

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ SALAH BOUBNIDER, CONSTANTINE 03
FACULTÉ DE GÉNIE DES PROCÉDÉS
DÉPARTEMENT DE GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT

N° d'ordre :... ..

Série :... ..

Mémoire

PRESENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER
EN GÉNIE DES PROCÉDÉS
OPTION : GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT

Elimination d'un colorant Rouge Congo par Electro-Fenton

Présenté par :

GUELIB Nesrine

KLOUL Amel

ZERARA Housna

Dirigé par :

CHIKHI Mustapha

Grade : Professeur

Année universitaire

2022-2023

Session : juin

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale 1

Chapitre I : Revue Bibliographique

Partie 1 : Généralités sur la pollution des eaux usées

I.1.1. Introduction..... 4

I.1.2. Pollution de l'eau 4

I.1.3. Origine de la pollution de l'eau..... 4

I.1.4. Les différents paramètres de la pollution de l'eau : « physique-chimique » 5

Partie 2 : Généralités sur les colorants et leurs traitements

I.2.1. Introduction..... 8

I.2.2. Définition d'un colorant 8

I.2.4. Classification des colorants 9

I.2.4.1. Classification technologique ou (appellation usuelle) 9

I.2.4.2. Classification technique 9

I.2.4.3. Classification chimique 10

I.2.4.4. Classification tinctoriale..... 12

I.2.5. Utilisation des colorants 14

I.2.6. Impact des colorants sur l'environnement et la santé 14

I.2.7. Colorant étudié : Le Rouge Congo..... 16

I.2.7.1. Définition de Rouge Congo..... 16

I.2.7.2. Propriétés acido-basiques 16

I.2.7.3. Utilisation 17

I.2.7.4. Toxicité 17

I.2.8. Procédés de traitement des effluents colorés 17

I.2.8.1. Procédés physiques 18

I.2.8.2. Procédés physico-chimiques 19

I.2.8.3. Procédés chimiques..... 19

I.2.8.4. Procédés biologiques..... 20

I.2.9. Comparaison des procédés classiques de traitement..... 22

Chapitre II: Les procédés d'oxydations avancées

I.1. Introduction.....	26
II.2. Procédés d'oxydation avancés (POA).....	26
II.2.1. Principe	26
II.2.2. Définition des procédés d'oxydation (POA).....	27
II.3. Les radicaux hydroxyles.....	28
II.3.1. Description et caractéristiques de •OH	29
II.3.2. Réactivité des radicaux hydroxyles	29
II.4. Les principaux procédés d'oxydation avancée	30
II.4.1. L'ozonation (O ₃).....	30
II.4.2. La peroxonation (H ₂ O ₂ /O ₃).....	31
II.4.3. Le procédé Fenton (Fe ²⁺ / H ₂ O ₂).....	31
II.4.4. La photolyse de l'ozone (O ₃ /UV).....	32
II.4.5. La photolyse de H ₂ O ₂ (H ₂ O ₂ /UV)	33
II.4.6. La photocatalyse homogène ou procédé photo-Fenton (système H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ /UV)	33
II.4.7. La photocatalyse hétérogène	34
II.4.8. Le Procédé Electro-Fenton (électrochimie indirecte).....	35
II.4.8.1. Principe de fonctionnement du procédé Electro-Fenton	36
II.4.8.2. Différents paramètres influençant le procédé Electro-Fenton (EF).....	37
II.4.8.3. Avantages et inconvénients du procédé Electro-Fenton	38
II.4.8.4. Quelques travaux réalisés sur l'électro-Fenton.....	39

Chapitre III: Matériels et méthodes

III.1. Introduction	43
III.2. Produits et matériels.....	43
III.2.1. Produits	43
III.2.2. Matériels utilisées.....	45
III.2.3. Petit matériel	45
III.3. Le Montage et procédure expérimentale du procédé Electro-Fenton.....	45
III.4. La méthode d'analyse	47
III.4.1. Le spectroscopie UV-Visible	47
III.4.2. Le principe de la technique	47
III.4.3. La loi de Beer-Lambert.....	48
III.5. Méthodologie.....	49
III.5.1. Détermination de λ _{max}	49

