

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



جامعة بجاية
Tasdawit n'Bgayet
Université de Béjaïa

Université A.MIRA-BEJAIA
Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

Mémoire de Master

Présenté par :

M^r : SALMI Djaafar

M^{elle} : SLIMANI Kahina

Filière : Hydraulique
Option : Hydraulique Urbaine

THEME

**Application de l'électroflottation-
électrocoagulation pour l'élimination
d'un colorant textile Cas du
Bleu d'indanthrène RS**

Soutenu le : 24/06/2014

Devant le jury

Président : M^r : YAKOUBI Mohamed

Examineur: M^r : AMIROUCHE Mokrane

Promoteur : D^r : MERABET Smail

Co-promoteur: M^r : KADJI Belaid

Remerciements

On remercie dieu le tout puissant, de nous avoir donné le courage et la patience de mener ce modeste travail.

Ce travail a été effectué au sein du laboratoire d'Hydraulique Appliquée et Environnement de la Faculté de Technologie de l'Université A. Mira Bejaia.

Nous tenons à remercier, en premier lieu monsieur *MERABET Smail* maître de recherche à l'Université de Bejaia d'avoir accepté notre encadrement et nous avoir accueillis et la confiance qui nous a donné au sein de son laboratoire.

Nous remercions aussi à monsieur *KADJI Belaid* et *M^{me} BENDJEDOU Zarfa* pour leurs aides et leurs conseils.

Nous remercierons tous les membres de jury qui nous feront l'honneur de juger ce travail.

Nous tenons aussi à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce travail.

Tous les mots restent faibles pour exprimer notre profonde reconnaissance à notre petites familles pour leurs soutiens et l'aide précieuse qu'ils nous ont apporté durant nos longues années d'études.

Kahina et djaafar

Dédicace

En signe de respect et de reconnaissance, je dédie ce modeste travail à :

Ma chère et tendre mère Zahia qui était patiente et qui m'a tout donnée : Encouragement, soutiens et surtout amour. Que dieu le tout puissant la protège « je t'aime » très fort maman ;

La mémoire de mon très cher père Mouhamed que dieu leur accorde Sa sainte Miséricorde et le accueille en Son vaste Paradis ;

Mes sœurs : Naima et Mounira merci pour votre compréhension et votre aide ;

A mon très cher ami BENKIDA Mourad

A mon binôme DJaafar, merci pour ton sérieux ainsi que sa famille.

A mon oncle : Idir ainsi ses enfants et sa femme.

Kahina

Dédicaces

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL

A Mes parents.

A Mes frères et sœurs.

A Ma binôme et sa famille.

A Toute ma famille et mes ami(e).

A ceux qui me sont chers.

Djaafar

- EF** : Electroflottation
- EC** : Electrocoagulation
- pH** : potentiel d'hydrogène
- DCO** : Demande Chimique en Oxygène
- MES** : Matières en suspension
- DBO₅** : Demande biochimique en oxygène
- AEP** : Alimentation en Eau Potable
- BIRS** : Bleu D'indanthrene RS
- M** : masse du métal dissout ou du gaz formé à l'électrode
- I** : intensité imposée (A)
- t** : durée de l'électrolyse(s)
- M** : poids moléculaire de l'élément considéré (g mol⁻¹)
- F** : constante de Faraday (96485,3 C mol⁻¹)
- n** : nombre d'électrons mis en jeu dans la réaction considérée
- Q_e** : débit d'alimentation de la cellule (m³/h)
- C** : débit massique du métal dissous (kg.h/m³).
- Y_p** : nombre de mole de p produites.
- P** : nombre d'électrodes.
- M** : quantité théorique du métal dessous (kg)
- N** : nombre d'Avogadro (6.022.10²³.mol⁻¹)
- F** : Constante de Faraday (96500 C.mol⁻¹)
- e₀** : la charge élémentaire (1,602.10⁻¹⁹C)
- R_f** : rendement faradique
- I_{théorique} * t** : est la quantité d'électricité nécessaire pour produire v_p de mole
- I_{consommée} * t** : est la quantité d'électricité réellement consommé pendant l'électrolyse
- R_e** : rendement énergétique.
- E_{eq}** : potentiel d'équilibre ($E_{eq} = E_0(anode) - E_0(cathode)$)
- E_{app}** : tension mesurée aux bornes de l'électrolyseur
- R_t** : rendement des tensions
- I₀** : intensité initiale de la lumiere

A_λ : L'absorbance ou la densité optique (sans unité) de la solution pour une longueur d'onde

C : la concentration de la substance absorbante

l : longueur du trajet optique

ϵ_λ : le coefficient d'extinction molaire de la substance absorbante en solution

T : transmittance de l'intensité

A : l'espèce oxydante

P : est l'espèce réductrice produite,

Tableau I-1	: Présentation des différentes activités d'une entreprise textile et les effluents...9
Tableau I-2	: Valeurs limites de quelques paramètres pour les effluents textile.....13
Tableau IV-1	: Variation des niveaux de chaque paramètre.....46

CHAPITRE II

Figure II.1	: Principe de flottation naturelle.....	19
Figure II.2	: Schéma d'une flottation à l'air dissous.....	20
Figure II.3	: Schéma de principe du procédé d'électroflottation.....	22
Figure II.4	: Electroflottation avec de cloisons intégrées.....	22
Figure II.5	: Electroflottation à co-courant.....	23
Figure II.6	: Electroflottation à contre-courant.....	23
Figure II.7	: Electroflottation à deux sections, (a) vue de côté et (b) vue de haut.....	24
Figure II.8	: Schémas du procédé l'électrocoagulation.....	31
Figure II.9	: les différents modes de connexions électriques pour une cellule d'EC Et les circuits électriques associés.....	32
Figure II.10	: Schémas fonctionnel de l'électrolyse.....	35

CHAPITRE III

Figure III.1	: Unité d'electroflottation en régime continu.....	39
Figure III.2	: Structure Bleu d'indanthrène RS.....	40
Figure III.3	: trajet optique.....	42
Figure III.4	: Spectrophotomètre UV-visible Shimadzu UV mini-1240.....	43
Figure III.5	: Centrifugeuse de paillasse.....	44
Figure III.6	: Agitateur magnétique.....	45

CHAPITRE IV

Figure IV.1	: Variation des Absorbances en fonction du temps pour les différentes Débit d'air pour $d=2\text{cm}$, $I=3\text{A}$	47
Figure IV.2	: Variation des Absorbances en fonction du temps pour les différentes distance inter-électrodes pour $Q_{\text{air}}=3\text{ l/min}$, $I=3\text{A}$	48
Figure IV.3	: Variation des Absorbances en fonction du temps pour les différentes L'intensité du courant pour $Q_{\text{air}}=2\text{ l/min}$, $d=3\text{cm}$	49
Figure IV.4	: Effet de la distance inter-électrodes sur l'efficacité de traitement Pour $Q_{\text{air}}=1\text{ l/min}$ et $I= (1, 2,3\text{ A})$	50
Figure IV.5	: Effet de la distance inter-électrodes sur l'efficacité de traitement Pour $Q_{\text{air}}= 2\text{ l/min}$ et $I= (1, 2,3\text{ A})$	51
Figure IV.6	: Effet de la distance inter-électrodes sur l'efficacité de traitement Pour $I= (1, 2,3\text{ A})$, $Q_{\text{air}}=3\text{ l/min}$	52
Figure IV.7	: Effet de l'intensité du courant sur l'efficacité de traitement Pour $Q_{\text{air}}=1\text{ l/min}$ et $d= (1, 2,3\text{ cm})$	53
Figure IV.8	: Effet de la densité du courant sur l'efficacité de traitement Pour $Q_{\text{air}}=2\text{ l/min}$ et $d= (1, 2,3\text{ cm})$	54
Figure IV.9	: Effet de la densité du courant sur l'efficacité de traitement Pour $Q_{\text{air}}= 3\text{ l/min}$ et $d= (1,2 ,3\text{ cm})$	55
Figure IV.10	: Effet l'aération sur l'efficacité de traitement pour $d=1\text{ cm}$ et $I= (1,2 ,3\text{ A})$	57
Figure IV.11	: Effet l'aération sur l'efficacité de traitement Pour $d=2\text{ cm}$ et $I= (1,2 ,3\text{ A})$	58
Figure IV.12	: Effet l'aération sur l'efficacité de traitement Pour $d=3\text{ cm}$ et $I= (1,2 ,3\text{ A})$	59

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	1
CHAPITRE I : GENERALITES	
I-1.Pollution des eaux résiduaires	3
I-1-1. Définition	3
I- 1-2. Origines et nature des eaux usées.....	3
I-1-2-1. Origines des eaux usées	3
I-1-2-2. Les types de pollutions des eaux.....	4
I-1-3. Conséquences de la pollution	4
I-1-3-1. Conséquences sanitaires.....	4
I-1-3-2. Conséquences écologiques.....	5
I-1-3-3. Conséquences agricoles	5
I-1-3-4. Conséquences industrielles	5
I-1-3-4.Conséquences esthétiques	5
I-1-4. Paramètres d'évaluation de la pollution.....	6
I-1-4-1.Paramètres organoleptiques	6
I-1-4-2. Paramètres physico-chimiques.....	6
I-1-4-3.Paramètres complémentaires.....	7
I-2. Rejets industriels textiles	8
I-2-1. Présentation de l'industrie textile	8
I-2-2. Identification des principaux procédés et rejets associés	8
I-3. Les colorants textiles	10
I-3-1.Utilisation des colorants	10
I-3-2. Nature des colorants	11
I-3-2-1. Colorants naturels	11
I-3-2-2. Les colorants synthétiques	11
I-3-3. Impact des colorants sur l'environnement et la santé.....	12
I-3-4. Législation sur l'environnement.....	13
I-4. Procèdes de traitement des effluents textiles	13
I-4-1. Méthodes conventionnelles	14
I-4-1-1. Méthodes physiques de traitement	14
I-4-1-2. Méthodes physico- chimiques de traitement des textiles	14
I-4-1-3. Méthodes chimiques de traitement des textiles.....	15
I-4-1-4. Méthodes biologiques de traitement	15
I-4-2. Méthodes avancées.....	16
I-4-2-1. Électro –oxydation	16

I-4-2-2. Electro -désinfection	17
I-4-2-3. Electrocoagulation	17
I-4-2-4. Electroflottation	17
I-4-3. Conclusion.....	17

CHAPITRE II : ELECTROFLOTTATION-ELECTROCOAGULATION

II -1. Contexte Historique et développement des procédés électrochimiques.....	18
II-2. Procédé électroflottation-électrocoagulation.....	18
II-3. La flottation	19
II-4. L'électroflottation.....	21
II-4-1. Principe de l'électroflottation	21
II-4-2. Différents types des cellules d'électroflottation.....	22
II-4-2-1. Cellule d'électroflottation menée de cloisons.....	22
II-4-2-2. Cellule d'électroflottation à co-courant et à contre-courant	23
II-4-2-3. Cellule d'électroflottation menée de deux sections séparées par une cloison	23
II-4-3. Paramètres influençant le procédé d'électroflottation.....	24
II-4-3-1. La nature des électrodes.....	24
II-4-3-2. La densité du courant.....	25
II-4-3-3. Temps de séjour	25
II-4-3-4. pH de la solution.....	26
II-4-3-5. Salinité	26
II-4-4. Domaines d'applications.....	26
II-4-5. Avantages de l'électroflottation	27
II-4-6. Contraintes de l'électroflottation.....	28
II-5. La coagulation-floculation	28
II-6. Electrocoagulation.....	29
II-6-1. Principe du procédé d'électrocoagulation.....	30
II-6-2. Technologie du procédé d'électrocoagulation	31
II-6.3 Application du procédé d'électrocoagulation.....	32
II-6.4 Avantages et inconvénients du procédé d'électrocoagulation.....	33
II-7. Théorie de l'électrolyse	34
II-7-1. Principe et description du processus	34
II-7-2. Principales lois de l'électrolyse.....	35
II-7-2-1. Loi de Faraday	35
II-7-2-2. Rendement de Faraday et rendement énergétique	36

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

III-1. Introduction.....	38
III-2. Matériels	38

III-2-1. La cellule d'électroflottation.....	38
III-2-2. Les produits utilisés	40
III-2-2-1. Le colorant Bleu d'indanthrène RS	40
III-2-2-2. Matériaux des électrodes utilisées	40
III-3. Méthodologie	41
III-4. Les Techniques analytiques	41
III-4-1. La spectrophotométrie UV-Visible.....	41
III-4-2. La loi de Beer-Lambert.....	41
III-4-3. Centrifugeuse de paillasse	43
III-4-4. Agitateur magnétique.....	44
 CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS 	
IV-1. Introduction.....	46
IV-2. La cinétique de dégradation	47
IV-3. Effet de la distance inter-électrodes sur l'efficacité de traitement.....	49
IV-4. Effet de l'intensité du courant sur l'efficacité de traitement.....	53
IV-5. Effet l'aération sur l'efficacité de traitement	56
IV-6. Conclusion.....	60
Conclusion générale.....	61

INTRODUCTION GENERALE

Tout le monde s'accorde aujourd'hui à dire que notre planète tourne mal. Elle sera confrontée à une hausse drastique des besoins en eau dans un proche avenir. Ceci commence d'ailleurs déjà à se faire sentir dans certaines régions du globe. Or si on en arrive là aujourd'hui, c'est à cause de notre comportement irresponsable vis-à-vis de cette nature que nous n'avons pas respecté à sa juste valeur.

Les effluents industriels sont chargés de matières polluantes de différents types : organiques, minérales, microbiologiques etc., Ceci confère à ces effluents un caractère agressif et nuisible pour le milieu récepteur, pour s'affranchir de la pollution responsable de nombreux dégâts infligés à l'environnement et de la santé publique.

De nombreux procédés sont mis en œuvre. Parmi ceux-ci, les techniques de traitement électrochimiques, telles que l'électrocoagulation et l'électroflottation prennent de plus en plus d'importance. Ces techniques prometteuses ont été étudiées pour le traitement de divers rejets industriels, tels que les effluents des industries textiles.

L'objectif de notre travail, qui consiste en application d'un procédé (EF-EC) en vue de l'élimination d'un colorant textile, cas du Bleu d'Indanthrène RS en utilisant des électrodes en aluminium.

Quelques paramètres influençant sur l'efficacité de ce procédé ont été étudiés, à savoir :

- L'effet de la distance inter- électrodes.
- L'effet de la densité du courant.
- L'effet de l'aération (Oxygénation).

Pour présenter le travail réalisé, nous l'avons scindé en quatre chapitres :

- ✓ Le premier chapitre rappellera les différents types de la pollution, les procédés de fabrication d'un produit textile, un aperçu général sur les colorants textile et leur impact environnemental, ainsi que les principaux procédés de traitement des rejets de l'industrie textile.
- ✓ Le deuxième chapitre présentera un procédé électrochimique qui a prouvé son efficacité dans le traitement des effluents de l'industrie textile qui est l'électroflottation-électrocoagulation.
- ✓ Le troisième chapitre, est consacré à la description du matériel et la méthodologie suivie.

- ✓ Le quatrième chapitre, rassemble les résultats expérimentaux obtenus discutés et interprétés.

En fin on termine notre travail par une conclusion générale, résumant résultats expérimentaux obtenus.

CHAPITRE I :

GENERALITES

I-1. Pollution des eaux résiduaires

I-1-1. Définition

La pollution des eaux correspond à tout fait susceptible de provoquer ou d'accroître la dégradation des eaux en modifiant leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques ou bactériologiques, qu'ils s'agissent des eaux superficielles, souterraines ou des eaux de mers.

Les eaux usées quelle que soit leur origine, sont généralement chargées en éléments indésirables, qui selon leur quantité et leur composition, représentent un danger réel pour les milieux récepteurs et leurs utilisateurs. L'élimination de ces éléments toxiques exige de concevoir une chaîne de traitement. Toute fois, avant de concevoir tout procédé d'épuration, il est impératif de caractériser l'effluent à traiter, quantitativement et qualitativement.

I- 1-2. Origine et nature des eaux usées

I-1-2-1. Origine des eaux usées

Les eaux usées proviennent principalement de quatre sources :

- ✓ Les eaux usées domestiques ;
- ✓ Les eaux usées industrielles ;
- ✓ Les eaux de pluie et de ruissellement dans la ville ;
- ✓ Le ruissellement dans les zones agricoles [2].

❖ Eaux usées domestiques

Ces eaux sont constituées par :

- Eaux usées ménagères provenant des usages domestiques : eaux de bain, de lessive.
- Eaux vannes : urines, et matières fécales.

En général, ces eaux sont chargées en matières organiques, graisses et des produits d'entretiens ménagers. Elles présentent une bonne biodégradabilité

❖ Eaux usées industrielles

Ces eaux proviennent des différentes usines de fabrication ou de transformation. La qualité de ces eaux varie suivant le type d'industrie, elles peuvent être chargées en matières toxiques difficilement biodégradables qui nécessitent un traitement spécifique.

❖ Eaux de ruissellement

Ce sont des eaux de pluies et de lavage des chaussées. Ces eaux sont caractérisées par la présence des matières en suspension en grande majorité ainsi que des hydrocarbures provenant de la circulation automobile.

❖ Eaux de caractéristiques mixtes

Ces eaux issues d'un mélange entre les deux sources d'eaux usées, industrielles et urbaines.

Ces eaux sont parfois très chargées, ce qui rend leur composition variable.

❖ Eaux usées agricoles

Ce sont des eaux de drainage et des rejets de fermes.

Ces eaux sont caractérisées par la présence de fortes concentrations de pesticides et d'engrais. Elles ont une valeur fertilisante très importante.

I-1-2-2. Les types de pollutions des eaux

La pollution des eaux usées se manifeste sous forme minérale organique et microbiologiques.

➤ Pollution minérale

Elle est constituée essentiellement des métaux lourds en provenance des industries métallurgiques, de traitement de minerais. On peut citer quelques-uns, comme le plomb, le cuivre, le fer, le zinc, et le mercure.

Il y'a aussi le cas de certains sels à forte concentration. Ces éléments sont non biodégradables et de ce fait un traitement tertiaire devient plus que nécessaire.

➤ Pollution organique

La pollution organique des eaux usées urbaines se compose principalement de protéides, de glucides et de lipides ainsi que des détergents utilisés par les ménages. Il est à noter l'existence d'autres substances organiques utilisées ou fabriquées industriellement, c'est le cas des phénols, des aldéhydes, et des composés azotés.

➤ Pollution microbiologique

Le rejet urbain en général présente des conditions très favorables à la prolifération de certains germes pathogènes et d'organismes vivants. On peut citer les virus, les bactéries, les protozoaires, les vers et les microchampignons. Ces différents éléments garantissent une masse permanente en germes utiles à l'épuration par biodégradation.

I-1-3. Conséquences de la pollution

Les conséquences de la pollution des eaux de surface peuvent être classées en cinq principaux groupes, à savoir :

I-1-3-1. Conséquences sanitaires

Les conséquences sanitaires sont donc celles à prendre en compte en priorité. Elles peuvent être liées à l'ingestion d'eau, de poissons, mais aussi au simple contact avec le milieu aquatique (cas de nombreux parasites). La conséquence sanitaire d'une pollution est variable dans le temps en fonction de l'usage, elle est immédiate si on utilise cette eau pour l'alimentation en eau potable (A.E.P) [20].

