indiqué dans l'annexe.

L'abattement du COT en pourcentage (%COT) s'exprime par la relation suivante :

$$\%COT = \left[ \frac{COT_i - COT_f}{COT_i} \right] \times 100$$

Avec :

$COT_i$  : Carbone Organique Totale initial.

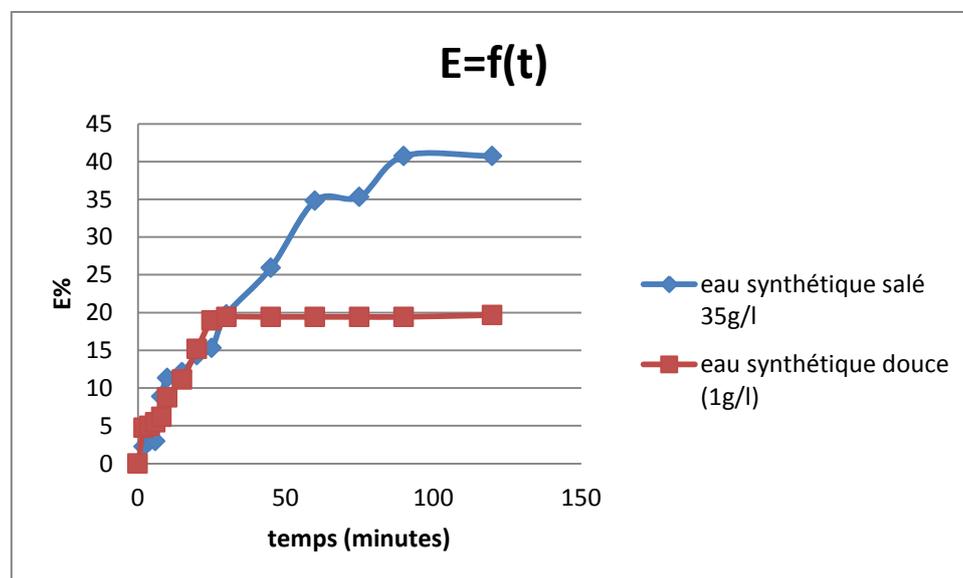
$COT_f$  : Carbone Organique Totale final.

*RESULTATS*  
*ET*  
*DISCUSSION*

**Essais « tests » :**

Avant d'étudier l'influence des différents paramètres venant d'être cités, nous avons mené au préalable un test de traitement par ECM (Electrocoagulation Monopolaire), en utilisant deux électrodes en Aluminium distante de 70cm, des solutions synthétiques préparées (eau synthétique douce et eau synthétique salée par dissolution de 50 mg de colorant par litre d'eau sans ajustement du pH et avec une intensité de courant minimale égale à 35A.

Les résultats obtenus, exprimés en pourcentage d'élimination (E%) et portés en fonction du temps de traitement (minutes), sont représentés sur les figures 1 :



**Figure VI-1 : Cinétique de traitement des solutions synthétiques par ECM**

Après l'analyse de ces résultats on a conclu que vu le grand volume à traiter et la faible valeur d'intensité de courant imposée, le taux d'abattement enregistré pour les deux effluents synthétiques sont faibles.

L'abattement maximal obtenu lors du traitement de l'eau synthétique salée est de 40% pour une durée de traitement de 100mn, alors qu'il ne dépasse pas les 20% dans le cas de l'eau synthétique douce.

Ceci est dû au fait que l'intensité de courant appliquée est insuffisante pour la formation de la quantité d'hydroxydes métallique permettant l'adsorption et l'élimination du maximum de polluant ainsi que le nombre d'électrodes utilisées (2 électrodes).

Suite aux résultats obtenus au cours de ce test, nous avons opté pour une électrocoagulation bipolaire en augmentant le nombre d'électrodes et de l'intensité de courant.

### VI-1- Optimisation du réacteur :

Dans le cadre de ce travail nous avons effectuer une comparaison de l'efficacité de l'électrocoagulation avec des électrodes en aluminium pour une eau douce synthétique de concentration en NaCl égale a 1g/l (conductivité) et une eau de mer synthétique de concentration en NaCl égale a 35 g/l. Et pour cela nous avons étudié l'influence des paramètres suivant :

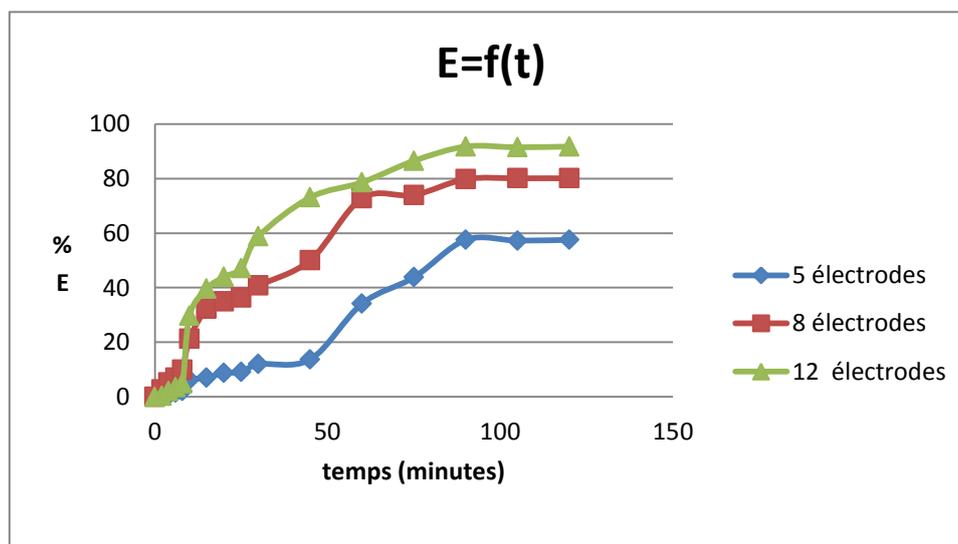
- Le nombre d'électrodes ;
- L'intensité de courant ;
- Le pH de la solution ;
- La concentration en colorants ;

#### VI-1-1- Effet du nombre d'électrodes :

Nous avons étudié l'influence du nombre d'électrodes sur l'efficacité du traitement par électrocoagulation et pour cela nous avons effectué une variation du nombre d'électrodes en connectant celles-ci à la manière bipolaire et ceci dans le but de réduire la consommation du courant électrique.

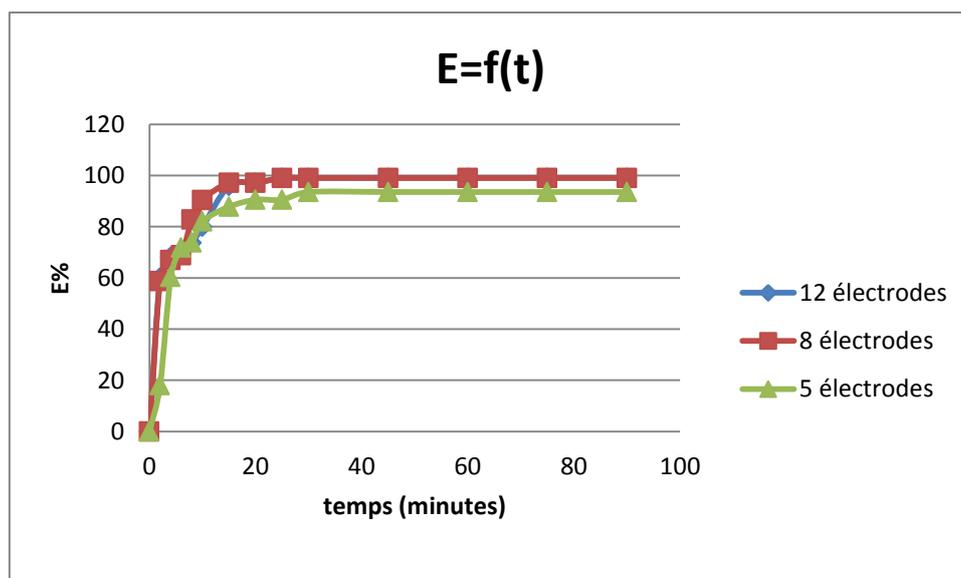
Le nombre d'électrodes utilisé est de 5, 8 et 12 électrodes.

