

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



UNIVERSITÉ SALAH BOUBNIDER, CONSTANTINE 3
FACULTÉ DE GÉNIE DES PROCÉDÉS
DÉPARTEMENT GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT

N° d'ordre :

Série :

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de master

En génie des procédés

Option : Génie des procédés de l'environnement

**Étude expérimentale et modélisation par plan d'expérience de
l'élimination du bleu de méthylène par Electro-fenton**

Présenté par :

BOUMEZOUGH Yasser

Dirigé par :

Pr : CHIKHI Mustapha

Grade : Professeur

Année universitaire

2019-2020

Session : Septembre

TABLE DES MATIÈRES

LISTES DES FIGURES :	I
LISTES DES TABLEAUX :	V
ABRÉVIATION	VI
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I-1. LA POLLUTION DES EAUX ; UN DEFI COLOSSAL	3
I-1-1. Introduction	3
I-1-2. Définition	3
I-1-3. Les paramètres indicateurs d'une pollution des eaux	3
I-1-4. Les principaux polluants des eaux, leurs sources et leurs effets	4
I-1-5. Les secteurs et industries produisant une pollution des eaux	5
I-2. LES COLORANTS ET LEURS IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT	7
I-2-1. Définition	7
I-2-2. Nomenclature	8
I-2-3. Utilisation et application industrielle	8
I-2-4. Classification des colorants	8
I-2-4-1. Classification technique	8
I-2-4-2. Classification tinctoriale	9
I-2-5. Les colorants et l'environnement	9
I-2-5-1. Toxicité des colorants	9
I-2-5-2. Réglementation et cadre législatif	9
I-2-6. Le colorant étudié	10
I-2-6-1. Choix du bleu de méthylène	10
I-2-6-2. Description du bleu de méthylène	10
I-2-6-3. Propriétés physico-chimiques du Bleu de méthylène	10
I-2-6-4. Utilisation du Bleu de méthylène	12
I-2-6-5. Toxicité du bleu de méthylène	12

CHAPITRE II : LE PROCÉDÉ ÉLECTRO-FENTON

II-1. LES PROCÉDES D'OXYDATIONS AVANCÉES	13
---	-----------

II-1-1. Définition	13
II-1-2. Les radicaux hydroxyles	13
II-1-2-1. Critères de choix	13
II-1-2-2. Génération et production des radicaux hydroxyles	14
II-1-2-3. Réactivité des radicaux hydroxyles	14
II-1-3. Classification des procédés d'oxydations avancées.....	15
II-1-4. Principaux procédés d'oxydations avancées.....	16
II-1-4-1. L'ozonation.....	16
II-1-4-2. Peroxonation (H_2O_2/O_3)	16
II-1-4-3. Procédé Fenton (Fe^{2+}/H_2O_2)	17
II-1-4-4. Les POA par UV.....	17
II-2. LE PROCEDE ELECTRO-FENTON.....	18
II-2-1. Principe de fonctionnement du procédé Electro-Fenton.....	18
II-2-2. Différents paramètres influençant le procédé Electro-Fenton	19
II-2-2-1. La concentration initiale du colorant	19
II-2-2-2. Potentiel Hydrogène	19
II-2-2-3. La concentration de l'électrolyte	19
II-2-2-4. La température	20
II-2-2-5. La concentration du catalyseur	20
II-2-2-6. L'intensité du courant.....	20
II-2-2-7. La distance entre les électrodes	20
II-2-3. Les avantages et les inconvénients du procédé Electro-Fenton.....	20
II-2-4. Procédés innovants à base de l'Electro-Fenton.....	21
II-2-4-1. Le procédé Bio-Electro-Fenton	21
II-2-4-2. Le procédé Electro-Fenton Hétérogène	22
II-2-4-3. Le procédé Electro-Fenton Bipolaire.....	23
II-2-5. Quelques travaux réalisés sur l'électro-fenton.....	24

CHAPITRE III : LES PLANS D'EXPERIENCES UNE APPROCHE MULTI OBJECTIVES

III-1. INTRODUCTION	29
III-2. GENERALITES SUR LES PLANS D'EXPERIENCES.....	30
III-2-1. Historique	30
III-2-2. Définition.....	30

III-2-3. Contexte d'utilisation	30
III-2-4. Vocabulaire et notions de base	31
III-2-4-1. Les Facteurs.....	31
III-2-4-2. Le domaine et le niveau	31
III-2-4-3. L'espace expérimental.....	32
III-2-4-4. La formule de codage	32
III-2-4-5. La Réponse	33
III-2-4-6. Notion de surface de réponse	33
III-2-4-7. La matrice d'expériences	33
III-2-4-8. Le modèle	34
III-2-4-9. Les interactions	34
III-3. LES PRINCIPAUX TYPES DE PLANS D'EXPERIENCES	34
III-4. OBJECTIFS DES PLANS D'EXPERIENCES	35
III-5. LE PLAN BOX-BEHNKEN.....	35
III-5-1. Introduction	35
III-5-2. Présentation du plan BOX-BEHNKEN.....	35
III-5-3. Avantage du modèle de BOX-BEHNKEN	37
III-5-4. Démarches d'applications du plan Box-Behnken.....	37
III-6. ANALYSE ET TRAITEMENT DES RESULTATS	37
III-6-1. Evaluation de la qualité du modèle.....	37
III-6-1-1. Evaluation des Coefficients R^2 et R^2_{Adj}	37
III-6-1-2. Analyse de la variance.....	38
III-6-2. Evaluation du coefficient de probabilité.....	38
III-6-3. Diagramme de Pareto	39
III-6-4. Logiciels spécialisés	39

