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 Professionnel**

Spécialité : **chimie analytique et analyse**

THEME

Evaluation analytique de l'efficacité de divers procédés d'oxydation avancée en milieu aqueux pour la dégradation d'un polluant organique

Présenté par : **BOUREFREF ASMA**

MAHDAOUI CHAIMA

Jury de soutenance :

Président : **AGGOUN DJOUHRA**	**Pr**	**Université Ferhat Abbas Sétif-1**
Examinateur : **FOURA GHANIA**	**MCB**	**Université Ferhat Abbas Sétif-1**
Encadreur : **AROUI LYNDA**	**MCA**	**Université Ferhat Abbas Sétif-1**

2025/2026

Sommaire

Remerciements i
Dédicace ii
Liste des figures iii
Liste des Tableaux v
Abréviation iv
Introduction générale 1
Chapitre I: Etude bibliographique 3
I-1. Introduction 3
I-2. Les colorants textiles 3
I.2.1. Généralités 3
I-2.2. Classification des colorants 5
I-2.2.1. Organique et inorganique 5
I-2.2.2. Classification selon la nature chimique 6
I-2.2.3. Classification tinctoriale 7
I-2.3. Utilisation et application des colorants 8
I-2.4. Toxicité 10
I-2.5. Dangers liés aux rejets textiles 11
I -2.5.1. Effets visibles et impacts immédiats 11
I-2.5.2. Impacts à long terme 12
I-3. Procédés de traitement des colorants 12
I-3.1. Méthodes conventionnelles 13
I-3.2. Procédés d'oxydation avancée (POA) 14
I-3.2.1. Mécanismes d'action des radicaux hydroxyles 16
I-3.2.2. Procédés homogènes 17
I-3.2.2.1. Procédé de Fenton (H_2O_2/Fe^{2+}) 17
I-3.2.2.1.1 Généralité sur le Procédé Fenton 17
I-3.2.2.1.2 Facteurs influençant l'efficacité du Procédé Fenton 18
I-3.2.2.1.3. Variantes du Procédé Fenton ..... .18
I-3.2.2.1.3.1. Procédé Fenton-like 18
I-3.2.2.2. Procédé photo-Fenton (H_2O_2/Fe^{2+}/ UV) 19
I-3.2.2.3. Procédé électro-Fenton 19
I-3.2.3. Procédés photochimiques homogènes 21

I-3.2.2.3.1. photolyse direct UV.....21
I-3.2.3.2. photolyse de H_2O_2.....22
Chapitre II : protocole experimental 23
II-1. Introduction.....23
II -2. Polluant modèle 23
II-2.1. Choix du composé modèle 23
II-2.2. Les propriétés physico-chimiques de basic bleu 20.....24
II-3. Réactifs chimiques.....25
II-4. Matériels et verreries 26
II-5. Procédures expérimentales 26
II-5.1. Préparation des solutions.....26
II-5.2. Processus de photochimie 27
II-5.3. Processus de POAs en phase homogène.....28
II.5.4. Procédé d'Electro-fenton 28
II-6. Méthodes et appareillage d'analyses.....29
II-6.1. pH-métre 29
II.6.2. Analyse par spectrophotométrie UV/visible.....30
II-6.3. Établissement de la courbe d'étalonnage.....31
Chapitre III : Résultats et discussion 32
III-1. Etude spectrale du Basic Bleu20. Influence du pH.....32
III-2. Photolyse directe UV du BB20 à 365 nm 33
III-2.1. Oxydation et Photo-oxydation du colorant par le procédé : H_2O_2 / UV et $S_2O_8^{2-}$ / UV à 365nm 34
III-2.1.1. Spectre du peroxyde d'hydrogène.....35
III-2.1.2. Etude thermique du mélange H_2O_2/BB20 35
III-2.1.3. Oxydation du BB20 par couplage H_2O_2/UV et traitement cinétique 36
III-2.2. Photo oxydation du BB20 par le procédé $S_2O_8^{2-}$/UV.....38
III-2.2.1. Spectre d'absorption du persulfate.....38
III-2.2.2. Etude thermique du mélange $S_2O_8^{2-}$/BB20 39
III-2.2.3. Oxydation du BB20 par couplage $S_2O_8^{2-}$ / UV 40
III-3. Décoloration du BB20 par les procédés Fenton et Photo-Fenton 41
III-3.1.Procédé fenton H_2O_2/Fe^{2+}.....41
III-3.1.1. Possibilité de formation de complexe : colorants/Fe^{2+} 41
III-3.1.2. Influence du rapport $[H_2O_2]_o$ / $[Fe^{2+}]_o$ sur la décoloration du BB20 42
III-3.2. Procédé photo-Fenton H_2O_2/Fe^{2+}/UV.....43