Après prélèvements, filtrations et analyses des échantillons, nous avons obtenu les résultats représentés sur les figures VI-2 et VI-3 :



**Figure VI-2 : Influence du nombre d'électrodes sur l'élimination du colorant pour une eau synthétique douce (1g/l).**

$C_i=20\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $d_i=2\text{cm}$ ,  $I=100\text{A}$ ,  $\text{pH}_i \text{ solution}=7.82$ .



**Figure VI-3 : Influence du nombre d'électrodes sur l'élimination du colorant pour une eau de mer synthétique (35g/l)**

$C_i=20\text{mg.L}^{-1}$ ,  $d_i=2\text{cm}$ ,  $I=35\text{A}$ ,  $\text{pH}_i \text{ solution} =7.47$ .

D'après ces résultats, nous constatons une accélération de la cinétique de décoloration lorsque le nombre d'électrodes augmente. Par exemple pour l'eau synthétique douce, nous atteignant un rendement d'élimination du colorant de 92%, pour une durée de traitement de 90 min avec 12 électrodes.

Des rendements d'élimination de 80% et de 57% ont été obtenus avec 8 et 5 électrodes respectivement et pour une durée de traitement plus longue.

Pour l'eau de mer synthétique (35 g/l de NaCl) on a pu atteindre 97% d'élimination avec 8 et 12 électrodes pour seulement 20 min de traitement alors que nous avons atteint que 90% d'élimination pour un temps de traitement de 20 min avec 5 électrodes

Il est important de noter que malgré le net gain dans le temps de réaction nécessaire pour un bon pourcentage d'enlèvement des colorants de la solution par l'addition d'électrodes bipolaires, un apport supplémentaire en celles-ci après un certain nombre serait sans effet améliorant sur l'efficacité du traitement. Ce phénomène nous l'avons observé lorsque on à traiter l'eau synthétique salé, on a remarqué une stabilisation à partir de 8 électrodes.

Ceci s'explique par le fait que la quantité d'hydroxyde formée par la dissolution de 8 électrodes pour le cas de l'eau de mer synthétique et de 12 pour l'eau douce synthétique est

suffisante pour faire adsorber la quantité de polluant présente en solution ,et donc l'augmentation du nombre d'électrodes. Au delà est sans effet notable.

Nous pouvons conclure que le nombre d'électrodes optimal est de :

- 12 électrodes pour l'eau douce synthétique.
- 8 électrodes pour l'eau de mer synthétique.

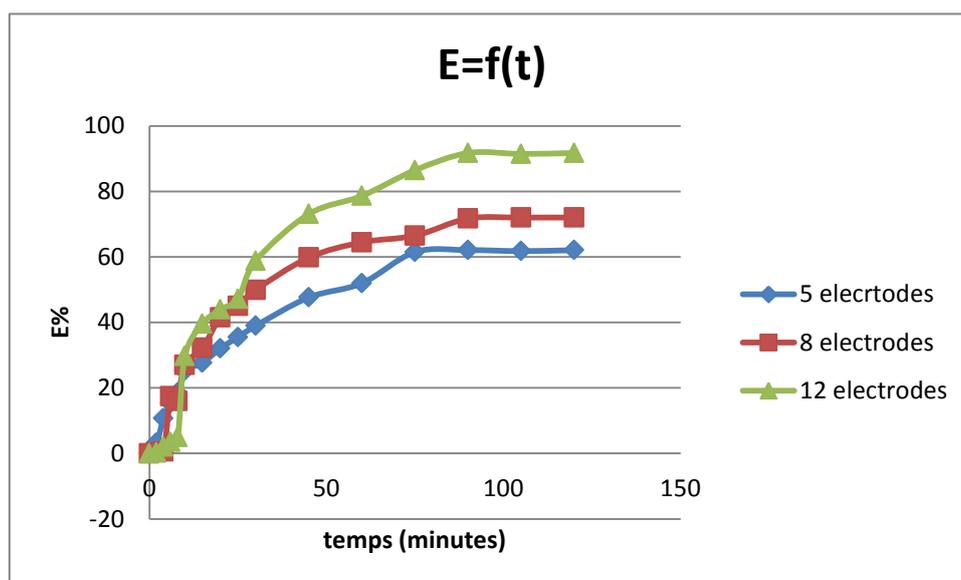
**VI-1-2- Effet de l'intensité de courant :**

L'intensité de courant est un paramètre critique en électrocoagulation, étant donné qu'il est le seul pouvant être contrôlé directement.

L'effet de l'intensité de courant sur l'élimination des colorants a été étudié en faisant varier l'intensité de courant tout en maintenant constant les autres paramètres opératoires à savoir le nombre d'électrodes, la distance inter électrodes, le PH et la concentration de colorant.

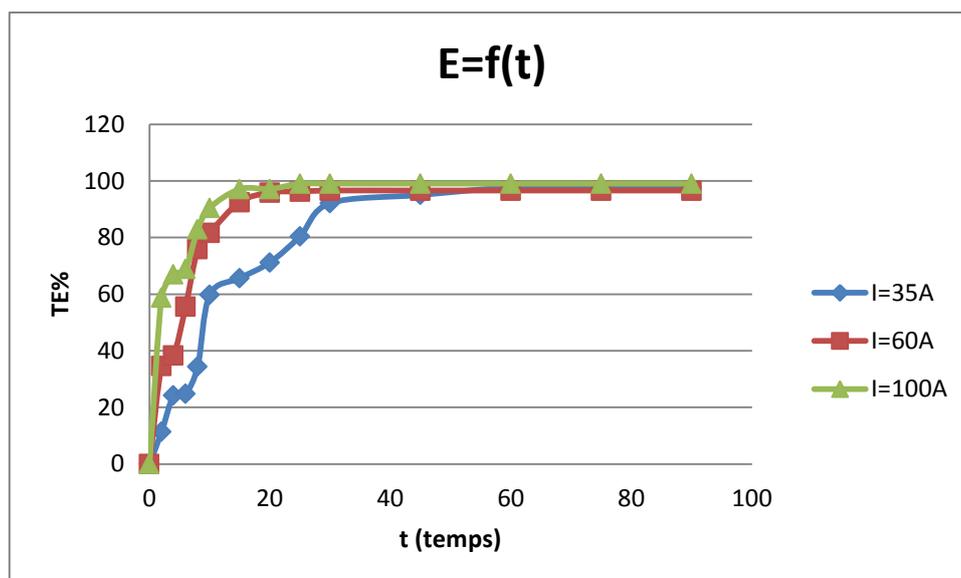
Les valeurs étudiées sont : 35, 60, et 100A

L'analyse spectrophotométrique des filtrats des échantillons prélevés au cours du procédé de traitement par EC dans les différentes conditions, donnent les résultats qui sont représentés sur les figures VI-4 et VI-5 exprimés par les pourcentages d'élimination du colorant des deux solutions synthétiques en fonction du temps de traitement.



