الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République **A**lgérienne **D**émocratique et **P**opulaire

Ministère de l'**E**nseignement **S**upérieur et de la **R**echerche **S**cientifique

Université **D**r. **Y**ahia **F**arès de **M**édéa

Faculté des **S**ciences et de la **T**echnologie



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

en Génie des Procèdes

Option : **Pollution Chimique et Gestion Environnementale**

THEME

Décoloration des Substances azoïques en solution aqueuse par électrocoagulation en mode mono-polaire

Proposé et dirigé par :

Dr. Tir Mohamed

Etudié par :

Melle. Rachida ZOUBIRI

Melle. Saliha CHETOUI

2012 – 2013

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République **A**lgérienne **D**émocratique et **P**opulaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'**E**nseignement **S**upérieur et de la **R**echerche **S**cientifique
جامعة الدكتور يحي فارس بالمدية
Université **D**r. **Y**ahia **F**arès de **M**édéa
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des **S**ciences et de la **T**echnologie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master
Spécialité : **Génie des procèdes**
Option : **pollution chimique et gestion environnementale**

THEME

Utilisation d'un adsorbant alternatif aux traitements des effluents

Présenté par :

Melle.GHALEM NAIMA

Sous la direction de : **Mr BENKORTBI**

2012 – 2013

Remerciements

Le présent travail est pour nous une occasion d'exprimer encore une fois notre reconnaissance et notre gratitude envers ***Allah*** *tout puissant.*

La réalisation de ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'aide et la participation de plusieurs personnes avec lesquelles nous avons étroitement élaboré et qui nous ont fait part de leurs connaissances et leur savoir faire.

Avant tout nous remercions :

Nos chers parents *qui grâce à eux on est arrivé à ce stade, grâce à leurs encouragements, leur compréhension, qui nous ont guidé depuis notre enfance vers le chemin de savoir.*

Notre promoteur *:* ***Dr. Tir Mohamed*** *pour son aide, son encouragement et son suivi pour réaliser ce travail.*

Nous adressons nos remerciements aux membres de jury :

Dr. NEDJHIOUI. M, Dr. MAHDI. Y et Mr. ATSAMNIA. D*, d'avoir accepté de juger ce travail.*

Sans oublier nos enseignants : ***Dr. NEDJHIOUI. M, Mr .HADIDI. N et Mr KERCHICHE. Y*** *pour son aide appréciable.*

Nos sincères remerciements vont également à touts les enseignants du département de Génie procédés de l'université de Médéa, et à touts les enseignants qui ont participé à notre formation.

Merci à toutes et à tous

DEDICACES

Ce projet est dédicacé à toutes les personnes chères et qui nous ont assuré toute sorte d'apport, soit direct ou moral et surtout à :

A ma très chère mère

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.
Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et T'accorder santé, longue vie et bonheur.

A la mémoire de mon père

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.
Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.
Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

Mon mari

Quand je t'ai connu, j'ai trouvé l'homme de ma vie, mon âme sœur et la lumière de mon chemin.
Tes sacrifices, ton soutien moral et matériel, ta gentillesse sans égal, ton profond attachement m'ont permis de réussir mes études.
Que dieu réunisse nos chemins pour un long commun serein.

A Mes frères** et **Mes sœurs

***A toutes les familles** : CHETOUI*

Je remercie mon ami et binôme Rachida qui a contribué à la Réalisation de ce modeste travail. A Tous mes collègues de la 2emeannée master environnement.

-

Saliha…

DEDICACES

Ce projet est dédicacé à toutes les personnes chères et qui nous ont assuré toute sorte d'apport, soit direct ou moral et surtout à :

Mes chères et tendres parents, qui ont illuminé le chemin de ma vie par leurs chaleurs et leurs amours et qui n'ont jamais cessé de m'encourager durant toutes mes années d'études. Que dieu les gardes et les rend heureux comme ils m'ont rendu heureuse.

A MON frère** et **Mes sœurs

***A toutes les familles** : ZOUBIRI*

***A mes neveux** Mahdi Ayoub Hanan*

A toutes Mes amies

Je remercie mon ami et binôme Saliha qui a contribué à la Réalisation de ce modeste travail.
A Tous mes collègues de la 2emeannée master environnement.

Rachida…

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE		1
CHAPITRE I : Généralité Sur Les Colorants		
I.1	Introduction……..	3
I.2	Les colorants synthétiques…… ……...	3
I.2.1	Définition.....	3
I.2.2	Généralités……	3
I.2.3	Classification des colorants……...	5
I.2.3.1	Classification chimique……...	5
I.2.3.2	Classification tinctoriale…….....	8
I.3	Propriété physique chimique des colorants…….	11
I.4	Aspect toxicologique……	12
I.4.1	Toxicité sur la santé humaine……...	12
I.4.2	Toxicité sur les milieux aquatiques……..	12
I.5	Les dangers des rejets d'industrie de textile……...	13
I.5.1	Les dangers évidents……	13
I.5.2	Les dangers à long terme……..	14
I.6	La pollution des eaux ……...	15
I.7	Législation sur l'environnement……..	16
1.8	Traitement des rejets d'industries de textiles……...	16
1.8.1	Méthodes biologiques……	16
I.8.2	Méthodes physique …….....	17
I.8.3.	Méthode physico-chimique……...	18
I.8.4	Méthodes chimiques……	18
I.8.5	Méthodes électrochimiques…….	19
I.9	Conclusion……	22
CHAPITRE II : procédé d'électrocoagulation		
II.1	Introduction…….	23
II.2	Théorie d'électrocoagulation ……...	23
II.2.1	Principe d'électrocoagulation……	23

II.2.2	Les réactions aux électrodes…….	25
II.2.3	Les différents types d'électrodes et connections électriques……...	26
II.2.3.1	Electrodes mono-polaires…….	26
II.2.3.2	Électrodes bipolaires……	27
II.3	Principales lois réagissant l'électrocoagulation……	28
II.4	Avantage et inconvénient du procède d'EC…….	31
II.5	Application d'électrocoagulations……...	32
II.6	Conclusion……	33
CHAPITRE III : matériels et méthode expérimentale		
III.1	Introduction…….	34
III.2	Objectif……..	34
III.3	Matériels et méthode……..	34
III.3.1	Matériels ……...	34
III.3.2	Produichimiques ……..	35
III.3.3	Dispositif expérimental ……	36
III.3.4	Mode opératoire……	37
III.3.5	Méthode d'analyse …….	37
II.3.5.1	pH métrie……..……..	37
III.3.5.2	Spectrophotométrie moléculaire UV-Visible	37
CHAPITRE IV : Résultats et discussions		
IV.1	Introduction	41
IV.2	Objectif	41
IV.3	étude des paramètres influents sur la décoloration de meo par EC	42
IV.3.1	Influence du pH de la solution…….	42
IV.3.2	L'influence de la quantité de sel……..	44
IV.3.3	Influence de la densité de courant	47
IV.3.4	Influence de la concentration initiale de méthyle orange……	49
IV.3.5	Récapitulation des conditions optimale pour la décoloration de méthyle orange par électrocoagulation……..	51
IV.4	Evolution spectral……	52
IV.5	Etude Cinétique De Décoloration De Méthyle Orange……	54
IV.6	Etude des paramètres influents sur la décoloration de MeO par la	58

	méthode des plans d'expériences…….	
IV.6.1	Introduction……..	58
IV.6.2	Domaine expérimental……..	58
IV.6.3	Réponses étudiées…….	59
IV. 7	effet des facteurs opératoires sur le rendement de décoloration……...	61
IV. 7.1	effet des facteurs opératoires sur la consommation d'énergie électrique	65
IV.8.	Conclusion……..	68
CONCLUSION GENERALE		69

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I:Généralité sur les colorants

Tableau I.1: Principaux groupements chromophores et auxochromes, Classés par intensité croissante…….....….4

Tableau I.2: Norme Algérienne (N06-141) des rejets d'effluents d'industrie textile……..…15

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

Chapitre *III*: *Matériels et méthode expérimentale*

Tableau III.1*:* Caractéristiques physico-chimiques de méthyle orange (MeO)….……...…..35

Tableau III.2 : Absorbance à 464 nm en fonction de la concentration en méthyle orange.....39

