الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie des Procédés

Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
De Master en Génie des Procédés

Option : Pollution Chimique Et Gestion Environnementale

THEME

Evaluation des performances d'electrocoagulation Appliquée à l'elimination de noir d'eriochrome T dans un réacteur Batch

Proposé et dirigé par,

Dr. M. TIR

Préparé et présenté par,

MEBROUKI Fatiha

BAIDA Ahlem

AnnéeUniversitaire 2014-2015

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous tenons à remercier ALLAH miséricordieux qui nous a donné la volonté, la force et la patience à achever ce travail

Nos remerciements à nos parents, pour leurs soutiens et leurs encouragements pendant toute la vie et qui continueront à nous aider dans tous les projets de l'avenir. Ainsi que tous les membres de nos familles

Nous remercions très sincèrement votre promoteur, ***Tir Mohamed,*** *pour son dévouement, ses conseils et ses critiques tout au long de l'élaboration de ce mémoire, un grand merci surtout pour les connaissances pratiques.*

Nous remercions également monsieur ***N.hadidi,*** *le chef du département de génie des procédés et environnement*

Nous remerciements également monsieur ***M.NEDJIOUI*** *et tous les enseignants de l'université de Dr. Yahia Fares qui ont participés à notre formation*

Nous adressons les plus chaleureux remerciements et toute gratitude à toutes nos amies de, pollution chimique et gestion environnementale

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin, à la réalisation de ce modeste travail.

DEDICACE

Au nom d'Allah qui nous a éclairé les chemins du savoir.

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chères parents, symbole de douceur, de tendresse et d'amour, qui ont sacrifie les meilleurs moments de leur vie pour mon bonheur .qu'ils trouvent ici l'expression de touts ma gratitude pour leur soutien et leur patience, tout au long de mes études
A ma très chère grand-mère.

A mes frères : Ahmed, Mohamed.

A Et mes sœurs : Malika, warda, Meryem albatoul,

A tout ma famille sans exception

A mes amis : Nabila, Samia, somia, Hassna, Hanen, Amina, Souad, Fadhila, Djamila, Maroua.yasmina.Anissa

Abdallah, Abdelkader, Ismail, amine, Oussama, Nabil, Amer.

A tous ceux qui m'ont aidé durant ma vie universitaire
A toute la promotion d'environnement 2014
A mon binôme toha.

AHLEM…

DEDICACE

Je dédie cet humble travail

A

***ALLAH** le tout puissant à qui je dois tout.*

***A ma très chère mère** qui m'a toujours apportée*

son amour et son affection

***A mon père** qui m'a toujours encouragée, conseillée et*

soutenue dans mon travail

***A mes frères** :Ismail, Mohamed et Ameur*

***A mes sœurs** :Nasira ,Mimi,Ghania*

***A ma petite frére** kamal*

***A toute la famille** Mebrouki et Rezigui*

***A tous mes amis de la promotion** 2010-2015*

***A toutes mes amies** :Samia,Nabila,Akila ,Somia,Amina,Hanane,Fadhila,Souad,Djamila*

,Hassnaa,Hadjer

Rahim ,Mohssen ,Hatem,Mohamed,Ahmed,Abd elkader,Ismail,Amine,Hicham

***A Mon binôme** Ahlem*

À

tous ceux qui me sont chères.

FATIHA …

Résumé :

Cette étude vise à vérifier l'efficacité des processus électrocoagulation dans le traitement de colorant azoïque (noir d'eriochrome) Méthode de l'électrocoagulation est l'une des technologies émergentes et respectueux de l'environnement, et pour atteindre cet objectif a étudier l'effet du pH, de la concentration de chlorure de sodium, le temps de traitement, la concentration de la solution, la température, l'intensité du courant.

Les résultats obtenus ont donné plus efficace dans le traitement de la couleur et selon les conditions de l'optimum :(ph=6-7, I=3A, [Nacl]=3g/l, [colorant] =100mg/l) permet d'atteindre des rendements de décoloration 96,64%

Mots clés : Colorant Azoïque, noir d'eriochrome, électrocoagulation.

Abstract :

This study aims to verify the effectiveness of electrocoagulation process in the treatment of azo dye (black eriochrome) method of electrocoagulation is one of the emerging technologies and environmentally friendly, and to achieve this goal has studied the the effect of pH, concentration of sodium chloride, the treatment time, concentration of the solution, temperature,current intensity. The results gave more effective in the treatment of color and the conditions of the optimum: (ph = 6-7, I = 3A, [NaCl] = 3 g / l, [dye] = 100mg / l) allows to achieve bleaching performance 96,64% .

Key words: Azo dye, black eriochrome, electrocoagulation,

ملخص

تهدف هذه الدراسة الي التحقق من فعالية عملية التخثير الكهربائي في معالجة صبغ أزوكي أسود الايريوكروم

طريقة التخثير الكهربائي هي احدى التكنولوجيات الناشئة و الصديقة للبيئة ,و لتحقيق هذا الهدف تمت دراسة تأثير درجة الحموضة ,تركيز كلوريد الصوديوم , زمن المعالجة,تركيز المحلول ,درجة الحرارة,شدة التيار و النتائج المحصل عليها أعطت فعالية أكثر في معالجة اللون و ذلك وفقا للشروط المثالية التالية

(pH=6-7, I=3A, [Nacl]=3g/l,[colorant] =100mg/l) مكنت من تحقيق مردودية تصل الى %96,64

الكامات الرئيسية: الأصبغة الأزوكية ,التخثير الكهربائي أسود الايريوكروم

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE		**1**
CHAPITRE I : Généralité Sur Les Colorants		
I.1	Introduction ……..	3
I.2	Généralités sur les colorants …….....	3
I.2. 1	Définition …….	3
I.2.2	Historique …….	3
I.2.3	Classification des colorants …….	5
I.2.3.1	Classification chimique ……	6
I.2.3.2	Classification tinctoriale ……..	9
I.3	Propriétés physiques et chimiques des colorants …….	13
I.4	Aspect toxicologique ……	13
I.4.1	Toxicité sur la santé humaine ……...	13
I.4.2	Toxicité sur les milieux aquatiques …….	14
I.5	Les dangers des rejets d'industrie de textile ……	14
I.5.1	Les dangers évidents ……	14
I.5.2	Les dangers à long terme …….	15
I.6	la pollution des eaux ……	16
I.7	Législation sur l'environnement ……..	17
I.8	Traitements des effluents colorés ……...	17
I.8.1	Méthodes biologiques …….	17
I.8.2	Méthodes physiques ……...	18
I.8.3	Méthode physico-chimique ……	19
I.8.4	Méthodes chimiques ……..	19
I.8.5	Méthodes électrochimiques ……	20
I.9	Conclusion ……..	22
CHAPITRE II : procédé d'électrocoagulation		
II.1	Introduction …….	23
II.2	Theorie d'electrocoagulation ……..	23
II.2.1	Principe d'électrocoagulation …….	23

II.2.2	Les réactions aux électrodes ……	24
II.2.3	Les différents types d'électrodes et connections électriques ……..	25
II.2.3.1	Electrodes mono-polaires ……	25
II.2.3.2	Électrodes bipolaires ……	27
II.2.4	Principales lois réagissant le procédé d'électrocoagulation ……	28
II.2.5	Avantage et inconvénient du procède d'EC ……	29
II.2.6	Application d'électrocoagulation ……	30
II.3	Conclusion ……	31
CHAPITRE III : matériels et méthode expérimentale		
III-1	Introduction …….	32
III-2	Objectif ……	32
III-3	Matériels et produits ……	32
III-3-1	Matériel ……	32
III-3-2	Produits utilisés ……	33
III-4	Dispositif expérimental ……	34
III-5	Mode opératoire ……..	35
III-6	Méthode d'analyse ……..	35
III-6-1	pH mètre …….	35
III-6-2	Principe de la spectroscopie UV-visible …….	35
CHAPITRE IV : Résultats et discussions		
IV.1	Introduction …….	39
IV.2	Effet des paramètres opératoires …….	39
IV.2.1	Effet du pH initial ……	39
IV.2.2	Effet de l'intensité de courant …….	41
IV.2.3	Effet de la quantité de sel [NaCl] ……	43
IV.2.4	Effet de la concentration initial du colorant [EBT] …….	45
IV.2.5	Effet du temps d'électrocoagulation ……	47
IV.3	Conditions optimales de la décoloration de Noir d'eriochrome par Electrocoagulation ……	48
VI.4	Etude spectrophotometrique de NET ……..	48
VI.5	Etude de la cinétique de décoloration de NET ……	49

IV.5.1	Théorie cinétique d'électrocoagulation …….	49
IV.5.1.1	Modèle de pseudo-premier ordre (équation de Lagergren) ……..	50
IV.5.1.2	Modèle de pseudo- deuxième ordre ……..	51
IV.5.2	Cinétique d'adsorption ……..	51
IV.6	Etude économique du procède d'electrocoagulation de NET……	57
IV.6.1	Coût de l'opération de traitement de Noir d'Eriochrome T …….	58
IV.7	Conclusion ……	59
CONCLUSION GENERALE		60

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES COLORANTS

Figure I.1: les colorants azoïques ……06

Figure I.2 : Les colorants anthraquinoniques ……..07

Figure I.3 :les colorants triphénylméthanes ……07

Figure I.4 :les colorants indigoïdes ……08

Figure I.5 :les colorants xanthénes ……..08

Figure I.6 : les colorants phtalocyanines ……09

Figure I.7 : les colorants nitrés et nitrosés ……..09

Figure I.8 : les colorants développés ou azoïques insolubles ……10

Figure I.9 :les colorants de cuve ……11

Figure I.10 :les colorants directs ……12

Figure I.11: les colorants à mordants ……..12

Figure I.1 : Conséquences de la bioaccumulation après déversement de substances Toxiques dans un cours d'eau ……..14

CHAPITRE II : L'ÉLECTROCOAGULATION

Figure II.1 : Schéma de principe de l'électrocoagulation ……...24

Figure II.2 : Connexion mono polaire en parallèle ……26

Figure II.3 : Connexion mono polaire en série ……...27

Figure II.4 : Connexion bipolaire ……...27

CHAPITRE III : PROTOCOLE EXPERIMENTAL ET METHODE ANALYTIQUEP

Figure III.1 : photographie du dispositif expérimental d'électrocoagulation en mode mono-polaire ……...34

Figure III.2 : Spectrophotomètre SHIMADZU, UVmini-1240 ……..36

Figure III.3 : Spectre d'absorption d'acide Noir Eriochrome T (NET) dans le visible …….37

Figure III.4 : courbe d'étalonnage : variation de l'absorbance en fonction de la concentration en Noir d'Eriochrome ……...38

CHAPITRE IV : RESULTAT ET DESCUSSIONS

Figure IV. 1 : Effet du pH sur la concentration de la solution traitée ……40

Figure IV.2 : Effet du pH sur le rendement de dégradation de la solution traitée ..……41

Figure IV.3 :Effet de l'intensité de courant sur la concentration de la solution traitée ……..42

Figure IV.4 : Effet de l'intensité de courant sur le rendement de la solution traitée ……...43

Figure IV.5 : Effet de la quantité de NaCl sur la concentration de la solution traitée …….44

Figure IV.6 :Effet de la quantité de sel sur le rendement de la solution traitée ……..45

Figure IV.7 : Effet de la concentration de NET sur la concentration de la solution Traitée ……46

Figure IV.8 : Effet de la concentration de NET sur le rendement de décoloration de la solution traitée ……46

Figure IV.9 : Effet du temps d'électrolyse sur le rendement de décoloration de la solution traitée ……47

Figure IV.10 : Spectre UV-Visible de NET lors du traitement par électrocoagulation ……..49

Figure IV.11 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeur de pH en Modèle du pseudo- premier -ordre ……. ……52

Figure IV.12 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeur d'intensité de courant en Modèle du pseudo- premier –ordre ……52

Figure IV.13 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeurs de concentration de NaCl en Modèle du pseudo- premier –ordre …….53

Figure IV.14 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeurs de concentration de NET en Modèle du pseudo- premier -ordre ……..53

Figure IV.15 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeur de pH en modèle du pseudo- deuxième ordre ……..54

Figure IV.16 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeur d'intensité de courant en modèle du pseudo- deuxième ordre ……54

Figure IV.17 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeurs de concentration de NaCl en modèle du pseudo- deuxième ordre ……55

Figure IV.18 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeurs de concentration de NET en modèle du pseudo- deuxième ordre …….55

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES COLORANTS

Tableau I.1 : Principaux groupements chromophores et auxochromes, Classés par intensité croissante.....05

Tableau I.2 : Norme Algérienne (N06-141) des rejets d'effluents d'industrie textile.....16

Tableau I. 3 : Comparaison des technologies de dépollution des effluents textiles en fonction des avantages et inconvénients.....21

CHAPIRE III : PROTOCOLE EXPERIMENTAL ET METHODE ANALYTIQUE

Tableau III.1: Caractéristiques physico-chimiques de Noir Eriochrome T (NET).....33

Tableau III.2 : Absorbance à 524 nm en fonction de la concentration de noir ériochrome…37

CHAPITRE IV : RESULTAT ET DESCUSSIONS

Tableau IV .1 : les Conditions optimales ……...48

Tableau IV.2 : Paramètres caractérisant la cinétique d'adsorption de Noir d'Eriochrome sur les flocs d'hydroxyde de fer ……..56

Tableau IV.3 : Paramètres évalués pour le procédé d'électrocoagulation …….....58

LISTE D'ABREVIATION

NET	Noir Eriochrome T
SPC	Sous produits de chloration
THM	trihalométhanes
DBO5	Demande Biochimique en Oxygène après 5 jours (mg/l)
DCO	Demande Chimique en Oxygène (mg/l)
pH	Potentiel hydrogéne.
EC	électrocoagulation
R_F	rendement faradique
$R_{T,}$	rendement des tensions
R_E	rendement énergétique
ECM	électrocoagulation en mode mono polaire
UV	ultra violet visible .
λmax	longueur d'onde maximale
E	Energie électrique à traiter
RD	Rendement de décoloration
M	la masse de l'électrode dissoute
C_0	concentration initiale
C_t	la concentration de colorant à l' instant
R^2.	coefficient de régression linéaire
K_1	la constante de vitesse de l'équation de pseudo- premier ordre
K_2	la constante de vitesse de l'équation de pseudo-second ordre
q_t	quantités adsorbées à l'instant
q_e	quantités adsorbées à l'équilibre

Introduction Générale

Introduction générale

L'utilisation des eaux engendre un nouveau produit appelé effluent ou eau usée. En effet les charges polluantes contenues dans ces eaux ont des origines diverses, leur rejet dans le milieu naturel est la principale pollution qui affecte nos cours d'eaux et plus généralement tout le milieu naturel.

Les colorants synthétiques occupent actuellement une place importante dans le secteur industriel. Ils sont largement utilisés dans l'industrie du papier, cosmétique, agroalimentaire et notamment dans l'industrie textile. De par leur charge polluante souvent importante, les colorants doivent subir un traitement d'épuration avant d'être rejetés vers le milieu naturel.

Le traitement des eaux colorées se spécialise principalement dans l'élimination des couleurs et matière organique dans ces eaux.

De nombreux procédés sont mis en œuvre. Parmi celles-ci, les techniques d'épuration électrochimiques, telles que l'électrocoagulation et l'électro flottation prennent de plus en plus d'importance.

L'électrocoagulation est une technique dérivée de la coagulation classique. Elle permet d'éliminer les particules colloïdales et la pollution dissoute grâce à la production in situ de flocs d'hydroxydes obtenus par dissolution anodique d'électrodes solubles (Fe, Al). Les flocs d'hydroxydes générés par voie électrochimique sont plus compacts que ceux obtenus par la méthode chimique.

L'application du procédé d'électrocoagulation à des solutions aqueuses de Noir d'Eriochrome a pour objectif d'optimiser les paramètres opératoires, régissant le phénomène de l'électrocoagulation et de quantifier leurs effets sur le processus en faisant ressortir les éléments techniques et économiques permettant de dimensionner convenablement le procédé d'électrocoagulation.

Ce travail est structuré en quatre chapitres. Le premier chapitre de ce mémoire sera consacré à une étude bibliographique sur les colorants de textile et leur impact environnemental, puis il sera présenté une synthèse bibliographique sur les méthodes de traitement des eaux usées contaminées par les colorants.

Le deuxième chapitre détaillera le procédé d'électrocoagulation: le principe, les avantages et les inconvénients et ses applications dans le traitement des effluents.

Dans le troisième chapitre, consacré aux techniques expérimentales, nous décrivons les méthodes expérimentales, le matériel et les réactifs employés, ainsi que les méthodes analytiques utilisées.

Le chapitre 4 sera consacré à l'étude de la décoloration de la solution aqueuse de Noir d'Eriochrome par électrocoagulation dans un réacteur batch.

L'influence de la densité de courant, du pH de la solution, de la quantité de sel et la concentration de colorant seront étudiés. Ce chapitre sera clôturé par une étude économique en vue d'évalué le cout du procédé.

Une conclusion générale qui regroupe les résultats obtenus sera présentée à la fin de ce mémoire.

SYNTHES BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I

Généralités sur les colorants

I.1. INTRODUCTION

Les colorants synthétiques représentent un groupe relativement large de composés chimiques organiques rencontrés dans pratiquement toutes les sphères de notre vie quotidienne.La production mondiale est estimée à 700 000 tonnes/ an, dont 140 000 sont rejetéesdans les effluents au cours des différentes étapes d'application et de confection [1,2]. Cesrejets, composés de surfactants, composés biocides, suspensions solides, agents de dispersionet de mouillage, colorants et métaux traces, sont toxiques pour la plupart des organismesvivants. L'hétérogénéité de leur composition rend difficile voire quasiment impossiblel'obtention de seuils de pollution inférieurs ou égaux à ceux imposés par les normesenvironnementales, après traitement par les techniques traditionnelles. Dans ce chapitre nousavons dans un premier temps rappelé les grandes familles chimiques de colorants et lestechniques de dépollution des rejets contenant des colorants.

I.2. GENERALITES SUR LES COLORANTS

I.2. 1.Définition

Un colorant est défini comme étant un produit capable de teindre une substance d'unemanière durable. Il possède des groupements qui lui confèrent la couleur: appeléschromophores et des groupements qui permettent sa fixation : appelés autochromes.

I.2.2. Historique

L'industrie des colorants synthétiques est née en 1856 quand le chimiste anglais Perkin, dans une tentative de synthèse de la quinine artificielle pour soigner la malaria, a obtenu la première matière colorante synthétique qu'il appela "mauve" (aniline, colorant basique). Perkin a breveté son invention et a installé une chaîne de production, qui serait bientôt suivie par d'autres. De nouveaux colorants synthétiques commencent à paraître sur le marché. Ce processus a été stimulé par la découverte de la structure moléculaire du benzène en 1865 par Kékulé.

Les premiers colorants synthétiques datent du milieu 19^{éme} siècle, l'évolution del'industrie des colorants a été étroitement liée au développement de la teinture synthétique etde la chimie en générale.Un colorant proprement dit est une substance qui possède deux propriété spécifiqueindépendant l'un de l'autre, la couleur est l'aptitude à être fixée sur un support tel qu'untextile [3]. L'industrie des colorants constitue un marché économique considérable car denombreux produits industriels peuvent être colorés principalement [4] :

1- dans l'industrie textile fourrure, cuire (textiles à usage, vestimentaire, de décoration dubâtiment du transport textiles usage médical...).
2- dans l'industrie des matières plastiques (pigments).
3- dans l'industrie des bâtiments : peinture (pigments) matériaux de construction et lescéramique …).
4- dans l'imprimerie (encre, papier).
5- dans l'industrie pharmaceutique (colorants).
6- dans l'industrie cosmétique (dont les colorants capillaire).
7- dans l'industrie agroalimentaire (colorants et additifs alimentaires…) .

La teinture des textiles à été effectuée depuis les temps les plus reculés. Onemployait alors uniquement des colorants naturels, mais ces composes ont été presquetotalement remplacés par des colorants de synthèse [5]. Une teinture consiste à faire absorber,diffuser des colorants dans les fibres textiles, puis ensuite à les fixer à l'intérieure de celle-ci[6]. Les matières colorantes ce caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnentlumineux dans le spectre (380 à 800). La transformation de la lumière blanche en lumièrecolorée par réflexion sur en corps, ou par transmission ou diffusion, résulte de l'absorptionsélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés chromophores.la molécule qui lescontient devient chromogène et celle-ci n'a des possibilités tinctoriales que par l'adjonctiond'autres groupement d'atomes appelés : autochromes [6].