**Figure VI-4 : Influence de l'intensité du courant (I) l'élimination du colorant pour une eau synthétique douce (1 g/l)**

$C_i=20\text{mg.L}^{-1}$ ,  $d_i=2\text{cm}$ ,  $N=12$ ,  $\text{pH}_i \text{ solution}=7.52$ .



**Figure VI-5 : influences de la densité de courant (I) en fonction du temps eau de mer synthétique (35 g/l)**

$C_i=20\text{mg} ; L^{-1}$ ,  $d_i=2\text{cm}$ ,  $N=12$ ,  $\text{pH}_i=7.55$ .

A la lecture de ces graphes, il apparaît que l'application de valeurs d'intensité de courant ascendantes améliore le taux d'élimination ainsi que la cinétique de décoloration. Par exemple, pour un temps réactionnel de 90 min, le taux d'élimination passe de 57% sous une intensité de 35A à 79% sous une intensité de 60A et à 91% sous une intensité de 100A pour l'eau synthétique douce.

Pour l'eau de mer synthétique on a obtenu des rendements d'élimination de l'ordre de 90% pour les différentes valeurs d'intensité de courant et ceci pour une durée de traitement égale à 20mn.

Selon Kobya et al. 2006, à des intensités de courant élevées, la dissolution anodique de l'aluminium augmente, entraînant un taux plus important de précipités nécessaires pour l'élimination des polluants.

Nous présentons ci dessous, les mécanismes qui sont intervenus lors du traitement par EC et les espèces produites avec des électrodes en aluminium:

Sous l'action du courant électrique, il se produit des réactions d'oxydoréduction à l'anode et à la cathode :

- à l'anode :  $\text{Al} \longrightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$  (1)
- à la cathode :  $3\text{H}_2\text{O} + 3\text{e}^- \longrightarrow 3/2 \text{H}_2 + 3 \text{OH}^-$  (2)

Les ions  $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{OH}^-$  générés par (1) et (2) vont réagir pour former des espèces monomériques telles que :  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ . Et des espèces polymérique telles que :  $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$  ,  $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$ , qui se transforment enfin en  $\text{Al}(\text{OH})_3$  suivant des cinétiques de précipitation complexes (Can et *al.*, 2003 ) :

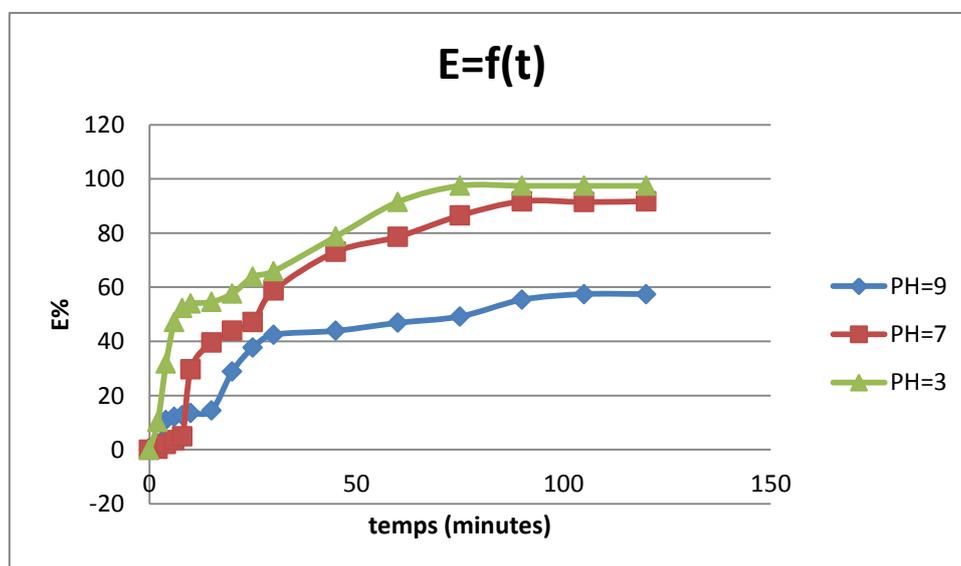


Les floccs amorphes  $\text{Al}(\text{OH})_3$  dits « sweep floccs » fraîchement formés ont de larges surfaces qui sont bénéfiques pour une adsorption rapide des composés organiques solubles et le piégeage des particules colloïdales [56]

### VI-1-3- Effet du pH initial :

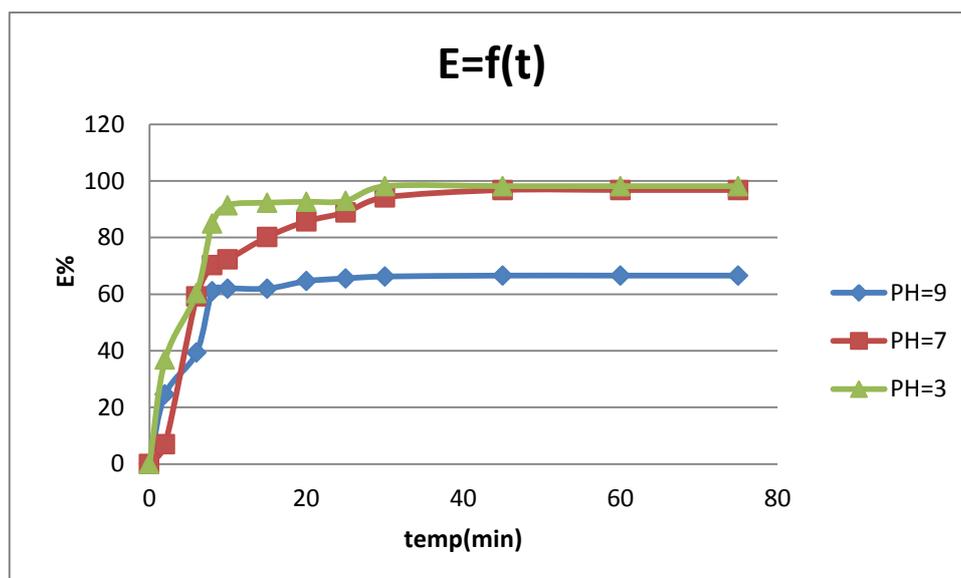
L'importance de l'influence du pH sur la performance des procédés électrochimiques a été mise en évidence par plusieurs auteurs.

Pour étudier l'impact du pH initial sur les cinétiques de décoloration dans notre système, nous avons fait varier celui-ci dans une gamme allant de 3 à 9 on prend comme valeur PH=3, 7 et 9 tout en maintenant les autres paramètres constants. Les résultats sont représentés sur les figures VI-6 et VI-7



**Figure VI-6 : Influence du pH initial sur l'élimination du colorant pour une eau synthétique douce (1g/l)**

$C_i=20\text{mg.L}^{-1}$  ,  $d_i=2\text{cm}$  ,  $N=12$  I=100A.



**Figure VI-7 : Influence du pH initial sur l'élimination du colorant pour eau de mer synthétique (35g/l)**

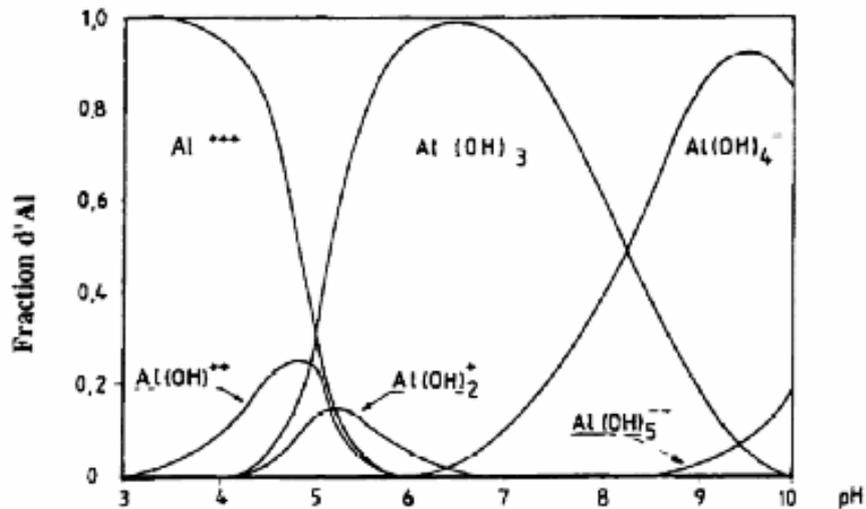
$C_i=20\text{mg.L}^{-1}$ ,  $d_i=2\text{cm}$ ,  $N=12$   $I=35\text{A}$ , solution, électrodes en Al.

