

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr MOULAY TAHAR

جامعة سعيدة - د. مولاي الطاهر

Faculté des Sciences et Technologie

كلية العلوم والتكنولوجيا

Département de Science de la matière

قسم علوم المادة

MEMOIRE

Elaboré en vue de l'obtention du diplôme de master en chimie

Spécialité : Chimie inorganique

Intitulé :

**Dégradation d'un composé organique coloré par le procédé d'oxydation avancée
électrochimique**

Présenté par :

Dehbi Abdellah Lazhari et Guettaf Mohamed Rabie

Soutenu le 22/06/2025, devant le jury composé de :

M ^r MEDJAHED Baghdad	Université de Saïda - Dr MOULAY Tahar	Président
M ^r BENALI Omar	Université de Saïda - Dr MOULAY Tahar	Encadrant
M ^{me} ZAOUI Fatiha	Université de Saïda - Dr MOULAY Tahar	Examinatrice

Année universitaire 2024/2025

Remerciements

Nous remercions Dieu, le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la santé et l'intelligence, de nous avoir guidés pour mener à bien ces années d'études et pour réaliser ce présent travail, fruit d'un dur labeur et de nombreux sacrifices.

Nous tenons également à remercier notre encadrant, Monsieur **BENALI Omar**, qui nous a dirigés, aidés et conseillés tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous exprimons aussi notre profonde reconnaissance à nos anciens professeurs, Monsieur **MEDJAHED Baghdad** et à Madame **ZAOUI Fatiha**, pour les connaissances, les valeurs et les conseils qu'ils nous ont transmis au fil des années.

Nous adressons nos plus vives gratitudeux aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant la responsabilité d'évaluer ce travail.

Enfin, nous exprimons nos plus sincères remerciements à notre famille, à nos amis et à Mme **REBIE Chahrazed** pour leur aide, leur encouragement et leur soutien tout au long de nos études.

Merci beaucoup.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

À mon père Mohamed et à **ma mère**, pour leur amour inconditionnel, leurs prières et leur soutien moral indéfectible tout au long de mon parcours.

À ma nièce chérie Douaa, ce travail t'est dédié, petit rayon de soleil dans ma vie.

Que ce modeste fruit de mon parcours soit un message d'espoir pour ton avenir.

À mes chers frères, qui m'ont toujours encouragé(e) durant ces années d'études.

À mes amis et collègues, pour les moments partagés, leur aide précieuse et leur motivation.

À tous ceux qui ont cru en moi, de près ou de loin...

Merci infiniment.

Dehbi abdellah Lazhari

Dédicaces

Je dédie ce projet A mon père

A ma mère

Pour tous les sacrifices consentis. Pour tous les encouragements qu'ils ont su m'insuffler aux moments difficiles. Qu'ils trouvent dans ce mémoire, le témoignage de ma vive gratitude et de ma grande reconnaissance, pour l'énergie qu'ils ont su implanter en moi à tous les moments de mes études.

Que ce travail vous soit le témoignage de ma profonde affection. **A mon encadrant Monsieur BENALI Omar** Pour sa générosité et ses précieuses directives qu'il n'a cessé de me prodiguer.

Je remercie également Monsieur **HADDAD**

Boumediene pour son soutien.

A toute **ma famille**, à **mes frères** et **mes sœurs** Qu'ils trouvent ici, l'expression de mes sincères remerciements.

A tous **mes amis**, **mes collègues**, Pour leur appui moral et leurs conseils.

Guettaf Mohamed Rabie

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I: Généralités sur la pollution par les colorants organique	
I.1. Introduction... ..	2
I.2. Historique.....	2
I.2.1. Les colorants naturels... ..	2
I.2.2. Les colorants synthétiques... ..	2
I.1.3- Classification des colorants organiques... ..	3
I.1.3.1- Classification chimique.....	4
I.1.3.2- Classification dans le domaine industriel... ..	4
I.1.3. 3 Classification tinctoriale... ..	6
I.1.3.3.1 Les colorants acides ou anioniques... ..	6
I.1.3.3.2 Les colorants basiques ou cationiques... ..	6
I.1.3.3.3 Les colorants développés ou azoïques insolubles.	7
I.1.3.3.4 Les colorants de cuve.....	7
I.1.3.3.5 Les colorants réactifs... ..	7
I.1.4- Toxicité des colorants organiques... ..	8
I.2. Méthodes de traitement des eaux polluées par les colorants... ..	10
I.2.1. Procédés biologiques... ..	10
I.2.2. Procédés à changement de phase (Procédés physiques)... ..	10
I.2.2.1. Adsorption... ..	11
I.2.2.2. Coagulation / floculation / sédimentation et la filtration... ..	11
I.2.2.2.1 La coagulation.....	12
I.2.2.2.2. La floculation... ..	12
I.2.2.3. Procédés membranaires	13
I.2.3. Procédés d'oxydation... ..	13
I.2.3.1. Chloration... ..	13
I.2.3.2. Procédés d'oxydation avancée (POAs)	13
I.3. Types des procédés d'oxydations avancées... ..	13
I.3.1. Procédés photochimiques.....	14

I.3.1.1. Irradiation UV (la photolyse).....	14
I.3.1.2. UV/H ₂ O ₂	14
I.3.2. Procédés utilisant l’ozone	15
I.3.2.1. l’ozonation (O ₃).....	15
I.3.2.2. O ₃ / H ₂ O ₂	15
I.3.2.3. O ₃ / UV... ..	15
I.3.2.4. O ₃ /H ₂ O ₂ /UV... ..	15
I.3.3. Procédés basés sur l’utilisation de semi-conducteurs(la photocatalyse)	16
I.3.4 Procédés basés sur le réactif de Fenton... ..	16
I.3.4.1 Fe ²⁺ / H ₂ O ₂	16
I.3.4.2 Photo-Fenton.....	16
I.3.4.3 Electro-Fenton.....	17
I.3.5. Les Procédés d’oxydation avancée électrochimiques (POAEs)... ..	17
I.4. La spectrophotométrie UV-Visible... ..	18
CHAPITRE II : Partie expérimentale , Résultats et discussion	
Partie I: Partie expérimentale	20
I. 1. Matériels utilisés.....	20
I.2. Réactifs chimiques utilisés... ..	20
I.3. Cellule électrochimique... ..	20
I.4 Préparation des solutions.....	22
I.4.1 Préparation des solutions filles... ..	22
I.5. Spectrophotométrie UV-visible.....	23
Partie II: Resultats et disscussions	23
II.1. Courbe d’étalonnage	23
II.1.1. Etude de dégradation par anode en acier XC38... ..	24
II.1.2. Inflence de la concentration initiale... ..	24
II.1.1. Influence du barbotage sur la dégradation.....	27
II.2. Etude de dégradation par anode en graphite	29
II.2.1. Influence de la concentration initiale... ..	29

II.2.2. Influence de l'ajout de FeCl_3	31
II.3. Modélisation cinétique de la dégradation électrochimique... ..	33
Conclusion générale	38
Reference	39
Résumé	43

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les colorants et la pollution par les colorants organiques

Figure I.1.	Évolution des colorants naturels et synthétiques	3
Figure I.2.	Classification des colorants chimiques	4
Figure I.3.	Classification dans le domaine industriel	5
Figure I.5.	Mécanisme réactionnel du procédé H_2O_2/UV	14
Figure I.6.	Mécanismes réactionnels des procédés O_3/UV	15
Figure I.7.	Principe de la photo catalyse	16
Figure I.8.	Principe de la réaction photo-Fenton	17

Chapitre II : Partie expérimentale, résultats et discussion

Partie I : Partie expérimentale

Figure II .1.	Structure chimique du rouge de méthyle	20
Figure II.2.	Électrode de graphite	21
Figure II .3.	Electrode Acier XC38	21
Figure II .4.	Montage électrochimique de dégradation	21
Figure II .5.	Balance analytique	22
Figure II .6.	Exemple des solutions du colorant	22
Figure II .7.	Spectrophotomètre UV-Visible utilisé lors de la réalisation de cette étude	23
Figure II .8.	Préparation des échantillons avant de faire les analyses	23
Figure II .9.	Courbe d'étalonnage obtenue pour le dosage Rouge de Methyle par UV Visible	24
FigureII.9a.	Influence de la concentration initiale sur la dégradation sans barbotage	25
FigureII.9b.	Influence de la concentration initiale sur la dégradation (avec barbotage)	25
FigureII.10a.	Influence du barbotage sur la dégradation pour la concentration initiale (5 mg/L)	27
FigureII.10b.	Influence du barbotage sur la dégradation pour la concentration initiale (10 mg/L)	28
FigureII.10c.	Influence du barbotage sur la dégradation pour la concentration initiale (25 mg/L)	28
FigureII.10d.	Influence du barbotage sur la dégradation pour la concentration initiale (50 mg/L)	29
FigureII.11a.	Influence du barbotage sur dégradation pour la concentration initiale 10 mg/L	30
FigureII.11b.	Influence du barbotage sur la dégradation pour la concentration initiale 50 mg/L	30
FigureII.12a.	Influence de $FeCl_3$ sur la dégradation en présence de barbotage	32

FigureII.12b.	Influence de FeCl_3 sur la dégradation en absence de barbotage	32
FigureII.13a.	Modèle cinétique d'ordre zéro (avec barbotage)	34
FigureII.13b.	Modèle cinétique d'ordre zéro (sans barbotage)	34
FigureII.13c.	Modèle cinétique d'ordre 1 (avec barbotage)	35
FigureII.13d.	Modèle cinétique d'ordre 1 (sans barbotage)	35
FigureII.13e.	Modèle cinétique d'ordre 2 (avec barbotage)	36
FigureII.13f.	Modèle cinétique d'ordre 2 (sans barbotage)	36

Liste des tableaux

Chapitre II : Partie expérimentale, résultats et discussion

Partie I : Partie expérimentale

TableauII.1.	Rendement de dégradation en fonction du temps avec et sans barbotage pour l'anode XC38	26
TableauII.2.	Rendement de dégradation en fonction du temps avec et sans barbotage pour l'anode graphite	31
TableauII.3.	Rendement de dégradation en fonction du temps avec et sans barbotage pour l'anode graphite en présence de FeCl_3	33
TableauII.4.	Analyse cinétique des résultats expérimentaux avec barbotage	37
TableauII.5.	Analyse cinétique des résultats expérimentaux sans barbota	37

Liste des abréviations

DL50	Dose Létale 50
EF	Electro-Fenton
EPA	Environmental Protection Agency
k	constantes de vitesse
mg/L	Milligramme par litre
mA	Milliampère
°OH	Radical hydroxyle
OA	Oxydation Anodique
POA	Procédé d'Oxydation Avancée
R ²	coefficients de corrélation
RM	Rouge de Méthyle
UV	Ultraviolet
UV-Vis	Spectroscopie UV-Visible

Liste des produits chimique

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	sulfate d'aluminium
FeCl_3	chlorure ferrique
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	sulfate ferrique
NaAlO_2	aluminate de soude
CaO	la chaux

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

L'augmentation des activités industrielles et agricoles engendre une pression grandissante sur les réserves en eau douce de notre planète. Ces activités génèrent une grande diversité de composés de plus en plus toxiques pour la santé et l'environnement. A titre d'illustration, l'organisation mondiale de la santé (OMS) estime que 80% des maladies qui affectent la population mondiale sont directement véhiculées par l'eau [1]. Lorsque l'eau est polluée par des substances toxiques et persistantes, un traitement efficace et adéquat est nécessaire avant déversement dans le milieu naturel [2]. Le procédé de traitement le plus utilisé dans le monde est le traitement biologique conventionnel ; en effet, il permet de traiter de grands volumes d'eau contenant un bon nombre de composés biodégradables à un faible coût. Néanmoins, ce traitement ne peut pas éliminer certaines molécules chimiques réfractaires, parmi elles un bon nombre de colorants. Pour pallier à ce problème, diverses autres technologies innovantes sont proposées pour l'élimination des pesticides tels que les procédés d'oxydation avancée, comme l'oxydation photocatalytique, le rayonnement ultrasonore..., basés sur la production d'espèces radicalaires très réactives. Mais l'inconvénient majeur de ces technologies est qu'elles sont conçues pour la décontamination de solutions aqueuses avec une très faible teneur en colorant [3,4]. C'est dans ce cadre que cette étude propose d'utiliser un procédé d'oxydation avancée permettant de fournir une grande quantité de radicaux hydroxyles sans ajout de réactifs : l'oxydation électrochimique

Dans ce contexte, nous avons choisi de mener une étude pour éliminer un colorant (le rouge de méthyle) par oxydation électrochimique

Ce document s'articule autour deux grands chapitres dont un relatif à une étude bibliographique ou il a été consacré aux différents travaux réalisés sur les colorants et la pollution ainsi que les différents types de traitement effectués sur les solutions polluées par les colorants

Le second chapitre présente les dispositifs expérimentaux ainsi que les résultats en variant différents paramètres tels que la concentration initiale, le barbotage, type d'anode,

Enfin, une conclusion générale reprenant les principaux résultats et donnant quelques perspectives à cette étude est faite en fin de document

Chapitre I

Dans ce chapitre, nous présentons des généralités sur les colorants, les procédés de traitement des colorants en particulier les procédés d'oxydation avancées ainsi les techniques et les appareils d'analyse utilisés lors de la réalisation des travaux de ce mémoire.

I.1. Introduction

Les colorants sont des substances, généralement d'origine organique, qu'elle soit naturelle ou synthétique, capables de conférer une couleur durable au support sur lequel elles sont appliquées [1]. L'usage des colorants remonte à l'Antiquité, où des sociétés primitives les employaient pour embellir les corps. Les Égyptiens anciens et les Prussiens ont également recouru à ces substances pour teindre des œuvres rupestres et des céramiques. À cette époque, les colorants étaient principalement d'origine naturelle, extraits de végétaux tels que l'indigo ou d'animaux comme le carmin, dérivé de la cochenille. L'utilisation de ces colorants naturels a perduré jusqu'à la première moitié du XIXe siècle, avant d'être progressivement remplacée par des colorants synthétiques. De nos jours, les colorants jouent un rôle fondamental dans de nombreuses industries, notamment celles du textile, du cuir, du papier, du plastique, de la pharmacie et de la cosmétique [2].

Le rejet de colorants dans l'environnement représente un problème majeur. La détection de ces contaminants dans les ressources en eau est à la fois manifeste et inacceptable, même à des concentrations infimes. Plusieurs recherches ont démontré que l'exposition à ces substances colorantes entraîne des conséquences néfastes pour la santé humaine [3].

I.2. Historique

I.2.1. Les colorants naturels

La célèbre grotte de Lascaux, avec ses peintures datant de 17 000 ans, illustre l'utilisation ancienne des colorants naturels. Les premiers colorants employés étaient le noir de charbon et l'oxyde de fer rouge. En France, jusqu'à la fin du XIXe siècle, la garance était cultivée dans le Midi et en Alsace, sa racine fournissant une teinture rouge. D'autres exemples incluent l'extraction d'un colorant bleu violacé à partir des feuilles de l'indigotier, ainsi que l'utilisation d'une espèce mexicaine de cochenilles, qui permet d'obtenir un rouge carmin.