Plus le groupement chromophore donne facilement un électron, plus la couleur est intense. Les principaux groupeschromophores et auxochromes sont donnés dans le tableau (I.1). Les chromophores sont dessystèmes à liaisons π conjuguées ou des complexes de métaux de transition, les colorants diffèrent les une des autres par des combinaisons d'orbitales moléculaires. La colorationcorrespond aux transitions possibles après absorption du rayonnement lumineux entre cesniveaux d'énergie propres à chaque molécule [7].

Tableau I.1: Principaux groupements chromophores et auxochromes, Classés par intensité croissante [8].

Groupements chromophores	Groupements auxochromes
Azo (-N=N)	Amino ($-NH_2$)
Nitroso (-NO ou –N-OH)	Méthylamino ($-NHCH_3$)
Carbonyl (-C=O)	Diméthylamino ($-N(CH_3)_2$)
Vinyl (-C=C-)	Hydroxyl (-HO)
Nitro ($-NO_2$ ou =NO-OH)	Alkoxyl (-HO)
Sulphure (> C=S)	Groupements donneurs d'électrons

I.2.3. Classification des colorants

Le premier colorant synthétique, la mauvéine a été obtenue par Perkin en 1856. Il a été utilisé sur la soie et le coton. Suivant cet exemple, beaucoup d'autres colorants ont été synthétisés et ont d'abord été désignés par des noms de plantes (Amarante, fuchsine, garance, mauvéine etc.…), par des noms de minerais (vert de malachite, auramine etc. …) puis finalement, selon leur structure chimique (bleu de méthylène, violet de méthylène etc.…).

Actuellement, les colorants sont répertoriés par leur couleur, par leur marque commerciale, par leur procédé d'application et par un code les caractérisant. Ce code est composé de chiffres et de lettres comme par exemple B=bleuâtre, R= rougeâtre, Y ou G ou J=Jaunâtre. Cette classification existe en détail dans la colour index. Outre cela, les colorants qui sont particulièrement utilisés dans le textile, sont classés sous un nom de code indiquant leur classe, leur nuance ainsi qu'un numéro d'ordre (par exemple C.I. acid yellow1). D'une manière générale, la classification des colorants peut être faite aussi sur la base de leur constitution chimique (colorants azoïques, anthraquinoniques, triaziniques …) ou sur la base du domaine d'application. Pour ce dernier point, elle est liée directement à l'intérêt porté par le fabricant pour les matières colorantes. Dans cette étude, nous exposerons les colorants utilisés dans le textile et l'alimentation [9-10].

I.2.3.1. Classification chimique

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore (tableau I.1) les classes chimiques les plus utilisées dans les colorants azoïques, puis les colorants anthraquinoniques et les phtalocyanines [4].

- ***Les colorants azoïques***

Les colorants azoïques sont caractérisés par la présence au sein de la molécule d'ungroupement azoïque (-N=N-) reliant deux noyaux benzéniques.

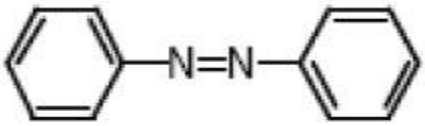


Figure I.1: les colorants azoïques

Cette catégorie de colorant est actuellement la plus répandue sur le plan del'application, puisqu'ils représentent plus de 50% de la production mondiale de matièrescolorantes [11 ,12].

Les colorants azoïques se répartissent en plusieurs catégories: les colorants basiques,acides, directs et réactifs solubles dans l'eau, et les azoïques dispersés et à mordant nonioniquesinsolubles dans l'eau. Il est estimé que 10 à 15 % des quantités initiales sont perduesdurant les procédures de teinture et sont évacués sans traitement préalable dans les effluents[12]. Or ces composés organiques cancérigènes sont réfractaires aux procédés de traitementshabituellement mis en œuvre et sont très résistants à la biodégradation [13].

- ***Les colorants anthraquinoniques***

Les colorants anthraquinoniques sont d'un point de vue commercial les plus importantsaprès les colorants azoïques, leur formule générale dérivée de l'anthracène, montre que lechromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupeshydroxyles ou amino. Ces produits sont utilisés pour la coloration des fibres polyester, acétateet triacétate de cellulose.

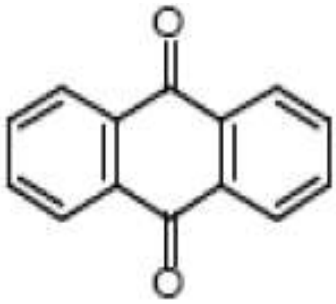


Figure I.2 : Les colorants anthraquinoniques

- ***Les colorants triphénylméthanes***

Les colorants triphénylméthanes dérivent du triphénylméthane, qui est un hydrocarburepossédant trois cycles phényle liés à un carbone central. On retrouve cette structure de basedans un grand nombre de composés organiques colorés.

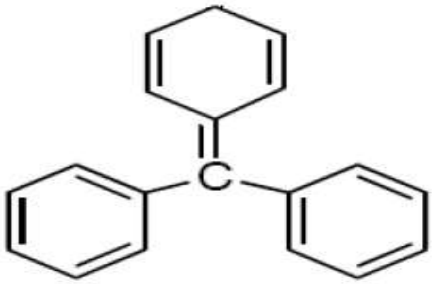


Figure I.3 :les colorants triphénylméthanes

Les colorants triphénylméthanes et leurs dérivés hétérocycliques constituent la plusancienne classe de colorants synthétiques. Actuellement bien moins importants que lescolorants azoïques et anthraquinoniques, ils ont conservé une certaine valeur commerciale, carils permettent de couvrir la totalité de la gamme de nuances. Les triphénylméthanes sont utilisés intensivement dans les industries papetières et textiles pour teindre le nylon, la laine,la soie et le coton. Leur utilisation ne se limite pas à l'industrie. On les retrouve égalementdans le domaine médical comme marqueur biologique et comme agent antifongique chez lespoissons et la volaille.

- ***Les colorants indigoïdes***

Les colorants indigoïdes tirent leur appellation de l'indigo dont ils dérivent. Ainsi, leshomologues séléniés, soufrés et oxygénés du bleu indigo provoquent d'importants

effetshypochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise. Les colorants indigoïdesSont utilisés comme colorant en textile, comme additifs en produits pharmaceutiques, laconfiserie, ainsi que dans des diagnostiques Médicales [14,15].

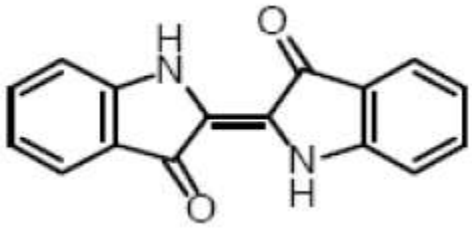


Figure I.4 :les colorants indigoïdes

- ***Les colorants xanthènes***

Les colorants xanthènes sont des composés qui constituent les dérivés de lafluorescéine halogénée. Ils sont dotés d'une intense fluorescence.

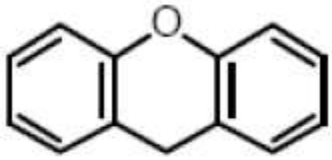


Figure I.5 :les colorants xanthénes

Leur propriété de marqueurs lors d'accident maritime ou de traceurs d'écoulementpour des rivières souterraines est malgré tout bien établie. Ils sont aussi utilisés commecolorant en alimentaire, cosmétique, textile et impression [16 ,17].

- ***Les phtalocyanines***

Ils ont une structure complexe basée sur l'atome central de cuivre. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.).

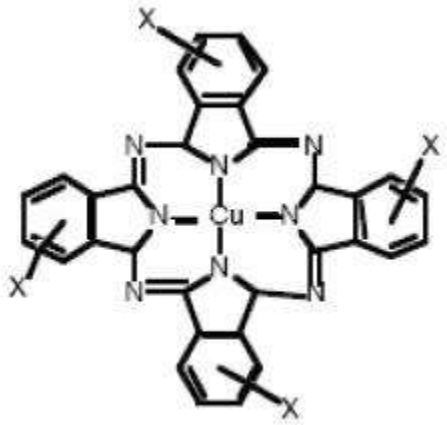


Figure I.6 : les colorants phtalocyanines

- ***Les colorants nitrés et nitrosés***

Les colorants nitrés et nitrosés forment une classe de colorants très limitée en nombreet relativement ancienne.

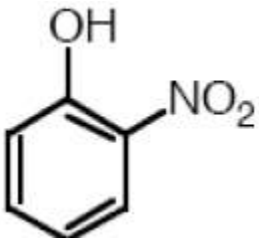


Figure I.7 : les colorants nitrés et nitrosés

Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicitéde leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe nitro (-NO2) en positionortho d'un groupement électro-donneur (hydroxyle ou groupes aminés).

I.2.3.2. Classification tinctoriale

Si la classification chimique présente un intérêt pour le fabricant de matièrescolorantes, le teinturier préfère le classement par domaines d'application. Ainsi, il estrenseigné sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diversesfibres et sur la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaisoncolorant/substrat est du type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente. Ondistingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes.

- ***Les colorants acides ou anioniques***

Solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonates ou carboxylates, ils sont ainsidénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelquesfibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorantfibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et lesgroupements amino des fibres textiles.

- ***Les colorants basiques ou cationiques***

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

- ***Les colorants développés ou azoïques insolubles***

Les colorants développés ou azoïques insolubles sont formés directement sur la fibre.Au cours d'une première étape, le support textile est imprégné d'une solution de naphtol.

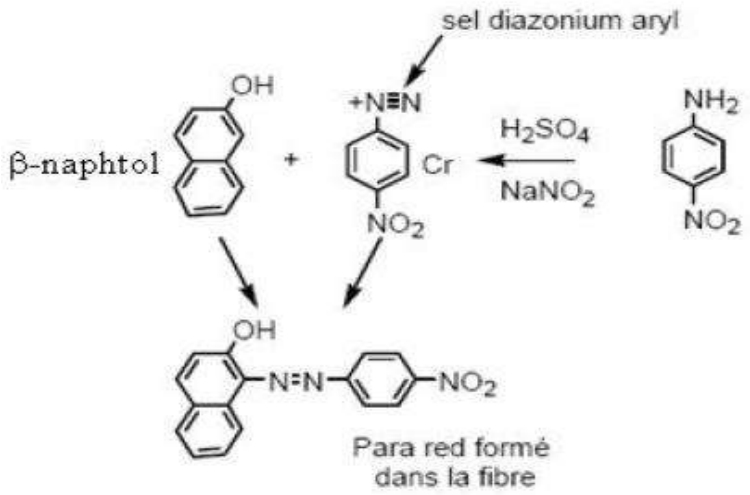


Figure I.8 : les colorants développés ou azoïques insolubles

Les précurseurs de la molécule suffisamment petits pour diffuser dans les pores et lesfibres sont ensuite traités avec une solution de sel de diazonium qui, par réaction decopulation entraîne le développement immédiat du colorant azoïque.

- ***Les colorants de cuve***

Les colorants de cuve sont insolubles et doivent être transformés en leucodérivés parréduction alcaline. La teinture se termine par la réoxydation in situ du colorant sous sa formeinsoluble initiale. Réputés pour leur bonne résistance aux agents de dégradation, les colorantsde cuve sont encore utilisés, à l'image de l'indigo pour la teinture des articles jean ou denim.

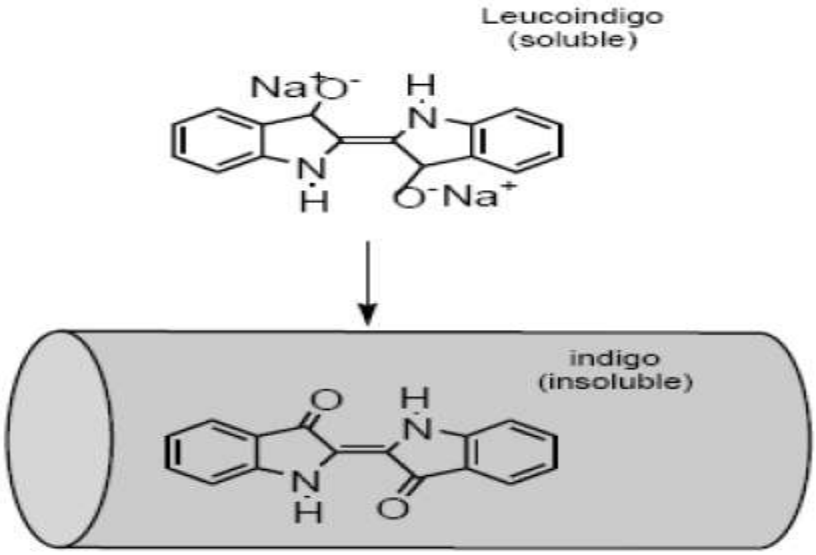


Figure I.9 :les colorants de cuve

- ***Les colorants réactifs***

Les colorants réactifs contiennent des groupes chromophores issus essentiellement desfamilles azoïques, anthraquinonique et phtalocyanine. Leur appellation est liée à la présenced'une fonction chimique réactive, de type triazinique ou vinylsulfone assurant la formationd'une liaison covalente forte avec les fibres. Solubles dans l'eau, ils entrent dans la teinture ducoton et éventuellement dans celle de la laine et des polyamides.

- ***Les colorants directs***

Les colorants directs contiennent ou sont capables de former des charges positives ounégatives électro-statiquement attirées par les charges des fibres. Ils se distinguent par leuraffinité pour les fibres cellulosiques sans application de mordant, liée à la structure plane deleur molécule.

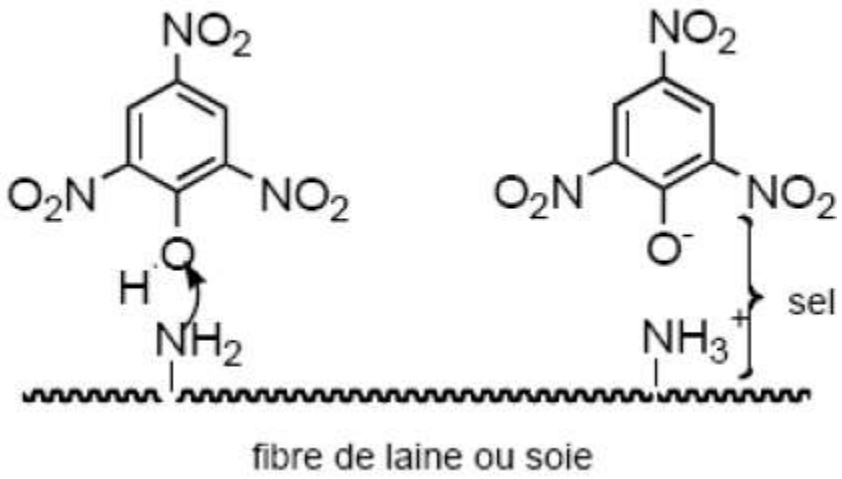


Figure I.10 :les colorants directs

- ***Les colorants à mordants***

Les colorants à mordants contiennent généralement un ligand fonctionnel capable deréagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de ferpour donner différents complexes colorés avec le textile.

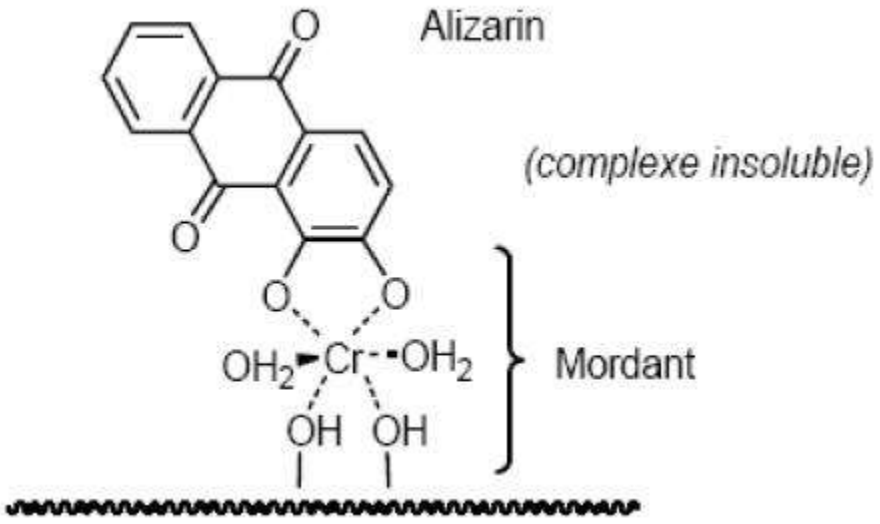


Figure I.11: les colorants à mordants

- ***Les colorants dispersés***

Les colorants dispersés sont très peu solubles dans l'eau et sont appliqués sous formed'une fine poudre dispersée dans le bain de teinture. Ils sont en mesure, lors d'une teinture àhaute température, de diffuser dans les fibres synthétiques puis de s'y fixer [2].

I.3. PROPRIETES PHYSIQUE ET CHIMIQUES DES COLORANTS

Un colorant doit posséder, autre sa couleur propre, la propriété de teinter. Cette propriété résultant d'une affinité particulière entre le colorant et la fibre. En effet, selon le type d'application et d'utilisation, les colorants synthétiques doivent répondre à un certain nombre de critère afin de prolonger la durée de vie des produits textiles sur lesquels ils appliqués :

- Résistance à l'abrasion.
- Stabilité photo-lytique.
- Résistance à l'oxydation chimique (notamment les détergents) et microbiennes.

Ces caractéristiques propres aux colorants organiques accroissent leur persistance dans l'environnement et les rendent peu disposés à la biodégradation [18].

I.4. ASPECT TOXICOLOGIQUE

Les colorants sont des composés difficilement biodégradables par les microorganismes, ils sont toxiques ou nocifs pour l'homme et l'environnement.

I.4.1. Toxicité sur la santé humaine

Plusieurs travaux de recherche sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont été développés. En effet, des chercheurs ont montré que les colorants aminés sont souvent aptes à provoquer des irritations de la peau et des dermites. Des effets similaires avec production d'eczéma et d'ulcération ont été observés chez les ouvriers d'usine de fabrication des colorants de la série du triphénylméthane.

Des réactions allergiques, asthme quelquefois et surtout des dermites eczémateuses ont été observés avec divers colorants aminés azoïques, anthraquinoniques, ainsi qu'avec certains colorants du groupe des naphtalènes

Les colorants de synthèse à base d'amines entraînent des risques cancérogènes, des tumeurs urinaires et plus spécialement les tumeurs bénignes et malignes de la vessie [19].

En 1913, pour la première fois, on se rendit compte qu'il y avait une relation entre la production d'aniline et l'apparition de cancers de la vessie : ces maladies ont particulièrement touché les ouvriers allemands [20]. D'autres recherches ont signalé que la tartrazine développe un certain nombre de réactions adverses chez certains individus comme le purit, l'oedème, l'urticaire, l'asthme et la rhinite. Les colorants azoïques sont aussi responsables d'apparition de lépatomes chez l'homme [21].

I.4.2. Toxicité sur les milieux aquatiques

Un certain nombre de colorants présente un caractère toxique sur le milieu aquatique provoquant la destruction directe des communautés aquatiques [22].

Exemple : la fuchsine, en concentration supérieure à 1mg/l, exerce un effet de ralentissement sur l'activité vitale des algues [23].

Les rejets des usines de teinturerie et de textile sont à l'origine de diverses pollutions.

I.5. LES DANGERS DES REJETS D'INDUSTRIE DE TEXILE

Les rejets d'effluents chargés en colorants, dans l'écosystème est une source dramatique de pollution et de perturbation non esthétique dans la vie aquatique qui peut nuire considérablement aux espèces animales, végétales ainsi qu'aux divers microorganismes vivant dans ces eaux (figure I-1).

