



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'El Oued



Faculté des sciences et Technologie

Département d'Hydraulique et Génie Civil

Filière Hydraulique

MEMOIRE :

Présenté en vue de l'obtention du diplôme du master en hydraulique

Option : Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement

Thème :

**Etude du traitement des eaux colorées par
électrocoagulation**

Dirige par :

- M. OUAKOUAK ABDELKADER
- Mme. BOUCHEMAL FATTOUM

Présenter par :

- CHAMI SABRINA
- SELMI SORAYA
- TLIBA SAIDA

Promotion : juin 2022

Dédicace

À celle qui a abandonné ses rêves pour me permettre de vivre les miens. Tu étais là: constante
et forte,

inébranlable, patiente, indulgente , compréhensive et bienveillante .Tu es mon réconfort ,
mon guide dans l'existence, mon courage sans rage. Ma mère **Mabrouka** ,mon point de
départ, ma meilleure amie, hier , aujourd'hui et pour toujours

À mon père **Ahmed** le patriarche de notre si belle famille . Cet exemple de force, de
droiture, d'amour inconditionnel et éternel. Un pilier, un roc, un repère, ...

À mon bien-aimé **Oualid** , qui n'a jamais lâché ma main , qui m'a soutenu , encouragé et qui
a toujours été à mes côtés tout au long de ce voyage qu'on appelle la vie.

À mes petits bouts d'amour, mes enfants chéris **Rim eldjinan** et **Ahmed siradje**, mes amours
en somme. Vous être mon bonheur infini.

À mes soeurs je dois la force, l'exemple et les soutiens. Le cœur d'une sœur est un diamant de
pureté, un abîme de tendresse ! À vous : **Nawel** et **Rabab**.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans
la réalisation de ce mémoire :

Monsieur **Ouakouak Abdelkader** qui m'a beaucoup appris. Il a partagé ses connaissances et
expériences dans ce milieu, tout en m'accordant sa confiance et une large indépendance
dans l'exécution de missions valorisantes.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, principalement à Mr **Gomri Ali**
qui par ses paroles, ses écrits, ses conseils et ses critiques a guidé mes réflexions et a accepté de
me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

À vous qui lisez mes dédicaces, ...

Mes sincères salutations ...**Chami Sabrina**

Je dédie ce mémoire :

A mes très chers parents avec toute ma reconnaissance.

Je dédie ce travail à la mémoire de mon très chère père (**Mohamed**) , que j'aurai tellement aimé qu'il soit présent pour moi aujourd'hui.

A ma chère maman (**Amna**) qui n'a jamais cessé de ménager ses efforts pour que j'atteigne ce niveau. Ni sacrifices, ni privations ne l'ont empêché d'accomplir son devoir de mère soucieuse de l'avenir de ses enfants.

Je dédie aussi cette modeste réalisation à :

Mes frères : (**Moussa** et femme de mon frère **Fatna**) et (**Abdeladim** et femme de mon frère **Asma**)

Mes très chères sœurs : (**Saida** et son époux **Samir**) et (**Samiha** et son époux **Hicham**)

J'ai mes petits bien-aimés dans la famille qui donnent de l'amour et de la joie (**Abdelmoumen** , **Arwa**, **Taha Elamine** , **Gadir**, **Mohamed Iyad** , **Jad mohamed tahre** , **Djemana**, **Afnan**, **Ahmed rami**)

Et tout la fille de selmi surtout ma chère cousine (**Fatima**) et ma très chère-grand-mère (**Fatna**)

Mes sœurs que ma mère ne leurs a engendrés pas, qu'elles m'ont divisée des moments contents et tristes dans notre chambre. J'espère que mon dieu leurs grader (**Khalida.Kh**) et (**Samira.dj**)

Tous mes amies et mes camarades dans ma vie universitaire qui sont proches de mon cœur dont je n'ai pas cité leurs noms...**Selmi soraya**

Je m'incline devant Dieu qui m'a ouvert la porte de la connaissance et

m'a aidé à franchir

À ceux qui m'ont soutenu et ont augmenté ma détermination et ma

détermination à poursuivre mon cheminement de recherche

Qui m'a appris le succès et la patience

Qui m'a aidé face aux difficultés

Je dédie mon fruit de fin d'études à toute ma famille

Je demande à Dieu de faire de ma recherche un phare de lumière afin

que chaque étudiant de la connaissance continue à rechercher

l'absence du sujet

Taliba Saida

REMERCIEMENTS

Tout d'abord nous remercions infiniment le
bon dieu puissant de la bonne santé, la
volonté et là

Patience qu'il nous a données tout le long de
nos études.

Nous présentons nos sincères remerciements
avec nos profonds respects à notre encadreur,
M. Ouakouak, Abdelkader pour son suivi,
pour sa collaboration et pour ses discussions
aussi

Intéressantes que fructueuses. Ses précieux
conseils ont grandement contribué à la
réalisation de ce
Modeste travail.

Résumé

Les colorants sont classés parmi les composés organiques réfractaires et non biodégradables. Ils représentent un danger potentiel pour l'homme et l'environnement.

Le Méthyle Orange est un colorant de synthèse largement utilisé dans les industries de textile. Ils sont souvent rejetés dans l'écosystème avec des concentrations dépassant les normes requises par la législation.

Pour remédier à ce problème, plusieurs techniques sont utilisées mais restent insuffisantes. Le but de ce travail est d'étudier la possibilité de la décoloration des solutions synthétiques de Méthyle orange par électrocoagulation (EC). Nous avons étudié l'élimination de Méthyle orange en utilisant deux électrodes en aluminium et en fer sous un courant continu. Le temps d'agitation et l'intensité de courant ont été variés.

Les résultats obtenus ont montré l'efficacité de cette technique pour la floculation du colorant testé. Le rendement de décoloration augmente avec le temps et avec l'intensité de courant, il est atteint 79.4 % au bout de 2 heures (pour $I=20$ mA). Par conséquent, l'EC peut être considéré comme une technique économique et performante pour la décontamination de l'eau.

Mots Clé : Méthyle orange, Électrocoagulation (EC), temps d'agitation, courant, mécanismes.

Abstract

Dyes are classified as refractory and non-biodegradable organic compounds. They represent a potential danger for humans and the environment. Methyl Orange is a synthetic dye widely used in the textile industries. They are often discharged into the ecosystem in concentrations exceeding the standards required by legislation.

To remedy this problem, several techniques are used but remain insufficient. The aim of this work is to study the purification of synthetic solutions doped with Methyl orange dye by electrocoagulation (EC) method.

The elimination of Methyl orange dye from solution using aluminum and iron electrodes under direct current was investigated. Variation of stirring time and the current intensity as reaction parameters was studied.

The obtained results showed the high efficiency of this technique for the flocculation of the tested dye. The discoloration efficiency increases with increasing time and current intensity, it was reached 79.4% after 2 hours (for $I=20$ mA). Therefore, the EC can be considered as a cost-effective and high-performance method for water decontamination.

ملخص

تصنف الأصباغ على أنها مركبات عضوية مقاومة للحرارة وغير قابلة للتحلل. إنها تمثل خطراً محتملاً على الإنسان والبيئة.

ميثيل أورانج هي صبغة اصطناعية تستخدم على نطاق واسع في صناعات النسيج. غالباً ما يتم تصريفها في النظام البيئي بتركيزات تتجاوز المعايير المطلوبة بموجب التشريع.

لعلاج هذه المشكلة، يتم استخدام العديد من التقنيات ولكنها تظل غير كافية. الهدف من هذا العمل هو دراسة إمكانية تغيير درسا التخلص من برتقال الميثيل باستخدام (EC) لون المحاليل الاصطناعية لميثيل البرتقال عن طريق التخثير الكهربائي قطبين من الألومنيوم والحديد تحت التيار المباشر. اختلف وقت التحريك وشدة التيار.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها فعالية هذه التقنية في تنديف الصبغة المختبرة. تزداد كفاءة تغيير اللون بمرور الوقت تقنية اقتصادية EC لذلك، يمكن اعتبار (مللي أمبير $I = 20$ بالنسبة إلى) ومع شدة التيار تصل إلى 79.4% بعد ساعتين وفعالة لإزالة تلوث المياه.

الكلمات المفتاحية: برتقال الميثيل، التخثير الكهربائي، زمن التحريك، التيار، الآليات.

Table de matière

Dédicaces	
Remerciements	
Résumé	
Table des matières	i
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	vi
Liste d'abréviations	
Introduction générale	01
Chapitre I : Pollution organique des eaux	
I.1. Introduction	05
I.2. Eaux de surface	05
I.3. pollution des eaux	06
I.3.1. Pollution naturelle	06
I.3.2. pollution industrielle	07
I.3.3. pollution agricole	07
I.3.4. pollution microbiologique	08
I.4. Les forme de pollution de l'eau	08
I.4 .1. Pollution insoluble	08
I.4.2. Pollution soluble	08
I.5. La matière organique dans les eaux de surface	08
I.6. Origine des matières organique dans les eaux	10
I.7. Catégories de la matière organique naturelle	12
I.8. Problèmes causés par la matière organique dans l'eau	12
I.9. Les colorants	12
I.9.1. Origines des colorants	13
I.10. Classification des colorants	13
a. Classification selon la constitution chimique	13
b. Classification tinctoriale	13
c. Classification technique	14
I.11. Application des colorants	14
I.12. Toxicité des colorants de synthèse	14

I.12.1. Toxicité des colorants et leur impact environnemental	15
I.12.2. Toxicité des colorants sur la santé humaine	15
I.13. Normes et législation	15
I.14. Conclusion	16
Chapitre II : Généralités sur l'électrocoagulation	
II.1. Introduction	18
II.2. Définition de procédé de l'électrocoagulation	18
II.3. Origine et évolution L'électrocoagulation (EC)	18
II.4. Principe du procédé	20
II.5. Théorie de l'électrocoagulation	22
IV.6. Description des mécanismes du procédé EC	23
II.7. Paramètre influençant le procédé d'EC	24
II.8. Les différents modes de connexion électrique	24
a) Connexion monopolaire en parallèle	24
b) Connexion monopolaire en série	24
c) Connexion bipolaire	25
II.9. Principales lois d'électrolyse	25
II.10. Rendement faradique	26
II.11. Avantages et inconvénients du procédé d'EC	26
II.11.1. Avantages du procédé d'électrocoagulation	26
II.11.2. Inconvénients du procédé d'électrocoagulation	27
II.12. Applications d'EC	27
II.13. Conclusion	27
Chapitre III : matériels et méthodes expérimentales	
III.1. Introduction	29
III.2. Matériel et méthode	29
III.2.1. Produits et Réactifs	29
III.2.2. Eau utilisée	29
III.2.3. Matériels	30
III 2.3.1. Electrodes utilisées	30
III .2.3.2. La cellule d'électrocoagulation	31
III.3. Dosage du colorant par Spectrophotométrie	32

Tableau de matière

III.3.1. Loi d'absorption	33
III.3.1.1. Loi de Beer-Lambert	33
III.3.2. Le rayonnement ultraviolet (UV)	33
III.3.3. Domaine UV-visible de la spectrophotométrie	33
III.4. Protocole d'analyse	35
III .4.1. Choix de la longueur d'onde d'absorption	35
III .4.2. Courbe d'étalonnage de Méthyle Orange	35
III.5.Mode opératoire	36
III .5.1. Préparation des solutions	36
III.5.2. Mise en œuvre expérimentale	36
III.6. Conclusion	37
Chapitre IV : Résultats et discussions	
IV.1. Introduction	39
IV.2. Résultats et discussions	39
IV.3. Effet de paramètres réactionnels	40
IV.3.1. Effet de l'Intensité de courant	40
IV.4. Conclusion	43
Conclusion générale	45
Références bibliographiques	47

Listes des figures

N° de LA figure	Titre	Page
CHAPITRE I : Pollution organique des eaux		
Figure (I.1)	Concentration approximatives en carbone organique dissous et particulaire des eaux naturelles (Thurman, 1985).	09
Figure (I.2)	Cycle de la matière organique (Harvey, 2006).	11
CHAPITRE II : Traitement des eaux par Électrocoagulation		
Figure(II.1)	Principe du procédé l'électrocoagulation (Holt et al., 2002).	21
CHAPITRE III : Matériels et méthodes expérimentales		
Figure (III.1)	Electrodes utilisée dans les essais d'EC.	31
Figure (III.2)	Dispositif expérimental de l de l'EC.	32
Figure (III.3)	Schéma montre le principe du spectrophotomètre UV-visible.	34
Figure (III.4)	Courbe d'étalonnage du Méthyle Orange.	36
Chapitre IV : Résultats et discussions		
Figure (IV.1)	Figure IV.1 : Une série des prélèvements de la cinétique de l'élimination de MO.	39
Figure (IV.2)	Figure IV.2: cinétique d'élimination du MO pour I= 10 mA.	41
Figure (IV.3)	Figure IV.3 : cinétique d'élimination du MO pour I= 20 mA.	42