I-1-3-2. Conséquences écologiques

Les conséquences écologiques se mesurent en comparant l'état du milieu pollué par rapport à ce qu'il aurait été sans pollution. Elles sont à considérer au travers l'affectation de la biodiversité et la productivité d'un milieu aquatique :

- Réduction des potentialités d'exploitation du milieu (pêche, aquaculture, tourisme, promenade...) à court et long terme ;
- Perturbation du fonctionnement trophique ;
- Risque accru d'eutrophisation conduisant à un déséquilibre écologique qui affecte la diversité taxonomique (dégradation du milieu biologique) [52].

I-1-3-3. Conséquences agricoles

L'eau est, dans certaines régions, largement utilisée pour l'arrosage ou l'irrigation, souvent sous forme brute (non traitée).

La texture du sol (complexe argilo humique), sa flore bactérienne, les cultures et le bétail, sont sensibles à la qualité de l'eau.

De même, les boues issues du traitement des eaux usées pourront, si elles contiennent des produits toxiques (métaux lourds) être à l'origine de la pollution des sols [20].

I-1-3-4. Conséquences industrielles

L'industrie est un grand consommateur d'eau : il faut par exemple **1m³** d'eau pour produire **1Kg** d'aluminium.

La qualité requise pour les utilisations industrielles est souvent élevées, tant sur le plan chimique (minéralisation, corrosion, entartrage), que biologique (problème de biofouling, c'est-à-dire d'encrassement des canalisations par des organismes).

Le développement industriel peut donc être stoppé par la pollution (c'est une des raisons pour laquelle la préoccupation pollution est apparue d'abord dans les pays industrialisés) [20].

I-1-3-4. Conséquences esthétiques

Cette catégorie de conséquence, pour être la plus subjective, n'en est pas moins importante. Il s'agit de pollution n'ayant pas de conséquences sanitaires ou écologiques importantes, mais perturbant l'image d'un milieu (par exemple : des bouteilles plastiques ou du goudron rejeté sur une plage). Nous pouvons inclure dans cette catégorie, les problèmes de goût de l'eau (le chlore en AEP). Les flottants et débris solides divers, qui occasionnent des nuisances esthétiques, dans la plupart des cas réels dangereux pour le milieu (carcasses de véhicules abritant des populations animales qui sont beaucoup plus riches que le milieu environnant).

Les conséquences esthétiques sont, par définition, les plus perceptibles, et c'est donc celles dont les riverains et le grand public auront, en premier, conscience [20].

I-1-4. Paramètres d'évaluation de la pollution

Les déversements polluants modifient profondément les composantes physico-chimiques, organoleptiques et biologiques des milieux aquatiques récepteurs ainsi que la biocénose aquatique. Le problème se posera dès qu'un rejet aura un effet sur la qualité de l'eau et le milieu récepteur ; si cet effet a des conséquences négatives, il s'agira d'une pollution [5].

I-1-4-1. Paramètres organoleptiques**• La couleur**

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle ; éléments métalliques, micro-organismes liés à un épisode d'eutrophisation...etc., soit associée à la pollution (composés organiques colorés). Elle est donc très souvent synonyme de la présence des composés dissous [50].

• L'Odeur

Les eaux résiduaires industrielles se caractérisent par une odeur de moisi. Toute odeur est signe de pollution qui est due à la présence de matières organiques en décomposition [1].

I-1-4-2. Paramètres physico-chimiques**✓ La température**

Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier O₂) dans l'eau ainsi que, la détermination du pH et la vitesse des réactions chimiques. La température agit aussi comme facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau [1].

✓ Le potentiel d'hydrogène (pH)

Sa valeur caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique. La valeur du pH altère la croissance des microorganismes existant dans l'eau (leur gamme de croissance est comprise entre pH= 5 et pH=9) [1].

✓ La demande chimique en oxygène (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 [10].

✓ L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'environnement aqueux puisqu'il est le réactif limitant de la principale voie de dégradation de la pollution organique. Le dosage d'oxygène dissous est d'une importance principale dans les études portant sur la qualité des eaux. Les

substances biodégradables consomment de l'oxygène, si bien que la détermination de sa teneur constitue une mesure indirecte du degré de pollution [50].

✓ **Les matières en suspension (M.E.S)**

Les matières en suspension sont constituées par les solides en suspension dans l'eau. Ils proviennent des sources naturelles, d'effluents municipaux et industriels du ruissellement des terres agricoles et des retombés de matières atmosphériques en suspension [50].

✓ **Demande biochimique en oxygène (DBO₅)**

L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation d'oxygène ; le milieu exerce donc une certaine demande biochimique d'oxygène. La mesure de cette **DBO₅** permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables et donc, dans une certaine mesure, sa qualité ou son degré de pollution, représente la quantité d'oxygène consommée dans les conditions de l'essai, c'est-à-dire après incubation durant cinq jours à **20°C** et dans l'obscurité par certains microorganismes présents dans l'eau [48].

I-1-4-3. Paramètres complémentaires

➤ **Le phosphore**

Le phosphore se trouve dans l'eau usée sous deux formes :

- Sels minéraux (orthophosphates, polyphosphates) ;
- Composés organiques.

La présence des orthophosphates dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés, à la décomposition de la matière organique, aux engrais phosphatés industriels entraînés par lessivage ou par infiltration.

Les polyphosphates sont utilisés dans de nombreuses unités industrielles et industries pharmaceutiques.

Les polyphosphates peuvent être toxiques pour l'homme et sont considérés responsables des accidents cardiaques et vasculaires [2].

➤ **Azote**

L'azote se présente sous diverses formes dans les eaux usées.

- Forme oxydée : azote nitreux (NO_2^-) et nitrique (NO_3^-) ;
- Forme moléculaire : azote dissous N_2 ;
- Forme réduite : azote organique, NH_4^+ .

L'azote est l'un des éléments qui favorise la prolifération d'algues, par conséquent la réduction de sa teneur avant le rejet des eaux est plus que nécessaire [2].

➤ Les métaux lourds

Les métaux lourds se trouvent dans les eaux usées urbaines à l'état de trace. Des concentrations élevées sont en général révélatrices d'un rejet industriel sans aucun doute.

Leur présence est nuisible pour l'activité des micro-organismes donc perturbe le processus d'épuration biologique.

Leur élimination se fait au cours de la phase de décantation, filtration du traitement [2].

I-2. Rejets industriels textiles

I-2-1. Présentation de l'industrie textile

L'industrie textile rassemble de très nombreux métiers tout au long d'une chaîne de transformation partant de matières premières fibreuses jusqu'à des produits semi-ouvrés ou entièrement manufacturés.

La première étape consiste en la transformation de matières premières issues de fibres naturelles, artificielles ou synthétiques en fils. Les métiers associés sont la filature, le guipage, le moulinage ou encore la texturation.

A partir des fils unidimensionnels, les techniques de tissage et de tricotage permettent d'obtenir des surfaces textiles bidimensionnelles (voire tridimensionnelles). Ces surfaces sont alors très souvent ennoblies pour leur donner de la couleur (teinture, impression) ou des propriétés particulières (apprêts chimiques, apprêts mécaniques, enduction, contre-collage, etc.

I-2-2. Identification des principaux procédés et rejets associés

Dans l'industrie textile, on peut trouver comme activités :

- La préparation de la laine (délainage, lavage, séchage, cardage, peignage) avant la filature,
- La filature du coton, du lin, de la laine ou encore de fibres synthétiques,
- Le tissage ou le tricotage ou encore la technique des non-tissés (fabrication à partir de fibres synthétiques artificielles ou naturelles, formation de la nappe par un procédé par voie sèche ou humide, puis consolidation mécanique, chimique ou thermique puis séchage),
- L'ennoblissement : tout ce qui confère au textile son aspect final : blanchiment, teinture, impression....

Toutes ces activités sont à l'origine de rejets liquides et/ou gazeux. Toutefois l'activité la plus polluante est l'ennoblissement [18].

ACTIVITES	REJETS ASSOCIES
Préparation de la laine	Rejets liquides fortement chargés en matières en suspension et matières organiques.
Filature	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun rejet liquide (exception pour la filature du lin dite mouillée qui permet d'obtenir des fils fins : rejets équivalents à ceux provenant de la préparation de la laine). • Rejets gazeux constitués essentiellement de poussières.
Tissage/Tricotage	<ul style="list-style-type: none"> • Présence de poussières • Présence d'agents d'encollage Mais faible consommation en eau, activité considérée comme peu polluante.
Technique des non-tissés	Rejets gazeux (fumées de séchage)
Ennoblement Prétraitement (désencollage, désensimage, débouillissage, mercerisage).	Rejets contenant des huiles, des cires, de la soude, détergents et des produits auxiliaires. Les prétraitements représentent 50% de la pollution organique liée à l'ennoblissement (surtout au niveau désencollage). 7% du volume des effluents liés à l'ennoblissement.
Le blanchiment	Eaux de blanchiment (présence d'organochlorés). 69% du volume des effluents liés à l'ennoblissement.
Teinture	Essentiellement constitués d'eau, de colorants non fixés (colorants utilisés souvent insolubles dans l'eau). 12% du volume des effluents liés à l'ennoblissement.
Impression	Eaux d'impression : colorants (même type qu'en teinture mais en concentrations plus importantes), adjuvants (fixation des colorants), épaississant (pour éviter le coulage de la couleur). Rejets gazeux : l'étape de séchage entraîne dans l'air des composés toxiques (COV, formaldéhyde...) 10% du volume des effluents liés à l'ennoblissement.
Apprêts chimiques	Eaux de vidange et de nettoyage des machines (produits chimiques). 2% du volume des effluents liés à l'ennoblissement
Apprêts thermiques	Rejets gazeux.

Tableau I-1. Présentation des différentes activités d'une entreprise textile et des effluents [2].

I-3. Les colorants textiles

Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 400 à 700 nm). Tous les composés répondants à cette définition se différencient par leur structure chimique, organique ou inorganique, ou par leur origine, naturelle ou synthétique. Cependant, la distinction faite entre les colorants et les pigments est bien plus importante puisqu'elle tient compte de l'interaction entre la matière colorante et le substrat. Les pigments ont la particularité d'être insolubles dans le milieu où ils sont appliqués, ce qui nécessite de faire appel à des produits auxiliaires, comme certains polymères dans la peinture, pour assurer la cohésion avec le support. En revanche, les colorants doivent présenter vis-à-vis des matériaux à teindre, tels que les textiles, le cuir, le papier, une certaine affinité qui se traduit par une montée progressive, suivie d'une fixation de la substance colorante sur le substrat [36].

I-3-1. Utilisation des colorants

L'industrie des colorants constitue un marché économique considérable car de nombreux produits industriels peuvent être colorés, principalement :

- ❖ pigments (industrie des matières plastiques) ;
- ❖ encre, papier (imprimerie) ;
- ❖ colorants alimentaires (industrie agro-alimentaire) ;
- ❖ pigments des peintures, matériaux de construction, céramiques (industrie du bâtiment) ;
- ❖ colorants capillaires (industrie des cosmétiques) ;
- ❖ colorants et conservateurs (industrie pharmaceutique) ;
- ❖ carburants et huiles (industrie automobile etc.,...) ;
- ❖ colorants textiles à usage vestimentaire, de décoration, du bâtiment, du transport, colorants textiles à usage médical etc. [9].

I-3-2. Nature des colorants

Il existe deux grandes classes de colorants, en l'occurrence les colorants naturels et les colorants synthétiques :

I-3-2-1. Colorants naturels

Dés 1500 avant notre ère, les Égyptiens réalisèrent des teintures avec le safran (jaune), le pastel (bleu), la garance (rouge), l'indigo et la pourpre. Dés lors, la majorité des colorants utilisés sont d'origine végétale, extraits des plantes, des arbres ou des lichens, ou bien d'origine animale, extraits des insectes comme le kermès et la cochenille ou des mollusques comme la pourpre, ou bien encore dans les micro-organismes. Cependant, le nombre de colorants naturels n'a jamais excédé quelques dizaines. Les colorants naturels sont extraits des éléments naturels par des procédés simples comme le chauffage ou le broyage ; parmi l'ensemble de ces colorants naturels, on distingue deux catégories : les colorants à mordant et les colorants de cuve [7].

- ❖ **Les colorants à mordant** : ils se caractérisent par la présence dans leur molécule de groupes hydroxyles, souvent en position voisine des groupes cétoniques, ce qui permet de former des complexes insolubles avec des sels métalliques (le mordant) d'aluminium, de fer, d'étain, de zinc et de chrome.

Le complexe insoluble colorant-mordant se développe à l'intérieur de la fibre, ce qui conduit à une teinture solide. La gaude, la garance, le kermès et la cochenille figurent dans cette catégorie.

- ❖ **Les colorants de cuve** : ces colorants sont insolubles dans l'eau, il faut tout d'abord les dissoudre en réalisant une réduction du colorant dans une solution alcaline : la cuve. L'indigo et la pourpre sont des colorants de cuve.

Aujourd'hui, l'importance économique des colorants naturels a beaucoup diminué, on ne les utilise plus 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 [7].

I-3-2-2. Les colorants synthétiques

Ce sont des composés ayant comme matières premières des molécules telles que le benzène, issu de la distillation de la houille. C'est grâce à une série de procédés chimiques, qui correspondent en général à la substitution d'un ou plusieurs atomes d'hydrogène du produit de départ par des éléments ou des radicaux particuliers, que sont fabriqués les intermédiaires. Ces derniers serviront à la fabrication du colorant final. Les colorants synthétiques dont les propriétés peuvent être précisément adaptés à leur utilisation, dominent aujourd'hui le marché [7].

I-3-3. Impact des colorants sur l'environnement et la santé

L'utilisation des colorants peut entraîner des dangers soit sur l'environnement ou bien sur l'être humain.

❖ **Sur l'environnement :** la production et l'utilisation des colorants naturels sont beaucoup moins polluantes que celle de la plupart des colorants et pigments de synthèse qui génèrent, des sous-produits nocifs, lorsque ces rejets sont déversés directement dans le milieu naturel sans aucun traitement spécifique des constituants toxiques.

Ces colorants sont pour la plupart synthétiques et représentent aujourd'hui un large groupe de composés chimiques. La production mondiale de ces colorants de synthèse est évaluée à 700 000 tonnes/an. Une partie de ces colorants, approximativement 140 000 tonnes/an, sont rejetées lors des étapes de fabrication et coloration des tissus. Les industries textiles, et plus particulièrement les phases de teinture et d'ennoblissement utilisent principalement des produits chimiques, nuisibles pour la santé, comme certains colorants azoïques cancérigènes, et engendrent une pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques. L'hétérogénéité de la composition des produits utilisés pour teindre fait qu'il est extrêmement difficile d'atteindre des niveaux de pollution satisfaisants, c'est-à-dire les seuils imposés par les normes environnementales, après traitement par les techniques utilisées.

❖ **Les impacts dangereux sur la santé :** sont dus à certaines capacités de ces colorants qui peuvent :

- ❖ Etre mutagènes.
- ❖ Etre génotoxiques.
- ❖ Entraîner des cancers de la thyroïde.
- ❖ Entraîner des tumeurs des glandes surrénales.
- ❖ Contenir des substances cancérigènes.
- ❖ Avoir des actions sur le système nerveux central.
- ❖ Inhibition ou déficit de certaines enzymes
- ❖ Augmentation de la perméabilité intestinale [49].

I-3-4. Législation sur l'environnement

Vus le grand danger que pose l'industrie textile et l'utilisation des colorants dans notre vie quotidienne sur l'environnement et notre santé, l'Algérie est comme tous les pays européens a mis une réglementation stricte N°06-141 sur les rejets des effluents textiles dans le milieu hydrique (tableau I-2) [49].

Paramètres	Valeur limite
T (°C)	30
pH	6,5 - 8,5
DBO ₅ (mg/l)	150
DCO (mg/l)	250
Matières décantables (mg/l)	0,4
Matières non dissoutes (mg/l)	30
Oxydabilité (mg/l)	100
Permanganate (mg/l)	20

Tableau I-2. Valeurs limites de quelques paramètres pour les effluents textile

I-4. Procédés de traitement des effluents textiles

Les eaux usées constituent un effluent très chargé en matières polluantes, nuisibles aussi bien au milieu récepteur qu'aux utilisateurs.

Pour remédier à cette pollution, l'eau usée doit subir un traitement avant son rejet ou sa réutilisation. On dispose de deux méthodes de traitement pour une qualité d'eau à traiter assez élevée :

- ❖ Méthodes conventionnelles ;
- ❖ Méthodes avancées.

I-4-1. Méthodes conventionnelles

I-4-1-1. Méthodes physiques de traitement

➤ **Filtration sur membrane**

La filtration sur membrane pilotée par pression hydraulique se décline en microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse. L'effluent passe à travers une membrane semi-perméable qui retient en amont les contaminants de taille supérieure au diamètre des pores, pour produire un perméat purifié et un concentré qui reçoit les impuretés organiques. Parmi les quatre types de procédés, la nanofiltration et l'osmose inverse sont les plus adaptés à la réduction partielle de la couleur et des petites molécules organiques, mais l'osmose inverse reste la plus répandue. Ces procédés limités dans leurs applications, nécessitent des investissements importants en capitaux et le retraitement du concentré est jusqu'à six fois plus cher que celui de l'effluent original [44].

➤ **Adsorption sur charbon actif (ou sur un autre adsorbant)**

Lors de l'adsorption, le polluant est transféré de la phase liquide vers la phase solide. Le charbon activé est l'adsorbant le plus communément utilisé pour la réduction de la couleur, mais il reste très onéreux et nécessite en plus une régénération. C'est dans ce contexte que l'on s'est intéressé à la valorisation d'un rejet de l'industrie alimentaire, qui est le grignon d'olive pour l'utiliser comme adsorbant pour la décoloration des rejets de l'industrie textile. D'autres recherches ont opté pour valoriser ou utiliser d'autres matières naturelles (sciure, écorce et farine de bois...) moins onéreuses pour l'extraction des colorants par adsorption [44].

I-4-1-2. Méthodes physico- chimiques de traitement des effluents textiles

✓ **Coagulation – floculation**

Sous le terme de coagulation-floculation, on entend tous les processus physicochimiques par lesquels des particules colloïdales ou des solides en fine suspension sont transformés par des flocculants chimiques en espèces plus visibles et séparables (les flocs). Les flocs formés sont ensuite séparés par décantation et filtration puis évacués. 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 du 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 boue sont formées avec ce procédé : leur régénération ou réutilisation reste la seule issue mais demande des investissements supplémentaires [44].

I-4-1-3. Méthodes chimiques de traitement des effluents textiles

Dans la littérature, les techniques d'oxydation chimique sont généralement appliquées pour le traitement des composés organiques dangereux présents en faibles concentrations, en prétraitement avant des procédés biologiques, le traitement d'eaux usées chargées de constituants, résistant aux méthodes de biodégradation et en post-traitement pour réduire la toxicité aquatique. Les deux réactifs les plus souvent énumérés pour ce type de traitement sont H_2O_2 et le Chlore. Le peroxyde d'hydrogène est un oxydant fort et son application pour le traitement des polluants organiques et inorganiques sont bien établis. Mais l'oxydation seule par H_2O_2 n'est pas suffisamment efficace pour de fortes concentrations en colorant [44].

I-4-1-4. Méthodes biologiques de traitement

Par épuration biologique des eaux, on entend la décomposition des polluants organiques dans l'eau par les microorganismes. Les procédés biologiques se partagent en deux catégories : les traitements aérobies en présence d'oxygène et anaérobies sans oxygène.

❖ Traitement aérobie

Les polluants sont décomposés dans une unité biologique constituée d'un bassin de boue activée par des bactéries aérobies et autres microorganismes en une boue qui sédimente. Dans le cas idéal, les polluants organiques sont oxydés jusqu'au dioxyde de carbone. Après épuration la boue est séparée des eaux usées par sédimentation dans un décanteur ; une partie est recyclée et le surplus est évacué après pressage ou centrifugation.