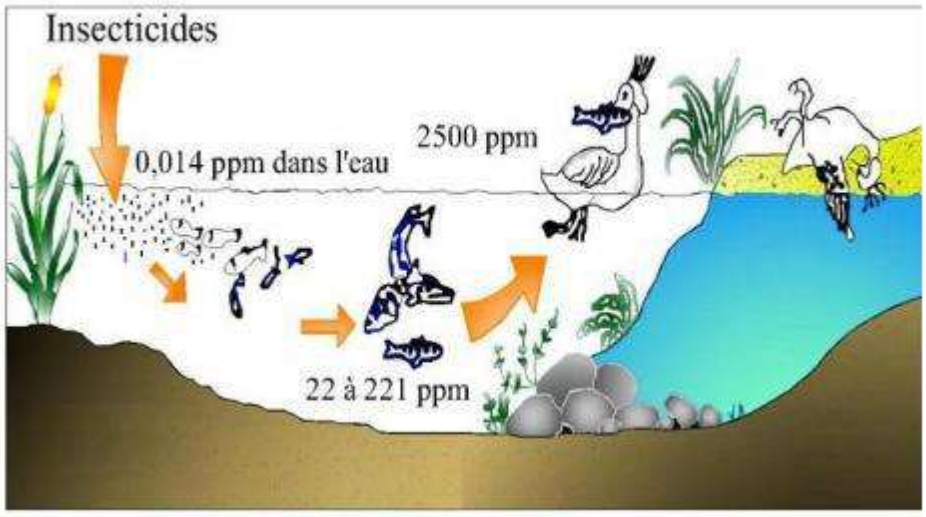


Figure I.12*: Conséquences de la bioaccumulation après déversement de substances Toxiques dans un cours d'eau.*

I.5.1. Les dangers évidents

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

- *Sous-oxygénation*: Lorsque des charges importantes de matière organique sont apportées au milieu via des rejets ponctuels les processus naturels de régulation ne peuvent plus compenser la consommation bactérienne d'oxygène. [20]. estime que la dégradation de 7 à 8 mg de matière organique par des micro-organismes suffit pour consommer l'oxygène contenu dans un litre d'eau.

- *Couleur, turbidité, odeur:* L'accumulation des matières organiques dans les cours d'eau induit l'apparition de mauvais goûts, prolifération bactérienne, odeurs pestilentielles et colorations anormales [21]. Ont évalué qu'une coloration pouvait être perçue par l'oeil humain à partir de 5.10-6g/L. En dehors de l'aspect inesthétique, les agents colorants ont la capacité d'interférer avec la transmission de la lumière dans l'eau, bloquant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques.

I.5.2 .Les dangers à long terme

- *La persistance:* Les colorants organiques synthétiques sont des composés impossibles épurés par dégradations biologiques naturelles [3].

Cette persistance est en étroite relation avec leur réactivité chimique:

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

- *Bioaccumulation*: Si un organisme ne dispose pas de mécanismes spécifiques, soit pour empêcher la résorption d'une substance, soit pour l'éliminer une fois qu'elle est absorbée, cette substance s'accumule. Les espèces qui se trouvent à l'extrémité supérieure de la chaîne alimentaire, y compris l'homme, se retrouvent exposées à des teneurs en substances toxiques pouvant être jusqu'à mille fois plus élevées que les concentrations initiales dans l'eau.
- *Cancer* : Si la plupart des colorants ne sont pas toxiques directement, une portion significative de leurs métabolites l'est [23]. Leurs effets mutagènes, tératogènes ou cancérigènes apparaissent après dégradation de la molécule initiale en sous-produits d'oxydation
- *Sous produits de chloration (SPC):* Le chlore utilisé pour éliminer les microorganismes pathogènes réagit avec la matière organique pour former des trihalométhanes (THM) pouvant atteindre plusieurs centaines de mg/L. Les SPC sont

responsables de développement de cancer du foie, des poumons, des reins et de la peau chez l'homme [24,25]. Telles que: L'augmentation de la DBO5 et la DCO, diminuant la capacité de ré aération des cours d'eau et retardant l'activité de photosynthèse.

I.6. LA POLLUTION DES EAUX

La contamination des eaux est un souci majeur pour la protection des écosystèmes et des ressources en eaux. Elle est l'objet de beaucoup d'études aussi bien au niveau des eaux superficielles que souterraines.

Les ressources en eau, sans être dans une situation dramatique, ne répondent pas aux exigences de santé actuelle. La contamination par tous les intrants peut être de différentes sortes selon l'eau et son emplacement.

Pour l'eau superficielle, elle peut être :

- Directe par une utilisation normale des produits phytosanitaires et autres produits utilisés dans la vie courante (lutte antiacridienne, utilisation des pesticides ou engrais dans l'agriculture, eaux usées, rejets industriels, . . . etc.).
- Indirecte par ruissellement ou transfert des produits, suite à leur épandage dans le milieu ou drainage des eaux usées.

Pour les eaux souterraines, elle peut être :

- Directe suite au rejet de produits ou des déchets dans la source.
- Indirecte, suite à l'utilisation normale des produits dans la vie et qui se trouvent lessives des sols vers les eaux souterraines [26].

Tableau I.2: *Norme Algérienne (N06-141) des rejets d'effluents d'industrie textile [27].*

Paramètres	**Unité**	**Valeur limite**	**Tolérance aux valeurs limites**
pH	-	6,5-8,5	6-9
DBO	mg/l	150	200
DCO	mg/l	250	300
Matière décantable	mg/l	0.4	0.5
Matière non dissoute	mg/l	30	40

oxydabilité	mg/l	100	120
permanganate	mg/l	20	25
Temperature	Cº	30	35

I.7.LEGISLATION SUR L'ENVIRONNEMENT

La législation sur les rejets d'eaux résiduaires devient de plus en plus stricte. L'ALGERIE est dotée d'une réglementation 06-104 sur les rejets d'effluents dans le milieu hydrique. Le tableau I. 2, précise les limites réglementaires de ces rejets pour les colorants de textiles.

I.8. TRAITEMENT DES EFFLUENTS COLORES

Au cours des différentes étapes de teinture, des quantités plus ou moins importantes de colorants sont perdues par manque avec les surfaces à teindre ou à colorer. Ces rejets organiques sont toxiques et nécessitent une technique de dépollution adaptée [28].

Le traitement des rejets textiles, compte tenu de leur hétérogénéité de composition, conduira toujours à la conception d'une chaîne de traitement assurant l'élimination des différents polluants par étapes successives. La première étape consiste à éliminer la pollution insoluble par l'intermédiaire de prétraitements (dégrillage, dessablage, déshuilage..) et/ou de traitements physiques ou physico-chimiques assurant une séparation solide/liquide. Les techniques de dépollution intervenant le plus couramment en deuxième étape dans les industries textiles d'après Barclay et Buckley et kurbus et al [29].

I.8.1. Méthodes biologiques

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

- **Traitements en aérobie**

ils sont effectués en présence de l'oxygène et traitement en anaérobie; dans ce cas les microorganismes dégradent la matière organique en absence de l'oxygène.

Des réacteurs dits à lits bactériens sont utilisés pour cet effet. Ils sont constitués d'une unité de boue activée où les polluants sont décomposés par des bactéries aérobies et autres microorganismes. 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.

Ce procédé est resté longtemps un moyen pour dégrader un grand nombre de polluants organiques. Il s'est avéré efficace pour une certaine catégorie de rejets textiles [30]. Notons cependant que des colorants tels que les azoïques, les colorants acides et les colorants réactifs se sont révélés persistants à ce mode de traitement [31,32]. La décoloration observée dans ces cas est attribuée à l'adsorption de ces polluants sur la boue activée et non à leur dégradation.

❖ **Traitement anaérobie**

En absence de l'oxygène, la biodégradation anaérobie des composes organiques conduit à la formation du dioxyde de carbone, du méthane et de l'eau a ce procédé une efficacité importante dans le traitement des effluant très chargés caractérisés par une DCO relativement élevée. Ce procédé utilise dans les stations d'épuration des eaux permet de produire des quantités importantes en méthane. Ce dernier est utilisé comme source d'énergie notamment pour le chauffage ou pour l'éclairage. Des études ont montré que la réduction voire la disparition de la couleur n'est pas accompagnée de la minéralisation des colorants.La formation de composés intermédiaires plus toxiques, notamment des amines a été signalée dans la littérature [33-34]. La réduction de coloration par les procèdes biologique a été estimé à 10-20% seulement. Cette constatation laisse à présager d'autres techniques qui permettraient d'abaisser le degré de réfractabilité de la charge polluant en association avec les méthodes biologiques.

I.8.2. Méthodes physiques

❖ **Adsorption sur charbon actif et autres matériaux:**

L'adsorption est un procédé d'élimination des polluants organiques ou minéraux présents dans des effluents aussi bien liquides que gazeux. Plusieurs modèles théoriques ont été élaborés pour décrire les mécanismes de ces phénomènes. Le polluant est transféré de la phase fluide vers la surface du solide. Même avec le charbon actif considéré comme l'adsorbant le plus efficace, ce mode de traitement reste très limité pour l'élimination de tous les colorants. Seuls les colorants cationiques sont éliminés par cette technique [35].

❖ **Filtration sur membrane**

Dans ce procédé, les polluants sont retenus par une membrane semi perméable dont le diamètre des pores est inférieur à celui des molécules à éliminer. Cette technique est largement utilisée dans le dessalement de l'eau de mer. Selon la qualité de l'eau désirée, on distingue la microfiltration, l'ultrafiltration ou la nanofiltration ou encore l'osmose inverse. La nanofiltration s'applique surtout au traitement des bains de teinture de colorants réactifs en agissant comme un filtre moléculaire tandis que la microfiltration retient les matériaux colloïdaux tels que les colorants dispersés ou de cuve grâce à une «membrane écran» [36,37].
L'ultrafiltration ne s'applique qu'à la réduction de DCO et des solides en suspension [38], et ne se montre réellement efficace qu'en combinaison avec la coagulation/floculation.
Actuellement, des recherches sont menées dont le but de mettre en œuvre des membranes nouvelles à prix abordable. En effet, ces procédés restent très limités dans leurs applications, car ils nécessitent des investissements importants [39] à cause en grande partie du prix des matériaux utilisés.

I.8.3. Méthode physico-chimique

❖ Coagulation

La coagulation est par définition le phénomène de déstabilisation des particules colloïdales, qui peut notamment être obtenu par neutralisation de leur charge électrique. Le produit utilisé pour cette neutralisation est appelé coagulant.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 soufrés, mais sont totalement inefficaces pour les colorants réactifs, azoïques, acides et basiques [40,41].

❖ Floculation

La floculation est l'agrégation déchargées par transport et mise en contacte les une avec les autre, elle conduit a la formation des flocs, capables d'être retenus dans une phase ultérieur du traitement de l'eau. On peut distinguer les floculant par leur nature (minéral 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.

I.8.4. Méthodes chimiques

Les techniques d'oxydation chimiques sont généralement appliquées pour le traitement des polluants organiques dangereux présents en faibles concentrations,

- ✓ En prétraitement avant les procédés biologiques pour diminuer la charge polluante

- ✓ Le traitement d'eaux usées chargées de constituants résistants aux méthodes de biodégradation.
- ✓ En post-traitement pour réduire la toxicité aquatique [42].

Les deux réactifs les plus souvent cités pour ce type de traitement sont $H2O2$ et le Chlore. Le peroxyde d'hydrogène est un oxydant fort et son application pour le traitement des polluants organiques et inorganiques est bien établie [43]. Mais l'oxydation seule par $H2O2$ n'est pas suffisamment efficace pour de fortes concentrations en colorant [44].

I.8.5. Méthodes électrochimiques:

L'électrochimie est la discipline scientifique qui s'intéresse aux relations entre la chimie et l'électricité. Elle décrit les phénomènes chimiques couplés à des échanges réciproques d'énergie électrique. L'électrochimie comprend toutes technologies et techniques issues de ses travaux scientifiques (électrolyse, corrosion, piles, batteries, électrodéposition...). De plus, l'électrochimie s'intéresse à des systèmes hétérogènes comportant aux deux extrémités des matériaux conducteurs électroniques (métal, carbone…) et entre ces deux conducteurs, au moins un matériau conducteur ionique [45].

❖ Electrolyse

L'électrolyse est application d'une différence de potentiel entre deux électrodes plongée dans un bain électrolytique (solution contenant des ions) crée un champ électrique orienté dans lequel les ions se mettent en mouvement : les cations se dirigent vers la cathode, les anions vers l'anode.

Quand la tension appliquée est suffisants, les réactions suivantes se production aux interfaces électrolyte-électrodes.

- *A l'anode* : oxydation avec émission d'électrons

$$A^- \rightarrow A + e^-$$

- *A la cathode :* réduction avec capture d'électrons

$$C^+ + e^- \rightarrow C$$

❖ Électro-chloration

L'électro-chloration est une technique qui permet la production in situ d'une solution diluée d'hypochlorite de sodium à partir d'une solution de chlorure de sodium (eau de mer ou saumure) [46 ,47].

❖ **Electrocoagulation**

Ce procédé électrochimique utilisé sur certaines eaux résiduaires, réalise essentiellement une floculation selon les processus suivants :

- Création d'un champ électrique entre électrodes favorisant les rencontres entre charges présentes dans l'effluant [48].
- La libération d'ions métalliques (Fe, Al) par dissolution d'anodes solubles, ions qui génèrent des hydroxydes favorables à la formation des flocs [49].

Le tableau I.3, présente les différentes technologies de dépollution des effluents textiles en fonction de leurs avantages et inconvénients :

Tableau I. 3: *Comparaison des technologies de dépollution des effluents textiles en fonction des avantages et inconvénients* [46].

Technologie	Exemples	**Avantages**	**Inconvénients**
Coagulation/ Floculation	Chaux, FeCl3, polyélectrolyte	-Equipement simple. -Décoloration relativement rapide. -Réduction significative de la DCO.	-Formation de boues. -Adjonction de produits chimiques nécessaires. -fonctionnement onéreux -coagulants non réutilisables. -Réduction spécifique de la couleur.
Filtration Sur membranes	Osmose inverse, Nanofiltration, Microfiltration, Ultrafiltration	-Réduction efficace de la couleur. -Technologie simple. -Faible cout d'utilisation Pour certains adsorbants	-Investissement et cout de fonctionnement élevés -Lent et limité en volume -Régénération des adsorbants. -Formation de boue.
Oxydation chimique	Ozone Réactifs de Fenton Chloration	-Traitement de gros volumes. -Diminution nette de la Chloration. -Décoloration rapide et efficace. -Opération simple. -oxydant puissant	- Investissement et cout de fonctionnement très élevés. -Efficacité limitée pour certains colorants. -Produits d'oxydation inconnus. -Cout élevé. -Produits d'oxydation inconnus.

Réduction Chimique	Réduction Chimique	-Décoloration efficace des azoïques.	-Formation d'amines aromatiques. -Dégradation incomplète.
Procédés biologiques	Aérobie	-la biodégradation partielle ou complète des colorants - cette technique est Adapté à un grand nombre de polluants organiques.	-Spécifique à certains colorants. -Décoloration variable. -Besoins énergétiques Importants. -Produits de dégradation Inconnus.
	Anaérobie	-Décolore la plupart des Colorants par un mécanisme de réduction	-Beaucoup de produits toxiques non dégradés. -Nécessite de grands réservoirs d'aération.

I.9. CONCLUSION

Cette étude bibliographique montre d'une part la diversité des techniques de traitement des effluents industriels et d'autre part celle des polluants présents dans les eaux. Les colorants synthétiques organiques sont des polluants utilisés dans de nombreux secteurs industriels. Les rejets chargés de colorant posent deux problèmes majeurs, l'un environnementale et l'autre lie à la santé publique. La mise en œuvre de procédés capables de traiter ces colorants s'avère nécessaire. Dans la suite de notre travail, nous allons donner une description sur le procédé d'électrocoagulation et ses applications dans le traitement des effluents industriels.

Chapitre II

L’électrocoagulation

II.1. INTRODUCTION

Dans le domaine industriel, une attention particulière a été portée aux industries en développant la recherche pour l'identification des méthodes économiques de traitement de leurs rejets colorés et répondre aux normes exigée. Le travail présenté dans ce chapitre s'inscrit à offrir une meilleure connaissance du traitement des rejets liquides colorés par une méthode électrochimique « électrocoagulation », une solution révèle moins chère et plus efficace pour le traitement de ces rejets.

II.2.THEORIE D'ELECTROCOAGULATION

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

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

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

- 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 ionique présentes dans le rejet aqueux à l'encontre des ions produis par dissolution électrochimique de l'ordre sacrificielle. Ces ions réduisent la répulsion électrostatique entre les particules jusqu'à ce que les forces d'attraction de Vander wals prédominent causant ainsi la coagulation.
- Formation du floc : Le floc forme suite à coagulation crée les boues qui piègent et relient les particules colloïdales restant dans le milieu aqueux [3].

II.2.1.Principe 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+}) susceptibles de produire un coagulant en solution et de provoquer une coagulation-floculation des polluants que l'on souhaite éliminer. L'électrolyse peut également coaguler les composés solubles oxydables ou réductibles contenus dans l'effluent.

Le champ électrique crée un mouvement d'ions et de particules chargées. Cette action permet de rassembler les matières en suspension sous forme de flocs qu'on élimine ensuite par un procédé physique classique (décantation, flottation, filtration).

La figure suivante présente le principe du procédé d'électrocoagulation avec des électrodes d'aluminium.

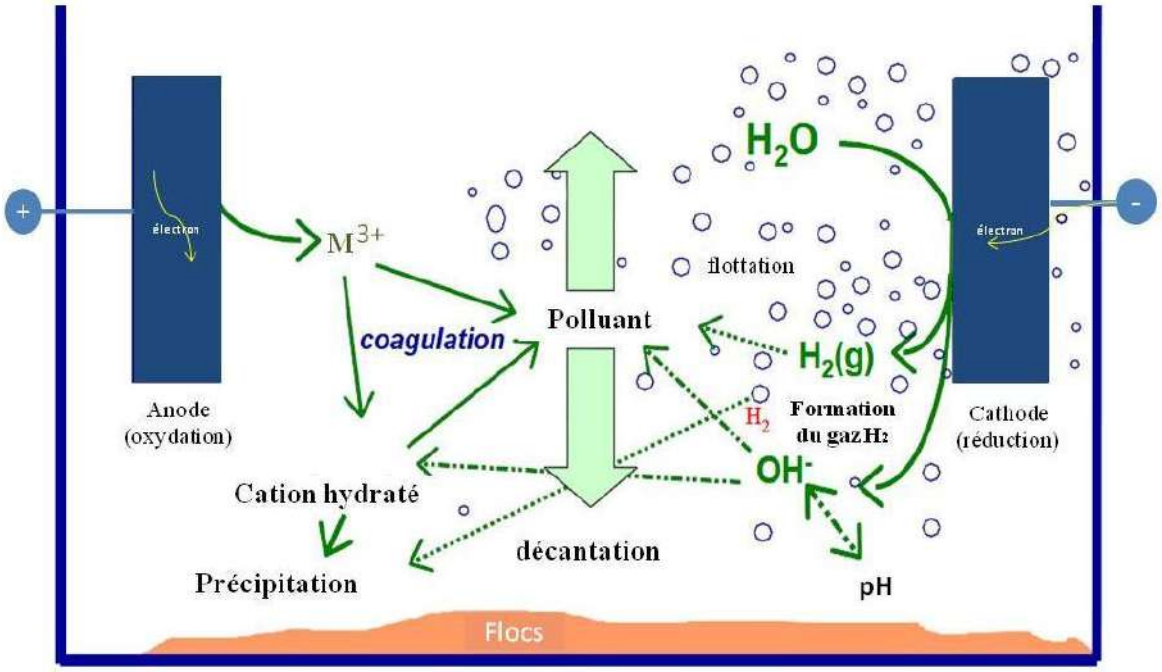


Figure II. 1. Schéma de principe de l'électrocoagulation

Les anodes et les cathodes utilisées peuvent avoir différentes configurations. Elles peuvent se présenter sous forme de plaques, de boules, de sphères à lit fluidisé, de fil, de tige ou de tube.

Ces électrodes peuvent être constituées de divers métaux qui sont choisis de manière à optimiser le procédé de traitement. Les deux métaux communément utilisés sont le fer et l'aluminium [4].