I.2.2. Les colorants synthétiques

Le bleu et le vert égyptien représentent les premiers colorants synthétiques connus. Le bleu égyptien, dont l'utilisation remonte à 2500 ans avant notre ère, est obtenu par le chauffage d'un mélange de calcium, de cuivre et de silicium à des températures variant entre 900 °C et 1100 °C. Quant au vert égyptien, il est produit dans des conditions similaires, en utilisant les mêmes composants, mais avec des proportions différentes. À partir de 1840, la distillation du goudron permet d'extraire des matières premières telles que le benzène et le naphthalène, élargissant ainsi

Considérablement la palette de couleurs à la disposition des teinturiers. En 1856, W.H. Perkin synthétise l'aniline, dont l'oxydation donne le pourpre d'aniline, alors qu'il tentait de produire de la quinine. L'émergence de la chimie moderne au milieu du XIX^e siècle, ainsi que le développement de l'industrie chimique, ont été des facteurs déterminants dans l'avancement de la production de colorants synthétiques [4].

Au début du 20^{ème} siècle, les colorants synthétiques ont presque entièrement remplacé les colorants naturels. En 1991, la production mondiale de colorants synthétiques était estimée à 700 000 tonnes par an, bien qu'il n'existe pas de données récentes sur la production actuelle. En Tunisie, la consommation de colorants et de pigments dans le secteur textile atteint 2646 tonnes par an, tandis que celle des produits chimiques auxiliaires s'élève à 1622 tonnes par an. En ce qui concerne la consommation d'eau, le secteur de l'ennoblissement utilise environ 11 418 m³ par jour, tandis que le lavage du jean consomme 10 029 m³ par jour. On recense près de 8000 colorants synthétiques chimiquement distincts, catalogués dans le Colour Index sous 40 000 dénominations commerciales. Chaque colorant y est identifié par un code qui indique sa classe, sa teinte et un numéro d'ordre (par exemple : CI Acid Orange 7) [5].

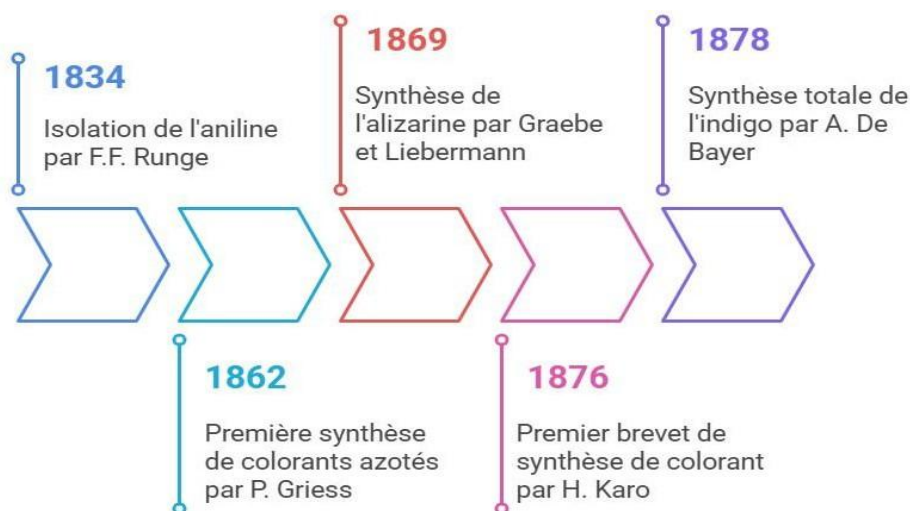


Figure I.1. Évolution des colorants naturels et synthétiques [5]

I.1.3- Classification des colorants organiques

Les colorants organiques se divisent en fonction de leurs structures chimiques ainsi que des techniques d'application sur divers substrats tels que les textiles, le papier, le cuir et les matières plastiques.

I.1.3.1- Classification chimique

La classification chimique des colorants les organise selon leur structure moléculaire et leurs propriétés, influençant leur interaction avec les matériaux et leurs applications industrielles. L'image illustre sept catégories principales, utilisées dans divers secteurs.

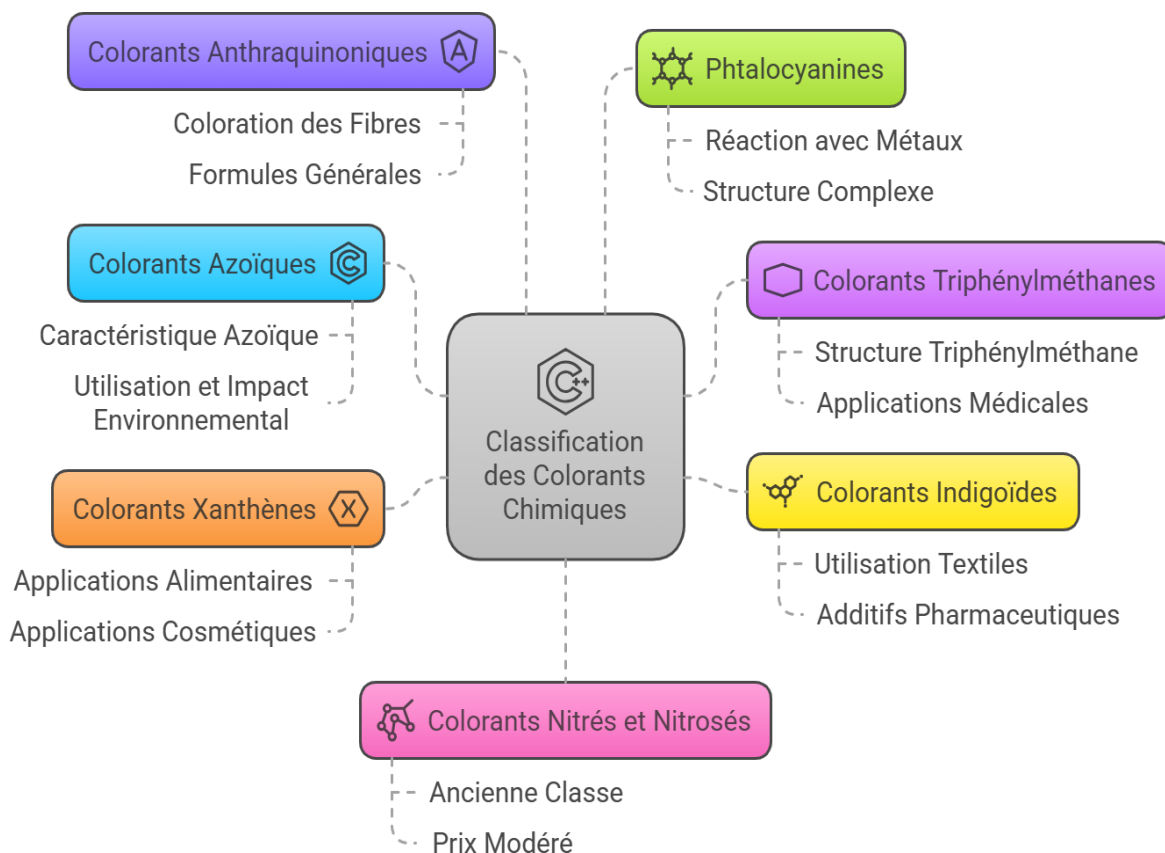


Figure I.2. Classification des colorants chimiques) [6]

I.1.3.2- Classification dans le domaine industriel

La classification industrielle des colorants repose sur leur mode d'application, leur solubilité et leur affinité avec différents types de fibres. Elle permet d'optimiser leur utilisation selon les exigences des matériaux à teindre et des procédés industriels. Comme illustré dans l'image, les colorants sont répartis en plusieurs catégories [6,7].

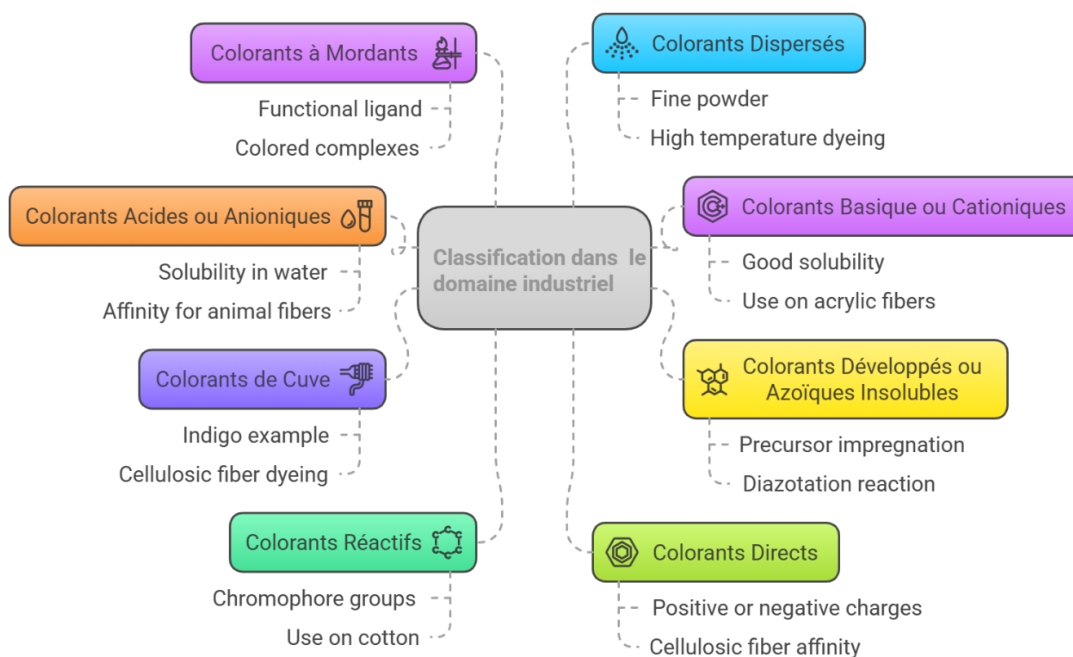


Figure I.3. Classification dans le domaine industriel [7]

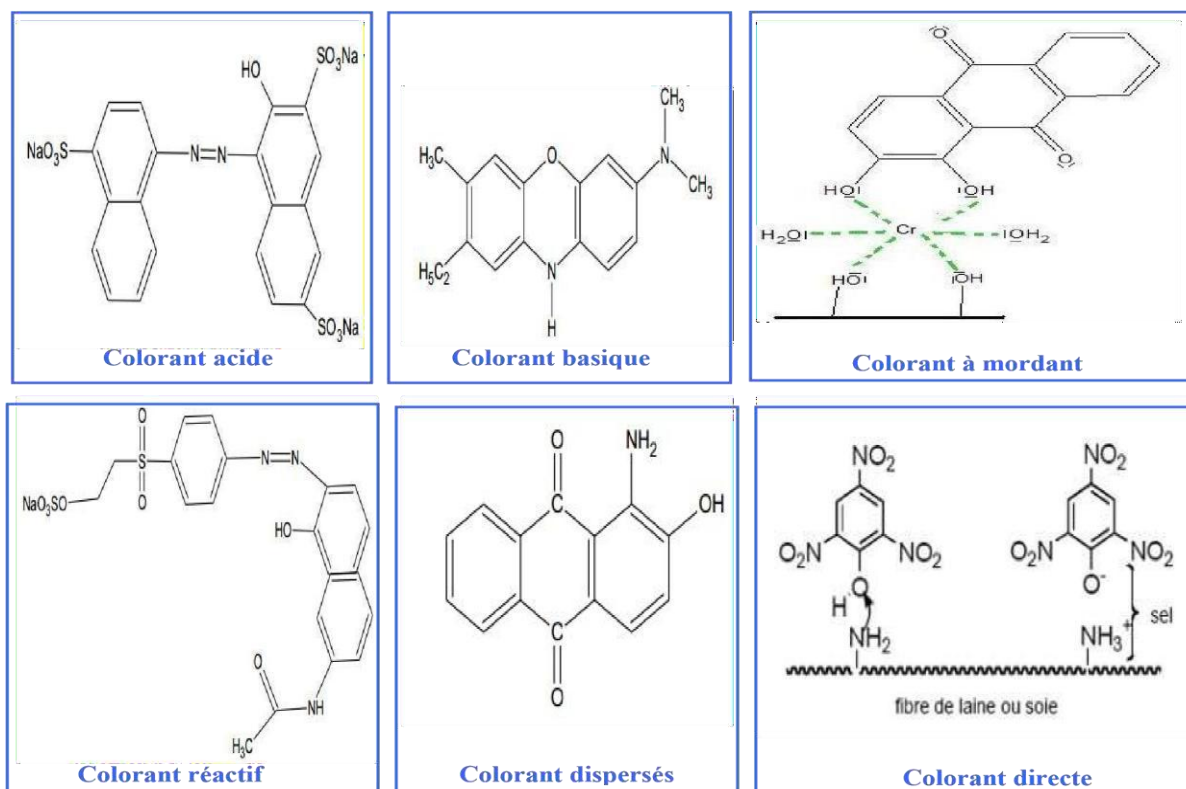


Figure I.4. Exemple des structures moléculaires des colorants selon la classification tinctoriale [8]

I.1.3.2 Classification tinctoriale :

Ce type de classification nous renseigne sur le domaine d'application des colorants. Il s'intéresse essentiellement à la solubilité des colorants dans le bain de teinture et de son affinité pour les différentes fibres textiles.

- **Les colorants acides ou anioniques** : Solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonates ou carboxylates, ils sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorant-fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupements amine des fibres textiles.
- **Les colorants basiques ou cationiques** : Les colorants basiques ou cationiques sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres. En phase de disparaître dans la teinture de la laine et de la soie, ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur lesquelles ils permettent des nuances très vives et résistantes.

