



Université de Constantine 3 Salah Boubnider
Faculté de Génie des Procédés
Département de Génie de l'Environnement

N° de série :

N° d'ordre :

**TRAITEMENT DES EAUX COLOREES PAR COUPLAGE DES PROCEDES
MEMBRANAIRES AUX TECHNIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET/OU
ELECTROCHIMIQUES**

THESE

Présentée pour l'Obtention du Diplôme de
Doctorat en Génie des Procédés
Option : Génie de l'Environnement

Par

Walid SERAGHNI

Devant le Jury Composé de :

Sihem ARRIS	Présidente	Professeur	Université Constantine 3
Fouzia BALASKA	Directrice	MCA	Université Constantine 3
Nadjet BOULEKROUN	Examinatrice	MCA	Université Constantine 3
Kerroum DERBAL	Examineur	Professeur	ENPC- Constantine
Sihem BELAIDI	Examinatrice	Professeur	Université Constantine 1
Zoheir NEDJAR	Examineur	Professeur	Université de Khenchela

Année Universitaire
2025-2026

Table de matière

REMERCIEMENTS.....	v
Table de matière	i
Liste des figures.....	v
Liste des tableaux	ix
Liste des abréviations.....	x
Résumé.....	xii
Abstract.....	xiii
ملخص.....	xiv
Introduction Générale	1
Chapitre I : Revue bibliographique.....	5
Partie A : Généralités sur les colorants.....	5
1.A.1 Introduction.....	5
1.A.2 Aperçu général de la pollution des ressources en eau.....	5
1.A.3 Impact des activités industrielles sur la qualité de l'eau	6
1.A.4 Toxicité des effluents de l'industrie textile	6
1.A.5 Les colorants synthétiques dans l'industrie textile.....	7
1.A.6 Classification des colorants textiles.....	8
1.A.6.1 Classification chimique	8
1.A.6.2 Classification tinctoriale.....	9
1.A.7 Toxicité des colorants	10
1.A.8 Situation en Algérie	10
Partie B : Procédés de traitement des colorants textiles	12
1.B.1 Introduction	12
1.B.2 Les procédés de traitement des colorants textiles	12
1.B.3 Les procédés physico-chimiques	12
1.B.3.1 Les procédés membranaires.....	12
1.B.3.2 La coagulation-floculation.....	18
1.B.3.3 L'électrocoagulation	22
1.B.4 Procédés chimiques.....	24
1.B.4.2 La photocatalyse	26
1.B.5 Procédés biologiques.....	28
Chapitre II : Matériels et méthodes.....	30

2.4.4 Procédé d'électrocoagulation, peroxydation électrochimique et la nanofiltration	43
2.4.5 Système de traitement MBR et eMBR.....	45
2.5 Analyse des protéines	47
2.6 Analyse des glucides	47
2.7 Performance d'élimination des polluants	48
2.8 Flux de perméat.....	48
2.9 Évaluation énergétique, consommation des électrodes et estimation des coûts.....	48
Partie A : Traitement du colorant Rouge Terasil par biocoagulation et microfiltration : étude expérimentale et modélisation	51
3.A.1 Introduction.....	51
3.A.2 Caractérisation de la membrane céramique	51
3.A.3 Optimisation de la biocoagulation.....	52
3.A.3.1 Détermination de la dose optimale du coagulant.....	52
3.A.3.2 Effet du pH de la solution de colorant synthétique	53
3.A.4 Caractérisation.....	54
3.A.5 Traitement d'une solution de colorant synthétique par microfiltration et biocoagulation-microfiltration	55
3.A.5.1 Variation de la concentration du colorant et de la turbidité par microfiltration	55
3.A.5.2 Variation du flux de perméat	56
3.A.6 Etude comparative	58
3.A.6.1 Microfiltration et biocoagulation-microfiltration	58
3.A.6.2 Simulation et résultats expérimentaux	59
3.A.7 Conclusion	60
Partie B : Synthèse verte d'un photocatalyseur à base de ZnO à partir d'extrait de feuilles d'acorn pour l'élimination efficace des colorants anioniques et cationiques	62
3.B.1 Introduction	62
3.B.2 Étude de caractérisation de l'AL-ZnO.....	63
3.B.3 Étude de l'adsorption de l'AL-ZnO	68
3.B.4 Performances photocatalytiques de l'AL-ZnO pour l'élimination des colorants	69
3.B.4.1 Effet du pH sur l'efficacité de AL-ZnO	69
3.B.4.2 Effet de la quantité d'AL-ZnO sur l'efficacité d'élimination.....	72
3.B.4.3 Influence de la concentration initiale en colorant sur l'efficacité photocatalytique de AL-ZnO	74
3.B.4.4 Spectres d'absorbance de l'efficacité d'élimination des colorants en fonction du temps, cinétique et cycle de réutilisation dans des conditions optimales	76
3.B.4.5 Comparaison entre des photocatalyseurs contenant du ZnO synthétisé à partir d'extraits végétaux et de l'AL-ZnO pour l'élimination des colorants anioniques et cationiques.....	79
3.B.5 Conclusion.....	81