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

II.2.2 .Les réactions aux électrodes

L'effluant va passer à l'intérieur d'une cellule formée d'un ou plusieurs couples d'électrodes entre les quelles existe un courant électrique qui va crées des réactions électrochimique :

- ***A l'anode***

On a oxydation, le métal va passée de l'état ionique selon la réaction :

$$\mathbf{M \rightarrow M^{n+} + ne^-} \qquad \textbf{(}\textit{II-1)}$$

L'aluminium se dissout suivant la réaction [15,16, 22].

$$\mathbf{AL \rightarrow AL^{3+} + 3e^-} \qquad \text{(II- 2)}$$

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

$$\mathbf{2AL + 3H_2O \rightarrow 2AL^{3+} + 3H_2} \qquad \text{(II-3)}$$

La dissolution du fer se fait à travers la réaction suivante :

$$\mathbf{Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-} \qquad \text{(II-4)}$$

Les ions ferreux précipitent sous forme de $Fe(OH)_2$ à un pH supérieur à 6. Cependant, les ions ferreux sont instables dans un environnement contenant de l'oxygène comme en présence d'oxygène dissout dans l'eau [35].

$$\mathbf{2Fe^{+2} + \frac{1}{2} O_2 + H_2O \rightarrow 2Fe^{3+} + 2OH^-} \qquad \text{(II-5)}$$

- ***A la cathode :***

On a réduction et va passer de l'état ionique à l'état solide [36].

$$\mathbf{M^{n+} + ne^- \rightarrow M} \qquad \text{(II-6)}$$

Réduction de l'eau selon la réaction suivante :

$$\mathbf{2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2} \qquad \text{(II-7)}$$

Electrolyse de l'eau selon la réaction suivante [38] :

$$\mathbf{2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2} \qquad \text{(II-8)}$$

II.2.3. Les différents types d'électrodes et connections électriques

A l'échelle industrielle une cellule d'EC à deux électrodes ne convient pas pour le traitement des eaux usées, du fait que la vitesse de dissolution du métal n'est pas exploitable et il est alors nécessaire d'utiliser des électrodes présentant de grandes surfaces [50]. Ceci est rendu possible par l'utilisation d'électrodes supplémentaire mono-cpolaires ou bipolaires :

II.2.3.1. Electrodes mono-polaires

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

- **Connexion en parallèle**

La figure (*II -2*) montre un dispositif simple de cellule d'EC avec une paire d'anodes et une paire de cathodes disposée en parallèle.

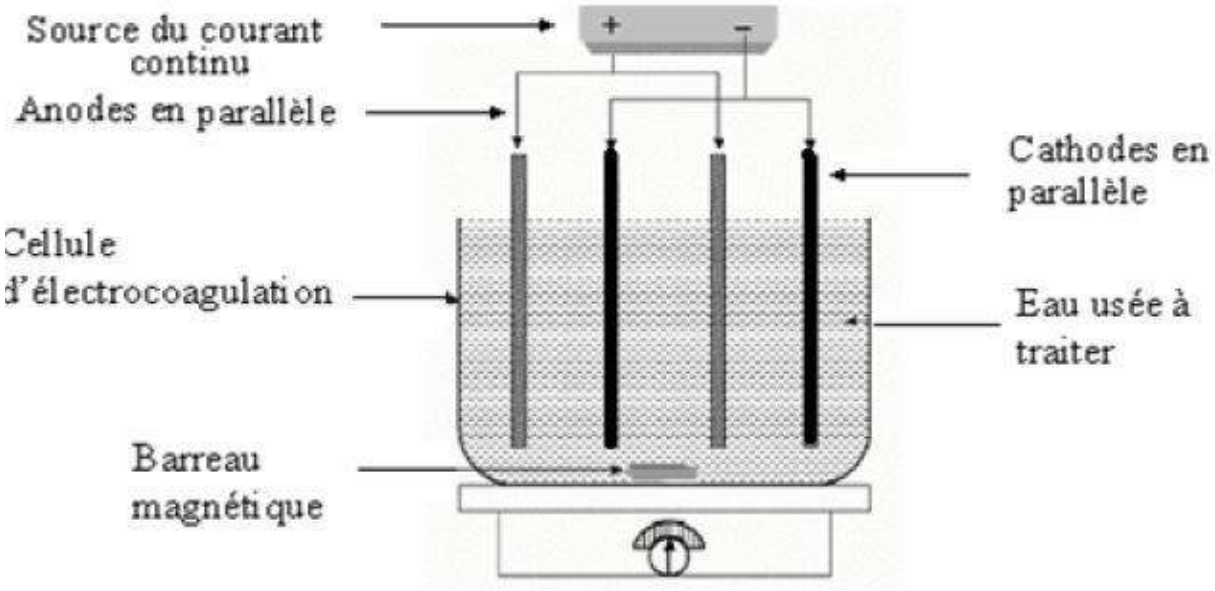


Figure II -2 *: Connexion mono polaire en parallèle*

Cette cellule d'EC consiste, essentiellement en paires de plaques de métal conducteur placées entre deux électrodes parallèles et une source de courant continu. Les plaques métalliques conductrices sont appelées communément « électrodes sacrificielles » .l'anode minimise de la passivation de la cathode : les électrodes sacrificielles peuvent être constituées des même matériaux que l'anode de matières différentes.

❖ **Connexion en série**

Comme le montre la figure (II-3) chaque paire d'électrodes sacrificielles est interconnectée l'une avec l'autre. Et n'a donc pas d'interconnexion avec les électrodes mono-polaires en série est similaire du point de vie électrique à une simple cellule avec plusieurs électrodes et des interconnexions.

Dans un montage en série une même intensité de courant travers toutes les électrodes, la tension (différance de potentiel) nécessaire sera plus importante, puisque les résistances s'additionnement .il faudrait un générateur permettant d'imposer des intensités relativement faible et des tensions plus élevées [32].

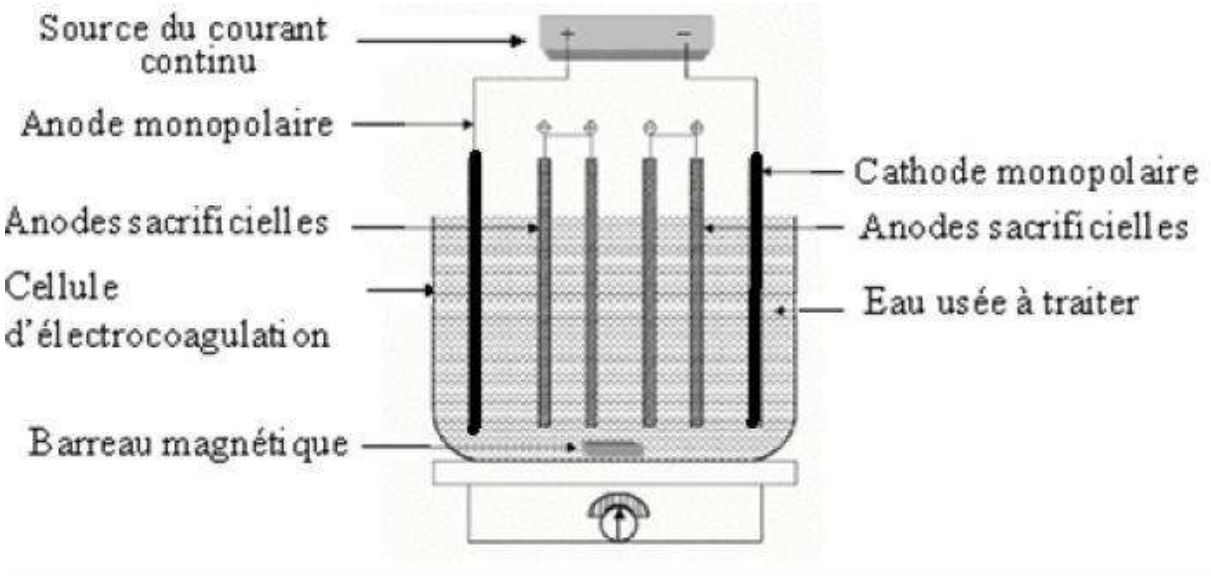


Figure II -3 : *Connexion mono polaire en série*

II.2.3.2. Électrodes bipolaires

Seules les deux électrodes mono-polaires sont connectées à la source de courant sans aucune interconnexion entre les électrodes sacrificielles. Les différentes électrodes sont placées comme l'indique la figure (*II-4*).

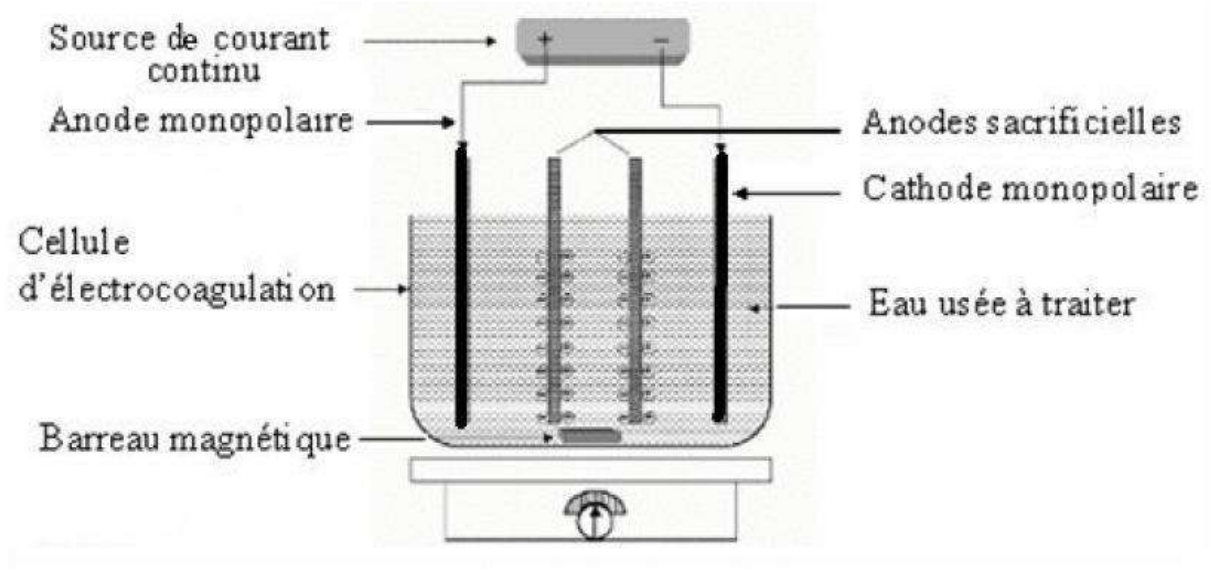


Figure II -4: *Connexion bipolaire*

Cette arrangement permet une installation plus simple, qui facilité la maintenance lors de l'utilisation. Quand le courant électrique traverse les deux électrodes mono polaire les faces non chargées des plaques conductrices seront transformées en face chargées, qui auront

alors une charge opposée par rapport au coté parallèle qui lui est adjacent les électrodes sacrificielles sont alors dite électrodes bipolaires.

II.2.4. Principales lois réagissant le procédé d'électrocoagulation

- **Loi de Faraday :**

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

- A l'anode, l'oxydation du métal,
- A la cathode, la réduction de l'eau, Il est possible de déterminer la masse de métal dissoute et d'hydrogène formé pendant une durée t d'électrolyse à un courant I, en utilisant la loi de Faraday :

$$m = \frac{I.t.M}{n.F} \qquad (II\text{-}9)$$

Avec :

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

I : intensité du courant imposé (A).

t : durée d'électrolyse (s).

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

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

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

- **rendement faradique et rendement énergétique :**

A partir de la loi de faraday, il est possible donc d'estimer la masse d'électrode théorique consommée par électrolyse et d'en déduire un rendement anodique :

$$R_{anode} = \frac{masse\ expérimentale\ dissoute\ (g)}{masse\ théoriquement\ par\ la\ loi\ de\ faraday\ (g)}.100 \qquad (II\text{-}10)$$

A la cathode, et sans autres réactions de réduction, la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau suit également la seconde loi de faraday, de même le rendement cathodique peut exprimer par :

$$R_{cathode} = \frac{masse\ expérimentale\ dissoute\ (g)}{masse\ théoriquement\ par\ la\ loi\ de\ faraday\ (g)}.100 \qquad (II\text{-}11)$$

Toutefois, la quantité dissoute dépend également du nombre d'électrodes et par conséquent du mode de connexion mono polaire ou bipolaire. Dans le mode bipolaire, pour p électrodes, le système sous tension est constitué de (p-1) anode et la masse dissoute s'exprime alors de la façon suivante :

$$M = \frac{I.t}{n.F} M\ (p-1) \qquad \text{(II-12)}$$

Chaque réaction sera donc accompagnée d'un rendement Faradique anodique ou cathodique tel que la somme de tous ces rendements soit égale à 1.ce rendement R_F s'exprime simplement comme :

$$R_F = \frac{\text{quantité d'électricité nécessaire pour produire np moles de produit p}}{\text{quantité d'électricité réellement consommée pendant l'électrolyse}}$$

$$= \frac{\text{I théorique .t}}{\text{I consommée .t}} \qquad \text{(II-13)}$$

Le rendement peut également s'exprimer en termes d'énergie comme suit :

$$R_F = \frac{\text{énergie minimale nécessaire pour np moles de prduit np moles de produit p}}{\text{énergie réellement consommée pendant l'électrolyse}}$$

$$= \frac{\text{I théorique . Eeq}}{\text{I consommée . Eapp}} \qquad \text{(II-14)}$$

Eeq : potentiel d'équilibre (Eeq = E_0 (anode) – E_0 (cathode))

E_0 : potentiels d'abandon des électrodes (i=0).

Eapp : tension mesurée aux bornes de l'électrolyseur.

Le rapport Eeq/ Eapp représentant le rendement des tensions R_T, on peut aussi écrire le rendement énergétique comme $R_E = R_F.R_T$ Pour un rendement Faradique donné, le rendement énergétique dépendra exclusivement de la chute de potentiel et plus particulièrement de la chute ohmique [51].

II.2.5. Avantage et inconvénient du procède d'EC

De nombreux auteurs ont comparé le procédé d'EC avec le procédé physico-chimique classique réalisé par l'addition de coagulants chimiques tels que le sulfate d'aluminium et le Chlorure ferrique $FeCl_3$.

Parmi les arguments en faveur de l'électrocoagulation on peut citer les suivants :

1- Pas d'ajout de substances chimiques: même s'il semble nécessaire d'augmenter légèrement la salinité de l'effluent à traiter pour accroître la conductivité électrique de

l'effluent, plusieurs études ont montré l'efficacité de l'EC sans aucune variation de conductivité initiale du rejet à traiter, ce qui évite d'autres formes de traitement en aval.

2- L'efficacité du procédé d'électrocoagulation pour des polluants colloïdaux très fins, avec d'autres procédés tel que la coagulation chimique, ces polluants imposent des étapes de traitement plus lentes et des quantités de coagulant plus élevées.
3- L'électrocoagulation offre la possibilité de traiter des effluents par oxydation et réduction de plusieurs composés dissous tel que les nitrites, les sulfures, les cyanures, les sulfites, les Chromates et les ions fluorures.
4- L'utilisation de l'électrocoagulation permet de réduire le temps de traitement : ce procédé permet un grand gain en compacité des installations et une possibilité d'automatisation.

Les inconvénients majeurs de l'EC concernent principalement :

1- La conductivité souvent faible de l'eau polluée et la formation des dépôts sur les électrodes. En effet, la conductivité du rejet doit être suffisante pour permettre le passage du courant sans consommation excessive d'électricité.
2- La conductivité de l'eau polluée est trop faible, un rajout du chlorure de sodium est généralement nécessaire.
3- Il est aussi important de prévoir un nettoyage mécanique périodique des électrodes à l'aide de solutions acides.
4- La formation et le dépôt de tartre sur les électrodes représentent une part importante de la consommation électrique du procédé.

II.2.6. Application d'électrocoagulation

L'électrocoagulation a largement été appliquée avec succès pour :

1- Le traitement d'effluents de natures diverses.
2- L'élimination des nitrates et des phosphates [3]. Et de phosphates [16]. Retrouvés dans les eaux de surface et de sol
3- L'élimination des ions fluorures dans les eaux.
4- Le traitement des eaux polluait par les rejets dine d'une industrie de raffinage mécanique et clinique caractérisée par une tenter élevée en matière en suspension, une DCO supérieure a 500 mg/L, une concentration en cuivre de l'ordre de 100 mg/L.
5- Le traitement de solutions colorées pour différent substance telles que le bleu de méthylène et la jaune éosine [41].

6- L'électrocoagulation à été appliquée comme prétraitement des margines (rejets des industries de production d'huile d'olive) où la majorité des composés phénoliques responsable de la couleur sombre, de la phytotoxicite …etc.

II.3. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons fait une étude bibliographique sur le processus d'électrocoagulation. Nous avons traité le principe de l'électrocoagulation, les principales lois en électrolyse, les différents avantages et inconvénients. Il s'avère que l'application de l'électrocoagulation a connu des applications dans des domaines très divers contribuant à l'élimination de plusieurs composes d'origines différents mais qui s'unissent par leurs impact négatifs sur l'environnement.

Chapitre III

Protocole Expérimental et Méthodes Analytiques

III.1. INTRODUCTION

Le procédé classique de coagulation floculation est souvent utilisé dans le traitement des effluents de textile, avec un succès relatif en effet rarement une décoloration complète est obtenue. D'autre part ce procédé classique génère des masses non négligeables de boues qui posent un problème de gestion de déchets.

Dans notre travail nous avons utilisé l'électrocoagulation (EC) comme une technique de traitement des eaux polluées par les colorants textiles. Cette technique présent l'avantage d'une utilisation très réduite des produits chimique qui sont souvent complique à maintenir notamment dans certains pays envoie développent ou non développes ce procédé nécessite un équipement simple avec un mode opératoire facile ,un temps de traitement réduis ,produit une faible quantité de boues (floc) comparée aux traitement chimiques: les bulles de gaze produite durant l'électrolyse peuvent transporter le polluant vert le haut de la solution ou il est plus facilement concentré, collecté puis éliminé.

III.2. OBJECTIF

L'objectif de ce travail est de traiter une solution synthétique, d'un colorant azoïque par électrocoagulation en mode mono polaire (ECM), c'est une technique simple et efficace qui réduit la pollution et le volume des boues (flocs) formés.

Cette étude passe dans un premier temps par la mise en point de procédé d'électrocoagulation, pour effectuer la décoloration, en représentant les matériels utilisés et la méthode suivie afin de réaliser ce procédé.

La deuxième partie, consiste à détermine l'effet de certains paramètres opératoires à savoir : le pH de la solution, la densité de courant, le temps de traitement, la concentration de colorant et la quantité d'additif (NaCl) sur la l'efficacité de décoloration du noir Eriochrome

Le plan d'expérience en troisième partie nous permet de réduire le nombre d'essais et atteindre des meilleurs résultats dans un temps court.

III.3. MATERIAL ET PRODUITS

III.3.1. Matériel

1- Un générateur de courant électrique de marque « PEAKTECH SWITCH MOD PAWER SUPPLY REPLACE FUSE WITH SAME »

2- Des électrodes en fer de dimension 7x3cm.

3- Des fils électriques de connexion.

4- Spectrophotomètre UV visible (UV MINI 1240/SHIMADZU).

5- pH-mètre (pH mètre /HANNA instruments).

6- Agitateur magnétique, plaque chauffante.

7- Balance.

8- Verreries diverse (fioles, pipette, erlenmeyer, bécher, ….).

9- multimètre (PEAK TECH Digital millimeter).

Tableau III.1: Caractéristiques physico-chimiques de Noir Eriochrome T (NET)

Formule	$C_{20}H_{12}N_3NaO_7S$
Structure chimique	
Dénomination chimique	(4Z)-4-[(1-hydroxynaphthalén-2-yl- hydrazinylidène]-7-nitro-3-oxo Y-naphtalène-1-sulfonate de sodium
Masse molaire	461,38 g/mol
λ_{Max}	*524* nm
Apparence	Poudre noir
Solubilité dans l'eau	80 g/l dans l'eau à 20°C

III.3.2. Produits utilisés

1 - Chlorure de sodium (NaCl).

2- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH 1N).

3- Solution d'acide sulfurique (1N).

4- Colorant : le colorant commerciale qui a été utilisé au cours de cette étude est le noir d'Eriochrome. L'ensemble des propriétés physico-chimiques de ce colorant est récapitulé dans le tableau III.1.



Figure III.1. Dispositif expérimental d'électrocoagulation en mode mono-polaire

1- Générateur de courant continu, 2- fils électrique, 3- électrodes en fer, 4- Agitateur magnétique plaque chauffante, 5- multimètre, 6- pH mètre.

III.4.DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'étude de la décoloration de la solution colorée de Noir Eriochrome T (NET) par le processus d'électrocoagulation, ainsi que l'influence de différents paramètres opératoires a été réalisée en régime statique en utilisent le dispositif expérimental montré sur la figure III-1. Ce montage d'électrocoagulation (EC) consiste en un réacteur cylindrique en PYREX de 1000 ml placé sur un agitateur magnétique afin d'assurer l'homogénéité des solutions à traiter. Ce réacteur comprend deux électrodes en fer, situées au fond de la cellule et qui sont connectées à un générateur de courant électrique continu. Les électrodes utilisées sont des plaques rectangulaires en fer d'une dimension de 5 cm de longueur, 1.8 cm de largeur et de 1.6cm d'épaisseur. Ce la correspond à une surface d'électrode de travaille de 9 cm^2.