CHAPITRE IV : MATÉRIELS ET MÉTHODES

IV-1. INTRODUCTION.....	41
IV-2. MATERIEL ET PRODUITS	41
IV-2-1. Produits.....	41
IV-2-2. Matériel	42
IV-3. MONTAGE ET PROCEDURE EXPERIMENTALE DU PROCEDE ELECTRO-FENTON.....	44
IV-4. PREPARATION DES SOLUTIONS	45
IV-4-1. Présentation du bleu de méthylène	45

IV-4-2. Préparation de la solution colorée	45
IV-5. METHODE D'ANALYSE	45
IV-5-1. Spectroscopie UV-visible.....	45
IV-5-1-1. Principe de fonctionnement.....	46
IV-5-1-2. Choix de la longueur d'onde	46
IV-5-1-3. La loi de Beer Lambert	47
IV-5-2. Détermination de la courbe d'étalonnage.....	47
IV-6. ÉTUDE PAR PLANS D'EXPERIENCES	49

CHAPITRE V : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

V-1. INTRODUCTION	50
V-2. RESULTATS EXPERIMENTAUX	50
V-2-1. Influence de la concentration initiale du BM.....	50
V-2-2. Influence de la concentration de l'électrolyte.....	53
V-2-3. Influence de la concentration du catalyseur.....	55
V-2-4. Influence du pH	58
V-2-5. Influence de l'intensité du courant	61
V-3. ANALYSES PAR PLAN D'EXPERIENCE :	64
V-3-1. Caractéristiques du plan d'expérience :	64
V-3-1-1. Choix des facteurs d'études :	64
V-3-1-2. Réponses étudiées :	65
V-3-1-3. Matrice des expériences :	66
V-3-1-4. Résultats des expériences :	67
V-3-2. Modélisation du rendement :	68
V-3-3. Analyse des effets principaux et des interactions	72
V-3-3-1. A un temps de réaction court (1-10 minutes) :	72
V-3-3-2. A un temps de réaction moyen (20-30 minutes) :	74
V-3-3-3. A un temps de réaction lent (60-120 minutes) :	76
V-3-4. Evolution des effets principaux :	79
V-3-5. Evolution des interactions :	81
V-3-6. Optimisation par les surfaces de réponses :	83
V-3-6-1. Tracés des contours et des surfaces de réponses :	83
V-3-6-2. Analyses des optimums :	91
V-3-6-3. Estimation des erreurs :	92

V-3-7. Optimisation énergétique :.....	95
V-3-7-1. Analyse des paramètres influençant l'EEC :.....	95
V-3-7-2. Surface de réponse et contours de l'EEC :.....	99
V-3-7-3. Recherche d'un optimum économique :.....	100
V-3-7-4. Estimation de l'erreur de l'optimum économique :.....	101
V-3-8. Variation des optimums :.....	103
V-4. ESTIMATION DES COUTS :.....	104
CONCLUSION.....	107
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	109
ANNEXE.....	117
RÉSUMÉ.....	124

RÉSUMÉ

L'objectif principal de cette étude est l'élimination d'un colorant « Bleu de méthylène » par le procédé Electro-Fenton qui est un procédé d'oxydation avancée assisté par voie électro-chimique, le but est la décoloration de la solution et la diminution des effets nocifs du colorant. Les paramètres suivis au cours de cette étude sont : la concentration initiale du colorant, la concentration de l'électrolyte support, la concentration du catalyseur, le pH et l'intensité du courant.

Dans cette étude nous avons utilisé une cathode en feutre de carbone et une anode en platine sur le procédé Electro-Fenton fonctionnant en mode batch et l'étude a été effectuée par un plan d'expérience Box-Behnken, les réponses étudiées sont : le rendement à différents intervalles de temps et l'énergie électrique consommée, l'analyse des deux réponses après 2 heures de réaction nous a permis de trouver un optimum économique pour chaque paramètre étudié, cet optimum tend à minimiser la consommation énergétique et augmente le rendement à des valeurs maximales. Les résultats expérimentaux ont montré aussi que la fiabilité et l'efficacité du procédé dans l'élimination des colorants et à des temps de réaction relativement court, en effet la réalisation des expériences à montrer la disparition de 98% après seulement 30 minutes de réaction et un rendement qui avoisine les 99,75% à 2 heures de la réaction, le procédé Electro-fenton s'est avéré très efficace pour l'élimination de la pollution des eaux due aux colorants et se caractérise par une simple mise en œuvre et des coûts d'investissement très faible.

Mot clés :

Electro-fenton, Procédés d'oxydation avancées, Box Behnken, Plan de surface de réponse.