III.6. Préparation de la solution mère et les solutions filles.....	50
III.6.1. Préparation avec un pH libre (neutre)	50
III.6.2. Préparation avec un pH Acide	51
III.7. Etablissement de la courbe d'étalonnage	53
III.8. Rendement d'élimination	54
III.9. Rejet réel	55
III.9.1. Rendement d'élimination du rejet réel	55

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction.....	57
IV.2. Influence de quelques paramètres sur l'élimination de RC	57
IV.2.1. Effet du pH	57
IV.2.2. Effet de l'intensité du courant	60
IV.2.3. Effet de la concentration du catalyseur	61
IV.2.4. Effet de l'agitation	63
IV.2.5. Effet de la masse du NaCl	65
IV.3. Traitement d'un effluent réel de textiles.....	67
IV.4. Modélisation par plan d'expérience	68
IV.4.1. Plans factoriels complets	68
IV.4.1.1. Réponse expérimentale et facteur étudiés.....	69
IV.4.1.2. Analyse des effets principaux et des interactions.....	71
IV.4.2. Les plans composites centrés.....	72
IV.4.2.1. Domaine expérimental étudié	73
IV.4.2.2. Analyse statistiques des résultats expérimentaux.....	75
IV.4.2.3. Détermination des valeurs optimales.....	77
IV.4.2.4. Représentation graphique.....	78
Conclusion générale	83
Référence bibliographique	
Résumé	

Liste des tableaux

Chapitre I : Revue Bibliographique

Tableau I.1: Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante	9
Tableau I.2: Classification chimique des colorants	10
Tableau I.3: Classification tinctoriale des colorants	12
Tableau I.4: Les propriétés physicochimiques du Rouge Congo	16
Tableau I.5: Comparaison des procédés classiques de traitement des eaux	22

Chapitre II : Les procédés d'oxydations avancées

Tableau II.1 : Potentiels standard redox de quelques oxydants utilisés en milieu aqueux.....	27
Tableau II.2 : Principaux procédés d'oxydation avancés	28

Chapitre III : Matériels et méthodes

Tableau III.1: Caractéristique des produits chimiques utilisés	44
Tableau III.2: la préparation des solutions fille avec un pH libre	51
Tableau III.3: la préparation des solutions fille avec un pH acide	52
Tableau III.4: caractéristiques de rejet réel.....	55

Chapitre IV : Résultats et discussions

Tableau IV.1 : Conditions optimales obtenues par le procédé de traitement du colorant RC par électro-Fenton.....	66
Tableau IV.2 : Les résultats obtenus avec l'application des conditions optimales ..	67
Tableau IV.3 : Résultats avant et après traitement par EF d'un effluent réel de Textiles	67
Tableau IV.4: Facteurs et domaine d'étude du plan factoriel	70
Tableau IV.5: Matrice codées et réelles d'un plan d'expériences 2^3 à 15 min	70
Tableau IV.6: Facteurs étudiés et domaines de variation du plan de centre composite	74

Tableau IV.7: Résultats expérimentaux à 15 min	74
Tableau IV.8: Coefficients du modèle en termes de variable codées	75
Tableau IV.9: Coefficients du modèle en termes de variable non codées	75
Tableau IV.10: Résultats de l'analyse de la variance (ANOVA)	76

Liste des figures

Chapitre I : Etudes Bibliographiques

Figure I.1: Représentation schématique des effets des effluents de l'industrie textile l'environnement	15
Figure I.2: Les différentes méthodes de traitement des colorants.....	18
Figure I.3: Illustration graphique des procédés aérobies et anaérobies	22

Chapitre II : Les procédés d'oxydations avancées

Figure II.1 : Photo-excitation d'un semi-conducteur.....	35
Figure II.2: Schéma représentatif du mécanisme réactionnel du procédé EF	36