III.5. Mode opératoire

Le réacteur est rempli avec 400 ml d'une solution de Noir Eriochrome à traiter et ceci dans les conditions opératoire choisies, la conductivité de la solution est ajustée avec l'ajout de chlorure de sodium (NaCl). Les différentes valeurs du pH sont mesurées avec un pH-mètre de type HANNA instruments ; elles sont obtenues par ajustement de la solution à l'aide des solutions de NaOH 1N ou de 1N.

L'étude de l'influence d'un paramètre opératoire est effectuée en fixant les autres paramètres et en faisant varier le paramètre étudié. Pour chaque valeur de ce dernier nous suivons l'évolution de la concentration en Noir Eriochrome T (NET) en fonction du temps.
Des prélèvements de 05 ml d'échantillon à analyser se font chaque cinq minute durant l'opération de traitement.

III.6. METHODE D'ANALYSE

III.6.1. pH mètre

Les mesures du pH des différentes solutions ont été réalisées à l'aide d'un pH-mètre de laboratoire. L'étalonnage a été effectué à l'aide de solutions tampons commerciales de pH.

III-6-2. Principe de la spectroscopie UV-visible

La spectroscopie UV-Visible est une technique spectroscopique basée sur l'interaction entre la matière et les ondes électromagnétiques. A la suite de cette interaction, on aura une absorption et une émission de rayonnement. Ce dernier est par la suite analysé afin de déterminer les propriétés de la matière à étudier et ceci selon la loi de Beer-Lambert.

$$A_{(\lambda)} = Log\frac{I}{I_0} = \varepsilon_{(\lambda)}\, C\, L \qquad \text{(III-1)}$$

Avec :

$A_{(\lambda)}$: Absorbance.

$\varepsilon_{(\lambda)}$: Coefficient d'extinction molaire [$mol^{-1}.L.cm^{-1}$].

L : épaisseur de la cellule optique [cm].

I_0 : Rayonnement incident.

I : Rayonnement émergent.

C : Concentration de la solution (mg/l).

Afin de réaliser un dosage par UV-Vis il faut d'abord chercher la longueur maximale d'absorption du produit (λmax) en effectuant un balayage de 200 nm jusqu'à 800 nm ensuite

il faut préparer les solutions étalons de Noir Eriochrome T (NET) et chercher les absorbances relatives de chaque étalon à la longueur d'onde λmax et tracer la courbe d'étalonnage : absorbance = f (concentrations). Par ailleurs, après le traitement par le processus d'électrocoagulation, il faut mesurer l'absorbance de chaque échantillon, la reporter sur la courbe d'étalonnage et enfin déduire la concentration de l'échantillon. Il est à noter que le spectrophotomètre utilisé est de modèle « UVmini-1240 » de la marque SHIMADZU, figure III.2.



Figure III-2 : Spectrophotomètre SHIMADZU, UVmini-1240

A l'afin de chaque expérience on filtre la solution et on mesure l'absorbance entre 200 et 800 nm. La longueur d'onde du maximum d'adsorption (figure III-3) est 524 nm sur la base du maxima d'absorption de noir ériochrome NET, nous avons procédé à établissement de la courbe d'étalonnage, afin de pouvoir estimer leur concentration en solution, par rapport à des solutions standards préparées avec des concentrations en soluté variant de 2 à 40 g /L (tableau III.2).

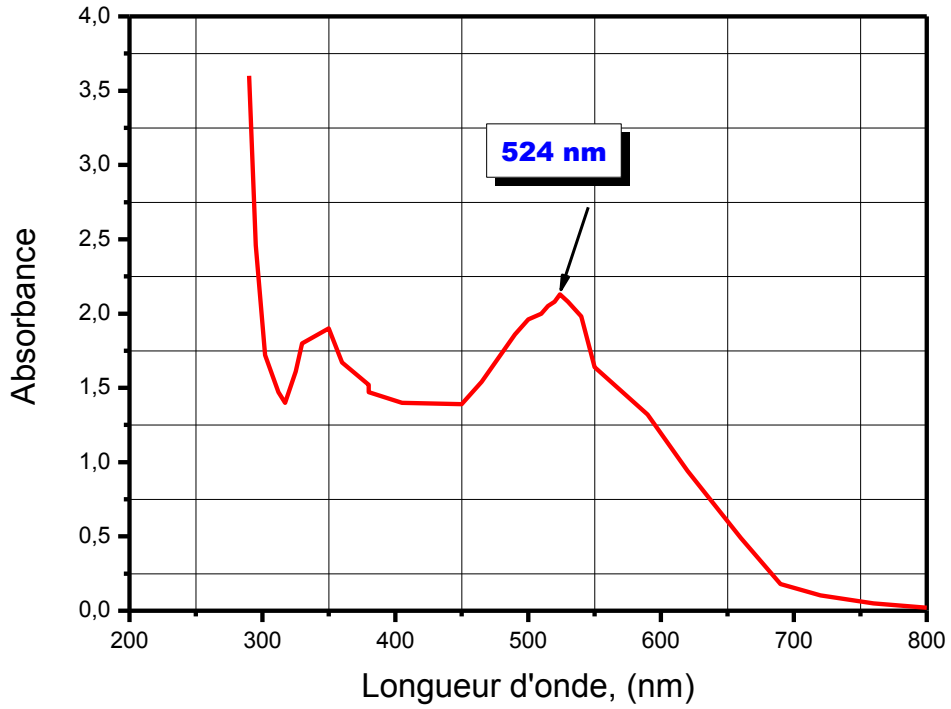


Figure III.3 : Spectre d'absorption d'acide Noir Eriochrome T (NET) dans le visible

[NET] = 100 mg/L, pH=6,23.

Tableau III.2. *Absorbance à 524 nm en fonction de la concentration en* noir ériochrome..

[NET], mg/L	0	2	5	10	15	20	30	40
ABS	0	0,052	0,104	0,239	0,322	0,412	0,69	0,898

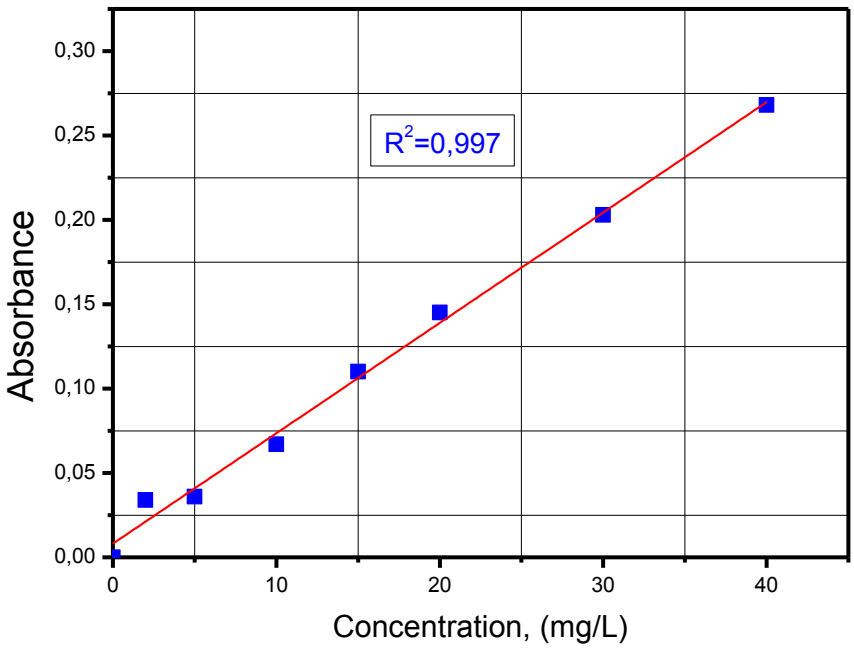


Figure III-4 : courbe d'étalonnage : variation de l'absorbance en fonction de la concentration en Noir d'Eriochrome

Le pourcentage de décoloration des solutions à traiter est calculé par l'équation suivante :

$$RD(\%) = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \qquad \text{(III. 2)}$$

Avec :

C_0 : Concentration initiale en mg/l.

C: Concentration final en mg/l.

RD : le rendement de décoloration en (%)

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous avons étudié la décoloration d'un colorant azoïque Noir Eriochrome par le biais d'un procédé électrochimique : l'électrocoagulation. Ce procédé, comme il a été décrit dans le chapitre II, fait intervenir de nombreux phénomènes physiques et chimiques pour dégrader efficacement les polluants organiques.

Dans une première partie, nous avons étudié l'influence des paramètres opératoires sur les réponses du système en effectuant une étude préliminaire sur l'électrocoagulation d'une solution aqueuse du Noir d'Eriochrome pour trouver un compromis optimal entre les objectifs de l'étude. Ainsi, une optimisation des conditions opératoires telle que : l'intensité de courant, le pH initial de la solution, la quantité de sel, le temps de l'électrocoagulation et la température du milieu réactionnel a été réalisée

Dans une seconde partie, nous avons essayé d'étudier la cinétique de dégradation du Noir Eriochrome par électrocoagulation.

IV.2. Effet des paramètres opératoires

Plusieurs paramètres ont été étudiés pour déterminer les conditions optimales pour la dégradation des solutions synthétique du colorant azoïque Noir d'Eriochrome à savoir :
effet de la conductivité (dose NaCl) , effet du pH , effet de l'intensité de courant, effet du temps d'électrolyse, effet de la température.

IV.2.1.Effet du pH initial de la solution

Il a été établi que le pH est l'un des facteurs les plus significatifs affectant les performances du procédé électrochimique, en particulier les performances du processus d'électrocoagulation [33]. Pour évaluer son effet, une série d'expériences ont été effectuées, en utilisant 100 m /L pour la solution de Noir d'Eriochrome avec quatre valeurs de pH initial à savoir : 3, 5, 7 et 10. Ce pH a été ajusté avant le début de l'expérience de l'électrocoagulation avec des solutions d'hydroxyde de sodium et d'acide chlorhydrique (NaOH 1N, HCl 1N).

L'influence du pH sur la concentration de la solution traitée Noir d'Eriochrome est illustrée sur la figure (IV.1) Pour une intensité de courant, une durée de traitement et une concentration de NaCl fixées.

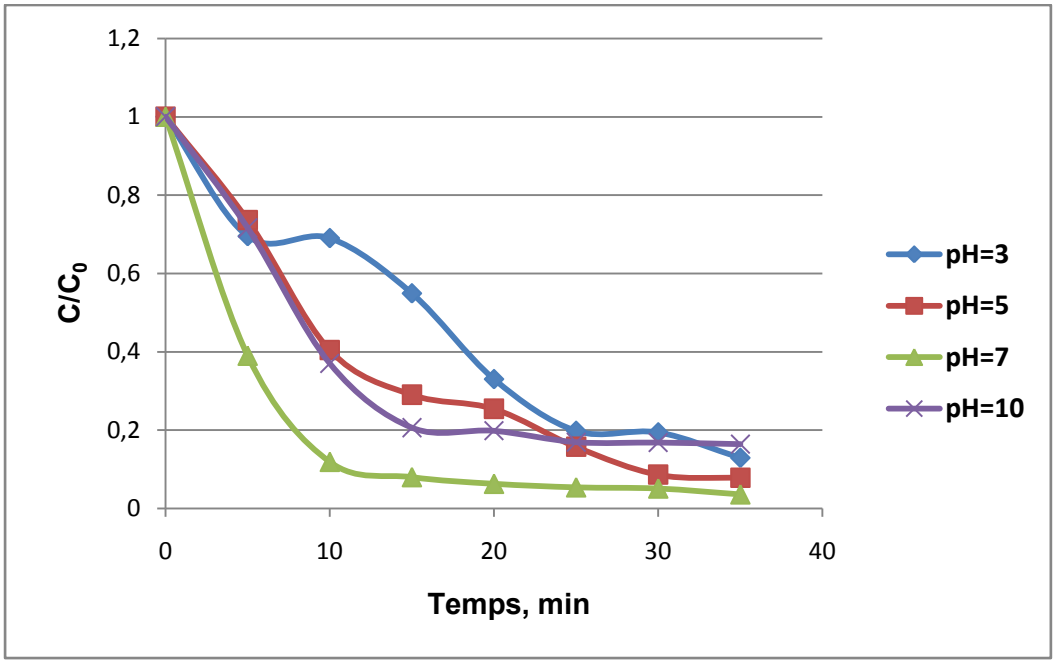


Figure IV. 1 : Effet du pH sur la concentration de la solution traitée

C_0=100mg/l, I=0,3A , [Nacl] =3g/l

La figure IV.1, montrent que la concentration de la solution traitée, Noir d'Eriochrome varie avec pH du milieu. Toutefois, une meilleure diminution de la concentration est obtenue pour un pH = 6-7 où la concentration de la solution devient 0,063 mg/l à partir d'une solution de concentration initiale de 100 mg/l au bout de 20 min de traitement. Ce pH est considéré le pH optimal choisi.

L'effet du pH sur le rendement de décoloration de la solution traitée est illustré par la figure IV.2. On remarque que le meilleur rendement de décoloration de la solution noir d'eriochrome est observé pour un pH proche de la neutralité, ou le rendement est de 96,64%.

On distingue que c'est dans l'intervalle des pH 5 à 7qu'on obtient les traitements les plus efficaces. La valeur du pH optimal assurant la meilleure efficacité de dégradation du colorant NET a été constatée à pH 6-7.

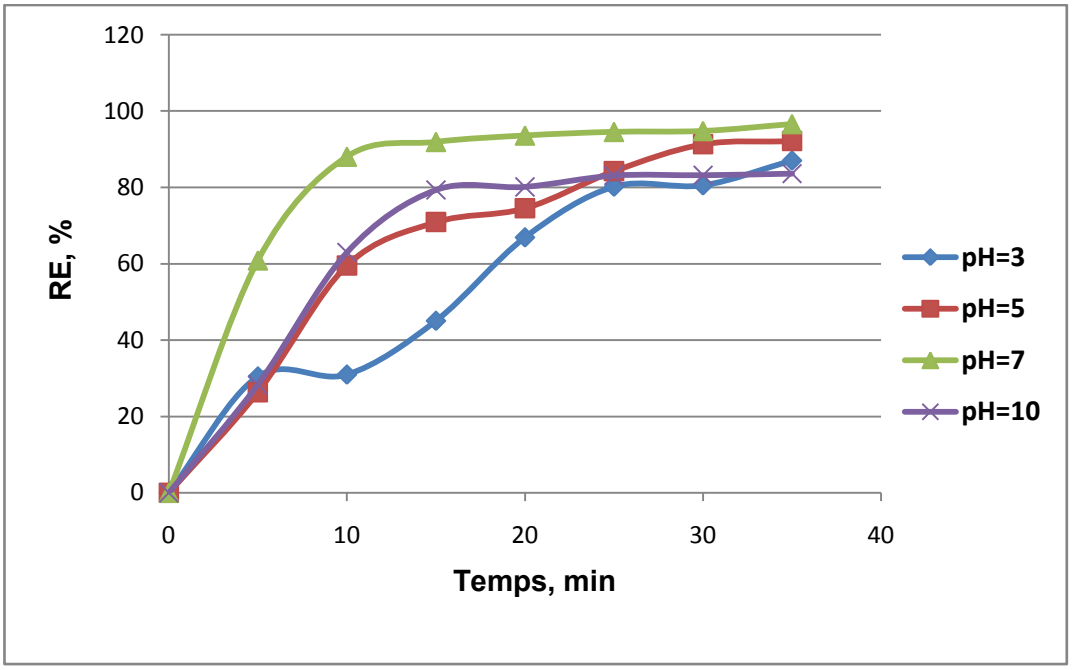


Figure IV.2 : Effet du pH sur le rendement de dégradation de la solution traitée C=100mg/l , I=0,3A , [Nacl]=3g/l

A la lecture des figures IV.1, IV.2, les résultats obtenus montrent que le pH a une influence non négligeable sur la cinétique d'élimination de polluant. En effet le processus de décoloration est plus significatif à pH 6-7 avec une cinétique très rapide comparée à celles obtenues pour les autres pH.

Le procédé d'électrocoagulation dépend fortement du pH de la solution, il est considéré comme un facteur critique pour la formation d'hydroxyde de fer $Fe(OH)_2$ et $Fe(OH)_3$ qui est responsable de la formation des flocs.

IV.2.2. Effet de l'intensité de courant

Dans tous les processus électrochimique, la densité de courant est le paramètre le plus important pour le contrôle de la vitesse de réaction dans les réacteurs électrochimiques [32]. Pour entamer notre travail sur la dégradation des solutions de Noir Eriochrome par électrocoagulation, nous avons étudié l'influence de l'intensité de courant sur l'efficacité de traitement. Pour ce faire nous avons effectué une série d'expériences avec des solutions en Noir Eriochrome de 100 mg/L, en appliquant des intensités de courant allant de 0,1 à 0,4 A et en gardant les autres conditions opératoires constantes (pH= 6-7, [NaCl] = 3g/L).

En suivant l'évolution de la concentration de NET en fonction du temps, sur la figure IV.3 qui montre l'abattement des polluants, nous constatons que l'allure des courbes présente un comportement similaire ; diminution rapide suivi d'un palier.

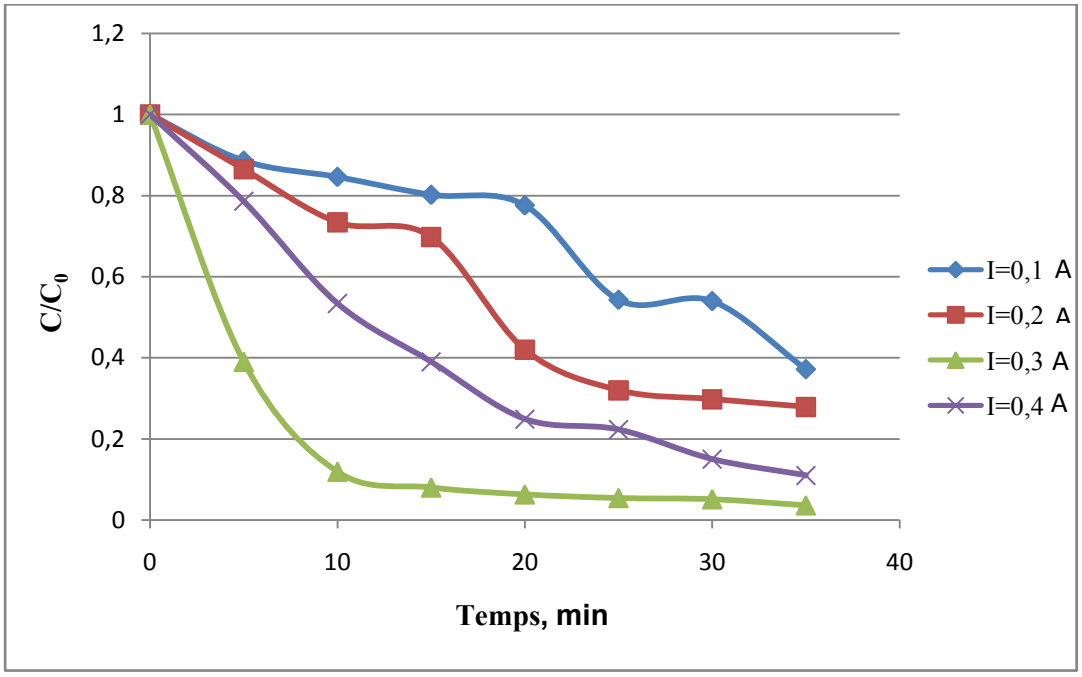


Figure IV.3 : Effet de l'intensité de courant sur la concentration de la solution traitée

C_0=100 mg/L ,pH=6-7 ,[NaCl]=3g/L

Pour des intensités de courant appliquées de 0,1 et 0,2 A, l'efficacité de dégradation de NET est faible, alors que pour les autres intensités (0,3 et 0,4 A), l'élimination du polluant est plus importante avec une cinétique plus rapide.

Dans nos conditions opératoires, l'intérêt s'est porté sur l'intensité de courant appliquée de 0,3 A qui impose une cinétique de décoloration de NET plus rapide dans notre réacteur. En effet, au bout de 10 minutes de traitement, le rendement de décoloration atteint 88,1% (Figure IV.4) et après 15 minutes la courbe présente un palier avec une élimination quasi-totale du polluant. Ces résultats peuvent être liés à l'augmentation de la quantité de cations Fe^{2+} libérés par l'anode et donc l'augmentation des particules de $Fe(OH)_2$. Une intensité de courant optimale peut donc être définie et qui semble être égale à 0,3 A qui sera adopté pour la suite de notre travail.