D'après ces graphiques, il semblerait que les taux d'élimination du colorant soient influencés par le pH de la solution, on remarque aussi les plus hauts niveaux de décoloration sont obtenus à un  $\text{pH}=3$  pour les deux eaux synthétiques, avec un taux d'abattement maximal de 99% pour l'eau de mer synthétique pour un temps de traitement de 25mn et de 97 % pour l'eau douce synthétique a un temps de . 75min

L'alcalinisation du milieu limite la prédominance des hydroxydes d'aluminium ce qui est défavorable pour l'élimination du colorant par EC pour l'élimination du colorant par EC .Ceci corrobore les résultats obtenus du traitement de l'eau [69].

les ions d'aluminium générés électrochimiquement peuvent former des complexes hydroxo monomériques ou polymériques décrit précédemment selon le pH du milieu, et ces complexes ont tendance à polymériser entre le  $\text{pH}=4$  et le  $\text{pH}=7$  [70].

Un diagramme d'hydrolyse de l'aluminium en fonction du pH a également été proposé ; il est représenté sur la figure VI-8 :



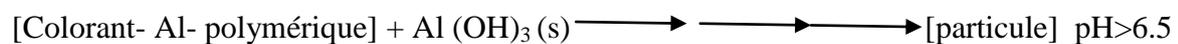
**Figure VI-8 : Hydrolyse de l'aluminium en fonction du pH [67].**

Des mécanismes d'interactions sont possibles simultanément entre les molécules de colorants et les produits d'hydrolyse, et les niveaux dépendent du pH du milieu et les types d'ions présents. Deux mécanismes majeurs sont considérés : précipitation et adsorption ; chacun est proposé pour un intervalle de pH différent [70].

-Précipitation :



-Adsorption :

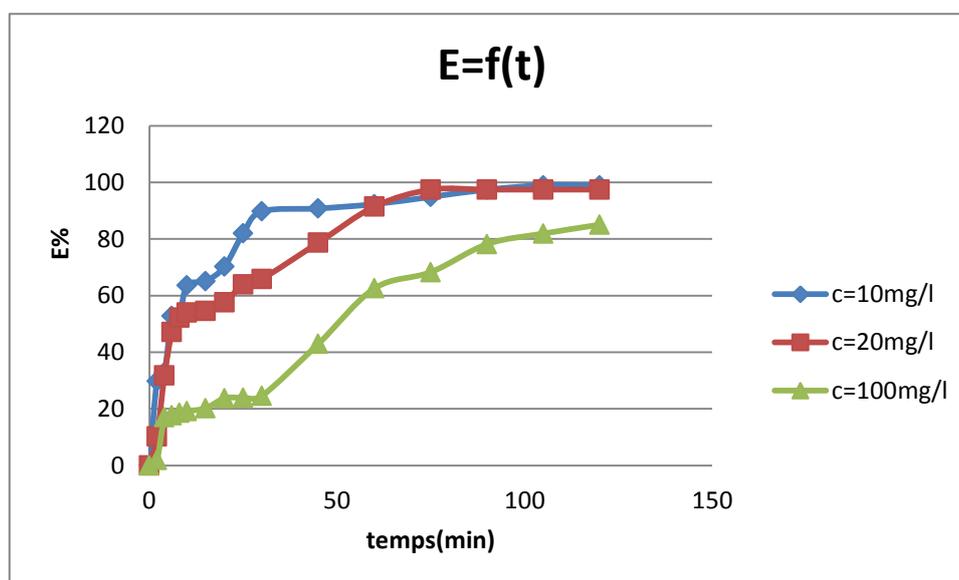


**VI-1-4- Effet de la concentration initiale du colorant**

Dans le but d'évaluer l'effet de la charge initiale du colorant sur le phénomène d'électrocoagulation EC, nous avons travaillé en gardant tous les paramètres constants à savoir : l'intensité de courant, le pH initial des solutions, la distance séparant les électrodes ainsi que leur nombre, excepté la charge initiale du colorant que nous avons fait varier.

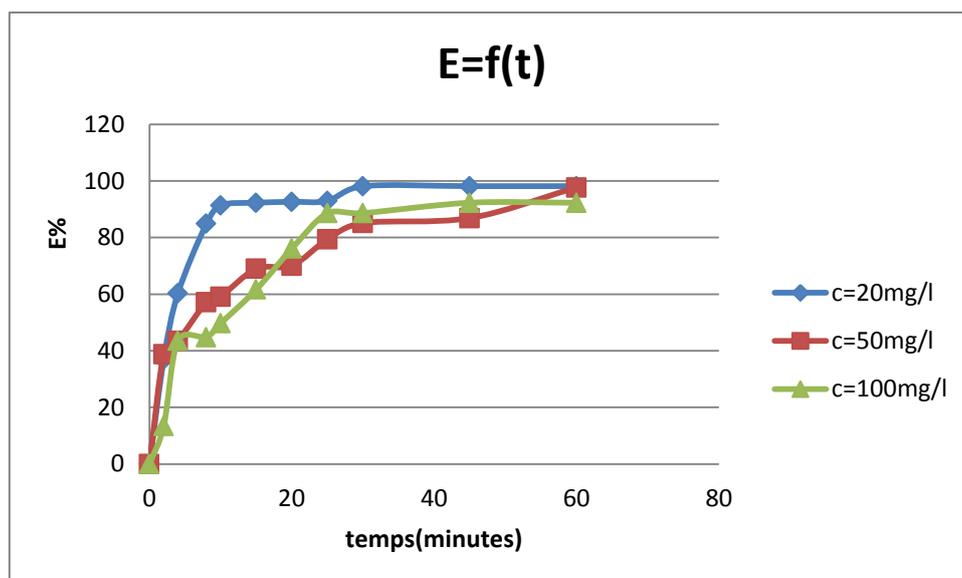
Pour l'eau douce synthétique les valeurs étudiées sont : 10, 20 et 50mg/l et pour l'eau de mer synthétique nous avons traité des eaux à 20,50 et 100 mg/l.

Les résultats obtenus sont représentés sur les figures 9 et 10, où sont portés les taux d'élimination exprimés en pourcentages (E%) en fonction du temps de traitement (en minutes).



**Figure VI-9 : Influence de la concentration initiale en colorant pour une eau synthétique douce (1g/l).**

di=2cm,N=12 I=100A,pHi=7.52 .



**Figure VI-10 : Influence de la concentration initiale en colorant pour une eau synthétique (35g/l).**

$d_i=2\text{cm}$ ,  $N=8$   $I=35\text{A}$ ,  $\text{pHi}=7.60$ .

Des différences dans la cinétique de décoloration sont perçues à la lecture de ces graphes. Il apparaît que le traitement de solutions de plus en plus colorées nécessite plus de temps réactionnel pour atteindre le taux maximal d'élimination. Ceci peut être dû à la quantité de complexes d'hydroxydes métalliques insuffisante par rapport au nombre de molécules de colorants présentes en solution [69].

