

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE CHIMIE



SPECIALITE : CHIMIE
ENVIRONNEMENT

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Présenté par :
THAMEUR LEILA
FERAHTIA ROFYA

Élimination de du Bleu Cibacron par la photolyse et leur son impact sur la chimie verte

Devant le jury :

Dr. Pr. Hadi DEBIH
CHENNA .M MCA
Dr. Abdelhakim
KHENICHE

Université Med Boudiaf M'sila
Université Med Boudiaf M'sila
Université Med Boudiaf M'sila

Président
Rapporteur
Examineur

Année Universitaire : 2023 / 2024



Je rends grâce à DIEU, LE CLEMENT, LE MISERICORDIEUX, qui m'a donné la santé, la force et les moyens nécessaires pour m mener à terme ce travail et à qui jè le dédie :

A mes très chers parents

Tous les mots ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour toutes les peines endurées, toutes les privations et sacrifices consentis, pour faire de moi ce que je suis aujourd'hui.

Que Dieu vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie pour que vous demeuriez le flambeau qui illumine le chemin de vos enfants.

A mes sœurs, à mes adorables frères pour tant d'amour et de patience et à qui je souhaite un avenir brillant et une vie comblée de bonheur. A mes amis pour leur générosité et leur soutien.

A tous mes camarades de la promo. A toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin et que j'ai oublié de citer.

Je rends grâce à DIEU, qui m'a donné la santé, la force et les moyens pour mener à terme ce travail et à qui je le dédie : A mes très chers parents père et, mère Tous les mots ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour toutes les peines endurées, toutes les privations et sacrifices consentis, pour faire de moi ce que je suis aujourd'hui. Que Dieu vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie et vous remercie tous, de la plus grande à la plus petite personne de ma grande famille, et je leur souhaite beaucoup de bonheur.

Je remercie également, mon mari, mes amis et tous ceux qui
étaient avec moi

*Ce n'est pas dans la science qu'est le
bonheur, mais dans l'acquisition de la
science. »*

EDGAR POE (1809/1849), LE POUVOIR DES MOTS

Remerciements

Bien que sur la couverture apparaisse le nom de deux personnes, une thèse est en réalité le résultat de l'investissement des plusieurs personnes qu'on voudrait ici remercier.

Tout d'abord, on voudrait exprimer notre sincère gratitude à notre promotrice Docteur CHENNA Malika pour sa disponibilité tout au long de ce projet, ses critiques judicieuses, son attention inlassable, son soutien moral et ses conseils. Qu'elle soit assurée de notre profonde gratitude.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance a Docteur Hadi DEBIH qui a bien voulu accepter de présider cet honorable jury.

Mes vifs remerciements s'adressent également au Docteur Abdelhakim KHENICHE à L'Université de M'sila en nous faisant l'honneur d'accepter de faire partie du JURY

Je tiens spécialement à exprimer toute ma reconnaissance et ma sympathie à tous mes amis du laboratoire qui m'ont soutenue, encouragé et remonté le moral avant et pendant ce travail de mémoire et durant sa rédaction. Un grand remerciement également pour tous mes enseignants de l'université UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

Je rends grâce à DIEU, LE CLEMENT, LE MISERICORDIEUX, qui m'a donné la santé, la force et les moyens nécessaires pour mener à terme ce travail et à qui je le dédie :

A mes très chers parents

Tous les mots ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour toutes les peines endurées, toutes les privations et sacrifices consentis, pour faire de moi ce que je suis aujourd'hui.

Que Dieu vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie pour que vous demeuriez le flambeau qui illumine le chemin de vos enfants.

A mes sœurs, à mes adorables frères pour tant d'amour et de patience et à qui je souhaite un avenir brillant et une vie comblée de bonheur. A mes amis pour leur générosité et leur soutien.

A toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin et que j'ai oublié de citer.

Résumé

Ce travail est une contribution au traitement de la pollution causée par les colorants textiles, certains polluants présents dans ces eaux de rejet comme les colorants, sont considérés comme récalcitrants aux méthodes physico-chimiques, classiques et très peu biodégradables. Il est concerné l'utilisation de divers processus d'oxydation avancée pour traiter les colorants textiles. Ces processus génèrent des espèces très actives et oxydantes à partir de radicaux hydroxyles OH capables d'oxyder toute molécule organique jusqu'à la phase de dégradation finale, c'est-à-dire la transformation en dioxyde de carbone et en eau. Notre objectif dans cette étude est de confirmer l'efficacité et l'importance de ce processus en chimie verte respectueuse de l'environnement.