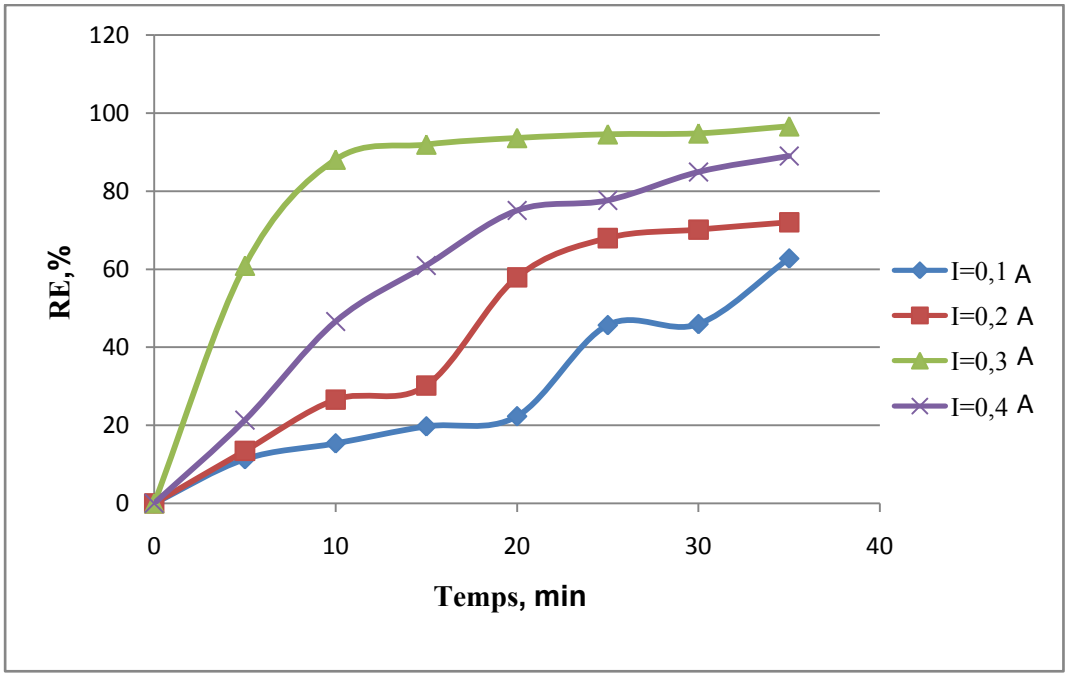


Figure IV.4 : Effet de l'intensité de courant sur le rendement de décoloration de la solution C_0=100 mg/L ,pH=6-7 ,[NaCl]=3g/L

IV.2.3. Effet de la quantité de sel [NaCl]

En général le NaCl est utilisé pour améliorer la conductivité de la solution à traitée par le procédé d'électrocoagulation [15]. La conductivité de la solution est ajustée à des valeurs souhaitées en ajoutant une quantité appropriée de NaCl. Le Choix du chlorure de sodium découle du fait que les ions chlorures réduisent de manière significative les effets indésirables d'autres anions [21,32].

Afin d'étudié l'influence de la salinité de la solution à traitée sur la cinétique de l'électrocoagulation, nous avons effectué une séries d'expérience avec des concentrations différentes en NaCl variant de 0,5 à 3g/L, tout en gardant les autres facteurs opératoires constants à savoir : $[NET]_0$= 100 mg/L ; I=0,3 A et pH = 7 .

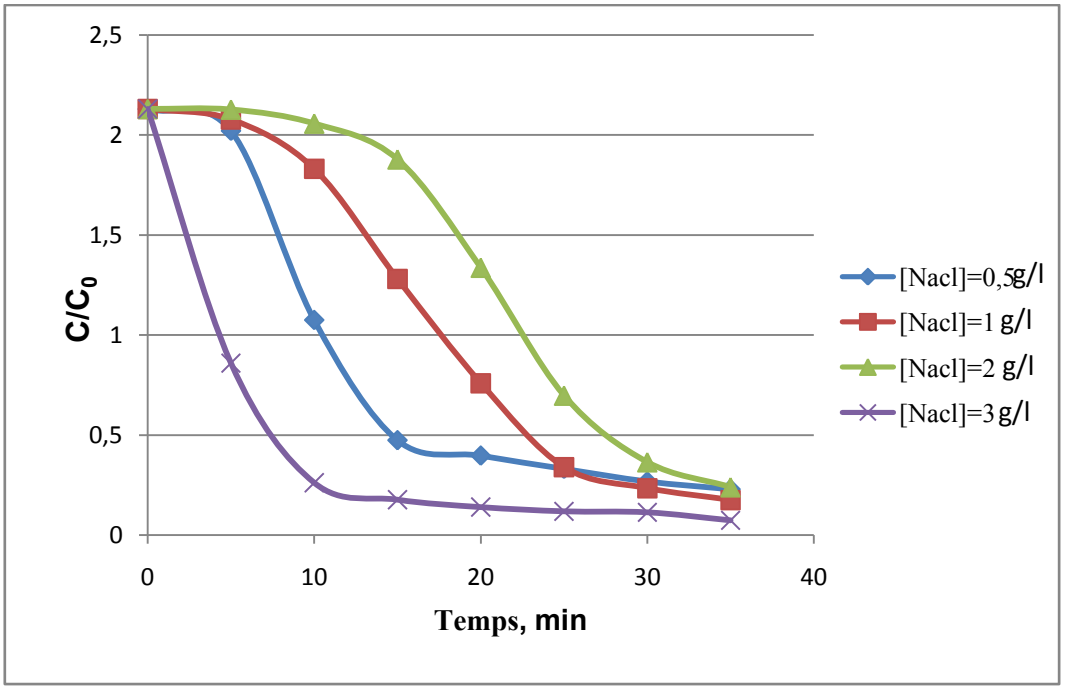


Figure IV.5 : Effet de la quantité de NaCl sur la concentration de la solution traitée

C_0=100 mg/L, pH=6-7, I=0 ,3 A

La figure IV.5, illustre l'effet de la quantité de NaCl sur l'efficacité de traitement de la solution de Noir d'Eriochrome. L'allure des courbes présente le même profil pour les différentes concentrations en NaCl, elles présentent un abattement du polluant plus important pour des salinités de 2 et 3 g/L.

Il a été trouvé que l'augmentation de la conductivité de la solution a un effet considérable sur le rendement de décoloration 96,64% et elle diminue aussi la consommation d'énergie.

Selon la figure VI.6, le meilleur rendement de décoloration peut être obtenu avec de faibles tensions de cellule et faible consommation d'énergie pour des solutions de NET de 3g/L en NaCl. A cet égard, 3g/L a été utilisé dans tout les expériences suivantes.

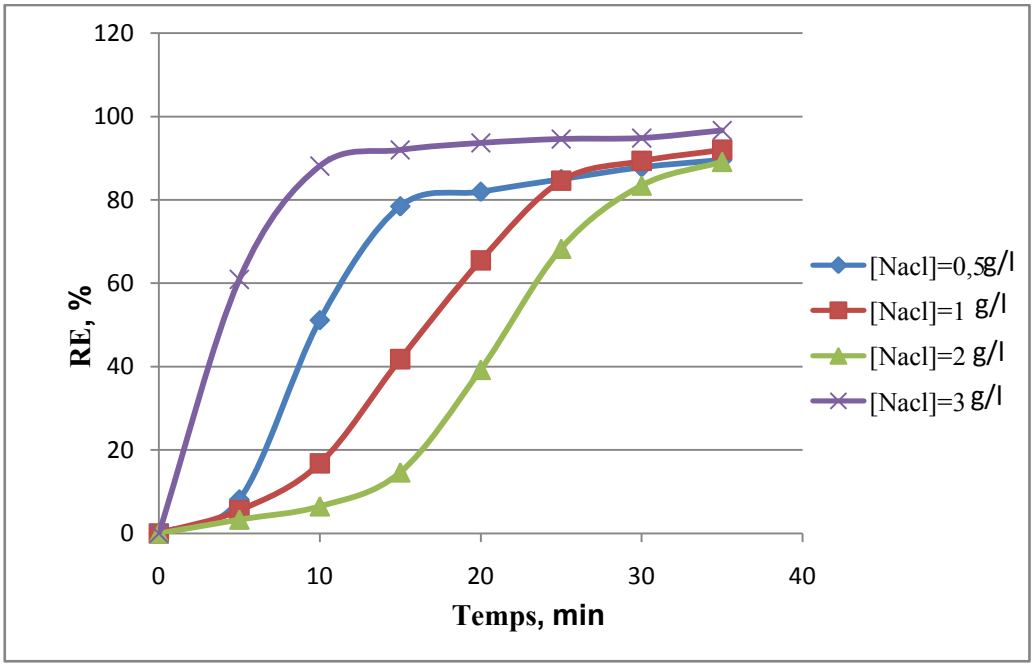


Figure IV.6 :Effet de la quantité de sel sur le rendement de la solution traitée

C_0=100 mg/L, pH=6-7, I=0 ,3 A.

IV.2.4. Effet de la concentration initial du colorant [EBT]

L'effet de la concentration initiale de NET (50-200 mg/L) a été étudié à l'intensité de courant constant de 0,3 A, 3 g/L de NaCl et un pH= 6-7. Le suivi de l'évolution de la concentration de NET en fonction du temps d'électrocoagulation pour les différentes concentrations initiales de NET est représenté sur la figure IV.7.

La figure IV.7, montre que l'efficacité d'élimination a diminué de façon presque linéaire pour des concentrations croissantes de NET.

Le rendement de décoloration de NET le plus élevé 96,64% a été obtenu après 20 minutes de traitement pour des solutions de NET de concentration de 50 et 100 mg/L. Tandis que, le rendement d'élimination de polluant le plus bas est obtenu pour des solutions de NET de concentration de 200 mg/L.

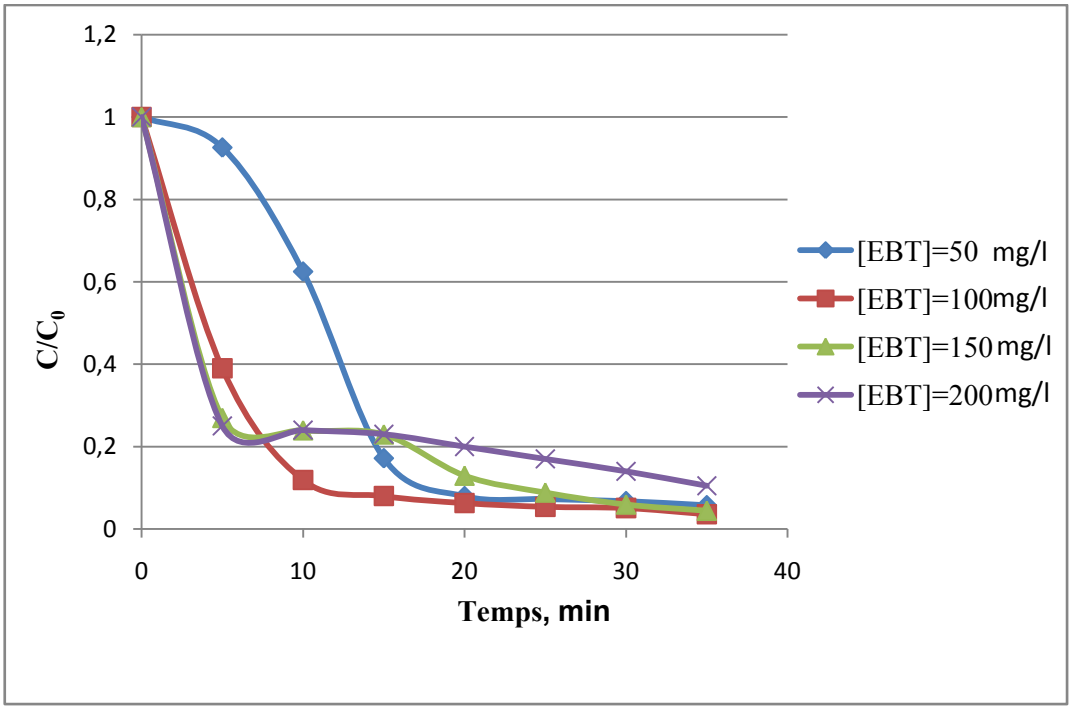


Figure IV.7 : Effet de la concentration de NET sur la concentration de la solution traitée C_0=100 mg/L, pH=6-7, I=0 ,3 A, [NaCl]=3g/L

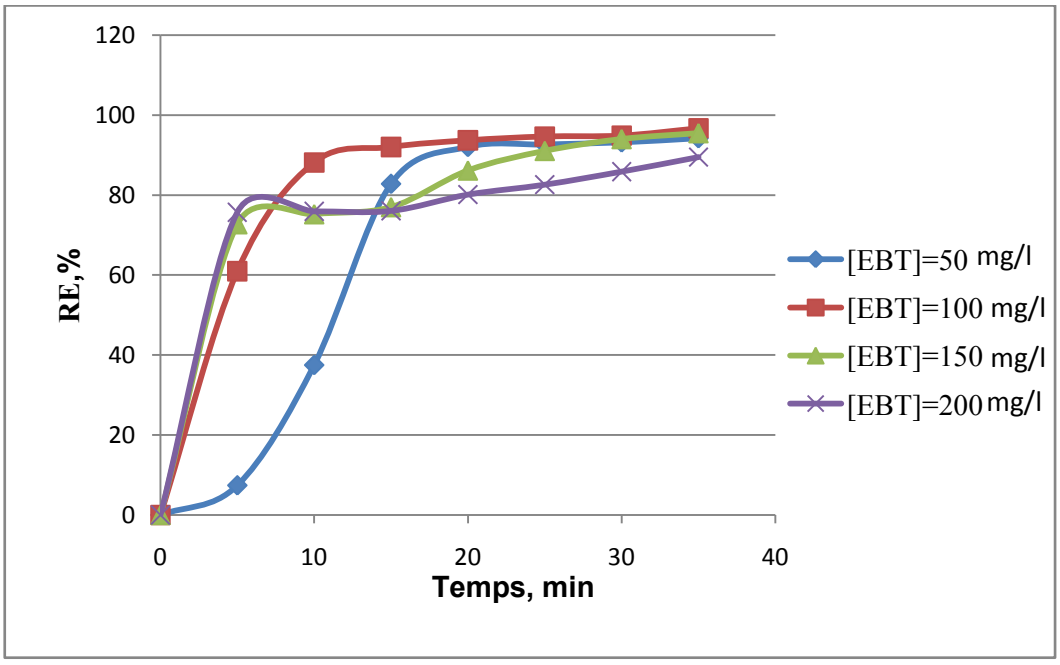


Figure IV.8 : Effet de la concentration de NET sur le rendement de décoloration de la solution traitée**,** C_0=100 mg/L, pH=6-7, I=0 ,3 A, [NaCl]=3g/L

Selon la figure IV.8, il apparait que le traitement des solutions plus concentrées nécessite plus de temps de réaction pour atteindre un rendement maximal de décoloration. Ceci peut être du à la formation insuffisante des complexes d'hydroxyle métallique pour coaguler l'excès des molécules de colorants présents à des concentrations élevées.

IV.2.5. Effet du temps d'électrocoagulation

Le temps de réaction influe également sur l'efficacité de traitement dans les processus électrochimiques. En électrocoagulation, le temps d'électrolyse détermine le taux de production des agents coagulants Fe^{2+} et Fe^{3+} à partir des électrodes de fer.

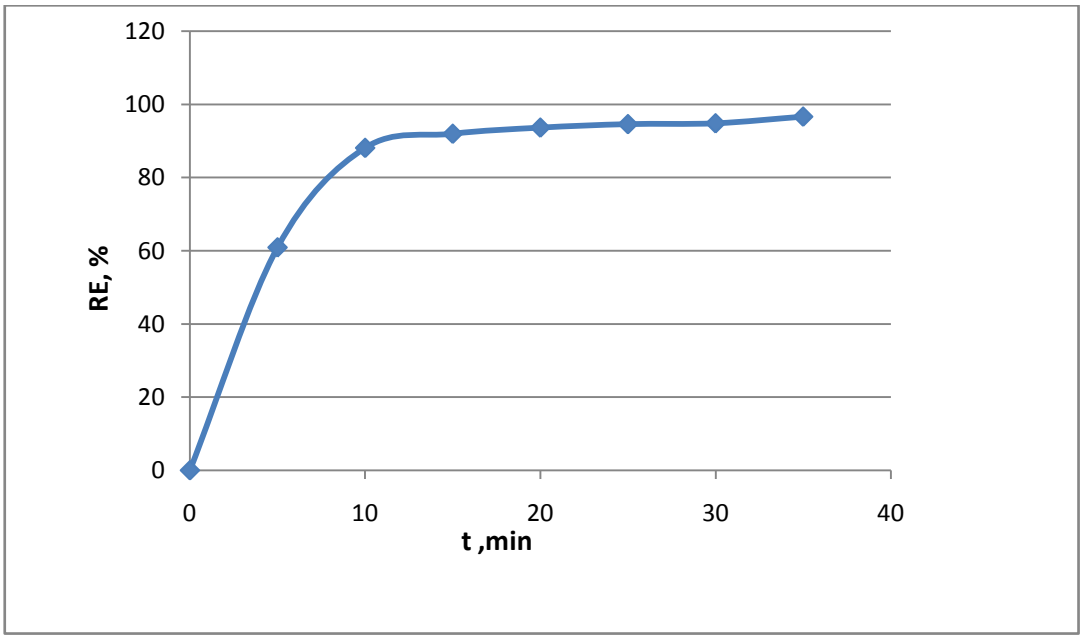


Figure IV.9 : Effet du temps d'électrolyse sur le rendement de décoloration de la solution traitée**,** C_0=100 mg/L, pH=6-7, I=0 ,3 A, [NaCl]=3g/L

La figure IV.9 montre la relation entre l'efficacité de décoloration et le temps de traitement d'une solution aqueuse de Noir d'Eriochrome de 100 mg/L. Le rendement de décoloration dépend directement de la quantité d'hydroxyde et des ions de métal formés dans le réacteur à partir des électrodes. Par conséquent, d'après la figure IV.9, le rendement optimal de décoloration est observé au bout de 20 minutes de traitement.

IV.3. CONDITIONS OPTIMALES DE LA DECOLORATION DE NOIR D'ERIOCHROME PAR ELECTROCOAGULATION

D'après l'étude qu'elle a été faite sur l'effet des paramètres sur la décoloration de la solution de Noir d'Eriochrome de concentration 100 mg/L par l'électrocoagulation. On peut déduire l'intervalle des facteurs opératoires qui permettent d'obtenir un meilleur rendement de décoloration de la solution synthétique de NET (Tableau IV-1).

Tableau IV-1 **: Conditions optimales**

Paramètres opératoires	**Conditions optimales**
pH	**06-07**
Intensité de courant (A)	**0,3**
Temps de décoloration (min)	**20**
Rendement de décoloration RD (%)	**96,64**

IV.4. ETUDE SPECTROPHOTOMETRIQUE DE NET

Sous nos conditions expérimentales ainsi déterminées (Intensité de courant I= 0,3 A, pH de la solution 6-7, Concentration de sel [NaCl] =3g/L, Temps d'électrocoagulation =20 min), l'évolution d'une solution aqueuse (100 mg/L) de NET au cours de l'électrolyse été suivi qualitativement et quantitativement par spectroscopie UV-visible.

La figure suivante présente l'évolution chimique de la solution NET lors du traitement par le procédé électrocoagulation.