- **Les colorants développés ou azoïques insolubles** : Les colorants développés ou azoïques insolubles sont formés directement sur la fibre au cours d'une première étape, le support textile est imprégné d'une solution de naphthol (copulant). Les précurseurs de la molécule suffisamment petits pour diffuser dans les pores et les fibres sont ensuite traités avec une solution de sel de d'ionium qui, par réaction de copulation entraîne le développement immédiat du colorant azoïque.
- **Les colorants de cuve** : Les colorants de cuve sont des colorants insolubles dans l'eau. Cependant, sous l'action d'un réducteur, le dithionite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$), un colorant de cuve donne son leuco-dérivé c'est-à-dire le produit de réduction incolore ou blanc et soluble dans l'eau. Le leuco-dérivé présente une affinité pour certaines fibres textiles telles que le coton, le lin, la laine et la soie. Par oxydation à l'air ou à l'aide d'un agent oxydant, le colorant initial insoluble dans l'eau est régénéré au sein de la fibre. Les colorants de cuve appartiennent à la classe chimique des anthraquinones et à celle des indigoïdes, leurs qualités de résistance notamment en font un des groupes les plus importants des colorants synthétiques. Quelques colorants de cuve ont trouvé une place parmi les pigments de l'industrie des vernis, en raison de leur grande stabilité à la lumière.
- **Les colorants réactifs** : Les colorants réactifs constituent la dernière classe de colorant apparue sur le marché. Leur utilisation est très importante, notamment dans le domaine de l'habillement (la solidité à la lumière n'est suffisante que pour des applications en ameublement). Ce sont des colorants de synthèse constitués d'une partie colorante chromogène (groupe chromophore) sur laquelle est (sont) fixé(s) un (ou plusieurs) groupement (s) réactif(s) électrophile(s) destiné(s) à former une liaison chimique stable, covalente, solide avec les fonctions hydroxyles de la cellulose et les NH_2 et NH des polyamides, voire plus rarement avec les fonctions amines ou sulfures des protéines de la laine. La réaction entre le colorant et la cellulose est obtenue par l'action d'un agent alcalin (soude caustique, carbonate de sodium,...etc.) qui absorbe l'atome ou le groupement réactif électronégatif du colorant pendant que l'ion coloré se lie à la cellulose.
- **Les colorants à mordants** : Les colorants à mordants contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile.
- **Les colorants dispersés** : Les colorants dispersés (ou dispersifs) donnent des couleurs stables à la lumière, aux acides, au formaldéhyde et aux actions thermiques. Ils sont non-ioniques, insolubles dans l'eau et sont utilisés pour la coloration sous forme de dispersion aqueuse. Pratiquement insolubles dans l'eau, ils sont par contre solubles dans la phase organique des fibres dépourvues de groupement acides ou basiques (fibres synthétiques).

Telles que polyester, polyamide, poly acrylonitrile...) Ils sont importants pour la teinture de l'acétate de cellulose et des fibres synthétiques et ne renferment pas de groupement solubilisant ($-\text{SO}_3\text{Na}$). Ils portent des noms commerciaux, dont leur marque est donnée entre parenthèses : Artisil (SANDOZ), Céliton (BASF), Cibaset (CIBA), Duranol (ICI), Sétacyl (GEIGY), Acétoquinone (FMC), exemple : rouge, violet, bleu, ...etc. Les colorants dispersés sont essentiellement adsorbés sur la fibre polyamide par une attraction sur des sites polaires en nombre limité et le mécanisme de dissolution est en réalité presque marginal. Bien que ce type d'adsorption corresponde à des liaisons avec la fibre bien plus fortes que dans le cas du polyester où le colorant est dissout, ces liaisons sont facilement rompues par un rupteur de liaisons polaire tel que l'eau. Les solidités au lavage de fibres de polyamide teintes en colorant dispersé sont donc médiocres. Ainsi, on doit connaître la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant- substrat est du type ionique, hydrogène, de Van der Waal ou covalente. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes

- **Les colorants directs** : Ce sont des colorants à caractères anioniques ($\text{R-SO}_3\text{Na}$) ; ils sont solubles dans l'eau et utilisés en solution aqueuse. La solubilité de ces colorants dans l'eau est réduite par l'addition des sels neutres de métaux alcalins (sulfate de sodium, chlorure de sodium, etc. Ceux d'entre eux qui sont les moins stables à la lumière sont utilisés à la teinture des tissus de doublures, des fils de laine, des tapis et pour beaucoup d'articles à bon marché [9].

I.1.4- Toxicité des colorants organiques

Toxicité associée aux divers types de colorants, notamment en ce qui concerne la mortalité, les effets mutagènes et cancérigènes, a été examinée dans de nombreuses recherches, tant sur des organismes aquatiques (tels que les poissons, les algues et les bactéries) que sur des mammifères. Une analyse portant sur la corrélation entre les DL50 (dose létale pour 50 % de la population) et les classifications chimiques et colorimétriques des colorants a révélé que les colorants synthétiques organiques les plus nocifs sont les colorants diazo et cationiques.

Le caractère électro-attracteur des groupes azo entraîne des déficits électroniques, rendant ainsi leur oxydation dans des conditions aérobies difficile à réaliser.

Des recherches menées sur divers colorants commerciaux ont révélé que les colorants basiques présentent la toxicité la plus élevée pour les algues. Ce constat a été corroboré par des tests de mortalité sur des poissons, réalisés sur un échantillon de 3000 colorants commerciaux, démontrant

que les colorants basiques, en particulier ceux appartenant à la famille des triphénylméthanes, sont les plus nocifs. Toutefois, il a également été observé que les poissons montrent une sensibilité accrue même envers les colorants acides. En outre, des tests de mortalité effectués sur des rats indiquent que seulement 1 % des 4461 colorants commerciaux analysés affichent des valeurs de DL50 inférieures à 250 mg kg⁻¹ de poids corporel. Il est donc essentiel de sensibiliser le public à l'utilisation de certains de ces colorants.

Des recherches antérieures menées sur ces colorants ont révélé que ces substances peuvent avoir des effets cancérigènes sur les animaux et les humains. Parmi les colorants azoïques considérés comme les plus dangereux pour la santé humaine, on trouve la tartrazine et la rouge cochenille. En raison de leur toxicité, ces composés ont été retirés des listes de colorants autorisés dans de nombreux pays. Selon l'environnemental Protection Agency (EPA), afin de limiter les risques de cancer, il est recommandé d'établir une concentration maximale de 3,1 mg/L de colorants azoïques dans l'eau potable [10].

Des recherches supplémentaires sur ces colorants ont révélé que ces substances peuvent avoir des effets cancérigènes tant chez les animaux que chez les humains. Ces substances toxiques ont été éliminées des listes de colorants alimentaires dans de nombreux pays [11].

Le problème environnemental majeur auquel fait face l'industrie textile réside dans les volumes d'eau rejetés ainsi que dans leur contamination chimique. Sous l'influence des microorganismes, divers ions, notamment les nitrates et les phosphates, peuvent être libérés dans l'environnement.

Lors de rejets ponctuels, une grande quantité de matière organique provoque une sous-oxygénation en raison de la consommation bactérienne excessive d'oxygène. Selon Manahan, la dégradation de 7 à 8 mg de matière organique suffit pour épuiser l'oxygène dans un litre d'eau.

L'accumulation organique altère l'eau (goût, odeur, couleur) et stimule la prolifération bactérienne. Les colorants synthétiques, difficiles à dégrader, se bioaccumulent et exposent la faune et l'homme à des niveaux toxiques jusqu'à mille fois supérieurs [12].

Des études faites sur divers colorants commerciaux ont démontré que les colorants basiques sont les plus toxiques pour les algues [13].

Ce résultat a été prouvé par le test de mortalité des poissons effectués sur 3000 colorants commerciaux où il s'est avéré que les colorants basiques, et plus particulièrement ceux de la famille de triphénylméthane sont les plus toxiques. Par ailleurs, les poissons semblent être relativement sensibles aux colorants acides [14].

D'autre part, la chance de la mortalité humaine due à la toxicité aiguë de colorant est probablement très basse. Cependant, il faut sensibiliser l'être humain quant à l'utilisation de certains colorants. En effet, il a été prouvé que quelques colorants dispersés peuvent causer des réactions allergiques,

dermatologiques, etc. [15]. La plupart des colorants azoïques ne sont pas initialement toxiques [16]. La réduction de ces colorants (rupture de la liaison azoïque) génère la formation des amines aromatiques qui sont connues mutagéniques et cancérigènes. A titre d'exemple. On peut citer : 1,4phenylenediamine, 1-amino 2-naphtol, benzidine et benzidine substitués comme o-toluidine [17].

En revanche, la toxicité des amines aromatiques est fortement liée à la structure spatiale de la molécule ou, en d'autres termes, à la position des groupes aminés. Par exemple, le 2-naphtylamine est cancérigène, par contre le 1-naphtylamine est beaucoup moins toxique que le premier [18].

Des travaux de recherche faisant objet l'étude de l'effet mutagénique et cancérigène des amines aromatiques sulfonées, ont montré qu'ils ne présentent aucun ou un très faible effet génotoxique et cancérigène, contrairement à leurs analogues non sulfonés.

En raison des effets mentionnés ci-dessus, il est clair que les colorants, essentiellement les azoïques, ne devraient pas envahir notre environnement [19].

I.4- Méthodes de traitement des eaux polluées par les colorants :

I.4.1 Procédés biologiques :

Pour éliminer les polluants présents dans les colorants, ces méthodes exploitent l'activité de certaines bactéries spécifiques. Ces microorganismes sont capables de décomposer les composés organiques nocifs en substances moins toxiques ou de les minéraliser, mais uniquement si ces composés présentent une faible toxicité et un certain degré de biodégradabilité. Les procédés biologiques varient selon la présence (aérobie) ou l'absence (anaérobie) d'oxygène. Cependant, cette technique se heurte à des limitations, notamment en raison des coûts élevés associés au traitement des boues et de son inefficacité face aux rejets riches en composés organiques polluants ou contenant des substances difficiles à dégrader [10].

Les systèmes biologiques fondés sur l'activité bactérienne, tels que la technologie des boues activées, sont largement utilisés, notamment pour le traitement des effluents industriels. Ce processus implique la dégradation des composés organiques dans des bioréacteurs, qu'ils soient aérobiques ou anaérobies, en fonction de la nature du contaminant. Les microorganismes ne peuvent décomposer les polluants organiques en substances moins toxiques ou les minéraliser que si ces molécules possèdent un certain degré de biodégradabilité et une toxicité réduite [20].

I.4.2. Procédés à changement de phase (Procédés physiques)

Dans le secteur du traitement des eaux et de l'élimination des contaminants, divers procédés physiques sont couramment utilisés. Ces méthodes reposent sur la séparation d'un ou plusieurs composants de l'effluent et sont généralement appliquées en tant que traitements préalables où

ultérieurs. Il est important de souligner que cette séparation implique un transfert du polluant d'une phase à une autre. Parmi ces procédés, on trouve : l'adsorption, la filtration sur membrane et le stripping. Malheureusement, cela se traduit par un simple transfert des micropolluants présents dans les colorants à traiter [21].

Les prétraitements visent à éliminer les contaminants solides les plus volumineux des colorants, notamment par le biais de dégrillage et de dégraissage. Ces processus constituent des étapes de séparation physique élémentaires. Par la suite, les polluants dissous peuvent être extraits à l'aide de techniques physiques telles que l'adsorption sur charbon actif ou la filtration membranaire [22].

Les méthodes physiques emploient des techniques de séparation pour extraire les contaminants de l'eau à traiter. Elles se révèlent efficaces pour éliminer les particules solides en suspension, les liquides non miscibles ainsi que les polluants organiques dissous. Parmi les exemples, on peut mentionner la décantation, la sédimentation, la floculation, la filtration (sur sable ou à travers des membranes), la flottation, l'extraction, l'adsorption et les techniques membranaires telles que l'osmose inverse et l'électrodialyse. Ces traitements ont l'avantage de reposer sur des principes simples, ce qui les rend facilement applicables. Toutefois, leur principal inconvénient réside dans le fait qu'ils entraînent un simple transfert de la pollution d'un milieu à un autre. Néanmoins, cela peut être compensé par une association avec un processus de destruction du polluant récupéré [23].

I.4.2.1. Adsorption

Dans le secteur de la dépollution, l'adsorption se révèle être une méthode privilégiée pour l'élimination des substances dissoutes, généralement organiques et présentes en faibles concentrations. En comparaison avec les techniques précédemment mentionnées, l'utilisation de procédés d'adsorption assure un rendement relativement élevé et un fonctionnement simplifié. L'adsorption se définit comme la capacité de certains matériaux à retenir à leur surface des molécules (gaz, ions métalliques, molécules organiques, etc.) de manière plus ou moins réversible [24].

I.4.2.2. Coagulation / floculation / sédimentation et la filtration

La coagulation / floculation / sédimentation et la filtration sont des procédés physicochimiques couramment employés dans le traitement des colorants. La coagulation/floculation implique l'addition de produits chimiques pour altérer l'état physique des solides dissous ou en suspension pour faciliter leur élimination par sédimentation. Après l'étape de coagulation-floculation, les floes formés sont séparés par sédimentation (décantation). Les particules sédimentées sont éliminées périodiquement et l'eau clarifiée passe à travers un filtre pour éliminer les matières restées en suspension [25].

➤ **La coagulation:**

La coagulation est par définition le phénomène de déstabilisation des particules colloïdales, qui peut notamment être obtenu par neutralisation de leurs charges électriques. Le produit utilisé pour cette neutralisation est appelé : coagulant. Les coagulants les plus communément employés dans la pratique se limitent au : sulfate d'aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, chlorure ferrique FeCl_3 , sulfate de fer FeSO_4 et sulfate ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Dans des cas particuliers, il est fait appel à : l'aluminate de soude NaAlO_2 , la chaux CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pour attaquer la structure des matières à précipiter et favoriser ainsi la création d'un système moins stable susceptible d'être définitivement précipité par les réactifs précédents [26].

➤ **La floculation**

C'est l'agrégation des particules déchargées par transport et mise en contact les unes avec les autres. Elle conduit à la formation des flocons ou flocs, capables d'être retenus dans une phase ultérieure du traitement de l'eau. On peut distinguer les floculants par leur nature (minérale ou organique), leur origine (synthétique ou naturelle) et le signe de leur charge électrique (anionique, cationique, non ionique). Parmi les floculants, on peut citer : les floculants minéraux et les floculants organiques.

La silice activée : c'est le premier floculant employé ; C'est encore actuellement celui qui peut donner les meilleurs résultats, principalement si on l'utilise conjointement avec du sulfate d'aluminium.

Les autres floculants minéraux : on peut citer, certaines argiles, le carbonate de calcium précipité, le charbon actif en poudre, le sable fin...etc.

Les floculants organiques : certains sont fabriqués à partir de produits naturels : ce sont les alginates (extraits d'algues), les amidons (extraits de graines végétales), certains dérivés de la cellulose, certaines gommes...etc. D'autres floculant sont entièrement synthétisés. On distingue d'une part, les polyacrylamides à longue chaîne et à haute masse molaire, et d'autre part, les polyamines qui ont en général des chaînes plus courtes et de masses molaires plus basses. La séparation solide-liquide du floc formé et de l'eau peut se faire par filtration, par décantation ou flottation. Récemment, des polymères organiques développés à cet effet se sont avérés très efficaces en tant que coagulants des colorants même pour les colorants réactifs, avec une faible production de boues. Cependant, la majorité des polymères utilisés pour l'élimination des colorants sont cationiques (exemple : le colfloc RD, son effet est de coaguler les composées aromatiques, il est spécifique pour les colorants réactifs) ; et peuvent être très toxiques pour la vie aquatique à de faibles concentrations (moins de 1 mg.l^{-1}) [27,28].