Chapitre IV: *Résultats et discussions*

Tableau IV. I : Récapitulation des conditions optimale……..51

Tableau IV .2: Constantes cinétiques et coefficient de corrélation d'électrocoagulation d'un colorant à différents pH……57

Tableau IV .3 : Constantes cinétiques et coefficient de corrélation d'électrocoagulation d'un colorant à différentes densité de courant…….....57

Tableau IV .4 : Constantes cinétiques et coefficient de corrélation d'électrocoagulation d'un colorant à différentes quantité de sel……57

Tableau IV.5 : Domaine expérimental pour l'étude de la décoloration de MeO……..59

Tableau V.6. Réponses étudiées……..59

Tableau IV.7 : Plan d'expérimentation et résultats expérimentaux……..60

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralité sur les colorants

Figure I- ***1:*** Conséquences de la bioaccumulation après déversement de substances toxique dans un cours d'eau…….....13

Chapitre *II* *procédé d'électrocoagulation*

Figure II .1*:* Schéma du 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……..28

Chapitre III *matériels et méthode expérimentale*

Figure III.1 ***:*** Photographie du dispositif expérimental d'électrocoagulation en mode mono polaire……..36

Figure III.2 ***:*** Spectrophotomètre SHIMADZU, UVmini-1240……38

Figure III.3 : Spectre d'absorption de méthyle orange dans le visible……39

Figure III.4 ***:*** courbe d'étalonnage : variation de l'absorbance en fonction de la concentration en méthyle orange.....40

Chapitre IV : *Résultats et discussions*

Figure IV.1 : Evolution du pH de la solution méthyle orange au cours du traitement par électrocoagulation…….42

Figure IV.2 : Influence du pH initial sur la concentration de la solution traitée…….43

Figure IV.3 : Influence du pH initial sur le rendement de la solution traitée…….44

Figure IV.4 : Evolution de la conductivité en fonction de la quantité de sel……45

Figure IV.5 : L'influence de la quantité de NaCl sur la concentration de la solution traitée.....46

Figure IV.6: L'influence de la quantité de NaCl sur le rendement de la solution traité…47

Figure IV.7: L'influence de la densité de courant sur la concentration de la solution traitée……48

Figure IV.8: L'influence de la densité de courant sur le rendement de traitement……..49

Figure IV.9 : Effet de la concentration initial du colorant sur la concentration final……...50

Figure IV.10 : Effet de la concentration initial du colorant sur le rendement de traitement…..50

Figure IV.11 : aspect d'effluent de méthyle orange avant et après traitement par électrocoagulation aux conditions optimales…….52

Figure. *IV.12* : Evolution spectrale d'effluent méthyle orange avant et après traitement par électrocoagulation……53

Figure IV.13 : Cinétique de la décoloration de méthyle orange en fonction du temps de traitement pour différents valeurs de Ph……..55

Figure IV.14 : Cinétique de la décoloration de méthyle orange en fonction du temps de traitement pour différentes valeurs de densité de courant…….55

Figure IV.15 : Cinétique de la décoloration de méthyle orange en fonction du temps de traitement pour différentes valeurs de NaCl…….56

Figure IV.16 : Effet de l'intensité de courant sur le rendement de la décoloration de la solution de méthyle orange par l'électrocoagulation……61

Figure IV.17 : Effet de pH sur le rendement de la décoloration de la solution de méthyle orange par l'électrocoagulation……62

Figure IV.18 : Effet de la quantité de sel sur le rendement de la décoloration de la solution de méthyle orange par l'électrocoagulation……..63

Figure IV.19 : Effet du temps sur le rendement de la décoloration de la solution de méthyle orange par l'électrocoagulation…….63

Figure IV.20 : Effet da la nature d'électrode sur le rendement de décoloration de la solution de méthyle orange par l'électrocoagulation……..64

Figure IV.21 : Effet de l'intensité de courant sur l'énergie consommée au cours du traitement de la solution MeO par EC……..65

Figure IV.22: Effet de temps sur l'énergie consommée au cours du traitement de la solution MeO par EC…….66

Figure IV.23 : Effet de la quantité de sel sur l'énergie consommée au cours du traitement de la solution MeO par EC……67

Figure IV.24: Effet de la nature des électrodes sur l'énergie consommée au cours du traitement de la solution MeO par EC……...68

Figure IV.25 : Effet de la quantité de sel sur l'énergie consommée au cours du traitement de la solution MeO par EC……69

.

Liste D'abréviation

MeO	Méthyle orange
ppm	Partie par million
C.I	Index des couleurs
SPC	Sous produits de chloration
THM	Trihalométhanes
DBO_5	Demande biologique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
EC	Electrocoagulation
RE	Le rendement énergétique
ECM	Electrocoagulation mono-polaire
A	Absorbance

ملخص

في هذا العمل، تم تطبيق عملية التخثير الكهربائي أحاديه القطب لمعالجه صبغ آزوكي ، الميثيل البرتقالي. وقد تم اختيار عدة عوامل تجريبية لدراسة تأثير: كثافة التيار الكهربائي ، درجة الحموضة (pH)، تركيز كلوريد الصوديوم، زمن المعالجة وطبيعة الأقطاب على مردود أزاله الأصباغ وتحديد الشروط الأمثل لهذه العملية. تحت الظروف المثلى التاليه ([colorant] = 50 mg/L, i =38,095 mA/cm², pH= 6-7, [NaCl] = 3 g/L)) فإن عملية التخثير الكهربائي (EC) مكنت من تحقيق مردوديه تصل الي 99.44٪.

تم تطبيق منهجية التصميم التجريبي في هذه الدراسه للحد من عدد التجارب و دراسة تأثير العوامل التجريبية التي تعمل على أزاله الأصباغ بتطبيق عملية التخثير الكهربائي وكذا الطاقة المستهلكة أثناء هذه العملية .

الكلمات الاساسيه : الأصبغة الازوكيه , التخثير الكهربائي , الميثيل البرتقالي, التصميم التجريبي

Résumé

Dans ce travail, le procédé d'électrocoagulation en mode mono-polaire a été appliqué pour traiter un colorant azoïque, méthyle orange. Plusieurs paramètres opératoires ont été choisis pour étudier l'influence de la densité de courant, le pH de la solution, la concentration de NaCl, le temps d'électrolyse et la nature des électrodes sur le rendement de décoloration de MeO et afin de déterminer les conditions optimales de cette opération. Dans les conditions optimales obtenues ([colorant] = 50 mg/L, i =38,095 mA/cm², pH= 6-7, [NaCl] = 3 g/L), le procédé d'électrocoagulation (EC) permet d'atteindre des rendements de décoloration de l'ordre de 99,44 %. La méthodologie de plan d'expériences a été appliquée dans ce mémoire afin de réduire le nombre d'expériences et d'étudier l'influence des facteurs opératoires sur le rendement de décoloration et l'énergie consommée au cours de l'opération de traitement.

Mots clés : Colorant Azoïque, Méthyle Orange, électrocoagulation, Plan d'expériences

Abstract

In his study, electrocoagulation process in monopolar mode was applied to treat an azo dye, methyl orange. Several process parameters were chosen to study the influence of the current intensity, initial pH of the solution, NaCl concentration, time electrolysis and nature of the electrodes on the color removal and to determine the optimum conditions for this operation. At the optimum conditions, ([dye] = 50 mg/L, i = 38,095 mA/cm², pH = 6-7, [NaCl] = 3g/L), high color removal (99,44 %) was obtained.

The methodology of experimental research has been applied in this paper to reduce the number of experiments and to study the influence of operating factors on the color removal and the energy consumed during the processing operation.

Key words: Azo dye, Methyl Orange, electrocoagulation, Design of Experiment

Introduction générale

L'eau est l'élément central de tous les processus socio-économique, quelque soit le degré de développement de la société. L'augmentation des activités industrielles engendre une pression grandissante sur les réserves en eau de la planète.

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 de textile. Les effluents de ces derniers sont caractérisés par la présence de la matière colorante qui constitue une menace très sérieuse pour l'homme et l'environnement quand ils sont rejetés dans la nature sans traitement préalable.