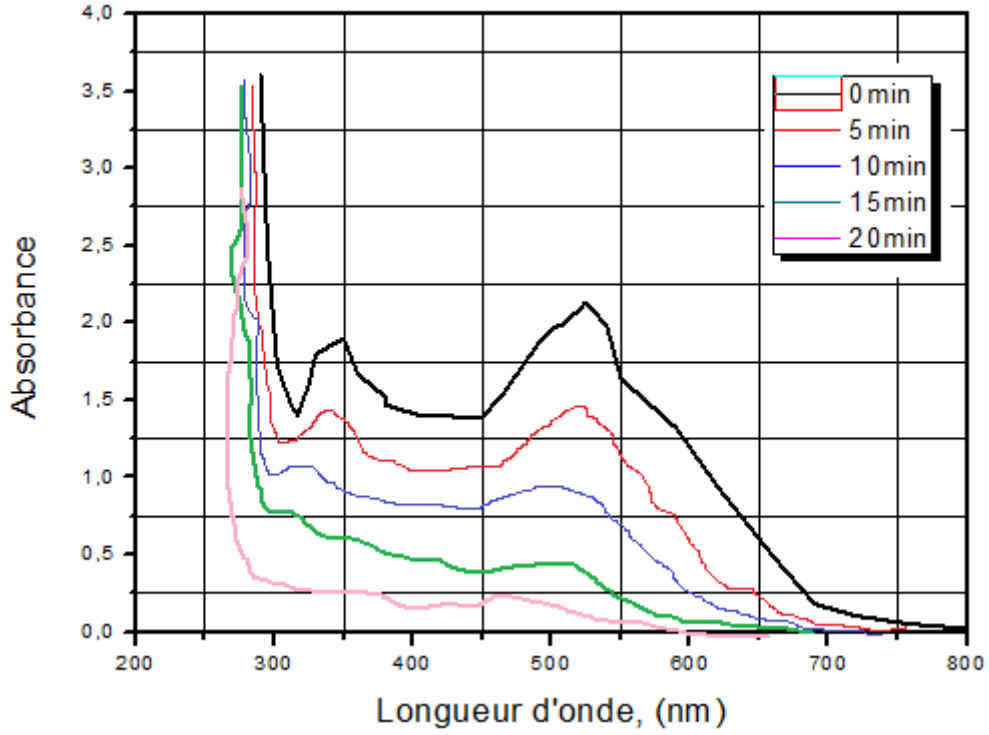


Figure IV.10 : Spectre UV-Visible de NET lors du traitement par électrocoagulation

[NET] = 100 mh/L, I= 0,3 A, pH =6-7, [NaCl]= 3g/L, t= 20 min

Cette figure montre que la disparition du noir d'Eriochrome (NET) par le procédé d'électrocoagulation est rapide. Le pic d'absorbance à λ=524 nm diminue progressivement puis disparait complètement au bout de 20 min de traitement de la solution NET (100mg/L) par électrocoagulation. La diminution significative de ce pic peut être assimilée à la coupure de la liaison (–N = N–), site le plus actif pour l'attaque oxydante des radicaux hydroxyles.

VI.5. ETUDE DE LA CINETIQUE DE DECOLORATION DE NET

IV.5.1. Théorie cinétique d'électrocoagulation

Le polluant est généralement adsorbé à la surface de flocs formé par voie électrochimique, après deux processus consécutifs distincts: (i) un procédé électrochimique à travers lequel les flocs métallique sont formés; (ii) suivi par un procédé physico-chimique, à savoir l'adsorption sur la surface des flocs [53].

L'élimination des polluants est similaire à l'adsorption classique et la consommation des électrodes peut être estimée par la loi de Faraday. Les flocs métalliques formés pièges les polluants présents dans la solution par un mécanisme d'adsorption:

L'élimination de polluants peut être modélisée par des phénomènes d'adsorption et la quantité de polluants adsorbée est donnée par la relation suivante [53].

$$q_t = (C_0 - C_t)\frac{V}{M} \qquad \text{(IV-1)}$$

Avec: q_t est la quantité de colorant adsorbée par gramme de support (mg/g), V est le volume de la solution (L), M est la masse de l'électrode dissoute (g); C_0 et C_t sont la concentration initiale et la concentration de colorant à l' instant (mg/L).

Le modèle le plus précis a été choisi en fonction de la valeur du coefficient de régression linéaire, R^2.

IV.5.1.1 Modèle de pseudo-premier ordre (équation de Lagergren)

Le modèle des cinétiques de premier ordre est le plus adapté pour les plus faibles concentrations de soluté. Ce modèle est présenté par la relation de Lagergren [54], basé sur la quantité adsorbée, est la première équation de vitesse établie pour décrire la cinétique d'adsorption dans un système liquide/solide. Ce modèle de pseudo-premier-ordre est représenté par la relation suivante [55] :

$$\frac{dq}{dt} = K_1(q_e - q_t) \qquad \text{(IV-2)}$$

Avec K_1 (min^{-1}) est la constante de vitesse d'adsorption, q_t et q_e sont les quantités adsorbées à l'instant t et à l'équilibre (mg/g), respectivement.

Après intégration entre 0 et un instant t donné, il vient:

$$Ln\left(\frac{(q_e - q_t)}{q_e}\right) = -K_1 t \qquad \text{(IV-3)}$$

Après réarrangement on obtient :

$$Ln\,(q_e - q_t) = Ln\,q_e - K_1 t \qquad \text{(IV-4)}$$

IV.5.1.2 Modèle de pseudo- deuxième ordre

La vitesse de réaction de pseudo-deuxième-ordre dépend de la quantité adsorbée sur la surface de l'adsorbant et de la quantité adsorbée à l'équilibre. Le modèle de pseudo-deuxième-ordre peut être représenté sous la forme suivante [56] :

$$\frac{dq}{dt} = K_2(q_e - q_t)^2 \qquad \text{(IV-5)}$$

Avec : K_2 est la constante de vitesse de l'équation de pseudo-second ordre (g/mg/min).

L'intégration conduit à : $\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$ (IV-6)

IV.5.2. Cinétique d'adsorption

Dans cette partie, les modèles pseudo-premiers ordres et pseudo-deuxième ordre ont été choisies pour décrire les données expérimentales de décoloration de Noir d'Eriochrome par électrocoagulation.

Pour le modèle cinétique pseudo-premier ordre, en traçant la courbe $Ln\,(q_e - q_t)$ en fonction du temps de traitement, les résultats sont présentés sur les figures IV.11 à IV.14.

La modélisation des cinétiques d'adsorption du colorant Noir d'Eriochrome en traçant la courbe $(\frac{t}{q_t})$ en fonction du temps de traitement à différentes pH, intensités de courant, quantité de NaCl et concentration de NET sur les flocs d'hydroxydes de fer formés dans le réacteur d'électrocoagulation par le modèle de pseudo-deuxième-ordre est présentée sur les figures IV. 15 à IV.18.

Les paramètres du modèle pseudo-premier ordre et du modèle pseudo-deuxième-ordre sont résumés dans le tableau IV- 8. Les coefficients de corrélation calculés sont plus près de l'unité pour le modèle cinétique de pseudo-deuxième-ordre que le modèle cinétique de pseudo-premier-ordre pour les différents paramètres opératoires. Ces résultats indiquent que le modèle cinétique de second ordre peut être appliqué de manière appropriée à prédire le processus d'adsorption du Noir d'Eriochrome sur des hydroxydes de fer.

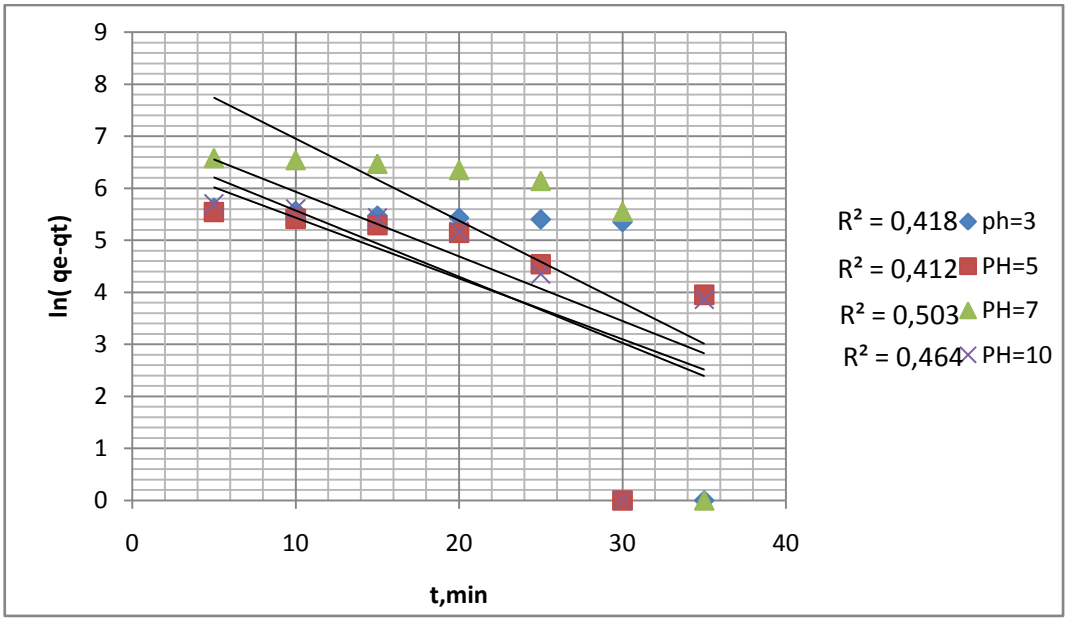
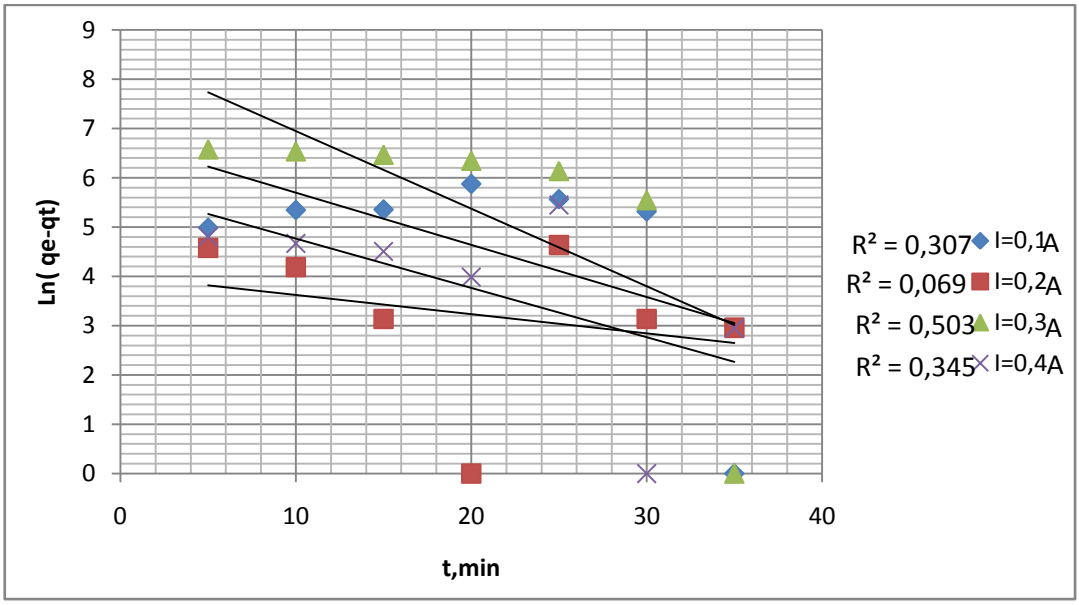


Figure IV.11 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeur de pH en Modèle du pseudo- premier -ordre

(I=0,3 A) à 20°C ; [NaCl] = 3 $g.L^{-1}$, [NET] = 100 $mg.L^{-1}$



Figures IV.12 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeur d'intensité de courant en Modèle du pseudo- premier -ordre

à pH = 7.0 , 20°C ; [NaCl] = 3 $g.L^{-1}$, [NET] = 100 $mg.L^{-1}$

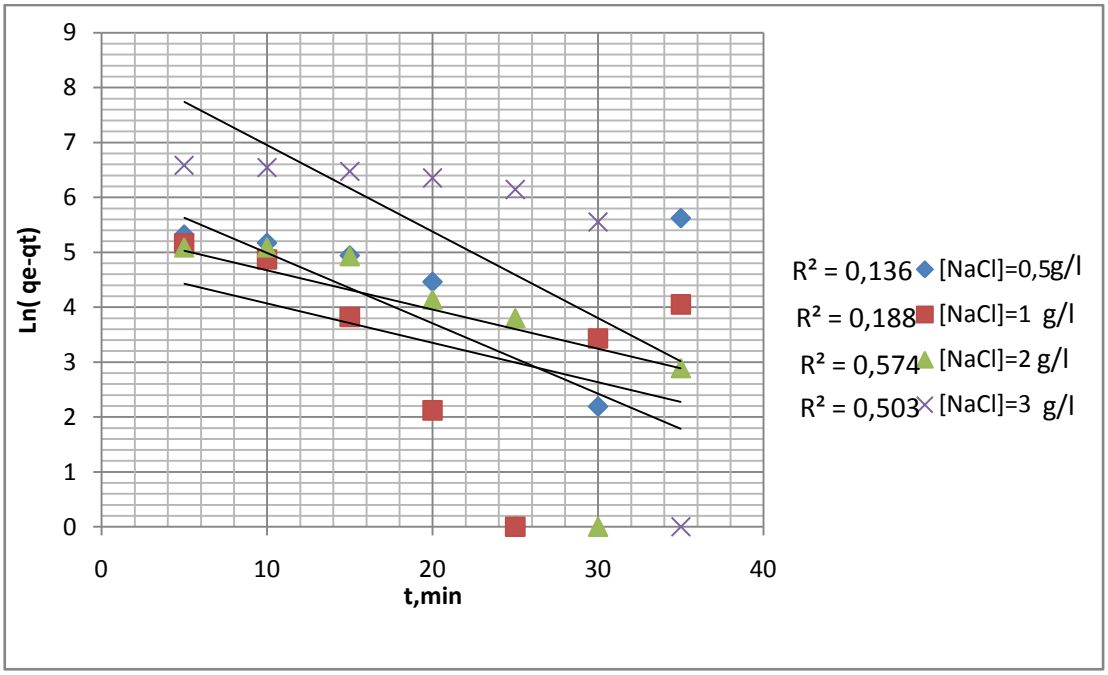


Figure IV.13 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeurs de concentration de NaCl en Modèle du pseudo- premier –ordre à pH = 7.0, 20°C ,[NET] = 100 mg.L^{-1}, I=0,3 A

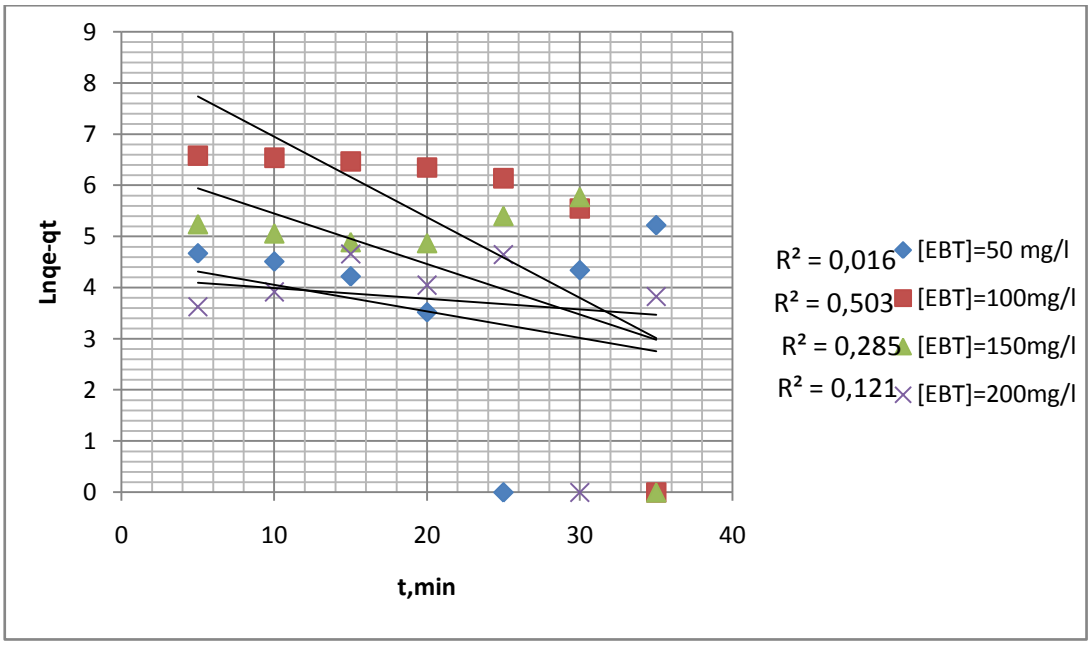


Figure IV.14 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeurs de concentration de NET en Modèle du pseudo- premier -ordre à pH = 7.0, 20°C ,([NaCl] = 3 g.L^{-1}, I=0,3 A

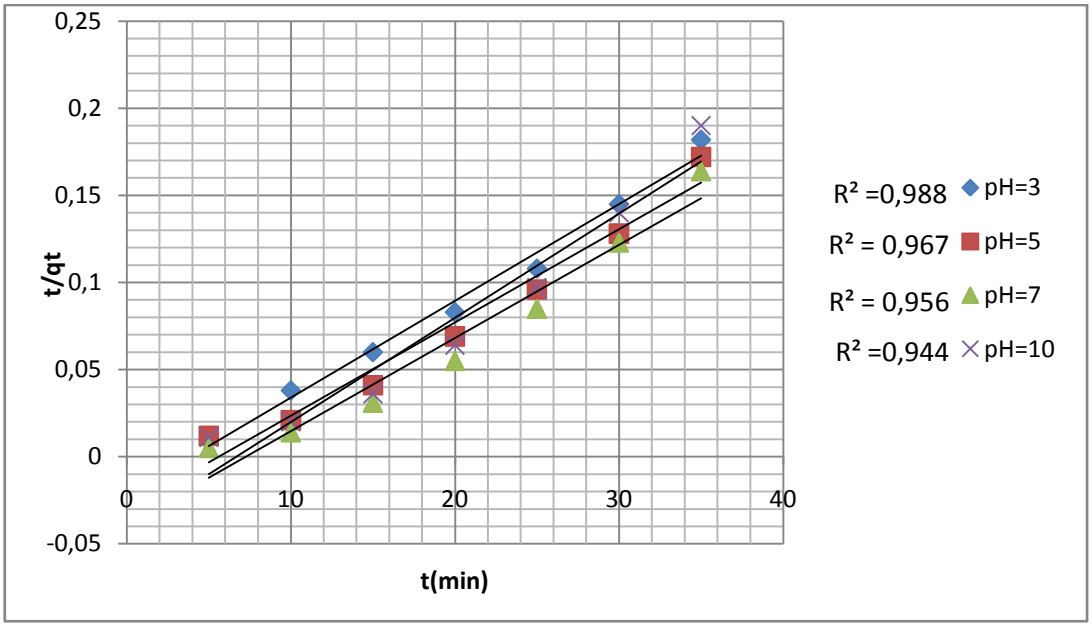


Figure IV.15 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeur de pH en modèle du pseudo- deuxième ordre (I=0,3 A) à 20°C ; [NaCl] = 3 $g.L^{-1}$, [NET] = 100 $mg.L^{-1}$

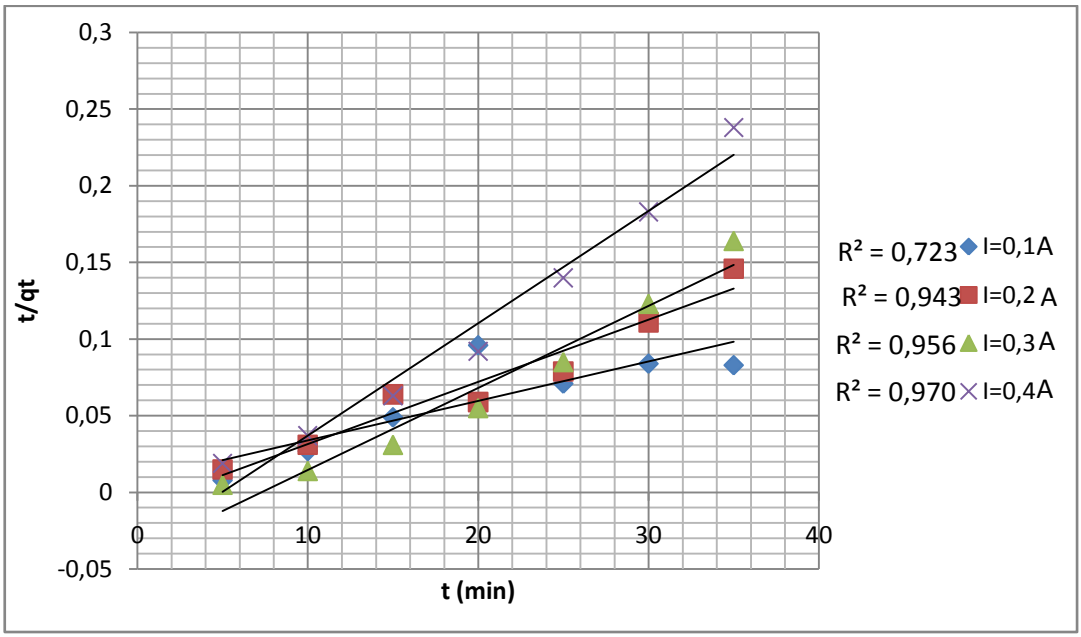


Figure IV.16 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeur d'intensité de courant en modèle du pseudo- deuxième ordre (à pH = 7.0) à 20°C ; [NaCl] = 3 $g.L^{-1}$, [NET] = 100 $mg.L^{-1}$

Ce modèle suppose que deux réactions se produisent, soit en série ou en parallèle; la première est rapide et atteint l'équilibre rapidement et la deuxième est une réaction plus lente qui peut continuer pendant une longue durée [57].