Chapitre III : Matériels et méthodes

Figure III.1: Le colorant Rouge Congo	44
Figure III.2 : Réactifs chimiques utilisées (A) : le catalyseur ($\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$), (B) : l'électrolyte (NaCl)	44
Figure III.3 : Electrodes utilisées : (A) Feutre de carbone (cathode), (B) Plaquette en platine (anode).....	44
Figure III.4: Schéma du dispositif expérimental	46
Figure III.5: Le spectromètre UV-Visible.....	47
Figure III.6: Faisceau lumineux	48
Figure III.7: variation de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde pour le Rouge Congo (pH libre)	49
Figure III.8: Variation de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde pour RC (pH acide)	49
Figure III.9: La solution mère avec un pH libre	50
Figure III.10: Les solutions filles avec un pH libre.....	51
Figure III.11: La solution mère avec un pH acide	52
Figure III.12: les solutions filles avec un pH acide	52
Figure III.13: Couleur de la solution mère à certaines valeurs du pH.....	53

Figure III.14: La courbe d'étalonnage (PH libre).....	53
Figure III.15: La courbe d'étalonnage (pH acide).....	54
Figure III.16: Rejet Industriel.....	55

Chapitre IV : Résultats et discussions

Figure IV.1 : Evolution du rendement de dégradation du RC (%) en fonction du temps (min) pour différentes valeurs du pH.....	58
Figure IV.2 : Evolution du Rendement de dégradation du RC après 20 min de traitement pour différentes valeurs du pH.....	59
Figure IV.3 : Evolution du Rendement de dégradation du RC (%) en fonction du temps(min) pour différentes valeurs de l'intensité du courant.....	60
Figure IV.4 : Evolution du Rendement de dégradation après 15 min de traitement pour différentes valeurs de l'intensité du courant.....	61
Figure IV.5 : Evolution du Rendement de dégradation du RC (%) en fonction du temps (min) pour différentes valeurs de la concentration de FeSO ₄	62
Figure IV.6 : Evolution du Rendement de dégradation du RC (%) après 20 min de traitement pour différentes valeurs de la concentration de FeSO ₄	62
Figure IV.7 : Evolution du Rendement de dégradation du RC (%) en fonction du temps (min) pour différentes agitations.....	63
Figure IV.8 : Evolution du Rendement de dégradation du RC (%) après 20 min de traitement pour différentes Agitations.....	64
Figure IV.9 : Evolution du Rendement de dégradation du RC (%) en fonction du temps (min) pour des masses différentes de NaCl.....	65
Figure IV.10 : Evolution du Rendement de dégradation du RC (%) après 20 min de traitement pour des masses différentes NaCl.....	66
Figure IV.11: Représentation du plan factoriel 2 ³	68

Figure IV.12 : Graphiques les effets et les interactions des différents facteurs étudiés à 15min	72
Figure IV.13: Plan composite centré pour 3 facteurs	73
Figure IV.14: Optimisation par la fonction désirabilité	77
Figure IV.15 : Contours et surfaces de réponse de la variation du rendement à 15 minutes en fonction du pH et la concentration du catalyseur	79
Figure IV.16 : Contours et surfaces de réponse de la variation du rendement à 15 minutes en fonction de pH et l'intensité du courant	89
Figure IV.17: Contours et surfaces de réponse de la variation du rendement à 15 minutes en fonction de l'intensité du courant et la concentration du catalyseur	80

Résumé

La présente étude est portée sur l'optimisation de la dégradation du colorant Rouge Congo par un procédé d'oxydation avancée appelé Electro-Fenton ; des électrodes ont été utilisées dans ce travail à savoir le feutre de carbone comme cathode, et la plaque de platine comme anode. Les paramètres suivis au cours des expériences de traitement par procédé (EF) sont : le pH, l'agitation, l'intensité du courant, la concentration du catalyseur (le sulfate ferreux hydraté), la salinité (teneur en NaCl).

