

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département Génie de l'environnement

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

Par

- **Douibi Samia**
- **Simohamed Ikram**

Intitulé

***Etude de l'élimination du colorant rouge congo par le procédé
d'Électrocoagulation***

Soutenu le : 30/06/2025

Devant le jury

Nom et prénom	Grade	qualité	Université
Zouaoui Hanane	MCB	président	Univ. BBA
Magraoui Nadjah	MCB	Encadreur	Univ. BBA
Karce Houssameddine	MCA	Co-Encadreur	Univ. BBA
Merzougui Moufida	MCA	Examineur	Univ. BBA

Année Universitaire : 2024/2025

Dédicace

Du plus profond de mon cœur, je tiens à dédier ce travail à ceux qui ont illuminé mon parcours de leur présence et de leur soutien inestimable.

À ma mère,

La personne la plus précieuse dans ma vie. Ton amour inconditionnel, ta bienveillance et ton soutien indéfectible ont été les piliers de ma réussite. Grâce à toi, j'ai accompli mon parcours jusqu'à la fin de mes études. Je te suis éternellement reconnaissante pour tout ce que tu as fait pour moi. Je t'aime de tout mon cœur.

À mon père,

Ta sagesse et tes conseils avisés ont éclairé mon parcours académique. Ta patience et ton soutien m'ont donné la confiance nécessaire pour surmonter les obstacles. Tu es mon roc, toujours présent pour me guider.

À mes frères et mes sœurs,

Vos encouragements, votre camaraderie et votre soutien ont été précieux. Nos échanges intellectuels et nos discussions passionnantes ont nourri ma curiosité et mon apprentissage.

Votre présence à mes côtés a rendu cette étape de ma vie plus significative et enrichissante.

Samia

Dédicace

Il existe dans le monde des êtres chers, à qui nous leur devons presque tout, et qui comptent beaucoup pour nous et rien ne pourrait être accompli pour leur rendre tout ce qu'ils nous ont apporté dans la vie. Je voudrais dédier ce modeste travail à :

Ma mère, Qui m'a toujours soutenue dans les moments critiques auxquels j'ai été confrontée. Ce travail est sans doute le résultat de ton encouragement pour continuer mes études. Que Dieu t'accorde longue vie et santé pour que tu sois heureuse et très fière de moi.

Mon père, qui n'a jamais cessé de croire en moi. Toi qui a sacrifié et souffert les plus belles années de ta vie pour me voir un jour réussir. Je prie Allah pour qu'il vous garde et protège.

A mes chères sœurs, Abla et Ahlam et mon frère Walid.

Je rends grâce à Allah le Tout-Puissant de m'avoir donnée la santé, le courage et la force pour mener ce travail au bout.

Ikram

Remerciement

Ce travail a été réalisé au laboratoire De traitement des eaux à l'Université de Mohamed El-Bachir El –Ibrahimi.

Tout D'abord Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Nos remerciements s'adressent conjointement et tout naturellement à nos Encadreurs de nous avoir accordé leurs confiances de nous accepter pour travailler sur ce sujet.

Nous exprimons notre sincère gratitude aux membres du jury qui ont généreusement donné de leur temps et de leur expertise pour revoir notre travail et l'enrichir de leurs précieuses suggestions.

Enfin, Nous tenons à remercier nos familles qui nous ont soutenues tout au long de ces années d'études.

Sommaire

Dédicaces

Remerciement

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale 1

Chapitre I : Recherche bibliographique

I.1 Les pollutions aquatiques 3

I.1.1 Introduction 3

I.2 Classifications des pollutions aquatiques 3

I.2.1 Pollution physique 3

I.2.2 Pollution chimique 4

I.2.3 Pollution microbiologique 4

I.3 Sources et mécanismes de contamination 4

I.3.1 Sources industrielles de pollution des eaux 4

I.3.2 Sources municipales de pollution des eaux 5

I.3.3 Sources agricoles de pollution des eaux 5

I.3.4 Sources naturelles de pollution des eaux 5

I.3.5 Les eaux pluviales ou de ruissellement 5

I.4 Cas d'étude : polluants émergents 5

I.5 Les colorants 6

I.5.1 Historique 6

I.5.2 Définition 6

I.5.3 Classification des colorants 7

I.5.4 Utilisation et application des colorants 9

I.6 Impact des rejets colorés sur l'environnement et la santé humaine 9

I.6.1 Sur l'environnement : 9

I.6.2 Les impacts dangereux sur la santé : 9

I.7 Technologies de traitement des rejets colorés 10

I.7.1 Les méthodes conventionnelles : 10

I.7.2 Les méthodes avancées 11

I.8 Historique des applications du procédé d'électrocoagulation 12

I.9 Section réglementation 14

Chapitre II : Étude expérimentale

II.1 Introduction 17

II.2 : Matériels et produits 17

II.2.1: Matériels	19
Spectrophotométrie UV-Visible	19
II.2.2: Produits chimiques	21
II.3 Application d'électrocoagulation	21
II.3.1 : Préparation des solutions mère du rouge congo	21
II.3.2 : Principe d'électrocoagulation (EC):	Erreur ! Signet non défini.
II.3.3 : Les principales réactions susceptibles de se produire aux électrodes de fer	23
II.4 : Principale loi d'électrolyse	24
II.4.1 Loi de Faraday:	24
II.5 : Étude de l'effet de quelques Paramètres d'analyse sur traitement par electrocoagulation :	25
II.5.1 effet du temps:	25
II.5.2 effet de l'intensité du courant :	26
II.5.3 effet du pH initial :	26
II.6 :Étude combinée : Electrocoagulation suivie de floculation avec l'amidon	27
II.7 :Application de coagulation-floculation en présence de l'amidon et du chlorure ferrique(jar test):	28
II.7.1 :Préparation des solutions:	28
II.7.2 :Principe de la méthode de JAR -TEST :	29
 Chapitre III : résultats et discussions	
III.1 :Introduction	32
III.2 :Spectre d'absorption du colorant rouge Congo	32
III.2.1 Paramètres physicochimiques de la solution du rouge Congo 10 ⁻⁴ M	33
III.3 Étude de l'effet des paramètres expérimentaux sur le rendement de traitement par électrocoagulation	34
III.3.1 Effet de temps d'électrolyse	34
III.3.2 Effet de courant sur L'électrocoagulation :	38
III.3.3 Effet de pH	40
III.3.4 : Effet de l'ajout de différentes concentrations de l'amidon :	43
III.4 : Traitement par coagulation-floculation	47
III.4.1 : Effet de concentration de chlorure ferrique (FeCl ₃)	47
III.4.2 :Décantation et analyses	51
Conclusion générale	52
Résumé :	53

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Principaux groupements chromophores et autochromes des colorants organiques.....	7
Tableau I. 2 : Historique des applications du procédé d'électrocoagulation.....	12
Tableau I. 3: Comparaison des technologies de dépollution des effluents textiles en fonction des avantages et des inconvénients.....	13
Tableau I. 4: Valeurs limites de quelques paramètres pour les effluents textile.....	14
Tableau II. 1. Propriétés physico-chimiques du rouge Congo.....	18
Tableau III. 1. Paramètres physico-chimiques (Conductivité, Turbidité, TDS) avant électrocoagulation à différents temps	34
Tableau III. 2 Paramètres physico-chimiques (Conductivité, Turbidité, TDS) après électrocoagulation à différents temps d'électrolyse	36
Tableau III. 3: Variation des paramètres physico-chimiques (Conductivité, Turbidité, TDS) électrocoagulation après différents courants.....	39
Tableau III. 4 : Variation des paramètres physico-chimiques (Conductivité, Turbidité, TDS) électrocoagulation avant et après différents pH.....	42
Tableau III. 5: Variation des paramètres physico-chimiques (Conductivité, Turbidité, TDS) électrocoagulation avant et après différentes concentrations d'amidon.....	45
Tableau III. 6: Paramètres physico-chimiques (Conductivité, Turbidité, TDS) à différentes concentrations de chlorure ferrique.....	49

Liste des figures

Figure I. 1. Exemple de colorant acide.....	8
Figure I. 2: Exemple de colorant basique.....	8
Figure II. 1.Rouge Congo.....	18
Figure II. 2 : Structure de rouge Congo.....	18
Figure II. 3: Photo de Spectrophotométrie UV-Visible.....	19
Figure II. 4 : Photo d'une balance électrique.....	20
Figure II. 5: Solution mère du Rouge Congo.....	21
Figure II. 6: schéma de principe de l'électrocoagulation.....	22
Figure II. 7: Montage expérimentale de l'électrocoagulation.....	23
Figure II. 8:électrode étudiés avant le traitement.....	27
Figure II. 9 :électrode étudiés après le traitement.....	27
Figure II. 10:méthode de JAR -TEST.....	30
Figure III. 1.Spectre UV-Visible d'une solution de rouge Congo de concentration 10^{-4} M en milieux aqueux.....	33
Figure III. 2: Effet du temps d'électrolyse sur le rendement d'élimination du colorant.....	34
Figure III. 3: superposition des spectres de la solution du rouge congo avant et après électrolyse pendant 15, 30 et 40min.....	35
Figure III. 4: effet du temps sur traitement par electrocoagulation.....	36
Figure III. 5: Évolution des paramètres physico-chimiques après traitement par électrocoagulation en fonction du temp.....	37
Figure III. 6: Effet du courant appliquée sur le rendement d'elimination du colorant.....	38
Figure III. 7: Évolution comparative des paramètres physico-chimiques après traitement par électrocoagulation en fonction du courant appliqué.....	39
Figure III. 8: effet du l'intensité du courant sur traitement par electrocoagulation.....	40
Figure III. 9: Effet du pH sur le rendement d'elimination du colorant ruge congo.....	41
Figure III. 10:. Évolution comparative des paramètres physico-chimiques avant et après traitement par électrocoagulation en fonction du ph.....	42
Figure III. 11: effet du pH initial sur traitement par electrocoagulation.....	43
Figure III. 12: Effet de la concentration de l'amidon sur le rendement d'elimination du rouge congo.....	44
Figure III. 13: Évolution comparative des paramètres physico-chimiques avant et après traitement par électrocoagulation en fonction du concentration d'amidon.....	45
Figure III. 14: effet d'amidon sur traitement par electrocoagulation.....	47
Figure III. 15: Effet de la concentration de chlorure ferrique sur le rendement d'elimination du rouge congo.....	48
Figure III. 16: Évolution comparative des paramètres physico-chimiques après traitement par coagulation en fonction de la concentration de chlorure ferrique.....	50
Figure III. 17: effet de procede coagulation-floculation.....	51

Introduction générale

Introduction générale

Actuellement, le monde est confronté à une pollution importante, conséquence d'un développement technologique effréné et une consommation excessive de divers produits (médicaments, pesticides, organochlorés, surfactants, etc. ...). En 2021, une étude a montré qu'environ 5 millions de personnes meurent chaque année en buvant des eaux polluées [1].

Parmi ces substances polluantes, les colorants représentent une bonne partie, La présence de matières colorantes dans l'eau peut entraîner différents effets directs ou indirects sur la santé des populations humaine et sur l'environnement. Par conséquent, la dépollution des eaux contaminées par ces composés chimiques s'avère nécessaire aussi bien pour la protection de l'environnement que pour une éventuelle réutilisation de ces eaux non conventionnelles et en minimisant les pertes d'eau du fait de ce recyclage. [2]

Le traitement des eaux colorées a fait l'objet de très nombreuses études afin d'éliminer ou de récupérer la matière organique contenue dans ces eaux (selon OMS) [3]. Toutefois, l'électrocoagulation et la coagulation-floculation demeurent les techniques les plus efficaces en raison de leurs simplicité, efficacité, facilité de mise en œuvre et leurs faibles coûts.

Dans ces techniques, de nombreux facteurs peuvent affecter l'efficacité du traitement, tels que le type et la concentration de coagulant, le pH, et le courant appliquée.

Lors de cette étude, nous nous sommes intéressés principalement à l'élimination du colorant (Rouge Congo) en solution aqueuse, par Electrocoagulation. Cette étude vise à valoriser et tester l'efficacité de la procédure expérimentale, Le présent mémoire est subdivisé en trois chapitres :

Chapitre 1 : Dans la première partie, nous avons donné une synthèse bibliographique qui rassemble des données essentielles sur la pollution des eaux, les colorants et la technique de dépollution adaptée aux effluents chargés de ces colorants.

Chapitre 2 : La deuxième partie représente le protocole expérimental

Chapitre 3 : Dans le dernier chapitre, nous avons exposé nos résultats trouvés dans des tableaux, des figures, avec des interprétations afin de justifier ces données Enfin, on termine par une conclusion générale qui résumera les principaux résultats.

- [1] WellWo. (2021). Les causes et les conséquences de la pollution de l'eau. Santé environnementale. <https://wellwo.es/fr/les-causes-et-les-consequences-de-la-pollution-de-leau/>
- [2] M. Bouhamed,et Dia, O. (2012). Étude de l'élimination du colorant Rouge Congo par adsorption sur des matériaux argileux naturels, Mémoire de master, Université d'El Oued.
- [3] N.Zahaf ,Y.Saadi ,Étude de l'élimination des colorants industriels par une biomasse brute et modifiée,Memoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem, 2022-2023.

Chapitre I

Recherche bibliographique

I.1 Les pollutions aquatiques

I.1.1 Introduction

La pollution des eaux est définie comme toute modification de leur qualité, physique, chimique, biologique ou bactériologique, qu'elle porte sur les eaux superficielles, souterraines ou marines. Cette modification peut être entraînée par différents facteurs, naturels ou anthropiques, et modifier les écosystèmes aquatiques et les utilisations humaines.

Les eaux usées, qu'elles soient d'une origine ou d'une autre, comportent d'ailleurs fréquemment des substances nuisibles dont la nature et la teneur conditionnent son action sur l'environnement. Il est donc nécessaire, pour combler ces risques potentiels, de mettre en place une chaîne de traitement appropriée. Il s'agit cependant de le faire avant de se prononcer sur la réalisation d'un procédé d'épuration. Il est nécessaire, en effet, de pratiquer une caractérisation intégrale de l'effluent, tant au plan quantitatif qu'au plan qualitatif [1].

I.2 Classifications des pollutions aquatiques

Les Trois grandes familles caractérisent la pollution selon l'OMS (2020) sont :

I.2.1 Pollution physique

Elle résulte de différents éléments solides entraînés par les rejets domestiques et industriels.