La protection de l'environnement est devenue ainsi un enjeu économique et politique majeur. Tous les pays du monde sont concernés par la sauvegarde des ressources en eau douce, soit parce qu'ils manquent d'eau, soit parce qu'il la polluait.[1]

Ce travail a fait l'objet d'un grand intérêt scientifique et technologique. Plusieurs techniques et procédés sont proposés pour solutionner ce problème.

Dans le but d'améliorer le traitement physico-chimique des rejets textiles et d'augmenter le taux d'élimination des polluants, les techniques électrochimiques, en répondant aux exigences économiques et écologiques, s'avèrent particulièrement bien adaptées au traitement des effluents colorés.

Ces dernières années, des techniques électrochimiques ont intéressée les chercheurs et qui semblent être très efficaces dans ce type de processus. L'électrocoagulation apparaît dans ce sens comme une technique très séduisante. Cette technique procède par création d'un champ électrique entre des électrodes (anodes solubles) et favorise la coagulation en faisant accroître la formation des flocs qui vont être entraînés par la suite vers la surface.

Ce travail de recherche a eu pour but d'étudier la dégradation et la décoloration par électrocoagulation d'un colorant azoïques en solution aqueuse. Le méthyle orange, colorant anionique, est pris comme molécule modèle dans ce travail.

Ce mémoire se repose sur quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré à des généralités sur les colorants, la pollution et les différentes techniques de traitement des colorants.

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

Le chapitre 3 est consacré à la description du matériel et des méthodes expérimentales ayant permis la réalisation pratique de cette étude.

Le chapitre 4 sera consacré à l'étude de la décoloration du méthyle orange par électrocoagulation en mode mono-polaire dans un réacteur de laboratoire fonctionnant en mode discontinu.

L'influence de :

la densité de courant, du pH de la solution, la quantité de sel, la concentration en colorant et la nature des électrodes seront étudiés.

Une étude économique à été menée pour avoir le cout de cette méthode.

Pour réduire le nombre d'expérience, on a développé une stratégie expérimentale telle que le plant d'expériences pour réduire le nombre d'expériences et l'optimisation du procédé.

Enfin nous avons terminé le travail par une conclusion générale relatant les principaux résultats de cette étude.

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 rejetées dans les effluents au cours des différentes étapes d'application et de confection [1,2]. Ces rejets, composés de surfactants, composés biocides, suspensions solides, agents de dispersion et de mouillage, colorants et métaux traces, sont toxiques pour la plupart des organismes vivants. L'hétérogénéité de leur composition rend difficile voire quasiment impossible l'obtention de seuils de pollution inférieurs ou égaux à ceux imposés par les normes environnementales, après traitement par les techniques traditionnelles. Dans ce chapitre nous avons dans un premier temps rappelé les grandes familles chimiques de colorants et les techniques de dépollution des rejets contenant des colorants.

I.2. LES COLORANTS SYNTHETIQUES

I.2.1. Définition

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

I.2.2. Généralités

Les premiers colorants synthétiques datent du milieu 19^{éme} siècle, l'évolution de l'industrie des colorants a été étroitement liée au développement de la teinture synthétique et de la chimie en générale.

Un colorant proprement dit est une substance qui possède deux propriété spécifique indépendant l'un de l'autre, la couleur est l'aptitude à être fixée sur un support tel qu'un textile [3]. L'industrie des colorants constitue un marché économique considérable car de nombreux produits industriels peuvent être colorés principalement [4] :

1- dans l'industrie textile fourrure, cuire (textiles à usage, vestimentaire, de décoration du bâtiment 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 les céramique …).

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. On employait alors uniquement des colorants naturels, mais ces composes ont été presque totalement 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 rayonnent lumineux dans le spectre (380 à 800). La transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur en corps, ou par transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés chromophores.la molécule qui les contient devient chromogène et celle-ci n'a des possibilités tinctoriales que par l'adjonction d'autres groupement d'atomes appelés : autochromes [6]. Plus le groupement chromophore donne facilement un électron, plus la couleur est intense. Les principaux groupes chromophores et auxochromes sont donnés dans le tableau (I.1). Les chromophores sont des systèmes 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 coloration correspond aux transitions possibles après absorption du rayonnement lumineux entre ces niveaux 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 (-NH2)
Nitroso (-NO ou –N-OH)	Méthylamino (-NHCH3)
Carbonyl (=C=O)	Diméthylamino (-N(CH3)2)
Vinyl (-C=C-)	Hydroxyl (-HO)
Nitro (-NO2 ou =NO-OH)	Alkoxyl (-OR)
Sulphure (>C=S)	Groupements donneurs d'électrons

I.2.3 Classification des colorants

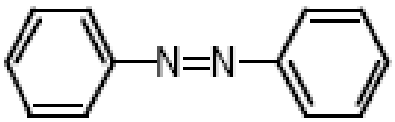
Depuis la découverte de la «mauvéine » par Perkin en 1856 et de la « fuchsine » par verguin en 1858, de très nombreux colorants ont été élaborés. On en dénombre aujourd'hui plus de 10000 en production industrielle et il a été nécessaire d'avoir un système de classification. Celui-ci constitue l'index des couleurs (en anglais couleur index noté C.I) qui répertorie la majorité des colorants mis sur le marché. Dans ce système, chaque colorant est classé selon son nom générique de « couleur index » (C.I) qui décrit ses caractéristiques essentielles telles que : formule chimique, couleur et nuance, résistance à la lumière, aux solvants, à la chaleur, à différents agents chimiques ainsi qu'une description des principaux domaines d'utilisations [3]. Chaque colorants dans le couleur index, port un numéro de référence [4]. Les principes de classification les plus couramment rencontrés dans les industries textiles sont basés sur les structures chimiques des colorants synthétiques et sur les méthodes d'application aux différents substrats (textiles, cuir, matières plastique . . . etc.) [9]. Les colorants possèdent des groupements qui leurs confèrent la couleur : appelés chromophores et des groupements qui permettent leurs fixation : autochromes [6].

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'un groupement azoïque (-N=N-) reliant deux noyaux benzéniques.

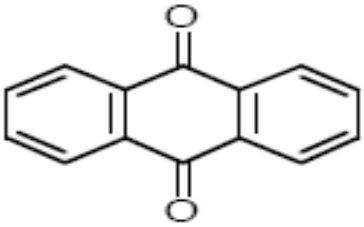


Cette catégorie de colorant est actuellement la plus répandue sur le plan de l'application, puisqu'ils représentent plus de 50% de la production mondiale de matières colorantes [10 ,11].

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 non-ioniques insolubles dans l'eau. Il est estimé que 10 à 15 % des quantités initiales sont perdues durant les procédures de teinture et sont évacués sans traitement préalable dans les effluents [11]. Or ces composés organiques cancérigènes sont réfractaires aux procédés de traitements habituellement mis en œuvre et sont très résistants à la biodégradation [9].

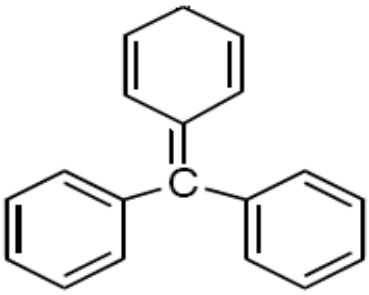
- ***Les colorants anthraquinoniques***

Les colorants anthraquinoniques sont d'un point de vue commercial les plus importants après les colorants azoïques, leur formule générale dérivée de l'anthracène, montre que le chromophore est est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amino. Ces produits sont utilisés pour la coloration des fibres polyester, acétate et triacétate de cellulose.



- ***Les colorants triphénylméthanes***

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

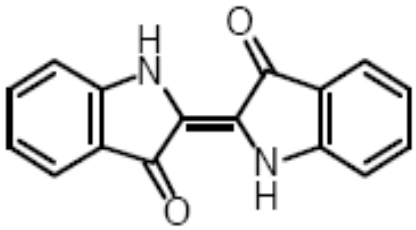


Les colorants triphénylméthanes et leurs dérivés hétérocycliques constituent la plus ancienne classe de colorants synthétiques. Actuellement bien moins importants que les colorants azoïques et anthraquinoniques, ils ont conservé une certaine valeur commerciale, car ils permettent de couvrir la totalité 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 également dans le domaine médical comme marqueur biologique et comme agent antifongique chez les poissons et la volaille.

