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

UNIVERSITE FARHAT ABBAS_SETIF1

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE CHIMIE

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de **Master en chimie**

Spécialité : **chimie analytique et analyse**

Etude de traitement par photocatalyse d'une eau usée chargée en colorant organique synthétique

Présenté par :

Boudjelida Kenza

Manser Imene

Jury de soutenance :

Président	ISAADI Saifi	Prof	UFAS1
Examinateur	BRAHAM CHAOUCH Lynda	MAA	UFAS1
Encadreur	BERCHI Abderrahmane	MCA	UFAS1

2025 /2026

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale……...1

Chapitre I : Etude bibliographique

I. Généralités 3
I.1 La pollution 3
I.2 types de pollution 3
I.2.1 La pollution organique 3
I.2.2 La pollution inorganique 3
I.3 Pollution des eaux 4
I.3.1 La pollution des eaux par les colorants 4
I.4 Historique des colorants 4
I.4.1 Définition des colorants 5
I.4.2 types des colorants 5
I.5 Classification des colorants 5
I.5.1 Colorant organique et non organique 5
I.5.2 Classification selon la nature chimique 6
I.5.3 Classification tinctoriale 9
I.6 Application des colorants 10
I.7 Toxicité des colorants 11
I.8 Impact environnemental des colorants 11
I.9 Méthodes des traitements des eaux usée 11
I.9.1 Traitement biologique 12
I.9.2 Traitement physique 12

I.9.3 Traitement chimique 12
I.10 La photocatalyse hétérogènes 14
I.10.1 contexte historique de la photocatalyse 14
I.10.2 Définition de photocatalyse 14
I.10.3 les propriétés du catalyseur 15
I.10.4 Principe de la photocatalyse hétérogène 15
I.10.5 Mécanisme de la photocatalyse hétérogène 17
I.10.6 Éléments influençant la photocatalyse hétérogène 18
I.10.7 Avantages de la photocatalyse 19
I.10.8 Application de la photocatalyse hétérogène 19
I.11 L'oxyde de zinc 20
I.11.1 Propriétés générales de ZnO 20
chapitre II: partie experimontal
II.1 Matériaux et dispositifs expérimentaux 25
II.1.1 Produits chimiques utilisés 25
II.1.2 Préparation des substrats 26
II.1.3 Élaboration électrochimique de ZnO pur et dopé (Al : F) par chronoampérométrie .. 26
II.1.4 Appareillage et montage électrochimique 28
II.2. Techniques électrochimiques pour l'élaboration et la caractérisation des Dépôts en couches mince 29
II.2.1. Voltamètre cyclique 29
II.2.2. Chronoampérométrie 29
II.2.3. Spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE) 31
II.3. Techniques de caractérisation structurale et optique 31
II.3.1. Caractérisation cristallographique par diffraction des rayons X 31
II.3. 2 Spectrophotométrie UV-visible (UV-Vis) 32
II.4. Demande chimique en oxygène (DCO) 33
II.5. Le polluant étudié : 34
II.5.1. Préparation de la solution mère de rouge Congo (RC) 35
II.5.2. Etablissement de la courbe d'étalonnage 36
Chapitre III : Résultat et discussion
III.1. Résultats de l'électrodéposition de l'oxyde de zinc pur est dopé en $\mathbf{Al+3}$ et en $\mathbf{F-}$ sur ITO 38

III.2. Caractérisation structurale par DRX de l'oxyde de zinc pur et dopé en $\mathbf{Al^{3+}}$ et en $\mathbf{F^-}$électrodéposé sur ITO 40
III. 3 Caractérisation optique par spectrophotométrie UV-Vis de l'oxyde de zinc pur et dopé en $\mathbf{Al^{3+}}$ et en $\mathbf{F^-}$ électrodéposé sur ITO..... 43
III. 4 Caractérisation par par spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE)..... 46
III.5 Évaluation de l'activité photocatalytique des dépôts de l'oxyde de zinc pur et dopé en Al^{3+} et en F^- dans la dégradation de colorant Rouge Congo 48
III.5.1. Détermination du point de charge nulle (pHpzc) du ZnO 48
III.6 Cinétique de la décoloration..... 52
III.7 Résultats de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) 54
Conclusion générale 56
Références bibliographiques 58
Résume