III-3.1.1. Influence du rapport [H_2O_2] / [Fe^{2+}] sur le procédé photo-fenton 44
III-4. Décoloration du BB20 par les systèmes like-Fenton (Fe^{3+}/ H_2O_2) et like-Photo-Fenton (H_2O_2/Fe^{3+}/ UV) 46
III-4.1. Décoloration du BB20 par le système like-Fenton (H_2O_2/Fe^{3+}) 46
III-4.1.1. Rôle et spéciation du Fer (III) dans le procédé photochimique 46
III-4.1.2.Etude thermique des mélanges Fe(III)-colorant 47
III-4.1.3.Influence du rapport [H_2O_2]/ [Fe^{3+}] sur la décoloration du BB20 par le système like-Fenton (H_2O_2/Fe^{3+}) 48
III-4.2. Décoloration du BB20 par le système Photo like-Fenton (H_2O_2/Fe^{3+}/ UV) 49
III-4.2.1. Influence du rapport [H_2O_2]/ [Fe^{3+}] sur l'élimination du BB20 par le système Photo like-Fenton (H_2O_2/Fe^{3+}/ UV) et traitement cinétique 49
III-5. Etude du système $S_2O_8^{2-}$/Fe^{2+}et $S_2O_8^{2-}$/Fe^{2+}/UV au cours de décoloration du BB20 51
III-5.1. Influence de la concentration initiale de $S_2O_8^{2-}$ en absence de lumière.....51
III-5.2. Oxydation du BB20 par le couplage $S_2O_8^{2-}$/Fe^{2+}/UV et traitement cinétique 52
III-5.2.1. Influence de la concentration initiale de $S_2O_8^{2-}$ et de Fe^{2+}sur la dégradation du BB20 par $S_2O_8^{2-}$/ Fe^{2+}/UV 52
III-6. Dégradation des colorants synthétiques par procédé Électro-Fenton 55
III-6.1. Introduction.....55
III-6.2.Etude des paramètres influents l'oxydation du BB20 55
III-6.2.1. Influence de l'intensité du courant sur la décoloration du BB20 en présence d'une cathode en graphite et en acier inoxydable 55
III-6.2.2. Influence de la nature du l'électrolyte support sur la décoloration du BB20.....58
III-6.2.3. Influence du pH et Comparaison des Électrodes dans le Procédé Électro Fenton.....60
III-7. Comparaison des performances des procédés étudiés en milieu homogène.....62
III-7.1. Comparaison des performances des procédés photochimiques 62
III-7.2. Comparaison des performances des procédés Électro-Fenton.....63
Conclusion générale.....65
Référence 68
Résumé..... vi

Résumé

Cette étude se concentre sur l'évaluation de divers procédés d'oxydation avancée (POAs) pour la dégradation du colorant cationique Basic Blue 20 (BB20) en solution aqueuse. L'objectif principal était d'optimiser les conditions opératoires de ces procédés afin d'atteindre une dégradation maximale du BB20.

Les méthodes investiguées incluent une gamme de procédés photochimiques (photolyse UV, H_2O_2/UV, $S_2O_8^{2-}$/UV, Fenton, photo-Fenton, like-Fenton, photo-like-Fenton et $S_2O_8^{2-}/Fe^{2+}$/UV) et le procédé électrochimique électro-Fenton. Le suivi de la cinétique de dégradation a été réalisé par spectrophotométrie UV-Visible, mesurant l'absorbance à 632 nm.

Les résultats ont démontré une forte dépendance de l'efficacité des procédés aux conditions opératoires et à la nature du système oxydant. Parmi les approches photochimiques, le procédé photo-Fenton s'est distingué par ses performances supérieures, atteignant un rendement de dégradation de 98,4 %. Les études cinétiques ont confirmé que la dégradation du BB20 suit majoritairement une cinétique apparente de pseudo-premier ordre. Concernant le procédé électro-Fenton, une optimisation rigoureuse a été menée, examinant l'influence du pH, de l'intensité du courant, de la nature de l'électrolyte support et du matériau cathodique. Les conditions optimales ont été identifiées à pH 2, avec une intensité de courant de 100 mA et l'utilisation de NaCl comme électrolyte. Une cathode en acier inoxydable a montré une efficacité remarquable, surpassant le graphite, avec des rendements de dégradation atteignant 99 %.

En conclusion, cette recherche confirme que les procédés photo-Fenton et électro-Fenton sont des techniques hautement prometteuses pour le traitement des effluents textiles contaminés par des colorants organiques persistants, offrant des perspectives significatives pour la dépollution des eaux.

Mots-clés : Basic Blue 20, procédés d'oxydation avancée, photo-Fenton, électro-Fenton, persulfate, dégradation, colorants textiles, spectrophotométrie UV-Visible.

ABSTRACT

This study focuses on the evaluation of various Advanced Oxidation Processes (AOPs) for the degradation of the cationic dye Basic Blue 20 (BB20) in aqueous solution. The main objective was to optimize the operating conditions of these processes in order to achieve maximum degradation of BB20.