- ***Les colorants indigoïdes***

Les colorants indigoïdes tirent leur appellation de l'indigo dont ils dérivent. Ainsi, les homologues séléniés, soufrés et oxygénés du bleu indigo provoquent d'importants effets hypochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise. Les colorants indigoïdes Sont utilisés comme colorant en textile, comme additifs en produits pharmaceutiques, la confiserie, ainsi que dans des diagnostiques Médicales [12,13].



- ***Les colorants xanthènes***

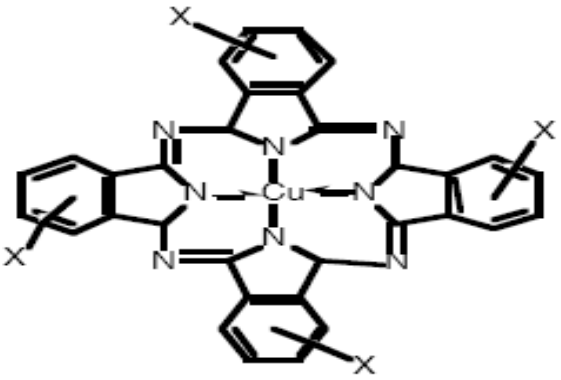
Les colorants xanthènes sont des composés qui constituent les dérivés de la fluorescéine halogénée. Ils sont dotés d'une intense fluorescence.



Leur propriété de marqueurs lors d'accident maritime ou de traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines est malgré tout bien établie. Ils sont aussi utilisés comme colorant en alimentaire, cosmétique, textile et impression [14 ,15].

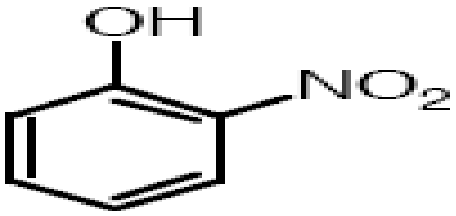
- ***Les phtalocyanines***

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



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

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



Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe nitro ($-NO_2$) en position ortho d'un groupement électrodonneur (hydroxyle ou groupes aminés).

I.2.3.2 Classification tinctoriale

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

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

Solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonates ou carboxylates, ils sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques

fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorant fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupements amino des fibres textiles.

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

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

- ***Les colorants 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 (copulant).

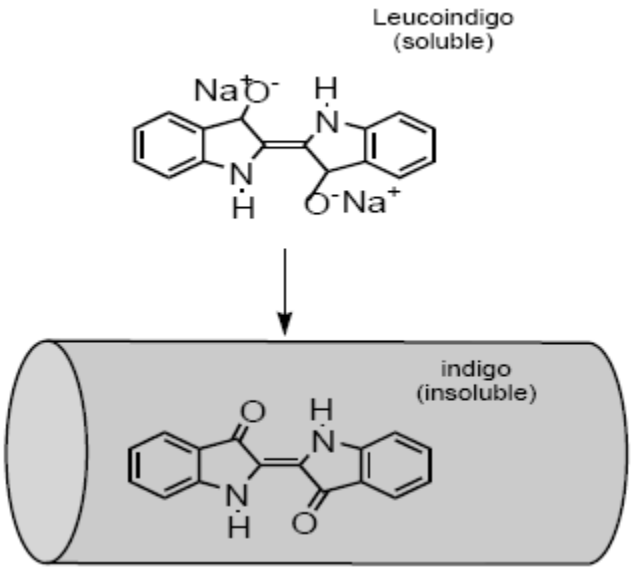


Les précurseurs de la molécule suffisamment petits pour diffuser dans les pores et les fibres sont ensuite traités avec une solution de sel de diazonium qui, par réaction de copulation entraîne le développement immédiat du colorant azoïque.

- ***Les colorants de cuve***

Les colorants de cuve sont insolubles et doivent être transformés en leucodérivés par réduction alcaline. La teinture se termine par la réoxydation in situ du colorant sous sa forme

insoluble initiale. Réputés pour leur bonne résistance aux agents de dégradation, les colorants de cuve sont encore utilisés, à l'image de l'indigo pour la teinture des articles jean ou denim.

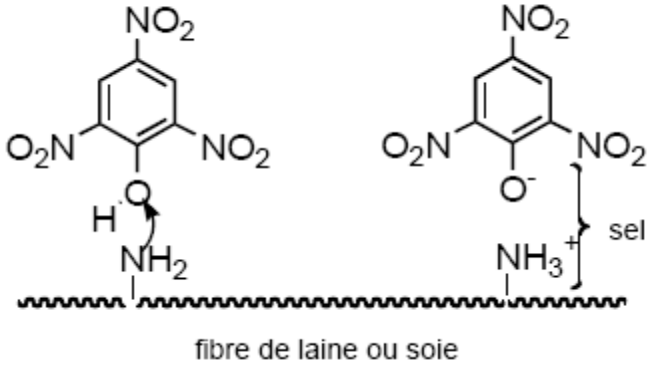


- ***Les colorants réactifs***

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

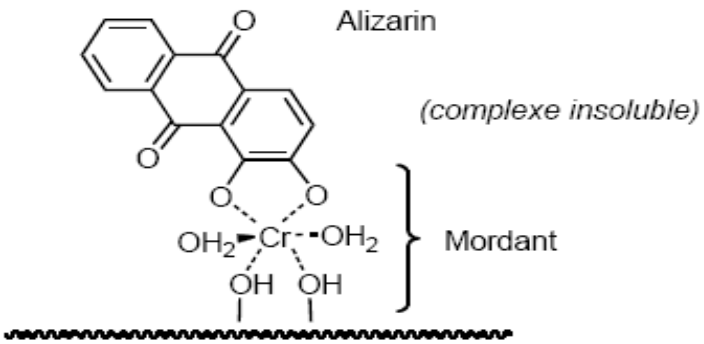
- ***Les colorants directs***

Les colorants directs contiennent ou sont capables de former des charges positives ou négatives électrostatiquement attirées par les charges des fibres. Ils se distinguent par leur affinité pour les fibres cellulosiques sans application de mordant, liée à la structure plane de leur molécule.



- ***Les colorants à mordants***

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



- ***Les colorants dispersés***

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

I.3. ROPRIETES PHYSIQUES 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 photolytique.
- 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 [16].

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 (chelite de rouge).

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 [17]. 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 [18]. D'autres recherches ont signalé que la tartrazine développe un certain nombre de réactions adverses chez certains individus comme le purit, l'œdème, l'urticaire, l'asthme et la rhinite. Les colorants azoïques sont aussi responsables d'apparition de lépatomes chez l'homme [19].

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 [20].

Exemple : la fuchsine, en concentration supérieure à 1mg/l, exerce un effet de ralentissement sur l'activité vitale des algues [21].

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 TEXTILE

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).

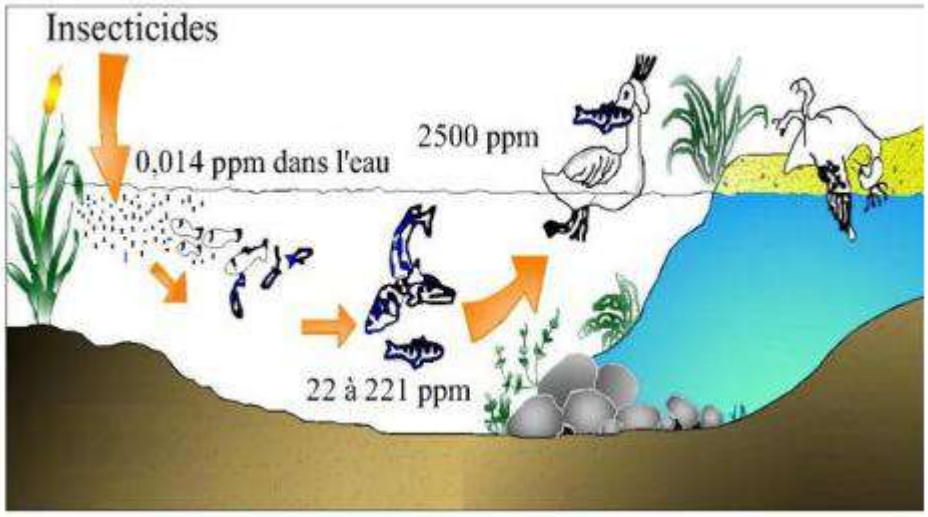


Figure I-1*: Conséquences de la bioaccumulation après déversement de substances Toxiques dans un cours d'eau.*

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. [18]. 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 [19]. Ont évalué qu'une coloration pouvait être perçue par l'œil humain à partir de 5.10^{-6}g/L. En dehors de l'aspect inesthétique, les agents colorants ont la capacité d'interférer avec la transmission de la lumière dans l'eau, bloquant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques.