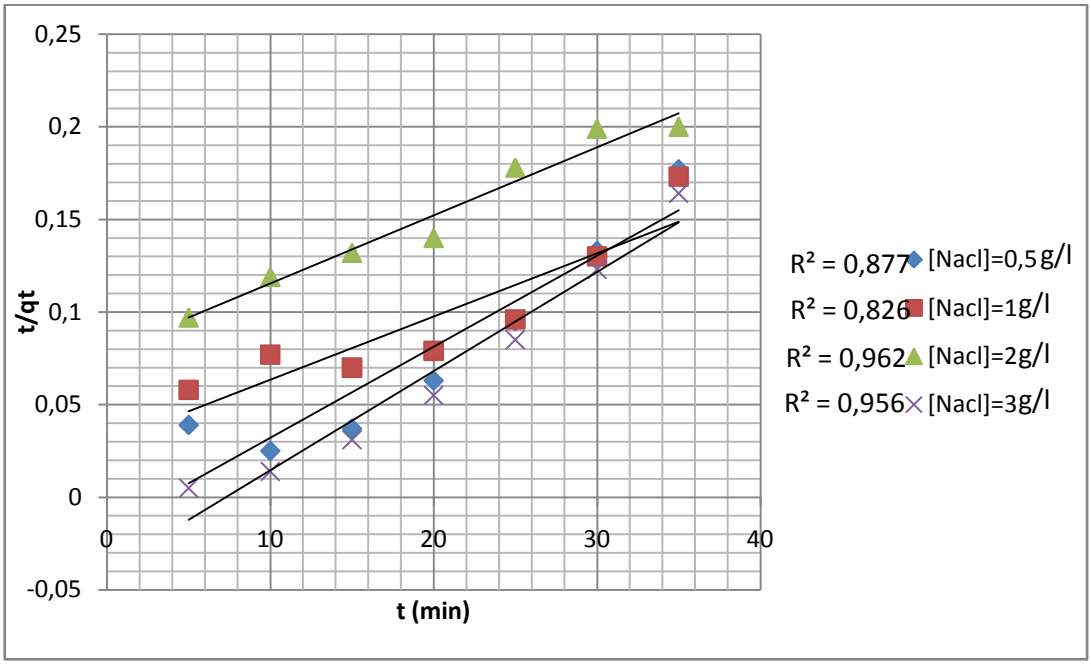


Figure IV.17 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeurs de concentration de NaCl en modèle du pseudo- deuxième ordre (à pH = 7.0) à 20°C ([NET] = 100 mg.L^{-1}, I=0,3 A

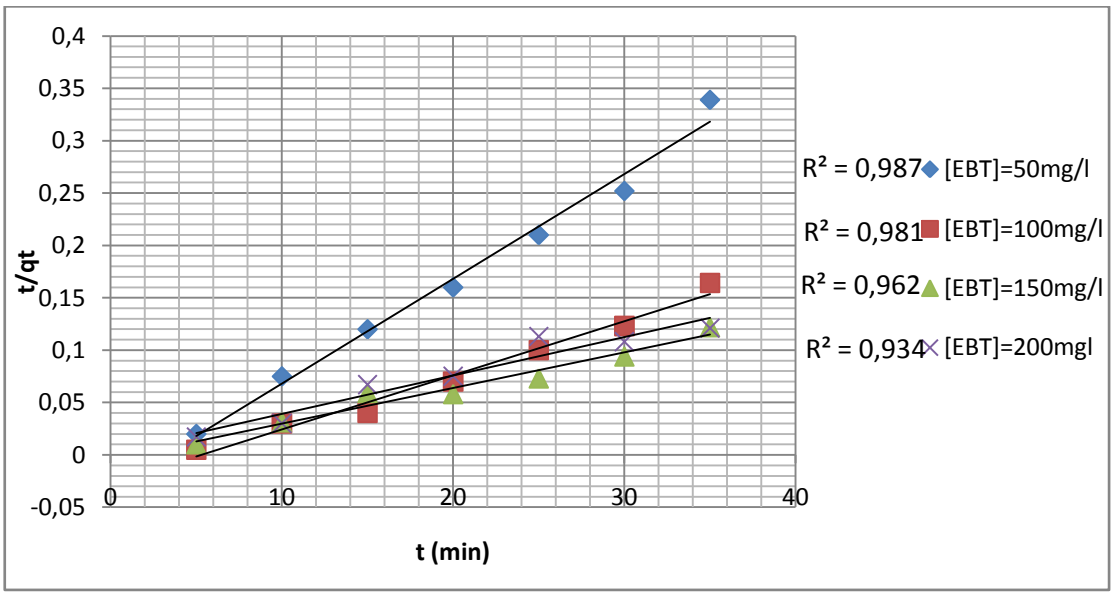


Figure IV.18 : Cinétique de décoloration de NET en fonction du temps de traitement pour différentes valeurs de concentration de NET en modèle du pseudo- deuxième ordre (à pH = 7.0) à 20°C ([NaCl] = 3 g.L^{-1}, I=0,3 A

Tableau IV.2 : Paramètres caractérisant la cinétique d'adsorption de Noir d'Eriochrome sur les flocs d'hydroxyde de fer

Paramètre	Pseudo-premier ordre		Pseudo-second ordre	
	Constante de vitesse, K_1	Coefficient de corrélation, R^2	Constante de vitesse, K_2	Coefficient de corrélation, R^2
pH initial				
3	-0,123	0,418	0,0014	0,988
5	-0,116	0,412	0,00097	0,967
7	-0,157	0,503	0,00074	0,956
10	-0,127	0,464	0,00090	0,944
Intensité de courant, A				
0,1	-0,105	0,307	0,0005	0,723
0,2	-0,039	0,069	0,0017	0,943
0,3	-0,157	0,503	0,0006	0,956
0,4	-0,099	0,345	0,0013	0,970
Quantité de NaCl, g/L				
0,5	-0,071	0,136	0,00094	0,877
1	-0,071	0,188	0,00031	0,826
2	-0,127	0,574	0,00015	0,962
3	-0,157	0,503	0,00065	0,956
Concentration de NET, mg/L				
50	-0,020	0,016	0,0031	0,987
100	-0,157	0,503	0 ,00099	0,981
150	-0,098	0,285	0,0028	0,962
200	-0,051	0,121	0,0057	0,934

IV.6. ETUDE ECONOMIQUE DU PROCEDE D'ELECTROCOAGULATION DE NET

La consommation d'énergie électrique et l'efficacité de courant sont des paramètres économiques très importants dans le processus d'électrocoagulation comme tous les autres procédés électrolytiques. La consommation d'énergie électrique peut être calculée en utilisant l'équation suivante [58]:

$$E = \frac{I.U.t_{EC}}{V} \qquad \text{(IV.7)}$$

Où I est l'intensité de courant(A), U est la tension (Volt), t_{EC} est le temps d'électrocoagulation (s) et V, le volume de la solution NET traitée (m^3).

Par conséquent, la quantité du coagulant Fe^{2+} correspondant à l'application du champ électrique est produite par dissolution électrochimique des anodes solubles de fer.

Selon la loi de faraday, la quantité d'ions Fe^{2+} libérés de l'anode soluble peut être calculée par l'équation IV.8.

$$m_{Fe} = \frac{It_{EC}.M_{Fe}}{N_e F} \qquad \text{(IV.8)}$$

Avec :

m : concentration en aluminium ou en fer dans l'émulsion,

t_{EC} : temps d'électrocoagulation (s)

M : le poids moléculaire de fer,

Ne : le nombre d'électrons a transféré dans la réaction et,

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

Dans cette étude et sous les conditions optimales, la consommation d'énergie électrique est estimée à 1,132 kWh/m^3.

Il est possible d'estimer la quantité de fer produite au cours de l'expérience d'électrocoagulation qui de 0,14 g et la quantité de fer donnée par la loi de Faraday est de 0,104 g.

IV.6.1 . Coût de l'opération de traitement de Noir d'Eriochrome T

Dans une étude économique préliminaire, la consommation d'énergie et la consommation des électrodes sont prises en considération dans le calcul du coût d'exploitation qui est donné par la relation suivante [59].

Coût d'exploitation = $aC_{Énergie} + bC_{Électrodes}$

Ou $C_{Énergie}$ et $C_{Électrodes}$ sont des quantités de consommation d'énergie et de fer par m^3 de solution traitée, qui sont obtenus expérimentalement. Compte tenu du marché algérienne en Juin 2015, les prix unitaires a et b sont comme suit:

a: prix de l'énergie électrique 0,024 US $/ kWh

b: prix du matériel d'électrodes (Fer) 0,5 US $/ kg

Ces calculs ont été effectués après l'optimisation des paramètres opératoires au cours de l'électrocoagulation. Les valeurs calculées sont présentées dans le tableau IV.3.

Tableau IV.3. Paramètres évalués pour le procédé d'électrocoagulation

E (kWh/m^3)	**m_{th}(Fe), g**	**M_{exp}(Fe), g**	**Coût d'exploitation, US $/$m^3$**
1,132	0,104	0,14	0,027

IV.7.CONCLUSION

Cette étude, a montrée l'efficacité de la technique d'électrocoagulation dans le traitement d'une solution aqueuse de noir d'eriochrome à permis de préciser des conditions optimales d'electrocoagulation. (l'intensité de courant, le pH**,** la concentration de chlorure de sodium et concentration de la solution).

Cette étude a montré que l'electrocoagulation de NET suit une cinétique de pseudo-deuxième ordre.

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'étude réalisée au cours de ce travail montre que le procédé d'électrocoagulation est efficace pour le traitement des eaux polluées par des colorants de textile. Cette dégradation des colorants est effectuée par l'action des agents coagulants produits dans le milieu à traiter.

Dans la première étape de la présente étude, nous avons appliqué le procédé d'électrocoagulation pour le traitement de solutions aqueuses de Noir d'Eriochrome. Au cours de cette étape, nous avons étudié l'influence de différents paramètres opératoires sur le processus de décoloration des solutions de NET par électrocoagulation en mode mono-polaire et avec des électrodes de fer.

Nous avons déduit que les facteurs opératoires tels que : intensité de courant, pH initial de la solution, concentration initiale de la solution colorée, concentration de NaCl et le temps de traitement influençaient l'efficacité de l'élimination de polluants.

D'après les résultats obtenue, nous avons remarqué que les colorants azoïques pouvaient être éliminé par le procéder d'électrocoagulation, et d'autre part que les performances de cette technique électrolytique dépend de plusieurs facteurs (densité de courant, pH de la solution, concentration initiale de la solution colorée et le temps de traitement).

Les études réalisées sur le traitement d'une solution colorée de Noir d'Eriochrome par la méthode d'électrocoagulation montrent qu'un traitement efficace est obtenu avec ce procédé sous les conditions optimales suivantes : intensité de courant 0.3 A, pH= 6-7, [NaCl]=3g/L, [NET]=100mg/L et le temps de traitement 20 min, ou le rendement de décoloration est de l'ordre de 96,64%, avec une consommation d'énergie électrique de 1,132 kWh/m^3.

Dans la deuxième partie l'étude cinétique montre que la décoloration de la solution NET par EC suit un modèle pseudo second ordre.

Les résultats obtenus dans cette étude semblent prometteurs pour l'application de la technologie d'électrocoagulation pour le traitement des eaux chargées avec des colorants, tels que le Noir d'Erichrome. A cet effet, ils devraient être confirmés par la suite sur les vrais effluents.

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

[1] S. Hammani, Etude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels. Thèse de Doctorat de l'Université Paris-Est et Tunis EL MANAR, 12 Décembre 2008.

[2] B. Benguella., Valorisation des argiles Algériennes application à l'adsorption des colorants textiles en solution. Thèse de Doctorat de l'Université de Tlemcen Juin, 2009.

[3] O. Yahiaoui., H. Lounici., N. Abdi., N. Drouiche., N. Ghaffour., A. Pauss., N. Maneri, treatment of olive mill wastewater by the combination of ultrafiltration and bipolar electrochimical reactor processes, chen, eng. Process. (2010).

[4] S. Sirianuntapiboon, P. Srisornsak. Removal of disperse dyes from textile wastewater using biosludge, Bioresource Technology. 98(2007) 1057-1066.

[5] P.V. Messina, P.C. Schulz . Adsorption of reactive dyes on titania–silica mesoporous materials, Journal of Colloid and Interface Science, 299 (2006) 305- 320.

[6] R. Perrin., J.P. Scharff. Chimie Industrielle. Tome 2, Edition masson, Paris. 1995.

[7] M.N. Gepy. Dermatoses professionnelles aux colorants. DMT, fiche d'allergologie-dermatologie professionnelle, INRS, 4e trimestre, 2004.

[8] H. Nozet. Textiles chimique –fibres modernes. Édition E collés. Paris. 1976.

[9] Recueil des nomes Françaises de textiles. Code de solidité de teinture et impression. Tome 4ème édition AFNOR (1985).

[10] J. LEDERER. Encyclopédie de l'hygiène alimentaire Tome IV Edition Nauewelearts. Malone S.A. Edition (1986).

[11] M. Capon., V. Courilleu., C. Vallete., Chimie des Couleurs et des Odeurs , Nantes, Culture et technique, 1999.

[12] U. Pagga, D. Brown., The degradation of dyestuffs: Part II Behaviour of dyestuffs in aerobic biodegradation tests, Chemosphere 15 (4) (1986) 479-491.

[13] M. Flamdrin-Bletty. Technologie et Chimie des Textiles. Edition Cépaduès, 1976.

[14] E. Zawlotzki Guivarch. Traitement des polluants organiques en milieu aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée « Electro-fenton », application de la minéralisation des colorants synthétiques. Thèse de doctorat. Université de Marn-la-Vallée. France, septembre 2004.

[15] DEPA (Danish Environmental protèction agency survey of azo-colorants, Demmarak, toxicity and fate of ozo dyes, 2000.

[16] C. Bewer, P. Jacques, A. Kalt, Photooxidation of an azo dye induced by visible light incident on the surface of TiO2, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 140 (2001) 87- 92.

[17] M. Stolte, M. Vieth, Acta, Endox. 31(2) (2001) (125 -130).

[18] S. Moncada, R. M. Palmes, E. A. Higgs, pharmacol. Rev. 43(1991)109-1373.

[19] E.R. Nestmann, G. R. Douglas, T.I. Matula, C.E. Grant, D.J. Koubel, Cancer Res. 39 (1979) 4412-4417.

[20] D. Kornbrust, T. Barfknecht, Environ. Mutagen. 7 (1985) 101-120.

[21] N. BARKA « l'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO2 supporte », thèse de doctorat, Université IBNEZOHR. Maroc (2008).

[22] A. Benosman, « Dépollution des eaux usées sur un support naturel chitosane-Bentomite Thèse de magistère, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.

[23] S.E. Manahan, Environmental chemistry, Ed (6), lewir publisher,U. S. A., 1994.

[24] R. Ganesh, Fate of azo dye, un sludges. Th. Chim:Virginia polye chimic institute and state univesity, (1992) p. 193.

[25] M.A. Brown, S.C. Dovito, Critical review un Environ.Sc.Techn.12(3) (1993) 405-414.

[26] S. J. Culp, F. A. Beland, R.H. Heflich, Mutation research (506/507) (2002) 55-63.

[27] Santé canada, sous produits de désinfection (SPCD), groupe de tavail sur les SPCD, novembre (1999).

[28] A. ABOUZAID, Etude de différents traitements des effluents de l'industrie textile. Thèse de Doctorat, Université Chouaib Doukkali, Maroc, 2001.

[29] N. LAMRI, Elimination du colorant orange II en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption. Mémoire de magister de l'université Mentouri de Constantine, 02 décembre 2010.

[30] C. MILLS, R.J. Bull, K.P. Cantor, rapport d'un groupe d'experts. Maladie chronique au canada, 19 (1998) P.3.

[31] Journal officiel de la république algérienne n°26 « Décret exécutif n°06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluant liquides industriels .» (2006).

[32] N. Oubagha « Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les Adjuvants par des matériaux naturels et synthétique » thèse de magister université Mouloud Mammeri Tizi ouzou. 2011.

[33] U. Pagga, K. Taeger, wat. Res.28(5) (1994) 1051-1057.

[34] E. Weber, N. L. Wolfe, environ. Toxicol. Techn.6(11987) 911-920.

[35] C.M. Carliell, S. Tom, J. J. Simon, Environ. Technol.

[36] M.C. Venceslau, S. Ton, J. Simon, Environ. Technol.

[37] C. Raghavacharya, chem. Eng world 32 (1997) 53-54.

[38] J.S. Taylor, E.P. Jacobs, MC Graw-Hill,Newyork (1996) P.9.1-9.70.

[39] B.Van Der Bruggen, L. Lejon,C. Vandecasteele, Environ.sci. Techn. 37(17) (2003) 3733-3738.

[40] C. Anselme, E.P. Jacobs, Water treatment membrane processes, MC graw.Hill,New york ,(1996) P.401-1087.

[41] S. Barclay,C. Buckley, waste minimisation guide for the textile industry, a step towards cleaner production, the pollution research group, university of Natal durban, South Africa ,For the south African. water Research commission,1(2000).

[42] P. C. Vendevivere, R. Bianchi, W. Veerstraete, J. Chem. Technol. Biotechnol. 72(1998) 289-302.

[43] W.W. Eckenfenlder, chemical oxydation, lancaster : Eckenfelre, Bowers, roth, technonic publishinf company Inc., (1992) P. 1-10.

[44] E. Neyns, J. Baeyens, M. Weemaes, B. Deheyder, J. Hazard. Mat. 98 (2003) 91-106.

[45] K. Hamada, M. Nishizawa,D. Yoshida, M. Mitzuishi, dyes pigments 36 (1998) 313- 322.

[46] T. Picard, Contribution à l'étude des réactions aux electrodes en vue de l'application à l'electrocoagulation, thèse doctorat universités de limoge (2000).

[47] M. Bennajah, Traitement des rejets industriels liquide par électrocoagulation électroflotation en réacteur airlitifs, thèse de doctorat, universités de Toulouse (2007).

[48] A. Agular Ibarra, les peuplements de poisson comme outil pour la gestion de la qualité environnementale du réseau hydrographique de la Garonne, thèse de Doctorat, l'institut National polytechnique de Toulouse, 2004.

[49] J. Celerier, J. Faby, la dégradation de la qualité de l'eau potable dans les réseaux, office internationale de l'eau SNIDE, document technique Fundae.

[50] S. Achour, N. Guesbaya, Coagulation–floculation par le sulfate d'aluminium de composées organiques phénoliques et de substances humiques, Lorrys Journal ,4(2005) 153-168.

[51] H.R. Hitz, w. Huber, R.H. Reed, J. Soc. Dyers and colorists 94(2) (1978) 71-76.

[52] Alireza Nezamzadeh Ejhieh, Mahshid Khorsandi, Photodecolorization of Eriochrome Black T using NiS–P zeolite as a heterogeneous catalyst, Journal of Hazardous Materials 176 (2010) 629–637

[53] K.N. Chithra, N. Balasubramanian, Modeling electrocoagulation through adsorption kinetics, J. Model. Simulat. Syst. 1 (2010) 124–130.

[54] Y.S. Ho, G. McKay, the kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnummoss peat,Water Res.34(2000)735–742.

[55] A. Behnamfard, M. Mehdi Salarirad, Equilibrium and kinetic studies on free cyanide adsorption from aqueous solution by activated carbon, J. Hazard. Mater.170 (2009) 127–133.

[56] Feng D., Aldrich C. Elution of ion exchange resins by use of ultrasonication. Hydrometallurgy, (2000), 55, 201-212.

[57] Liu X., Quan X., Bo L., Chen S., Zhao Y. Simultaneous pentachlorophenol decomposition and granular activated carbon regeneration assisted by microwave irradiation, *Carbon* 42, (2004), 415-422.

[58] E. Vorobiev, O. Larue, C. Vu, B. Durand, Electrocoagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions, Sep. Purif.Technol. 31 (2003) 177–192.

[59] M. Kobya, O.T. Can, M. Bayramoglu, M. Sozbir, Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater, Sep. Purif. Technol. 37 (2004) 117–125.