I.4.2.3. Procédés membranaires

L'usage de la technologie des membranes est désormais proposé comme une option de substitution à la floculation, l'adsorption, l'extraction et la distillation. Grâce à leur capacité à éliminer efficacement les polluants organiques macros et micros, les processus membranaires prennent une importance croissante dans la réutilisation des eaux usées [29].

I.4.3. Procédés d'oxydation

I.4.3.1. Chloration

Le chlore gazeux et l'hypochlorite sont les espèces chlorées les plus couramment utilisées. Des recherches mentionnent également l'oxydation chimique des substances pharmaceutiques présentes dans les colorants, visant à les transformer en composés biodégradables et moins toxiques avant leur traitement biologique. Comme par exemple, la dégradation des sulfamides et du triméthoprimé à une concentration de 50 µg/L a été étudiée en présence de 1 mg/L de Cl₂ [30]. L'oxydation au moyen du chlore présente une efficacité supérieure à 90%, cependant, les chercheurs ont observé la création de sous-produits chlorés qui pourraient être plus toxiques que les composés visés.

I.4.3.2. Procédés d'oxydation avancée (POAs)

Les POAs représentent les techniques d'oxydation les plus performantes et écologiques. Ces dernières ont été conçues principalement pour supprimer les produits organiques persistants, non biodégradables et toxiques [31]. Les POAs s'appuient sur la production efficace et localisée de radicaux hydroxyles ([•]OH), des oxydants très réactifs et non discriminatoires, qui peuvent mener à une minéralisation totale des polluants en CO₂ et H₂O [32].

Les paragraphes suivants présentent une description détaillée sur les différents procédés d'oxydations avancées.

I.5. Types des procédés d'oxydations avancées

Il est connu que depuis trois décennies, des recherches ont été menées afin de concevoir des technologies plus performantes pour l'élimination complète des polluants organiques persistants présents dans les eaux usées. Ils conviennent pour le traitement des eaux usées lorsque la DCO ≤ 5 g.L⁻¹, l'oxydation humide est optimale pour des valeurs de DCO comprises entre 20 et 200 g.L⁻¹ et au-delà de 200 g.L⁻¹.

Les POAs utilisent des radicaux hydroxyles pour oxyder efficacement les polluants organiques, même les plus récalcitrants. D'autres radicaux oxygénés contribuent également à cette oxydation.

Les procédés d'oxydation avancée les plus utilisés incluent des combinaisons de H₂O₂, d'ozone, de rayonnement UV et de dioxyde de titane, ainsi que les systèmes Fenton et Photo-Fenton. Ces méthodes visent principalement la minéralisation complète des polluants en CO₂, H₂O et composés inorganiques. En cas de charges polluantes élevées, elles permettent au moins une réduction

significative de la concentration des contaminants. Comme toute technologie, elles présentent des avantages notables mais aussi certaines limites.

Les POAs offrent un traitement efficace et sans production de résidus secondaires, opérant à température et pression ambiantes, avec une bonne adaptabilité aux variations des effluents. Toutefois, leur coût élevé et leur sensibilité à divers paramètres opérationnels limitent leur application à grande échelle.

I.5.1. Procédés photochimiques

Les rayonnements ultraviolets sont très utilisés dans le traitement des eaux, soit seuls, soit combinés à des systèmes oxydants, principalement le peroxyde d'hydrogène, l'ozone, le réactif de Fenton ou les semi-conducteurs.

I.6.1.1. Irradiation UV (la photolyse)

La photolyse permet la dégradation de polluants via l'absorption de lumière, mais peut générer des sous-produits toxiques. Son efficacité dépend de nombreux facteurs (type de contaminant, rayonnement, matrice), et les tests doivent être validés sur des eaux réelles.

I.6.1.2. UV/H₂O₂

L'ajout de H₂O₂ en photolyse améliore nettement l'oxydation grâce à la génération rapide de radicaux hydroxyle sous rayonnement UV (200–280 nm), initiant des réactions radicalaires efficaces (Fig I.5.).

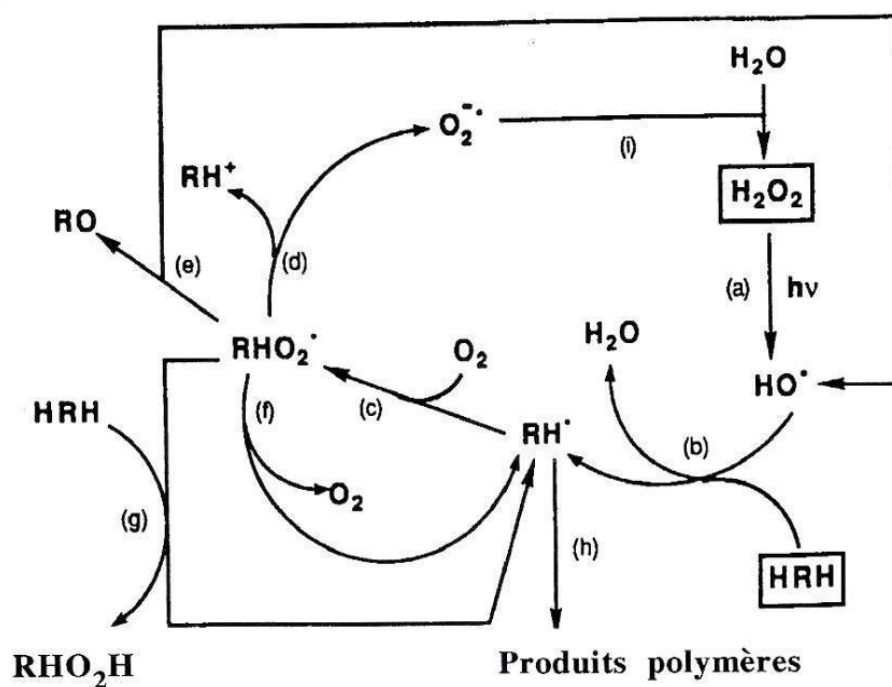


Figure I.5. Mécanisme réactionnel du procédé H₂O₂/UV.

I.5.2. Procédés utilisant l'ozone

I.5.2.1. l'ozonation (O_3)

L'ozone, oxydant puissant (2,07 V/ENH), est utilisé pour le traitement des eaux, notamment pour la dégradation des colorants synthétiques. Toutefois, son instabilité exige une production sur site. Certains composés organiques résistent à l'oxydation directe par l'ozone mais réagissent efficacement avec les radicaux hydroxyles ($\cdot OH$). Ainsi, l'ozonation est souvent couplée à l'UV et/ou au H_2O_2 pour favoriser des mécanismes radicalaires plus efficaces.

I.5.2.2. O_3 / H_2O_2

L'ajout de H_2O_2 accélère la décomposition de l'ozone en solution, favorisant la formation de radicaux hydroxyles. Le procédé couplé O_3/H_2O_2 , appelé Peroxone, est largement utilisé pour le traitement des eaux, notamment celles peu perméables aux UV.

I.5.2.3. O_3 / UV

Depuis les années 1970, le procédé O_3/UV s'est développé pour assurer l'oxydation efficace des composés organiques réfractaires ainsi que la désinfection microbiologique des eaux (Figure I.6.).

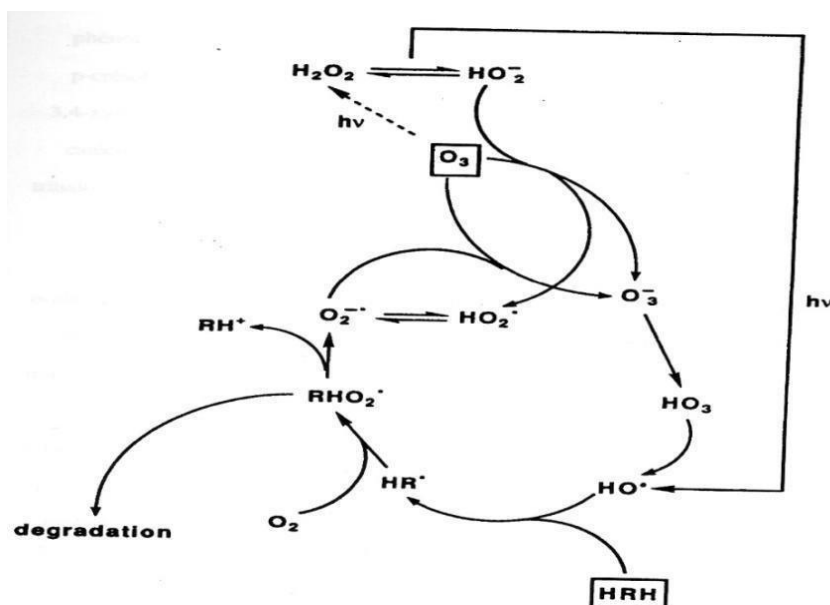


Figure I.6. Mécanismes réactionnels des procédés O_3/UV .

I.5.2.4 $O_3/H_2O_2/UV$

L'ozonation couplée à la fois à l'UV et au H_2O_2 améliore significativement la génération des radicaux hydroxyles, favorisant une meilleure décomposition de l'ozone. Ce procédé est efficace pour traiter des eaux usées variées, mais son coût élevé limite son application à des cas spécifiques.

I.5.3. Procédés basés sur l'utilisation de semi-conducteurs (la photocatalyse)

La photocatalyse hétérogène, appartenant aux POAs, utilise un semi-conducteur activé par UV ($\lambda < 400$ nm) pour générer des radicaux $\cdot\text{OH}$ capables d'oxyder les polluants. La version solaire de ce procédé constitue une alternative prometteuse, économique et durable pour le traitement des eaux

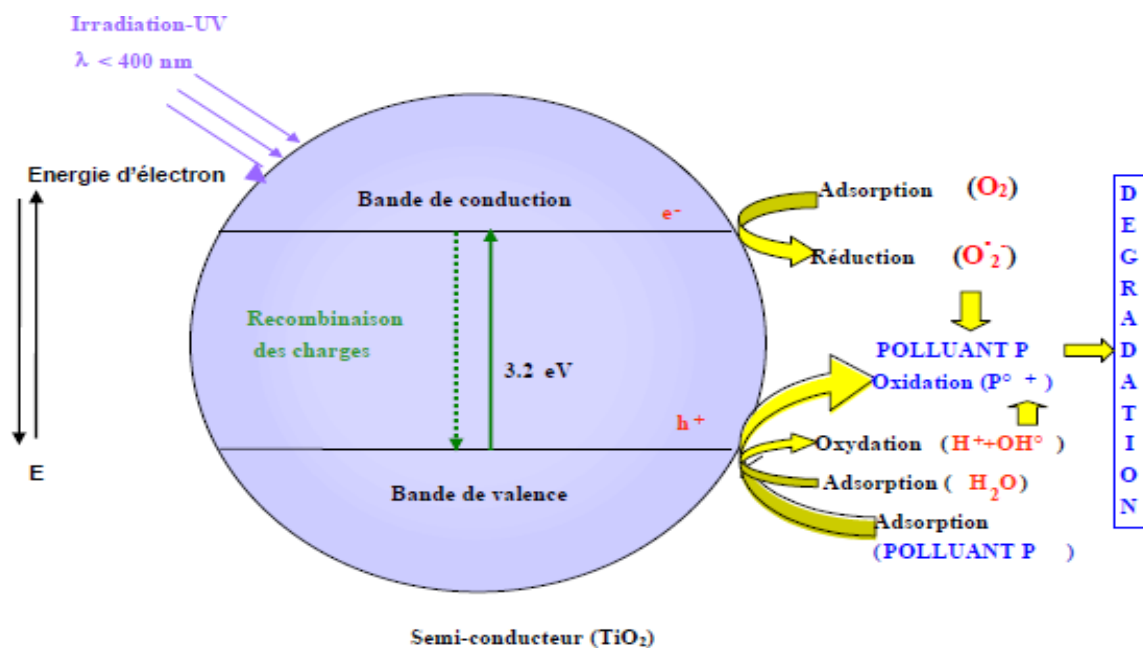


Figure I.7. Principe de la photocatalyse

I.5.4 Procédés basés sur le réactif de Fenton

Le réactif de Fenton n'a été utilisé pour l'oxydation de composés toxiques qu'à partir des années 1960. Le procédé repose sur l'association $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$, et a évolué vers des variantes plus performantes comme le Photo-Fenton et l'Electro-Fenton, visant à améliorer l'efficacité et à réduire les coûts.

I.5.4.1 $\text{Fe}^{2+} / \text{H}_2\text{O}_2$

Dans le procédé de Fenton, les radicaux $\cdot\text{OH}$ oxydent les polluants organiques dissous, tandis que le fer(III) régénère lentement le fer(II) en milieu acide. Cependant, un excès de réactifs diminue l'efficacité du système en consommant les radicaux formés. Pour optimiser la régénération du fer et réduire les coûts, des variantes comme les procédés Photo-Fenton et Electro-Fenton ont été développées.

I.5.4.2 Photo-Fenton :

Le procédé Photo-Fenton, plus performant que le Fenton classique, utilise une irradiation UV ($\lambda > 300$ nm) pour régénérer in situ le fer(II) à partir du fer(III), ce qui augmente la production de radicaux $\cdot\text{OH}$. Ce mécanisme réduit les réactions parasites et améliore l'efficacité globale du traitement, notamment en milieu très acide où se forment les complexes photoactifs.

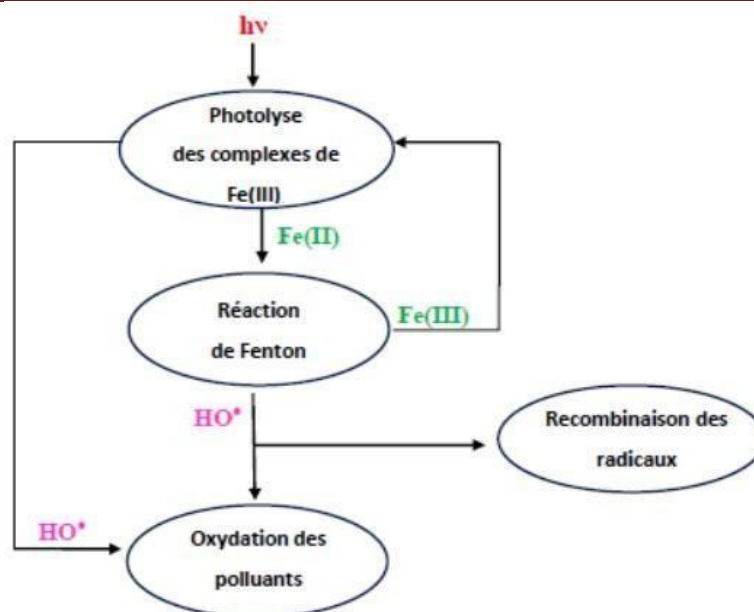


Figure I.8. Principe de la réaction photo-Fenton

I.5.4.3 Electro-Fenton :

Le procédé Electro-Fenton permet la génération in situ du fer(II) et du H_2O_2 via des réactions électrochimiques, en contrôlant le potentiel de la cathode. Cette approche assure une production continue de radicaux $\cdot\text{OH}$ tout en limitant les réactions compétitives, améliorant ainsi l'efficacité du traitement. Des cathodes en carbone sont fréquemment utilisées pour la réduction du fer(III).