Liste des tableaux

N° du Tableau	Titre	Page
CHAPITRE I : La matière organique dans les eaux de surface		
Tableau (I.1)	Les principales caractéristiques des eaux de surface.	05
Tableau (I.2)	Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents textiles	16
CHAPITRE II : Traitement des eaux par Electrocoagulation		
Tableau (II.1)	Exemples d'emplois de l'EC.	19
Tableau (II.2)	Paramètres de différent type de connexion.	25
CHAPITRE III : Matériels et méthodes expérimentales		
Tableau (III.1)	Les principales caractéristiques du Méthyle Orange.	29
Tableau (III.2)	caractéristiques physico-chimique de l'eau Qaryoun utilisée.	30
Tableau (III.3)	Matériels utilisés lors des essais expérimentaux	30
Tableau (III.4)	Valeurs obtenues pour l'établissement de la courbe d'étalonnage du Méthyle orange ($\lambda_{\max} = 464 \text{ nm}$).	35
CHAPITRE IV : Résultats et discussions		
Tableau (IV.1)	Tableau IV.1: Rendement d'élimination du colorant pour I=10 mA.	40
Tableau (IV.2)	Tableau IV.2 : Rendement d'élimination du colorant pour I=20 mA.	42

Liste d'abréviations

H₂CO₃ : l'acide carbonique

COT : Carbone organique totale

COD : Carbone organique dissous

COP : **carbone** organique particulaire

EC : Electrocoagulation

DBO₅ : Demande biologique en oxygène

DCO : Demande chimique organique

PH : Le potentiel d'hydrogène

U : tension

I : intensité du courant

n :le nombre de cellule .

MOr : Méthyle orange

Introduction générale

Introduction générale

La protection du milieu aquatique s'impose afin de préserver l'équilibre écologique sur notre planète. Depuis le début de l'industrialisations, le volume d'eaux usées dans l'activité industrielle a considérablement augmenté, tout comme la demande en eaux provenant des besoins de la population.

La contamination du l'eau par diverses polluants (organiques et inorganiques) engendre une perturbation dans ses propriétés. De nombreuses industries (textile, papeterie, plastique, agroalimentaire...) sont de gros consommateurs de l'eau et utilisent des quantités importantes des colorants organiques (solubles ou pigmentaires) pour colorer leurs produits. Ces colorants synthétiques sont responsables de la coloration des eaux et peuvent avoir des effets nocifs sur la vie aquatique et la santé humaine. La majorité des colorants synthétiques ne sont pas biodégradables et peuvent constituer des facteurs de risques. Il est donc primordial de limiter le plus possible la pollution par ces produits en mettant en place une filière de traitement adaptée intégrant une unité de décoloration.

Les méthodes conventionnelles pour la décoloration des eaux usées sont coûteuses et sont parfois inadaptées aux traitements d'effluents. Une des méthodes physico-chimiques les plus utilisées en guise de remède pour le problème liée à la présence des matières en suspension indécantables (paramètre responsable à la couleur des eaux) est l'électrocoagulation. C'est une technique qui permet l'élimination des colloïdes grâce à leur déstabilisation chimique, par addition d'électrolytes. Elle est suivie, le plus souvent, de leur agrégation en particules plus grosses ou floccs (étape de floculation), puis de leur précipitation sous forme d'hydroxydes (étape de décantation).

La coagulation peut, d'autres parts, être induite par l'action d'un champ électrique, dans une cellule électrochimique donnant lieu à l'électrocoagulation. Le champ électrique régnant dans la cellule d'électrolyse engendre la migration des particules colloïdales vers l'anode, ce qui a pour effet d'accroître leur probabilité de rencontre, donc de favoriser la coagulation et la floculation (**Lemlikchi, 2012**).

Des particules facilitant ainsi leur élimination par des processus physiques tels que la filtration, la décantation ou la sédimentation. L'électrolyse de l'eau entraîne aussi la formation de petites bulles d'oxygène et d'hydrogène (dont la taille moyenne est inférieure à 100 micromètres). Ces microbulles s'adsorbent alors sur les matières floculées et conduit à la flottation de ces particules.

Introduction générale

De ce fait, l'objectif principal de notre travail, consiste à l'étude de la performance de l'électrocoagulation en vue de l'élimination d'un colorant anionique, cas du Méthyle orange en utilisant des électrodes en aluminium et en fer.

Dans la suite, le manuscrit s'articule autour de quatre chapitres :

- Le premier chapitre fera des généralités sur la pollution des eaux résiduaires avec une présentation du problème des rejets de l'industrie textile ainsi qu'une vue générale sur les traitements possible.
- Le chapitre II est une synthèse bibliographique sur le procédé d'électrocoagulation, son principe, ces applications, les différentes lois qui les réagissent ainsi que ces avantages et inconvénients.
- Le chapitre III décrit, les matériels et les méthodes utilisé pour le traitement envisagé ainsi que le dispositif expérimental utilisé pour la réalisation des expériences.
- Le chapitre IV présente l'ensemble des résultats obtenus, il détaille l'influence du temps d'agitation et de l'intensité de courant sur la performance de l'électrocoagulation pour la purification de l'eau colorée.

Chapitre I

*Pollution organique des
eaux*

I.1. Introduction

La pollution de l'eau est une perturbation de sa qualité et de sa nature qui rend son utilisation dangereuse et influe négativement sur l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles et les eaux souterraines. La pollution a pour origine principale, l'activité humaine, les industries, l'agriculture et les décharges de déchets domestiques et industriels. La matière organique pose actuellement un problème aux stations de traitement d'eau potable et des stations d'épuration. En effet, les principaux problèmes engendrés sont globalement la détérioration de la qualité organoleptique, un développement bactérien dans les conduites du réseau de distribution et par suite aggravation de la corrosion, et aussi une consommation importante du chlore lors de la désinfection (LE CHEVALLIER, 1990). Certains composés organiques peuvent être toxiques comme les colorants, les pesticides, les phénols, etc.

I.2. Eaux de surface

Les eaux de surface, également appelées eaux superficielles, sont constituées, par opposition aux eaux souterraines, de l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes, douces, saumâtres ou salées qui sont en contact direct avec l'atmosphère. La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains rencontrés durant leur par-cours. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. En revanche, sa teneur en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique) dépend des échanges à l'interface eau- atmosphère et de l'activité métabolique des organismes aquatiques au sein de l'eau. Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues de barrages) où peut apparaître une grande hétérogénéité de la qualité selon la profondeur (Bouzegag, 2018).

Tableau (I.1) : Les principales caractéristiques des eaux de surface (Bouzegag, 2018).

Paramètres	Eaux de surface
Température	Variable (saisons)
Turbidité/MES vraies ou colloïdales	Variable (parfois élevée/cruels, rejets de carrières, fortes pluies)

Couleur	Dépend essentiellement de MES, des acides humiques, tannins, etc. et des algues
Goûts et odeurs	Fréquents
Minéralisation globale/Salinité	Variable (précipitations rejets, nature des Terrains traversés, etc.)
Fe et Mn divalent dissous	Normalement absents sauf dystrophisation des Eaux profondes.
CO ₂ agressif	Généralement absent
O ₂ dissous	Variable (proche de la saturation dans les eaux propres /absent dans les eaux polluées)
H ₂ S	Absent
NH ₄	Seulement dans les eaux polluées
Nitrates	Variable (normalement absent, parfois en quantité dans les zones d'excéd en azoté).
Silice	Teneur normalement modérée.
Micropolluants minéraux et Organiques	Surtout présents dans les eaux des régions Industrialisés
Solvants chlorés	Normalement absents
Éléments vivants	Virus, bactéries, algues, protistes, etc. Présence d'organismes pathogènes toujours Possible

I.3. Différents types de Pollution des eaux

La pollution de l'eau correspond à une modification de ses propriétés naturelles (physique, chimique, biologique et microbiologique). Le rejet de substances solubles ou insolubles pouvant entraîner des perturbations sur le milieu aquatique et la santé humaine. Ces perturbations peuvent déséquilibrer le milieu et modifier profondément les communautés animales et végétales. Elles peuvent aussi rendre l'eau impropre aux quelconques utilisations (Khalladi et Damane 2019) .

I.3.1. Pollution naturelle

La présence des substances indésirables dans l'eau n'est pas toujours le fait de l'activité humaine. Certains phénomènes naturels peuvent également y contribuer. Par exemple, le contact de l'eau

avec les gisements minéraux peut, par érosion ou dissolution, engendrer l'existence des concentrations inhabituelles en métaux lourds (comme l'arsenic par exemple). Des irrptions volcaniques, des épanchements sous-marins d'hydrocarbures.... Peuvent aussi être à l'origine de pollution ((M. Ggaedi , H.Hossainian,M.Montazerozohri , A.Shokrollahi ;2011).

Ce type de pollution se retrouve pour toute eau en contact avec l'atmosphère car elle contient du CO_2 soluble dans l'eau pour donner de l'acide carbonique de formule H_2CO_3 . On comprend ainsi que la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère conduit à l'acidification de l'eau au contact. Ainsi, avant même la présence des pluies acides d'origine humaine, les pluies naturelles étaient légèrement acides, ce qu'est toujours le cas dans des zones protégées comme l'Amazonie (**Olivier, 2005**), cette dernière étant également causée par l'eutrophisation (**Beyade, 2013**).

I.3.2. Pollution industrielle

Si la pollution domestique du milieu aquatique est relativement constante, les rejets industriels sont, au contraire, caractérisés par leur très grande diversité, suivant l'utilisation qui est faite de l'eau au cours du processus industriel. Selon l'activité industrielle, on va donc retrouver des pollutions aussi diverses (M. Ggaedi , H.Hossainian,M.Montazerozohri , A.Shokrollahi ;2011).

Des matières organiques et des graisses.

- ✓ Des hydrocarbures.
- ✓ Des métaux.
- ✓ Des acide, bases, produits chimiques divers.
- ✓ Des chaudes.
- ✓ Des matières radioactives.

Parmi les industries considérées traditionnellement comme rejetant des matières particulièrement polluantes pour l'eau, on citera, notamment, l'industrie du cuir, etc.

I.3.3. Pollution agricole

La pollution d'origine agricole provient surtout des engrais et pesticides épanchés dans le sol sur de très grandes surfaces à proximité ou pas de cours d'eau (Oubagha N 2011). Ce type de pollution s'est intensifié depuis que l'agriculture est entrée dans un stade d'industrialisation assez

avancé. La concentration des élevages entraîne un excédent de déjections animales qui finissent par enrichir les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés, encourageant ainsi une source de pollution bactériologique. L'utilisation massive des engrais chimiques (nitrates et phosphates) altèrent aussi la qualité des nappes souterraines vers lesquelles ils sont entraînés.

I.3.4. Pollution microbiologique

Le rejet urbain en général présente des conditions très favorables à la prolifération de certains germes pathogènes et d'organismes vivants. On peut citer les virus, les bactéries, les protozoaires, les vers et les microchampignons. Ces différents éléments garantissent une masse permanente en germes utiles à l'épuration par biodégradation donnant une eau de mauvaise qualité microbiologique qui peut être un facteur de risque de plusieurs pathologies, surtout digestives (Martineau G, 1997).

I.4. Formes de pollution de l'eau

I.4 .1. Pollution insoluble

Ce sont les agrégats de matière qui se retrouvent sous une forme particulière. Les particules solides qui peuvent, soit flotter, soit sédimenter en fonction de leurs densités.

I.4.2. Pollution soluble

Elle est dissoute dans l'eau et se trouve donc souvent sous forme d'unité chimique simple, la molécule, ou de macromolécules comme les protéines, les colloïdes... qui « flottent » dans l'eau mais que l'on ne voit pas (la pollution minérale, la pollution organique) (Rabah et Maamar,2018).

I.5. Matières organique dans les eaux de surface

La matière organique des eaux naturelles peut varier considérablement, en fonction de son origine, du mode de transformation, de l'âge et de l'environnement. Les teneurs en charge organique pourraient varier suivant l'activité anthropique, ce qui pose des problèmes réels au niveau des stations de traitement et d'épuration des eaux.