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 [21]. 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
température	C°	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 REJETS D'INDUSTRIES DE TEXTILES

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.

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.

- **Traitement aérobie**

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 [28]. 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 [29,30]. 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 [31-33]. 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 (colorants à mordant, dispersés ou dits de cuve et réactifs) sont éliminés par cette technique [34].

- **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» [35,36].

L'ultrafiltration ne s'applique qu'à la réduction de DCO et des solides en suspension [37], 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 [38] 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 les plus employée dans la pratique se limitent au: sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3 nH_2O$, polychlorure d'alumiun $Al_nOH_nCl_{3n-m}$ chlorure ferrique $FeCl_3$, sulfate de fer $FeSO_4, nH_2O$ et sulfate ferrique $Fe_2(SO_4)_3$.

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 [39,40].

- **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 [41].

Les deux réactifs les plus souvent cités pour ce type de traitement sont H_2O_2 et le Chlore. Le peroxyde d'hydrogène est un oxydant fort et son application pour le traitement des polluants organiques et inorganiques est bien établie [42]. Mais l'oxydation seule par H_2O_2 n'est pas suffisamment efficace pour de fortes concentrations en colorant [43].

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 (électrolyte liquide ou gélifié, sel fondu…) [44].

- **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) [45 ,46].

La formation d'hypochlorite à partir de chlorure peut se résumer suivant la réaction globale [47].

$2NaCl + H_2O \rightarrow NaClO + NaCl + H_2$

1. *Réactions électrochimiques*

A l'anode : $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

A la cathode : $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + OH^-$

2. *Réactions chimiques*

$Cl_2 + 2OH^- \rightarrow ClO^- + Cl^- + H_2O$

$ClO^- + H_2O \rightarrow HClO + OH^-$

2. *Réactions parasites*

Migration et oxydation des OH^- à l'anode

$2OH^- \rightarrow 1/2O_2 + H_2O + 2e^-$

Réduction de ClO^- à la cathode :

$ClO^- + 2H^+ + 2e^- \rightarrow Cl^- + H_2O.$

Formation d'hydroxydes, principalement $Mg(OH)_2$:

$Mg^{2+} 2OH^- \rightarrow Mg(OH)_2$

- **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 [45].*

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	-Utilisation simple et rapide. -Pas d'addition de produits chimiques. -Faible consommation énergétique. -Réduction de la couleur	-Investissement important. -Encrassement rapide des membranes. -Pré et post traitement Nécessaires.
Adsorption	Charbon activé, Silice,	-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 Anaérobie	-la biodégradation partielle ou complète des colorants - cette technique est Adapté à un grand nombre de polluants organiques. -Décolore la plupart des Colorants par un mécanisme de réduction	-Spécifique à certains colorants. -Décoloration variable. -Besoins énergétiques Importants. -Produits de dégradation Inconnus. -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.

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

- formation des coagulants par oxydation électrolytique de l'électrode sacrificielle.
- déstabilisation des contaminants, suspension particulaire et rupture des émulsions.
- 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.

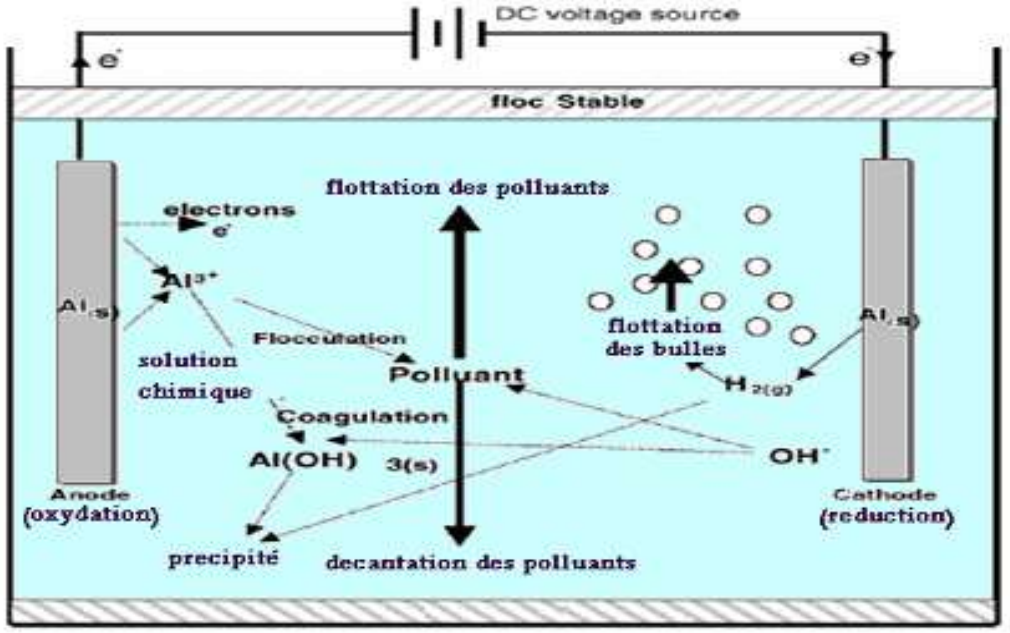


***Figure II -2**: Schéma du principe de l'électrocoagulation*

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 :

$$M_S \rightarrow M_{aq}^{n+} + ne^- \qquad (II\text{-}1)$$

L'aluminium se dissout suivant la réaction [13,14, 20].

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

- La formation de l'hydrogène :

$$2Al + 3OH^- \rightarrow Al_2O_3 + 3/2\ H_2 + 3e^- \qquad (II\text{-}3)$$

Le fer après oxydation dans un système électrolytique produit de l'hydroxyde de fer $Fe(OH)_n$ avec n = 2 ou 3 [13].

La dissolution du fer conduit à la formation de fer ferreux Fe^{2+} se fait à travers la réaction suivante :

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

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

- ***A la cathode***

On a réduction et le métal va passer de l'état ionique à l'état solide.

$$M_{aq}^{n+} + ne^- \rightarrow M_{(S)} \qquad (II\text{-}6)$$

Au voisinage de la cathode, la réduction de l'eau provoque la formation du gaz hydrogène dont le dégagement permet la flottation des particules floculées (coagulées).

La réduction de l'eau :

$$H_2O + e^- \rightarrow 1/2\ H_2 + OH^- \qquad (II\text{-}7)$$

Ce dégagement de gaz se présente sous formes de bulles, estimées à un diamètre d'environs 10 à 100 μm, et contribuent fortement à l'agitation du milieu [50].

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 [51]. Ceci est rendu possible par l'utilisation d'électrodes supplémentaire monopolaires ou bipolaires :

II.2.3.1. Electrodes mono-polaires

Les électrodes monopolaires 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.