Mots-clés: Photolyse. Chimie verte. POA. Colorant textile. Radical hydroxyle

ملخص

هذا العمل هو المساهمة في معالجة التلوث الناجم عن اصباغ المنسوجات، تعتبر بعض الملوثات الموجودة في مياه الصرف الصحي هذه مثل الاصبغ من الملوثات العسرة الغير قابلة للتحلل بالطرق الفيزيائية الكيميائية التقليدية وغير قابلة للتحلل الحيوي وهي معنية بما يلي باستخدام مختلف عمليات الأكسدة المتقدمة لمعالجة أصباغ ولد هذه العمليات أنواعاً مؤكسدة نشطة للغاية من جذور الهيدروكسيل القادرة على أكسدة أي جزيء عضوي حتى مرحلة التحلل النهائي، أي التحول إلى ثاني أكسيد الكربون والماء. هدفنا في هذه الدراسة هو تأكيد فعالية وأهمية هذه العملية في الكيمياء الخضراء الصديقة للبيئة.

الكلمات المفتاحية: التحلل الضوئي. الكيمياء الخضراء. صبغة النسيج. جذر الهيدروكسيل

Abstract:

This work is a contribution to the treatment of pollution caused by textile dyes, some of the pollutants present in this waste water, such as dyes, are considered recalcitrant

Recalcitrant to conventional physico-chemical methods and not very biodegrade

It is concerned the use of various advanced oxidation processes to treat textile dyes. These processes generate highly active, oxidizing species from OH hydroxyl radicals capable of oxidizing any organic molecule right through to the final degradation phase, i.e., transformation into carbon dioxide and water. Our aim in this study is to confirm the effectiveness and importance of this process in environmentally-friendly green chemistry.

Key words: green chemistry. Photodegradation. Hydroxyl radical. Textile dye

Sommaire

Introduction Générale	1,9
CHAPITRE I :	3
Généralité sur la pollution.....	3
CHAPITRE I.....	3
Généralité sur la pollution.....	3
I.1. Définition de la pollution	3
I.2. Classification et type de la pollution	4
I.2.1. Pollution physique	4
I.2.2. Pollution chimique.....	5
I.2.3. Pollution biologique.....	5
I.2.4. Pollution atomique.....	5
I.3. L'origine de la pollution	5
I.3.1. Pollution domestique	5
I.3.2. Pollution urbaine	5
I.3.3. Pollution agricole.....	5
I.3.3. Pollution industrielle.....	6
II. La pollution des eaux	6
CHAPITRE II :	8
LES COLORANTS	8
CHAPITRE II LES COLORANTS	10
1.Historique de colorant	10
I.1 Les colorants	11
II.2 Classification des colorants	11
II.3. Classification chimique	12
II.3.1 Les colorants azoïques.....	12
13.2.Les colorants indigoïdes	12
I.3.3.Les colorants xanthènes	13
I.3.4. Les colorants anthraquinoniques :	13
I.3.5. Les phtalocyanines :.....	14
I.3.6. Les colorants nitrés et nitrosés	15
II. Classification tinctoriale.....	15
II.1. Les colorants acides ou anioniques	15
II.2. Les colorants basiques ou cationiques :	16
II.3. Les colorants développés ou azoïques insolubles	17
II.4. Colorant de la cuve.....	17
II.5. Les colorants réactifs.....	17