Les eaux de surface contiennent généralement de 2 à 10 mg/ L de carbone organique total (COT) mais certaines valeurs plus élevées (jusqu'à 30 mg/L de COT) peuvent être rencontrées dans les eaux retenues (barrages, lacs) **(Lefebvre, 1990)**.

En moyenne, le COT inclut moins de 10% de 90% de carbone organique particulaire (COP). Le carbone organique dissous (COD) est essentiellement issu des processus de dégradation des végétaux et des détritux animaux **(Thurman, 1985)**. Certains micropolluants provenant de l'activité agricole, des rejets industriels et urbains y sont également présents, mais à des concentrations faibles, de l'ordre du $\mu\text{g/L}$, voire du ng/L **(Lefebvre, 1990)**. Le carbone organique particulaire est principalement composé de sédiments, zooplancton, phytoplancton et bactéries. La figure I-1 représente l'ordre de grandeur des pourcentages en ces deux types de matière organique dans différents types d'eaux.

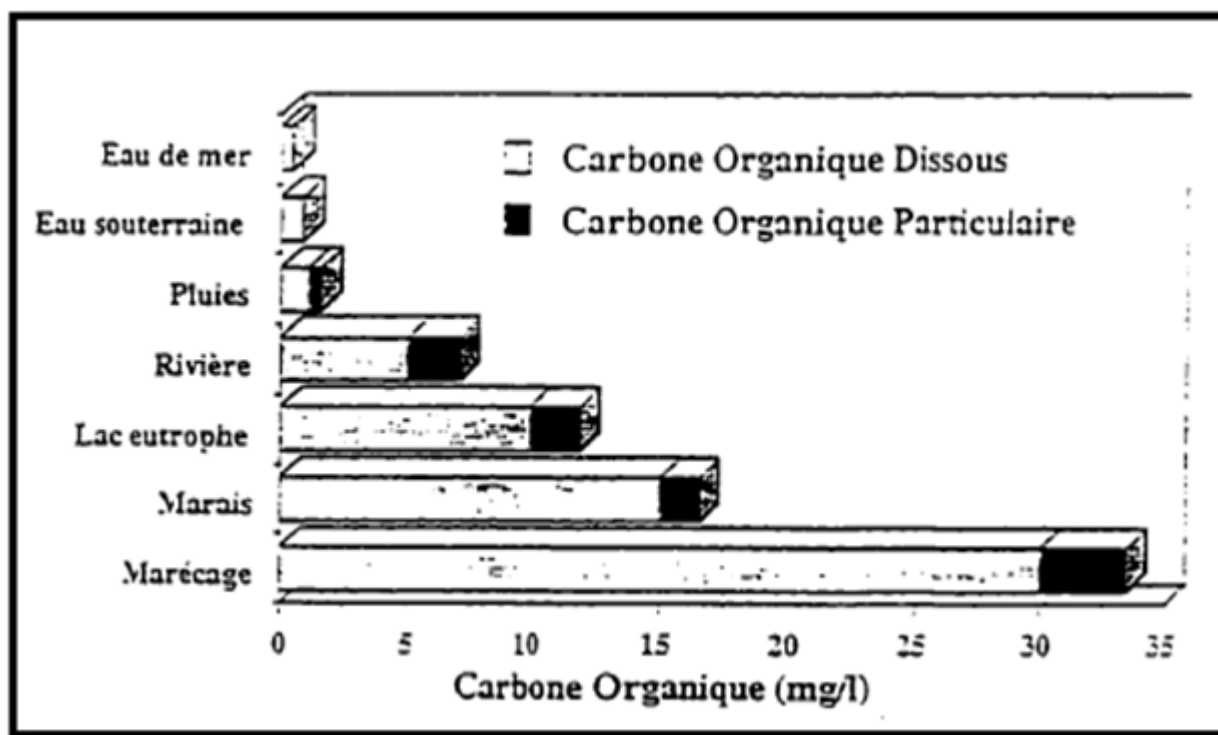


Figure (I.1) : Concentration approximatives en carbone organique dissous et particulaire des eaux naturelles **(Thurman, 1985)**.

La matière organique est constituée par les fractions suivantes :

- ❖ des substances humiques (30 à 50% du COD).
- ❖ des acides hydrophiles (environ 30% du COD).
- ❖ des acides carboxyliques (5 à 8% du COD).

Des acides aminés libres et combinés (2 à 3% du COD).

- ❖ des hydrates de carbone (5 à 10% du COD).
- ❖ un ensemble complexe de composés à l'état de traces.

I.6. Origine des matières organique dans les eaux

L'état dynamique de la matière organique rend son étude difficile du fait qu'elle subit sans cesse des cycles de synthèse biologique, métabolisation et décomposition. Dans l'environnement aquatique, la matière organique est majoritairement synthétisée par le phytoplancton puis utilisée comme nutriments par d'autres espèces qui peuvent la métaboliser puis l'excréter sous une autre forme (Figure 2). Dans les eaux profondes ou plus généralement dans les zones aphotiques, la production par les bactéries devient majoritaire (**DUURSMA et DAWSON 1981**). Une troisième zone de production de la matière organique dans les eaux naturelles est l'interface eau-sédiment où elle subit des transformations biologiques ou chimiques lentes (**DUURSMA et DAWSON 1981**). La matière organique est également émise par dégradation des organismes animaux ou végétaux, que ce soit dans les milieux aquatiques ou terrestres. La matière organique fraîchement produite par la matière vivante (phytoplancton, bactéries, micro-organismes...) est généralement appelée matière organique récente en opposition à la matière organique plus humifiée (ancienne) issue de multiples étapes de dégradation de cette matière organique.

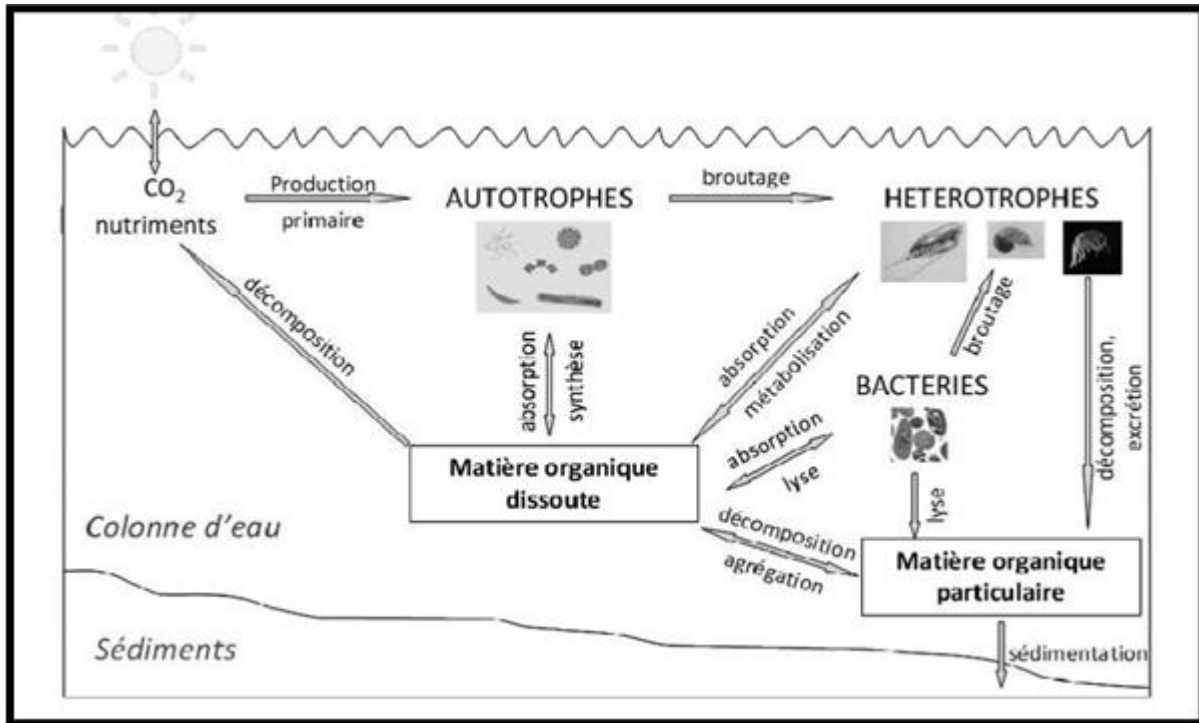


Figure (I.2) : Cycle de la matière organique (Harvey, 2006).

Les matières organiques dans le milieu aquatique peuvent être d'origine diffuse ou ponctuelle ou qu'elles soient d'origines endogène ou exogène. La fraction importante de la matière organique des eaux générée dans le milieu aquatique est dite endogène par opposition à celle qui vient des versants qui est dite exogène.

Participent à la matière organique endogène les cellules et organismes vivants ainsi que les molécules issues directement de leurs métabolismes, mais aussi la matière organique « morte » provenant de la dégradation des végétaux par les organismes aquatiques vivants (CEMAGREF, 2004).

La matière organique exogène provient des bassins versants, de manière diffuse ou ponctuelle. Les sources diffuses sont associées aux sols qui stockent une quantité très importante de charge organique. Les formes de MO présentes dans les sols peuvent se présenter dans les eaux. On distingue particulièrement quatre groupes :

- ✓ La matière organique vivante, végétale et animale, qui englobe la totalité de la biomasse en activité.

- ✓ Les débris d'origine végétale (résidus végétaux, exsudats) et d'origine animale (déjections et cadavres) qui sont regroupés sous le terme de matière organique fraîche.

I.7.Catégories de la matière organique naturelle

La matière organique naturelle constitue un mélange très complexe de biopolymères et de monomères générés par l'activité biologique sur un bassin versant et dans les ressources elles-mêmes. Les polymères les plus abondants sont les acides humiques, les polysaccharides et les protéines, alors que les monomères, moins abondants car facilement biodégradables, sont principalement représentés par les sucres aminés et les acides aminés (Harrat,2013).

I.8. Problèmes causés par la matière organique dans l'eau

Pour le cas des eaux de surface, la présence de matière organique peut causer de nombreux problèmes d'ordre sanitaire, technique et économique donc les principaux problèmes engendrés sont globalement :

- ❖ La présence trop importance de M.O. en suspension dans les eaux contribue à en diminuer le taux d'oxygène dissous (O_2). Cet oxygène est indispensable à la vie des animaux aquatiques mais également à celle des bactéries aérobies (qui respirent de l'oxygène) qui transforment la matière organique en ammonium, nitrites, nitrates. Ainsi l'excès de la matière organique restreint le processus naturel d'auto-épuration.
- ❖ Lorsque des amoncellements de boues riches en matières organiques se constituent au fond d'un cours d'eau, la matière organique peut être décomposée par les bactéries en anaérobiose en produisant des dégagements gazeux putrides : méthane, gaz carbonique et hydrogène sulfuré nocif pour la vie aquatique.
- ❖ La présence de fortes teneurs en matière organique demande l'installation de dispositifs de traitement plus complexes et donc plus coûteux en structure et en réactifs, sans compter les quantités de boues générées (Aoudi , 2017).

I.9. Les colorants

Le colorant est une substance ayant la propriété d'absorber une partie des rayonnements lumineux dans le spectre visible (entre 380 et 750 nm). La couleur est donnée par la fraction de lumière non absorbée par le colorant.

I.9.1. Origines des colorants

Depuis le début de l'humanité, les colorants ont été appliqués dans pratiquement tous les domaines de notre vie quotidienne pour la peinture et la teinture de papier, cosmétique, des textiles et des aliments etc. Jusqu'à la moitié de 19^{ème} siècle, les colorants appliqués étaient d'origine naturelle. Ces colorants sont tous des composés aromatiques d'origine végétale, extraits des plantes, des arbres, ou bien d'origine animale, extraits des insectes comme le kermès ou des mollusques comme la pourpre. Dans leur ensemble, ils sont obtenus à partir de sources végétales (Rabah et Maamar, 2018).

I.10. Classification des colorants

Les colorants présentent une diverse structure considérable et ils sont classifiés de plusieurs manières, classification selon leur constitution chimique, tinctoriale et technique :

a. Classification selon la constitution chimique

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore

- Les colorants azoïques.
- Les colorants nitrés et nitrisés.
- Les colorants xanthènes

b. Classification tinctoriale

La classification tinctoriale intéresse le teinturier. Les éléments clés sont la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la fixation. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes (STOLTE M, Vieth M, 2001)

- Les colorants acides.
- Les colorants de cuve.