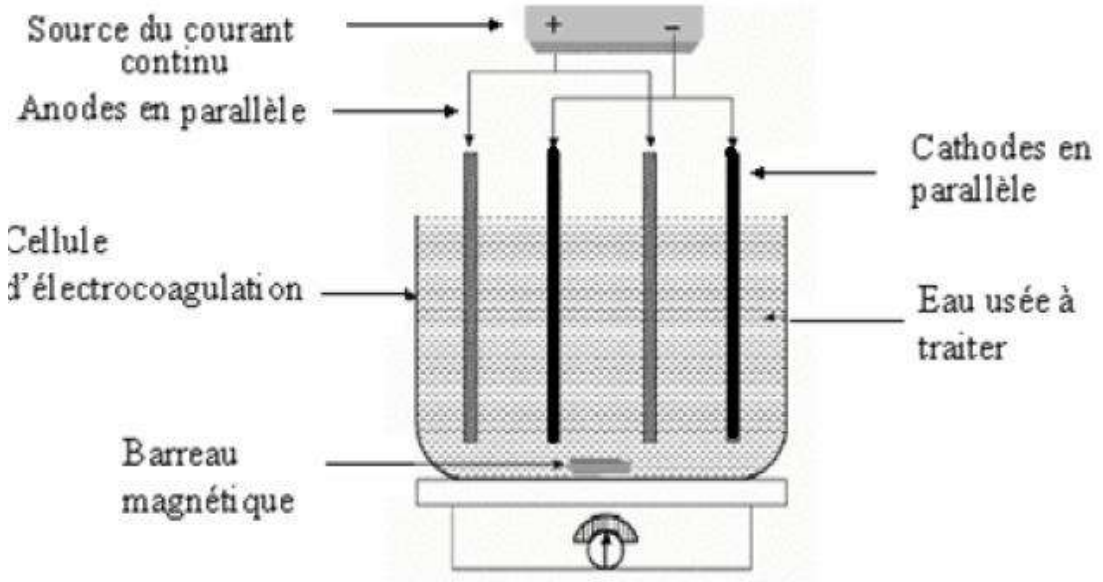
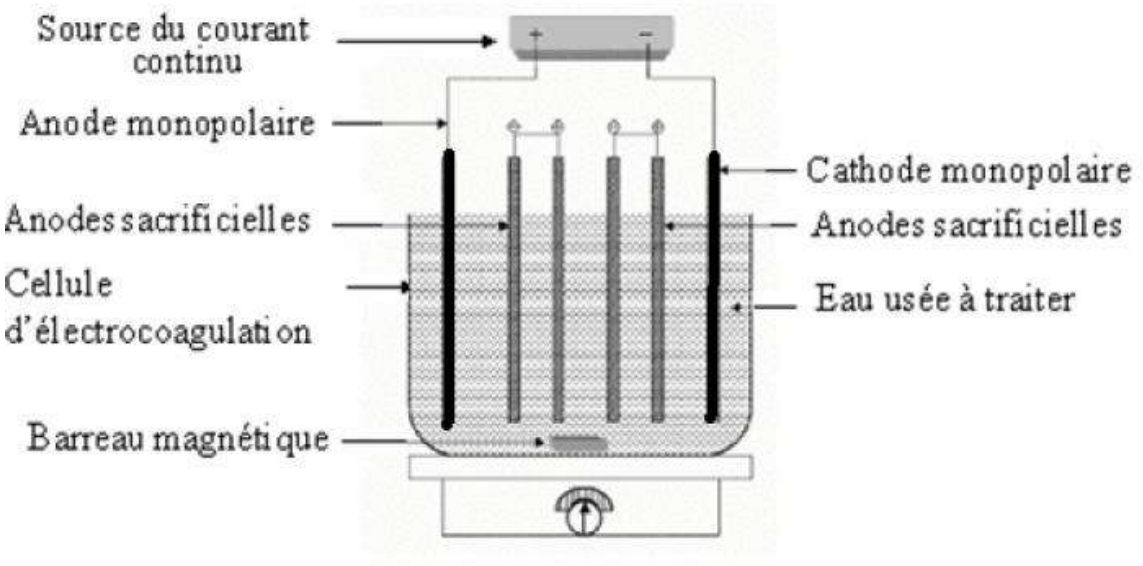


Figure II -2 *: Connexion mono polaire en parallèle*

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.



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

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 [30].

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*)

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.

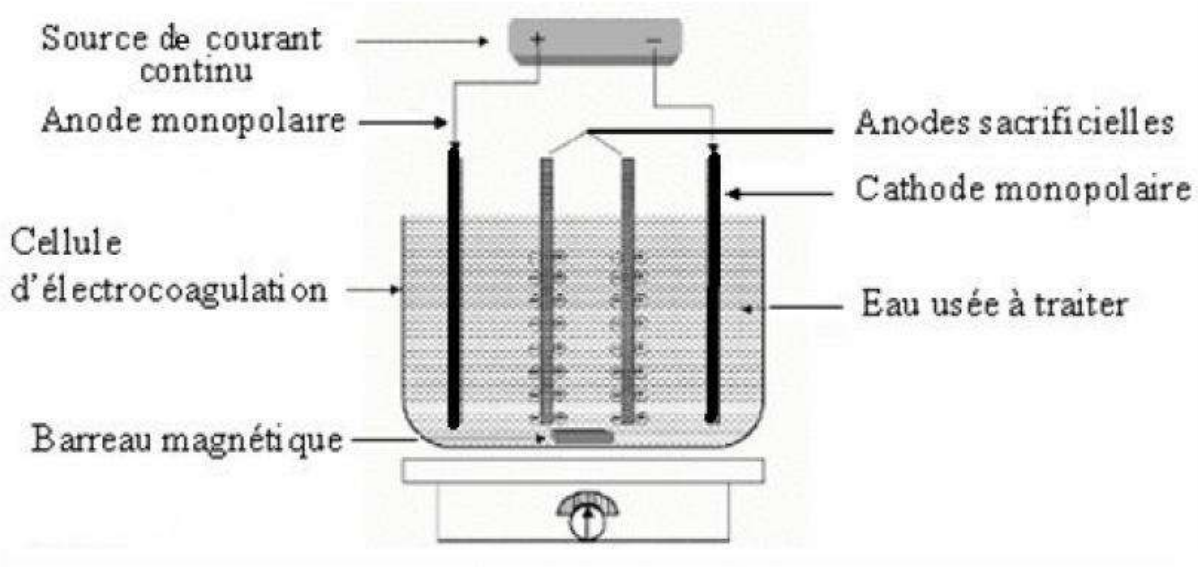


Figure II -4: *Connexion bipolaire*

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 :

$$m_{the} = \frac{I.t}{Z.FV} M \qquad (II\text{-}8)$$

Avec :

M_{the} : 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.

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

Q_e, alors :

$$C = \frac{m(p-1)}{Q_e} \qquad (II\text{-}9)$$

Avec :

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

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

p : nombre d'électrodes.

m : quantité théorique de métal dissous (kg).

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

A partir de cette loi, il est possible d'estimer la masse d'électrode théoriquement consommée par électrolyse et d'en déduire un rendement anodique (R_{anode}) :

$$R_{anode} = \frac{m_{exp}}{m_{the}} \times 100 \qquad (II.10)$$

Avec :

m_{exp} : Masse expérimentalement formée (g)

m_{the} : Masse théorique donnée par la loi de Faraday (g)

- **Calcule énergétique**

Le calcule énergétique permet de calculer l'énergie électrique à fournir en fonction du volume d'effluent à traiter [52].

L'énergie consommée en KWh/m^3 est donnée par l'équation suivant :

$$E = \frac{U.I.t}{V} \qquad (II\text{-}11)$$

U est la tension aux bornes de l'électrocution des (v)

I est l'intensité (A).

t est le temps (h).

V est le volume (m^3).

La relation (*II-11*) en globe l'énergie de dissolution de l'anode et l'énergie de dégagement de gaz.

Hannafi, a déduit une valeur optimale de la tension électrique de 20V correspond à une densité de courant 250 A/m^2 avec une consommation faible d'énergie et des électrodes (12-14 KWh/m^3) [52].

Selon Zongo, l'estimation énergétique donne une consommation énergétique de 1kWh/m^3 aux faibles densités de courant, en augmentant la conductivité de l'effluent et en réduisant la distance inter électrodes on réduirait d'avantage la consommation énergétique [53].

- **Rendement faradique et rendement énergétique**

Il se calcule en faisant le rapport de la concentration théorique calculée selon la loi de Faraday, Soit la réaction électrique :

$$A + ne^- \rightarrow \gamma_p P \qquad (II\text{-}12)$$

Avec :

A : espèce oxydante.

P : espèce réductrice.

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

γ_p : nombre de moles de P produites.

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

$$Q_0 = n.N.e_0 = nF \qquad (II\text{-}13)$$

Avec :

N : nombre d'Avogadro (6,022.10^{23} mol^{-1}).

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

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

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

Le courant d'électrolyse est alors entièrement utilisé par cette réaction. Dans le cas où plusieurs réactions électrochimiques se produisent en même temps, on évalue le rendement Faradique par rapport à la réaction (*Eq. II-13*).

Différentes expressions du rendement peuvent être utilisées [54].