Partie C : Élimination photocatalytique des colorants à l'aide de nanoparticules de ZnO synthétisées à partir d'extrait de cactus	83
3.C.1 Introduction	83
3.C.2 Caractérisation des nanoparticules de ZnO	83
3.C.2.1 Analyses MEB et EDX.....	83
3.C.2.2 Analyse du potentiel Zêta	84
3.C.3 Effet du pH de la solution sur l'activité photocatalytique des ZnO-NPs	85
3.C.4 Effet de la concentration de ZnO-NPs sur la performance photocatalytique	87
3.C.5 Influence de la concentration initiale du colorant sur l'efficacité photocatalytique des ZnO-NPs	88
3.C.6 Réutilisation des NP de ZnO dans différents types de colorants	89
3.C.7 Comparaison des études de dégradation photo-catalytique utilisant différents matériaux ZnO	90
3.C.8 Conclusion.....	92
Partie D : Traitement du colorant Vert Cibacron par électrocoagulation à l'aide de chute d'aluminium comme électrodes	94
3.D.1 Introduction.....	94
3.D.2 Étude paramétrique.....	94
3.D.2.1 Effet de l'intensité de courant.....	94
3.D.2.2 Effet de la conductivité de la solution.....	96
3.D.2.3 Effet de la concentration initiale du colorant.....	97
3.D.2.4 Effet de la distance inter-électrodes	98
3.D.2.5 Effet la surface immergée des électrodes	100
3.D.2.6 Effet du pH initial de la solution.....	101
3.D.3 Étude de caractérisation des électrodes.....	102
3.D.4 Étude de caractérisation du colorant	104
3.D.5 Étude de la consommation énergétique	105
3.D.5.1 Effet de l'intensité du courant	106
3.D.5.2 Effet de la conductivité de la solution.....	106
3.D.5.3 Effet de la concentration initiale du colorant.....	107
3.D.5.4 Effet de la distance inter-électrodes	108
3.D.5.5 Effet du pH initial de la solution.....	109
3.D.6 Conclusion	110
Partie E : Traitement d'une usée textile par électrocoagulation, peroxydation électrochimique et procédé hybride peroxydation électrochimique-nanofiltration : Simulation du procédé électrochimique	113
3.E.1 Introduction	113
3.E.2 Optimisation du procédé d'électrocoagulation	114
3.E.2.1 Effet de la densité de courant	114

3.E.2.2 Effet du pH de la solution	116
3.E.3 Optimisation du procédé de peroxydation électrochimique	119
3.E.3.1 Effet du pH de la solution	119
3.E.3.2 Effet de la concentration en H ₂ O ₂	122
3.E.3.3 Analyse par microscope électronique à balayage (MEB) et par rayons X à dispersion d'énergie (EDX)	124
3.E.4 Optimisation du système hybride peroxydation électrochimique-nanofiltration.....	127
3.E.5 Étude de simulation.....	128
3.E.6 Évaluation économique de la peroxydation électrochimique et de la nanofiltration	131
3.E.7 Conclusion.....	133
Partie F : Traitement d'une eau usée textile par membrane-bioréacteur et électro-membrane-bioréacteur	134
3.F.1 Introduction.....	134
3.F.2 Optimisation du procédé bioréacteur à membrane (MBR).....	134
3.F.2.1 Variation temporelle du flux du perméat	134
3.F.2.2 Efficacité d'élimination des colorants et la demande chimique en oxygène (DCO)	136
3.F.2.3 Étude de la variation du pH.....	138
3.F.2.4 Étude de la variation de la conductivité.....	139
3.F.2.5 Suivi de la variation des EPS et SMP	140
3.F.3 Optimisation du procédé électro-bioréacteur à membrane (eMBR)	142
3.F.3.1 Variation du flux du perméat en fonction du temps	142
3.F.3.2 Efficacité d'élimination des colorants et la demande chimique en oxygène (DCO)	144
3.F.3.3 Étude de la variation du pH.....	147
3.F.3.4 Étude de la variation de la conductivité.....	148
3.F.3.5 Suivi de la variation des EPS et SMP	150
3.F.4 Conclusion	153
Conclusion générale.....	155
Références	154