- Les colorants directs.

c. Classification technique

- Les colorants naturels
- Les colorants synthétiques

I.11. Application des colorants

Les colorants présentent de nombreuses applications dans différents domaines, dont voici quelques-unes essentielles :

- a) L'industrie de matière plastique.
- b) L'industrie du bâtiment.
- c) L'industrie pharmaceutique.
- d) L'industrie agroalimentaire.
- e) L'imprimerie.

I.12. Toxicité des colorants de synthèse

L'industrie de textile est en général de grosse consommatrice d'eau et de réactifs chimiques dont les colorants synthétiques. Une partie très importante (10 à 15%) de ces colorants se retrouve dans les eaux résiduaires. Or ces substances toxiques et non biodégradable sont réfractaires aux procédés d'épuration habituellement mis en œuvre. La toxicité de différents types de colorants a été étudiée par plusieurs chercheurs aussi bien sur des organismes aquatiques que sur les mammifères (Benkhelifa, 2016).

En outre, des recherches ont été effectuées pour étudier l'effet des colorants sur l'activité des bactéries aérobies et anaérobies dans des systèmes de traitement des eaux résiduaires. Ces travaux ont indiqué que l'effet toxique des colorants est en fait du à la teneur en groupements cancérigènes tels que le groupement aromatiques, phtalogènes, cyanurés, sels de baryum et de plomb. Ces substances peuvent attaquer les bases pyrimidiques de l'ADN et de l'ARN et causent par conséquent, une altération du code génétique avec mutation et risque de cancer. Des études faites sur divers colorants commerciaux ont montré que les colorants basiques sont les plus toxiques pour les algues. Ce résultat a été prouvé par le test de mortalité des poissons effectués sur 3000 colorants commerciaux ou il s'est avéré que les colorants basiques, et plus

particulièrement ceux de la famille de triphénylméthane sont les plus toxiques. Par ailleurs, les poissons semblent être relativement sensibles aux colorants acides (Lefustec, 1979 ;Ben Mensour et al., 2011 ; Errais, 2011)

D'autre part, il a été prouvé, chez les humains que certains colorants dispersés peuvent causer des réactions allergiques, dermatologiques. Aussi, il s'est avéré que l'augmentation du nombre de cancers de la vessie observés chez des ouvriers de l'industrie textile, est reliée à leur exposition prolongée aux colorants azoïques.

I.12.1.Toxicité des colorants et leur impact environnemental

Les rejets d'effluents des industries textiles chargés en colorants, dans les rivières, peuvent nuire considérablement aux espèces animales, végétales ainsi qu'aux divers microorganismes vivant dans ces eaux .Cette toxicité peut provoquer la diminution de l'oxygène dissout dans ces milieux. De ce fait, ils peuvent persister longtemps, engendrant ainsi des perturbations importantes dans les différents mécanismes naturels existant dans la flore et dans la faune. Le traitement des effluents chargé en colorants s'avère donc indispensable pour la sauvegarde de l'environnement (Khalladi et Damane 2019).

I.12.2. Toxicité des colorants sur la santé humaine

Les colorants synthétiques sont parmi les substances qui représentent de grands risques pour la santé de l'homme. Les colorants de synthèse entraînent des risques cancérogènes, des tumeurs urinaires et plus spécialement les tumeurs bénignes et malignes de la vessie (Khalladi et Damane 2019).

I.13.Normes et législation

La législation sur les rejets d'eaux résiduaires devient de plus en plus stricte. L'Algérie est dotée d'une réglementation (06-141) sure les rejets d'effluents textiles dans le milieu hydrique.

Le tableau I.2 précise les limites réglementaires de ces rejets. Certaines substances à risques ont été réglementées par le législateur européen, et parfois par les législateurs nationaux, afin d'imposer aux professionnels des obligations visant à protéger le consommateur. Ainsi, il existe des réglementations sur les colorants azoïques, le pentachlorophénol, les phtalates.

Le règlement 552/2009 du 22/06/2009 est venu intégrer l'ensemble de ces textes (repris initialement dans la directive européenne 76/769/CEE) à l'annexe du règlement 1907/2006 du 18

décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimique ainsi que les restrictions applicables à ces (REACH). Cette annexe reprend donc l'ensemble des réglementations en termes de toxicité, parmi lesquelles on retrouve celles applicables au secteur textile-habillement. Ces textes font désormais partie intégrante du dispositif « REACH » au titre des restrictions. Toutefois, certaines substances ne font pas l'objet d'un texte précis mais peuvent avoir des effets néfastes sur la santé du consommateur ou sur l'environnement comme les colorants allergènes et cancérigènes, exemple : le formaldéhyde, etc (Hached et Demri 2017).

Tableau I.2: valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents textiles (Siedlecka et al., 2007).

Paramètres	Unité	Valeurs limites	Tolérance aux valeurs Limites anciennes installations
Temperature	°C	30	35
pH	-	6,5-8,5	6-9
DBO ₅	Mg/L	150	200
DCO	-	250	300
Matière décantable	-	0,4	0,5
Matière non dissoluble	-	30	40
Oxydabilité	-	100	120
Permanganate	-	20	25

I.14. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé de faire une synthèse bibliographique sur les pollutions des eaux et les colorants, et les travaux publiés sur la pollution par des composés organiques et plus précisément, les colorants. Ces données bibliographiques mettent en évidence la nécessité de la dépollution de ces eaux.

Une technique de traitement adaptée aux colorants doit, avant tout, éliminer ces produits et empêcher la formation de produits cancérigènes.

Chapitre II

*Traitement des eaux par
Électrocoagulation*

II.1. Introduction

Les eaux usées industrielles contiennent des composés organiques de nature différente et de concentrations variables. Le rejet de tels effluents dans l'environnement est indésirable et est à l'origine de nombreuses contaminations des eaux de surface et souterraine. Les études actuelles visent donc à limiter cette contamination d'origine industrielle en proposant des technologies simples et moins coûteuses. Dans ce chapitre, nous allons donner un aperçu sur le procédé du procédé d'électrocoagulation dans le traitement des effluents pollués. Les caractéristiques, la mise en œuvre et les paramètres influant sur l'efficacité de cette technique (intensité de courant, temps de rétention, pH, concentration du polluant, conductivité, etc.).

II.2. Définition de procédé de l'électrocoagulation

L'électrocoagulation est une technique simple et efficace pour le traitement des eaux contaminées. L'électrocoagulation est un procédé d'électrolyse à électrodes solubles qui met en solution un cation métallique (Fe^{3+} , Al^{3+}) provoquant la coagulation des colloïdes. L'électrolyse a également une action sur les composés solubles oxydables ou réductibles contenus dans l'effluent. Les courants d'ions et de particules chargées créés par le champ électrique augmentent la probabilité de collision entre ions et particules de signe contraire qui migrent en sens opposé. Cette action rassemble les matières en suspension sous forme d'un floc que l'on élimine par un procédé classique (décantation, flottation, filtration).

II.3. Origine et évolution L'électrocoagulation (EC)

Le premier travail de recherche concernant l'utilisation de cette technique dans le traitement des effluents est un brevet déposé en 1880 par Webster (en Amérique) qui utilisait des électrodes en fer. Une station d'épuration a été construite sur la base de ce document, à Salford (Grande-Bretagne) pour la dépollution des eaux usées urbaines.

En 1909, un nouveau brevet a été déposé en utilisant des anodes constituées par des plaques de fer et d'aluminium. En 1912, deux autres stations de traitements ont été construites sur cette base. Cependant, leur fonctionnement fut arrêté en raison du coût plus élevé par rapport traitement biologique (**Bennajah, 2007**).

En 1946, Stuart étudie un réacteur d'électrocoagulation équipé d'électrodes en aluminium. Il a observé que la coagulation était plus rapide en comparant avec la coagulation physico-chimique.

Ces dernières années, il a été constaté un regain d'intérêt, et l'utilisation de cette technique s'est accrue et un bon nombre d'industriels font appel à elle pour le traitement de leur effluent. L'EC a été optimisée pour réduire la consommation d'énergie et pour améliorer la performance du traitement.

L'efficacité de l'EC a été montré pour l'élimination des métaux lourds tels que Pb, Cd, Cr et As, les anions comme PO_4^{3-} , NO_3^- , Cl^- , les composés organiques, hydrocarbures, DBO, DCO, colorants organiques, huiles et graisse tous des effluents industriels variés.

L'importance de l'électrocoagulation s'est accrue du fait de son efficacité, généralement supérieures aux autres techniques, pour éliminer les différentes formes de pollution (**Tableau II.1**).

Tableau (II.1) : Exemples d'emplois de l'EC.

Rejets traités	Efficacité	Référence
Eaux riches en substances humiques	Décoloration de l'ordre de 95%	Vik et al (1984).
Eaux résiduelles urbaines	Abattement de la turbidité de 89%, et de MES 60%.	Pouct et al (1992).
Huiles minérales	Réduction de DCO ≥ 80 %	Tanguy et al (2001).
Eaux encrées	Décoloration de l'ordre de 40%.	Tanguy et al (2001).
Bain photographique	Abattement de la DCO $\geq 80\%$ et coloration 30%.	Tanguy et al (2001).
Eaux phénolées	Abattement de DCO et COT ≥ 30 %	Tanguy et al (2001).
Effluents Cosmétiques	Abattement de DCO ≥ 40 %.	Tanguy et al (2001).
Effluents Pharmaceutiques	Abattement de DCO, COT, MES $\geq 80\%$.	Tanguy et al (2001).
Eaux colorées et eaux de rivière.	Efficacité de l'ordre de 90% pour la décoloration.	Jiang et al(2002).
Effluent réel réactif de bain.	Décoloration de 20 à 100 % et un DCO $> 75\%$.	Arslan-Alaton et al (2008)

II.4. Principe du procédé

L'électrocoagulation est une technique basée sur la dissolution électrochimique d'un métal sacrificiel. Il s'agit, d'appliquer un courant (ou potentiel) entre deux plaques (électrodes de Fer ou Aluminium en général) immergées dans un électrolyte pour générer des ions (Fe^{2+} ; Fe^{3+} ; Al^{3+}). Ceci peut produire un coagulant dans la solution et de provoquer une coagulation-floculation de substances que l'on souhaite éliminer. Plusieurs processus électrochimiques, physicochimiques et chimiques peuvent être observés au cours de traitement :

- ✓ La réduction cathodique et chimique de divers composés (organiques ou inorganiques) avec formation de dépôts du métal sur la cathode;
- ✓ Les interactions chimiques entre les ions Fe^{+2} (ou Al^{+3}) dissolus, et les autres anions dans la solution (sulfures, phosphates, etc.), conduisant à la formation de composés insolubles ;
- ✓ La flottation de particules solides et de substances dissoutes dues à la présence de bulles de gaz d'hydrogène (H_2) générées à la cathode ;
- ✓ L'adsorption des polluants à la surface des hydroxydes de fer (ou d'aluminium), lesquels possèdent une forte capacité d'adsorption.

L'EC est une technique complexe avec une multitude de mécanismes synergiques concourant au traitement de l'eau polluée. Divers auteurs ont pu identifier trois catégories de mécanismes électrochimiques, la coagulation-floculation, et l'hydrodynamique.