II.6. Les colorants directs	18
II.7. Les colorants à mordants	18
II.8 Les colorants dispersés	18
III. Impacts des colorants sur l'environnement	18
CHAPITRE III :	20
Techniques De Traitement	20
CHAPITRE III : Techniques De Traitement.....	20
III.1.Les Principaux Procédés D'oxydation Avancée :	20
1.1.Réactivité de HO [•]	21
I.2. Réaction parasites.....	22
2.Les procédés d'oxydation chimique en phase homogène.....	22
.2.1Procède d'ozonation ().....	22
2.2.Procède Fenton (Fe ²⁺ / H ₂ O ₂)	22
3.Procédés photo catalytique en phase homogène.....	23
.3.1Photolyse directe UV	23
.3.2Photolyse de l'ozone (O ₃ /UV) :	24
.3.3Photolyse de H ₂ O ₂ (H ₂ O ₂ /UV).....	24
.3.4Photo-peroxonation (O ₃ / H ₂ O ₂ / UV):	25
.3.5Photo-Fenton (système H ₂ O ₂ / Fe ²⁺ / UV).....	25
.4Photocatalyse En Phase Hétérogène ().....	25
.5Comparaison Des Procédés D'oxydation Avancée	26
Chapitre IV :	29
CHIMIE VERTE	29
Chapitre IV	Error! Bookmark not defined.
IV I.1.Définition.....	30
I.2.L'historique de la chimie verte.....	30
II. Les douze principes de la chimie verte.....	31
II.1. Prévention	31
II.2. L'économie d'atomes	31
II.3. Synthèses chimiques moins nocives.....	31
II.4. Conception de produits chimiques plus sécuritaires.....	31
II.5. Solvants et auxiliaires plus sécuritaires	32
II.6. Amélioration du rendement énergétique.....	32
II.7. Mettre à profit les matières premières renouvelables	32
II.8. Réduire le nombre de dérivés susceptibles de créer des déchets.....	32
II.9. Privilégier les procédés catalytiques aux procédés stœchiométriques.....	32

II.10. Conception de la dégradation finale	32
II.11. Mettre au point des méthodes d'analyses en temps réel de lutte contre la pollution.....	33
II.12. Minimiser le risque d'accidents en pratiquant une chimie à sécurité Maximale.....	33
III. L'utilisation des colorants dans la chimie verte.....	34
III.1. Les colorants comme indicateurs de la chimie verte.....	34
III.2. Application des colorants naturels dans l'industrie chimique	35
III.3. Les avantages des colorants naturels dans la chimie verte	35
III.4. Nettoyage à sec écologique des vêtements	35
III.5. Agents de blanchiment verts	36
III.6. Solution pour rendre l'eau trouble claire.....	36
III.7. Générateur de vent.....	36
Élimination de colorant textile par UV/H ₂ O ₂	30
I-Introduction	30
II. Matériels Et Méthodes.....	30
II.1 Caractéristiques Spectrales De Colorant	30
II.2. Montage.....	31
II.3. Protocoles des essais	32
II.4. Produits chimiques	33
II.5. Caractéristique de bleu Cibacron	33
II.7. Méthodes d'analyse	34
III.2 Evolution spectrale du processus de décoloration de BC en fonction du temps de traitement.....	35
III.4. Approche cinétique (détermination des constantes cinétiques)	Error! Bookmark not defined.
III.6. Approche cinétique (détermination des constantes cinétiques) :	41
III.7. Modélisation de l'influence de PH de la solution sur la photolyse de BC	41
III.8 Approche cinétique (<i>détermination des constantes cinétiques</i>).....	42
Tableau 5 : Constante de vitesse apparente de l'influence de PH sur la photolyse de	43
colorant BC	43
I. Interprétation Des Résultats Obtenues Selon Les Principes De La Chimie Verte	44
I.1. Prévention	Error! Bookmark not defined.
I.2. Economie d'atomes	44
I.3. Synthèses chimiques moins nocives	44
I.4. Conception de produits chimiques plus sécuritaires	45
I.5. Solvants et auxiliaires plus sécuritaires	45
I.6. Amélioration du rendement énergétique.....	46
I.7. Utilisation de matières premières renouvelables	47
I.8. Réduction de la quantité de produits dérivés.....	48
I.9. Catalyse.....	49

I.10.Conception de substances non persistantes	50
I.11. Analyse en temps réel de la lutte contre la pollution	50
I.12.Chimie essentiellement sécuritaire afin de prévenir les accidents	51
CONCLUSION	52
Références.....	60

Abréviation

Symbole	Description
C_0	Concentration initiale de la solution à $t = 0$
M	mole / Litre
mg/L	milligramme par litre
MES	Matières En Suspension
Ppm	Partie par million
UF	Ultrafiltration
UV	Ultra Violet
V	Volume
Symboles grecs	
λ	Longueur d'onde