❖ Traitement anaérobie

A l'inverse de la biodégradation aérobie, la digestion anaérobie des composés organiques s'effectue en l'absence d'oxygène et forme du dioxyde de carbone, du méthane et de l'eau. C'est un procédé efficace pour le traitement de déchets très chargés en matières organiques et le méthane formé peut être utilisé comme énergie de chauffage. Les conditions de réduction dans la digestion anaérobie sont adaptées à la décoloration des colorants azoïques par clivage de la liaison azo entraînant une destruction subséquente du groupe chromophore, mais une minéralisation complète est impossible dans ce type de procédé. La dégradation des molécules initiales entraîne souvent la formation d'amines plus toxiques que la molécule initiale, qui finissent dans les sédiments aquifères peu profonds et les eaux souterraines [44].

I-4-2. Méthodes avancées

I-4-2-1. Electro –oxydation

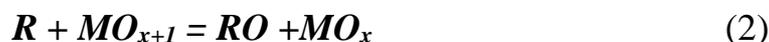
Les études sur l'électro- oxydation pour traitement des eaux résiduaires remontent au 19^{ème} siècle. La recherche étendue sur cette technologie a débuté depuis la fin 1970. Pendant les deux dernière décennies, des travaux de recherches ont été accentués sur : l'efficacité de l'oxydation de divers polluants sur différentes électrodes [15].

L'électro-oxydation des composés organiques et inorganiques se réalise par l'intermédiaire de deux voies : oxydation directe et oxydation indirecte [15].

❖ Oxydation directe

Appelée aussi oxydation anodique directe. Elle se produit directement sur les anodes en produisant une adsorption physique d'oxygène actif (radicaux hydroxyles absorbés (**OH**) ou une adsorption chimique d'oxygène actif (oxygène dans l'oxyde de treille MO_{x+1}) [13].

L'oxygène actif, physiquement adsorbé, cause la combustion complète des composés organiques(R), et oxygène actif, chimiquement absorbé, (MO_{x+1}) participe à la formation du produit sélectif d'oxydation, présentées respectivement par les équations suivantes :



❖ Oxydation indirecte

Elle se produit en raison de la production des oxydants puissants dans la solution telle que le chlore, le peroxyde d'hydrogène et l'ozone. Des radicaux hydroxyles intermédiaires, telles que l' OH_2 , O_2 et HO_2 se forment également pendant l'électro-oxydation et pourraient effectivement détruire les polluants organiques et inorganiques [19].

I-4-2-2. Electro-désinfection

L'électro-désinfection est une nouvelle technologie dans le domaine de la désinfection des eaux et des eaux usées.

C'est un procédé qui utilise communément la chloration, comme méthode répandue de désinfection, mais en raison des problèmes graves de sûreté liés à l'utilisation du chlore, des méthodes alternatives ont été développées, telles que l'ozonation, rayonnement UV et ClO_2 , mais elles sont toujours plus chers et moins commodes que la chloration [45].

Plusieurs mécanismes peuvent expliquer l'action de la désinfection électrochimique. Elle inclut la mort des cellules due aux oxydants électrochimiquement produits, perméabilisations des membranes par les champs électriques appliqués, et électro-oxydation chimique des constitutions cellulaires essentiels pendant l'expression aux courants électriques [19].

I-4-2-3. Electrocoagulation

L'électrocoagulation est une méthode de traitement des eaux, basée sur la formation des cations métalliques in situ par dissolution électrochimique d'une anode métallique sacrificielle suite au passage du courant. Ces cations et complexes d'hydroxydes métalliques formés, vont assurer l'adsorption puis la floculation des particules et des composés pollués dissous chargés négativement en neutralisent leurs charges. Elle est considérée comme un procédé complexe avec multitude de mécanismes synergiques concourant au traitement de la pollution [57].

I-4-2-4. Electroflottation

L'électroflottation est une technique de séparation (solide/liquide) basée sur la suspension des particules par les bulles générées lors de l'électrolyse de l'eau. Dans un milieu liquide le courant permet l'électrolyse de l'eau et donc la génération de microbulles de gaz : hydrogène et oxygène [15].

I-5. Conclusion

Les rejets de l'industrie textile posent un grand problème pour l'environnement car ces rejets sont très toxiques et ont des charges polluantes très élevées. Les procédés classiques utilisés dans les stations de traitement des eaux usées ne pas efficaces et pour cela, il faut chercher d'autre procédés moins coûteux et qui permet une dépollution complète de ces rejets.

CHAPITRE II :

**ELECTROFLOTTAION-
ELECTROCOAGULATION**

II -1. Contexte Historique et développement des procédés électrochimiques

Le concept électrochimie d'épuration des eaux usées est connu dès 1889, en Grande Bretagne et en 1912 aux Etats –Unis, en se basant sur les brevets américains respectifs de Webster et de Harriers. Des installations de traitement électrolytiques de la boue ont été mises en fonction dès 1911 à Santa Monica, Californie et à Oklahoma En 1946 aux États-Unis, la purification d'eau potable par le processus électrochimique a été appliquée pour la première fois.

Cependant, en raison de recherche étendue aux USA et en URSS, le procédé électrochimique a acquis un grand nombre de connaissance. Avec les règlements environnementaux rigoureux concernant les normes dans les rejets, les technologies électrochimiques ont regagné une grande importance depuis les années quatre-vingt.

Récemment, plusieurs applications de procédés électrochimiques ont été réalisées sur différents types d'effluents provenant des industries de la tannerie, textile, etc. En effet, le traitement des eaux résiduaires par les méthodes électrochimiques est devenu un secteur actif de la recherche et développement [53, 55].

A l'heure actuelle, les technologies électrochimiques ont atteint un tel état qu'elles sont non seulement comparables à d'autres technologies en terme de coût mais, également sont devenus plus efficaces est plus compactes. Le développement, la conception et l'application des technologies électrochimiques dans le traitement de la pollution ont focalisé en particulier à certains processus tels que l'électroflottation et l'électrocoagulation [15].

II-2. Procédé électroflottation-électrocoagulation

Les technologies électrochimiques sont connues depuis longtemps, en particulier l'électroflottation et électrocoagulation, qui ont été employées par plusieurs chercheurs dans différents domaines de traitement des effluents liquides.

L'électroflottation constitue la version électrochimique de la flottation traditionnelle ; et a l'avantage de générer des bulles plus fines et plus nombreuses que la flottation par air dissous, ce qui améliore l'efficacité du procédé.

L'électrocoagulation est une technique dérivée de la coagulation classique. Récemment, cette dernière est devenue une méthode électrochimique très importante à travers plusieurs succès qui ont été acquis dans le traitement des polluants solubles ou colloïdaux.

II-3. La flottation

La flottation est un procédé de séparation à deux phases (solide-liquide) qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient. La flottation tire parti de l'aptitude qu'ont certaines particules solides (ou liquides) à s'unir à des bulles de gaz pour former des agrégats « particule-gaz » moins denses que le liquide dont elles constituent la phase dispersée.

Il existe deux types de flottation, l'une dite naturelle et l'autre flottation par microbulles. La flottation naturelle est favorisée par l'insufflation de bulles d'air au sein de la masse liquide. Ce procédé concerne en particulier la séparation de particules solides dispersées dans un liquide chargé (eau résiduaire). La cellule de flottation comporte généralement deux zones, l'une de brassage et d'émulsion, l'autre, plus calme de flottation proprement dite. L'air est insufflé par des diffuseurs à moyennes bulles (0.2 à 2 mm) provoquant une turbulence de façon à séparer les particules lourdes, minérales ou organiques (figure II-1).

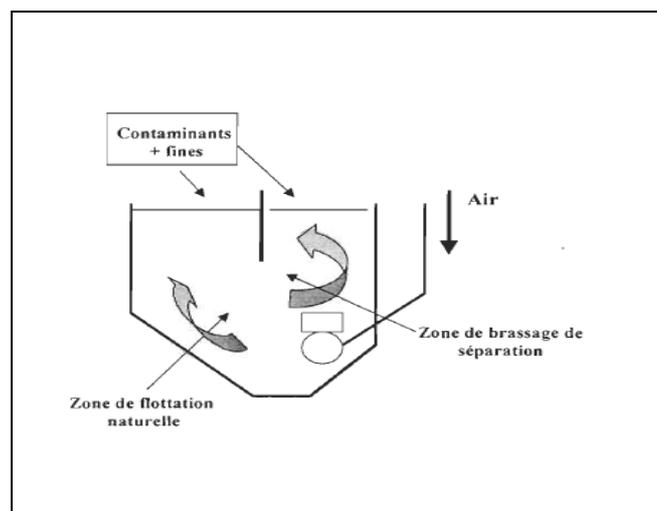


Figure II-1. Principe de flottation naturelle [14].

La flottation par microbulles (figure II-2) utilise de l'air dispersée avec production de bulles d'air très fines ou microbulles de 40 à 70 microns de diamètre, semblables à celles présentes dans l'eau débitée par la forte pression.

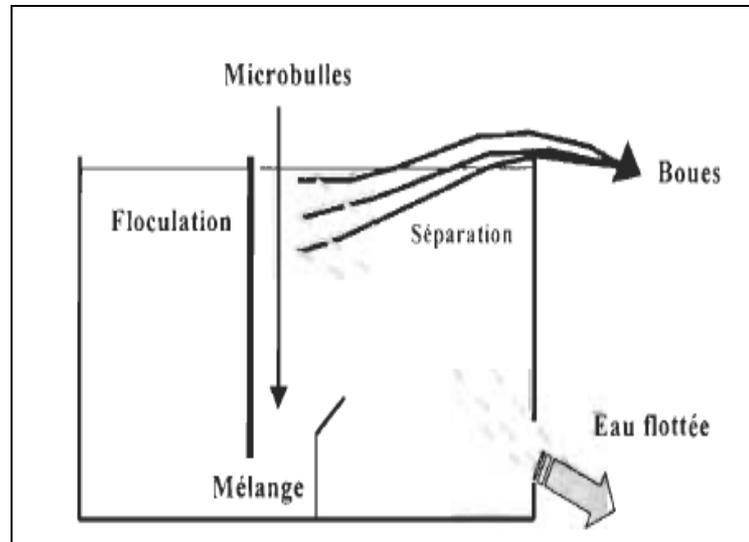


Figure II-2. Schéma d'une flottation à l'air dissous [14].

La pressurisation constitue la technique de production des microbulles la plus répandue. Les bulles sont obtenues par détente d'une solution enrichie en air dissous sous une pression de quelques bars. La capacité d'exercer une différence de pression entre la cellule de traitement et l'organe de pressurisation a une influence déterminante sur la qualité des bulles produites.

Cette méthode comprend trois phases ; Une de formation de petites bulles de gaz, la seconde lors de l'attachement des bulles de gaz aux matières en suspension et une dernière phase où on retrouve la séparation des matières en suspension de l'eau usée. Le système est utilisé avec une certaine pression pour soulever les diverses matières. La mousse formée sur le dessus du système doit être par la suite enlevée. L'efficacité de cette méthode de séparation des solides dissous dépend principalement de l'ajout d'agent flocculant et de la pressurisation [14].

II-4. L'électroflottation

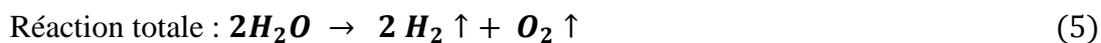
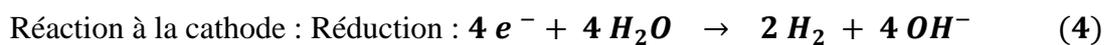
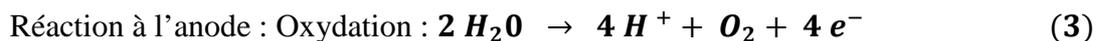
L'électroflottation est une technique de séparation basée sur l'électrolyse de l'eau et la suspension des particules. Elle est semblable à la flottation à air dissous, qui se fonde sur la production des bulles pour flotter les particules en suspension, sauf que dans ce cas, les bulles de gaz sont produites par l'électrolyse de l'eau.

II-4-1. Principe de l'électroflottation

L'électroflottation (EF) est une technique de séparation (solide / liquide) basée sur la suspension des particules par des bulles générées lors de l'électrolyse de l'eau. Elle est basée sur la génération d'hydrogène et d'oxygène pendant l'électrolyse de l'eau par l'application d'un courant électrique à la solution traitée. Les bulles de gaz se forment à la surface des électrodes, remontent à la surface du liquide en entraînant avec elles les particules en suspension [11].

L'EF a l'avantage de générer des bulles plus fines et plus nombreuses que la flottation par air dissous, ce qui améliore l'efficacité du procédé. Plus de 90% des combinaisons entre les microbulles et les particules en suspension se produisent pendant les premières minutes dans la cellule d'électroflottation. L'EF est efficace quand la surface totale des bulles de gaz et la surface de contact avec les particules à flotter sont grandes. Les bulles d'hydrogène qui se dégagent au niveau de la cathode jouent le rôle principal dans le phénomène de séparation.

Les réactions chimiques qui sont produites à la surface des électrodes pour générer les bulles de gaz sont les suivantes [24] :



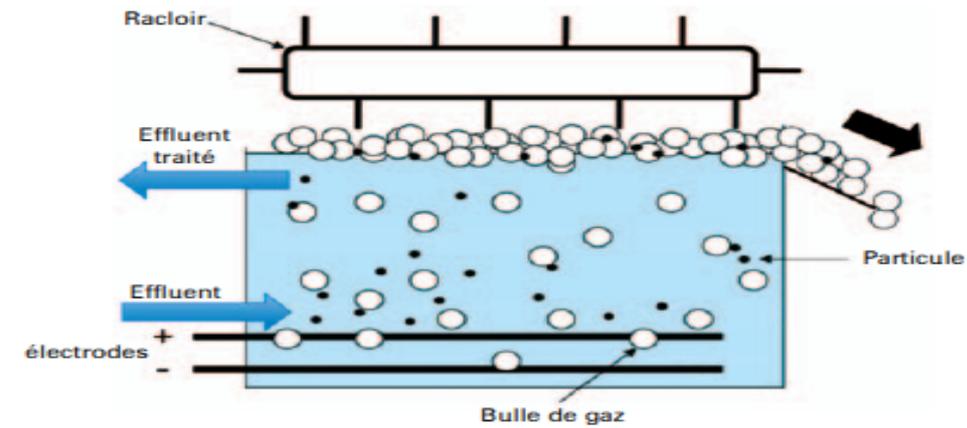


Figure II-3. Schéma de principe du procédé d'électroflottation [51].

II-4-2. Différents types des cellules d'électroflottation

II-4-2-1. Cellule d'électroflottation menée de cloisons

L'installation d'une membrane d'échange ionique entre les électrodes dans l'unité d'électroflottation assure le contrôle du pH de l'eau traitée. L'addition des cloisons dans une unité d'électroflottation aide à utiliser mieux le gaz produit (figure II.4) [56]

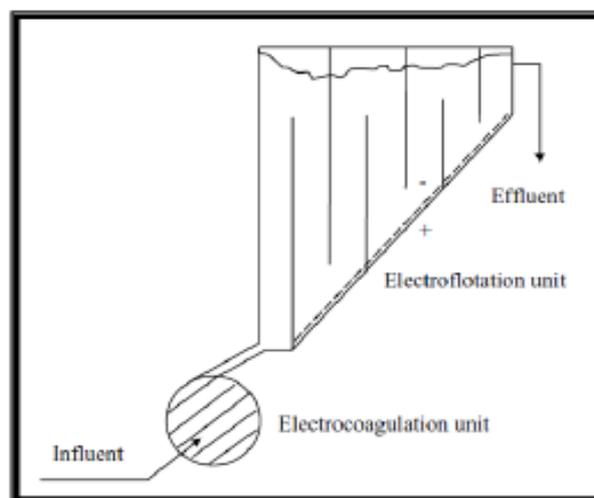


Figure II-4. Electroflottation avec des cloisons intégrées [15].

II-4-2-2. Cellule d'électroflottation à co-courant et à contre-courant

L'électroflottation avec systèmes à co-courants (figure II-5) et à contre-courant (figure II-6) ont été également étudiés à l'échelle industrielle [12]. Généralement, il est peut être nécessaire de séparer les chambres de la cathode et de l'anode afin d'éviter que l'hydrogène ou l'oxygènes actifs réagissent avec les particules solides dans le système, le pH doit être ajusté automatiquement dans chaque chambre [33].

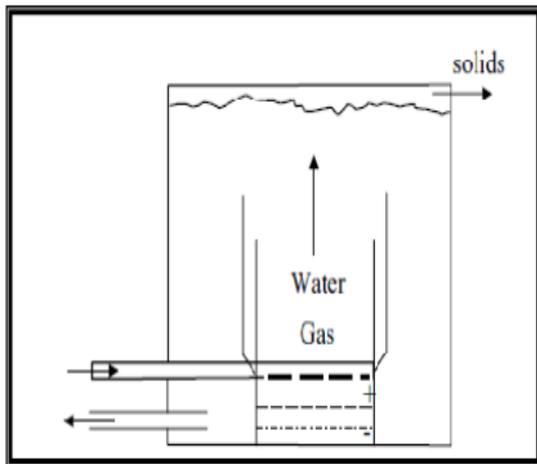


Figure II-5. Electroflottation à co-courant

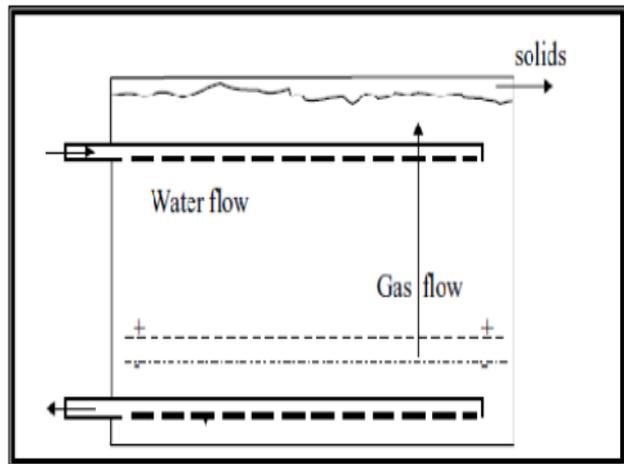


Figure II-6. Electroflottation à contre-courant

[15]

II-4-2-3. Cellule d'électroflottation menée de deux sections séparées par une cloison

Cette conception a été testée et examinée pour les eaux usées industrielles fortement concentrées en porcelaine [29].

Le système se compose d'une caisse, d'un collecteur de boues, et d'une pile d'électrode (figure II-7). L'unité est divisée par une cloison pour avoir deux sections. Chaque section est encore divisée en deux chambres. Les piles d'électrode sont placées verticalement dans chaque chambre [15].