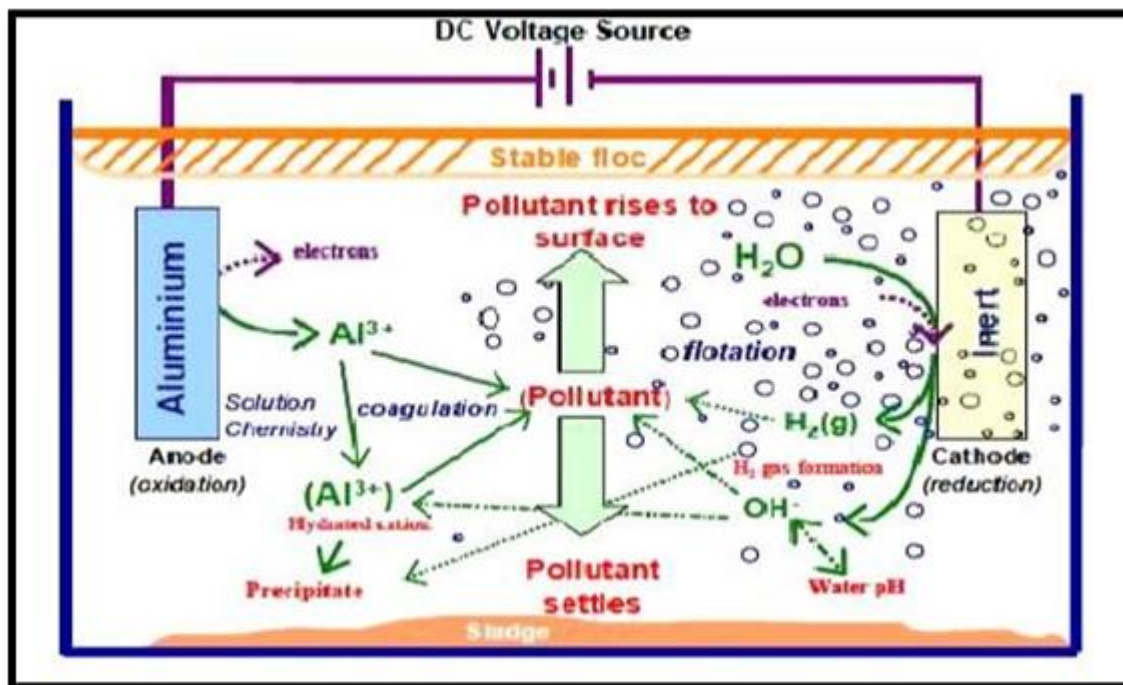


Figure (II.1) : principe du procédé l'électrocoagulation (Holt et al., 2002).

Les anodes et les cathodes utilisées peuvent être 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 dans le but d'optimiser l'EC. Les métaux les plus utilisés sont généralement le fer et l'aluminium.

Les principales réactions qui peuvent être déroulées (cas de l'aluminium) sont :

A l'anode :

- L'oxydation du métal : $\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$
- La formation de l'hydrogène : $2\text{Al} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3/2 \text{H}_2 + 3\text{e}^-$

A la cathode : La réduction de l'eau : $\text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightarrow 1/2 \text{H}_2 + \text{OH}^-$

L'aluminium et le fer sont couramment utilisés grâce à leur prix abordable et à leur forme ionique qui présente une valence élevée. Dans le cas d'une anode en aluminium, le cation métallique formé est Al^{3+} , tandis que l'emploi de l'électrode de fer permet la formation d'ions ferreux Fe^{2+} , qui peuvent s'oxyder en présence d'oxygène dissous ou bien par auto oxydation pour donner les ions Fe^{3+} .

Les cations du métal peuvent former des complexes avec les ions hydroxydes. L'espèce dominante dépend du pH de la solution. Dans le cas de l'aluminium, on peut avoir plusieurs complexes (anioniques et cationiques). On peut trouver:

- Les mono complexes tels que : $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})$, $\text{Al}(\text{OH})$
- Les poly complexes tels que : $\text{Al}_2(\text{OH})$, $\text{Al}_2(\text{OH})_3$, $\text{Al}_6(\text{OH})$, $\text{Al}_{13}(\text{OH})$
- Les espèces amorphes et très peu solubles telles que : $\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3

Ces complexes jouent le rôle d'un coagulant et permettent la formation de précipités, puis de floccs facilement décantables. La différence entre l'EC et la coagulation classique (chimique) est principalement la source des coagulants, qui sont générés électro chimiquement (in-situ) dans l'une, et ajoutés sous forme de réactifs chimiques dans l'autre.

D'autre part, la coagulation classique basée sur la coagulation chimique n'est besoin que d'énergie mécanique pour l'agitation, tandis que l'EC nécessite de l'énergie électrique pour dissoudre l'anode sacrifiée.

Au niveau de la cathode, la réduction de l'eau conduit à la formation du gaz hydrogène sous formes de bulles. Elles présentent un diamètre d'environ 10 à 100 μm et contribuent fortement à l'agitation du milieu. Dans le cas de l'installation de floculation, ces bulles d'air adhèrent aux solides formés en solution (adsorbant- polluant) et provoquent leur flottation. Plusieurs travaux de recherches ont montré que la séparation des floccs en solution à l'issue de l'adsorption des particules, peut se réaliser de deux façons : décantation et flottation.

Généralement, l'extraction des boues s'effectue en aval du réacteur électrochimique au niveau du bassin de décantation.

On peut voir d'autres applications où l'élimination des boues s'effectue dans le même réacteur de l'EC. Cela concerne des installations conçus pour effectuer à la fois l'EC et la décantation ou flottation.

II.5. Théorie de l'électrocoagulation

L'EC implique plusieurs processus physiques et chimiques qui utilisent des électrodes consommables (solubles) pour fournir des ions dans l'effluent d'eaux. Trois étapes principales sont impliquées durant ce procédé :

- Formation des coagulants (oxydation de l'électrode soluble).

- Déstabilisation des contaminants (suspension particulaire et rupture des émulsions).
- Agrégation des particules déstabilisées pour la formation des floccs.

Ceci 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 soluble.
- Neutralisation de la charge des espèces ioniques à l'encontre des ions produits par dissolution électrochimique de l'anode soluble.
- Formation du flocc : le flocc formé suite à la coagulation crée les boues qui piègent et relient les particules colloïdales restant dans le milieu aqueux .

IV.6. Description des mécanismes du procédé EC

Les particules colloïdales ne sont pas décantables naturellement (particules ayant une taille comprise entre 1mm et 10µm), elles sont soumis d'une part aux forces d'attraction de Van der Walls, d'autre part aux forces de répulsion électrostatiques entre les particules elles-mêmes, Ces particules sont la plus part du temps chargés négativement, Pour déstabiliser la suspension colloïdale, il convient de neutraliser cette charge négative par ajout d'ions positifs (cations d'aluminium dans notre cas) suivant les étapes suivant :

- La coagulation est la déstabilisation de la suspension par décharge des édifices colloïdaux au moyen d'un réactif chimique (coagulant) apportant des charges positives (de sens opposé à celui des particules colloïdales).
- La température du milieu, sa nature, la concentration en colloïdes, la présence d'inhibiteurs sont des paramètres importants, Les conditions de coagulation, le pH de coagulation peut être ajusté par ajout de base ou d'acide.
- L'électrocoagulation-floculation est un procédé d'électrolyse à électrodes solubles qui met en solution un cation métallique (Al^{3+}) provoquant la coagulation des colloïdes, L'électrolyse a également une action sur les composés solubles oxydables ou réductibles contenus dans l'effluent.
- Les courants d'ions et de particules chargées créés par le champ électrique augmentent la probabilité de collision entre ions et particules de signe contraire qui migrent en sens opposé, Cette action rassemble les matières en suspension sous forme d'un flocc que l'on

élimine par un procédé classique (décantation, flottation, filtration : voir chapitre séparation par voie physique).

II.7. Paramètre influençant le procédé d'EC

Plusieurs paramètres peuvent influencer la taille des bulles générées par l'EC tel que l'intensité du courant, la température, la nature du matériau, la position des électrodes, le mode de connexion des électrodes, le pH de la solution, la concentration initiale et la nature du polluant.

II.8. Différents modes de connexion électrique

Afin d'améliorer les performances de l'EC à deux électrodes, il est nécessaire d'utiliser d'autres modes de connexions (monopolaires ou bipolaires) à plusieurs électrodes pour avoir une grande surface active.

a) Connexion monopolaire en parallèle

Elle montre un dispositif simple de cellule d'EC avec une paire d'anodes et une paire de cathodes disposées 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 sacrificielle abaisse le potentiel de dissolution de l'anode et minimise la cathode ; les électrodes sacrificielles peuvent être constituées des mêmes matériaux que l'anode ou de matières différentes.

b) Connexion monopolaire en série

Chaque paire d'électrodes sacrificielles est interconnectée l'une avec l'autre, et n'a donc pas d'interconnexions avec les électrodes externes. Cette disposition de cellules avec des électrodes monopolaires en série est similaire de point de vue électrique à une simple cellule avec plusieurs électrodes et des interconnexions.

Dans un montage en série, une même intensité de courant alimente toutes les électrodes, la tension (différence de potentiel) nécessaire sera plus importante, puisque les résistances s'additionnent. Elle nécessite un générateur qui permet d'imposer des valeurs d'intensité relativement faibles et de tensions plus élevées.

c) Connexion bipolaire

Dans ce cas, les deux électrodes monopolaires sont connectées à la source de courant sans aucune interconnexion entre les électrodes sacrificielles. Les différentes électrodes sont placées comme l'indique.

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

Le tableau, nous donne les différentes valeurs des tensions (**U**) et des intensités (**I**) pour les trois modes , avec **n** est le nombre de cellule .

Tableau II.2 : Paramètres de différent type de connexion.

Mode de connexions	Intensité par cellule	Tension par cellule
Monopolaire série	I	U /2n
Monopolaire parallèle	I / n-1	U
Bipolaire	I	U / n-1

II.9. Principales lois d'électrolyse

❖ Loi de faraday

Si on considère que les seuls réactions chimiques qui se déroulent dans le réacteur d'EC sont :

- l'oxydation de métal (à l'anode).
- la réduction de l'eau (à la cathode).

Il est possible de déterminer la quantité de métal dissoute **m** et d'hydrogène formé pendant une durée **t** d'électrolyse à un courant **I** , en utilisant la loi faraday :

$$m=(I.t.M) /n.F$$

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

I: intensité du courant imposé (A)

t: temps d'électrolyse (s)

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

F: constante de faraday (96500 C/mol)

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

II.10. Rendement faradique (ϕ)

Il est défini comme étant le rapport entre la masse du métal dissous expérimentalement (Δm_{exp}) et la quantité de métal consommé théoriquement (Δm_{th}).

$$\Phi = \frac{\Delta m_{exp}}{\Delta m_{th}} = \frac{3F}{3600M_{Alt}} \times \Delta m_{exp}$$

Le rendement faradique peut souvent être supérieur à l'unité en raison de la dissolution chimique du métal.

II.11. Avantages et inconvénients du procédé d'EC

De nombreux auteurs ont comparé le procédé d'EC avec le procédé physico-chimique classique réalisé par l'ajoute de coagulants chimiques tels le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique. Parmi les arguments en faveur de l'électrocoagulation on peut citer les suivants :

II.11.1. Avantages du procédé d'électrocoagulation

1. Le procédé d'EC ne nécessite pas l'utilisation de réactifs chimiques, il nécessite l'ajout de petite quantité d'additif pour améliorer la conductivité électrique de l'effluent.
2. L'eau usagée traitée par l'EC donne de l'eau de gout agréable, claire, sans couleur et inodore.
3. Le procédé de l'EC a l'avantage d'éliminer les particules colloïdales.
4. L'importance du champ électrique entre les électrodes qui conduit à la destruction de certaines souches de bactéries. En utilisant des électrodes en titane, des auteurs ont confirmé cet effet bactéricide sans la formation de dérivés hypochloreux ou d'autres dérivés du chlore.
5. Il est possible d'éliminer 60 à 80% de la charge polluante.
6. L'EC offre la possibilité de traiter des effluents par oxydation de plusieurs composés dissous tel que les nitrites, les sulfures, les cyanures, les sulfites, les chromates et les ions fluorures.
7. La biodégradabilité des effluents traités par électrocoagulation est améliorée. Ce perfectionnement est dû à la non-toxicité de la forme d'aluminium utilisé à la faible salinité du milieu.

II.11.2. Inconvénients du procédé d'électrocoagulation

Les inconvénients majeurs de l'EC concernent principalement 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. Lorsque la conductivité de l'eau à traiter est trop faible, un rajout de chlorure de sodium est généralement nécessaire. La présence de certains ions tels que les chlorures, permet d'éviter le phénomène de passivation des électrodes d'aluminium.

Par ailleurs, une présence importante d'ions calcium et hydrogénocarbonate provoque l'apparition d'un dépôt de tartre au niveau de la cathode, augmentant ainsi, la résistance de la cellule. Pour faire face à ce problème, la manière la plus simple est de réaliser une inversion périodique de la polarité.

Il est aussi important de prévoir un nettoyage mécanique périodique des électrodes à l'aide de solutions acides. La formation et le dépôt de tartre sur les électrodes représentent une part importante de la consommation électrique du procédé. Il existe même un procédé électrochimique dont le but est de réaliser un détartrage de l'eau potable par dépôt du tartre sur la cathode.