Pour l'eau douce synthétique il nous a fallu 90 min de traitement pour atteindre un abattement de 97% pour des concentrations en colorant de 10 et 20mg/l alors qu'il nous a fallu le même temps pour n'atteindre que 78% d'élimination pour une concentration de 100 mg/l.

Pour l'eau de mer synthétique, nous avons atteint les taux d'abattement suivant : 98,97 et 92% pour les concentrations initiales en colorants de : 20,50 et 100mg/l respectivement, pour un temps de traitement de 60min

## VI-2- Application de l'électrocoagulation à deux effluents réels :

### VI-2-1 : effluent textile réel :

Après l'optimisation des paramètres opérationnels, nous avons appliqué le procédé d'ECB (Electrocoagulation Bipolaire) pour un effluent textile issu de l'unité SOTRADAL-sise à Boufarik - wilaya de Blida, unité textile spécialisée dans la fabrication des tissus. L'échantillon a été prélevé le 29 Mai 2013 à la sortie de l'unité de fabrication soit, juste avant la mise à l'égout. Ce rejet n'a pas été mélangé aux eaux de vanes issues de l'unité en question.

Dans ce cas, nous avons opté pour travailler dans les conditions optimales déterminées dans la partie précédente, mis a part le pH de l'effluent qui n'a pas été modifié.

Les conditions opératoires sont les suivantes :

- pH initial =7.99 (du rejet) ;
- Nombre d'électrodes en Aluminium =12,
- Distance inter électrodes=2cm ;
- Intensité de courant =100A;

Nous avons suivis l'élimination de la matière organique présente dans notre effluent réel par mesure de la DCO des échantillons prélevés.

Les résultats obtenus sont présenté sur la figure ci-dessous :

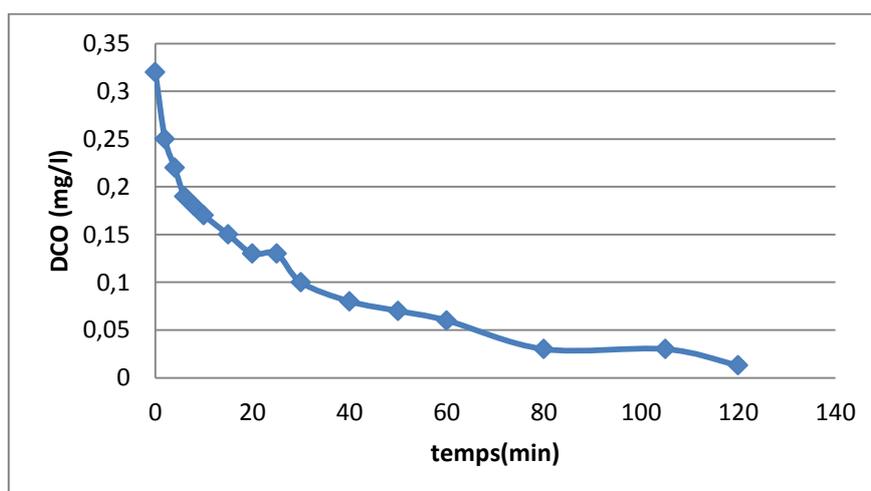
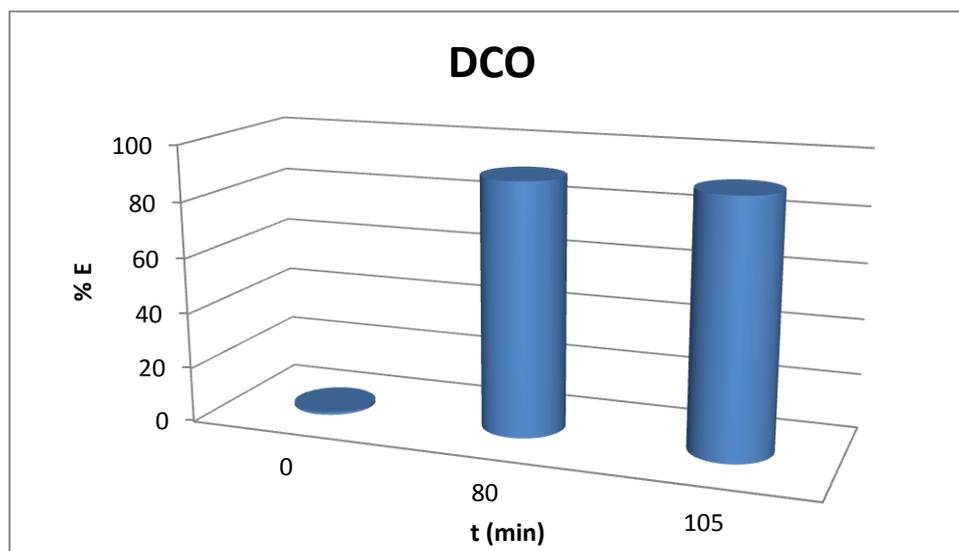


Figure VI-11 élimination de la matière organique en fonction du temps.



**Figure VI- 12 : Evolution de l'élimination de la matière organique présente dans l'effluent**

A la lecture de ce graphe, nous remarquons une grande élimination de la matière organique présente dans cet effluent en fonction du temps, ceci s'explique par l'élimination de la matière organique présente dans l'effluent ,constituée principalement de colorants ,suite a la formation des hydroxypolymères lors de l'électrocoagulation et l'adsorption des polluants dessus.

Les résultats obtenus sont en accord avec ceux obtenus par plusieurs auteurs ayant appliqué ce procédé sur des effluents textiles en utilisant des réacteurs a l'échelle laboratoire. Ceci nous permet de conclure que le traitement par électrocoagulation de ce rejet est efficace pour l'élimination des matières organique présente.

#### **VI-2-2- l'eau de mer :**

Nous avons appliqué l'électrocoagulation au traitement d'une eau de mer que nous avons prélevé de la plage ARDIS qui se situe a la proximité du port d'Alger, le prélèvement a été effectué le 28 mai 2013.

Nous avons effectué la caractérisation de l'effluent prélevé les résultats obtenus sont

#### **Tableau VI-1 : Les caractéristiques de l'effluent de l'eau de mer.**

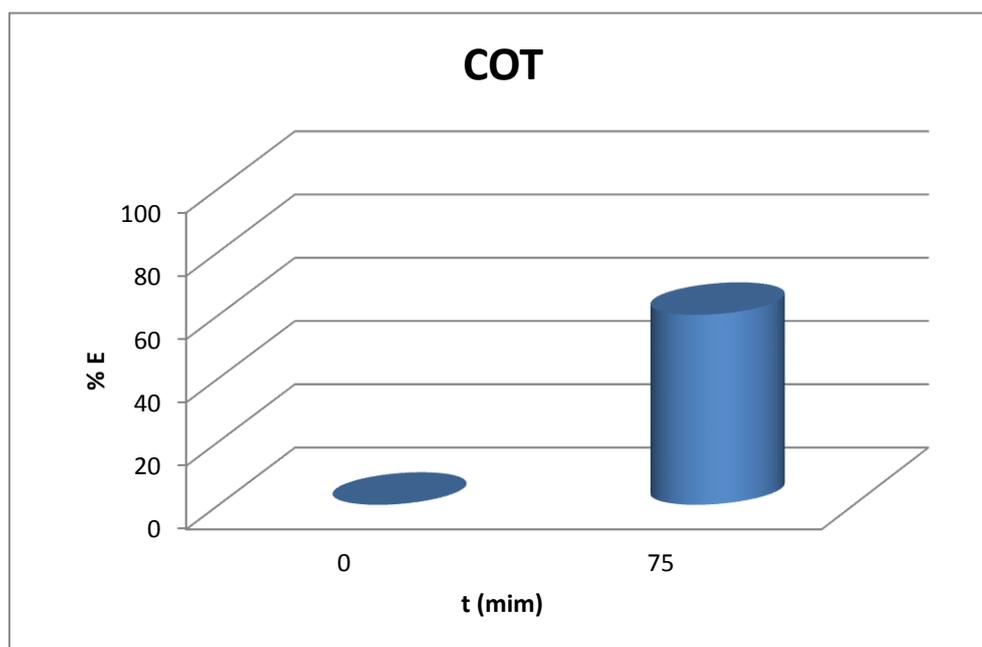
Paramètre	Valeur
pH	8.13
Conductivité	$45\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
Nitrates (mg/L)	0.145
Nitrites (mg/L)	0.222
Na+	27.56