Nom et prénom : Walid SERAGHNI

Titre : Traitement des eaux colorées par couplage des procédés membranaires aux techniques physico-chimiques et/ou électrochimiques

Thèse en vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat en Génie des Procédés, Option : Génie de l'Environnement

Résumé

Cette thèse s'est consacrée à l'étude et à l'évaluation de procédés physico-chimiques et avancés pour l'élimination des colorants synthétiques, largement utilisés dans l'industrie textile et difficile à traiter par les méthodes conventionnelles. Différentes approches unitaires et hybrides ont été explorées, incluant les procédés membranaires, la bio-coagulation, la photocatalyse, l'électrocoagulation, la peroxydation électrochimique, ainsi que les bioréacteurs à membrane et électro-bioréacteurs (MBR et eMBR).

Les résultats obtenus ont confirmé l'intérêt des combinaisons hybrides. Ainsi, la microfiltration associée à une bio-coagulation basée sur des extraits de feuilles de chêne (Acorn leaves) a montré une efficacité remarquable pour l'élimination du colorant Rouge Terasil, avec des performances confirmées par modélisation numérique. La photocatalyse a, quant à elle, mis en évidence le potentiel des nanoparticules de ZnO obtenues par synthèse verte à partir de deux sources végétales renouvelables : les feuilles de chêne (Acorn leaves) et le cactus. Ces catalyseurs écologiques ont permis d'atteindre des taux de dégradation supérieurs à 90 % pour différents colorants modèles, anioniques (Rouge réactif 180, Remazol Brilliant Bleu R) et cationiques (Rohdamine B, Rouge basique), tout en conservant une bonne stabilité après plusieurs cycles d'utilisation, ouvrant ainsi la voie à des applications durables. L'électrocoagulation utilisant chutes de menuiseries d'aluminium comme électrodes a également révélé un rendement élevé pour l'élimination du Vert Cibacron, tout en maintenant une consommation énergétique acceptable, renforçant ainsi la faisabilité du procédé à l'échelle industrielle.

Contrairement à ces traitements réalisés sur solutions synthétiques, certains procédés ont été évalués directement sur des effluents textiles réels. La peroxydation électrochimique, seule ou couplée à la nanofiltration, a permis d'obtenir une décoloration quasi totale et une réduction significative de la charge organique (près de 90 % de la DCO), des résultats validés par simulation numérique sous COMSOL Multiphysics. De même, la comparaison entre le bioréacteur à membrane classique (MBR) et sa version électrifiée (eMBR) a mis en évidence la supériorité du couplage électrochimie-biologie. L'eMBR s'est distingué par des temps de traitement plus courts et une meilleure réduction de la charge organique, confirmant l'intérêt de cette intégration pour le traitement d'effluents complexes.

Dans l'ensemble, ces travaux mettent en lumière le potentiel considérable des procédés avancés et hybrides pour répondre aux défis environnementaux liés aux effluents textiles. L'originalité de cette recherche réside notamment dans l'intégration de coagulants et de catalyseurs d'origine naturelle, ainsi que dans l'évaluation de procédés innovants sur des rejets réels. Ces résultats ouvrent des perspectives prometteuses pour le développement de solutions à la fois efficaces, durables et respectueuses de l'environnement dans le traitement des eaux usées industrielles.

Mots clés : Rejet textile, filtration membranaire, biocoagulation, électrocoagulation, peroxydation électrochimique, photocatalyse, bioréacteur, simulation

Directrice de thèse : Fouzia BALASKA, Université Constantine 3 Salah Boubnider

Année universitaire 2024–2025