II.12. Applications d'EC

Les études précédentes réalisées sur le traitement des solutions synthétique et réel de textile par le processus d'électrocoagulation ont montré l'efficacité de cette technique pour la décoloration de l'eau même à de grandes concentrations des colorants. Ceci nous encourage à étudié ce procédé pour la décontamination des eaux colorées en laboratoire en testant l'efficacité de cette technique et l'effet de quelques paramètres réactionnels sur les mécanismes mis en jeu.

II.13. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur le procédé d'électrocoagulation (EC) comme technique de traitement de l'eau par dissolution in-situ des électrodes sous l'influence d'un courant électrique. Les domaines d'application de cette technique sont très larges avec une faible production de boues. Ce chapitre nous a permis de déceler un certain nombre de points peu ou pas assez abordés dans la littérature et qui sont pourtant primordiaux. C'est dans ce contexte que nous allons aborder notre travail en utilisant l'EC en réacteur statique en vue d'élimination de la coloration des eaux.

Chapitre III

*Matériels et méthodes
expérimentales*

III.1. Introduction

Au cours de notre travail, nous avons utilisé l'électrocoagulation (EC) comme technique de dépollution des eaux de rejets de textile. Ce chapitre présente le matériel et le dispositif expérimental nécessaire à la conception de l'unité d'électrocoagulation. Nous allons donner une description en détail sur le protocole suivi pour la réalisation des essais d'élimination d'un colorant anionique (méthyle orange). Ce travail se focalise aussi sur l'étude de l'effet de quelques paramètres sur la performance du traitement étudié.

III.2. Produits et matériels

III.2.1. Produits et réactifs

Le polluant étudié dans cette étude est un colorant anionique "Le Méthyle Orange" est synthétisé et commercialisé par l'entreprise FLUKA sous une appellation codée et commercialisée : Orange II sodium sel, le Méthyle Orange II. C'est un colorant acide, soluble dans l'eau (11% à 30°C), utilisé dans les industries du textile, cuir, papier et teinture.

Les colorants acides sont généralement des sels sodiques de sulfacides aromatiques selon leur structure chimique ces colorants appartiennent aux colorants azoïques diazoïques anthraquinoniques. C'est un colorant très toxique la valeur de la DL50 pour les espèces rats est supérieure à 10000 mg/kg dont les caractéristiques sont données **Tableau III.1**

Tableau III.1 : Les principales caractéristiques du Méthyle Orange.

Nom chimique	Formule moléculaire	Apparence	λ max (nm)	Odeur
Le Méthyle Orange	$C_{16}H_{11}N_2NaO_4S$	Brillant orange rougeâtre poudre	464	Inodore

III.2.2. Eau utilisée

L'eau brute utilisée est une eau naturelle (eau de source) s'appelle l'eau de "Qaryoun" est une eau potable de bonne qualité qui provient du mont "Qaryoun", Ain Melilla, dispersée à "Fazguia", Wilaya d'Oum El Bouaghi.

Tableau III.2 : caractéristiques physico-chimiques de l'eau Qaryoun utilisée.

<i>Paramètre (mg/l)</i>	<i>Valeur</i>
<i>Calcium</i>	72
<i>Potassium</i>	2
<i>Sodium</i>	11
<i>Magnésium</i>	27
<i>Sulfates</i>	11
<i>Nitrates</i>	20,2
<i>Nitrites</i>	< 0,01
<i>pH</i>	7.28

III.2.3. Matériel

La liste du matériel utilisé lors des essais expérimentaux est présentée dans le tableau ci-dessous:

Tableau III.3 : Matériels utilisés lors des essais expérimentaux.

Verreries et instruments	Appareillage
Bécher	Balance électronique
Barreau	Agitateur
Spatule courante	PH- Mètre
Des électrodes d'aluminium	Générateur
Chronomètre	Spectrophotomètre
Entonnoir	
Des capsules	
Pipettes graduées de 5 ml $\pm$ 0,05 ml	
Fiole jaugée de 25 ml $\pm$ 0,05 ml	
Fiole jaugée de 50ml $\pm$ 0,06 ml	
Fiole jaugée de 100 ml $\pm$ 0,06 ml	

III 2.3.1. Electrodes utilisées

Plusieurs travaux de recherche ont rapporté l'incidence du matériau de l'électrode dont les plus communes sont des plaques en aluminium et en fer, en raison de leur disponibilité et de leur efficacité. Les électrodes utilisées dans notre travail sont une plaque en aluminium et une plaque en fer (d'une pureté d'environ 99%).

Les deux électrodes (plaques rectangulaires parallèles de dimensions 400 mm×400 mm×2mm) ont, chacune 18 cm de surface nominale immergée la figure III.1 représentent les électrodes utilisées.



Figure (III.1): Electrodes utilisée dans les essais d'EC.

III.2.3.2. Cellule d'électrocoagulation

Le dispositif expérimental utilisé a été monté au laboratoire (figure III.2). Il est constitué de :

- Un réacteur en plastique de capacité de 500 mL, un agitateur magnétique et un barreau magnétique de 2 cm de longueur.
- Un générateur de courant électrique continu.
- Un multimètre digital pour mesurer l'intensité de courant électrique.
- Des fils électrique (connexion entre générateur, multimètre et électrodes).
- Des électrodes : l'anode est en aluminium (99,5% de pureté) et la cathode en Fer inoxydable, les électrodes sont placées parallèlement l'une par rapport à l'autre séparées par une distance de 2,5 cm qui reste constante pour tous les essais et seules les parties externes sont connectées, les dimensions des électrodes sont : 400 mm×400 mm×2 mm. La surface active des électrodes est de 16 cm², cette surface immergée est constante pour toute les essais.

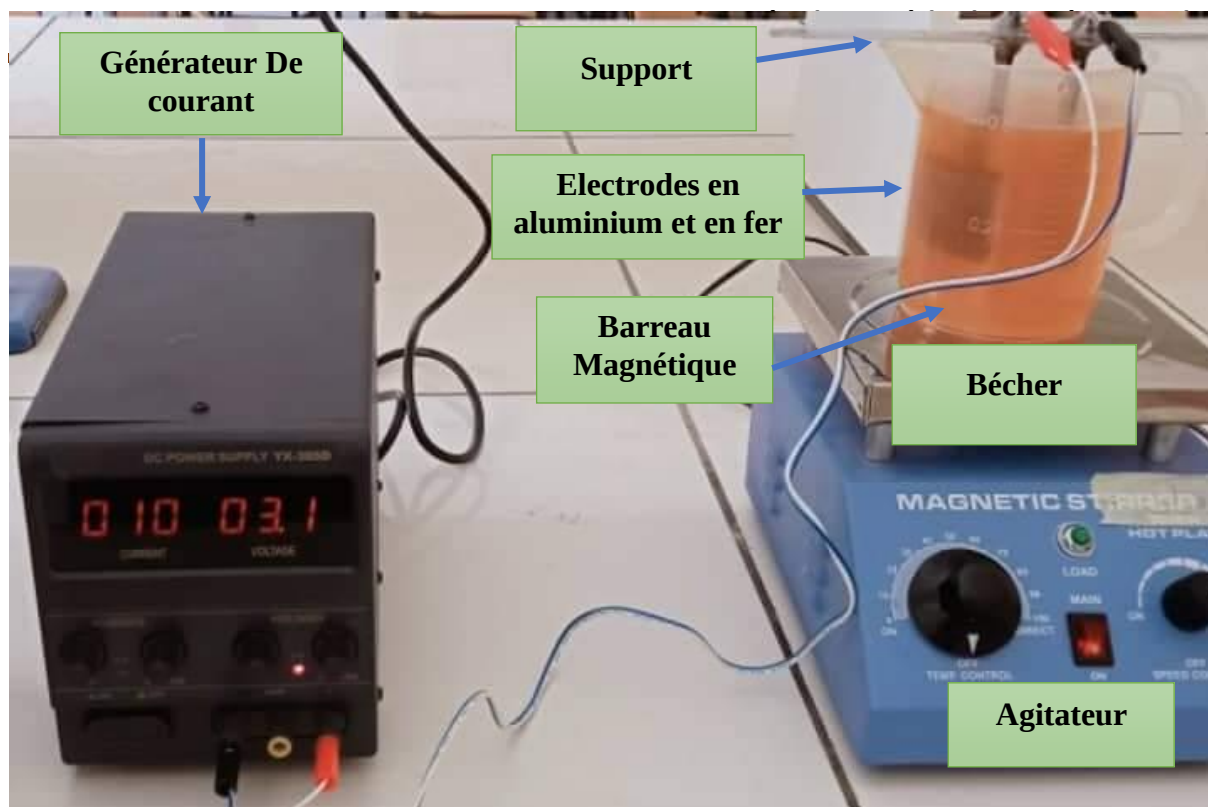


Figure (III.2) : Dispositif expérimental de l'EC.

III.3. Dosage du colorant par Spectrophotométrie

L'analyse par spectrophotométrie est basée sur l'étude de la variation d'absorption de la lumière par un milieu en fonction de la concentration d'un constituant. La concentration de la substance absorbante peut être déduite à partir la proportion de d'intensité lumineuse absorbé par la solution.

L'absorptiomètre c'est aujourd'hui la méthode d'analyse la plus utilisée. Ses principaux avantages sont les suivants :

- Elle est d'un emploi très général. Si le corps à doser est peu absorbant on lui ajoute un réactif convenable afin qu'il lui donne un composé absorbant.
- C'est le plus souvent la méthode de choix pour le dosage des éléments traces.
- Elle peut être extrêmement rapide par suite de son utilisation pour les mesures directes sans addition de solution titrée et de la facilite de la mesure.

La calorimétrie est un cas particulier de la spectrophotométrie dans le domaine du visible, on utilise une source de lumière blanche et les déterminations sont faites à l'aide d'un instrument simple appelé colorimètre. Une cellule photoélectrique permet d'apprécier l'intensité de la

coloration, on utilise une lumière dont les longueurs d'ondes se situent dans un domaine spectral relativement étroit grâce à des filtres qui ne transmettent que des longueurs d'ondes d'une petite région du spectre.

III.3.1. Loi d'absorption

Les lois générales d'absorption sont valables pour les spectres d'absorption dans les domaines ultraviolet et visible dans les mêmes conditions que dans le domaine infrarouge.

III.3.1.1. Loi de Beer-Lambert

Soit un faisceau de lumière monochromatique traversant une épaisseur L de solution d'un corps adsorbant. Soit I_0 la puissance rayonnante à l'entrée de la solution et I la puissance rayonnante à la sortie, C la concentration du corps absorbant et ϵ l'épaisseur de la cuve.

La loi de Beer- Lambert s'exprime sous la forme suivante :

$$A = \log(I_0 / I) = \log (1/T) = \epsilon L C$$

Avec:

T: Facteur de transmission ou transmittance.

A : Absorbance ou densité optique.

C : Concentration massique du composé dosé.

I, I_0 : Intensité du faisceau émergent et incident

ϵ : Coefficient d'extinction moléculaire.

L: Epaisseur de la cuve.

III.3.2. Le rayonnement ultraviolet (UV)

Les UV, également appelé lumière noire, est un rayonnement électromagnétique d'une longueur d'onde plus courte que celle de la lumière visible, mais plus longue que celle des rayons X (190 à 900 nm). Il ne peut être observé que par fluorescence ou à l'aide de détecteurs spécialisés.

III.3.3. Domaine UV-visible de la spectrophotométrie

Lorsque la lumière traverse une substance, elle est en partie transmise et en partie absorbée. Un soluté coloré ou chromophore absorbe la lumière visible. Certaines solutions absorbent dans l'ultraviolet. Les infrarouges ne sont pas utilisés en spectrophotométrie, car ils dépendent

surtout de la température de la solution et non de sa concentration, ils sont plutôt couverts par la spectroscopie en infrarouge.