Dans ce cas, nous avons opté pour les conditions optimales déterminées précédemment dans le cas de l'eau de mer synthétique (35 g/l):

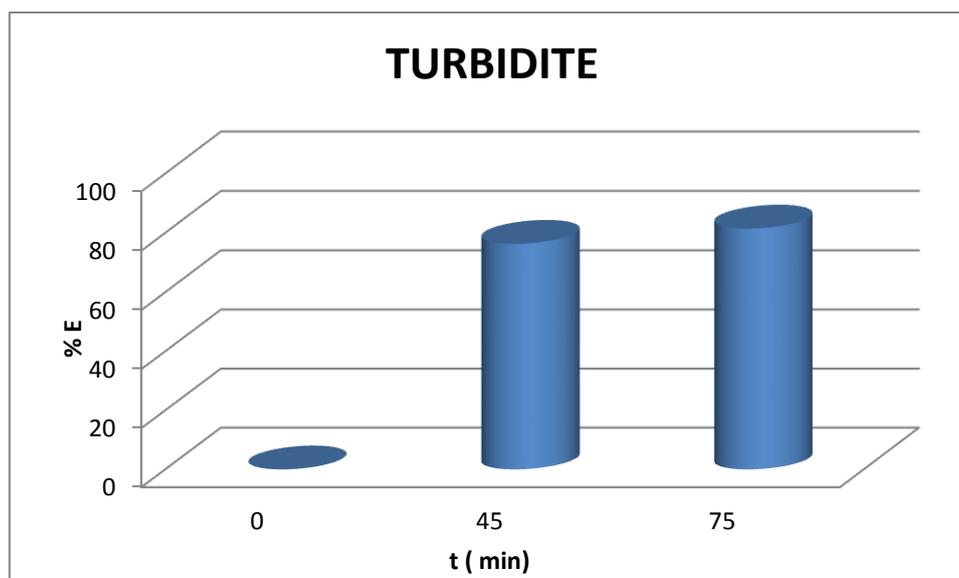
- pH<sub>i</sub> = 8.13
- Conductivité de l'eau de mer = 45 ms/cm ;
- Nombre d'électrodes en Aluminium = 8,
- Distance inter électrodes = 2cm ;
- Intensité de courant = 35A.
- Temps de traitement = 75mn

À la fin du traitement, les résultats sont visibles à l'œil nu, l'eau de mer est devenue beaucoup plus claire et plus propre, avec une production d'une grande quantité de boues décantées au fond du réacteur, et une grande quantité de mousse flottante à la surface.

Nous avons fait des analyses de turbidité et du COT sur l'échantillon initial et final. Les résultats sont représentés sur les figures ci-dessous :



**Figure VI-13 : Elimination du COT dans l'eau de mer après traitement. .**



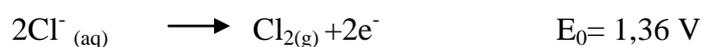
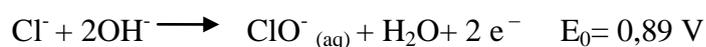
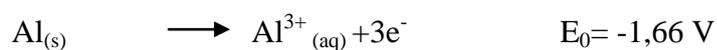
**Figure VI-14 : Evolution de l'élimination de la turbidité de l'eau de mer.**

Les résultats de la turbidité et du COT confirment l'efficacité du traitement, en effet on constate une réduction de la turbidité de 76 % pour un temps de traitement égale à 45mn et de 80% pour une durée de traitement de 75mn.

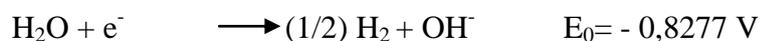
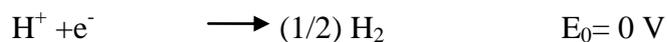
Une diminution du COT de 60% est obtenue pour une durée de traitement de 75mn.

Lors de l'électrocoagulation de l'eau de mer qui est caractérisée par une grande concentration en NaCl les réactions suivantes ont lieu :

Anode:



Cathode:



Les réactions suivantes montrent la production du gaz  $\text{Cl}_2$  au niveau de l'anode ce qui permet d'augmenter le phénomène de flottation des hydroxy-polymères formés.

La formation des ions  $\text{ClO}^-$  conduit à la production de l'eau de Javel ce qui permet une électrodésinfection.

Les résultats obtenus montrent l'efficacité du procédé d'électrocoagulation dans l'eau de mer.

*CONCLUSION*  
*GENERALE*

# CONCLUSION GENERALE

---

## CONCLUSION GENERALE

L'électrocoagulation est une technologie compacte et fiable pour le traitement des effluents industriels. Ce procédé permet d'éliminer simultanément un large spectre de polluants organiques et minéraux, de colorants et de métaux lourds ; de ce fait et dans le cadre de ce travail nous avons opté d'étudier ce procédé pour le traitement d'un effluent textile et le prétraitement d'une eau de mer destinée au dessalement en utilisant un réacteur pilote en mode batch.

Dans la première partie de notre étude, nous avons appliqué le procédé d'EC pour le traitement des solutions d'eau douce colorée, pour lesquelles nous avons ajouté du sel pour assurer une bonne conductivité, et pour le prétraitement de l'eau de mer synthétique colorée, pour pouvoir optimiser les paramètres de fonctionnement du réacteur dans les deux cas.

Suite à cela, et en effectuant des traitements avec les paramètres optimisés nous avons atteint des taux d'élimination très élevés atteignant les 98% pour les deux eaux synthétiques mais à des temps de traitement différents. Le temps d'élimination est beaucoup plus court dans le cas de l'eau de mer synthétique ce qui s'explique par les caractéristiques particulières que possède l'eau de mer à savoir la salinité élevée induisant une grande conductivité.

En deuxième étape nous avons appliqué l'électrocoagulation bipolaire pour le traitement de deux rejets réels, le premier est issu de l'industrie du textile et le second est de l'eau de mer fortement polluée.

Pour l'effluent textile nous avons obtenu des résultats très intéressants et prometteurs pour l'élimination de la matière organique, nous avons pu atteindre jusqu'à 90% d'élimination de cette matière organique, le rejet réel de l'industrie textile traité est très clair comparé à celui directement déversé dans le milieu naturel.

Pour l'eau de mer nous avons pu éliminer 80% de la turbidité et 60% de matières organiques, à la fin du traitement l'eau est très claire et beaucoup plus propre. Ces résultats sont obtenus en utilisant une intensité de courant et un temps de traitement beaucoup plus faibles que dans le cas de l'effluent textile.