On distingue :

- ***Pollution solide :***

Ce phénomène provient des particules solides transportées par les eaux industrielles, les eaux de ruissellement, ainsi que des décharges de déchets en plein air.

- ***Pollution thermique :***

Les usines qui utilisent l'eau pour refroidir leurs installations, comme les centrales thermiques ou les raffineries, rejettent ensuite cette eau. Le problème, c'est que cette eau est plus chaude et contient donc moins d'oxygène. Cela accélère la décomposition des matières organiques et

favorise la prolifération des microbes. En gros, une eau plus chaude aggrave les effets négatifs de la pollution [2].

- ***Pollution radioactive :***

Cette pollution est liée aux rejets des éléments radioactifs par les installations et les centrales nucléaires ainsi que les usines de traitement de déchets radioactifs [3].

I.2.2 Pollution chimique

La pollution chimique est causée par des polluants organiques et minéraux issus des activités humaines. Elle comprend des substances comme les solvants, les métaux (zinc, plomb, cadmium, etc.), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobiphényles (PCB), les médicaments, les pesticides et les sels [4].

I.2.3 Pollution microbiologique

Les eaux usées contiennent des microbes provenant des matières fécales, incluant des organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes [5].

I.3 Sources et mécanismes de contamination

La pollution de l'eau est l'une des préoccupations environnementales les plus pressantes dans notre vie. Elle résulte de la contamination des masses d'eau - rivières, lacs, océans...par des substances nocives provenant de diverses sources. Cette pollution conduit à la modification des caractéristiques naturelles de l'eau (physiques, chimiques, biologiques...)[6] [7]

I.3.1 Sources industrielles de pollution des eaux

Toute activité de nature industrielle qui fait usage d'eau soumise à un procédé de traitement de l'eau. Des études ont démontré que la présence d'un puits en contact avec un procédé ou un produit peut engendrer une contamination de l'eau par des polluants [8]. Cette eau sera par la suite considérée comme une eau usée.

I.3.2 Sources municipales de pollution des eaux

Les sources d'eau municipales non industrielles sont généralement les suivantes [9]

- Logements.
- Établissements commerciaux.
- Institutions (écoles, hôpitaux, prisons, etc. ...).
- Opérations gouvernementales.

I.3.3 Sources agricoles de pollution des eaux

L'eau utilisée pour l'agriculture contient beaucoup de nitrates et de phosphates. Ces substances rendent les rivières trop riches en nutriments, ce qui cause une prolifération d'algues. Lorsque ces algues pourrissent, elles utilisent l'oxygène présent dans l'eau, ce qui empêche la rivière de se nettoyer naturellement [10].

I.3.4 Sources naturelles de pollution des eaux

Certains phénomènes naturels peuvent être aussi à l'origine de la pollution des eaux et sont identifiés en relation avec les éruptions volcaniques (sulfures, acides, poussières), des épanchements sous-marins, d'hydrocarbures, le contact avec les filons ou gisements d'éléments toxiques (mercure, arsenic, éléments radioactives), la présence d'une source thermo minérale [11].

I.3.5 Les eaux pluviales ou de ruissellement

Les eaux pluviales peuvent constituer une source significative de pollution, notamment durant les périodes orageuses. L'eau de pluie subit une série de processus chimiques et physiques qui modifient son état naturel. Initialement, elle est chargée d'impuretés en suspension dans l'air, notamment des particules issues de fumées industrielles. Ensuite, lors de son ruissellement, elle absorbe des résidus déposés sur les toitures et les voies de circulation, tels que des huiles de vidange, des carburants, des résidus de pneus et des métaux. Dans la plupart des situations, les eaux pluviales sont mélangées aux eaux usées domestiques [10].

I.4 Cas d'étude : polluants émergents

Les polluants émergents sont des contaminants persistants et toxiques dont la présence dans l'environnement, même à faible concentration peut avoir des effets difficiles à percevoir sur la santé humaine et les écosystèmes les principaux polluants aquatiques sont :

1-Métaux lourds

2-Produits pharmaceutiques

3-Fluorure

4-Arsenic

5-Les colorants

I.5 Les colorants

I.5.1 Historique

Le nombre des composés colorés naturels qui peuvent effectivement servir de matières colorantes est plus faible, en teignant des étoffes de façon prolongée. L'ingéniosité des chimistes a pu de très bonne heure élargir de façon fantastique le nombre de matières colorantes dont peut disposer le teinturier et la production industrielle de ces composés peut être considérée comme le début de la deuxième révolution industrielle, la révolution chimique [12].

Le premier colorant synthétique utilisé résulte d'une expérience faite par PERKIN dans son extrême jeunesse (il avait 18 ans !). Tirant argument d'une similitude de formule brute entre l'allyltoluidine et la quinine, PERKIN tente en 1856 d'oxyder l'allyltoluidine impure dont il dispose et obtient la mauvéine. Il se rend rapidement compte que c'est en réalité l'aniline qu'il a oxydée, et la mauvéine est le premier « colorant d'aniline » utilisé dans l'industrie textile [12]

I.5.2 Définition

Un colorant est une substance colorée, qui peut être d'origine naturelle (animale ou végétale) ou fabriquée chimiquement (synthétique ou biochimique). On l'utilise pour donner de la couleur à divers produits comme les aliments, les médicaments, les cosmétiques ou les textiles.

Pour être efficace, un colorant ne doit pas seulement avoir une belle teinte : il doit aussi bien adhérer aux fibres ou aux surfaces à teindre. Cette adhérence dépend de l'affinité entre le colorant et le matériau, ce qui peut compliquer certains traitements.

Selon leur usage, les colorants synthétiques doivent répondre à plusieurs critères pour assurer la longévité des textiles : résistance à l'usure, stabilité à la lumière, tenue face aux détergents et aux microbes. Les colorants acides ou basiques ont généralement une meilleure fixation.

Ces caractéristiques propres aux colorants organiques accroissent leur persistance dans l'environnement et les rendent peu disposés à la biodégradation [13]

Tableau I. 1.Principaux groupements chromophores et autochromes des colorants organiques.

<u>Groupements chromophores</u>		<u>Groupements auxochromes</u>	
(-N=N-)	<u>Azo</u>	(-NH ₂)	<u>Amino</u>
(-NO ou -N-OH)	<u>Nitroso</u>	(-NHCH ₃)	<u>Méthylamino</u>
(=C=O)	<u>Carbonyl</u>	(-N(CH ₃) ₂)	<u>Diméthylamino</u>
(-C=C-)	<u>Vinyl</u>	(-HO)	<u>Hydroxyl</u>
(-NO ₂ ou =NO-OH)	<u>Nitro</u>	(-OR)	<u>Alkoxy</u>
(>C=S)	<u>Sulphure</u>	<u>Groupements donneurs d'électrons</u>	

I.5.3 Classification des colorants

La classification des colorants s'articule autour de deux axes : leur structure chimique et les méthodes d'application sur les divers substrats.

I.5.3.1 Les colorants acides ou anioniques

En raison de leurs groupements sulfonates ou carboxylates, ces colorants se dissolvent dans l'eau. On les appelle ainsi car ils servent à teindre les fibres animales comme la laine et la soie, ainsi que certaines fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide), dans un bain légèrement acide. [14]

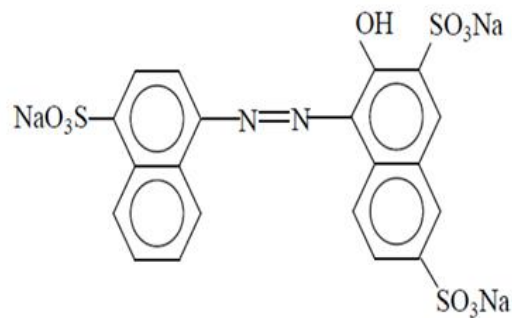


Figure I. 1. Exemple de colorant acide.

I.5.3.2 Les colorants basiques ou cationiques

Les colorants cationiques sont des composés organiques solubles dans l'eau grâce à leur nature de sels d'amines. Ils se fixent sur les fibres par des liaisons entre leurs charges positives et les charges négatives des fibres. Bien qu'ils soient moins utilisés pour teindre la laine et la soie, ils sont redevenus populaires avec l'arrivée des fibres acryliques, car ils offrent des couleurs éclatantes et durables sur ces matériaux.

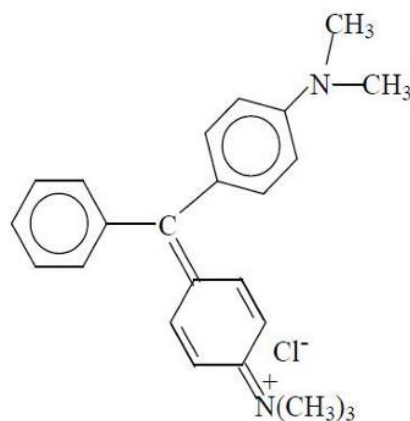


Figure I. 2: Exemple de colorant basique

I.5.4 Utilisation et application des colorants

Les grands domaines d'application des colorants sont les suivants [15] :

- Dans l'industrie textile de la fourrure, du cuir (textile à usage vestimentaire, de décoration, de bâtiment, de transport, textile à usage médicale ...).
- Dans l'industrie de matières plastiques (pigments).
- Dans l'industrie du bâtiment : peintures (pigments).
- Dans l'industrie pharmaceutique (colorants)
- Dans l'industrie des cosmétiques.
- Dans l'industrie agroalimentaire (colorants alimentaires).
- Dans diverses industries utilisées pour des carburants et des huiles.
- Dans l'imprimerie (encre, papier).

I.6 Impact des rejets colorés sur l'environnement et la santé humaine

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

I.6.1 Sur l'environnement :

La présence de colorants dans l'eau entraîne des problèmes de pollution liés au rejet d'eaux usées colorées. Ces eaux usées peuvent causer l'eutrophisation et perturber la vie aquatique, menant à un risque de bioaccumulation qui peut affecter l'homme via la chaîne alimentaire [16].

I.6.2 Les impacts dangereux sur la santé :

Sont dus à certaines capacités de ces colorants qui peuvent :

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

- Augmentation de la perméabilité intestinale [17].

I.7 Technologies de traitement des rejets colorés

Les eaux usées constituent un effluent très chargé en matières polluantes, nuisibles aussi bien au milieu récepteur qu'aux utilisateurs. Pour limiter cette pollution, il est nécessaire de traiter ces eaux avant de les rejeter ou de les réutiliser. Il existe deux principaux types de traitement, en fonction du niveau de qualité d'eau à obtenir :

- Les méthodes conventionnelles :

- Méthodes physiques de traitement

Adsorption sur charbon actif (ou sur un autre adsorbant)

- Méthodes physico- chimiques

Coagulation–floculation

- Les méthodes avancées.

- L'électro-oxydation
- Electrocoagulation

I.7.1 Les méthodes conventionnelles :

I.7.1.1 Méthodes physiques de traitement

Les traitements physiques utilisent des techniques séparatives pour séparer les polluants de l'eau à traiter. Ils sont efficaces pour éliminer les solides en suspension, les liquides non miscibles et les polluants organiques dissous. [18]

L'adsorption :

L'adsorption est une méthode utilisée pour retirer les polluants organiques et minéraux des déchets liquides ou gazeux. Il existe différentes théories pour expliquer comment ça marche. Le principe est de faire passer le polluant d'un liquide ou d'un gaz à une surface solide. Même si le charbon actif est un très bon adsorbant, cette méthode a ses limites, surtout à cause du coût élevé du charbon actif. Seuls certains types de colorants, comme les cationiques, les colorants à mordant, dispersés, de cuve et réactifs, peuvent être éliminés de cette façon [19].

I.7.1.2 Méthodes physico- chimiques de traitement :

Coagulation–floculation

La coagulation est par définition le phénomène de déstabilisation des particules colloïdales, qui peut notamment être obtenu par neutralisation de leurs charges électriques. Le produit utilisé pour cette neutralisation est appelé : coagulant. Les coagulants les plus communément employés dans la pratique se limitent au : sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$, polychlorure d'aluminium $Al_nOH_mCl_{3n-m}$, chlorure ferrique $FeCl_3$, sulfate de fer $FeSO_4 \cdot nH_2O$ et sulfate ferrique $Fe_2(SO_4)_3$. Dans des cas particuliers, il est fait appel à : l'aluminate de soude $NaAlO_2$, la chaux CaO , $Ca(OH)_2$ pour attaquer la structure des matières à précipiter et favoriser ainsi la création d'un système moins stable susceptible d'être définitivement précipité par les réactifs précédents [20].

La floculation est le processus par lequel des particules, initialement dispersées, s'agglomèrent pour former des flocons. Ces flocons peuvent ensuite être facilement retirés de l'eau lors des étapes de traitement ultérieures. Les floculants, qui favorisent cette agglomération, se distinguent par leur composition (minérale ou organique), leur origine (synthétique ou naturelle) et leur charge électrique (anionique, cationique ou non ionique). On distingue principalement les floculants minéraux et les floculants organiques [21,22].

I.7.2 Les méthodes avancées

I.7.2.1 L'électro-oxydation

L'électro-oxydation est une méthode qui consiste à utiliser un courant électrique pour éliminer les contaminants dans l'eau. Lorsque le courant électrique traverse les électrodes, des espèces chimiques réactives, comme les radicaux hydroxyles, sont générés à la surface des électrodes. Ces espèces réactives oxydent les contaminants dans l'eau, les transformant en produits moins nocifs [23].

I.7.2.2 Electrocoagulation (EC)

L'électrocoagulation est un processus complexe résultant de la combinaison des sciences de l'électrochimie et de la coagulation. Cette méthode de traitement est l'une des technologies développées qui implique plusieurs mécanismes travaillant ensemble pour éliminer les polluants présents dans l'effluent par l'utilisation des électrodes consommables (soit en fer ou

bien en aluminium) immergées dans un milieu aqueux, en produisant des ions métalliques par dissolution électrochimique de ces derniers. En faisant des ions métalliques sous l'effet d'un courant électrique. En somme, cette technique repose sur la production in situ de cations métalliques pour éliminer les contaminants disséminés dans l'eau. Comme il n'y a pas de réacteur d'électrocoagulation dominant en termes d'utilisation, certaines modifications sont ajustées selon les conditions opératoires et les performances attendues pour s'adapter à une application spécifique [24].

I.8 Historique des applications du procédé d'électrocoagulation

Le tableau suivant présente l'historique des applications du procédé d'électrocoagulation :

Tableau I. 2 : Historique des applications du procédé d'électrocoagulation[25].