Résumer

Ce travail porte sur la préparation et la caractérisation de couches minces de ZnO pur et co-dopé (Al, F), déposées par électrodéposition sur des substrats ITO, ainsi que sur l'évaluation de leur activité en photocatalyse hétérogène pour la dégradation du colorant anionique Rouge Congo en milieu aqueux. Les matériaux élaborés ont été étudiés par diffraction des rayons X (DRX), spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE), étude électrochimique par voltamétrie cyclique et chronoampérométrie, ainsi que par spectroscopie d'absorption UV-visible. Les résultats de photocatalyse sous irradiation UV-visible révèlent une dégradation de 85% du Rouge Congo après 240 minutes d'irradiation. Les résultats obtenus montrent que le ZnO pur et co-dopé (Al, F) présentent des efficacités photocatalytiques comparables, confirmant ainsi le potentiel de ces matériaux pour le traitement des eaux usées de l'industrie textile.

Mots-clés : Photocatalyse hétérogène, électrodéposition, spectroscopie d'impédance électrochimique, traitement des eaux usées textiles, dopage de l'oxyde de zinc, dégradation photocatalytique

Abstract:

This work focuses on the preparation and characterization of pure and (Al, F) co-doped ZnO thin films, electrodeposited onto ITO substrates, and the evaluation of their activity in heterogeneous photocatalysis for the degradation of the anionic dye Congo Red in aqueous medium. The prepared materials were studied by X-ray diffraction (XRD), electrochemical impedance spectroscopy (EIS), electrochemical characterization by cyclic voltammetry and chronoamperometry, as well as UV-visible absorption spectroscopy. Photocatalytic results under UV-visible irradiation reveal a degradation of 85% of Congo Red after 240 minutes of irradiation. The obtained results show that pure and (Al, F) co-doped ZnO exhibit comparable photocatalytic efficiencies, confirming the potential of these materials for the treatment of textile industrial wastewater.

Keywords: Heterogeneous photocatalysis, electrodeposition, electrochemical impedance spectroscopy, textile wastewater treatment, zinc oxide doping, photocatalytic degradation

ملخص

يتمحور هذا العمل حول تحضير وتوصيف أغشية رقيقة من ZnOالنقي والمطعّم بـ (Al, F)، مترسّبة كهروكيميائياً على ركائز ITO، وتقييم نشاطها في التحفيز الضوئي غير المتجانس لتحليل الصبغة الأيونية السالبة روج كونغو في الوسط المائي .تمت دراسة المواد المحضّرة بواسطة حيود الأشعة السينية (DRX)، وطيفية الأمبيدانس الكهروكيميائي (SIE)، والدراسة الكهروكيميائية بالفولطامترية الحلقية والكرونوأمبيرومترية، فضلاً عن طيفية الامتصاص في المجال فوق البنفسجي والمرئي .(UV-Vis)كشفت نتائج التحفيز الضوئي تحت إشعاع UV-visibleعن تحلل يبلغ 85%من صبغة روج كونغو بعد 240دقيقة من الإشعاع .تُظهر النتائج المتحصّل عليها أن ZnOالنقي والمطعّم بـ (Al, F)يمتلكان كفاءة تحفيزية ضوئية متقاربة، مما يؤكد إمكانية استخدام هذه المواد في معالجة مياه الصرف الصناعي النسيجي.

الكلمات المفتاحية :التحفيز الضوئي غير المتجانس، الترسيب الكهربائي، طيفية الأمبيدانس الكهروكيميائي، معالجة مياه الصرف الصناعي النسيجي، تطعيم أكسيد الزنك، التحلل الضوئي التحفيزي