A la fin de ce travail, nous recommandons pour les études à venir sur ce thème d'envisager de faire une caractérisation approfondie des effluents à traiter qui semble être absolument

## CONCLUSION GENERALE

---

nécessaire et requise pour mieux comprendre leur comportement chimique avant de concevoir le procédé d'électrocoagulation, d'effectuer le traitement en continu, dont c'est le principe de fonctionnement dans l'industrie, d'effectuer une modélisation et de réaliser une étude économique approfondie notamment concernant le coût total de l'opération qui inclura les coûts directs tels que : électricité, matériel nécessaire (électrodes, réactifs chimiques...etc.), réacteur et son dimensionnement...etc., ou indirects tels que la maintenance.

*REFERENCES*  
*BIBLIOGRAPHIQUES*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] ZODI.S., étude de l'épuration d'effluents de composition complexe par électrocoagulation et de couplages intervenant entre le traitement électrochimique et l'étape de séparation : application à l'industrie textile et papetière. Thèse de Doctorat de l'Université de LORRAINE (2012).
- [2] BOEGLIN J.C. Propriétés des eaux naturelles.
- [3] GAUJOUS D. La pollution des milieux aquatiques: aide- mémoire. Edition Lavoisier. (1993).
- [4] FLANDRIN-M B, Technologie et Chimie des Textiles. Edition Cépaduès (1976).
- [5] BROSSARD I, technologie des textiles. Edition Dunod, Paris. (1997) Degrémont. Mémento, Technique de l'eau. Huitième Edition, Degrémont, France (1978).
- [6] DEGREMONT. MEMENTO, Technique de l'eau. Huitième Edition, (1978).
- [7] DUPONT G. La Teinture. Editions de l'industrie textile, Paris. (2002).
- [8] LOWE A. Guide des solutions d'assainissement. Programme d'Assainissement du Littoral de l'Atlantique (PALA), Saint- John, Canada. (1995).
- [9] BELEGALD J. Les colorants industriels, Encyclopédie médico-chirurgicale pathologie du travail, intoxications maladies par agents physiques 16082 à paris. Editions techniques; pp 5. (1987) .
- [10] CAPON M., COURILLEU V, VALETTE C, Chimie des couleurs et des odeurs, Nantes, Culture et technique,(1999).
- [11] PAGGA U, D. Brown, Chemosphere 15(4) .479-491. (1986).
- [12] SIMONT G. Guide des techniques de l'ennoblissement textile. Chapitre 11, edition Industrie textile (1982).
- [13] COLIN A. Chimie organique. Tome 2 éditions paris. (1970).
- [14] ROSENBERG N, ROUSSELIN X., Rhinite et asthme professionnels aux colorants réactifs., vol 34, pp111-114. (1988)
- [15] HEDYATULLAH M., Les colorants synthétiques. 4ème trimestre, 1ère édition, (1976).
- [16] PERRIN R., J.P. SCHAREF. Chimie industrielle. Tome 2.Edition Masson Paris, (1995).
- [17] WALLACE T.R. Biological Treatment of a Synthetic Dye Water and an Industrial Textile Wastewater Containing Azo Dye Compounds . Thèse MASTER de génie des sciences de l'environnement, Faculté de Virginie, Institut Polytechnique Juin (2001).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [18] ANLIKER A. Ecotoxicology of dyestuffs – A joint effort by industry. *Ecotoxicol. Environ. Safety*, vol 3, pp 59-74 (1979).
- [19] EPA, Integrated Risk Information System, Azobenzene CASRN 103-33-3, (1998).
- [20] HAWKINS J.A. EVANS R.R., Newby T.J., M.H. T.D.L. Tyler, *Vet.Parasitol.*17 (1985).
- [21] MANAHAN S.E, *Environmental chemistry*, Ed (6), Lewis publisher, U.S.A., (1994).
- [22] COOPER P., *Color in dyestuff effluent*, the society of dyers and colorists, Oxford: Aden Press. (1995).
- [23] GANESH R., *Fate of azo dye in sludge*. Th : Chim.: Virginia polytechnic institute and state university, (1992).
- [24] VANDERVIVERE PC, BANCHI R, VERSTRATE W. Treatment and reuse of wastewater from the textile wer-processing industry : review of emerging technologies. *J Chem Technol Biotechnol.* ; 72 :289-302. (1998).
- [25] YANG Y., WYATT II D. T. and BAHORSKY M., Decolorization of dyes using UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> photochemical oxidation. *Text. Chem. Color.* 30, pp27-35 (1990).
- [26] FENF F., XU Z., Li X. and ZHEN Y., Advanced treatment of dyeing wastewater towards ruse by the combined Fenton oxidation and membrane bioreactor process *Journal of Environmental Science* 22 pp 1657-1665 (2010).
- [27] TANG, W.Z. et CHEN, R.Z.. Discoloration Kinetics and mechanisms of commercial dyes by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/ iron powder system. *Chemosphere*, vol. 32, N°5, 947-958 (1996)
- [28] LIU R. ET TANG H.. Oxidative discoloration of direct light red F3B dye at natural manganese mineral surface. *Wat. Res.* Vol. 34, N°16, 4029-4035 (2000).
- [29] CARDOT C., *Génie de l'environnement le traitement de l'eau procédé physico-chimique et biologique cours et problèmes résolus.*(2007).
- [30] BENNAJAH.M, traitement des rejets industriels liquide par électrocoagulation/électroflotation en réacteur airlift ,thèse de doctorat ,l'institut national polytechnique de Toulouse.(2007).
- [31] GOMELLA C., GUERREE H. *Le traitement des eaux publiques, Industrielles et Privées.* Edition Eyrolles, (1978).
- [32] DROUCHE.N, traitement des effluents issus du traitement de surface des plaquettes de silicium par réacteurs électrochimique, thèse de doctorat ,ENP.( 2009).
- [33] ZAWLOTZKI GUIVARCH E. *Traitement des polluants organiques en milieu aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée « Electro-Fenton », application à la*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- minéralisation des colorants synthétiques. Thèse de Doctorat. Université de Marne-La-Vallée, France, Septembre (2004).
- [34] ZEE F.P. V. Anaerobic azo dye reduction. Thèse de Doctorat. Wageningen University, Pays-Bas,(2002).
- [35] ZONGO.I, ,étude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation : application au traitement de deux effluent textiles et d'un effluent simulé de tannerie, thèse de doctorat , Nancy-université INPL. (2009).
- [36] MAMERI N., LOUNICI H., BELHOCINE D., GHRIB H., PIRON D.L., YAHIAI Y.. Defluoridation of Sahara water by small plant electrocoagulation using bipolar aluminium electrodes, Separation and Purification Technology, 24 113-119, (2000).
- [37] KOBYA M, CAN O.T., BAYRAMOGLU M., Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes, J. Hazard. Mater.,100, 163–178 (2003).
- [38] HECTOR A, CASTILLAS M, DAVID.L, JEWEL.A, GOMES A. G.,. MORKOVSKY P, J. R PARGA, PETERSON. E, Electrocoagulation mechanism for COD removal, Sep. Purif. Technol., 204-211, (2007).
- [39] YILMAZ A. E.,BONCUKCUOGLU R, MUHTAR M. K., BÜLENT K., The investigation of parameters affecting boron removal by electrocoagulation method, J. Hazard. Mater, 17, 160-165 (2005).
- [40] BAYRAMOGLU M., EYVAZ .M, KOBYA.M, Treatment of the textile wastewater by electrocoagulation : economical evaluation, Chem. Eng. J., 128, 155–161(2007).
- [41] GOLDER A. K. SAMANTA A. N, S. RAY, Removal of chromium by electrocoagulation with multiple electrodes : Bipolar and monopolar configurations, Journal Hazardous Materials, 653-661, (2006).
- [42] CHEN G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology, 11-41 (2004).
- [43] SAIBA A., KOUARDLI .S, GHERNAOUT B, GHERNAOUT D, ,in desalination, from 1987 to 2009, the birth of a new seawater pretreatment process ; Electrocoagulation-an overview, desalination and water treatment(2010).