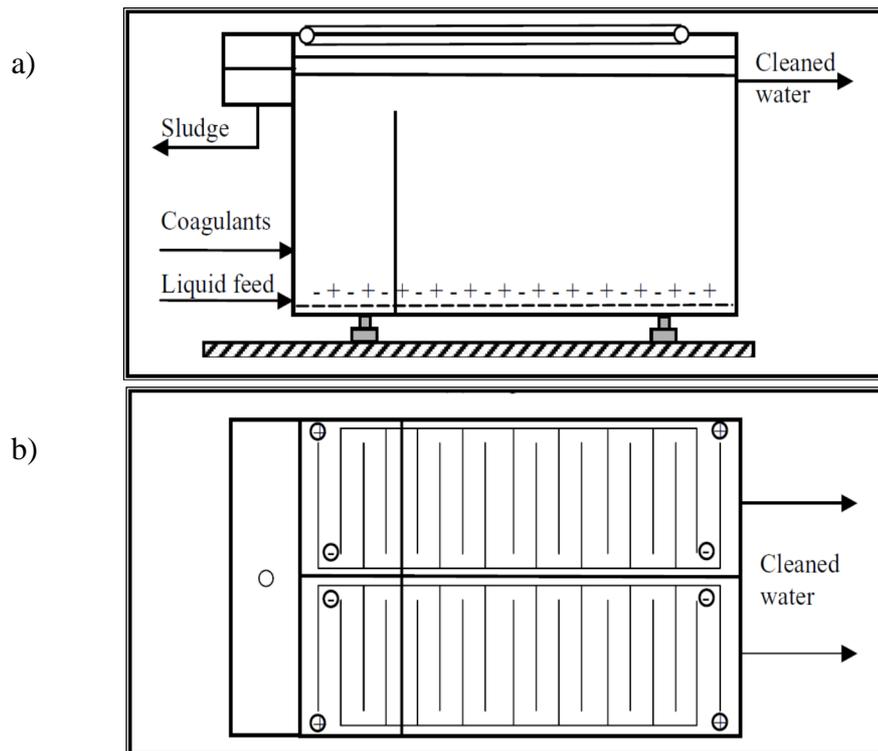


Figure II-7. Electroflottation à deux sections, **(a)** vue de côté et **(b)** vue de haut [15].

II-4-3. Paramètres influençant le procédé d'électroflottation

II-4-3-1. La nature des électrodes

Dans le cas d'une électroflottation, l'anode et la cathode seront composées de matériaux inertes. Ainsi, elles pourront être constituées d'acier inoxydable, d'aluminium, oxyde de titane..., afin de favoriser la formation des microbulles. L'aluminium possède comme avantage par rapport au fer de ne pas colorer la solution traitée [40].

Cathodes	Anodes
-Hg, Pb, Cu, Ni -Graphite ou autre forme de carbones traités Avec des produits organiques pour modifier la porosité, la densité et la résistance à la corrosion -Aciers -Revêtements d'acier par Ni, Ni/Al, Ni/Zn	-Pt, Pt/Ti, Ir/Ti. -Graphite ou autres formes de carbone (traités comme pour les cathodes) -Pb en milieu d'acide sulfurique -Revêtement de PbO ₂ sur Ti ou Nb -Nickel en milieu alcalin -Revêtement du RuO ₂ sur Ti, IrO ₂ sur Ti -Magnétite

Tableau II-1. Principaux matériaux employés pour la fabrication de la cathode et de l'anode [40].

II-4-3-2. La densité du courant

Lorsque la densité de courant augmente, l'élimination devient très importante. Ceci est normal, car le nombre de bulles qui correspond à la quantité de gaz dégagée aux électrodes est proportionnel à la densité de courant. L'augmentation du nombre de bulles accroît la probabilité de rencontre entre les molécules et la surface libre d'air. La taille des bulles formées est directement dépendante de la densité du courant appliquée aux électrodes [40].

II-4-3-3. Temps de séjour

Au niveau de temps de séjour, l'électroflottation en elle-même peut être courte, le temps de contact doit être compris entre 5 et 40 minutes afin que la séparation soit effective, 5 minutes étant la valeur la plus souvent observée [40].

II-4-3-4. pH de la solution

Dans le cas de l'électroflottation avec des anodes solubles, le pH doit généralement se situer au minimum de solubilité des hydroxydes pour améliorer l'efficacité du procédé. Habituellement, le pH est ajusté à des valeurs voisines de 8 à 8,5. Pour une électroflottation avec des anodes inertes (insolubles), au contraire, un pH acide est préconisé (pH = 3 à 4), la formation de H₂ étant favorisée dans cette gamme de pH [40]

II-4-3-5. Salinité

Afin de diminuer la résistivité de l'effluent à traiter et ainsi diminuer la consommation énergétique pour une même production d'agent de coagulation, il peut être souhaitable d'ajouter un électrolyte type NaCl. La quantité de sel ajoutée varie selon les publications entre 5 et 30 g/l. Cependant, l'amélioration des résultats dépendant peu de la quantité ajoutée, un ajout de 5 g/l semble suffisant pour avoir un traitement de bonne qualité. A noter que cet ajout doit être plus important si on désire effectuer en plus une désinfection par formation d'hypochlorite in situ [40].

II-4-4. Domaines d'applications

L'électroflottation trouve son application dans divers domaines tel que :

- ❖ Traitement des eaux usées surtout avec la combinaison de l'électrocoagulation ;
- ❖ Eliminer les huiles insolubles finement dispersées (huile de coupe, émulsion, peintures, etc.) ;
- ❖ L'épuration des effluents d'industrie textile, alimentaire, papier, métallurgie, lisier des porcs...etc. ;
- ❖ L'élimination des métaux lourds (nickel, cuivre, zinc, plomb et cadmium) ;
- ❖ Elimination des hydrocarbures, des colorants et les pigments ;
- ❖ La séparation des minerais ;
- ❖ La clarification des jus de pomme et de raisins ;
- ❖ Transformation des produits alimentaires [3].

II-4-5. Avantages de l'électroflottation

En général, la technique d'électroflottation présente trois avantages principaux qui la différencient des autres techniques de flottation :

- les bulles de gaz dispersées formées de l'électrolyse sont extrêmement fines et uniforme avec le diamètre moyen de bulle autour de 20 μ m. cela augmente la surface de contact entre les particules en suspension et les bulles de gaz.
- Une densité de courant variable donne la possibilité de varier la concentration des bulles de gaz dans le milieu de flottation, augmentant de ce fait les probabilités de collision entre les bulles de gaz et les particules.
- La sélection de la surface d'électrodes appropriée et le choix des conditions de la solution permet d'obtenir des résultats de séparation optimaux pour un procédé spécifique [31, 24].

Les autres avantages de l'électroflottation inclus :

- ❖ Simplicité de l'installation et moindre encombrement ;
- ❖ Réduction des installations en amont (coagulation-floculation) ;
- ❖ La technique demande une automatisation poussée, donc économe en personnel ;
- ❖ Fonctionnement silencieux ;
- ❖ Possibilité de traiter les effluents à haute température (jusqu'à 100°C) sans perte sensible d'efficacité ;
- ❖ Un haut taux d'élimination de la DBO₅ (Demande Biochimique en Oxygène) due à l'oxydation des molécules organiques à l'anode et aussi à l'élimination des graisses et huiles ;
- ❖ La montée des floes à surface donne une écume contenant de 9 à 12% de solides [6].

II-4-6. Contraintes de l'électroflottation

L'électroflottation présente certaines contraintes, parmi lesquelles, on peut citer :

- ❖ Corrosion anodique fréquente, surtout en présence de certains polluants comme les acides gras ;
- ❖ L'oxydation des boues peut être gênante quand le recyclage des boues est important ;
- ❖ Carbonatation des cathodes, impose un détartrage périodique ;
- ❖ Corrosion des cuves métalliques par les courants vagabonds dans les petites installations, nécessite de les protéger [31].

II-5. La coagulation-floculation

➤ La coagulation

La coagulation est par définition le phénomène de déstabilisation des particules colloïdales, qui peut notamment être obtenu par neutralisation de leurs charges électriques. Le produit utilisé pour cette neutralisation est appelé coagulant. Les coagulants les plus communément employés dans la pratique se limitent au : sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$, polychlorure d'aluminium $Li_nOH_mCl_{3n-m}$, chlorure ferrique $FeCl_3$, sulfate de fer $FeSO_4 \cdot nH_2O$ 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[54].

➤ La floculation

C'est l'agrégation des particules déchargées par transport et mise en contact les unes avec les autres. Elle conduit à la formation des flocons ou floccs, capable d'être retenus dans une phase ultérieure du traitement de l'eau. On peut distinguer les floculants par leur nature (minérale ou organique), leur origine (synthétique ou naturelle) et le signe de leur charge électrique (anionique, cationique, non ionique). Parmi les floculants, on peut citer : les floculants minéraux et les floculants organiques.

La silice activée : c'est le premier flocculant employé ; c'est encore actuellement celui qui peut donner les meilleurs résultats, principalement si on l'utilise conjointement avec du sulfate d'aluminium.

Les autres flocculants minéraux : on peut citer, certaines argiles, le carbonate de calcium précipité, le charbon actif en poudre, le sable fin...etc.

Les flocculants organiques : certains sont fabriqués à partir de produits naturels : ce sont les alginates (extrait d'algues), les amidons (extrait de graines végétales), certains dérivés de la cellulose, certains gommes...etc. d'autres flocculants sont entièrement synthétisés. On distingue d'une part, les polyacrylamides à longue chaîne et à haute masse molaire, et d'autre part, les polyamines qui ont en général des chaînes plus courtes et de masse molaire plus basses. La séparation solide-liquide du floc formé et de l'eau peut se faire par filtration, par décantation ou flottation. Récemment, des polymères organiques développés à cet effet se sont avérés 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 (exemple : le col floc RD, son effet est de coaguler les composés aromatiques, il est spécifique pour les colorants réactifs) ; et peuvent être très toxiques pour la vie aquatique à de faibles concentrations (moins de 1mg.l^{-1}) [54].

II-6. Electrocoagulation

L'EC est un procédé complexe impliquant plusieurs phénomènes physiques et chimiques qui utilisent des électrodes consommables (sacrificielles) pour fournir des ions dans l'effluent d'eau. Trois étapes successives principales sont impliquées durant l'EC :

- ❖ Formation des coagulants par oxydation électrolytique de l'électrode sacrificielle ;
- ❖ Déstabilisation des contaminants, suspension particulaire et rupture des émulsions ;
- ❖ Agrégations des phases déstabilisées pour former les floccs.

Le mécanisme de déstabilisation des contaminants, de la suspension particulaire et la rupture des émulsions peut être résumé comme suite :

- Compression de la couche diffuse autour des espèces chargées par les interactions avec les ions générés par l'oxydation de l'anode sacrificielle ;
- Neutralisation de la charge des espèces ioniques présentes dans le rejet aqueux à l'encontre des ions produits par dissolution électrochimique de l'anode sacrificielle.
- Formation du floc : le floc formé suite à la coagulation crée les boues qui piègent et relie les particules colloïdales restant dans le milieu aqueux [43].

II-6-1. Principe du procédé d'électrocoagulation

Le procédé d'électrocoagulation est basé sur le principe des anodes solubles. Il s'agit d'imposer un courant (ou potentiel) entre deux électrodes (fer ou aluminium) immergées dans un électrolyte contenu dans un réacteur pour générer, in situ, des ions (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}) susceptible de produire un coagulant en solution et de provoquer une (coagulation – floculation) des polluants que souhaite éliminer. Le champ électrique crée un mouvement d'ions et de particules chargés. Cette action permet de rassembler les matières en suspension sous forme de floes qu'on élimine ensuite par un procédé physique classique (décantation, flottation, filtration).

La figure II.8, présente le principe du procédé avec les électrodes d'aluminium. Les anodes et les cathodes utilisées peuvent avoir différentes configurations. Elles peuvent se présenter sous forme de plaques, de sphère à lit fluidisé, de fil, de tige ou tube. Ces électrodes peuvent être constituées de divers métaux qui sont choisis de manière à optimiser le procédé de traitement. Les deux métaux communément utilisés sont le fer et l'aluminium.

L'EC consomme de l'énergie électrique essentiellement pour dissoudre l'anode sacrificielle [23].

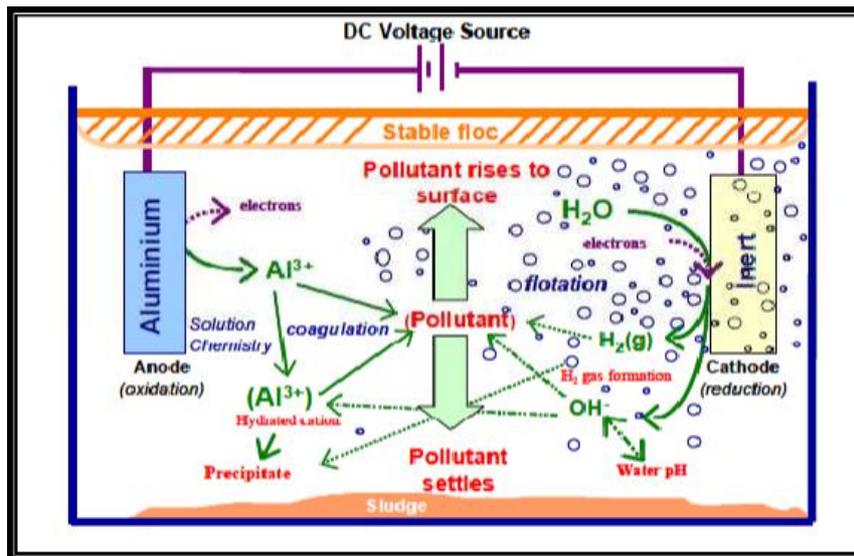


Figure II-8. Schémas du procédé d'électrocoagulation [23].

II-6-2. Technologie du procédé d'électrocoagulation

Plusieurs technologies d'EC ont été mises au point au niveau du laboratoire et industriel. Les cellules électrochimiques sont montées seule ou en séries avec d'autres types de procédé. Dans les petites installations de laboratoire, les géométries des électrodes sont diverses tels que les plaques, cylindriques, des lits fixes de billes sphériques et des électrodes rotatives. Plusieurs modes de connexions électriques peuvent être réalisés.

On distingue généralement trois modes :

- ❖ Mode monopolaire en série,
- ❖ Mode monopolaire en parallèle,
- ❖ Mode bipolaire en série [47].

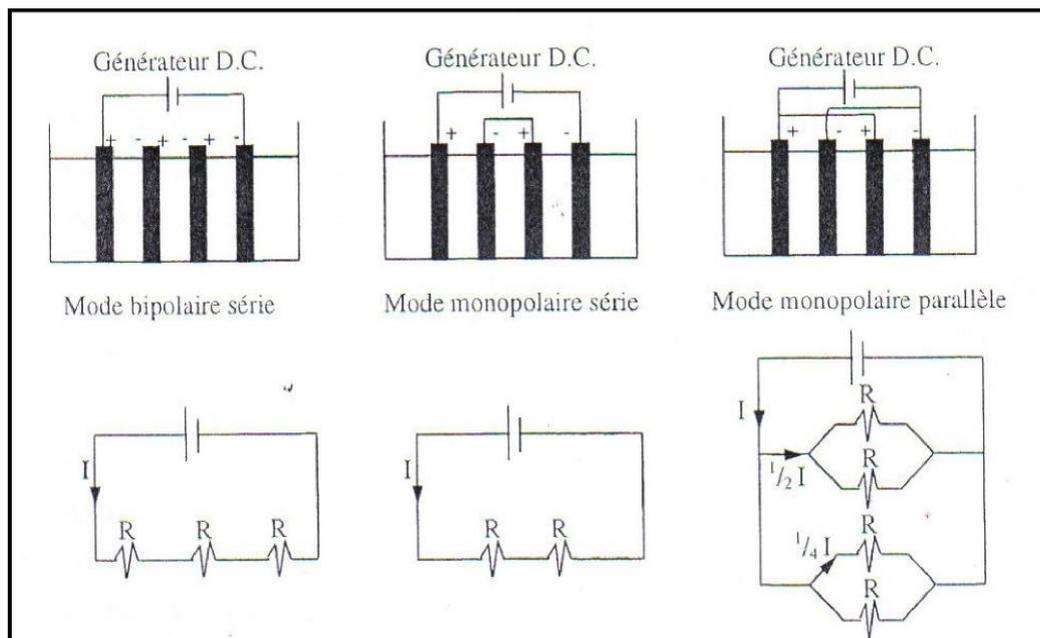


Figure II-9. Les différents modes de connexions électriques pour une cellule d'électrocoagulation et les circuits électriques associés [47].

II-6.3 Application du procédé d'électrocoagulation

Actuellement, les avantages du processus d'électrocoagulation le placent parmi les processus les plus prometteurs dans différents domaines du traitement. Ses domaines d'application sont très vastes et l'amélioration des procédés électrochimiques réduit la plupart des inconvénients qui ont freiné l'utilisation de l'électrocoagulation. L'électrocoagulation a le potentiel d'être le choix économique et environnemental distinct pour le traitement de l'eau usagée et d'autres issues relatives de gestion de l'eau.

L'électrocoagulation a été appliquée avec succès dans le traitement de plusieurs types de pollution : effluents de l'industrie de textile [33].

De plus, dans les dernières décennies l'EC a été proposé comme procédé efficace pour éliminer les espèces ioniques solubles des solutions, en particulier les métaux lourds. Le processus d'électrocoagulation a été prouvé efficace dans la séparation (solide/liquide). Ce procédé l'EC a été utilisé pour le traitement de solutions colorées par différentes substances telles que le Bleu méthylène et jaune éosine [21].

Le traitement de l'eau polluée par les rejets d'une industrie de raffinage mécanique et chimique, caractérisée par une teneur élevée en matières suspensions, une DCO supérieur à 500 mg. L⁻¹, une concentration en cuivre de l'ordre de 100 mg /l, a permis d'atteindre 99% d'élimination du cuivre et 75% de DCO par électrocoagulation en utilisant des électrodes en fer et en aluminium [16].

II-6.4 Avantages et inconvénients du procédé d'électrocoagulation

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

- ❖ Le procédé d'électrocoagulation ne nécessite pas l'ajout de produit chimique, il nécessite l'ajout de petite quantité d'additif pour améliorer la conductivité électrique de l'effluent.
- ❖ L'eau usagée traitée par l'EC donne de l'eau de gout agréable, claire, sans couleur et inodore...etc. [41].
- ❖ Le procédé de l'EC a l'avantage d'éliminer les plus petites particules colloïdales. L'application d'un champ électrique entre les électrodes entraîne les particules dans un mouvement plus rapide, facilitant de ce fait leur agglomération [46].

L'électrocoagulation présente quelques inconvénients parmi lesquelles on peut citer :

- ❖ l'effluent traité par électrocoagulation doit être un électrolyte ce qui impose un ajout de sel pour certains effluents faiblement conducteurs.
- ❖ électrodes sacrificatoires sont dissoutes dans l'effluent à traiter en raison de l'oxydation, et doivent être régulièrement remplacées.
- ❖ La maintenance des installations est parfois coûteuse, le nettoyage et changement des électrodes nécessite l'arrêt du procédé au cours de ces opérations [37].

II-7. Théorie de l'électrolyse

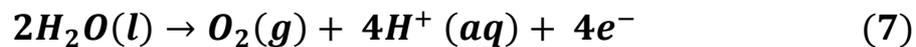
L'électrolyse de l'eau est un procédé électrolytique qui décompose l'eau en dioxygène et dihydrogène gazeux avec l'aide d'un courant électrique. La cellule électrolytique est constituée de deux électrodes - habituellement en métal inerte (dans la zone de potentiel et de pH considérée) comme le platine- immergées dans un électrolyte (ici l'eau elle-même) et connectées aux pôles opposés de la source de courant continu.

II-7-1. Principe et description du processus

Le courant électrique dissocie la molécule d'eau (soit H_2O) en ions hydroxyde (HO^-) et hydrogène H^+ : dans la cellule électrolytique, les ions hydrogène acceptent des électrons à la cathode dans une réaction d'oxydation en formant du dihydrogène gazeux (soit H_2), selon la réaction de réduction suivante :



Alors qu'une oxydation des ions hydroxyde - qui perdent des électrons donc - se produit à l'anode afin de "fermer" le circuit électrique (équilibre de la réaction chimique en charges) :



Ce qui donne l'équation de décomposition par électrolyse suivante :



La quantité de matière de dihydrogène gazeux produite est donc deux fois celle de dioxygène. Selon la loi d'Avogadro, le volume récupéré d'hydrogène produit est aussi deux fois plus important que celui de l'oxygène [25].