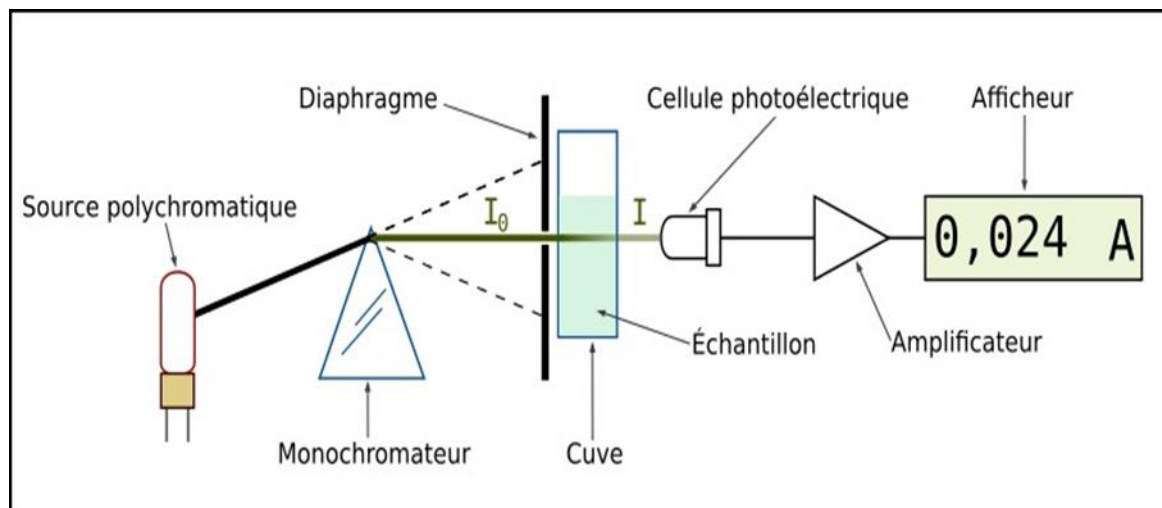


Figure (III.3) : Schéma montre le principe du spectrophotomètre UV-visible.

Un spectrophotomètre mesure l'absorbance d'une solution à une longueur d'onde donnée.

Un dispositif monochromateur permet de générer une lumière monochromatique à partir d'une source de lumière visible ou ultraviolette. La lumière monochromatique incidente d'intensité traverse alors une cuve contenant la solution étudiée, et l'appareil mesure l'intensité de la lumière transmise. La valeur donnée par le spectrophotomètre est l'absorbance à la longueur d'onde choisie.

Le spectrophotomètre peut être utilisé pour mesurer de manière instantanée une absorbance à une longueur d'onde donnée, ou pour produire un spectre d'absorbance. Dans ce dernier cas, le dispositif monochromateur décrit en un temps court l'ensemble des longueurs d'onde comprises entre deux valeurs choisies par l'opérateur.

Un spectrophotomètre UV-visible comprend de parties essentielles.

- **La source lumineuse** : elle est constituée par :
 - Une lampe à décharge au deutérium utilisée dans le domaine des UV.
 - Une lampe à filament de tungstène pour le domaine visible.

- Une lampe à décharge au xénon utilisée dans le domaine UV et visible. Ce type de lampe est très énergétique. Elle fonctionne sous forme de flash, juste au moment de faire une mesure.
- **La cuve** : Elle contient soit l'échantillon soit la référence. La longueur de la cuve est définie (1, 2, 4 ou 5 cm de trajet optique). Elle doit être transparente aux radiations d'étude. Par exemple en UV, les Cuves sont en quartz, elles ne peuvent être ni en verre ni en plastique. Connaissant le spectre d'absorption d'une espèce chimique, on peut mesurer, à l'une de ses longueurs d'onde $\lambda_{\max}$.

III.4. Protocole d'analyse

III .4.1. Choix de la longueur d'onde d'absorption

Avant d'établir les courbes d'étalonnage du Méthyle Orange et par spectrophotométrie, un balayage est nécessaire afin de déterminer les longueurs d'onde maximales d'absorption qui sont 464 nm.

La méthode exige à réparer d'abord une solution mère de concentration donnée, à partir de laquelle nous préparons par dilutions successives, une série de solutions filles de concentrations bien déterminées.

Nous établissons ainsi, par exemple, la droite de la courbe d'étalonnage du colorant étudié. Les résultats des absorbances sont regroupés dans le tableau IV.4 et représentés graphiquement sur la figure IV.4.

III .4.2. Courbe d'étalonnage de Méthyle Orange

Tableau III.4 : Valeurs obtenues pour l'établissement de la courbe d'étalonnage du Méthyle orange ($\lambda_{\max} = 464 \text{ nm}$).

$C_0 \text{ (mg/L)}$	Absorbance
0,5	0,04
1	0,1
2	0,144
4	0,297
5	0,38
6	0,42
7	0,506
8	0,57
9	0,612

10	0,716
12	0,855

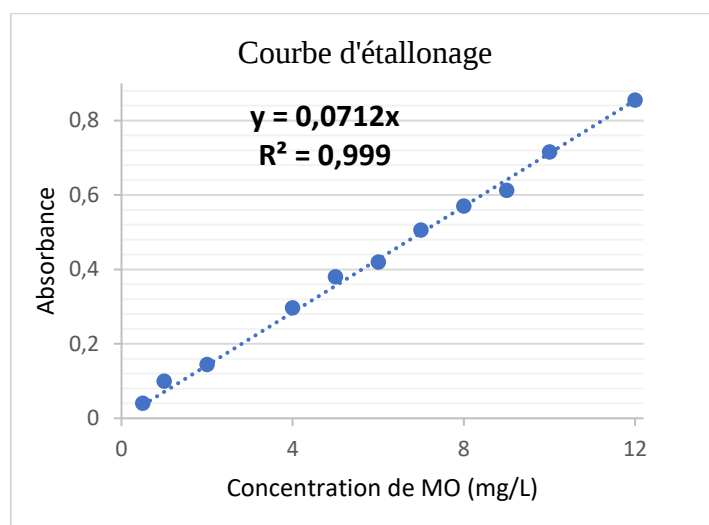


Figure III.4 : Courbe d'étalonnage du Méthyle Orange.

On constate que la courbe est droite avec une bonne corrélation ($R^2 \sim 0.99$) représentant un bon ajustement linéaire entre l'absorbance et la concentration de la solution étalon. On utilise l'équation suivante :

($A = 0.0712 C$) pour déterminer la concentration en Méthyle Orange d'une solution donnée.

III.5.Mode opératoire

III .5.1. Préparation des solutions

Une solution mère à 100 mg/L (solution du colorant Méthyle orange) obtenue avec 1000 mL d'eau minéral naturelle Qaryoun et 100 mg de méthyle orange.

III.5.2. Mise en œuvre expérimentale

Une fois que la solution du colorant est versée dans le réacteur, on plonge le barreau magnétique et on met en marche l'agitation à une vitesse de 150 tr/min avec un agitateur magnétique.

On installe les électrodes sur leur support et on teste la continuité du courant. On plonge les électrodes séparées entre elles d'une distance de 2,5 cm dans le réacteur, on déclenche simultanément le générateur du courant avec une valeur d'intensité donnée, ensuite elles sont liées à l'aide des fils électrique.

Des prélèvements d'échantillons de la solution électrolysée à l'aide d'une pipette sont effectués à des intervalles de temps réguliers. Les mesures du pH sont effectuées immédiatement.

Les échantillons prélevés seront, après un temps de décantation, analysées par spectrophotométrie UV-visible à la longueur d'onde maximale égal à 464 nm.

III.6. Conclusion

L'objectif principal de ce chapitre était de décrire les différentes méthodes analytiques ainsi que la présentation des matériels d'essais expérimentaux et des outils utilisés pour l'évaluation des performances du procédé. nous avons présenté les principales caractéristiques physico-chimiques des milieux testés et les composants organiques considérés. Dans le chapitre IV une application des procédés qu'en va tester vont être appliqué à différent intensité du courant.

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV.1. Introduction

Ce chapitre rapporte tous les résultats obtenus au cours des essais d'électrocoagulation du colorant testé (le méthyle orange), Le suivi de la densité optique nous permet de déterminer la performance de l'EC pour le traitement des solutions synthétiques du colorant, L'effet du temps d'agitation dans le réacteur et l'intensité du courant sur l'efficacité du traitement a été étudié.

IV.2. Résultats et discussions

Pour étudier la cinétique d'élimination du méthyle orange, nous avons effectué des prélèvements à des intervalles de temps bien déterminés, Les échantillons prélevés sont ensuite analysés par spectrophotométrie pour calculer la concentration résiduelle du colorant (Figure IV.1).

Les résultats sont repris en termes de rendements dans un graphique pour chaque paramètre, Le rendement d'élimination du colorant peut être déterminé en utilisant l'expression suivante :

$$R\% = \frac{C_0 - C_f}{C_0} * 100$$

Avec : C_0 = concentration initiale du colorant (en mg/L).

C_f = concentration finale du colorant (en mg/L).

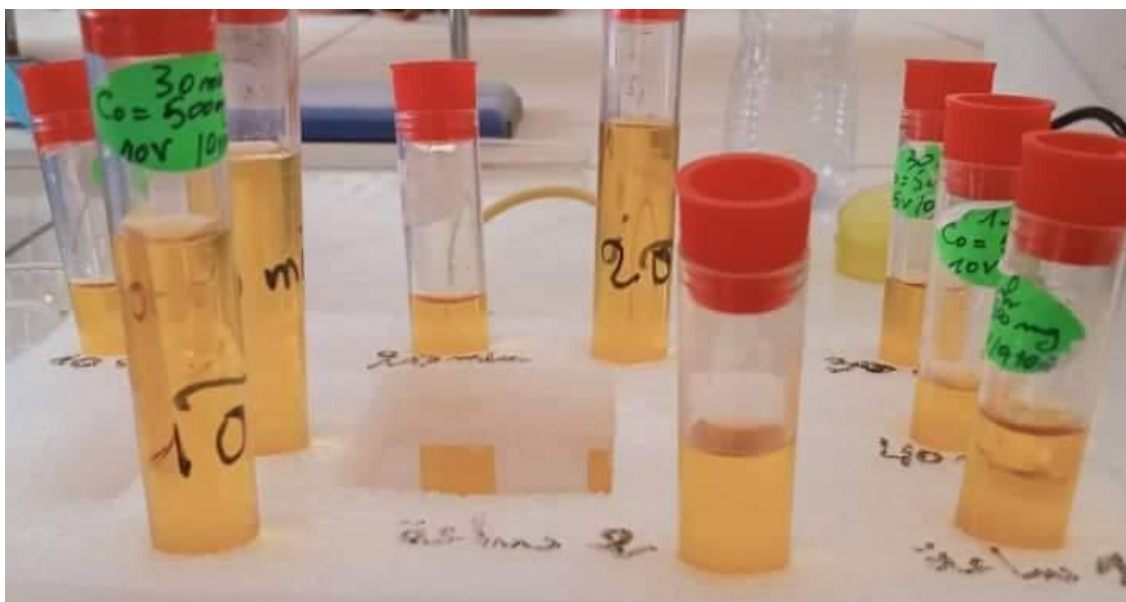


Figure IV.1 : Une série des prélèvements de la cinétique de l'élimination de MO.

IV.3. Effet de paramètres réactionnels

IV.3.1. Effet de l'Intensité de courant

Les essais d'électrocoagulation sur des échantillons de méthyle orange ont été réalisés dans les conditions suivantes :

- l'Intensité de courant : ($I = 10 \text{ mA}$ et $I = 20 \text{ mA}$)
- concentration de l'émulsion : $C_0 = 20 \text{ mg/L}$.

➤ 1^{ère} cinétique

Le rendement d'élimination du colorant a été suivi au cours du temps pour une intensité de courant de 10 mA, Les résultats obtenus sont portés dans le tableau IV,1 La courbe établie est représentée par la figure (IV,2) :

Concentration initiale du colorant $C_0 = 20 \text{ mg/L}$. intensité de courant $I = 10 \text{ mA}$.

Tableau IV.1: Rendement d'élimination du colorant pour $I = 10 \text{ mA}$.

Temps min	Absorbance	C finale (mg/l)	Rendement
0	0,00	20,00	0,00
10	0,50	7,05	64,75
20	0,42	5,83	70,86
30	0,41	5,80	71,00
40	0,39	5,52	72,40
60	0,37	5,15	74,23
90	0,36	5,11	74,44
120	0,37	5,14	74,30

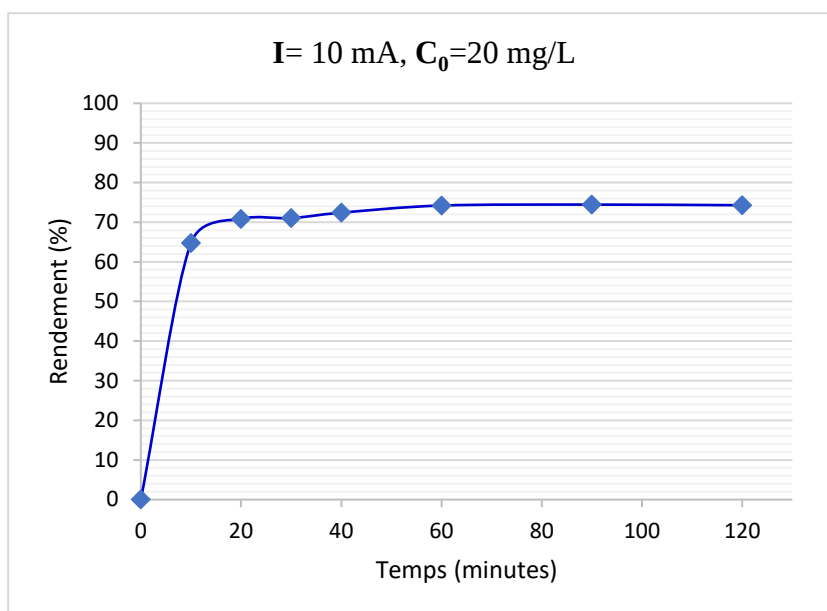


Figure IV.2: cinétique d'élimination du MO pour $I = 10 \text{ mA}$.