*ANNEXE*

# ANNEXE

---

## TECHNIQUES ANALYTIQUES

### I- Mesure de la DCO :

C'est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire qui correspond à la quantité des matières oxydables par oxygène renfermé dans un effluent. Elles représentent la plus part des composés organiques (détergents, matières fécales...). Elle est mesurée par la consommation d'oxygène par une solution de dichromate de potassium en milieu sulfurique en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure II (complexant des chlorures), à chaud pendant 2h

#### Mode opératoire

- On introduit dans des tubes de DCO 2,5 ml des échantillons à analyser, on ajoute lentement et avec précaution 3,5 ml d'acide sulfurique + sulfate d'argent ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ). On ajoute 1,5 ml de dichromate de potassium. ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) et on agite soigneusement les tubes à l'aide du vortex.
- Porter à l'ébullition dans un bloc chauffant et laisser durant 2 heures à  $T=148^\circ\text{C}$ .
- On laisse refroidir à la température ambiante.
- On mesure la densité optique à la longueur d'onde 600 nm.

**Essai à blanc :** dans un tube à DCO, On introduit 2.5 ml d'eau distillée puis on suit le même protocole.

### II- DOSAGE DES NITRATES :

#### Méthode au réactif Sulfophénique (Norme AFNOR NF 90 012)

#### Réactifs :

- Acide sulfurique (36N).
- Phénol.
- Ammoniac.

#### Préparation du réactif sulfophénique :

Dissoudre 12 grammes de phénol dans 144 ml d'acide sulfurique dans un bain marie.

## ANNEXE

---

### **Mode opératoire :**

1. Prendre 5ml de l'échantillon à analyser, le faire évaporer à sec dans un bécher.
2. Laisser refroidir et ajouter 2 ml du réactif sulfophénique.
3. Attendre 10 minutes, puis ajouter 15 ml d'eau distillée et 15 ml d'ammoniac qui développe la couleur jaune.
4. Compléter dans une fiole à 50 ml avec de l'eau distillée.
5. Effectuer la lecture sur le photomètre à la longueur d'onde 440nm.
6. Teneur en nitrates de l'échantillon est déduite à partir de la courbe d'étalonnage figure 1.

### **III- DOSAGE DE NITRITES :**

#### **Méthode au réactif de DIAZOTATION (Norme AFNOR NF T 90 013)**

#### **Réactifs:**

- Acide orthophosphorique ( $H_3PO_4$ ).
- Sulfaniamide ( $C_6H_8O_2N_2S$ ).
- Dichlorure de N-(1-naphty) éthylène diamine ( $C_{10}H_7NHCH_2CH_2, 2HCl$ ).

#### **Préparation du réactif de diazotation :**

- A 800 ml d'eau distillée, ajouter 100ml d'acide orthophosphorique concentré, et 40g de Sulfaniamide.
- Après dilution, ajouter 2g de dichlorure de N-(1-naphty) éthylène diamine
- Compléter à 1000ml avec de l'eau distillée.

#### **Mode opératoire :**

1. Prendre 50ml de l'échantillon à analyser.
2. Ajouter 1ml de réactif de diazotation.

## ANNEXE

---

3. Attendre 10 minutes pour le développement de la couleur rose.
4. Effectuer la lecture sur le photomètre à  $\lambda = 537\text{nm}$ .
5. La teneur en nitrites de l'échantillon est déduite du graphique d'étalonnage.

### **IV- Mesure du Carbone Organique Totale (COT) :**

Le COT est la teneur en carbone liée à la matière organique. La mesure de la quantité de  $\text{CO}_2$  dégagé après une oxydation complète de la matière organique donne la valeur du COT.

Il détermine des propriétés variables du carbone organique dissous et particulaire, du carbone organique provenant de substances volatils et du carbone minéral dissous. Sa mesure est réalisée par un analyseur de  $\text{CO}_2$  à infrarouge après oxydation catalytique ( Catalyseur en Platine à  $T=680\text{ }^\circ\text{C}$ ) à haute température de l'échantillon.

Les teneurs en COT ont été mesurées grâce à un analyseur Shimadzu  $V_{\text{CSH}}$  équipé d'un injecteur automatique par la méthode carbone total (CT). Les échantillons sont préalablement acidifiés par de l'acide chloridrique pour éliminer la présence du carbone minérale  $\text{CO}_2$ .

- 50 $\mu\text{l}$  d'échantillon sont prélevé automatiquement pour être analyser. Les analyses ont été effectuées par étalonnage externe. Les calibrations ont été effectuées par les solutions initiales des composes organiques ou de phtalate d'hydrogène de Patagium

## المخلص

في إطار دراستنا، استعملنا طريقة التختير الكهربائي باستعمال مفاعل كهروكيميائي لتنقية محلول نسيجي تحصلنا عليه من بقايا مصنع النسيج **SOTRADAL**، وماء البحر مأخوذ من شاطئ **ARDIS**.

الشروط العملية مثل عدد الإلكترودات، شدة التيار، التوتر الهيدروجيني الابتدائي والتركيز الابتدائي للملون، قد تم تحديدها باستعمال الإلكترودات من الألمنيوم وباستعمال مياه تصنيعية عذبة وأخرى مالحة.

بعد تحديد الشروط العملية المحددة في الحالتين السابقتين تم تطبيقها لتنقية محاليل حقيقية. معدلات التنقية بلغت **98** % محصل عليها في كل من المحلولين الحقيقيين، وهذا في وقت زمني قصير بالنسبة لماء البحر مقارنة بالمحلول النسيجي.

**كلمات مفاتيح:** تختير كهربائي، محلول نسيجي، ماء البحر، الكترودات الالمنيوم، معالجة المياه.

## Résumé

Dans le cadre de notre étude, nous avons appliqué le procédé d'électrocoagulation, dans un réacteur pilote en mode batch, pour traiter un effluent textile issu de l'entreprise SOTRADAL et d'une eau de mer prélevée à la plage d'ARDIS. L'optimisation des paramètres opérationnels tels que : le nombre d'électrodes, l'intensité de courant, le pH initial de l'effluent, et la concentration initiale en colorant, a été effectué en utilisant des électrodes en Aluminium et avec des eaux synthétiques douces et salée. Les paramètres optimaux, pour chacun des deux cas, ont été utilisés pour le traitement des deux effluents réels. Des rendements d'élimination atteignant les 98% ont été obtenus pour les deux effluents, avec un temps de traitement plus court, pour un même rendement, dans le cas de l'eau de mer par rapport au rejet de textile.

**Mots clés:** *électrocoagulation, effluents textiles, eau de mer, électrodes en aluminium, dépollution*

## Abstract

Textile mill effluents present a high pollution potential and health risk. The objective of this study was to apply the electrocoagulation process in a pilot-scale system in which the testing was done during batch processing in order to treat effluents. Effluents was taken from SOTRADAL Textile Company however, seawater was collected from ARDIS beach. Optimisation of operational parameters namely; the number of electrodes; the current intensity, the initial pH of the effluent and the initial dye concentration were carried out using aluminum electrodes as well as synthetic fresh and marine waters. The optimum parameters for both cases were used for the treatment of two real effluents. Good yields disposal were obtained for both effluents reaching 98% in a short time for the same rate; in the case of sea water notably in textile effluents.

**Keywords:** *electrocoagulation, textile effluents, seawater, aluminum electrodes, depollution.*