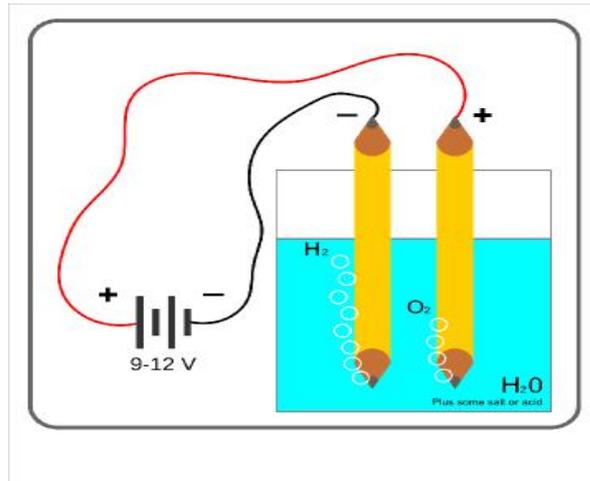


Figure II-10. Schéma fonctionnel de l'électrolyse [25].

II-7-2. Principales lois de l'électrolyse

II-7-2-1. Loi de Faraday

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

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

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

$$m = \frac{I \cdot t \cdot M}{n \cdot F} \quad (9)$$

Avec :

m : masse du métal dissout ou du gaz formé à l'électrode

I : intensité imposée (A)

t : durée de l'électrolyse(s)

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

F : constante de Faraday ($96485,3 \text{ C mol}^{-1}$)

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

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

$$C = \frac{m \cdot (p - 1)}{Q_e} \quad (10)$$

Avec :

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

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

P : nombre d'électrodes.

m : quantité théorique du métal dessous (kg).

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

II-7-2-2. Rendement de Faraday et rendement énergétique : Soit la réaction chimique :



Où A : l'espèce oxydante

P : est l'espèce réductrice produite,

n : étant le nombre d'électrons mis en jeu dans la réaction,

γ_p : nombre de mole de p produites.

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

$$Q_0 = n \cdot N e_0 = nF \quad (12)$$

Avec :

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

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

e_0 : la charge élémentaire ($1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$).

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

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

Différentes expériences du rendement peuvent être utilisées.

Le rendement en courant ou rendement faradique R_f est donnée par la formule ci-dessous :

$$R_f = I_{consommée} * t / I_{théorique} * t \quad (13)$$

Avec :

$I_{théorique} * t$, est la quantité d'électricité nécessaire pour produire v_p de mole

$I_{consommée} * t$, est la quantité d'électricité réellement consommé pendant l'électrolyse.

Le rendement énergétique R_E est :

$$R_e = I_{théorique} * E_{eq} / I_{consommée} * E_{app} \quad (14)$$

Avec :

E_{eq} : potentiel d'équilibre ($E_{eq} = E_0(anode) - E_0(cathode)$)

Où E_0 sont les potentiels d'abandon des électrodes ($i=0$).

E_{app} : tension mesurée aux bornes de l'électrolyseur.

Le rapport E_{eq} / E_{app} représentant le rendement des tensions R_t , on peut aussi écrire le rendement énergétique comme $R_e = R_f * R_t$ [26].

CHAPITRE III :

MATERIELS & METHODES

III-1. Introduction

Ce chapitre présente le matériel et les méthodes d'analyse utilisés pour réaliser l'étude du procédé d'électroflottation–électrocoagulation (EF-EC), dans le but de la dégradation d'un colorant textile, cas du Bleu d'Indanthrène RS. Ce travail se focalise aussi sur l'étude de l'effet de certains paramètres.

La méthodologie suivie et l'ensemble de matériels utilisé sont présentés ci-dessous.

III-2. Matériels**III-2-1. La cellule d'électroflottation**

Nous avons construit un prototype de cellule électrochimique d'une forme rectangulaire en plexiglas d'un volume total de 9.02 l, dévisée en deux compartiments.

Le premier compartiment d'un volume de 5.12 l est muni de deux électrodes rectangulaires en aluminium, de surface égale à 61.25 cm² chacune, alimentées par un générateur qui délivre des courants continus variables et indépendants.

Dans le premier compartiment s'effectue la formation des bulles et du complexe bulle-particule, où le rendement de séparation peut atteindre un pourcentage élevé et on assiste à un mouvement co-courant de liquide et de flux de bulles formées. Le liquide prétraité est ensuite véhiculé par débordement à travers un déversoir qui présente à sa partie supérieure une rainure rectangulaire vers le deuxième compartiment où il se produit un traitement final plus poussé. Dans le deuxième compartiment on assiste à une décantation.

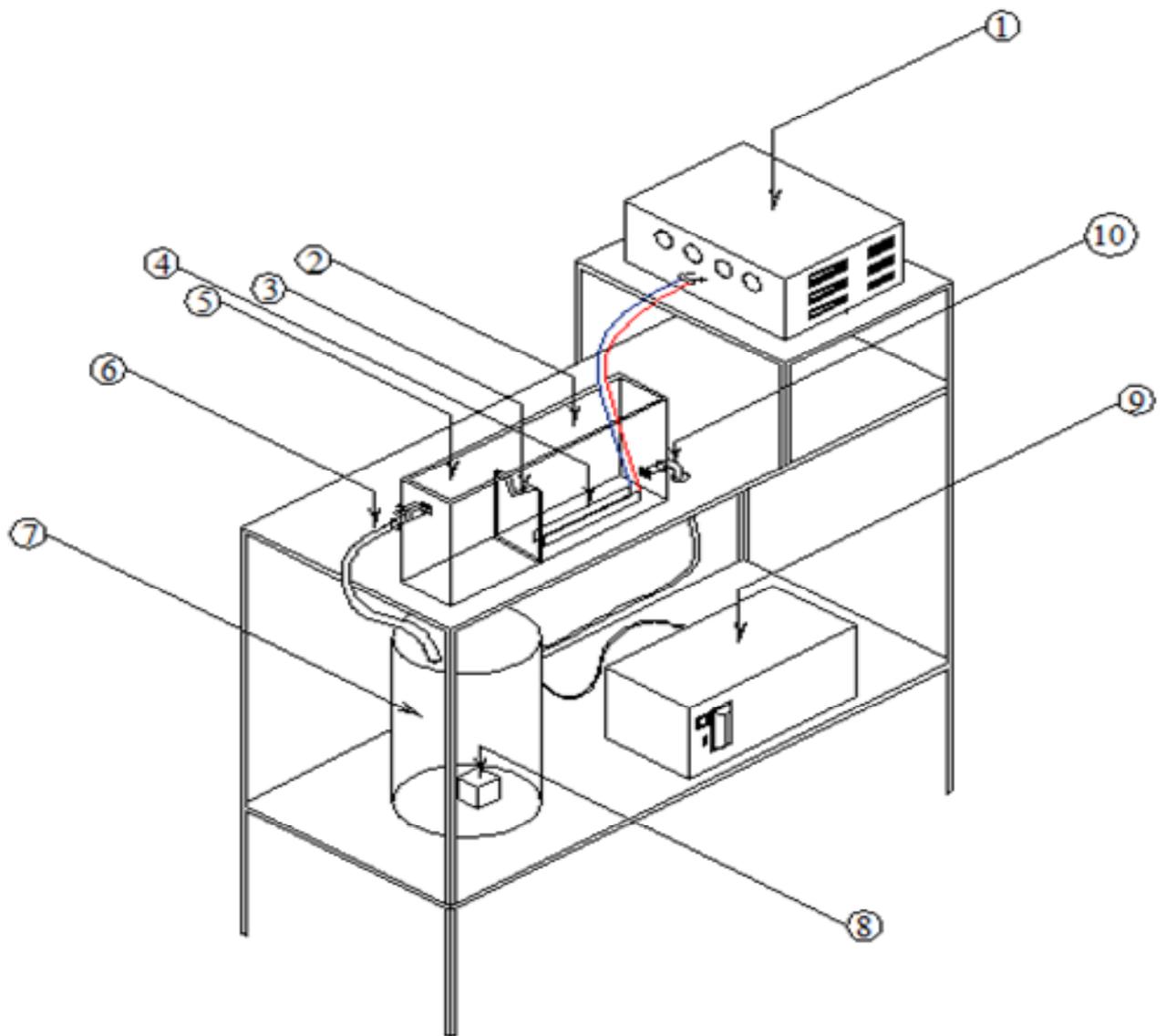


Figure III-1. Unité d'électroflottation en régime continu

- 1) Alimentation à courant continu.
- 2) Premier compartiment,
- 3) Déversoir,
- 4) Electrodes,
- 5) Deuxième compartiment,
- 6) Sortie d'eau,
- 7) Réservoir,
- 8) Pompe péristaltique,
- 9) Contrôleur de Biodégradabilité,
- 10) Entrée d'eau.

III-2-2. Les produits utilisés

III-2-2-1. Le colorant Bleu d'indanthrène RS

Colorant standard pour nuance bleu roi fleurie sur filés et pièces, possédant de très bonne solidité .teintures suroxydées, ce vivement de nuance peut être supprimé par traitement avec une solution faible d'hydrosulfite .Doser abondamment la soude caustique rigoureusement hydrosulfite au cours de la teinture. Sensible aux sels calcaires. Observer les prescriptions de réduction en cuve de mère. Ajoute du nitrile de sodium air-dessous de 60° et de glucose air-dessous de 80°. La nuance la plus brillant s'obtient par oxydation à l'eau courante. Convient pour article lavable, pour rideaux et tissus d'ameublement et pour article de plein air [22].

Propriétés	
Formule moléculaire	$C_{28} H_{14} N_2 O_4$
Masse molaire	442,42 g mol ⁻¹
Densité	1,6 g / ml
Solubilité dans l'eau	Insoluble

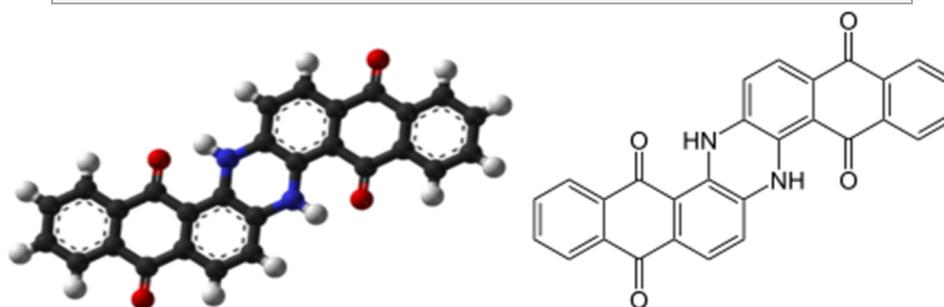


Figure III-2. Structure Bleu d'indanthrène RS [22].

III-2-2-2. Matériaux des électrodes utilisées

Le choix des électrodes utilisées dans ce présent travail est basé sur la disponibilité et l'efficacité du matériau constituant. Les électrodes en Aluminium qui ont prouvé leur efficacité de traitement et dont le constituant est récupéré des déchets d'industrie.

III-3. Méthodologie

Notre objectif consiste en la dégradation d'un colorant textile : Bleu d'Indanthrène RS par (Electroflottation- Electrocoagulation) avec des électrodes en aluminium.

Une étude de l'influence de certains paramètres sur ce procédé fût entamée.

- Influence de l'air (oxygénation),
- Influence de la densité du courant,
- Influence de la distance inter- électrodes.

Pour ce faire nous avons procédé comme suit :

- ❖ Les solutions ont été préparées par dissolution d'un colorant Bleu d'indanthrène RS.
- ❖ Les solutions préparées sont alors agitées mécaniquement pendant 30 min.
- ❖ Si le courant est appliqué, des prélèvements à intervalles de temps égaux à 5 min.
- ❖ Les échantillons prélevés pour l'analyse de l'absorbance sont alors centrifugés dans une centrifugeuse à une vitesse de 3000 tr/mn pendant 5 min, pour éliminer la turbidité de la solution.

III-4. Les techniques analytiques

III-4-1. La spectrophotométrie UV-Visible

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée, généralement en solution. Plus l'échantillon est concentré, plus il absorbe la lumière dans les limites de la proportionnalité énoncées par la loi de Beer-Lambert [26].

III-4-2. La loi de Beer-Lambert

Lorsqu'une lumière d'intensité I_0 passe à travers une solution, une partie de celle-ci est absorbée par le(s) soluté(s). L'intensité I de la lumière transmise est donc inférieure à I_0 . On définit l'absorbance de la solution comme :

$$A = \log (I_0/I) \quad (15)$$

On parle aussi de transmittance définie par la relation :

$$T = I/ I_0 \text{ c'est -à-dire que } A = - \log T \quad (16)$$

L'absorbance est une valeur positive, sans unité. Elle est d'autant plus grande que l'intensité transmise est faible.

La relation de Beer-Lambert décrit que, à une longueur d'onde donnée, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à sa concentration, et à la longueur du trajet optique (distance sur laquelle la lumière traverse la solution).

Alors, pour une solution limpide contenant une seule substance absorbante :

$$A_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} l C \quad (17)$$

- ❖ A_{λ} est l'absorbance ou la densité optique (sans unité) de la solution pour une longueur d'onde λ
- ❖ C (en mol.m^{-3}) est la concentration de la substance absorbante ;
- ❖ l (en cm) est la longueur du trajet optique ;
- ❖ ϵ_{λ} (en $\text{m}^3.\text{mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$) est le coefficient d'extinction molaire de la substance absorbante en solution. Il rend compte de la capacité de cette substance à absorber la lumière, à la longueur d'onde λ .

Selon la loi de Beer-Lambert, l'absorbance est additive (mais non la transmittance) [26].

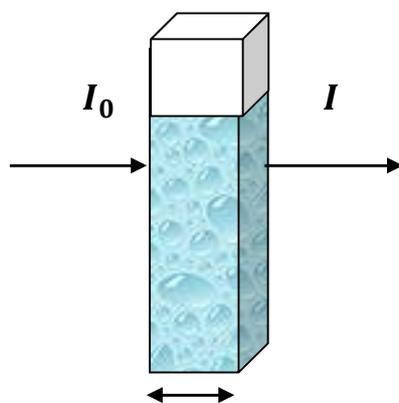


Figure III-3. Trajet optique [26].

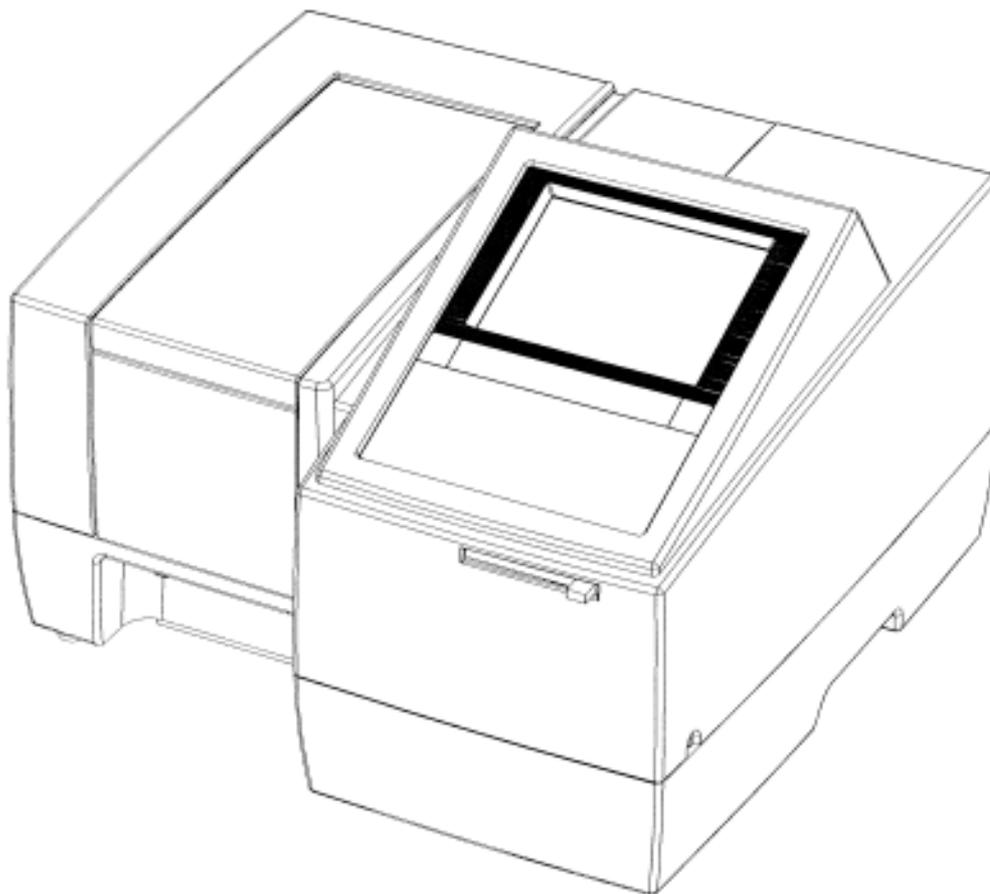


Figure III-4. Spectrophotomètre UV-visible Shimadzu UV mini-1240 [laboratoire du traitement].

III-4-3. Centrifugeuse de paillasse

Une centrifugeuse est une machine équipée d'un axe de rotation enfermé dans une enceinte. Excepté pour la centrifugeuse de paillasse dont la vitesse de rotation et le temps typique d'utilisation sont relativement limités, il est nécessaire d'empêcher l'échauffement des échantillons. Pour cela, l'enceinte est réfrigérée et souvent soumise à un vide poussé pour éviter les frottements. Les centrifugeuses sont utilisées dans de nombreux domaines tels que la chimie, la biochimie ou encore la physique [28].



Figure III-5. Centrifugeuse de paillasse [28].

III-4-4. Agitateur magnétique

L'agitation est réalisée par la mise en mouvement de la phase liquide. Soit la masse est composée de différentes substances et l'opération vise à homogénéiser celle-ci ou à mettre en contact des réactifs pour qu'ils réagissent plus efficacement, soit le milieu est déjà homogène et l'opération d'agitation est effectuée pour réaliser un transfert thermique ou un maintien de particules solides en suspension [27].



Figure III-6. Agitateur mécanique [laboratoire du traitement].

CHAPITRE IV :

RESULTATS & DISCUSSIONS

IV-1. Introduction

Pour suivre la cinétique de dégradation du colorant, des prélèvements, ont été effectués à intervalle de temps fixe (5minutes). Les échantillons prélevés sont ensuite analysés par spectrophotomètre. Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures ci-après, exprimés soit en absorbance soit en rendement de séparation.