Un taux de dégradation maximal de 100% est obtenu après 15 min de traitement pour les conditions expérimentales optimales suivants : pH = 2 ; I = 0.50 A ; [FeSO₄] = 30 mg/L ; [NaCl] = 4 mg/L.

En se basant sur ces conditions optimales, un effluent réel provient d'une entreprise d'industrie textile de la wilaya de l'Est Algérien par la même technique (EF), les résultats obtenus ont montré une réduction acceptable de la matière organique contenue dans l'eau (COT), alors que la turbidité a été efficacement réduite. La modélisation par plan d'expérience utilisant un plan factoriel et un plan centre composite pour l'évaluation des effets des conditions optimales sur le taux de décoloration, le taux d'élimination de la turbidité (pour l'EF), la concentration et la turbidité, montre que l'ensemble des résultats obtenus expérimentalement sont en accord avec les résultats calculés par les modèles mathématiques

Mots clés :

Electro-Fenton, Rouge Congo, Décoloration, plan d'expérience, plan factoriel complet, rejet réel, dégradation.

ABSTRACT

The present study focuses on optimizing the degradation of the Congo Red dye using an advanced oxidation process called Electro-Fenton. Electrodes used in this work included a carbon felt cathode and a platinum plate anode. The following parameters were monitored during the Electro-Fenton (EF) treatment experiments: pH, agitation, current intensity, catalyst concentration (hydrated ferrous sulfate), and salinity (NaCl content). A maximum degradation rate of 100% was achieved after 15 minutes of treatment under the following optimal experimental conditions: pH = 2, I = 0.50 A, [FeSO₄] = 30 mg/L, [NaCl] = 4 mg/L.

Based on these optimal conditions, a real effluent from a textile industry company in the eastern province of Algeria was treated using the same Electro-Fenton (EF) technique. The results obtained showed an acceptable reduction in the organic matter content (COT) in the water, while turbidity was effectively reduced.

Key words:

Electro-Fenton, Congo Red, turbidity, decolorization, real effluent, treatment

المخلص

تركز هذه الدراسة على تحسين تحلل صبغة الكونغو الحمراء باستخدام عملية الأكسدة المتقدمة المسماة إلكتروليتون. تم استخدام الكربون المحبوك كقطب سالب ولوحة البلاتين كقطب موجب في هذا العمل. تمت مراقبة المعلومات التالية أثناء تجارب المعالجة بواسطة عملية الفينتون الكهروكيميائية (EF): درجة الحموضة (pH) والتحرير وشدة التيار وتركيز المحفز (كبريتات الحديد المائي) والملوحة (نسبة الناتجة الملحية).

تم الحصول على معدل تحلل أقصى يبلغ 100% بعد 15 دقيقة من المعالجة تحت الظروف التجريبية المثلى التالية: pH = 2 ؛ I = 0,50 أمبير ؛ [FeSO₄] = 30 ملغ/لتر ؛ [NaCl] = 4 ملغ/لتر.

بناءً على هذه الظروف المثلى، تمت معالجة مياه مصب صناعة نسيج حقيقي من شركة في ولاية الشرق الجزائرية باستخدام نفس تقنية الفينتون الكهروكيميائية EF. أظهرت النتائج المحصلة تقليلًا مقبولًا في محتوى المواد العضوية COT في الماء، في حين تم تقليل العكارة بشكل فعال. أظهر التصميم التجريبي باستخدام تصميم مركب للتجارب وتصميم مركز مركب تقييم تأثير الظروف المثلى على معدل تبييض اللون ومعدل إزالة العكارة (للفينتون الكهروكيميائي) والتركيز والعكارة، أن جميع النتائج التجريبية تتفق مع النتائج المحسوبة بواسطة النماذج الرياضية.

الكلمات المفتاحية:

إلكتروليتون، صبغة الكونغو الحمراء، العكارة، المعالجة، مواد عضوية، تصميم مركب.