I.5.5. Les Procédés d'oxydation avancée électrochimiques (POAEs)

Les POAEs, en particulier le procédé Electro-Fenton, utilisent des radicaux $\cdot\text{OH}$ pour dégrader efficacement les polluants organiques grâce à une synergie entre l'oxydation anodique, le H_2O_2 et le Fe^{2+} . Comme le montre le tableau suivant [33].

Oxydation Anodique (OA)	Oxydation de l'eau à la surface de l'anode: $M + H_2O \rightarrow M(\cdot OH) + H^+ + e^-$
Oxydation Anodique avec H_2O_2 électro-généré (OA- H_2O_2)	Réaction d'OA + H_2O_2 électro-généré à la cathode : $O_2(g) + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O_2$
Electro Fenton (EF)	Réaction d'OA OA- H_2O_2 + Réaction de Fenton : $Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + \cdot OH + OH^-$ Réaction de Fe^{3+} en Fe^{2+} à la cathode : $Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$

Tableau I.1. Les POAEs les plus connus et leurs principales réactions

I.6. La spectrophotométrie UV-Visible

Au sein d'une molécule, les transitions électroniques dans l'ultraviolet et le visible impliquent les énergies les plus significatives en chimie, variant d'environ 13000 à 50000 cm^{-1} , ce qui correspond à des valeurs comprises entre 160 et 665 $kJ.mol^{-1}$.

L'ordre de grandeur des énergies impliquées correspond à celui des énergies de liaison des molécules, et ces rayonnements peuvent parfois entraîner des ruptures de liaisons. Plus généralement, ils induisent des transitions électroniques entre les divers niveaux d'énergie des molécules. Cette méthode est qualitative et permet d'identifier une substance chimique ainsi que de déterminer la concentration d'un soluté dans une solution, par l'interaction des électrons des molécules du soluté (appelé chromophore) avec la lumière [34].

Lorsqu'un faisceau d'intensité I_0 traverse une solution contenant un chromophore, celui-ci absorbe certaines longueurs d'onde plus que d'autres et restitue une intensité I du faisceau initial. Le dosage des solutions colorées est réalisé par spectrophotométrie dans le domaine visible à une longueur d'onde spécifique, en s'appuyant sur la loi de Beer-Lambert.

Le dosage des solutions colorées s'effectue par spectrophotométrie dans le domaine visible à une longueur d'onde spécifique, en s'appuyant sur la loi de Lambert-Beer.

$$A = \log(I_0/I) = \varepsilon \cdot C \cdot l$$

Avec:

A : absorbance sans unité.

I_0 : intensité lumineuse incidente (avant interaction avec le soluté).

I : intensité lumineuse transmise.

ϵ : coefficient d'extinction molaire (dépend de la longueur d'onde).

l : longueur du trajet optique (en cm).

C : concentration du soluté (l'unité dépend de celle du coefficient d'extinction) [35].

Chapitre II

Partie I: Partie expérimentale

I. Matériels et Méthodes d'analyse

Dans ce chapitre, nous présenterons les réactifs, le dispositif et le protocole expérimental Ainsi que les méthodes et les techniques d'analyse utilisée au cours de ce travail de recherche.

Nous avons joué sur différents paramètres tels que, la concentration initiale de rouge méthyle, l'influence de la nature de l'anode et l'influence de l'air (barbotage). En plus influence de l'ajout de FeCl_3 dans la solution.

I.1. Matériels utilisés

- Pompe d'air
- Electrode en acier XC38
- Electrode en graphite
- Agitateur magnétique
- Générateur de courant

I.2. Réactifs chimiques utilisés

Dans cette étude on a utilisé un colorant c'est le rouge de méthyle.

Le rouge de méthyle est un colorant azoïque constitué d'acide benzoïque substitué en position 2 par un groupe 4-[(diméthylamino)phényl]diazényle. Il agit en tant que colorant. Il appartient à la famille des azobenzènes, est classé comme un acide monocarboxylique et constitue un composé aminé tertiaire. Il représente l'acide conjugué d'un rouge de méthyle [36]. Il existe sous forme de poudre rouge foncée [37].

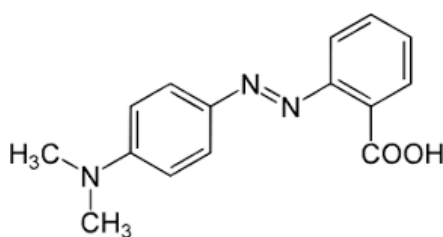


Figure II.1. Structure chimique du rouge de méthyle (RM)

I.3. Cellule électrochimique

La dégradation de colorant sous investigation est effectuée par le procédé électrochimique dans une cellule électrolytique non divisée maintenue sous agitation au moyen d'un agitateur magnétique.

Une Cathode composée de 3 cylindres en graphite (dans la première partie de ce travail), récupérés à partir de piles usagées [38].



Figure II.2. Electrode de graphite

- Une Anode en acier XC38 (dans la première partie de ce travail) dont les dimensions sont (3cm x 3cm).



Figure II.3. Electrode Acier XC38

Les deux électrodes placées en opposition l'une contre l'autre à une distance entre électrodes de 1 cm sont connectées à un générateur de courant **Netzgerat PHYWE**

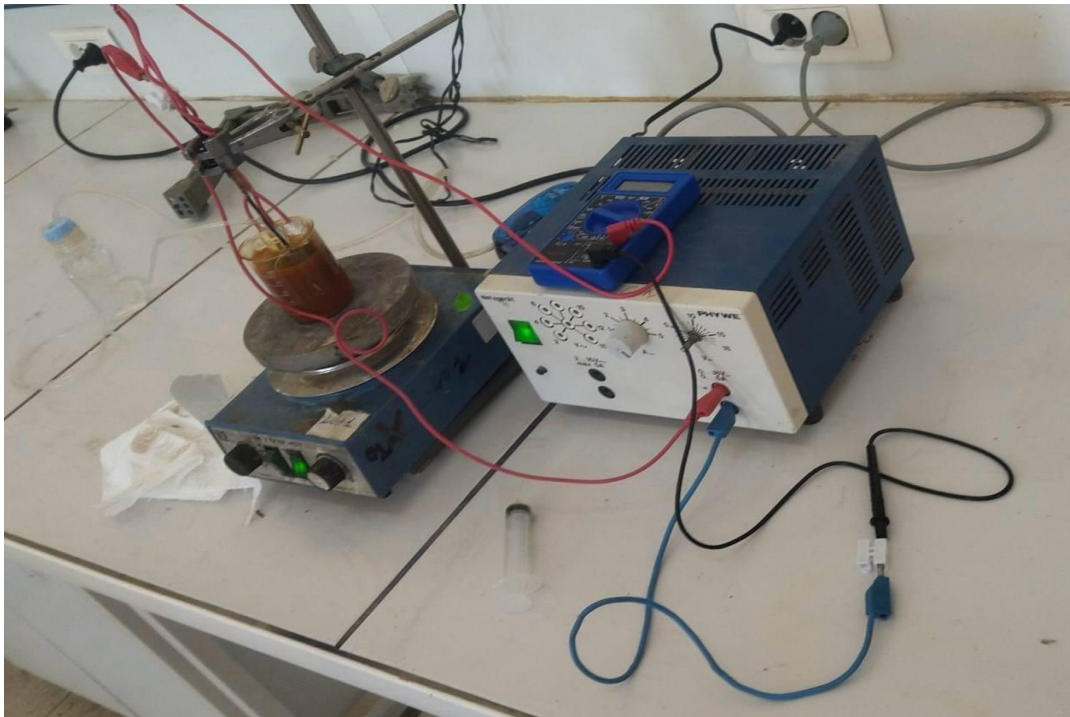


Figure II.4. Montage électrochimique de dégradation

I.4. Préparation des solutions

Durant ce travail, toutes les solutions ont été préparées avec de l'eau distillée. La pesée a été effectuée avec une balance de précision (10^{-4} g) et de marque **DENVER INSTRUMENT**[39].



Figure II.5. Balance Analytique

Préparation des solutions filles

Pour tracer la droite d'étalonnage et faire l'étude de dégradation du notre colorant, nous avons Préparé plusieurs solutions filles à partir de la solution mère :

La solution mère a une concentration de 50 mg/L.

Les solutions filles sont préparées par simple dilution : $S_1= 5$ mg/L, $S_2= 10$ mg/L, $S_3=20$ mg/L, $S_4= 25$ mg/L, $S_5= 30$ mg/L et $S_6= 40$ mg/L.



Figure II.6. Exemple des solutions du colorant

I.5. Spectrophotométrie UV-visible

Le spectrophotomètre UV-Visible utilisé dans cette étude est un appareil de Marque **Agilent Cary UV-Vis Multicell Peltier** mono-faisceau. Les cuves utilisées pour les mesures sont en Quartz de dimensions $l=1\text{cm}$. Nos mesures ont été faites sur des solutions préparées à partir d'une solution mère du **Rouge Méthyl** ($\lambda_{\text{max}}=435\text{nm}$) [40]



Figure II.7. Spectrophotomètre UV-Visible utilise lors de la réalisation de cette étude



Figure II.8. Préparation des échantillons avant de faire les analyses

Partie II : Résultats et discussions

Dans le but de voir l'influence de plusieurs paramètres sur la dégradation et la minéralisation de notre colorant par voie électrochimique. Plusieurs expériences ont été faite et différents paramètres ont été testés tels que : l'influence de la concentration initiale, influence du barbotage, influence de la nature de l'électrode,

II.1. Courbe d'étalonnage

Pour établir la courbe d'étalonnage, le domaine des concentrations en colorant variait entre 5 et 50 mg/L.

Pour chaque concentration on a mesuré l'absorbance et on a tracé la courbe d'étalonnage présenté dans la figure II.9.

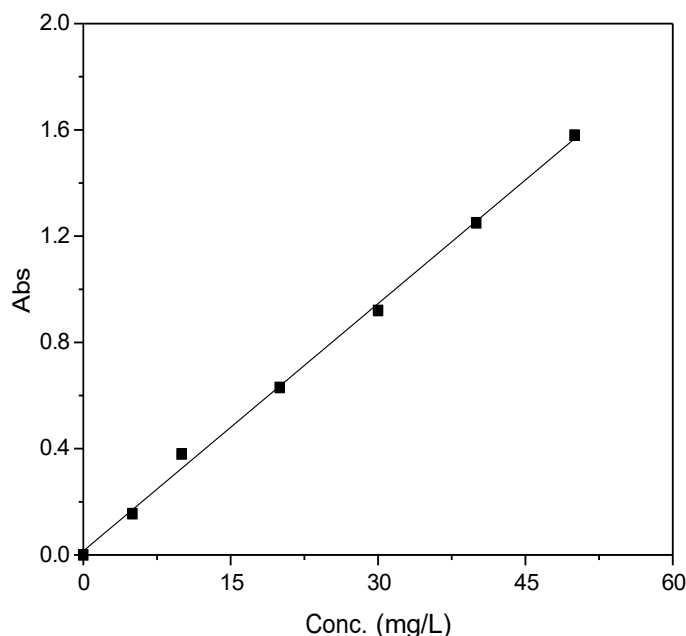


Figure II.9. Courbe d'étalonnage obtenue pour le dosage du **RM** par UV /Visible.

En se servant de la loi de Beer–Lambert, on remarque clairement que la linéarité est vérifiée dans le domaine de concentration exploré avec une équation :

$$\text{Abs} = 0.031 C \quad R^2=0,998$$

II.1. Etude de dégradation par anode en acier XC38

II.1.1. Influence de la concentration initiale

Dans le but de voir l'influence de la concentration initiale sur la dégradation électrochimique du colorant **RM**, une série de manipulations ont été établies et les mesures des absorbances après différents temps d'immersion ont été déterminées sans barbotage et avec barbotage de l'oxygène dans le système. Les figures suivantes présentent les résultats ainsi obtenus.

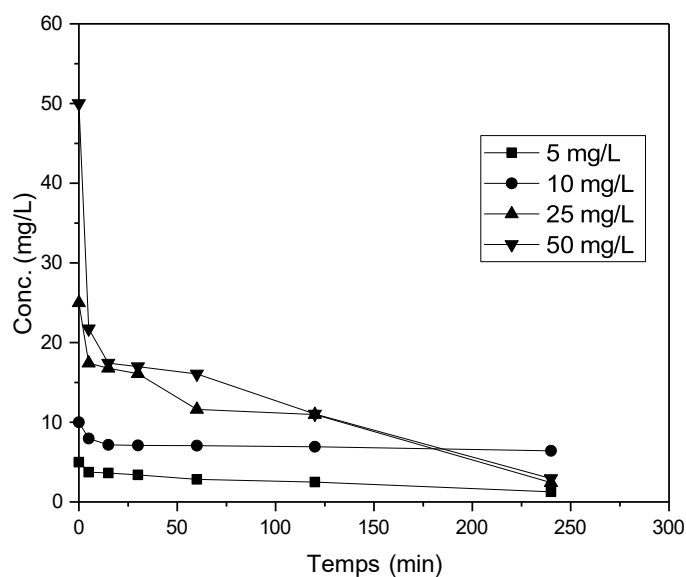


Figure II.9a. Influence de la concentration initiale sur la dégradation sans barbotage

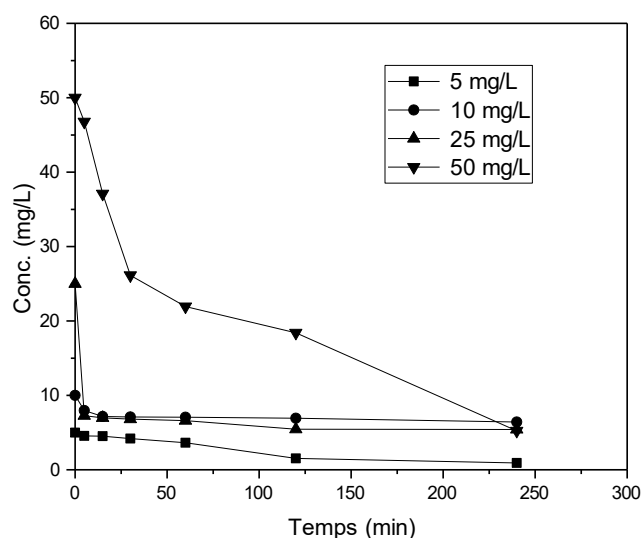


Figure II.9b. Influence de la concentration initiale sur la dégradation avec barbotage

D'après ces deux figures, on remarque que, plus la concentration initiale du colorant est élevée, plus il y a de molécules disponibles pour réagir. À faible concentration, la quantité d'espèces réactives formées insuffisants à dégrader donc le rendement diminue. On remarque en plus que, la dégradation du colorant est presque totale et rapide à 240 min pour les concentrations 25 et 50 mg/L avec une décoloration complète.