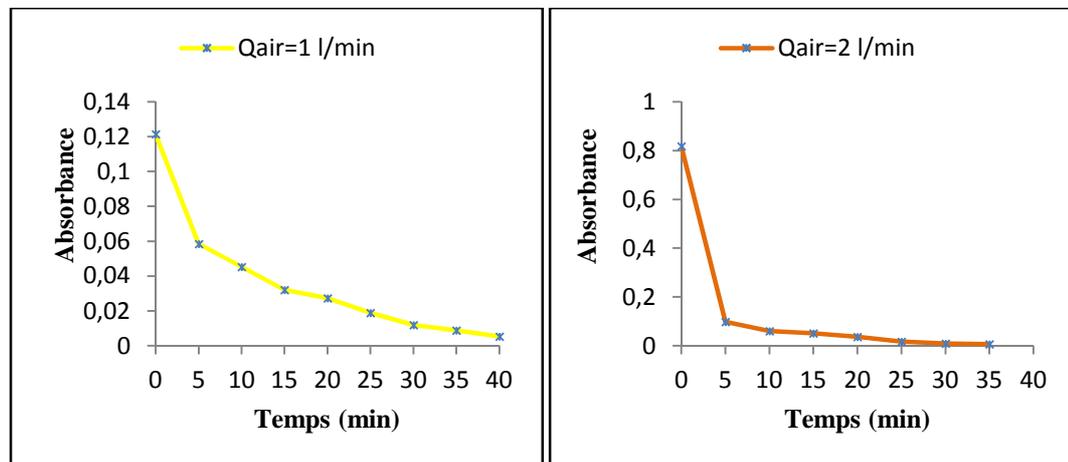
Un autre intérêt est donné à l'étude de certains paramètres jugés important dans les traitements électrochimiques, ainsi que leurs effets sur le rendement du procédé EF-EC appliqué. Ces effets sont mis en évidence, en variant les niveaux de chaque paramètre dans un intervalle donné (**tableau IV-1**), la concentration initiale du colorant étant toujours constante pour l'ensemble des expériences (**100 mg/l, NaCl 1 g/l**). Les résultats sont repris en termes de rendements et exposés en superposition dans un même graphique pour les trois niveaux de chaque paramètre.

Paramètres d'expérience	Valeurs supposées
Densité du courant (mA/cm ²)	16,32
	32,65
	65,30
Distance Inter-électrodes (cm)	1
	2
	3
Débit d'air (l/min)	1
	2
	3

Tableau IV-1. Variation des niveaux de chaque paramètre.

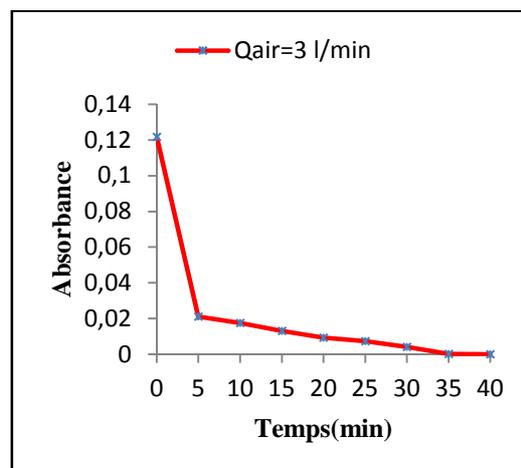
IV-2. La cinétique de dégradation

Pour suivre la cinétique de dégradation du colorant BIRS par EF-EC, l'absorbance de ce colorant est suivie au cours du temps de traitement et les résultats obtenus sont illustrés ci-après.



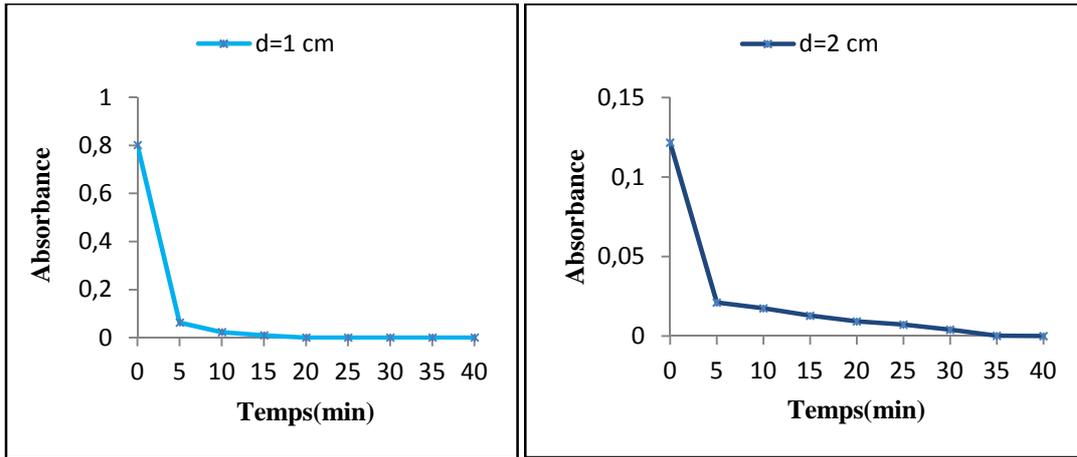
(a)

(b)



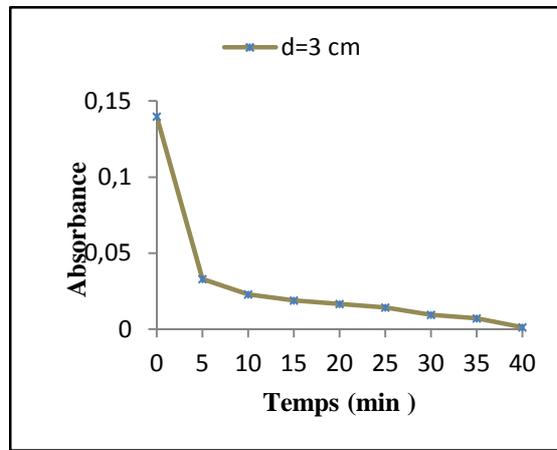
(c)

Figure IV-1. Variation des Absorbances en fonction du temps pour les Différentes débit d'air pour $d=2\text{cm}$, $I=3\text{A}$



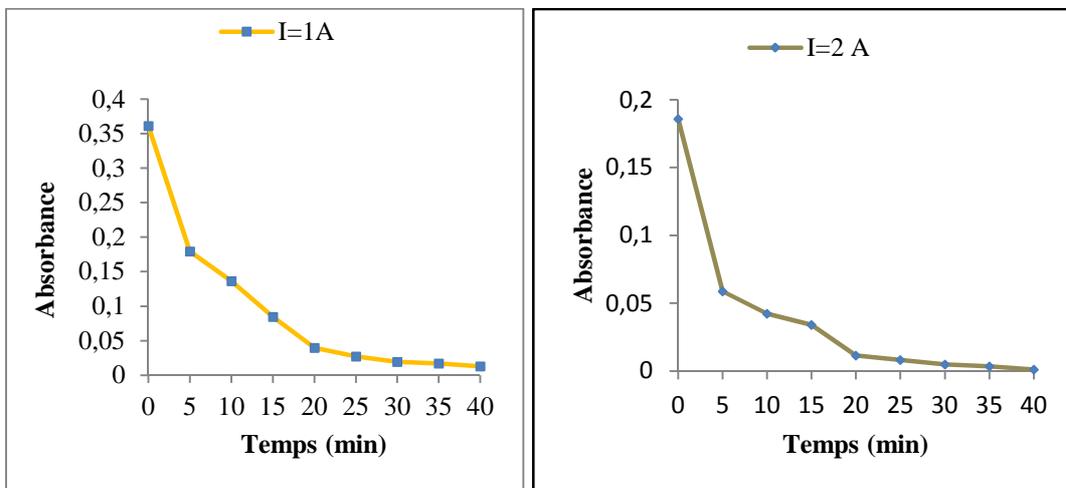
(a)

(b)



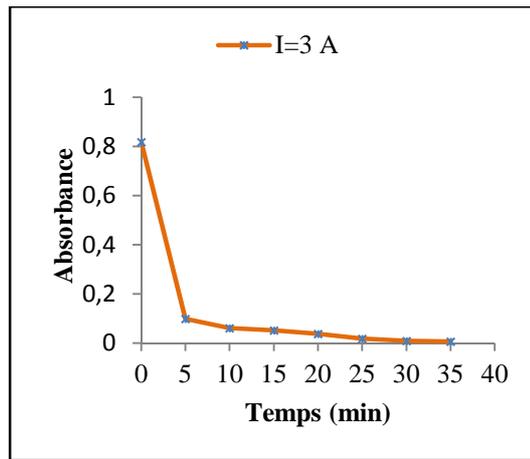
(c)

Figure V-2. Variation des Absorbances en fonction du temps pour les Différentes débit d'air pour $Q_{air}=3 \text{ l/min}$, $I=3A$



(a)

(b)

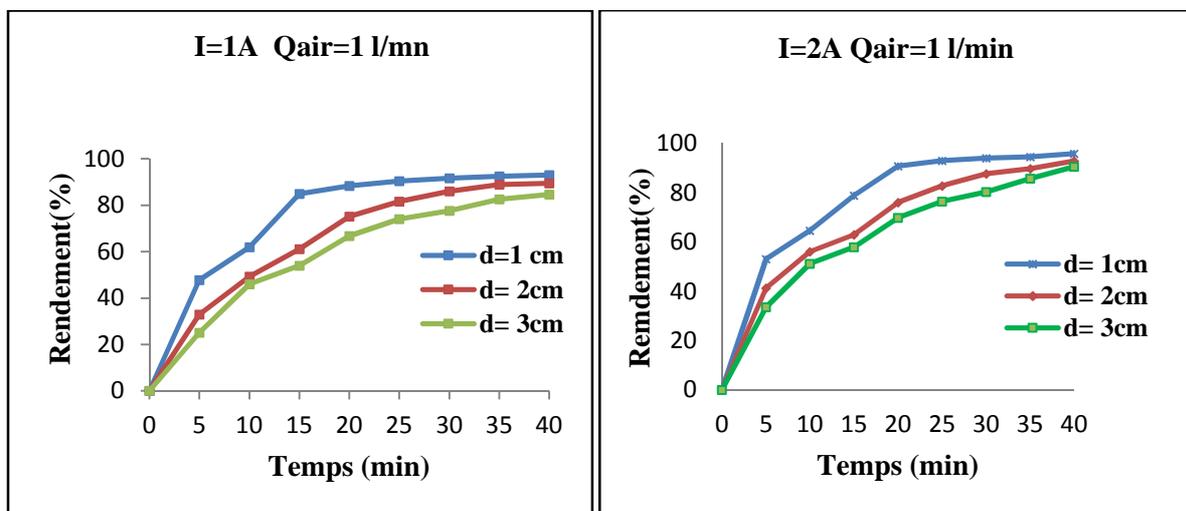


(c)

Figure IV-3. Variation des Absorbances en fonction du temps pour les Différentes densité du courant pour $Q_{air}=2$ l/min, $d=3$ cm.

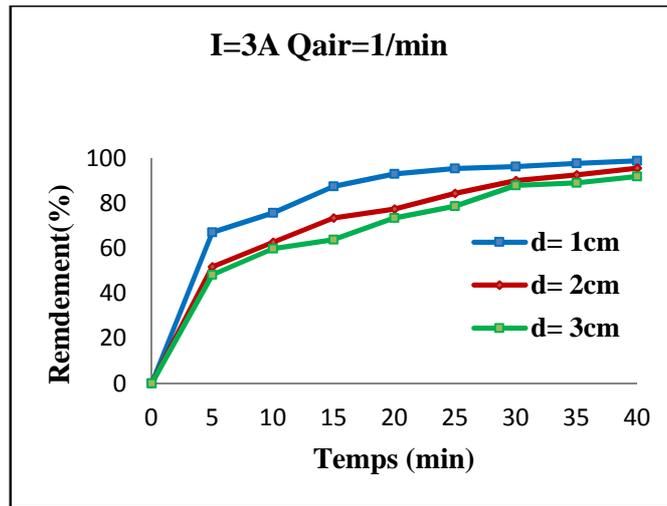
Les figures (IV-1, IV-2, IV-3) résument les variations des absorbances du colorant en fonction du temps. D’après ces figures on remarque que la dégradation du colorant Bleu d’indanthrène RS suit une cinétique exponentielle descendante. L’allure des courbes montre deux pentes majeures, une forte pente enregistrée dans les cinq premières minutes qui correspond à une forte accélération de la dégradation et une faible pente au-delà de ce pont, qui correspond à une légère variation de la vitesse de dégradation.

VI-3. Effet de la distance inter-électrodes sur l’efficacité de traitement



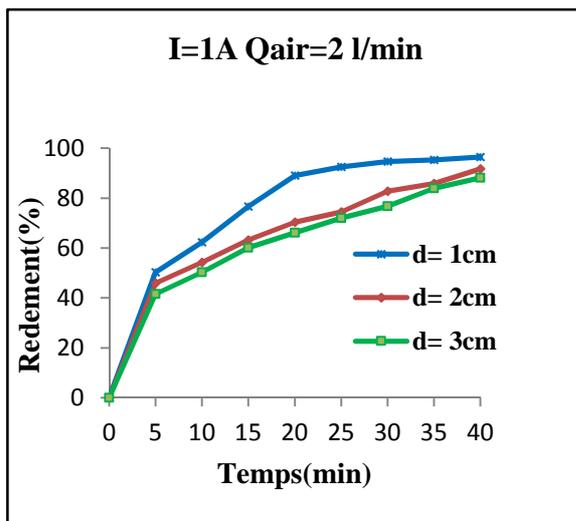
(b)

(a)

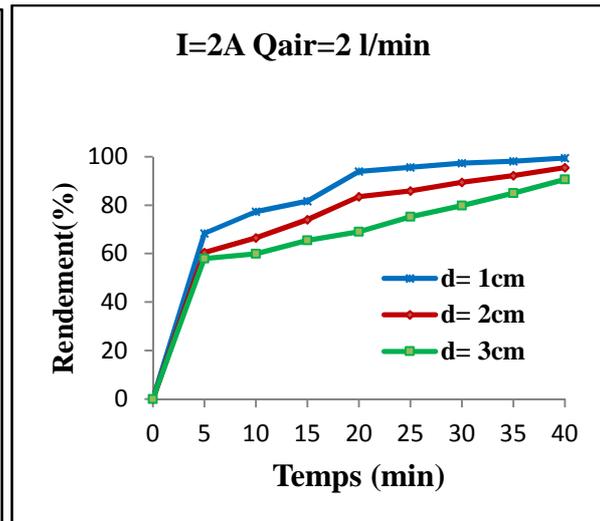


(c)

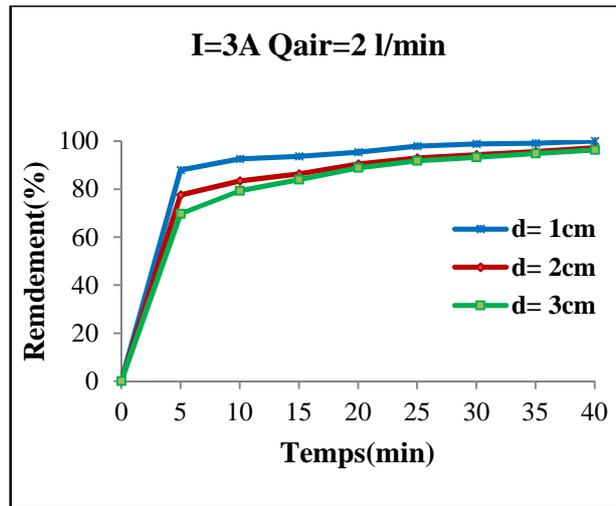
Figure IV-4. Effet de la distance inter-électrodes sur l'efficacité de traitement
Pour Qair=1 l/min et I= (1, 2,3 A)



(c)

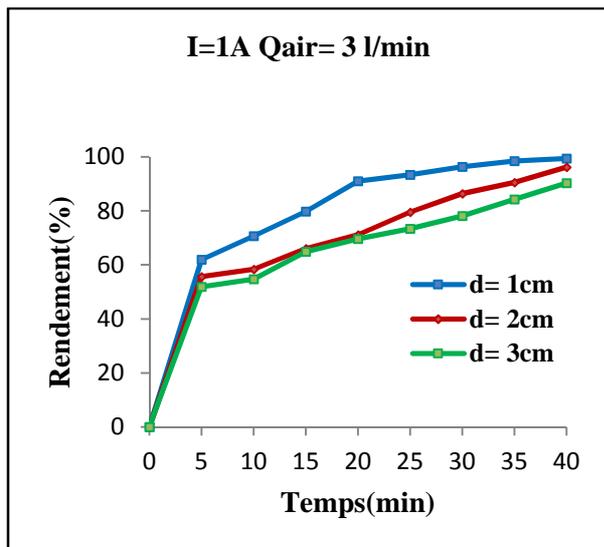


(e)

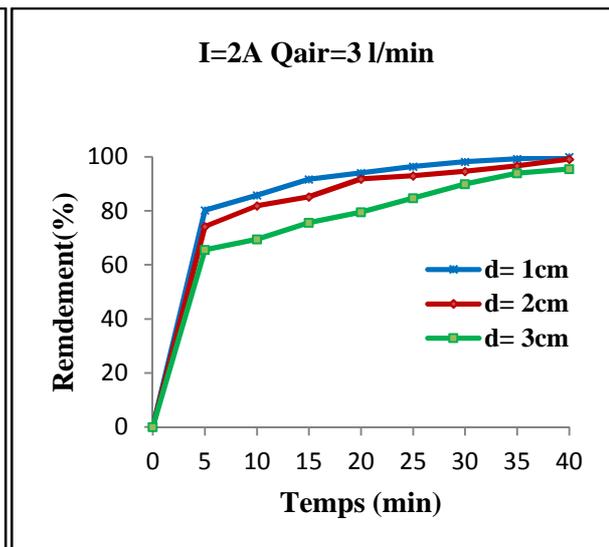


(f)

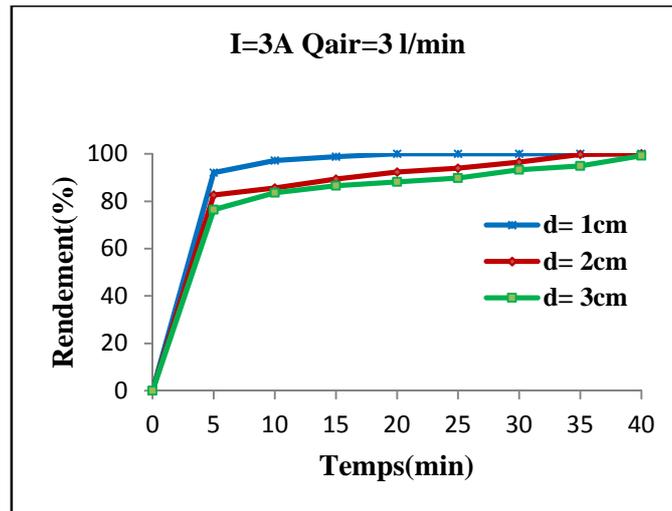
Figure IV-5. Effet de la distance inter-électrodes sur l'efficacité de traitement
 Pour Qair= 2 l/min et I= (1, 2,3 A)



(g)



(h)



(i)

Figure IV-6. Effet de la distance inter-électrodes sur l'efficacité de traitement

Pour $I = (1, 2, 3 \text{ A})$, $Q_{\text{air}} = 3 \text{ l/min}$

Pour étudier l'influence de la distance inter-électrodes sur l'efficacité de traitement, nous l'avons fait varier de 1 à 3 cm. L'allure des courbes nous montre que plus la distance inter-électrodes est grande plus le temps nécessaire pour la dégradation est important.