Date	Auteurs	Types d'électrodes	Applications
1909	Harries	Al + Fe + sel cuivre	Eaux usées urbaines
1947	Bonilla	Al	
1956	Holden	Al	Eau de surface
1970	Sadek		Eau riche en Phosphates
1974	Beck	Al + Fe	Eau très chargée en Substances humiques
1984	Vik	Al	Eau très chargée en Substances humique
1985	Pazenko		Emulsions d'huiles
1988	Renk	Al + Fe	Eau riche en sable Bitumeux et schistes Pétrolifères
1989	Ryan		Suspension d'argile
1992	Shen		Eau de teinture et D'impression
1996	Lin..		Effluents de L'industrie textile
2000	Chen.	Al	
2002	Abuzaid		Eau riche en dérivés de nitrates
2003	Shen		Eau industrielle chargée en fluors
2005	Khemis		Emulsions d'huiles industrielles
2007	Essadki		Rejets de textiles

Le Tableau ci-dessous, regroupe les avantages et les inconvénients de certains procédés utilisés dans le traitement des rejets colorés.

Tableau I. 3: Comparaison des technologies de dépollution des effluents textiles en fonction des avantages et des inconvénients [26]

Technologie	Exemples	Avantages	Inconvénients
Coagulation/ Floculation	Alun, Chaux, FeCl ₃ , Polyélectrolytes	<ul style="list-style-type: none"> • Équipement simple • Décoloration relativement rapide • Réduction significative de la DCO 	<ul style="list-style-type: none"> • Formation de boues • Adjonction de produits chimiques nécessaire • Fonctionnement onéreux • Coagulants non réutilisables • Réduction spécifique de la couleur • Peu d'informations sur la réduction de DBO et DCO
Adsorption	Carbone activé, Silice,	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction efficace de la couleur • Technologie simple • Faible coût d'utilisation pour certains adsorbants • Investissement et coûts de fonctionnements élevés • Lent et limité en volume 	<ul style="list-style-type: none"> • Régénération des adsorbants onéreuse voire impossible • Sélectif • Formation de boue • Ozone • Traitement de gros volumes • Diminution nette de la coloration • Investissements et coûts de fonctionnements très élevés • Efficacité limitée pour certains colorants
Oxydation chimique	<ul style="list-style-type: none"> • Réactif de Fenton • Chloration 	<ul style="list-style-type: none"> • Décoloration rapide et efficace • Opération simple • Oxydant puissant 	<ul style="list-style-type: none"> • Produits d'oxydation inconnus • Coûts élevé • Produits d'oxydation inconnus • Formation de sous produits.
Réduction chimique	Chlorure d'étain, hydrosulphite	<ul style="list-style-type: none"> • Décoloration efficace des azoïques 	<ul style="list-style-type: none"> • Formation d'amines aromatiques • Dégradation incomplète

I.9 Section réglementation

- **Législation sur l'environnement**

Vus le grand danger que pose l'industrie textile et l'utilisation des colorants dans notre vie quotidienne sur l'environnement et notre santé, l'Algérie est comme tous les pays européens a mis une réglementation stricte N°06-141 sur les rejets des effluents textiles dans le milieu hydrique (tableau 5) [27].

Tableau I. 4: Valeurs limites du quelques paramètres pour les effluents textile

Paramètres	Valeur limite
T (°C)	30
pH	6,5- 8,5
DBO5(mg/l)	150
DCO(mg/l)	250
Matières décantables (mg/l)	0,4
Matières non dissoutes (mg/l)	30
Oxydabilité (mg/l)	100
Permanganate (mg/l)	20

- [1] D. Salmi, et K. Slimani, Application de l'électroflottation électrocoagulation pour l'élimination d'un colorant textile : Cas du Bleu d'indanthrène RS, Mémoire de master, Université A. Mira Béjaïa, 2014.
- [2] Centre de formation au métier d'Assainissement (CFMA Boumerdès). (2005). Exploitation d'une station d'épuration à boues activées.
- [3] N, Mekaoussi, Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de Hammam Debagh (Est algérien), Mémoire de magister, Université de Batna, 2014
- [4] B. Benkaddour, Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie), Thèse de doctorat, Université de Perpignan Via Domitia et Université de Mostaganem, 2018.
- [5] S. Baumont, Camard, J. P., Lefranc, A., Franconi, A., Observatoire régional de santé (Ile-de-France)., & Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'Ile-de-France. (2014). Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. ORS Ile-de-France.
- [6] I. Benyoucef, et L. Tlidjane, Adsorption d'un colorant textile sur un charbon actif issu des noyaux de datte, Mémoire de master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arréridj, 2021.
- [7] M. Amourache, Etude de l'élimination du bleu de méthylène et de composés organiques toxiques à partir de solutions aqueuses par un biosorbant non conventionnel, *Claviceps purpurea* hébergé par *Elytrigia repens* L: Implications sur la dépollution de l'eau et cas d'études (Doctoral dissertation), 2019.
- [8] I. Benyoucef. E, et L. Tlidjane, Adsorption d'un colorant textile sur un charbon actif issu des noyaux de datte, Mémoire de master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arréridj, 2021.
- [9] M. Petrović, M., S. Gonzalez, et Barceló, D. (2003). Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 22(10), 685-696, 2003.
- [10] R. Paul, Eaux d'égout et eaux résiduaires industrielles : Épuration, utilisation. Société d'Éditions Techniques, 1998.
- [11] R. Benchabane, et N. Merzoug, Contribution à l'étude de la qualité bactériologique et phytoplanktonique de l'eau du marais de Bousseadra El Bouni (Annaba) , Mémoire de master, Université 8 Mai 1945 Guelm , 2015.
- [12] J. Levisalles, Castro, B., Caubère, P., & Joseflowicz, M, Chimie organique : Tome 3. Composés organiques complexes (pp. 232–235). Flammarion Sciences, (1974)
- [13] Encyclopædia Universalis, Universalis III, 1997.

- [14] M. A. M. Salleh, D. K. Mahmoud, W. A. W. A. Karim, et A. Idris, Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review. *Desalination*, 280(1-3), 1-13, (2011).
- [15] Crépy, M. (2004). *Dermatoses professionnelles aux colorants. Documents pour le Médecin du Travail*, 100, 565–576.
- [16] M. Amourache-Benazzouz, Étude de l'élimination du bleu de méthylène et de composés organiques toxiques à partir de solutions aqueuses par un biosorbant non conventionnel, *Claviceps purpurea* hébergé par *Elytrigia repens* L : Implications sur la dépollution de l'eau et cas d'études, Thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945 Guelma], (2019)
- [17] Saidi, F. Z. (2013). Élimination de bleu de méthylène par des procédés d'oxydation avancée, Mémoire de magister, Université de Tlemcen , (2013).
- [18] C. Raghavacharya, Synthetic dyes removal from wastewater. *Chemical Engineering World*, 32, 53–54, (1997).
- [19] N. Oubagha, Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétiques ,Mémoire de magister, Université de Tizi Ouzou, (2012).
- [20] E. Zawlotzki Guivarch, Traitement des polluants organiques en milieu aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée « Electro-Fenton » : Application à la minéralisation des colorants synthétiques , Thèse de doctorat, Université de Marne-La-Vallée, (2004).
- [21] Zee, F. P. V. (2002). Anaerobic azo dye reduction, Thèse de doctorat, Wageningen University, (2002).
- [22] Eckenfelder, W. W. (1992), *Chemical oxidation*. Lancaster: Eckenfelder, Bowers, Roth, Technomic Publishing Company Inc.
- [23] E. Brillas, et Martínez-Huitle, C. A. (2015). Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: A general review. *Applied Catalysis B : Environmental*, 166–167, 603–643.
- [24] T. Picard, Contribution à l'étude des réactions aux électrodes en vue de l'application à l'électrocoagulation, Thèse de doctorat, Université de Limoges, (2000).
- [25] M. Bennajah, Traitement des rejets industriels liquides par électrocoagulation/électroflottation en réacteur airlift, Thèse de doctorat, (2007)
- [26] N. Bouanimba, et R. Zouaghi, Modélisation et optimisation de la cinétique de dégradation photocatalytique de polluants organiques en solution aqueuse, (2009).
- [27] F. Z. Saidi, Élimination de bleu de méthylène par des procédés d'oxydation avancée, Mémoire de magister, Université de Tlemcen, (2013).

Chapitre II

Étude expérimentale

II.1 Introduction

Ce travail a été réalisé au niveau de laboratoire de traitement des eaux, DEPARTEMENT GENIE DE L'ENVIRONNEMENT, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj.

Dans notre travail nous avons utilisé le procédé de l'électrocoagulation comme technique de traitement d'eau polluée par un polluant (Rouge Congo). Ce système présente l'avantage d'une utilisation très réduite des produits chimiques qui sont souvent compliqués à maintenir,

Ce procédé nécessite un équipement simple avec un mode opératoire facile, un temps de traitement réduit, produit une faible quantité de boues (flocs) comparée aux traitements chimiques [1].

L'objectif de ce travail est de traiter des solutions synthétiques de ces polluants au laboratoire par procédé d'électrocoagulation en utilisant une anode et une cathode en acier, et par procédé coagulation-floculation (jar test).

Le chapitre présentera aussi une description des méthodes d'analyses et des outils utilisés pour l'évaluation des performances du procédé.

II.2 : Matériels et produits

Le Rouge Congo est un colorant organique appartenant à la famille des composés diazoïques. En raison de sa toxicité, son emploi dans l'industrie textile a considérablement diminué au profit d'applications plus spécifiques. Il est aujourd'hui principalement utilisé comme indicateur colorimétrique de pH, en raison de sa sensibilité aux variations d'acidité du milieu. En milieu basique, il présente une coloration rouge ; lorsque le pH varie entre 3,0 et 5,2, il prend une teinte rosée, tandis qu'en conditions fortement acides, sa couleur vire au bleu. Par ailleurs, le Rouge Congo est couramment utilisé dans des domaines spécialisés tels que l'histologie, pour l'étude des structures tissulaires, et la mycologie, dans l'identification de certains champignons [2].



Figure II. 1. Rouge Congo

- *Structure de rouge Congo :*

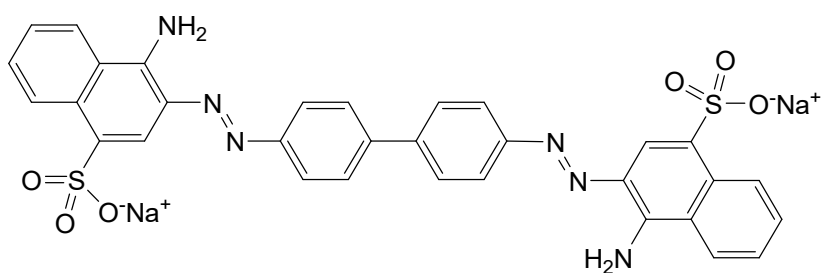


Figure II. 2 : Structure de rouge Congo

- *Propriétés physico-chimiques du rouge Congo:*

Tableau II. 1. Propriétés physico-chimiques du rouge Congo.

Nom usuel	rouge Congo
Formule moléculaire	C ₃₂ H ₂₂ N ₆ Na ₂ O ₆ S ₂
Masse molaire (g/mol)	696,663 ± 0,04 g/mol
Solubilité dans l'eau (g/l) à 20°C	25 g·L ⁻¹ dans l'eau à 20 °C très soluble dans l'alcool
Point de fusion (°C)	>360 °C

<p>Forme acide et forme basique en fonction du pH</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="730 405 922 555"> <p>forme acide bleu</p> </td> <td data-bbox="922 405 1145 555"> <p>zone de virage pH 3.0 à pH 5.2</p> </td> <td data-bbox="1145 405 1377 555"> <p>forme basique rouge</p> </td> </tr> </table>	<p>forme acide bleu</p>	<p>zone de virage pH 3.0 à pH 5.2</p>	<p>forme basique rouge</p>
<p>forme acide bleu</p>	<p>zone de virage pH 3.0 à pH 5.2</p>	<p>forme basique rouge</p>		

II.2.1 : Matériels

- **Spectrophotométrie UV-Visible**



Figure II. 3: Photo de Spectrophotométrie UV-Visible

- **Principe de Spectrophotométrie UV-Visible**

La Spectrophotométrie d'absorption UV-Visible est une technique très répandue en laboratoire. Elle repose sur le fait que les molécules absorbent la lumière à des longueurs d'onde spécifiques [3]. Cette méthode est particulièrement utile pour les substances contenant des groupements chromophores, notamment les molécules avec au moins un noyau aromatique ou un radical, ainsi que les composés hétérocycliques. Lorsqu'un faisceau de lumière monochromatique traverse une solution homogène contenant plusieurs composés qui n'interagissent pas entre eux, l'absorbance totale est simplement la somme des absorbances de

chaque composé. Ce processus provoque le passage de la molécule de son état fondamental à un état excité. La Spectrophotométrie UV-Visible étudie les électrons de valence et les transitions électroniques possibles entre les orbitales moléculaires liantes, non liantes et antiliantes[4].

- **Agitateur**
- **Balance électrique**

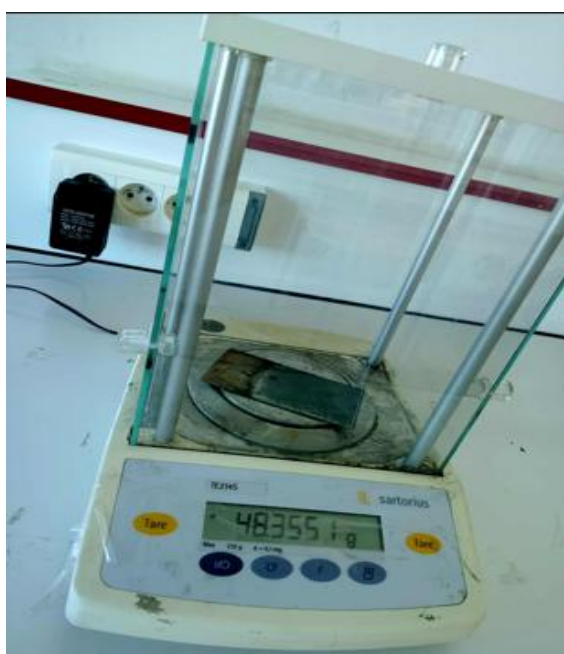


Figure II. 4 : Photo d'une balance électrique

- **Turbidimètre**
- **Générateur de courant**
- **Conductimètre**
- **pH-mètre**

II.2.2 : Produits chimiques

- Na_2SO_4 (M=142 g/mol ; C=0,001M ; V=100ml ; m= 0.0142g)
- rouge Congo (M= 696.66g/mol ; C=0,0001M ; V=100ml; m=0.0069g)
- amidon(M=162g/mol) comme agent flocculant naturel
- FeCl_3 (M=162.20g/mol) comme coagulant chimiques
- NaOH et HCl pour ajuster le PH

II.3 Application d'électrocoagulation

II.3.1 : Préparation des solutions mère du rouge congo

Nous avons préparé Une solution synthétique en dissolvant de: 0.0142g de Na_2SO_4 et 0.0069g de rouge congo

Ces deux masses ont été dissoutes dans un volume de 100 mL d'eau distillée dans une fiole jaugée. Ensuite, la solution a été agitée à l'aide d'un agitateur magnétique pour assurer une homogénéisation complète.