La dégradation atteint 96 % et 94 %, successivement reflétant la génération optimale de radicaux $\cdot\text{OH}$, cela peut être compris par le fait que l'accumulation de radicaux hydroxyles produits dans ces conditions du système est suffisante pour éliminer les fortes concentrations du contaminant.

D'une manière générale et d'après ces deux figures, on remarque clairement que la dégradation se déroule que ce soit avec ou sans barbotage.

Il est à noter dans ce contexte qu'on peut calculer les rendements de dégradation en se servant de formule suivante :

$$R (\%) = \frac{c_0 - c}{c_0} \times 100$$

Le tableau II.1. regroupe les résultats obtenus.

Tableau II.1. Rendement de dégradation en fonction du temps avec et sans barbotage pour l'anode XC38

Conc. initiale (mg/L)	Temps (min.)	Avec barbotage	Sans barbotage
		R (%)	R (%)
5 mg/L	0	0	0
	5	25.2	9
	15	27.2	9.8
	30	32.2	16.2
	60	43.4	27.2
	120	50	69.4
	240	74.6	81.6
10 mg/L	0	0	0
	5	9	54.5
	15	9.8	54.9
	30	16.2	58.1
	60	27.2	63.6
	120	69.4	84.7
	240	81.6	90.8
25 mg/L	0	0	0
	5	30.3	70.9
	15	32.9	81.9
	30	35.6	83.2
	60	53.6	85.4
	120	56.2	93.9
	240	90.3	96.3
50 mg/L	0	0	0
	5	56.5	6.4
	15	65.2	25.8
	30	66.1	47.7
	60	67.8	56.1
	120	77.9	63.2
	240	94.1	89.5

II.1.1. Influence du barbotage sur la dégradation

Pour mieux comprendre l'influence du paramètre de barbotage sur la dégradation on a fait une comparative pour chaque concentration initiale en présence et en absence de barbotage, donc un ensemble d'expériences a été réalisé afin de déterminer l'effet de la concentration de l'oxygène dissous dans la solution du **RM** sur l'efficacité de dégradation électrochimique. Les résultats obtenus sont représentés dans les figures suivantes :

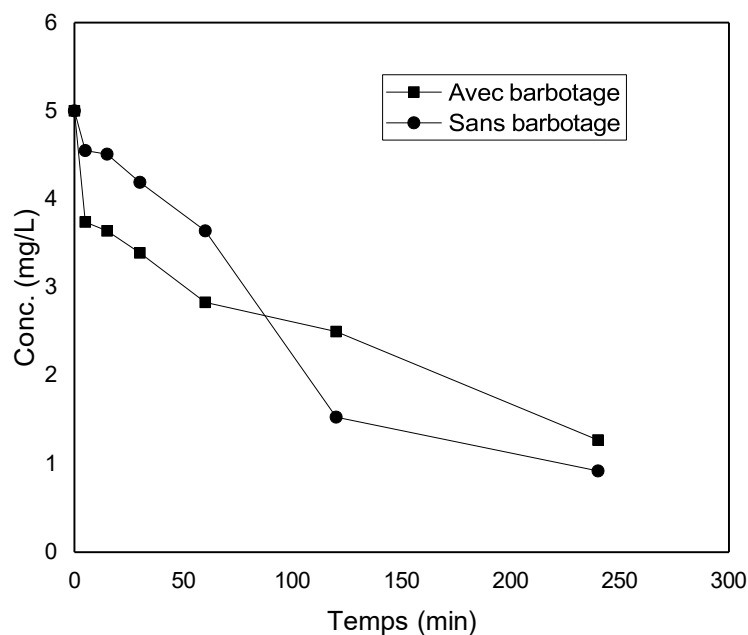


Figure II.10a. Influence du barbotage sur la dégradation pour la concentration initiale **5 mg/L**

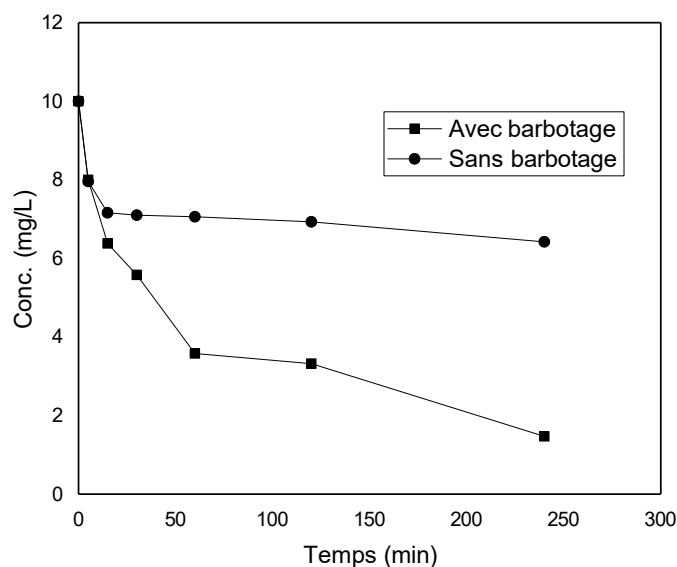


Figure II.10b. Influence du barbotage sur la dégradation pour la concentration initiale **10 mg/L**

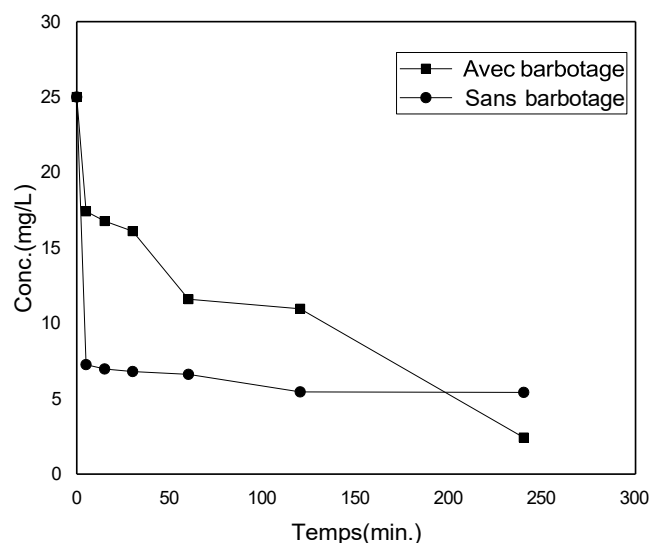


Figure II.10c. Influence du barbotage sur la dégradation pour la concentration initiale **25mg/L**

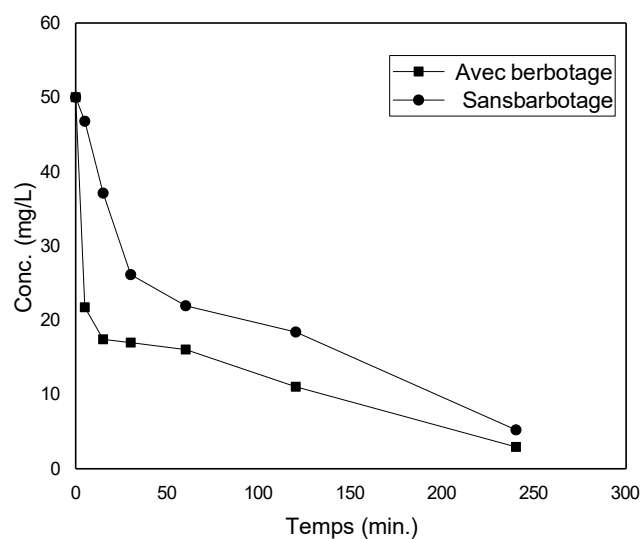


Figure II.10d. Influence du barbotage sur la dégradation pour la concentration initiale **50 mg/L**

D'après les figures ci-dessus, on remarque que pour la concentration initiale 5 mg/L la dégradation se fait progressivement avec ou sans barbotage avec un avantage dans les temps immersion élevées en absence de l'oxygène. Pour la concentration 10 mg/L, on remarque clairement que la dégradation est nettement mieux en présence du barbotage par rapport à son absence, tandis que à la concentration 25 mg/L l'avantage est donne à la condition de sans barbotage. Enfin, pour la concentration la plus élevée (50 mg/L), on remarque qu'il n'y a pas une très grande différence dans la dégradation que ce soit en en présence ou en absence de barbotage.

II.2. Etude de dégradation par anode en graphite

II.2.1. Influence de la concentration initiale

Dans le but de voir l'influence de la nature de l'anode sur le phénomène de dégradation on permute dans le même dispositif expérimental entre l'anode et la cathode. Dans les manipes qui ce suit c'est une anode en graphite qui a été utilisée pour faire la dégradation électrochimique sur deux concentrations initiales 10 et 50 mg/L. Les mesures des absorbances après différents temps d'immersion ont été déterminées sans barbotage et avec barbotage de l'oxygène dans le système. Les résultats obtenus sont présentés dans les figures suivantes.

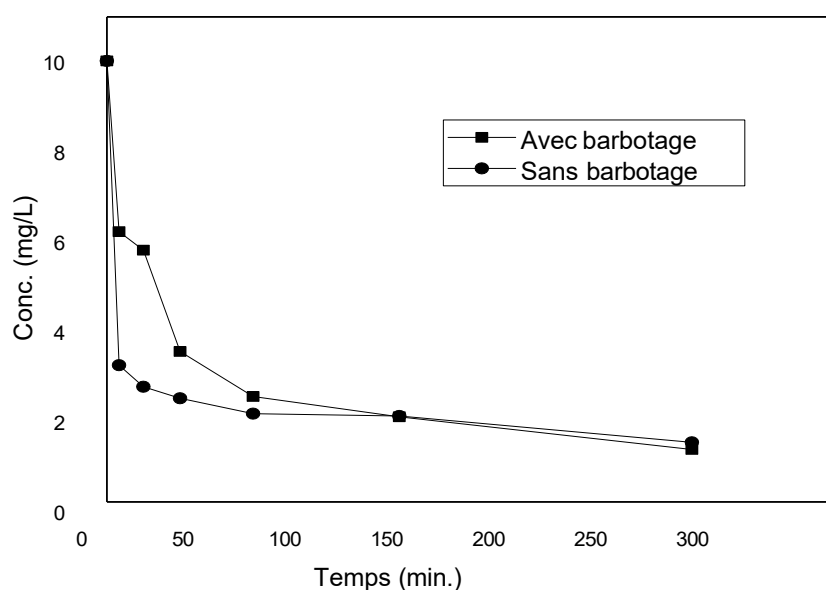


Figure II.11a. Influence du barbotage sur la dégradation pour la concentration initiale **10 mg/L**

D'après ces figures on remarque clairement que pour ce type d'anode le barbotage n'a pas une grande influence sur la dégradation. Pour la concentration 10mg/L et en absence de barbotage on remarque que la dégradation se fait mieux même à faible temps d'expositions. Pour la deuxième concentration la dégradation est meilleure à partir des très faibles temps d'expositions (5min).

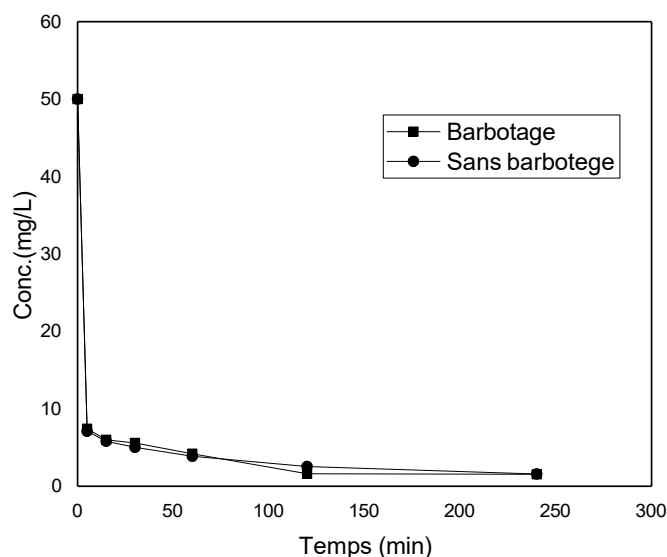


Figure II.11b. Influence du barbotage sur la dégradation pour la concentration initiale **50 mg/L**
De la même façon que l'étape précédente on a calculé les rendements de dégradation et les résultats obtenus sont présentés dans le tableau II.2.

Tableau II.2. Rendement de dégradation en fonction du temps avec et sans barbotage pour l'anode graphite

Conc. initiale (mg/L)	Temps (min.)	Avec barbotage	Sans barbotage
		R (%)	R (%)
10 mg/L	0	0	0
	5	38.7	69
	15	42.9	73.9
	30	65.9	76.5
	60	76.1	80
	120	80.7	80.5
	240	88.1	86.5
50 mg/L	0	0	0
	5	85.2	85.8
	15	88.0	88.4
	30	88.8	89.9
	60	91.6	92.3
	120	96.8	94.9
	240	96.9	96.8

D'après les résultats de ce tableau, on peut dire pour la concentration de 10 mg/L les valeurs de rendement augmentent progressivement pour atteindre les valeurs 86-88% que ce soit en présence ou en absence de barbotage. Par contre, pour la concentration de 50mg/L dès le début et pour les faibles temps de dégradation les rendements dépassent les 85% pour atteindre les 97% après 4h (240 min) de dégradation. D'une manière globale on constate que le barbotage n'a pas d'influence sur la dégradation.

II.2.1. Influence de l'ajout de FeCl_3

Dans le but de déterminer l'influence de l'ajout des ions Fe^{3+} sur la dégradation du Rouge de méthyle en présence et en absence de barbotage. Sur une concentration de 10 mg/L (un volume de 200 mL) on a ajouté une 20 mg de FeCl_3 . Des prélèvements à différents temps ont été faits et des mesures d'absorbance par UV-Visible ont été établies. Les résultats obtenus sont représentés sur les Figures II.12a et Figures II.12b.