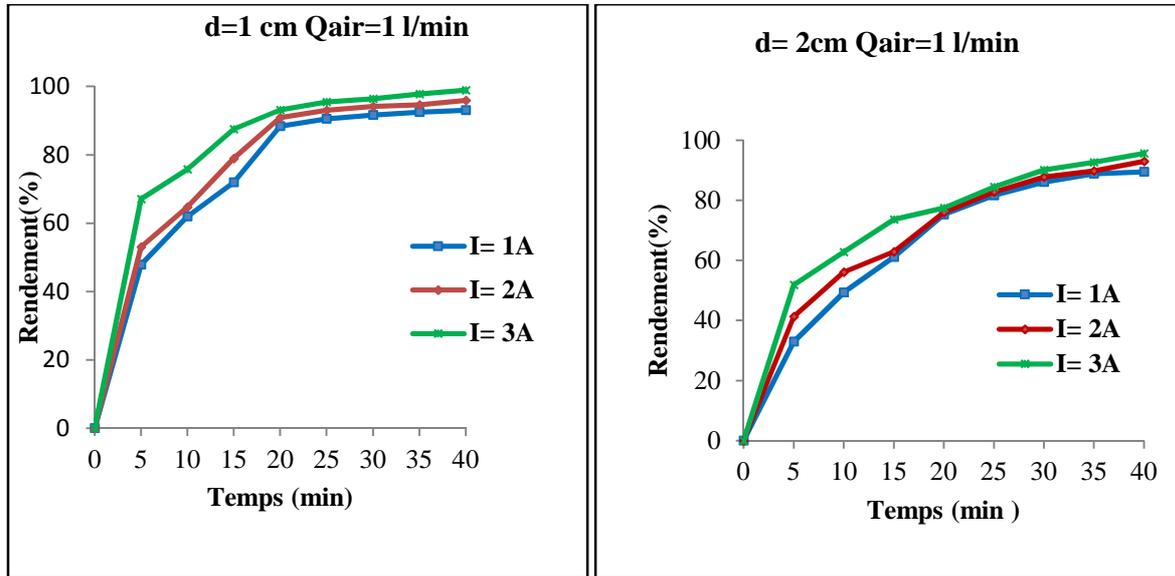
Pour l'effet de la distance sur l'efficacité de traitement en fonction de l'intensité du courant avec un débit d'air constant $Q_{\text{air}} = 1 \text{ l/min}$ (figure IV-4), on remarque que la distance inter-électrodes a un effet directe sur l'efficacité du procédé, et on enregistre une proportionnalité inverse entre la distance et le rendement, du fait que ce dernier augmente avec la diminution de la distance inter-électrodes.

Dans la figure (IV-5) qui représente l'effet de la distance sur l'élimination du polluant en fonction de l'intensité du courant et à un débit d'air de 2 l/min, on constate les mêmes remarques que les précédentes.

La figure (IV-6) montre que l'efficacité d'élimination du colorant bleu d'indanthrène RS est avec la diminution de la distance, confirmant ainsi l'hypothèse de proportionnalité inverse entre la distance et le rendement.

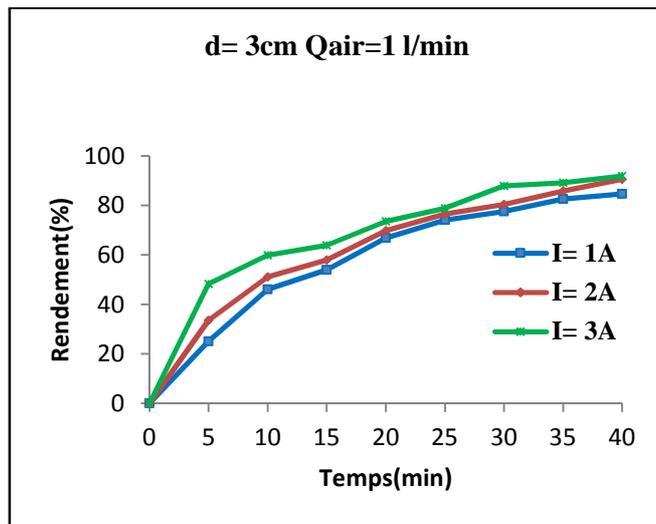
L'hypothèse qu'avec l'augmentation de la distance inter-électrodes, il y aurait peu d'interactions possibles des ions avec les polymères hydroxydes [5]. La distance optimale dans notre cas soit de **1cm** entre l'anode et la cathode. Cette distance (1cm) est celle qui est généralement recommandée par plusieurs auteurs [6,7].

VI-4. Effet de l'intensité du courant sur l'efficacité de traitement



(a)

(b)



(c)

Figure IV-7. Effet de la densité du courant sur l'efficacité de traitement

Pour Qair=1 l/min et d= (1, 2,3 cm)

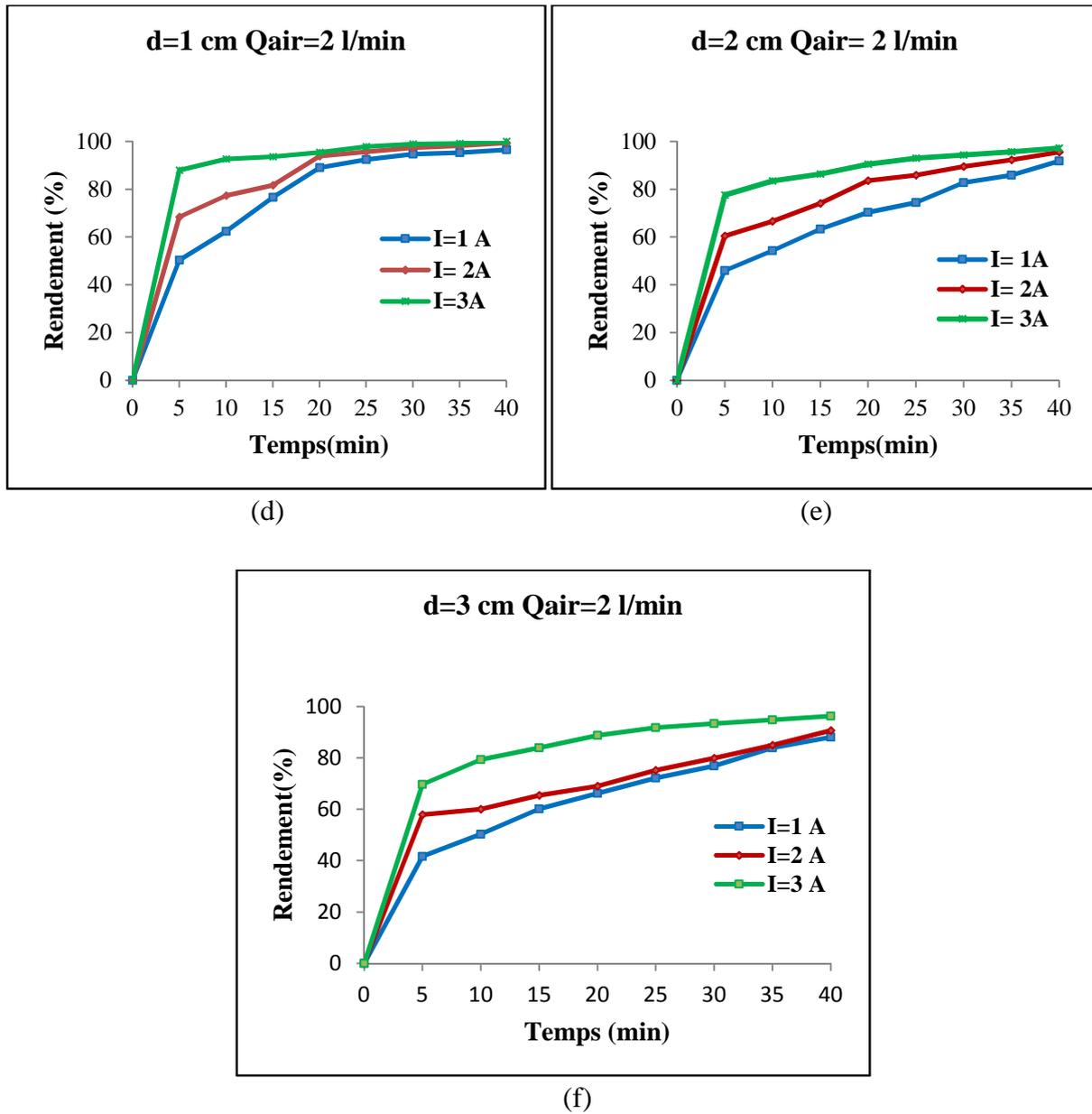


Figure IV-8. Effet de la densité du courant sur l'efficacité de traitement
 Pour Q_{air}=2 l/min et d= (1, 2,3 cm)

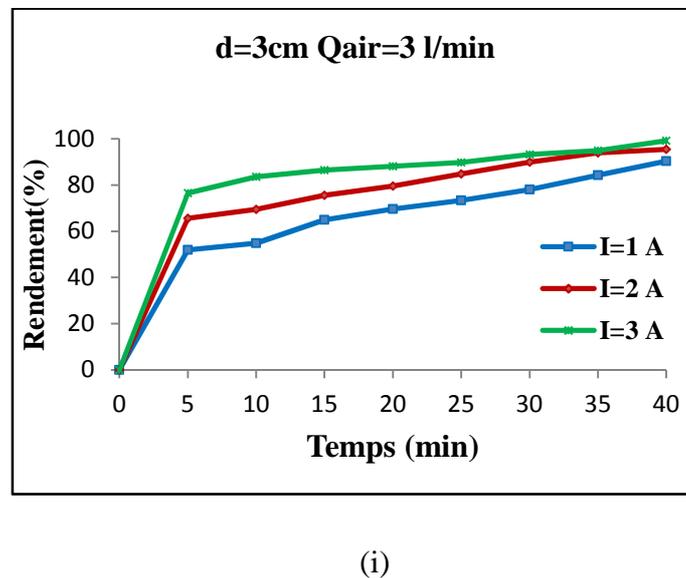
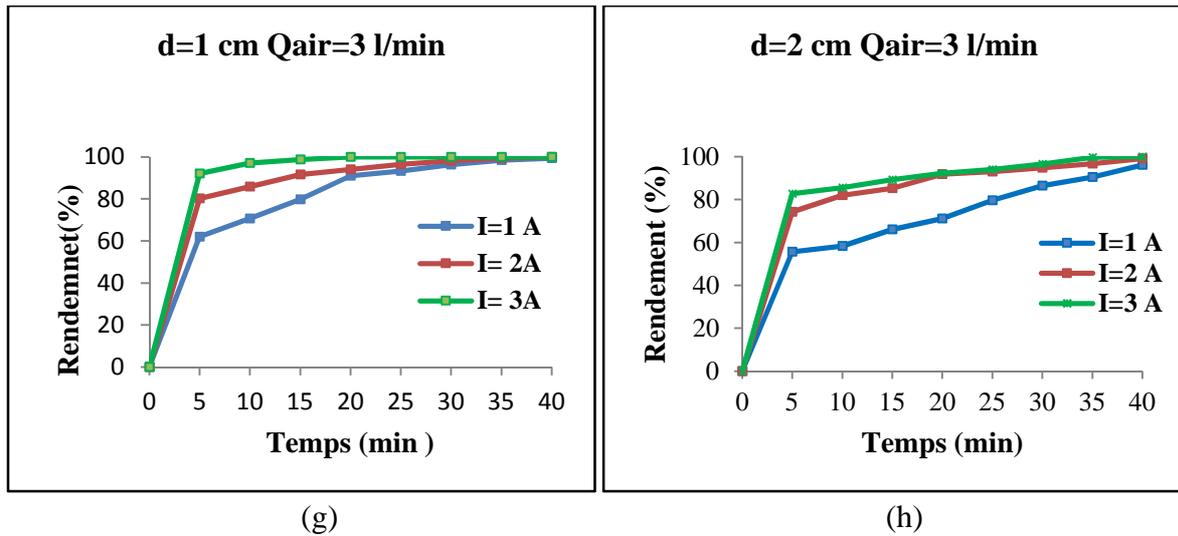


Figure IV-9. Effet de la densité du courant sur l'efficacité de traitement

Pour $Q_{air} = 3 \text{ l/min}$ et $d = (1, 2, 3 \text{ cm})$

Les figures IV-7, IV-8, IV-9, montrent l'efficacité d'élimination de la couleur en fonction de la valeur imposée de l'intensité du courant électrique.

L'allure des courbes montre que l'efficacité d'élimination du colorant croît avec l'augmentation de l'intensité du courant, cette proportionnalité est confirmée quelle que soit la distance inter-électrodes appliquée, et quel que soit le débit d'air injecté.

La densité du courant est considérée comme un paramètre essentiel en électroflottation-électrocoagulation [1,2] lorsque la densité du courant augmente, le temps de traitement diminue en raison de la forte dissolution des électrodes. Il en résulte donc

d'avantage de la déstabilisation des particules du polluant, par ailleurs le taux de production des bulles d'hydrogène augmente et leur taille diminue lorsque la densité du courant augmente. Tous ces effets sont bénéfiques pour l'élimination efficace du polluant par flottation [3]. En outre, de meilleures efficacités de collection des particules floculées pourraient être atteintes au cours de l'électroflottation [4].

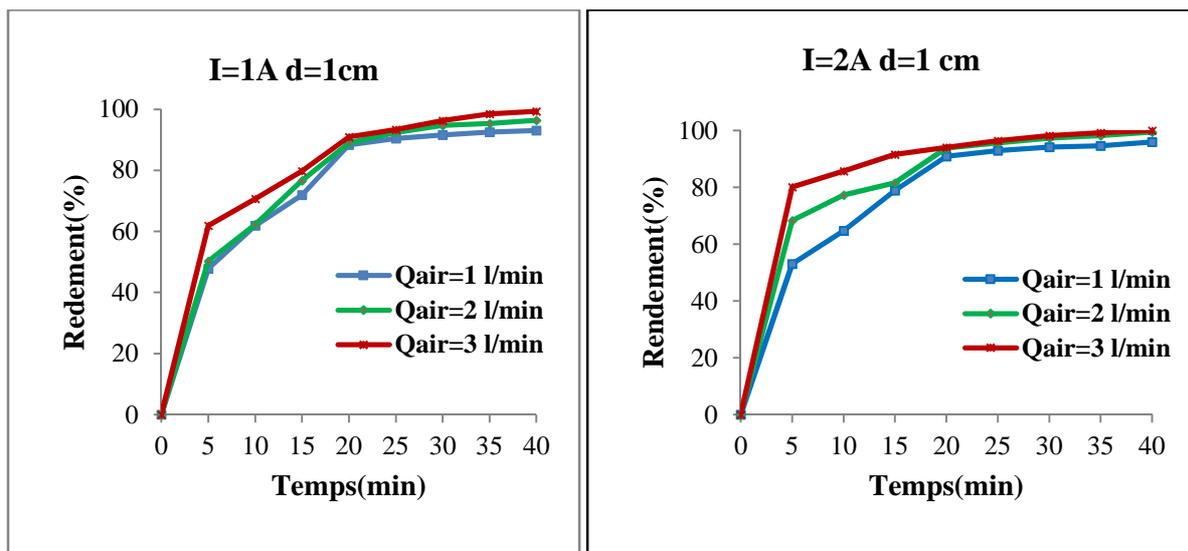
Du point de vue consommation :

Concernant surtout la consommation d'énergie mais aussi la consommation des électrodes, les meilleures conditions correspondent à une faible densité de courant et un temps d'électrolyse important $j=16.32\text{mA/cm}^2$ et $T_n=40\text{min}$.

Puisque la densité du courant affecte directement sur la consommation d'énergie et le coût de traitement, il est critique de déterminer et appliquer la valeur optimale de la densité du courant pour n'importe quelle application spécifique [9]. A cet effet, la valeur optimale de la densité est de $32,65\text{mA/cm}^2$ qui correspond à une intensité appliquée de 2A.

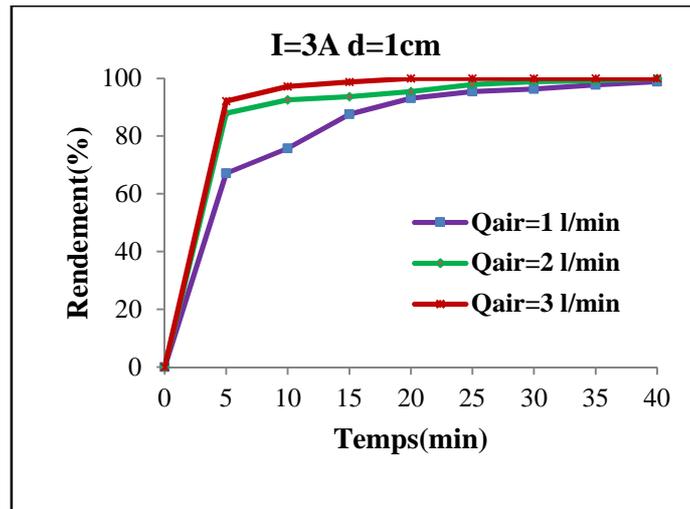
VI-5. Effet l'aération sur l'efficacité de traitement

Pour enrichir le milieu réactionnel en oxygène, un apport externe en ce dernier est assuré. Le débit d'air injecté est varié de 1 à 3 l/mn pour vérifier son effet sur l'efficacité du procédé.



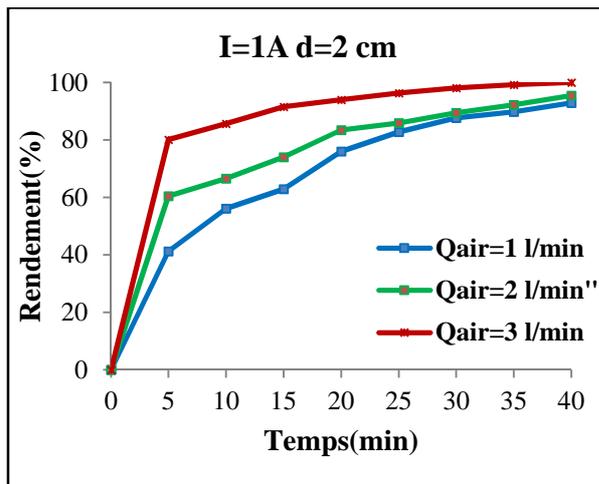
(a)

(b)

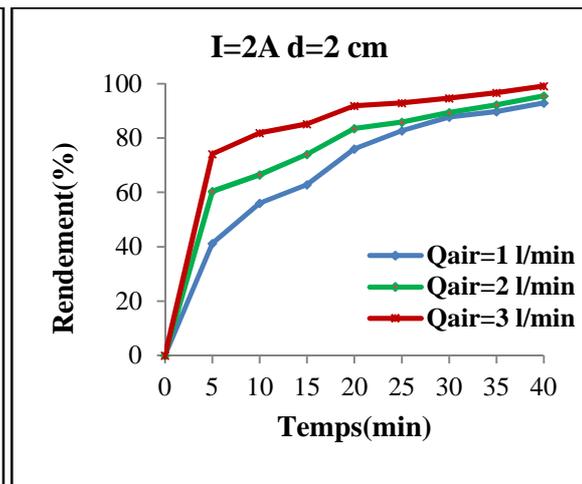


(c)

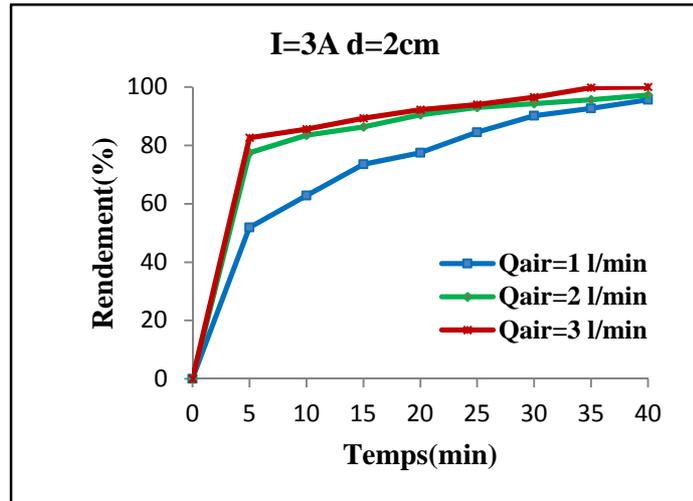
Figure IV-10. Effet de l'aération sur l'efficacité de traitement
Pour d=1 cm et I= (1,2 ,3 A).