Figure II. 5: Solution mère du Rouge Congo

II.3.2 : Principe d'électrocoagulation (EC):

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 [5].

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) [5].

Le principe général du procédé est présenté sur figure ci dessous :

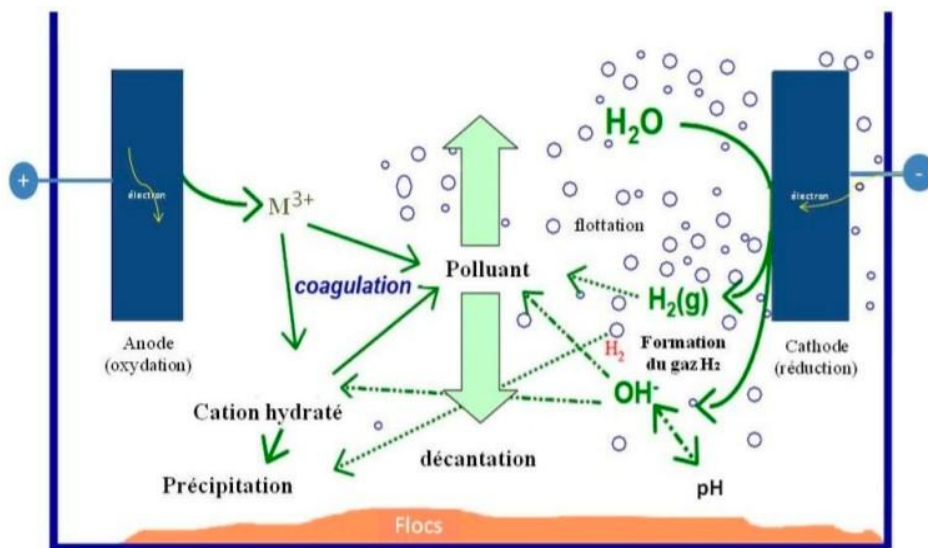


Figure II. 6: schéma de principe de l'électrocoagulation [6]

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 [5].

- **Montage expérimental:**

Pour réaliser l'électrocoagulation, on utilise un récipient contenant 100 ml de la solution polluée. On y plonge deux électrodes en fer, qu'on a préalablement pesées. L'une de ces électrodes est l'anode, et l'autre est la cathode. Ces électrodes sont ensuite connectées à un générateur de courant continu.

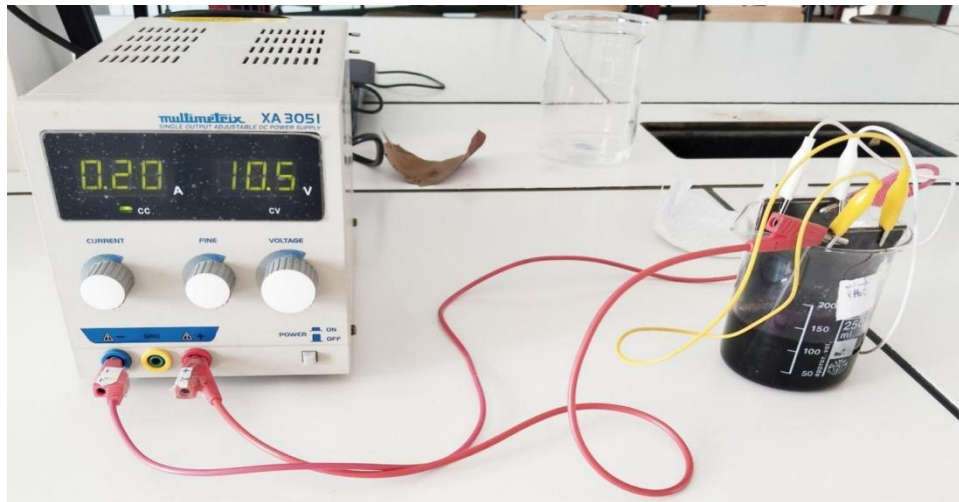


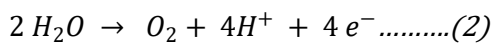
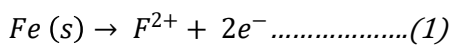
Figure II. 7: Montage expérimentale de l'électrocoagulation

II.3.3 : Les principales réactions susceptibles de se produire aux électrodes de fer

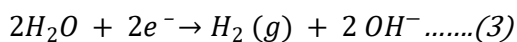
Dans le processus électrolytique le fer est oxydé en hydroxyde de fer, Fe(OH)_n

- **À l'anode :**

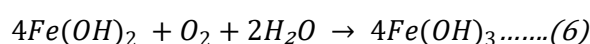
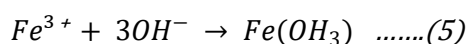
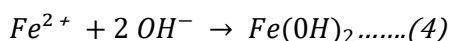
Dissolution du fer métallique selon l'équation :



- **À la cathode :**



(si O₂ présent, RÉACTIONS EN SOLUTION) :



Les hydroxydes de fer, notés $\text{Fe}(\text{OH})_n$, qui se forment, restent dans l'eau sous forme de suspensions gélatineuses. Ces substances peuvent être éliminées des eaux usées par plusieurs méthodes, comme la coagulation, l'adsorption, la co-précipitation ou encore la floculation par balayage, comme l'ont montré A.F. Martins et ses collègues.[7]

II.4 : Principale loi d'électrolyse

II.4.1 Loi de Faraday:

L'électrocoagulation repose sur les principes fondamentaux de l'électrochimie, notamment les lois établies par Michael Faraday en 1832, qui ont permis de quantifier la relation entre la charge électrique circulant dans un système électrolytique et la quantité de matière oxydée ou réduite à une électrode. La loi quantitative de Faraday est couramment utilisée pour estimer la masse de substance dissoute ou déposée au cours d'un processus électrolytique.

Selon cette loi, la masse d'ions métalliques libérés par oxydation anodique est proportionnelle à l'intensité du courant appliqué et au temps d'électrolyse, et inversement proportionnelle à la valence des ions impliqués dans la réaction électrochimique [7].

Ottewill et Walsh ont formulé cette relation par l'expression suivante :

$$m = \frac{IMt}{nF} \dots\dots(7)$$

Avec:

m: masse théorique de métal dissous ou de gaz formé (en g)

I: intensité du courant appliqué (en A)

t: durée de l'électrolyse (en s)

M: masse molaire de l'élément (en g/mol)

n: nombre d'électrons échangés par molécule ou atome dans la réaction

F: constante de Faraday, soit 96 500 C/mol

Si le modèle d'électrolyse comprend p électrodes, et est alimenté par un liquide ayant un débit Q_e , d'après la formule:(5)

$$C = \frac{m \cdot (p-1)}{Q_e} \dots\dots(8)$$

Avec :

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

Q_e : débit d'alimentation de la cellule (m³/h).

p : nombre d'électrodes.

m : quantité théorique de métal dissous (kg).

A partir de la loi de faraday, il est donc possible d'estimer la masse d'électrode théorique consommée par électrolyse et d'en déduire un rendement anodique[8]

$$R_{\text{anodique}} = \frac{M_{\text{exp dissoute}}}{M_{\text{the donnée par loi de faraday}}} \times 100 \dots\dots\dots(9)$$

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

$$R_{\text{cathodique}} = \frac{M_{\text{exp formée}}}{M_{\text{the donnée par loi de faraday}}} \times 100 \dots\dots\dots(10)$$

II.5 : Étude de l'effet de quelques Paramètres d'analyse sur traitement par electrocoagulation :

II.5.1 effet du temps:

Pour étudier l'impact du temps sur le traitement électrochimique, on a maintenu un courant constant de 0,1 A et tester différentes durées : 45 ,40 ,35 ,30 ,25 ,20 ,15 ,10 ,5(minutes) et 1 heure.

À chaque durée de test, une nouvelle solution était préparée en suivant la même recette. Avant de lancer le traitement, on mesurait le pH, la turbidité, la conductivité, la salinité, le total des solides dissous (TDS) et l'absorbance de la solution.

Les tests d'électrocoagulation ont été effectués avec deux électrodes en fer, préalablement nettoyées et pesées. Ces électrodes étaient plongées dans un bécher contenant la solution, et le courant était appliqué pendant la durée choisie. Après le traitement, on laissait reposer la solution pendant 24 heures pour que les particules se déposent. Ensuite, on mesurait à nouveau les mêmes paramètres pour voir si le traitement avait été efficace.

Les résultats ont montré que 30 minutes de traitement donnent les meilleurs résultats, avec une turbidité et une absorbance minimales.

II.5.2 effet de l'intensité du courant :

Avec un temps de traitement fixé à 30 minutes, nous avons étudié l'effet de l'intensité du courant en testant les valeurs suivantes :

$I = 0,01 \text{ A} ; 0,03 \text{ A} ; 0,05 \text{ A} ; 0,07 \text{ A} ; 0,2 \text{ A} ; 0,3 \text{ A} ; 0,4 \text{ A} ; 0,5 \text{ A}.$

Pour chaque intensité, une nouvelle solution est préparée, et les électrodes de fer sont nettoyées, séchées et pesées avant et après traitement. Le courant est appliqué pendant 30 minutes, puis les béchers sont laissés en décantation pendant 24 heures. Les analyses avant et après traitement (pH, TDS, turbidité, salinité, conductivité, absorbance) permettent d'identifier 0,2 A comme l'intensité offrant les meilleurs résultats en termes de réduction de la turbidité et de l'absorbance.

II.5.3 effet du pH initial :

Le courant et le temps ayant été fixés respectivement à 0,2 A et 30 min, l'étude s'est ensuite portée sur l'impact du pH initial. Cinq valeurs ont été testées :

$\text{pH} = 2; \text{ph}=4; \text{ph}=6; \text{ph}=8; \text{ph}=10.$

Les ajustements de pH ont été réalisés à l'aide de solutions de NaOH et HCl. Les paramètres analytiques sont mesurés avant traitement, puis après électrocoagulation et décantation de 24 heures. L'analyse comparative a montré que $\text{pH} = 6$ permettait d'atteindre une efficacité optimale du processus, justifiant son choix pour la suite des expériences.

II.6 :Étude combinée : Électrocoagulation suivie de floculation avec l'amidon

À cette étape Plusieurs concentrations d'amidon ont été testées, correspondant aux concentrations suivantes :0,0001M; 0,001M ;0,01M; 0,02M ; 0,1M.

Chaque concentration a été ajoutée à une solution contenant du Na_2SO_4 et du Rouge Congo, après ajustement du pH à 6.

Les paramètres turbidité, conductivité, TDS, salinité et absorbance ont été mesurés avant le traitement. Ensuite, les solutions ont subi le même protocole d'électrocoagulation (0,2 A, 30 min), suivie d'une décantation pendant 24heures.

Lorsque on mesure les paramètres précédents après Électrocoagulation,

Les résultats ont démontré que la concentration correspondant 0,1M d'amidon permettait d'obtenir les meilleurs abattements en turbidité et absorbance. Cette concentration a donc été retenue comme optimale pour la combinaison électrocoagulation-floculation.

Electrodes étudiés avant et après le traitement :



Figure II. 8:électrode étudiés avant le traitement

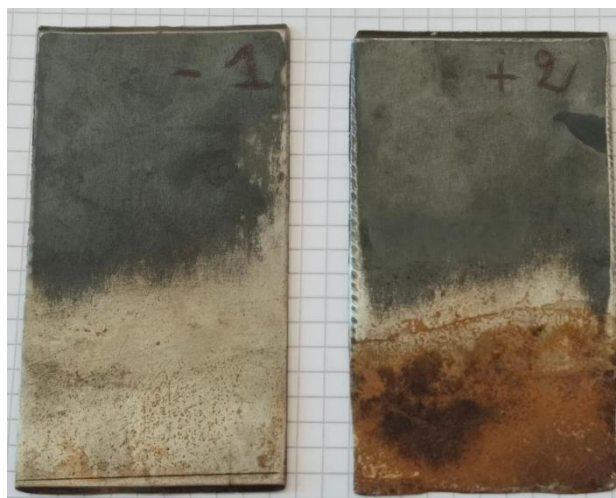


Figure II. 9 :électrode étudiés après le traitement

Paramètres géométriques :

- **Distance entre les électrodes** = 1 cm
- **Surface active des électrodes :**

Longueur de Partie immergée dans la solution = 4,3 cm

Largeur de Partie immergée dans la solution = 5 cm

Surface d'un seul côté = $5 \times 4,3 = 21,5 \text{ cm}^2$

Surface de deux faces = $21,5 \times 2 = 43 \text{ cm}^2$

Surface active totale (deux électrodes) = 86 cm^2

- **Volume de solution** : 100 mL

II.7 : Application de coagulation-floculation en présence de l'amidon et du chlorure ferrique(jar test):

II.7.1 : Préparation des solutions:

Dans cette partie d'étude, six solutions synthétiques ont été préparées dans des fioles jaugées de 500 mL, en dissolvant :

0,071 g de Na_2SO_4 , et 0,0345 g de Rouge Congo, Dans de l'eau distillée.

Chaque solution a été homogénéisée à l'aide d'un agitateur magnétique pour garantir une dissolution complète des solutés, après on ajoute le floculant et le coagulant .

Le floculant utilisé est l'amidon, ajouté à une concentration fixée à 10^{-1} M, soit une masse de 1,62 g pour chaque solution, Cette valeur a été choisie à la suite d'une étude préliminaire sur l'effet des différentes concentrations d'amidon, où 1,62 g a donné les meilleurs résultats en termes de réduction de la turbidité et de l'absorbance.

Ensuite, différentes concentrations de coagulant (FeCl_3) ont été testées, correspondant aux valeurs suivantes : 0,0001M; 0,001M; 0,01M; 0,02M; 0,1M.