- **Le rendement en courant ou rendement faradique φ_c**

$$\varphi_c = \frac{\text{Quntité d'électricité nécessaire pour produire } y_p \text{ moles de p}}{\text{quantité d'électricité réelement consommée pandant l'électrolyse moles de p}} \quad (II\text{-}14)$$

$$\text{Soit : } \varphi_c = \frac{I_{theorique} .t}{I_{consomme} .t} \quad (II\text{-}15)$$

- **Le rendement énergétique**

$$RE = \frac{\text{Energie réelement consommée pendant l'électrolyse}}{\text{Energie minimale nécessaire produir mol de P}}$$

$$\textbf{Soit : } RE = \frac{I_{theorique} .E_{Eq}}{I_{consomm\ ée} .E_{APP}} \quad (II\text{-}16)$$

Avec :

E_{Eq} : Potentiel d'équilibre ($E_{Eq} = E_{0(anode)} - E_{0(cathode)}$) où E_0 sont les potentiels d'abandon des électrodes (i=0).

E_{APP} : Tension mesurée aux bornes de l'électrolyseur.

Le rapport E_{Eq}/ E_{APP} représentant le rendement des tensions R_T, on peut aussi écrire le Rendement énergétique comme : $R_E = \varphi_c . R_T$. (*II-17*)

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 [14]. 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 [40].

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 les processus intéressant en 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.

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 de méthyle orange.

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. MATERIELS ET METHODE

III.3.1. Matériels

1- Un générateur de courant électrique de marque « PEAKTECH SWITCH MOD PAWER SUPPLY REPLACE FUSE WITH SAME » (type T2AL250V ».

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 électrique (MR 3001K /Heidolph).

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

III.3.2. Produits chimiques

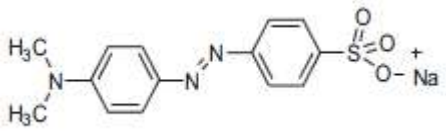
1 - Chlorure de sodium (NaCl).

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

3- Solution d'acide chlorhydrique (HCl 1N).

4- Colorant : le colorant commerciale qui a été utilisé au cours de cette étude est le méthyle orange (colorant anionique). L'ensemble des propriétés physico-chimiques de ce colorant est récapitulé dans le tableau III.1.

Tableau III.1: *Caractéristiques physico-chimiques de méthyle orange (MeO).*

Formule brute	$C_{14}H_{14}N_3O_3SNa$
Structure chimique	
Dénomination chimique	4-{(E)-[4-(diméthylamino)phényl]diazényl}benzènesulfonate de sodium (sel de sodium)
Masse molaire	327,33 g/mol
λ_{Max}	463,273 nm
Apparence	Poudre orange
Solubilité dans l'eau	5,20 $g.L^{-1}$ à 19,85 °C

III.3.3. Dispositif expérimental

L'étude de la décoloration de la solution colorée de méthyle orange 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 7cm de longueur, 3 cm de largeur et de 1cm d'épaisseur. Ce la correspond à une surface d'électrode de travaille de 21cm^2.



Figure III-1 : Photographie du dispositif expérimental d'électrocoagulation en mode mono-polaire

(1) Générateur de courant continu, (2) Cellule d'EC, (3) Agitateur magnétique chauffant, (4) Files électrique, (5) pH-mètre, (6) Multimètre

Les électrodes ont été préalablement traitées avec un papier abrasif au niveau de leur surface, dans le but de les homogénéiser et éliminer les impuretés et les dépôts qui peuvent les contaminer. Les fines bulles fournissent la force ascensionnelle nécessaire pour séparer les particules colorées qui se trouvent dans l'eau.

III.3.4. Mode opératoire

Le réacteur est rempli avec 0,7 L d'une solution de méthyle orange (MeO) à traiter et ceci dans les conditions opératoire choisies, la conductivité de la solution est ajustée avec l'ajout de chlorure de sodium (NaCl). Le pH de la solution a été mesurée en utilisant un pH-mètre . Le pH initial a été ajusté entre 2 et 11 avec une solution de HCl 1 N ou NaOH 1N. Toutes les expériences ont été effectuées à 21°C.

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 MeO en fonction du temps.

Des prélèvements de 05 ml d'échantillon à analyser se font chaque cinq minute durant l'opération de traitement.

III.3.5. Méthode d'analyse

III.3.5.1. pH métrie :

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.3.5.2. Spectrophotométrie moléculaire 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.

$$A_{(\lambda)} = Log\frac{I_0}{I} = \varepsilon_{(\lambda)}\, C\, L$$

Avec

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

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

L : épaisseur de la cellule optique [cm].

I_0 : Rayonnement incident.

I : Rayonnement émergent.

C : Concentration de la solution.

Afin de réaliser un dosage par UV-Vis il faut d'abord chercher la longueur maximale d'absorption du produit (λ_{max}) en effectuant un balayage de 200 nm jusqu'à 800 nm ensuite il faut préparer les solutions étalons de MeO et chercher les absorbances relatives de chaque étalon à la longueur d'onde λ_{max} 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 464 nm sur la

base du maxima d'absorption de méthyle orange, 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 5 à 35g /L (tableau III.2).

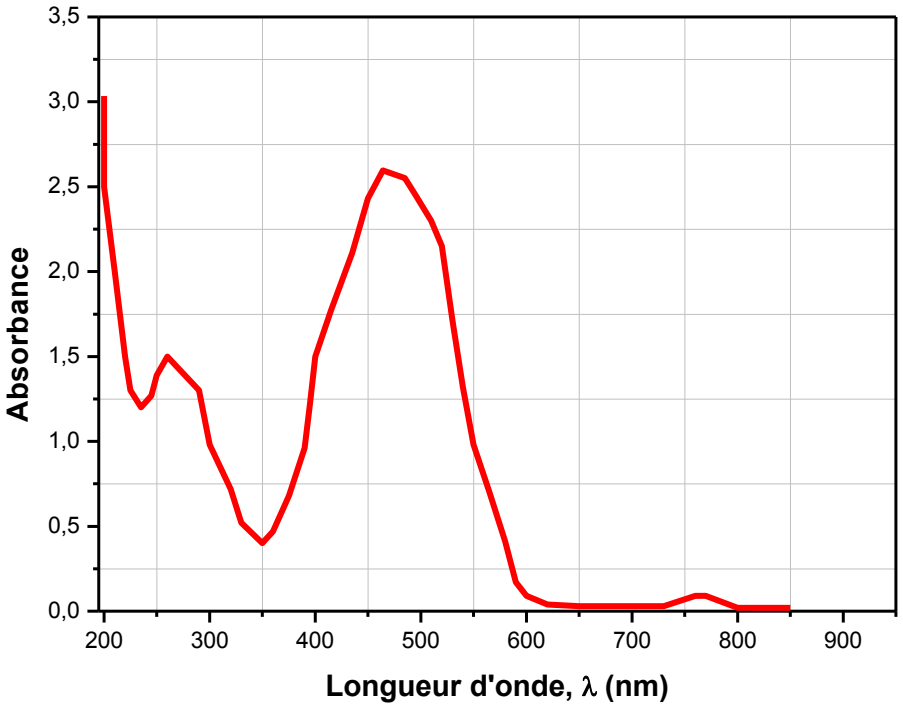


Figure III-3 Spectre d'absorption de méthyle orange dans le visible

[MeO]= 50 mg/L, pH=6,23.

Tableau III.2. *Absorbance à 464 nm en fonction de la concentration en méthyle orange*

[MeO], mg/L	0,00	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00
$ABS_{464\ nm}$	0,00	0,50	0,864	1,217	1,577	2,016	2,226

La courbe d'étalonnage pour le méthyle orange est donné par la (figure III-3).