D'après les résultats obtenus, nous pouvons remarquer que l'efficacité du traitement, en termes de rendement, augmente avec le temps d'agitation, Ceci peut être interpréter par le fait que le nombre de cations Al^{3+} dissolus augmente avec le temps et contribuent à la formation de floccs et la précipitation des molécules du colorant, Les valeurs du rendement dépassent 70 % après 20 minutes d'agitation dans le réacteur.

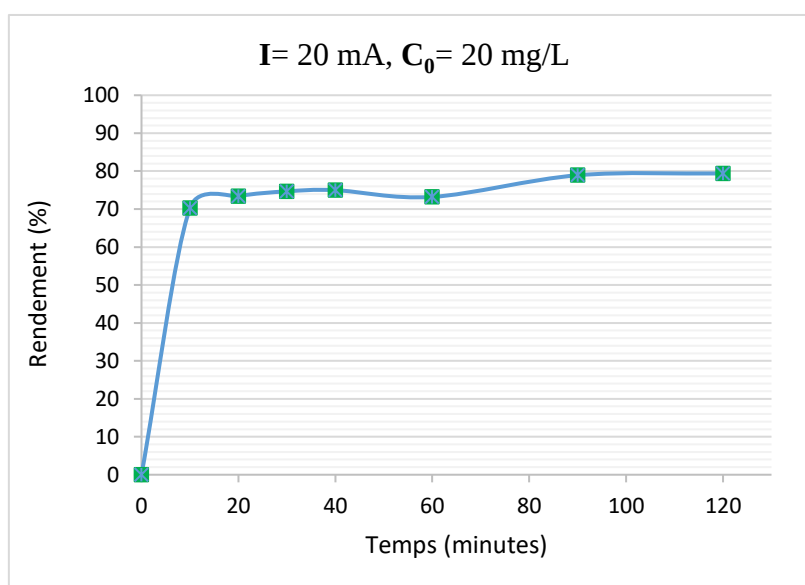
➤ 2^{-ème} cinétique

Dans cette expérience, nous avons augmenté l'intensité de courant à 20 mA et déterminer le rendement d'élimination de MO en solution, Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau IV.2 et sur la figure IV.3 :

Concentration initiale du colorant $C_0 = 20 \text{ mg/L}$. intensité de courant $I = 20 \text{ mA}$.

Tableau IV.2 : Rendement d'élimination du colorant pour $I=20$ mA.

Temps min	Absorbance	C finale (mg/l)	Rendement
0	0,00	20,00	0,00
10	0,42	5,94	70,29
20	0,38	5,32	73,38
30	0,36	5,07	74,65
40	0,36	5,00	75,00
60	0,38	5,37	73,17
90	0,30	4,21	78,93
120	0,29	4,13	79,39

**Figure IV.3** : cinétique d'élimination du MO pour $I= 20$ mA.

Les résultats obtenus ont montré que le rendement d'élimination augmente lentement avec le temps d'agitation. L'efficacité du traitement de décoloration des solutions étudiées est satisfaisante. De plus, le rendement d'élimination de MO a dépassé 70 % à partir d'un temps d'agitation de 10 minutes, ce qui montre que le processus mis en jeu est rapide. La valeur du rendement atteint 79,39 % après 2 heures d'agitation.

IV.4. Conclusion

En étudiant l'effet du temps d'agitation et l'intensité de courant sur l'efficacité de l'électrocoagulation du colorant méthyle orange, Les résultats obtenus ont montré que le rendement d'élimination du colorant augmente au cours de l'agitation du réacteur, De plus, l'élimination du colorant était meilleur dans le cas d'une intensité de courant de 20 mA, Dans ce dernier cas, la décoloration de la solution atteint 79,4 % après 120 minutes de contact, Ces résultats sont jugés satisfaisants pour une solution contenant 20 mg/L de colorant,

Conclusion Générale

Conclusion générale

Avec le développement rapide de l'industrie moderne, la pollution de l'environnement est devenue de plus en plus grave. De plus, de nombreux déchets industriels peuvent arriver au milieu aquatique et engendrer la perturbation de sa qualité qui était très adéquate à l'habitation humaine dans le passé.

Ce travail avait pour objectif l'étude de l'élimination du colorant anionique le Méthyle orange par le procédé d'électrocoagulation. Une série d'expériences a été effectuée afin de tester la performance de cette technique et bien comprendre tous les mécanismes mis en jeu.

La première partie c'est la recherche bibliographique nous a permis de déceler un certain nombre de points sur la pollution organique des eaux. Nous nous sommes également intéressés à la pollution par des colorants, leurs impacts sur l'environnement, et les normes de leurs utilisations.

Dans la deuxième partie du travail, nous avons étudié l'applicabilité du procédé d'électrocoagulation (EC) pour le traitement des solutions colorées. La performance du procédé d'EC a été étudiée en utilisant des électrodes en aluminium et en fer pour l'élimination du colorant de type anionique (Méthyle orange). L'effet des paramètres réactionnels (temps d'agitation et intensité du courant) a été examiné afin de comprendre les mécanismes mis en jeu.

Les résultats expérimentaux ont prouvé que le procédé d'EC nous a permis :

- L'effet de la densité du courant entraîne une réduction de temps nécessaire pour un meilleur traitement, cela est expliqué par une élimination importante du colorant atteignant 79,4 % dans le cas de l'intensité $I = 20 \text{ mA}$.
- L'augmentation de l'intensité du courant accélère la floculation, une forte densité du courant est expliquée par une vitesse de dissolution du coagulant plus élevée, ce qui augmente le rendement d'élimination du colorant.
- De déduire qu'avec l'augmentation du temps d'agitation, le nombre de cations d'aluminium augmente induisant une bonne floculation des molécules du colorant.

Références

Bibliographiques

1. ALIOUCHE S (2017) ;Etude de l'élimination d'un colorant par différentes méthodes photochimiques en milieu aquatique . Mémoire de Magister chimie analytique , Université Mentouri , Constantine P110.
2. Annane O. (2011) Amélioration de la technique de défluoruration par le nouveau procédé d'électrocoagulation bipolaire. Thèse de Magister en Chimie de l'Environnement Université de Tizi-Ouzou.pp33-54.
3. Baraka N (2011) ; l'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO₂ supporté . Thèse doctorat , Faculté sciences , Algérie .
4. Bennajah M. (2007) Traitement des rejets industriels liquide par électrocoagulation/électroflottation en réacteur airlift, Thèse de Doctorat d'état, Institut National Polytechnique de Toulouse.
5. Beyade S. (2013) Caractérisation de la composition chimique des eaux usées traitées de la STEP de Sebkha-. Mémoire de master. Université Cadi Ayyad- Merrakah : Eau et environnement, 65p.
6. Boegline ,1997 ; Analyse des eaux résiduaires , mesure de la pollution , techniques de l'ingénieur p9 ,1-25.
7. Bouzegag S (2018). Elimination de la pollution organique des eaux de barrage Koudiet Meddaour par adsorption sur charbon actif. Mémoire de Master.Université Mohamed Khider de Biskra.
8. Cemagref. (2004) Facteurs expliquant la présence de matière organique dans les eaux superficielles en Bretagne : Analyse des données existantes. Rapport final.
9. Chalon C., Leroy D., Thome J.P., Goffart A. (2006) Les micropolluants dans les eaux de surface en région wallonne : dossier scientifique réalisé dans le cadre d l'élaboration du rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon. Aqua pole-ulg. Liège : 137p.
10. CROUE J , KORSHIN G, LEENHEER J and BENJAMIN M (2000) ; “ Isolation , fractionation and characterization of natural organic matter in drinking water”. The American water works association , Denver .
11. Duursma E.K., Dawson R. (1981) Marine organic chemistry. Elsevier oceanograph .Ser .No .31.Elsevier Sci.Publ.Co., Amsterdam, Oxford et New York. 521 p.
12. Gaini, L. (2011) Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acoust _optique.Mémoire de magister. Université Farhat Abbas-Setif - : Optique appliquée,83p.

13. GRUAU , Gérard, BIRGAND, Francois , JARDE , Emilie et NOVINCÉ , Emilie, 2004 ; Pollution des captages d'eau brute de Bretagne par les matières organiques ; Rapport de synthèse. Bretagne , p108.
14. Gruau G., Birgand F., Jarde E., Novince E. (2004) Pollution des captages d'eau brute de Bretagne par les matières organiques, rapport DRASS et région Bretagne, France
15. HACHED LILLA (2018). Modélisation de l'élimination du « Bleu de palanil » par le procédé physico-chimique coagulation-floculation. Mémoire de Master. Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou.
16. Holt P.K., Barton G.W., Wark M., Mitchell C.A. (2002) A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation, Colloids and Surfaces A : Physicochemical Engineering Aspects 211,233-248.
17. Khalfaoui, A.)2012) Etude Expérimentale de L'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels : Application aux Peaux d'Orange et de Banane. Thèse de Doctorat. Université de Mentouride.
18. Lefebvre E. (1990) Coagulation des substances humiques aquatiques par le fer ferrique en milieu aqueux : Effet de la préoxydation. Thèse Doctorat d'Université, Poitiers.
19. Legube B. (1983) Contribution à l'étude de l'ozonation de composés aromatiques en solution aqueuse, Thèse de Doctorat ES-Sciences physiques, Université de Poitiers.
20. Lemlikchi W, Elimination de la pollution des eaux industrielles par différents procédés d'oxydation et de co-précipitation, Thèse de Doctorat (2012), Université de Tizi-Ouzou.
21. M.Ghaedi , H.Hossainian, M.Motazerozohori, A.Shokrollahi, F.Shojaipour, M.Soylak, M.K.Purkait ; A novel acorn based absorbent for the removal of brilliant green , Desalination 281 226 -233 (2011).
22. Martineau G.-P, Maladies d'élevage des porcs, France agricole éditions, (1997).
23. MAYET J , La pratique de l'eau , Traitements aux points d'utilisation , 2ème Edition , Paris (1994).
24. Mollah M.Y.A., Schennach R., Parga J.R et Cocke D.L. (2001) Electrocoagulation (EC)-science and applications. Journal of Hazardous Materials, 84,29-41.
25. Olivier A. (2005) «Chimie et pollution des eaux souterraines », Tec et Doc Lavoisier.
26. Oubagha N, décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétique, Mémoire de magister (2011), Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou.

27. Petitjean, P., Henin, O., Gruau, G. (2004) Dosage du carbone organique dissous dans les eaux douces naturelles. Intéret, Principe, mise en œuvre et précautions opératoires, Cahier technique de Géosciences Rennes .N°3. Université de Rennes-France, 48p.
28. Siedlecka, E.M., Wieckowska, A., Stepnowski, P. (2007). Influence of inorganic ions on MTBE degradation by fenton's reagent, J.Hazardous Materials.
29. Stevenson, F.J, (1982) Extraction, fraction and general chemical composition of soil organic matter. In Stevenson FJ, editor. Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions. John Wiley and Sons, New York.
30. STOLTE M, Vieth M ; Acta Endose . 31 (2) 125-130 (2001).
31. Thibaud H. (1987) Contribution à l'étude du mécanisme de formation de la chloropicrine au cours de traitements oxydants : Application aux eaux à potabiliser. Thèse de Doctorat. Université de Poitiers, N° 90, Poitiers.
32. Thurman E.M. (1985), Developments in biogeochemistry: Organic geochemistry of natural waters, Ed. NIJHOFF, Dr. W. Junk Publishers, DORDRECHT.