Pour chaque bécher, le pH initial a été ajusté à 6 . Et préparer une échantillon témoin dans les mêmes conditions, mais sans ajout de floculant ni de coagulant, afin de servir de référence.

II.7.2 : Principe de la méthode de JAR -TEST :

La méthode Jar-test repose sur le phénomène de coagulation floculation. Une série de béchers est agitée de la même façon. La série comporte les mêmes volumes d'échantillons (eaux usées) et sont soumis à des doses croissantes du coagulant pour en déterminer la dose optimale. Les résultats sont appréciés visuellement, par mesure de turbidité, d'absorbance et volume des boues. Ce processus comprend trois phases :

* Agitation rapide : le coagulant est introduit dans l'échantillon répandu rapidement et uniformément.[9]

* Coagulation: l'ajout de coagulant à une dispersion colloïdale provoque une déstabilisation des particules par une diminution des forces qui tendent à séparer les particules. Le coagulant réagit avec les colloïdes à travers un ensemble de réactions chimiques et physico-chimique, qui conduisent à la diminution des forces répulsives.[9]

* Floculation: correspond par définition à la formation des floes qui sont des agrégats particulaires. C'est la deuxième étape de la formation des particules décantables à partir des colloïdes déstabilisés. Ceci est dû à une agitation lente, qui transforme les particules en flocons de plus grande taille pour permettre la séparation par décantation.

Les essais de Jar-test ont été réalisés sur un flocculateur à 6 agitateurs avec une vitesse de rotation individuelle entre 0 et 200 tr min.

Cet appareil permet d'agiter simultanément le liquide contenu dans une série de becs remplis chacun de 500 ml d'eau [9]

Les échantillons ont ensuite été soumis à un test de floculation à l'aide d'un jar test, selon le protocole suivant :

- Agitation rapide à 150 tours/min pendant 3 minutes, pour simuler le mélange rapide et favoriser le contact entre les particules.
- Suivie d'une agitation lente à 50 tours/min pendant 27 minutes, favorisant la formation et l'agglomération des floes.

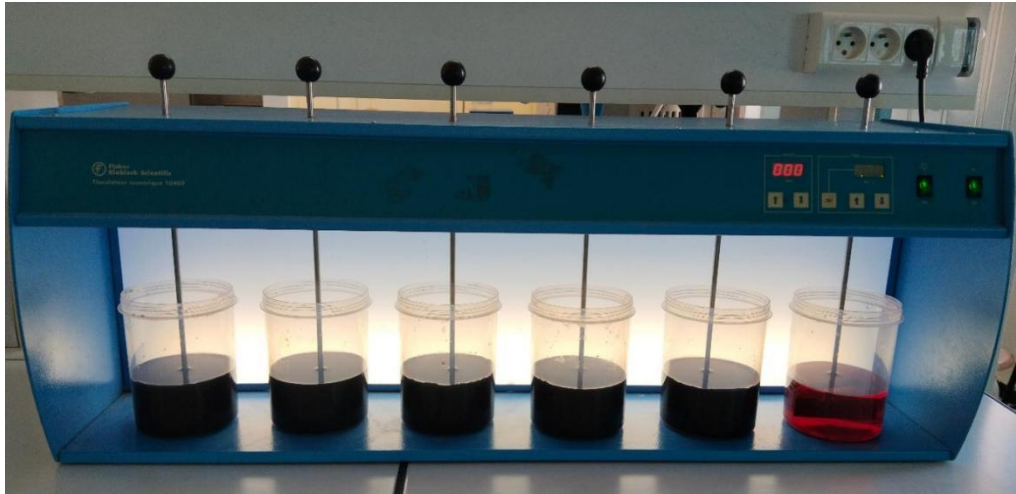


Figure II. 10:méthode de JAR -TEST

À la fin de l'agitation, les solutions ont été laissées en décantation pendant 24 heures afin de permettre la séparation des floccs formés.

- [1] M.HAJ-AMIR , Étude de l'électrocoagulation des deux polluants en système binaire, Mémoire de Master en Génie des Procédés, Université de Blida 1, 2016.
- [2] Journal des femmes.fr. Rouge Congo – Définition. Disponible sur : <https://sante-medecine.journaldesfemmes.fr/faq/42771-rouge-congo-definition> (Consulté le : 19/05/2019).
- [3] INH. Validation des méthodes d'analyse. 1996.
- [4] Y.DJAZIA, Mise au point et validation d'une méthode de dosage de la Méthylprednisolone par spectrophotométrie UV/Visible. Mémoire de Master. Université A. M. OULHADJ – Bouira, 2016.
- [5] A.SALEM A, Étude comparative entre coagulation-floculation et électrocoagulation électroflottation, Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira – Bejaïa, 2015/2016.
- [6] HOLT P.K., BARTON G.W., WARK M. et MITCHELL C.A. A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation. *Colloids and Surfaces, Physicochemical Engineering Aspects*, 2002, 211 : 233–248.
- [7] H.BENYAHYA, et Y.A. BOUKHELIF , Traitement des margines par coagulation-floculation et électrocoagulation, Mémoire de Master 2, Université Mohamed El Bachir El-Ibrahimi – Bordj Bou Arreridj, 2024.
- [8] M.TIR, Utilisation des techniques électrochimiques dans le traitement des émulsions hydrocarbures/eau, Thèse de Doctorat, Université M'hamed Bougara – Boumerdès, 2009, 178p.
- [9] R. MAALEM, Décoloration des eaux par électrocoagulation, Mémoire de Master Académique, Université Larbi Tébessi, 2016/2017.
- [10] J.Q. JIANG, GRAHAM N., ANDRÉ C., KELSALL G.R. et BRANDON N. Laboratory study of electrocoagulation-flotation for water treatment. *Water Research*, 2002, 36(16) : 4064–4078.

Chapitre III

Résultats et discussions

III.1 :Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de la dégradation de polluant coloré Rouge Congo dans des solutions aqueuses. Ce chapitre a pour but de présenter les résultats de traitement obtenus avec le procédé de l'électrocoagulation, et le procédé coagulation-floculation. L'élimination de colorants est quantifiée par le calcul du rendement(Re%) , avec la relation suivante :

$$\text{Re\%} = \frac{\text{abs}(\text{avant electrolyse}) - \text{abs}(\text{après electrolyse})}{\text{abs}(\text{avant electrolyse})} * 100$$

abs : absorbance.

Re% : Rendement d'élimination.

III.2 : Spectre d'absorption du colorant rouge Congo

Avant d'entamer l'étude de l'élimination du rouge Congo par le procédé d'électrocoagulation nous avons effectué un enregistrement d'un spectre d'absorption UV-visible caractéristique de notre colorant pour déceler son comportement spectroscopique en milieux aqueux (milieu d'étude). Le spectre obtenu entre 800 et 300 nm est présenté dans la figure suivante figure (III-1).

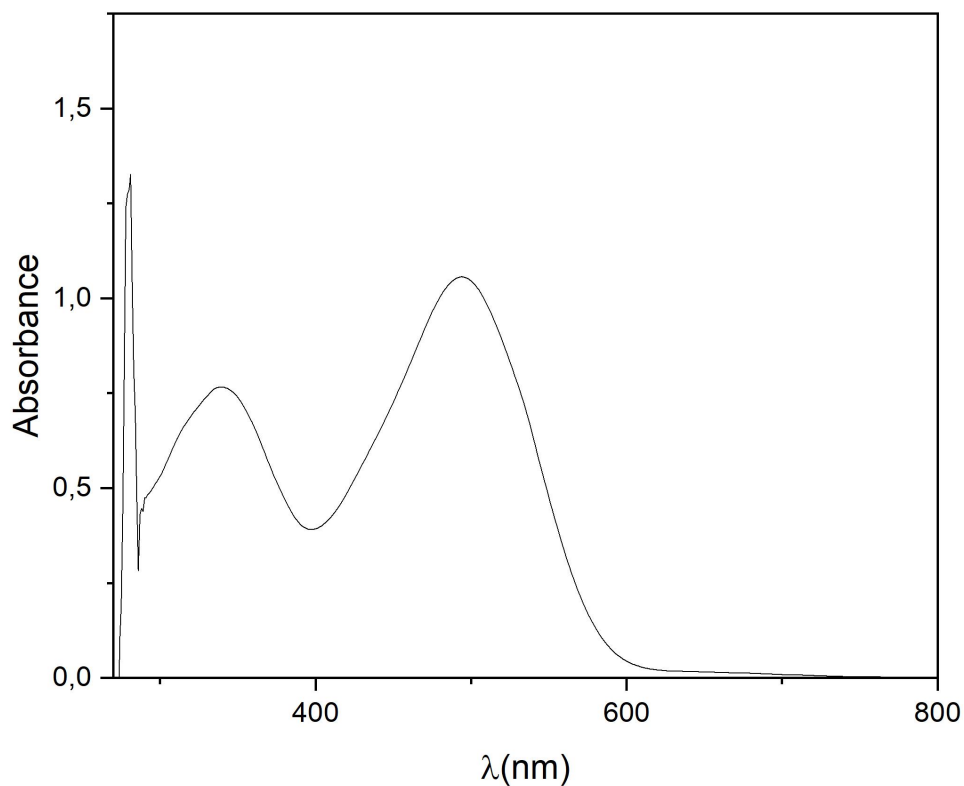


Figure III. 1. Spectre UV-Visible d'une solution de rouge Congo de concentration 10^{-4} M en milieu aqueux

En observant ce spectre on remarque la présence d'une bande principale à 490 nm. Cette bande est caractéristique des transitions $\pi \rightarrow \pi^*$ des cycles aromatiques présent dans la structure moléculaire du colorant. Une autre bande est présente à une valeur de 340 nm attribuée aux transition $n \rightarrow \pi^*$ présentes dans l'azote de la molécule.

Au cours de notre étude nous avons suivi la diminution de l'absorbance à 490 nm après le traitement par électrocoagulation et coagulation-floculation en changeant différents paramètres expérimentaux tels que le courant et le temps d'électrolyse, le pH et la concentration en flocculant.

III.2.1 Paramètres physicochimiques de la solution du rouge Congo 10^{-4} M

Les mesures des paramètres physicochimique comme la conductivité, TDS et turbidité de la solution objets d'étude ont été réalisées pour une solution de concentration 10^{-4} M . les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau III. 1.Paramètres physico-chimiques (Conductivité, Turbidité, TDS) avant électrocoagulation à différents temps

Conductivite (ms/cm)	Turbidite a (NTU)	TDS(g/l)
0,282	78,2	0,282

III.3 Étude de l'effet des paramètres expérimentaux sur le rendement de traitement par électrocoagulation

III.3.1 Effet de temps d'électrolyse

III.3.1.1 Rendement de traitement

Pour pouvoir étudier l'effet du temps d'électrolyse sur le rendement d'élimination du rouge Congo, nous avons réalisé des expériences d'électrocoagulation à un courant d'électrolyse de 0.2A d'une solution de concentration initiale de 10^{-4} M du colorant avec 0.001M de Na_2SO_4 comme sel support. Le trace suivant présente en figure III.2

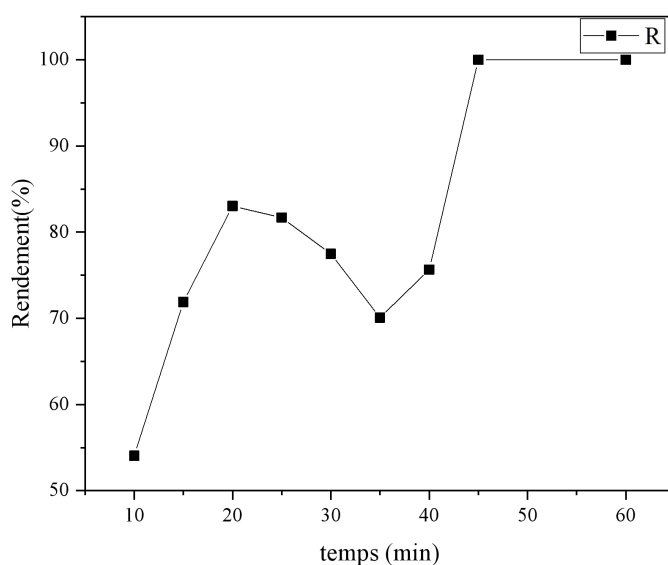


Figure III. 2: Effet du temps d'électrolyse sur le rendement d'élimination du colorant

La courbe présentée illustre l'évolution du rendement d'élimination du colorants en fonction de temps d'électrolyse, On observe une première augmentation rapide du rendement jusqu'à environ 20 minutes arrive a 83% , suivie de fluctuations, puis une nette amélioration après 45minutes, atteignant un rendement maximal proche de 100 %. Ces variations peuvent être dues à une formation instable de floes, à la redissolution partielle de produits intermédiaires ou à la saturation temporaire de la solution en coagulants. Le rendement élevé obtenu après 45 minutes indique qu'un temps de traitement

suffisant est essentiel pour une efficacité optimale du procédé d'électrocoagulation et avoir une disparition complète du colorant comme il est confirmé par la figure ci-après (figure III.3) ou on observe la disparition de la bande d'absorption à 490 nm après des temps d'électrolyse de 15, 30 et 40 min.