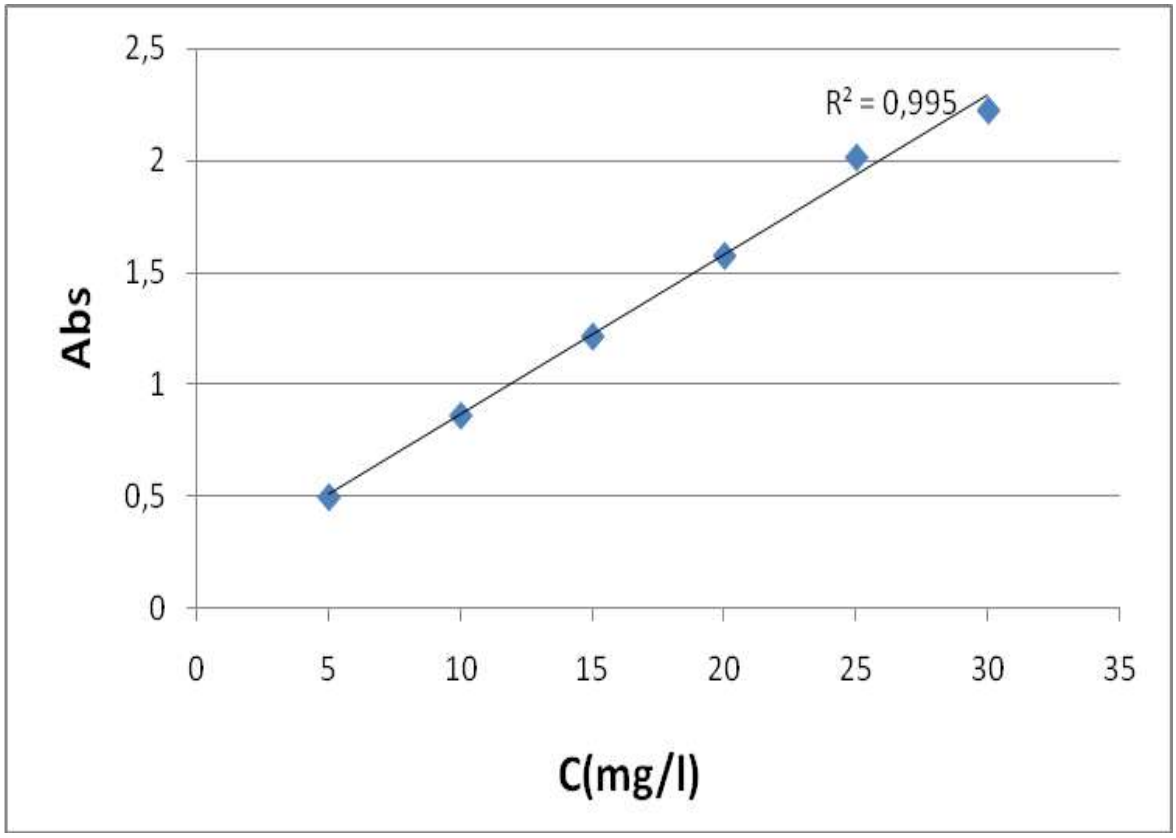


Figure III-3 : courbe d'étalonnage : variation de l'absorbance en fonction de la concentration en méthyle orange.

Le pourcentage de décoloration est calculé par l'équation :

$$R(\%) = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100$$

Avec:

C_0 : La concentration initiale de la solution MeO en mg/L.

C : La concentration finale de la solution MeO en mg/L.

R : le rendement de décoloration en (%).

Conclusion générale

L'électrocoagulation est un procédé d'électrolyse à anodes solubles. En imposant un courant électrique entre les électrodes, et selon la nature des anodes, qui sont en général soit des plaques de fer ou d'aluminium, des ions de fer (Fe^{2+}) ou d'aluminium (Al^{3+}) sont libérés.

L'étude réalisée au cours de ce mémoire montre que le procédé d'électrocoagulation en mode mono-polaire est efficace pour le traitement des eaux polluées par les colorants azoïques. Cette dégradation du colorant MeO est effectuée par l'action oxydante des agents coagulants. Ces derniers, sont capables d'éliminer la totalité des polluants organiques persistants à cause de leur pouvoir oxydant élevé et de leur réactivité.

Dans la première étape de ce travail, nous avons testé l'effet de différents facteurs opératoires sur le processus de décoloration de la solution colorée, méthyle orange par électrocoagulation mono-polaire (ECM). D'après les résultats obtenue, nous avons remarqué que les colorants aromatique pouvaient être dégrades et décolorer par le procéder d'électrocoagulation pour de larges gamme de concentration en substrat, et d'autre part que les performances du procédé d'électrocoagulation dépend de plusieurs facteurs (densité de courant, pH de la solution, concentration initiale de l'effluent, concentration de l'électrolyte et le temps de traitement).

Les essais réalisés sur le traitement d'une solution colorée par électrocoagulation montrent qu'un traitement efficace est obtenu avec ce procédé, ou le taux d'élimination est de l'ordre de 99,33% pour la solution de méthyle orange.

L'étude cinétique montre que la décoloration de la solution MeO par ECM suit un modèle pseudo-premier ordre,

L'application de la méthodologie de plan d'expériences en deuxième étape pour le traitement d'une solution de MeO de 50 mg/L a permis de réduire le nombre d'expériences et de déterminer les facteurs les plus influents (l'intensité du courant électrique, le pH, temps du traitement et la nature d'anode) sur l'absorbance, le rendement de décoloration et l'énergie électrique consommée au cours du traitement de méthyle orange par l'électrocoagulation.

L'électrocoagulation semble être très séduisant part sa facilité d'emploi ne nécessitant pas beaucoup de moyens. Des modèles mathématiques de ce processus doivent être trouvés afin d'automatiser ce système si l'on souhaite leur application en milieu industriel.

Références Bibliographiques

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

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

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

[12] **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.

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

[14] C. Bewer, P. Jacques, A. Kalt, Photooxidation of an azo dye induced by visible light incident on the surface of TiO_2, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 140 (2001) 87-92.

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

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

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

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

[19] **N. BARKA** « l'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO_2 supporte », thèse de doctorat, Université IBNEZOHR. Marco (2008).

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

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

[22] **N .J. Willmott, J.T.Guthrie, G. Nelson**, JSDC,144 (1998).

[23] **P. Cooper**, Colour in Dyestuff Effluent, the Society of Dyers and Colourists, Oxford: Aden press, 1995.

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

[29] **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).

[30] **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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

[40] **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).

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

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

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

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

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

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

[47] **S. Aliouche**, étude de l'élimination d'un colorant par différentes méthodes photochimiques en milieu aqueuse, thèse de magister université Mentouri, Constantine (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, hors Série.

[50] **S.R.Wickramasinghe. B Han, J. Zimbron**, Arsenic removal by coagulation and filtration: comparaison of ground waters from the United States and Bangladesh, Desalination, 169(2004) 231-244.

[51] **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.

[52] **M. Y A Mollah, P. Morkovsky, J. A G Gomes, M. Kesmez, J. Parga, D. L. Cocke**, Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials, 2004, 199- 210.

[53] **O.T. Can., M. Bayramoglu., M. Kobya**. Decolourisation of reactive dye solution by electrocoagulation using aluminium electrodes, industrial and engineering chemistry Rasearch. 2003 ,3391-3396.

[54] **F. Hanafi, N. Sadif, O. Assobhei, M. Mountadar**, Traitement des margines par électrocoagulation avec des électrodes plates en aluminium; revue des sciences de l'eau Journal of Water science, 22. 2009, 473-485.

[55] **I. Zongo, J. Wéthé, B. Merzouk, A. Hama Maïga, F. Lapicque, J.P. Leclerc** , Traitement De Deux Effluents Textiles Et D'un Effluent Simulé De Tannerie Par Électrocoagulation: Etude Énergétique Et Effet Des Paramètres Opératoires Sur Le Traitement Des Polluants; European Journal of Scientific Research **62**, (2) (2011) 216-235

[56] **J. Goupy**. Plans d'expérience pour surface de réponse, Edition DUNOD, 2000.

[57] **G.E.P .Box, N.R. Draper**,"Empirical model –building and response surface" Ed John Wiey & Sons, 1987.

[58] **N. Daneshvar, A. Oladegaragoze, N. Djafarzadeh** « Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation: An investigation of the effect of operational parameters» Journal of Hazardous Materials B129 (2006) 116–122.

[59] **N. Daneshvar, H. Ashassi Sorkhabi, M.B. Kasiri** « Decolorization of dye solution containing Acid Red 14 by electrocoagulation with a comparative investigation of different electrode connections» Journal of Hazardous Materials B112 (2004) 55–62.