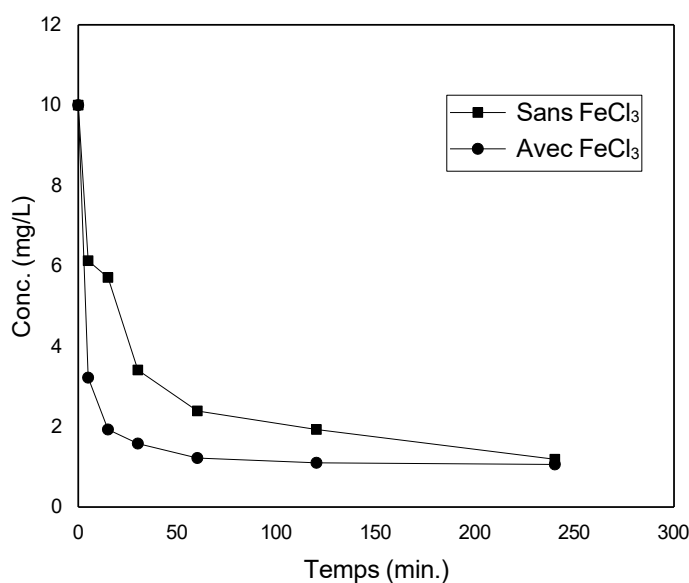


Figure II.12a Influence de FeCl_3 sur la dégradation en présence de barbotage

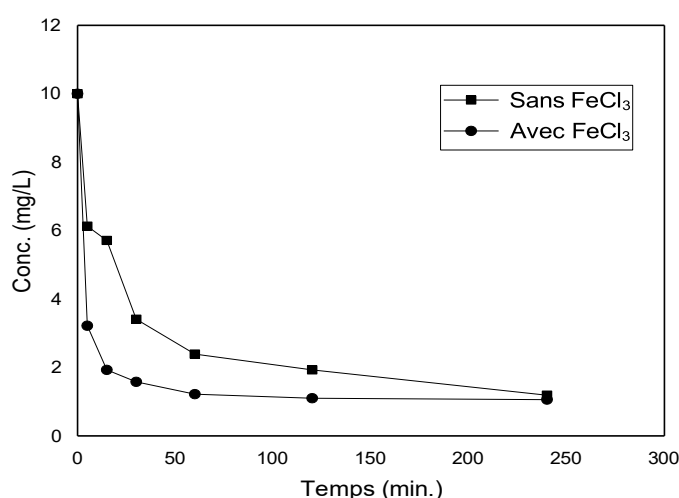


Figure II.12b. Influence de FeCl_3 sur la dégradation en absence de barbotage

Il faut noter dans ce contexte qu'une attention particulière doit être accordée aux interactions entre les sels et les radicaux hydroxyles qui se forment à la surface de l'anode. Par conséquent, divers électrolytes ont été analysés pour leur efficacité dans l'élimination des colorants via la dégradation électrochimique. La présence d'ions chlorure et des ions Fe^{3+} permettent d'accroître l'efficacité de

la dégradation du colorant.

On remarque clairement que la dégradation a nettement augmenté en présence de FeCl_3 que ce soit avec ou sans barbotage comparativement avec la même concentration initiale 10 mg/L (section précédente). Les résultats des rendement ainsi obtenus sont présentés dans le Tableau II.3.

Tableau II.3. Rendement de dégradation en fonction du temps avec et sans barbotage pour l'anode graphite en présence de FeCl_3

	Avec barbotage	Sans barbotage
Temps (min.)	R (%)	R (%)
0	0	0
5	38.7	67.8
15	42.9	80.7
30	65.9	84.2
60	76.1	87.8
120	80.7	89.0
240	88.1	89.4
0	0	0
5	69	83.9
15	73.9	85.5
30	76.5	87.4
60	80	87.8
120	80.5	91.3
240	86.5	91.9

II.3. Modélisation cinétique de la dégradation électrochimique

La cinétique de la dégradation du rouge de méthyle a été analysée avec trois modèles (zéro, premier et second ordre). La conformité entre les données expérimentales et le modèle prédit se traduit par les valeurs des coefficients de détermination (R^2) ; ainsi, la valeur de R^2 la plus proche de l'unité (généralement $> 0,95$) indiquera le modèle adéquat pour décrire correctement le modèle cinétique.

D'une manière globale la vitesse de dégradation est donnée par la formule :

$$V = -\frac{dC}{dt} = kC^\alpha$$

Pour l'ordre zéro ($\alpha=0$), on a l'équation : $C_0 - C = kt$

Pour l'ordre 1 ($\alpha=1$), on a l'équation : $\ln \frac{C_0}{C} = kt$

Pour l'ordre 2 ($\alpha=2$), on a l'équation : $\frac{1}{C_0} - \frac{1}{C} = kt$

Les figures suivantes présentent les différents modèles cinétiques en présence et en absence du barbotage.

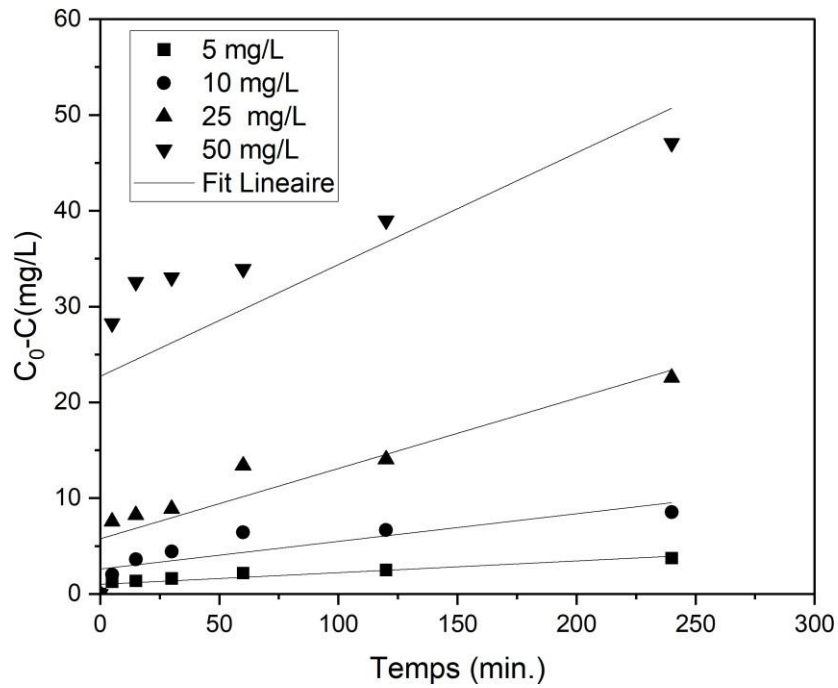


Figure II.13a. Modèle cinétique d'ordre zéro avec barbotage

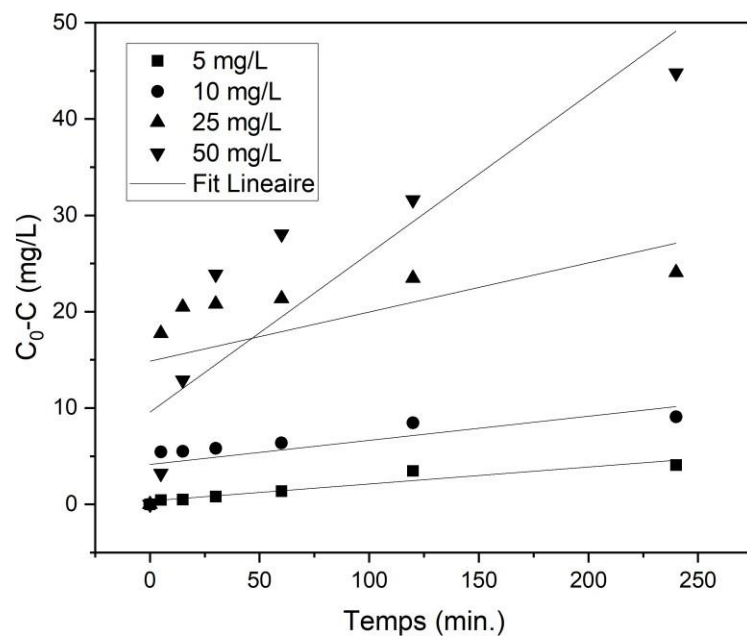


Figure II.13b. Modèle cinétique d'ordre zéro sans barbotage

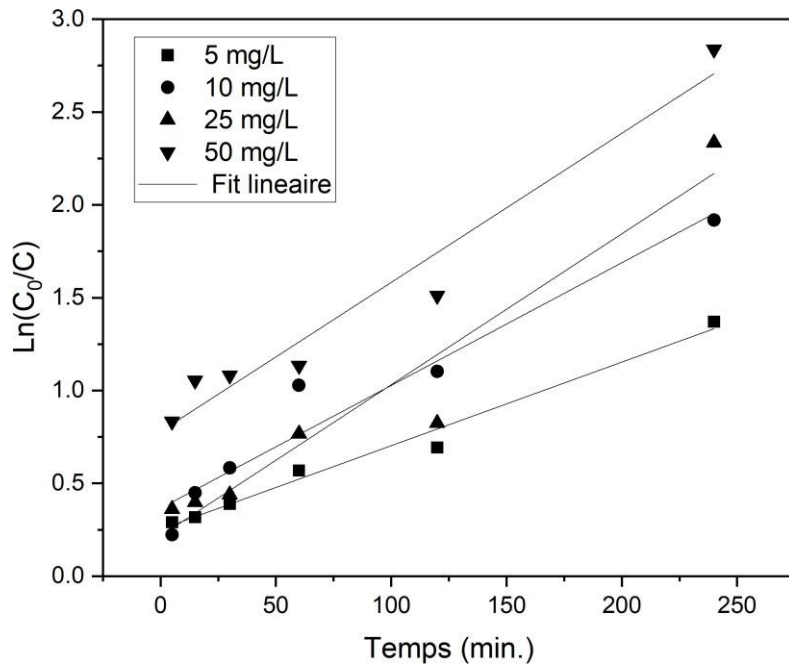


Figure II.13c. Modèle cinétique d'ordre 1 avec barbotage

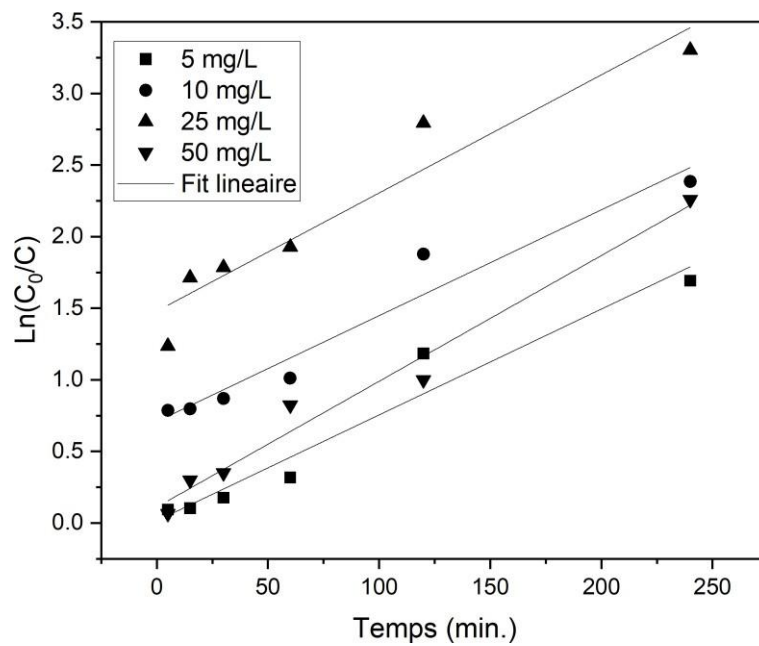


Figure II.13d. Modèle cinétique d'ordre 1 sans barbotage

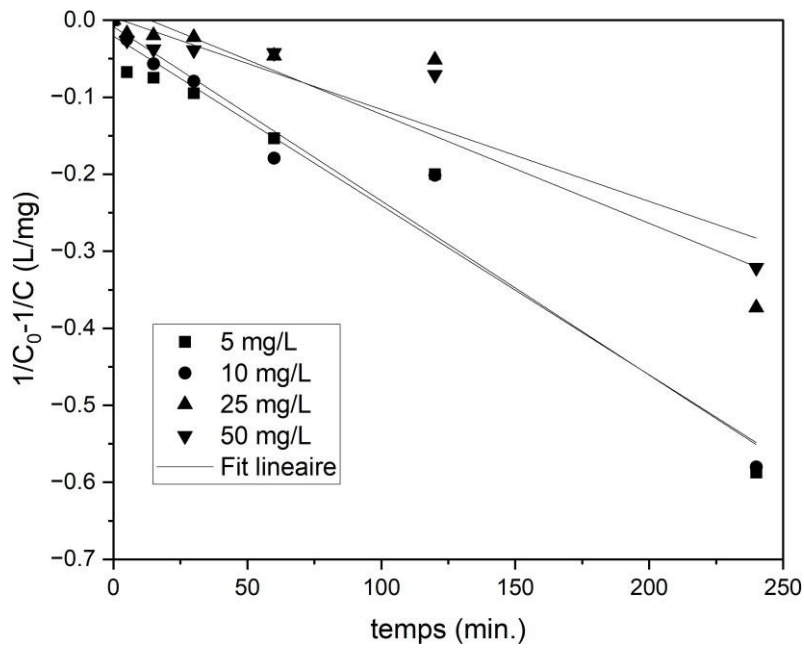


Figure II.13e. Modèle cinétique d'ordre 2 avec barbotage

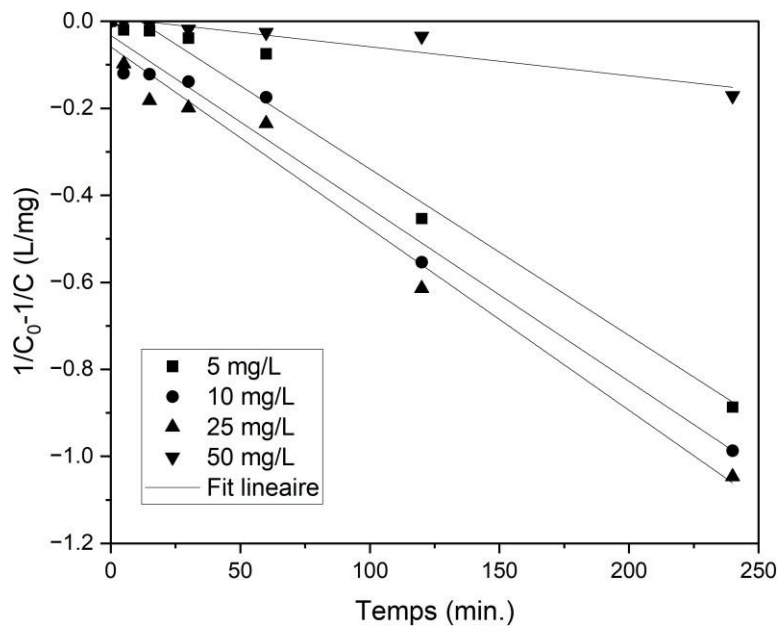


Figure II.13f. Modèle cinétique d'ordre 2 sans barbotage

L'ensemble des paramètres cinétiques déterminés à partir de ces modèles ainsi que les coefficients de corrélation (R^2) sont rassemblés dans le Tableau II.4. (Avec barbotage) et le Tableau II.5. (Sans barbotage).