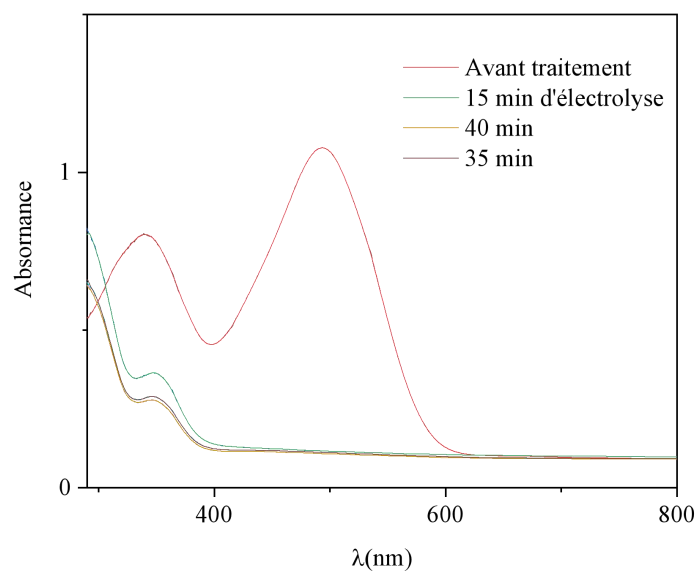


Figure III. 3: superposition des spectres de la solution du rouge Congo avant et après électrolyse pendant 15, 30 et 40min

Le résultat visuel confirmant l'efficacité de traitement d'électrocoagulation dans la dépollution de l'eau contenant le colorant rouge congo est bien illustré dans l'image suivante



Figure III. 4: effet du temps sur traitement par électrocoagulation

- **Paramètres physicochimiques**

Les paramètres physicochimiques de l'eau traités mesuré sont portés dans le tableau suivant et schématisés dans l'histogramme III.5

Tableau III. 2 Paramètres physico-chimiques (Conductivité, Turbidité, TDS) après électrocoagulation à différents temps d'électrolyse

Temps d'électrolyse	Conductivite (ms/cm)	Turbidite (NTU)	TDS (g/l)
5 min	0,325	10,4	0,322
10 min	0,283	47,2	0,282
15 min	0,346	5,84	0,343
20 min	0,275	6,14	0,276
25 min	0,266	5,36	0,265
30 min	0,31	1,75	0,31

35 min	0,277	4,47	0,277
40 min	0,28	2,33	0,28
45 min	0,263	15,7	0,263
60 min	0,299	12,6	0,298

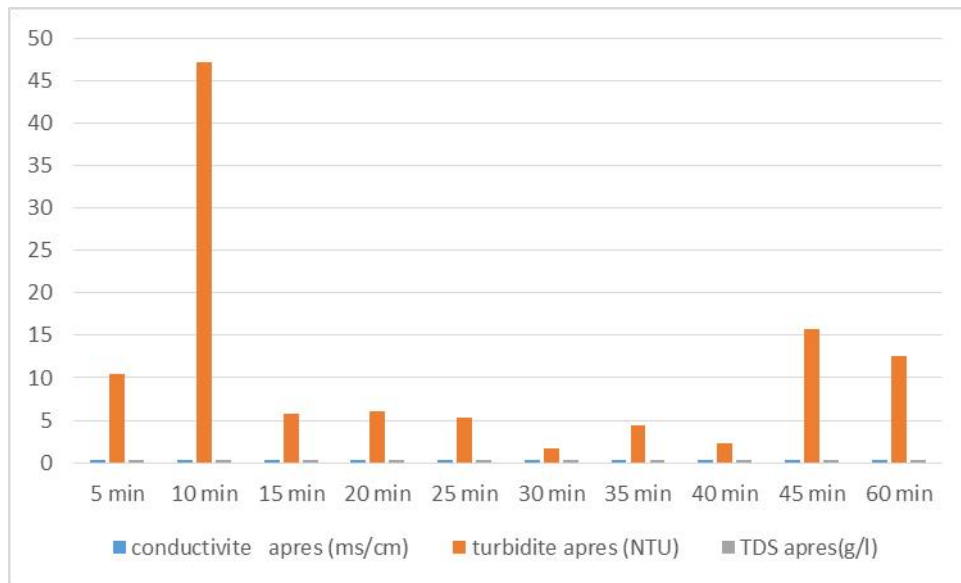


Figure III. 5: Évolution des paramètres physico-chimiques après traitement par électrocoagulation en fonction du temps

L'histogramme montre l'évolution de la conductivité, de la turbidité et des TDS de la solution traitée par électrocoagulation.

La conductivité varie de manière non linéaire, avec une baisse notable jusqu'à 45 min, reflétant la consommation d'ions.

La turbidité diminue fortement entre 15 et 30 min, atteignant un minimum à 30 min, mais remonte en fin de traitement, indiquant une possible redispersion des particules.

Les TDS présentent de légères fluctuations, traduisant un équilibre entre dissolution et précipitation.

Donc L'électrolyse est plus efficace entre 30 et 45 minutes, période où les trois paramètres sont les plus optimisés.

III.3.2 Effet de courant sur L'électrocoagulation :

L'effet du courant sur le rendement d'élimination du colorant est étudié en traitant notre solution à différentes valeurs de courant d'électrolyse imposées. La courbe suivante montre les rendements obtenus à des de courants de 0,01A ; 0,03A; 0,05A; 0,07A; 0,2A ;0,3A; 0,4 A et 0,5A.

(concentration du rouge congo 10^{-4} ,et temps d'électrolyse30min)

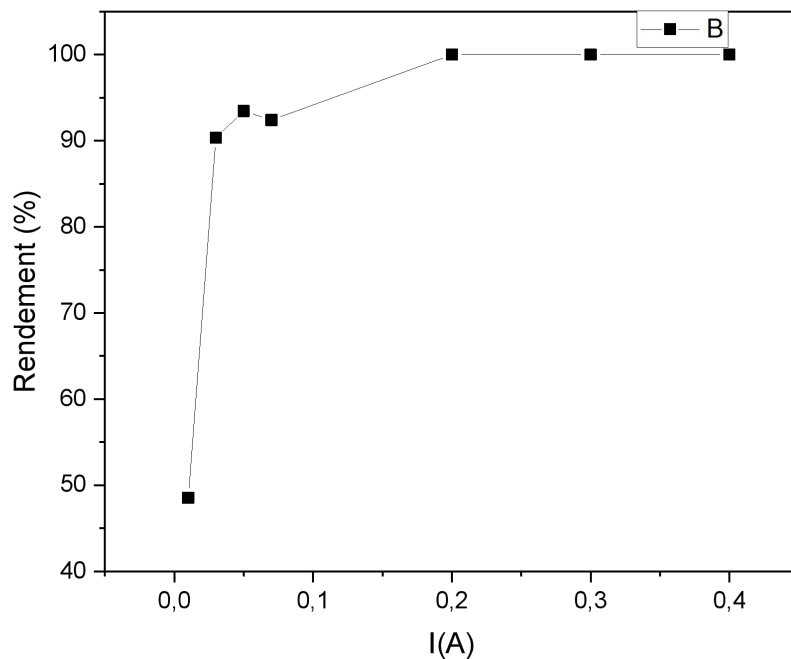


Figure III. 6: Effet du courant appliquée sur le rendement d'élimination du colorant

La courbe illustre l'effet de l'intensité du courant sur le rendement d'élimination du colorant par électrocoagulation. On observe une forte augmentation du rendement dès les faibles intensités, atteignant un maximum d'environ 100% à 0,2 A, puis une stabilisation. Cette évolution s'explique par le fait qu'un courant plus élevé favorise la dissolution anodique et la génération de coagulants (ions métalliques), améliorant ainsi la floculation des particules colorées. Toutefois, au-delà d'un certain seuil, l'augmentation du courant n'améliore plus significativement le rendement, ce qui indique la présence d'un plateau d'efficacité lié à la saturation des sites de coagulation ou à une consommation énergétique non justifiée.

- **Paramètres physicochimiques**

L'effet du courant sur les valeurs des paramètres de qualité de l'eau contenant le colorant est présenté dans le tableau suivant

Tableau III. 3: Variation des paramètres physico-chimiques (Conductivité, Turbidité, TDS) électrocoagulation après différents courant

Courant applique (A)	Conductivite (mS/cm)	Turbidite (NTU)	TDS (g/l)
0,01	0,271	20,3	0,279
0,03	0,289	16,6	0,289
0,05	0,328	12,6	0,328
0,07	0,323	9,77	0,323
0,2	0,292	2,82	0,292
0,3	0,492	2,29	0,492
0,4	0,296	21,5	0,296
0,5	0,295	7,75	0,295

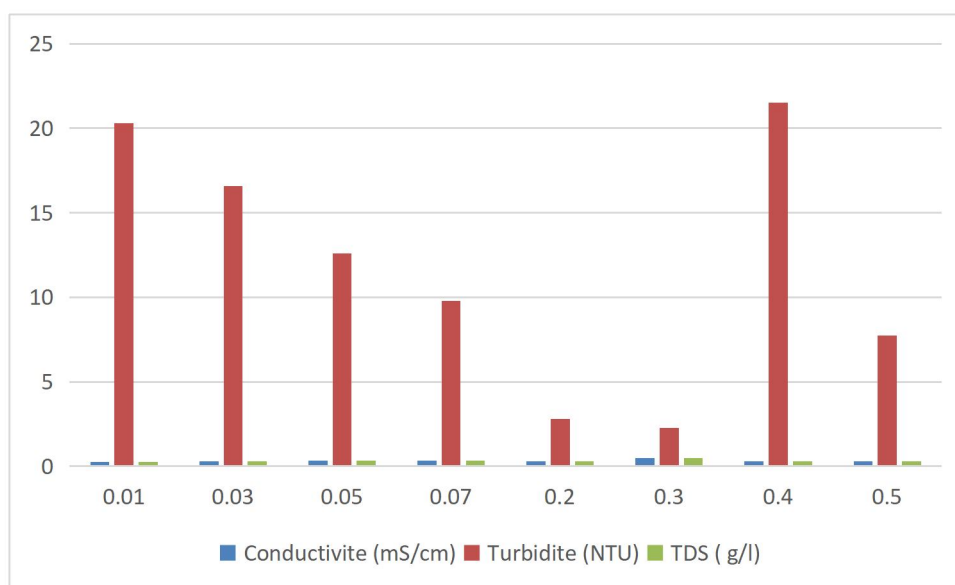


Figure III. 7: Évolution comparative des paramètres physico-chimiques après traitement par électrocoagulation en fonction du courant appliqué

Le diagramme montre l'effet de l'intensité du courant sur la turbidité, la conductivité et les TDS d'une solution colorée traitée par électrocoagulation. Une intensité croissante permet d'améliorer la réduction de la turbidité jusqu'à 0,3 A, puis une légère remontée est observée, probablement due à une re-dispersion des floes ou à une production excessive de bulles. Parallèlement, la conductivité et les TDS augmentent en raison de la libération d'ions issus de la dissolution des électrodes.

Ces résultats soulignent l'importance de choisir une intensité optimale pour garantir une efficacité maximale du traitement sans dégrader la qualité de l'eau.



Figure III. 8: effet de l'intensité du courant sur traitement par électrocoagulation

III.3.3 Effet de pH

L'effet du pH sur le rendement d'élimination du colorant est étudié en traitant notre solution à différentes valeurs de pH d'électrolyse imposées. La courbe suivante montre les rendements obtenus à des pH de 2 ; 4 ; 6 ; 8 ; 10 (concentration du rouge Congo 10^{-4} M, courant appliqué 0,2A, et temps d'électrolyse 30min).

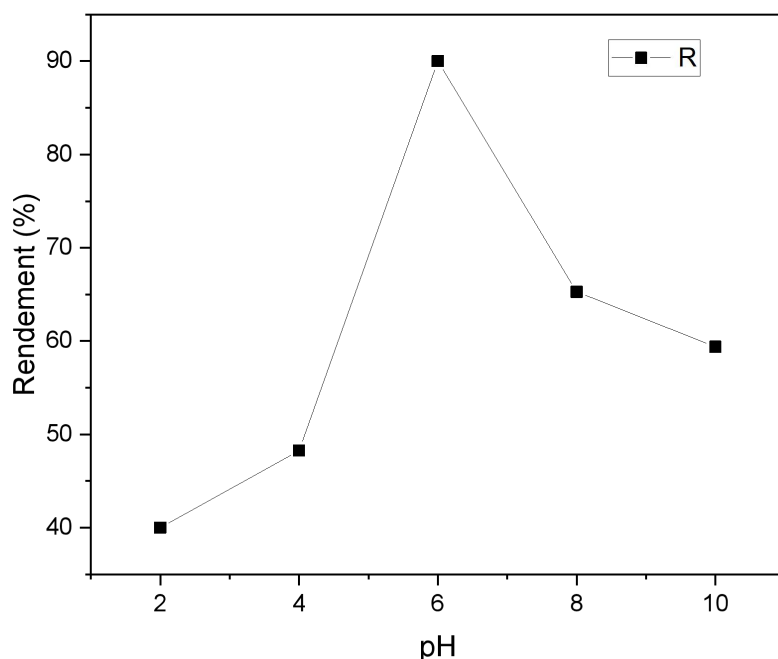


Figure III. 9: Effet du pH sur le rendement d'élimination du colorant rouge Congo

La courbe illustre l'effet de l'intensité du courant sur le rendement d'élimination du colorant par électrocoagulation. Il en ressort que le rendement maximal, estimé à environ 90%, a été obtenu à pH = 6, indiquant que le milieu légèrement acide à neutre est le plus favorable pour une efficacité optimale du traitement. Ce résultat pourrait s'expliquer par la formation accrue d'espèces hydroxydées métalliques actives (telles que $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ou $\text{Al}(\text{OH})_3$) dans cette plage de pH, ce qui facilite la capture et la floculation des molécules de colorant.

A pH acides, notamment pH= 2 et pH= 4, l'efficacité reste relativement faible (respectivement autour de 40% et 48.27%), probablement en raison de la dissolution excessive des hydroxydes formés et de la faible stabilité des floes générés, ce qui réduit la capacité de rétention du polluant. En revanche, en milieu basique (pH 8 et 10), une diminution notable du rendement est observée (respectivement autour de 65.28% à 59.39%), pouvant être liée à la formation d'espèces peu solubles ou à une modification de la charge de surface des particules coagulantes, ce qui affecte négativement le processus d'adsorption.