(d)

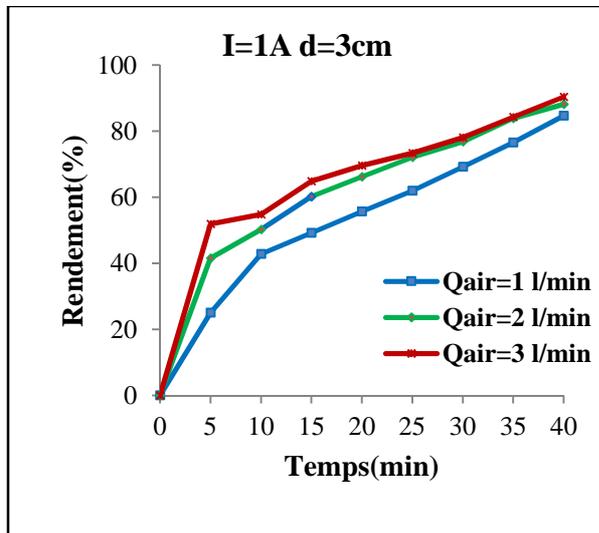


(e)

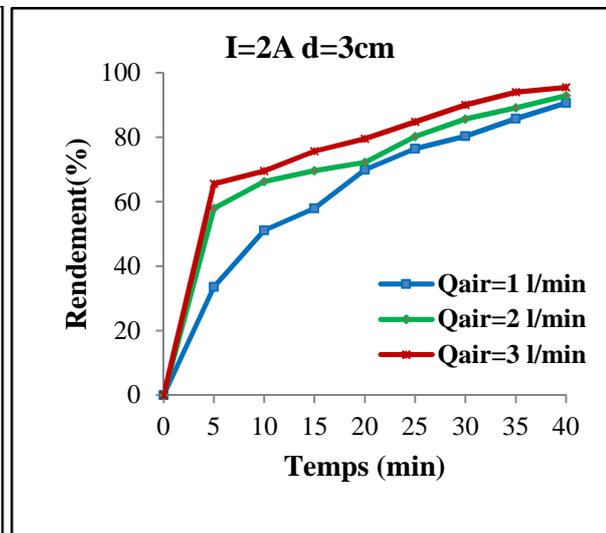


(f)

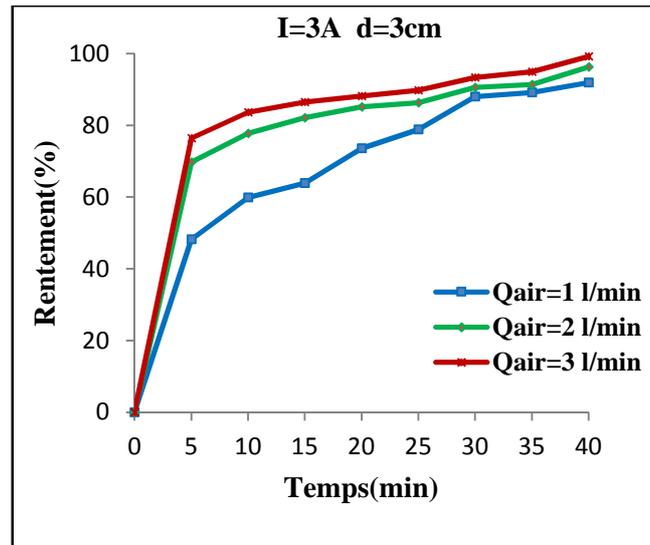
Figure IV-11. Effet de l'aération sur l'efficacité de traitement
 Pour d=2 cm et I= (1,2 ,3 A).



(g)



(h)



(i)

Figure IV-12. Effet de l'aération sur l'efficacité de traitement
Pour $d=3$ cm et $I= (1,2 ,3$ A).

Les figures (IV-10, IV-11, IV12) représentent l'influence de l'aération sur l'efficacité d'élimination du colorant en fonction des deux autres paramètres (intensité et distance inter-électrodes). En examinant ces courbes, on remarque une nette amélioration du rendement, qui va avec l'augmentation du débit d'air injecté dans la solution.

Conclusion

. En étudiant l'effet des trois paramètres, jugés important dans le traitement électrochimique, à savoir l'intensité du courant, la distance inter-électrodes et l'apport en oxygène. Des fortes proportionnalités entre ces paramètres et l'efficacité du procédé sont enregistrés. Cela se résume en une proportionnalité inverse entre la distance inter-électrodes et l'efficacité d'élimination du colorant, et une proportionnalité positive entre l'efficacité du procédé et les deux autres paramètres.

Le choix de la valeur optimale d'un paramètre étudié se base, sur la comparaison des rendements obtenus pour chaque niveau appliqué.

Si on compare tous les rendements de l'efficacité de décoloration avec la variation des trois paramètres à savoir le débit d'air Q_{air} , l'intensité I , et la distance d , on conclut que le rendement optimale pour l'efficacité d'élimination de polluant est proportionnelle à l'augmentation des deux paramètres (I et Q_{air}) et la diminution de la distance inter électrode.

En fin les optimaux des trois paramètres sont retenus, en se basant sur leur effet positif sur l'efficacité de traitement, leur coût, et en se référant aux travaux faits. Les valeurs optimales pour les trois paramètres étudiés sont respectivement, 1cm, 3 l/mn et 2 A pour la distance inter-électrodes, le débit d'air et l'intensité du courant.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail avait pour objectif l'étude de l'élimination d'un colorant Bleu d'indanthrène RS, présent dans les effluents des industries du textile par le procédé (électroflottation-électrocoagulation). L'étude de l'influence des trois paramètres, l'intensité du courant I , la distance inter-électrodes d et l'aération Q_{air} sur l'efficacité du traitement.

Au cours de cette étude, on a démontré que la dégradation du colorant par (électroflottation-électrocoagulation) est possible. Les résultats des essais réalisés, permettent de déduire que l'application du procédé (EF-EC) donne des rendements d'élimination des colorants très satisfaisants.

L'essai de la décoloration du Bleu d'indanthrène RS par (EF-EC) en présence des électrodes en aluminium a montré que :

L'augmentation de la densité du courant favorise l'augmentation du taux de la formation des bulles qui engendre la diminution de la taille de celle-ci.

L'effet de la densité du courant entraîne une réduction de temps nécessaire pour un meilleur traitement, cela est expliqué par une élimination des effluents plus importante à forte densité de courant avec un temps plus court.

Et la variation de la distance inter-électrode montre que :

Plus la distance est grande plus le temps nécessaire pour la dégradation est important, on a cité la distance optimale entre l'anode et la cathode, pour notre cas est égale à 1cm.

Et nous avons aussi varié des débits d'air sur l'efficacité du traitement, on a constaté que l'augmentation du débit d'air injecté améliore le taux d'élimination du colorant Bleu d'indanthrène RS.

les rendements de l'efficacité de décoloration avec la variation des trois paramètres à savoir le débit d'air Q_{air} , l'intensité I , et la distance d , on conclut que le rendement optimale pour l'efficacité d'élimination de polluant est proportionnelle à l'augmentation des deux paramètres (I et Q_{air}) et la diminution de la distance inter électrode.

BILBIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

1. **ALAIN. BOTTA, LAURENC. BELLON.**, (2001), Pollution de l'eau et santé humaine. Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale. Université Euro-Méditerranée TEHYS.
2. **AMIROUCHE .M, BARKAI C.S.**, (2007), Étude expérimentale pour l'épuration des eaux usées par électroflottation, mémoire de fin d'études, université de Bejaia.
3. **BARBERY G.**, (1981), Flottation : machines et circuits, Exploitation. Technique de l'ingénieur A 5360, p.1-16.
4. **BAYRAMOGLU .M, EYVAZ.M, KOBYA .M.**, (2007), treatment of the textile wastewater by electrocoagulation: evaluation, Chem. Eng .J. 128, 155-161.
5. **BECHAC .J.P BOUTIN P, MERCIER .B. & NUER P.**, (1984), Traitement des eaux usées. PP : 6-7.
6. **BECK .E.C, GIANNINI .A.O, et RAMIREZ .E.R.**, (1974), Électrocoagulation clarifies food wastewater, Food. Techno, 28, (2), 18-22.
7. **BENAISSA. Akila.**,(2010), Étude de la dégradation photocatalytique d'un colorant synthétique et d'un tensioactif. Thèse Doctorat, Université de Constantine.
8. **BENSAID.JALILA.**,(2009),Contribution à dépollution des eaux usée par électrocoagulation et par adsorption sur des hydroxydes d'aluminium, thèse de doctorat d'état. Université Mohammed V AGDAL, Rabat.
9. **BELEGALD.J.**,(1987),Les colorants industriels, Encyclopédie médico-chirurgicale pathologie du travail, intoxications maladies par agents physiques 16082 à paris. Edition techniques ; pp 5.
- 10.**BERNIE .F et CORDONNIER.J.**, (1991), Traitement des eaux. TCHNIP. France.
- 11.**BURUS .S. E, YIACOUMI. S and TSOUNS .C.**, (1997), Microbubble generation for environmental and industrial separations. Sup parif .Techol. 11. 221-232.
- 12.**CAMILLERI C.**, (1985), Electroflottation et flotational'airdisous, Industrie Minéral. *Les Techniques*, 67: 25–30.
- 13.**COMMINELLIS.C.H.**,(1994), Electrocatalysis in the electrochemical conversion /combustion of organic pollutants for waste water treatment. *Electrochim. Acta*, 39; 1857–1862.
- 14.**CAROLYNE BOURASSA.**, (2000), Étude de l'influence de la technologie des microparticules Avec les zéolites sur le traitement d'une eau usée désencrage Mémoire fin études, Université du Québec à Trois-Rivières.
- 15.**CHEN G** (2004), Electrochemical technology in wastewater treatment, Sep purify Techno 38.1, 11-41.
- 16.**CHEN L, LAI, SCHENG.H, LIN.**, (2003), Electrocoagulation of chemical mechanical polishing (CMP) wastewater from semiconductor fabrication. Chemical Engineering Journal, 205-211.

17. **DANESHVAR .N, ASHSSI-SORKHABLI.H, TIZPAR.A.,** (2003), Decolorization of orange II by electrocoagulation method. *Separation and purification technique* 31,153-162.
18. **DULUCQ SANDRA, LANCON BRIGITTE.,** (2004), Oxydation des effluents de l'industrie textile, vol.14, N^o. 15, pp. 4-12.
19. **FAROOQUL.M.S.,**(2004), Combined electrooxidation and electrocoagulation processes for the treatment of municipal wastewater. Master of Science Degree; King Fahd University of petroleum et Minerals Dhahran, Saudi Arabia.
20. **GAUJONS D.,** (1995). La pollution des milieux aquatiques : Aide mémoire. 2^{ème} édition Lavoisier TEC & DOC. 275P.
21. **GOLDER. A.K, HRIDAYA. N, SAMANTA A.N, RAY S.,**(2005), Electrocoagulation of méthylène bleu and eosin yellowish using mild steel electrodes, *journal of Hazardous Materials*, 134-140.
22. **Guide colorant indanthrène Tome1,** BASF avtiengesellschaft D-6700 Ludwigshafen, République Fédéral l'Allemagne. (document ALFDADITEX Remila, Bejaia)
23. **HOLT .P, BARTON.G.W ,MICHELL .C.A.,**(2005), the future electro coagulation as a localized water treatment technology. *Chemospheree*, 355-367.
24. **HOSNY.A.Y,**(1996), Separation oil form oil-water emulsions using an electroflotation cell with insoluble electrodes. *Filtration Sep, Journal* 29(5), 419-423.
25. http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=sp%C3%A9cial:livre&bookend=download&collection_id=Fd7a1d4cd471a.
26. <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=special:livre&bookcmd=renderingreturn=spectrometer>.
27. http://fr.wikipedia.org/wiki/Agitateur_industriel
28. [h.ttp://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/centrifugation/centrifugation.html](http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/centrifugation/centrifugation.html)
29. **IL'IN V.I, KOLESNIKOV. V.A, and PARSHINA .Yu.I,** (2002). Purification of highly concentrated industrial sewage from the porcelain and faience industry by the electric flotation method. *Glass Céram.,* 59 : 242–244.
30. **JIANTUAN G.E, JIUHUI Q.U, PENGJU L.E.I and HUIJUAN LIU** (2004). New bipolar electrocoagulation– electroflotation process for the treatment of laundry wastewater. *Sep. Purif. Technol.,* 36, 33–39.
31. **KHOSLA.N.K, VENKATACHALAM S, and SOMASUUNDRA. P.,** (1991) pulsed electrogeneration of bubbles for electroflotation. *J.App.Electrochem.*21, 986-990.
32. **KIM T.H, PARK C, SHIN E.B, KIM S.,** (2002).Decolorization of disperses and reactive dyes continuants electrocoagulation process. *Desalination* 150, 165-175.

- 33.KOBYA.M, CAN O.T, BAYRAMOGLU M.,** (2003), treatment of textile wastewater by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes, *Journal Hazard Mater* 100. 163-178.
- 34.KOLESNIKOV V.A, IL'IN V.I, VARAKSIN. S.O. and SHATUROV. V.T.,** (1996). Electroflotation method and equipment for removing metals and organic contaminants from waste waters. *Russ. J. Heavy Mach.*, 1: 37–38.
- 35.KUHN A.T.,**(1971). Electrolytic decomposition of cyanides, phenols and thiocyanates in effluents streams a literature review. *J. Appl. Chem. Biotechnol.*, 21; 29–34.
- 36.LAID Nassima** (2010), Dégradation photocatalytique de Mordant Bleu 13 en milieu hétérogène, mémoire de magister, université de Constantine.
- 37.MAMERI .N, YEDDOU .A.R, LOUNIC.I, BELHOCINE. D , GRIB .H, and BARIOU .D,** (1998), Defluoridation of septentheriorial Sahara water of north Africa by electrocoagulation process using bipolar aluminum electrodes, *Wat. Res* 1604-1612, 32, 5.
- 38.MATTESSON M.J , DOBSON R.L , GLENN R.W , KUKUNOOR JR.N.S , WALTS W.H, CLAYFIELD M.E.J.,** (1995) , Electrocoagulation and separation of aqueuse suspension of ultrafine particules , *Colloide Surf .A aspects* . 104, 101-109.
- 39.MERZOUK B., MADANI KH & SEKKI A.,** (2010), Using electrocoagulation–electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies. *Desalination*, 250; 573–577.
- 40.MERZOUK B,** (2003). Étude expérimentale pour la clarification des eaux usées par électroflottation". Mémoire de Magister, Université de Bejaia, Algérie
- 41.MIQUEL. J** (1977) Épuration électrolytique des eaux résiduaires industrielles .*Technique Moderne*, 1, 31-33.
- 42.MOLLAH M.Y.A, MOKROVSKY.M, GOMES J.A.G, KESMEZ M, PAGA J, COCKED.L.,**(2004) Fundamentals , present and future perspectives of electrocoagulation , *J. Hazard . Mater. B* 114, 199-201.
- 43.MOLLAH. M.Y.A, SCHENNACH .R, PARGA J.R, COCKE D.L.,** (2001), Electrocoagulation (EC) science and application. *Journal Hazard Mater.* 84, 29-41.
- 44.OUBAGHA Noura** (2012), Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétiques. Mémoire de Magister. université de Tizi Ouzou.
- 45.PATERMARAKIS.G and FOUNTOUKIDIS. E.,** (1990). Disinfection of water by electrochemical treatment. *Wat. Res.*, 12; 1491-1496.
- 46.PESIN. F, RUMEAU .M.,** (1989). Le Traitement Électrochimique des Eaux et des Effluents, *Tribune de l'eau* 3, 45-56.
- 47.POUET M.F** (1994) , traitement physico-chimiques associés à une microfiltration d'eau usée urbaine. Thèse de doctorat – université de Montpellier.
- 48.RODIER J.,** (1999) Analyse de l'eau: eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer, Analyses physico-chimiques, bactériologiques. 8^{ème} édition, Dunod.

- 49.SAIDI Fatima Zahra.,**(2013), Élimination de bleu Méthylène par des procédés d'oxydation avancée. mémoire de magister, univ de Tlemcen, p11.
- 50.THOMAS O.,** 1995. Météorologie des eaux résiduaires. Editions CEBEDOC.PP : 53-56.
- 51.TOURBIN. Mallorie, LACHAIZE Sébastien Pascal, GUIRAUD,**
(2012) .Nanoparticules polluant les milieux liquides : quels procédés pour les éliminer ?
Techniques de l'ingénieur l'expertise technique et scientifique de référence réf 215.
- 52.WASSON J.G.,** (2000). Impacts écologiques de la chenalisation des rivières (gestion des milieux aquatiques). Édition Cemagref.P35.
- 53.YANG M .LU.,** (2007) electrochemical coagulation for oily water demulsification, Seppurified Techno 54; 388-395.
- 54.ZEE F.P. V.,** (2002) anaerobic azo dye reduction. This de doctorat.Wageningen university, Pays-Bas.
- 55.ZHU .X, XU.X.,**(2004), treatment of refractory oily wastewater by electro coagulation process, Chemosphere 56. 889-894.
- 56.ZOLOTUKHIN I-A.,** (1988), Effect of built-in partitions and electrode systems on the operating efficiency of an electroflotation unit. KhimiyaTekhnologiyaVody, 10: 342–344
- 57.ZONGO-I.,** (2009), Étude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation application au traitement de deux effluents textiles et d'un effluent simulé de tannerie. Thèse Doctorat INPL ; École Doctorale RP2E, 224p.

ANNEXES

Aération (l/min)	Distance (cm)	Intensité (A)	Rendement (%) Pour 5 min	Rendement (%) Pour 20 min	Rendement (%) Pour 40 min
1	1	1	47.81	88.36	93.03
	1	2	53.07	90.88	95.89
	1	3	67.07	93.13	98.89
	2	1	32.37	64.10	89.45
	2	2	41.29	76.00	92.93
	2	3	51.85	77.44	95.63
	3	1	25.05	66.81	84.61
	3	2	33.58	69.85	90.58
	3	3	48.22	73.52	91.91
2	1	1	50.31	89.01	96.42
	1	2	68.35	93.86	99.40
	1	3	87.93	95.41	100
	2	1	45.97	70.35	91.72
	2	2	60.42	83.52	95.52
	2	3	77.51	90.45	97.25
	3	1	41.57	66.15	88.10
	3	2	57.91	68.96	90.66
	3	3	69.72	88.80	96.28
3	1	1	61.90	91.00	99.34
	1	2	80.18	94.10	100
	1	3	92.08	99.95	100
	2	1	55.68	71.15	96.14
	2	2	74.17	91.86	99.13
	2	3	82.66	92.27	100
	3	1	51.93	69.57	90.33
	3	2	65.54	79.54	95.42
	3	3	76.44	88.11	99.14

Tableau des Rendements et variations des trois paramètres en fonction du temps sur l'efficacité du traitement Bleu d'inanthrène RS



Résultat final du traitement



Dégradation du Bleu d'indanthrène RS

Résumé

Le traitement des effluents industriels par les méthodes conventionnelles ne permet pas minération totales des polluants contenus dans l'effluent qui sont la cause de la pollution et la contamination des eaux de la surface et souterraines, en conséquence de nouvelles technologies sont exigées pour remédier, ainsi que application de l'electroflottation-électrocoagulation pour l'élimination d'un colorant textile cas du Bleu d'Indanthrène RS ; les expérimentations sont menés au Laboratoire afin de déterminer l'effet et les interactions de ces paramètres.