Tableau II.4. Analyse cinétique des résultats expérimentaux avec barbotage

	Ordre cinétique					
	Ordre 0		Ordre 1		Ordre 2	
Conc.	k (mg/L.min)	R ²	k (min ⁻¹)	R ²	k (L/mg.min)	R ²
5 mg/L	1	0,82	0,25	0,98	-0,0022	0,90
10 mg/L	2,55	0,72	0,37	0,954	-0,0023	0,94
25 mg/L	5,57	0,82	0,22	0,954	-0,001	0,86
50 mg/L	22,71	0,46	0,78	0,96	-0,0012	0,86

Tableau II.5. Analyse cinétique des résultats expérimentaux sans barbotage

	Ordre cinétique					
	Ordre 0		Ordre 1		Ordre 2	
Conc.	k (mg/L.min)	R ²	k (min ⁻¹)	R ²	k (L/mg.min)	R ²
5 mg/L	0,34	0,90	0,016	0,955	-0,0038	0,94
10 mg/L	4,12	0,53	0,71	0,955	-0,004	0,94
25 mg/L	14,85	0,28	1,48	0,955	-0,0042	0,94
50 mg/L	9,56	0,77	0,11	0,98	-0,0007	0,81

A première vue, les valeurs du coefficient de corrélation (R^2) pour le modèle du premier ordre sont plus intéressantes puisqu'elles sont supérieures à 0,95. Les constantes de vitesse k présentés dans les tableaux II.4. et II.5. montrent que l'élimination du rouge de méthyle était le plus efficace et le plus rapide pour les concentrations 10 et 25 mg/L sans barbotage tandis que dans le cas avec barbotage la concentration initiale n'a pas d'influence important sur la vitesse de dégradation.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

La détérioration de la qualité de l'eau douce est essentiellement liée à l'activité industrielle et agricole de l'homme. La recherche scientifique doit proposer des solutions aux générations futures pour traiter la pollution induite par les progrès technologiques. Il n'y a pas de procédé universel pour traiter toutes les sources de pollution, le traitement doit s'adapter à la nature des polluants et leurs concentrations. Il est aussi préférable de traiter la pollution à sa source pour une plus grande efficacité et une réduction des coûts. Parmi les traitements pouvant apporter des solutions pour traiter les eaux colorées, cette étude a permis de montrer que l'oxydation électrochimique utilisant une anode de d'acier XC 38 ou en graphite est intéressante.

Ce travail utilise comme molécule modèle un colorant très utilisé, le rouge de méthyle, et l'essentiel des résultats obtenus ont montré que :

- * La dégradation par oxydation électrochimique utilisant une anode d'acier XC38 montre que pour la concentration initiale 5 mg/L la dégradation se fait progressivement avec ou sans barbotage avec un avantage dans les temps immersion élevées en absence de l'oxygène. Pour la concentration 10 mg/L, on remarque clairement que la dégradation est nettement mieux en présence du barbotage par rapport à son absence, tandis qu'à la concentration 25 mg/L l'avantage est donné à la condition de sans barbotage. Enfin, pour la concentration la plus élevée (50 mg/L), on remarque qu'il n'y a pas une très grande différence dans la dégradation que ce soit en en présence ou en absence de barbotage.

- * Pour une autre anode qui est le graphite, les résultats obtenus montrent le barbotage n'a pas eu une grande influence sur la dégradation. Pour la concentration 10 mg/L et en absence de barbotage on remarque que la dégradation ce fait mieux même à faible temps d'expositions. Pour la deuxième concentration (50 mg/L) la dégradation est meilleure à partir des très faibles temps d'expositions (5min). L'ajout de FeCl_3 dans la solution améliore un peu la dégradation (taux de dégradation) que ce soit en présence ou en absence du barbotage.

- * L'étude cinétique montre que le modèle du premier ordre est le plus acceptable. Les constantes de vitesse k montrent que l'élimination du rouge de méthyle était le plus efficace et le plus rapide pour les concentrations 10 et 25 mg/L sans barbotage tandis que dans le cas avec barbotage la concentration initiale n'a pas d'influence important sur la vitesse de dégradation.

Références bibliographique

- [1] Khenfoussi, M., Boulghiti, C., & Arroussi, A. (2019). **Dépollution des eaux usées par un biosorbant (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draia-ADRAR).**
- [2] Mohemmed Yahiaoui. A. Traiki.C .,(2021) **(Elimination d'un colorant par adsorption sur l'amido) Mémoire de Master. Université é Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arréridj.**
- [3] F.C. Moreira, R.A.R. Boaventura, E. Brillas, V.J.P. Vilar, **Electrochemical Advanced oxydation processes: a review on their application to synthetic and real wastewaters, Appl. Catal., B, 202 (2017) 217–261.**
- [4] Djerada, N. & Arab, L. & Ait Braham, L. (2017). **Photodégradation D'un Colorant Textile En Milieu Aqueux Par La Poudre De Tio2. [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia].**
- [5] Bakhtiar, A. (2022). **Elaboration de photocatalyseurs à base d'argile pour la décontamination des polluants organiques en solution aqueuse (Doctoral dissertation, Université de Lille; Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed-Boudiaf (Algérie)).**
- [6] Dar Kebira, F. & Belarbi, Z. (2015). **Adsorption Du Bleu De Telon Et Du Jaune De Telon En Solution Aqueuse Sur Le Charbon Actif. [Mémoire d'Ingéniorat, Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen].**
- [7] Chentouf, S. (2020). **Modification Des Diatomites Et Bentonites Algériennes Par Des Espèces Chimiques Minérales Et Organiques. Synthèses, Caractérisations et applications [Thèse de Doctorat, Université Mustapha Stambouli - Mascara].**
- [8] Zeghache, H. & Hafsi, S. (2020). **Etude De L'adsorption Des Colorants Sur Un Matériau Poreux Charbon Actif [Thèse de Doctorat, Université Larbi Ben M'hidi - Om-el-bouaghi].**
- [9] Messemèche, F. (2013). **Etude qualitative et quantitative de l'adsorption d'un colorant organique sur le charbon actif (Doctoral dissertation).**

- [10] Benomara, A. (2020). Elimination Sonochimique Du Méthyl Violet 2b Couplage Avec La Photolyse Et La Photocatalyse [Thèse de Doctorat, Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen].
- [11] Fernane, G. (2017). Toxicité des colorants et différentes techniques de traitement des effluents [Master's thesis, École Nationale Polytechnique].
- [12] Lahmar, A. (2021). Valorisation Des Bioadsorbants À Faible Coût Pour L'élimination Des Polluants Présents Dans Les Effluents Aqueux [Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar - Annaba].
- [13] Greene, J. C., & Baughman, G. L. (1996). Effects of 46 dyes on population growth of freshwater green alga *Scenedesmus capricornutum*. *Text. Chem. Collor*, 28(4), 23-30.
- [14] Anliker, R., Butler, G. C., Clarke, E. A., Förstner, U., Funke, W., Hyslop, C., ... & Zitko, V. (2013). *Anthropogenic compounds (Vol. 3)*. Springer
- [15] Brown, M. A., & De Vito, S. C. (1993). Predicting azo dye toxicity. *Critical reviews in environmental science and technology*, 23(3), 249-324].
- [16] Chung, K. T., Fulk, G. E., & Andrews, A. W. (1981). Mutagenicity testing of some commonly used dyes. *Applied and Environmental Microbiology*, 42(4), 641-648
- [17] Specht, K., & Platzek, T. (1995). Textile dyes and finishes-Remarks to toxicological and analytical aspects. *Deutsche Lebensmittel Rundschau*, 91(11), 352-359
- [18] Chung K.T., Cerniglia C.E., Mutagenicity of azo dyes: Structure-activity relationships, *Mutat. Res.* 277 (1992) 201-220.
- [19] Jung R., Steinle D., Anliker R., A compilation of genotoxicity and carcinogenicity data on aromatic aminosulphonic acids, *Food Chem. Toxicol.* 30 (1992)
- [20] Ramdani, S., & Saidane, A. (2019). Dégradation de l'Amoxicilline par le procédé Electro Fenton hétérogène (Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira – Béjaïa, Département de Génie des Procédés)
- [21] Chaabane, N. & Dahmani, A. (2020). Conception D'un Procédé Fenton Électrochimique Pour L'épuration Des Effluents Industriels [Mémoire de Master, Université Saad Dahleb - Blida].
- [22] Slamani, C. & Bassour, S. & Kermat Said, H. (2020). Decoloration D'un Colorant Azoïque Par Procédé Fenton. [Mémoire de Master, Université Yahia Fares - Médéa].
- [23] Sarrai, A. & Hanini, S. (2018). Elimination Des Composés Pharmaceutiques Dans Les Effluents Aqueux Par Un Procédé De Traitement Basé Sur Le Couplage De L'adsorption Et Les Techniques D'oxydation Avancée. [Thèse de Doctorat, Université Yahia Fares - Médéa].

- [24] Aftis, S. & Djerroud, H. & Brahmi, D. (2020). Elimination D'un Polluant Organique – nitrophénol- Par Adsorption Sur Un Matériau Siliceux Mésoporeux [Mémoire de Master, جامعة عبد الرحمن ميرا - بجاية].
- [25] Santos, D. D., Belote, N. M., Sasso, G. R., Correia-Silva, R. D., Franco, P. C., da Silva Neto, A. F., ... & Gil, C. D. (2024). Effect of modified citrus pectin on galectin-3 inhibition in cisplatin-induced cardiac and renal toxicity. *Toxicology*, 504, 153786.
- [26] Gomella C., et Guerrée H. Le traitement des eaux publiques, Industrielles et Privées. Edition Eyrolles, 1978
- [27] Zee F.P. V. Anaerobic azo dye reduction. Thèse de Doctorat. Wageningen University, Pays-Bas, Mai 2002
- [28] Zawlotzki Guivarch E. Traitement des polluants organiques en milieu aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée « Electro-Fenton », application à la minéralisation des colorants synthétiques. Thèse de Doctorat. Université de Marne-La-Vallée, France, Septembre 2004.
- [29] Ganiyu, S. O., Van Hullebusch, E. D., Cretin, M., Esposito, G., & Oturan, M. A. (2015). Coupling of membrane filtration and advanced oxidation processes for removal of pharmaceutical residues: A critical review. *Separation and Purification Technology*, 156, 891-914.
- [30] Garti, Z. (2018). Dégradation de l'amoxicilline par le procédé Electro-fenton. Mémoire de Master, Université de A. MIRA–Bejaia
- [31] Oturan, M. A., & Aaron, J. J. (2014). Advanced oxidation processes in water/wastewater treatment: principles and applications. A review. *Critical reviews in environmental science and technology*, 44(23), 2577-2641
- [32] Harissou, A., Ibrahim, A. M., Oumarou, H., Mansour, A., Amadou, M., Ousseni, E. A., Rachid, S. (2015). Retard diagnostique et implication pronostique en milieu africain. cas des urgences en chirurgie digestive a l'hôpital national de zinder, niger. *European Scientific Journal*, 11(12).
- [33] Belbel, H. (2023). Dégradation d'un colorant organique par le procédé d'oxydation avancée électrochimique « Electro-Fenton » [Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba].
- [34] Hadiouche, D. & Hamouche, A. & Aitbraham, L. (2022). Elimination De La Rhodamine B Par Photo-dégradation Catalytique En Présence De TiO₂ Dopé Au Lanthane [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia].
- [35] Demouche, Z. & Nezla, O. (2019). Contribution à l'élaboration d'un photo-catalyseur cuo Supporté sur lazéolite. Application à l'élimination d'un Colorant en solution aqueuse. [Mémoire de Master, Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira].

- [36] Medjber, F. Z., & Ait Idir, R. (2021). Adsorption de Cadmium, Tétracycline et Rouge de méthyle par emploi d'une biomasse traitée à base de déchets des palmiers [Mémoire de master, Université Saad Dahlab – Blida 1].
- [37] Vatandoostarani S., Lotfabad T. B., Heidarinasab A. & Yaghmaei S. (2017). Degradation of azo dye methyl red by *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763.
- [38] Guergour, S. (2018). Élimination Des Polluants Organiques Contenus Dans Les Eaux Usées Par Electro-fenton [Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas - Sétif 1].
- [39] Ramdani, S. & Saidane, A. & Yahiaoui, I. (2019). Dégradation De L'amoxicilline Par Le Procédé Electro Fenton Hétérogène. [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia].
- [40] Merabtine, K. & Chekour, A. & Yahiaoui, I. (2021). Dégradation De L'amoxicilline Par Le Procédé Électro-fenton Hétérogène En Présence Du Fer Supporté Sur Une Argile [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia].

Dégradation d'un composé organique coloré par le procédé d'oxydation avancée électrochimique

Cette étude porte sur l'utilisation de procédé d'oxydation avancée électrochimique pour le traitement de solutions colorées. Le colorant utilisé dans cette étude est un colorant organique de la famille des azoïques, le acide diméthylamino-4 phénylazo-2 benzoïque, connu par le nom du Rouge de méthyle. La performance de cette méthode électrochimique a été évaluée. A cet effet, l'étude de l'influence de la concentration initiale du colorant, du type d'anode (XC38 ou graphite), le barbotage ainsi que la présence FeCl_3 sur le rendement de dégradation ont été étudié. L'application des différents modèles cinétiques a été proposée et le modèle du premier ordre est le plus acceptable.

Mots clés : **Dégradation, Procédé d'oxydation électrochimique, Rouge de Méthyle.**

Degradation of a Colored Organic Compound by Advanced Electrochemical Oxidation

This study focuses on the use of advanced electrochemical oxidation processes for the treatment of colored solutions. The dye used in this study is an organic dye from the azo family, 4-dimethylamino-2-phenylazobenzoic acid, known as Methyl Red. The performance of this electrochemical method was evaluated. For this purpose, the influence of the initial dye concentration, anode type (XC38 or graphite), bubbling, and the presence of FeCl_3 on the degradation efficiency was studied. The application of different kinetic models was proposed and the first-order model being the most acceptable.

Keywords: Degradation, Electrochemical Oxidation Process, Methyl Red.

تحلل مركب عضوي ملون باستخدام الأكسدة الكهروكيميائية المتقدمة

تركز هذه الدراسة على استخدام عمليات الأكسدة الكهروكيميائية المتقدمة لمعالجة المحاليل الملونة. الصبغة المستخدمة في هذه الدراسة هي صبغة عضوية من عائلة الأزو، حمض 4-ثنائي ميثيل أمينو-2-فينيل أزو بنزويك، والمعروف باسم أحمر الميثيل. تم تقييم أداء هذه الطريقة الكهروكيميائية. ولتحقيق ذلك، تمت دراسة تأثير تركيز الابتدائي للمركب عضوي ملون، نوع الأنود (XC38 أو الجرافيت)، تأثير الأكسجين ووجود FeCl_3 على كفاءة التحلل. تم اقتراح تطبيق نماذج حركية مختلفة، وكان نموذج الدرجة الأولى هو الأكثر قبولاً.

الكلمات المفتاحية: التحلل، عملية الأكسدة الكهروكيميائية، أحمر الميثيل.