- **Paramètres physicochimiques**

L'effet du pH sur les valeurs des paramètres de qualité de l'eau contenant le colorant est présenté dans le tableau suivant

Tableau III. 4 :Variation des paramètres physico-chimiques (Conductivité, Turbidité, TDS) électrocoagulation avant et après différents ph

pH	Conductivité avant EC (mS/cm)	conductivité après EC (mS/cm)	Turbidité avant EC (NTU)	Turbidité après EC EC(NTU)	TDS avant EC (g/l)	TDS après EC (g/l)
2	2,3	1,657	8,35	1,29	0,995	0,73
4	0,577	0,581	12,1	11,2	0,256	0,256
6	0,389	0,387	8,85	5,83	0,171	0,169
8	0,292	0,319	7,18	5,42	0,129	0,141
10	0,322	0,32	7,59	5,23	0,143	0,142

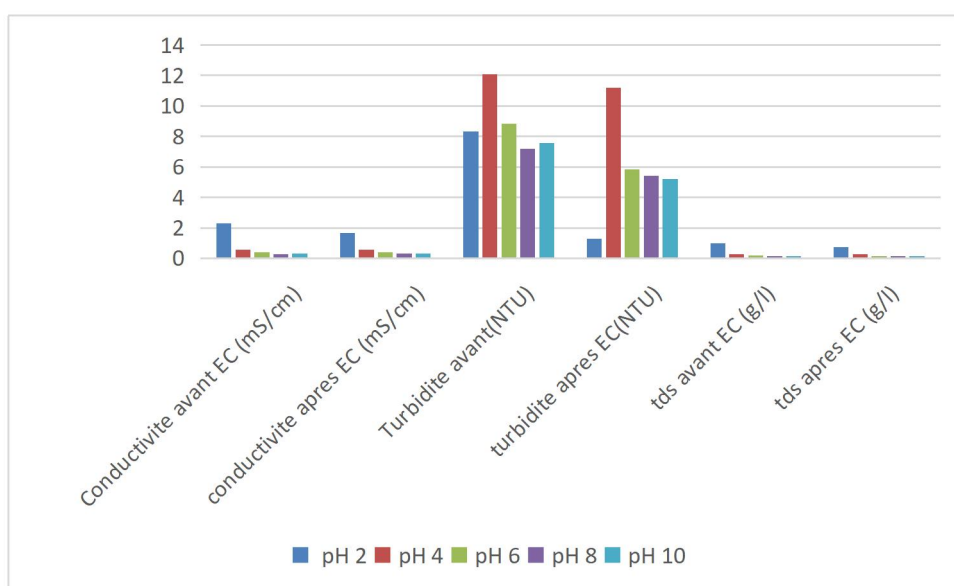


Figure III. 10:. Évolution comparative des paramètres physico-chimiques avant et après traitement par électrocoagulation en fonction du pH

L'histogramme illustre l'impact du pH sur l'efficacité de l'électrocoagulation pour le traitement d'un effluent coloré. Les meilleurs résultats sont obtenus à pH 6, avec une nette diminution de la turbidité et des TDS, indiquant une performance optimale. À pH acide (2 et 4), l'efficacité est limitée, tandis qu'en milieu basique (8 et 10), la formation de floes est moins efficace. Ainsi, le pH 6 apparaît comme la condition optimale pour maximiser l'élimination du colorant Rouge Congo.

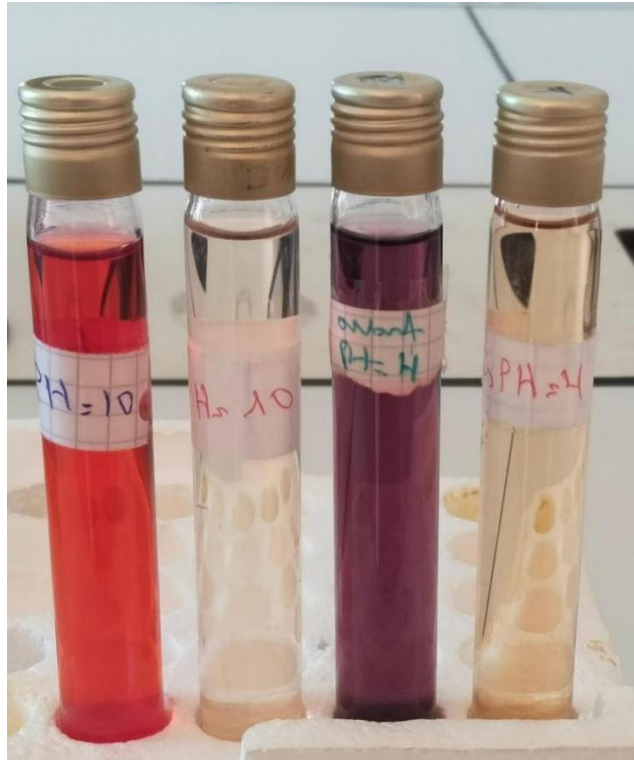


Figure III. 11: effet du pH initial sur traitement par électrocoagulation

III.3.4: Effet de l'ajout de différentes concentrations de l'amidon :

L'effet de la concentration de l'amidon sur le rendement d'élimination du colorant est étudié en traitant notre solution à différentes valeurs de concentrations de l'amidon d'électrolyse imposées. La courbe suivante montre les rendements obtenus à des concentrations de l'amidon de 0,0001M ; 0,001M ; 0,01M ; 0,02M ; 0,1M (concentration du rouge Congo 10^{-4} M ,courant appliqué 0,2A, et temps d'électrolyse 30min, pH 6)

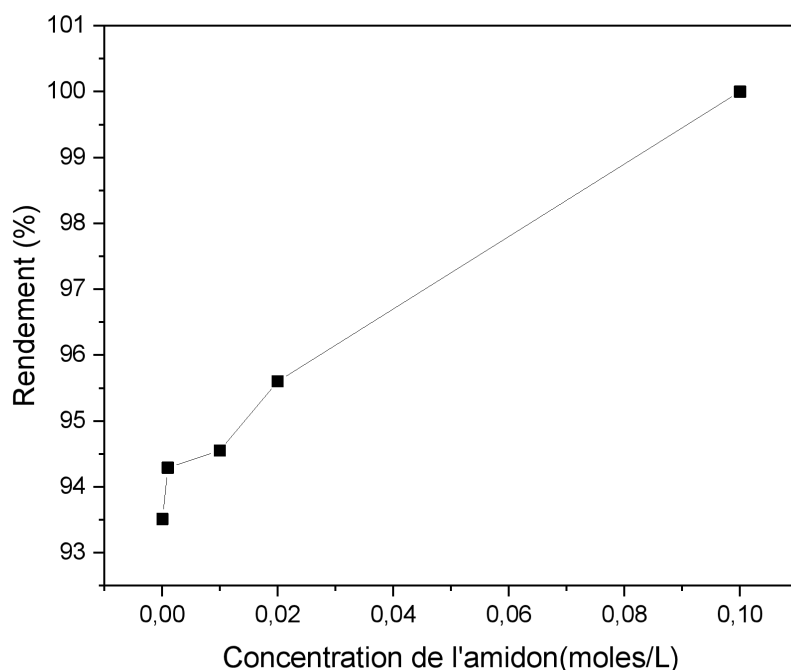


Figure III. 12: Effet de la concentration de l'amidon sur le rendement d'élimination du rouge Congo

La figure semble illustrer l'effet de la concentration d'amidon sur le rendement d'élimination du colorant Congo rouge dans un processus. Le graphique montre une relation positive entre la concentration d'amidon (en moles par litre) et le rendement d'élimination (en pourcentage).

En observant la courbe, on constate que le rendement reste relativement stable pour de faibles concentrations d'amidon, mais augmente de manière significative avec l'augmentation de la concentration. Cette tendance suggère que l'amidon pourrait améliorer l'efficacité du processus d'élimination du colorant Congo rouge à des concentrations plus élevées.

Cela pourrait être dû à la capacité de l'amidon à interagir avec les molécules du colorant, favorisant leur élimination. L'influence de l'amidon semble se stabiliser au-delà d'un certain seuil, ce qui indique probablement une saturation du mécanisme d'interaction.

- **Paramètres physicochimiques**

L'effet de la concentration de l'amidon sur les valeurs des paramètres de qualité de l'eau contenant le colorant est présenté dans le tableau suivant :

Tableau III. 5: Variation des paramètres physico-chimiques (Conductivité, Turbidité, TDS) électrocoagulation avant et après électrocoagulation à différentes concentrations d'amidon

Concentration de l'amidon	Conductivité avant EC (mS/cm)	conductivité après EC (mS/cm)	Turbidité avant EC (NTU)	Turbidité après EC(NTU)	TDS avant EC (g/l)	TDS après EC(g/l)
0,0001	0,416	0,404	7,46	6,13	0,416	0,404
0,001	0,367	0,381	5,93	5,2	0,367	0,381
0,01	0,282	0,299	14,3	11,9	0,282	0,298
0,02	0,278	0,283	6,1	3,31	0,278	0,283
0,1	0,277	0,286	37,9	7,73	0,277	0,286

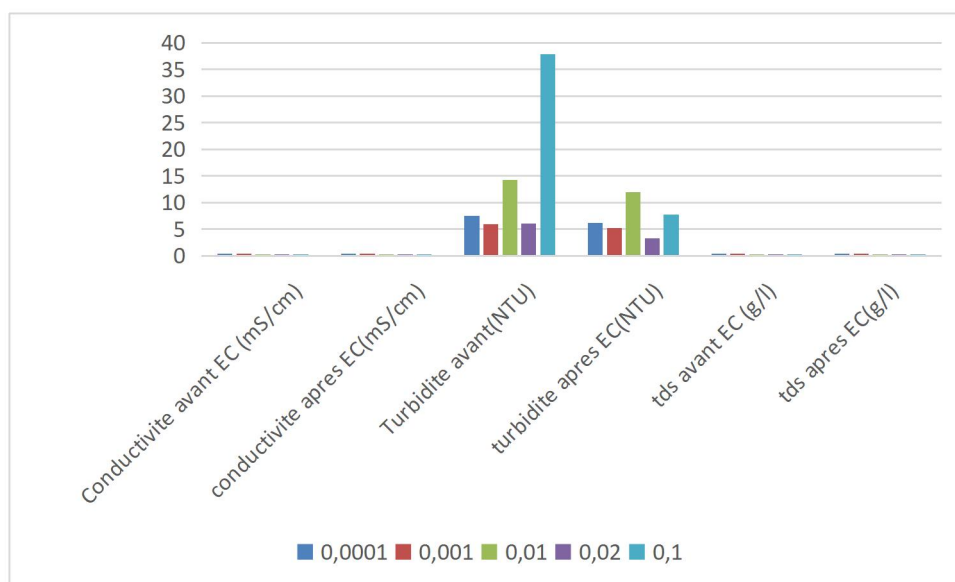


Figure III. 13: Évolution comparative des paramètres physico-chimiques avant et après traitement par électrocoagulation en fonction du concentration d'amidon

Le diagramme en barres présenté met en évidence l'influence de la concentration en amidon sur trois paramètres physico-chimiques essentiels de la solution avant et après traitement par électrocoagulation : la turbidité, la conductivité électrique et la concentration en solides dissous totaux (TDS).

L'analyse comparative entre les valeurs « avant » et « après » traitement montre une amélioration significative de la qualité de l'eau à mesure que la concentration en amidon augmente. La turbidité diminue notablement, ce qui traduit une efficacité croissante de l'amidon en tant qu'agent coagulant ou adsorbant. Ce comportement peut être attribué à la richesse de l'amidon en groupes hydroxyles

capables de former des liaisons avec les particules en suspension, favorisant ainsi leur agglomération et leur sédimentation.

Parallèlement, une baisse générale des TDS est observée après traitement, malgré la légère variation en fonction des concentrations testées. Cela indique que l'amidon contribue à la capture de certaines espèces dissoutes, soit par interactions chimiques, soit par un piégeage au sein des floes formés pendant l'électrocoagulation. Ce phénomène est renforcé par la synergie entre les effets du champ électrique et l'activité de l'amidon.

Concernant la conductivité électrique, une réduction modérée est également enregistrée après traitement, reflétant l'élimination partielle des ions libres dans la solution. Toutefois, cette diminution n'est pas toujours linéaire avec la concentration d'amidon, ce qui suggère la présence d'un seuil optimal au-delà duquel l'ajout supplémentaire de biopolymère n'apporte pas de bénéfice significatif, voire peut entraîner un effet de saturation.

En conclusion, ces résultats confirment que l'utilisation d'une concentration bien ajustée en amidon, en complément du courant électrique appliqué, permet d'optimiser les performances du traitement. Le bon choix de cette concentration est donc essentiel pour maximiser la réduction de la turbidité et des polluants dissous tout en maîtrisant les effets secondaires potentiels liés à une surcharge en matière organique.

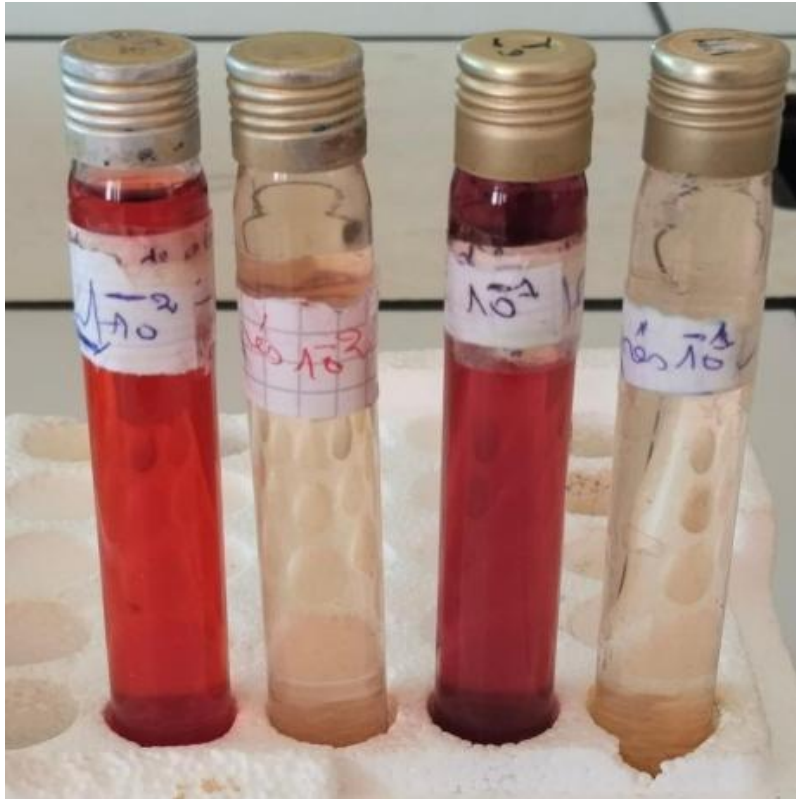


Figure III. 14: effet d'amidon sur traitement par électrocoagulation

III.4 : Traitement par coagulation-floculation

III.4.1 : Effet de concentration de chlorure ferrique (FeCl_3)

L'effet de la concentration de chlorure ferrique sur le rendement d'élimination du colorant est étudié en traitant notre solution à différentes valeurs de concentrations de chlorure ferrique d'électrolyse imposées. La courbe suivante montre les rendements obtenus à des concentrations de chlorure ferrique de $0,0001\text{M}$; $0,001\text{M}$; $0,01\text{M}$; $0,02\text{M}$; $0,1\text{M}$.