The investigated methods included a range of photochemical processes (UV photolysis, H_2O_2/UV, $S_2O_8^{2-}$/UV, Fenton, photo-Fenton, like-Fenton, photo-like-Fenton, and $S_2O_8^{2-}/Fe^{2+}$/UV), as well as the electrochemical electro-Fenton process. The degradation kinetics were monitored using UV–Visible spectrophotometry, by measuring the absorbance at 632 nm.

The results demonstrated a strong dependence of process efficiency on the operating conditions and the nature of the oxidizing system. Among the photochemical approaches, the photo-Fenton process exhibited superior performance, achieving a degradation efficiency of 98.4%. Kinetic studies confirmed that BB20 degradation predominantly follows an apparent pseudo-first-order kinetic model. Regarding the electro-Fenton process, a rigorous optimization was carried out by examining the influence of pH, current intensity, the nature of the supporting electrolyte, and the cathode material. The optimal conditions were identified at pH 2, with a current intensity of 100 mA and the use of NaCl as the supporting electrolyte. A stainless-steel cathode showed remarkable efficiency, outperforming graphite and achieving degradation yields of up to 99%.

In conclusion, this research confirms that photo-Fenton and electro-Fenton processes are highly promising techniques for the treatment of textile effluents contaminated with persistent organic dyes, offering significant prospects for water remediation.

Keywords: Basic Blue 20, advanced oxidation processes, photo-Fenton, electro-Fenton, persulfate, degradation, textile dyes, UV–Visible.

ملخص

تركّز هذه الدراسة على تقييم مختلف عمليات الأكسدة المتقدمة من أجل تحلّل الصبغة الكاتيونية الأزرق القاعدي 20 في محلول مائي. وكان الهدف الرئيسي يتمثّل في تحسين الظروف التشغيلية لهذه العمليات للوصول إلى أعلى نسبة ممكنة من تحلّل هذه الصبغة

شملت الطرق المدروسة مجموعة من العمليات الضوئية الكيميائية، وهي: التحلّل الضوئي بالأشعة فوق البنفسجية، وفوق أكسيد الهيدروجين/الأشعة فوق البنفسجية، والبيروكسيديسلفات/الأشعة فوق البنفسجية، وعملية فنتون، وعملية فوتو-فنتون، وعملية لايك-فنتون، وعملية فوتو-لايك-فنتون، ونظام البيروكسيديسلفات/الحديد الثنائي/الأشعة فوق البنفسجية، بالإضافة إلى العملية الكهروكيميائية إلكترو-فنتون. وتمّت متابعة حركية التحلّل باستعمال مطيافية الامتصاص بالأشعة فوق البنفسجية والمرئية من خلال قياس الامتصاصية عند طول موجي قدره 632 نانومتر

أظهرت النتائج اعتماداً كبيراً لكفاءة هذه العمليات على الظروف التشغيلية وطبيعة النظام المؤكسد. ومن بين المقاربات الضوئية الكيميائية، تميّزت عملية فوتو-فنتون بأدائها المتفوق، حيث أمّا.حقّقت مردود تحلّل بلغ 98.4% كما أكّدت الدراسات الحركية أنّ تحلّل صبغة الأزرق القاعدي 20 يتبع في الغالب حركية ظاهرية من الرتبة الأولى الكاذبة
فيما يخص عملية إلكترو-فنتون، فقد أُجري تحسين دقيق للظروف التشغيلية من خلال دراسة تأثير الأس الهيدروجيني، وشدّة التيار الكهربائي، وطبيعة الإلكتروليت الداعم، ومادة المهبط. وقد تمّ تحديد الشروط المثلى عند أسّ هيدروجيني يساوي 2، مع شدّة تيار قدرها 100 ميلي أمبير واستعمال كلوريد الصوديوم كإلكتروليت داعم

كما أظهر مهبط من الفولاذ المقاوم للصدأ فعالية ملحوظة فاقت فعالية الغرافيت، حيث بلغت مردودية التحلّل 99 بالمئة

وفي الختام، تؤكّد هذه الدراسة أنّ عمليتي فوتو-فنتون وإلكترو-فنتون تمثّلان تقنيتين واعدتين جداً لمعالجة المياه العادمة الناتجة عن الصناعات النسيجية والمحمّلة بالأصباغ العضوية الثابتة، كما توفّران آفاقاً مهمّة في مجال إزالة التلوث وتنقية المياه

الكلمات المفتاحية: الأزرق القاعدي 20، عمليات الأكسدة المتقدمة، فوتو-فنتون، إلكترو-فنتون، بيرسلفات، التحلّل، أصباغ نسيجية، مطيافية الامتصاص بالأشعة فوق البنفسجية والمرئية