(Concentration du rouge Congo 10^{-4}M , courant appliqué $0,2\text{ A}$, et temps d'électrolyse 30 min , $\text{pH } 6$, Concentration de l'amidon $0,1\text{M}$)

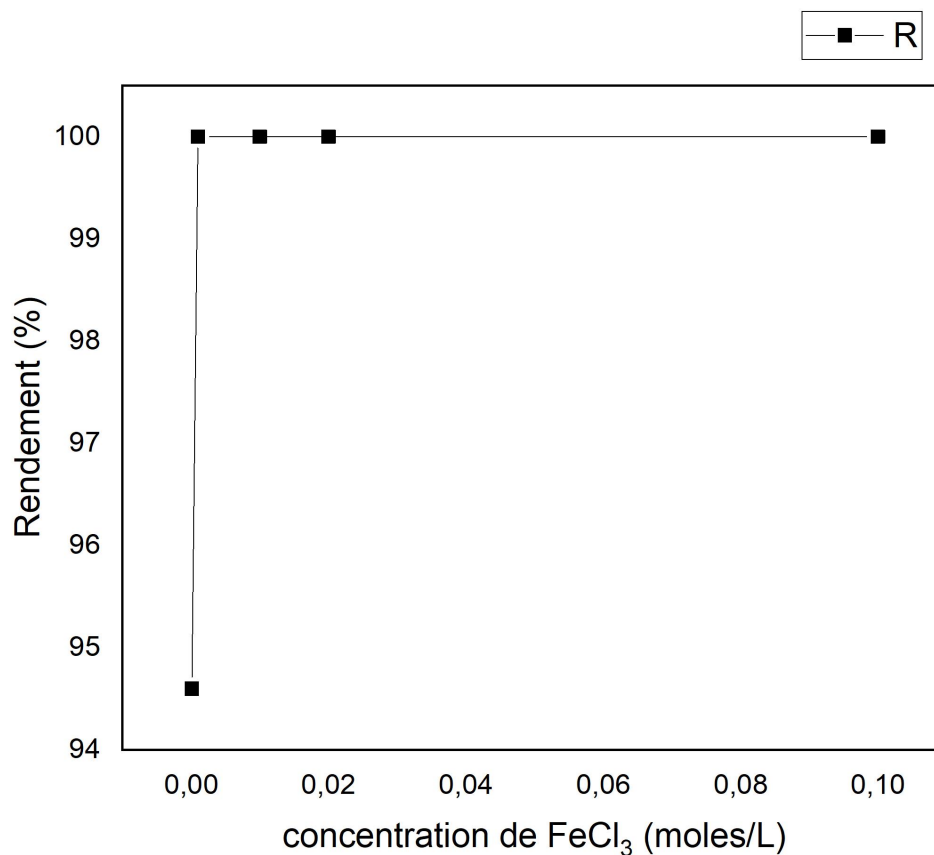


Figure III. 15: Effet de la concentration de chlorure ferrique sur le rendement d'élimination du rouge Congo

Le graphique présenté met en lumière l'influence de la concentration de chlorure ferrique (FeCl_3) sur la performance de décoloration du Rouge Congo en solution aqueuse. Les données expérimentales révèlent une relation positive entre l'augmentation de la concentration du coagulant et l'efficacité du processus d'élimination du colorant.

Plus précisément, un rendement de 94,60 % est observé à la concentration minimale de 0,0001 mol/L, ce qui reflète une activité coagulante non négligeable dès les faibles doses. Ce rendement augmente de manière marquée pour atteindre 100 % dès 0,001 mol/L, et reste constant à cette valeur pour les concentrations supérieures, soit 0,01 mol/L et 0,1 mol/L, indiquant une saturation du système en coagulant.

Cette amélioration peut s'expliquer par la montée progressive de la disponibilité des ions Fe^{3+} , qui jouent un rôle crucial dans la neutralisation des charges négatives des particules

colloïdales. Cela favorise la formation de floccs denses et facilement séparables par sédimentation. En tant que coagulant inorganique, FeCl_3 agit principalement par des mécanismes de coagulation-chargement et d'agrégation, ce qui renforce l'efficacité du traitement.

À très faibles concentrations, bien que le rendement reste relativement élevé, il demeure légèrement inférieur au rendement optimal. Cela pourrait être dû à une quantité insuffisante d'ions trivalents pour assurer une neutralisation complète. À partir de 0,001 mol/L, l'efficacité atteint un plateau, suggérant une saturation des interactions entre Fe^{3+} et les molécules de colorant.

Ainsi, les résultats indiquent que la concentration de 0,001 mol/L constitue un seuil à partir duquel une élimination complète est obtenue. Toutefois, un choix définitif de la concentration optimale nécessiterait une évaluation complémentaire prenant en compte les aspects économiques, la production de boues et l'impact environnemental global du procédé.

- **Paramètres physicochimiques**

L'effet de la concentration de chlorure ferrique (FeCl_3) sur les valeurs des paramètres de qualité de l'eau contenant le colorant est présenté dans le tableau suivant

Tableau III. 6: Paramètres physico-chimiques (Conductivité, Turbidité, TDS) à différentes concentrations de chlorure ferrique

Concentration en $\text{Fe}(\text{Cl})_3$	Conductivité (ms/cm)	Turbidité (NTU)
0,0001	0,32	3,23
0,001	0,895	8,42
0,01	9,91	24,9
0,02	6,54	36,9
0,1	25,9	34

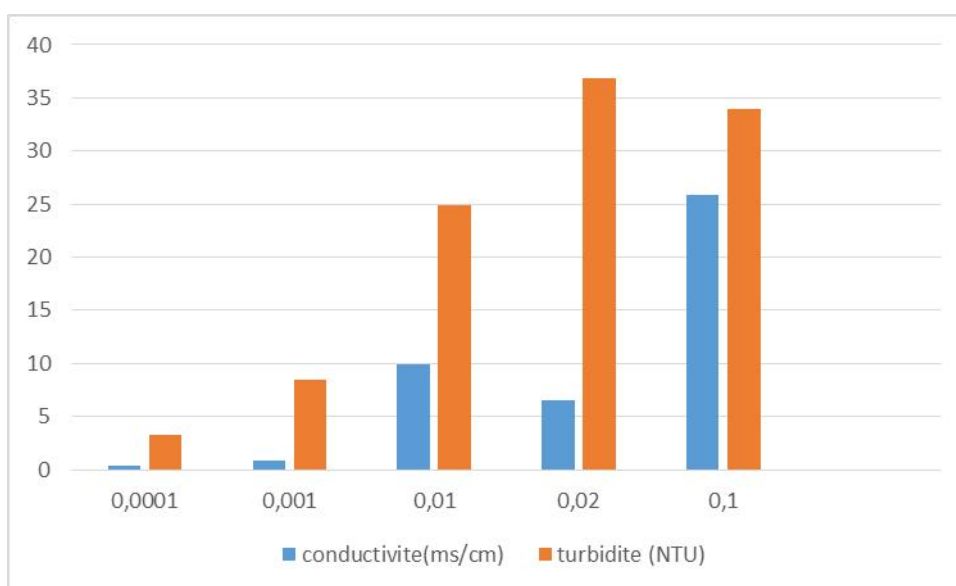


Figure III. 16: Évolution comparative des paramètres physico-chimiques après traitement par coagulation en fonction de la concentration de chlorure ferrique

Le diagramme en barres met en relief l'impact de la concentration en chlorure ferrique (FeCl₃) sur deux paramètres physico-chimiques clés de l'eau après application du traitement par Jar Test : la turbidité et la conductivité électrique.

L'analyse des données expérimentales révèle une réduction progressive et notable de la turbidité à mesure que la concentration en FeCl₃ augmente. Cette évolution témoigne de l'efficacité accrue du FeCl₃ en tant qu'agent coagulant, capable de déstabiliser les particules colloïdales en suspension. L'augmentation de la quantité d'ions Fe³⁺ dans le milieu facilite la neutralisation des charges négatives, favorisant ainsi la formation de floccs plus denses et leur séparation par décantation.

Concernant la conductivité électrique, les variations observées après traitement ne présentent pas une évolution linéaire. Cette irrégularité peut être attribuée à la nature complexe du système réactionnel. En effet, l'introduction d'ions supplémentaires via le FeCl₃ peut initialement accroître la conductivité. Toutefois, la formation de floccs et la précipitation de certains composés dissous peuvent contrebalancer cet effet en réduisant partiellement la quantité d'ions libres présents en solution.

En somme, ces résultats mettent en évidence l'importance d'un ajustement optimal de la concentration en FeCl₃ dans le cadre d'un traitement par Jar Test. Une dose bien calibrée

permet d'améliorer significativement la qualité de l'eau, notamment par la diminution de la turbidité, tout en limitant l'impact sur la conductivité. À l'inverse, un excès de réactif pourrait engendrer des effets indésirables, tant sur le plan économique qu'environnemental.

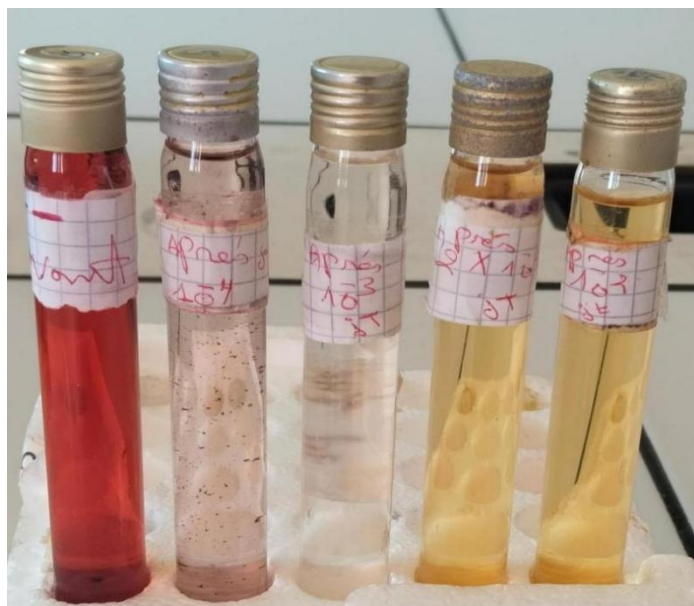


Figure III. 17: effet de procede coagulation-floculation

III.4.2 : Décantation et analyses

On remarque que les floccs ont sédimentés, et que la meilleure décantation se fait dans le bécher qui correspondant à la masse de 0,081 g.

Les analyses ont porté uniquement sur l'échantillon témoin, à deux moments : avant et après traitement. Les paramètres mesurés sont : Le pH, La turbidité, La conductivité électrique, La salinité, Les TDS, L'absorbance (à une longueur d'onde adaptée au Rouge Congo).

Conclusion générale



Conclusion générale

L'élimination des colorants dans l'eau est très importante car ces colorants sont non seulement de nature polluante ; mais peut conduire à de diverse maladies peuvent qui peuvent être mortelles.

Parmi les procédés de traitement traditionnel connus, une méthode classique est la coagulation-floculation chimique, qui utilise des produits chimiques appelés coagulants. Cependant, pour des raisons économiques et autres, on explore de nouvelles techniques comme l'électrocoagulation. Celle-ci se réalise dans un réacteur en verre avec des électrodes en fer ou en aluminium.

Le but essentiel de ce mémoire était de faire une étude sur l'influence de différents paramètres expérimentaux (courant ; le temps et la masse) sur l'élimination du Rouge Congo par deux procédés qui sont : l'électrocoagulation, et la coagulation -floculation.

L'étude expérimentale que nous avons menée, été consacrée à l'élimination du colorant textile par les deux procédés précédemment cités.

A partir des résultats et discussions présentés, nous avons pu conclure que :

- Intensité de courant optimale lors de traitement par électrocoagulation est 0,2 A
- Temps de traitement optimale lors de traitement par électrocoagulation est 30 minutes
- pH optimale lors de traitement par électrocoagulation est 6
- Concentration de flocculant optimale lors de traitement par électrocoagulation 0,1 mol / l

En effet, il est important de signaler que les procédés de la coagulation -floculation, l'électrocoagulation sont apparus comme des procédés très efficaces à la dépollution des eaux contenant des colorants azoïques tel que le Rouge Congo.

En fin en perspectives , nous envisageons d'exploiter le procédés d'électrocoagulation dans le traitement des effluents industriels réels contenant le rouge Congo et d'autres colorants de même nature.

Résumé :

Cette étude s'intéresse à l'élimination du Rouge Congo, un colorant azoïque largement utilisé dans le textile, mais difficile à dégrader et potentiellement toxique pour l'environnement et la santé. Pour le traiter, deux techniques ont été combinées. D'abord, l'électrocoagulation, qui génère des coagulants directement dans l'eau grâce à des électrodes métalliques soumises à un courant électrique, a été utilisée pour piéger les polluants. Ensuite, une coagulation-floculation a été ajoutée, avec des coagulants floculants naturels ou chimiques, pour améliorer la séparation des particules. L'influence de plusieurs paramètres (comme le pH, l'intensité du courant ou la dose de floculant) a été étudiée. Les résultats montrent une efficacité de décoloration supérieure à 90 %, confirmant que cette approche combinée est bien adaptée au traitement des eaux usées colorées.

Abstract:

This study focuses on the removal of Congo Red, an azo dye widely used in the textile industry, but difficult to degrade and potentially toxic to both the environment and human health. To address this, two treatment techniques were combined. First, electrocoagulation was used, a process that generates coagulants directly in water through metal electrodes subjected to an electric current, which helps trap pollutants. Then, a coagulation-flocculation step was added, using either natural or chemical flocculants to enhance the separation of particles. The influence of various parameters such as pH, current intensity, and flocculant dosage was investigated. The results show a decolorization efficiency greater than 90%, confirming that this combined approach is well-suited for treating colored wastewater.

ملخص:

تهتم هذه الدراسة بإزالة صبغة الكونغو الأحمر، وهي صبغة آزوية تُستخدم على نطاق واسع في صناعة النسيج، لكنها صعبة التحلل وقد تكون سامة للبيئة والصحة. لمعالجة هذه المشكلة، تم الجمع بين تقنيتين. أولاً، استُخدمت المعالجة الكهربائية بالتخثير، وهي تقنية تُنتج مواد مخثرة مباشرة في الماء عبر أقطاب معدنية يمر من خلالها تيار كهربائي، مما يساعد على احتجاز الملوثات. بعد ذلك، أُضيفت تقنية التخثير-التلبد باستخدام مواد ملبدة طبيعية أو كيميائية لتحسين فصل الجزيئات. تم دراسة تأثير عدة عوامل مثل درجة الحموضة (pH)، شدة التيار، وجرعة المادة الملبدة.

أظهرت النتائج فعالية إزالة اللون بنسبة تفوق 90%، مما يؤكد أن هذا النهج المزدوج مناسب لمعالجة مياه الصرف الملونة.