Introduction Général

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction Générale

L'eau est la matière première la plus importante sur notre planète, pour les êtres humains, les animaux, les plantes et les microorganismes. Pratiquement, tous les phénomènes vitaux de la biosphère sont liés à la disponibilité de l'eau. L'eau est l'un des éléments de base de l'activité humaine économiquement ou localement grâce à son utilisation dans de nombreuses industries et à son utilisation dans la vie quotidienne. **(Ali, A. M. 2024)**. L'eau n'est donc pas uniquement espace vital, vecteur énergétique ou moyen de transport, mais également un élément essentiel pour tout genre de production.

L'eau constitue un élément essentiel dans la vie et l'activité humaine. C'est une composante majeure des mondes minéral et organique. Dans le monde présent, l'eau participe à toutes les activités quotidiennes notamment, domestiques, industrielles et agricoles ce qui la rend un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution. Le phénomène de la pollution contribue de façon considérable à la limitation des ressources en eau potable (Bossmann, S. et al 1998).

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique, biologique ou bactériologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'homme et ses activités. Elle perturbe les conditions de vie de la flore et de la faune aquatiques ; elle compromet les utilisations de l'eau et l'équilibre du milieu naturel. Les industries textiles, et plus particulièrement les phases de teinture et d'ennoblissement, utilisent principalement des produits chimiques, nuisibles pour la santé, comme certains colorants azoïques cancérogènes, et engendrent une pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques **(R M Christie 2015)**.

La contamination des eaux par des polluants d'origines diverses est un problème d'actualité ; dans l'industrie de textile en particulier, les eaux résiduaires sont l'une des plus importantes sources de pollution des eaux superficielles et des nappes souterraines, surtout envers les terres agricoles (qualité de la récolte) et sur la faune et la flore **(A. Belaroussiet al2014)**. La protection de l'environnement est devenue ainsi un enjeu économique et politique majeur. Tous les pays du monde sont concernés par la sauvegarde des ressources en eau douce, soit parce que'ils en manquent, soit parce qu'ils la polluent.

Introduction Générale

Le traitement des rejets de colorants peut se faire par le biais de plusieurs procédés : coagulation/floculation suivi d'une filtration, oxydation chimique, adsorption sur charbon actif et traitements biologiques. Parmi les progrès les plus récents dans le traitement de l'eau, les procédés d'oxydation avancée (AOP) apportent une solution en prouvant leur efficacité, permettent la minéralisation en milieu aqueux des molécules organiques toxiques pour l'homme et pour l'environnement (I. Kardzali, M. Gurel, O. Tunay.2000).

Les procédés d'oxydation avancée (AOP) sont des procédés physico-chimiques capables de provoquer des changements dans la structure des contaminants, augmentant leur biodégradabilité grâce à l'utilisation du radical hydroxyle ($\text{HO}\cdot$). Les procédés d'oxydation avancée (POA), tout particulièrement les couplages UV/ O_3 , UV/ TiO_2 , $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ et UV/ H_2O_2 ont été utilisés pour épurer des effluents industriels. Ces procédés sont basés sur la production de radicaux hydroxyles qui sont très réactifs et peu sélectifs. D'autres radicaux libres sont aussi générés : $\text{O}_2 \cdot^-$, $\text{O}_3 \cdot^-$...ont montré que le procédé UV/ H_2O_2 était efficace pour éliminer les colorants.

Ce mémoire documente porte des résultats pertinents du projet à travers ses étapes de réalisation. Il comprend deux parties, la première partie présente une revue de la littérature. La pollution et les colorants textiles, les procédés de traitement des effluents textile et la photo-oxydation par le système UV/ H_2O_2 . La deuxième partie présente le matériel et les méthodes utilisées pour l'étude spectrophotométrie des colorants choisis pour non expériences, l'influence des conditions opératoires sur l'élimination de ces colorants par photo-oxydation.

Ensuite, nous mettrons en évidence les nombreux avantages de la photocatalyse $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ dans le cadre de la chimie verte. Nous discuterons de son potentiel à réduire la consommation d'énergie, à minimiser l'utilisation de réactifs toxiques, à éviter la production de sous-produits nocifs et à promouvoir une utilisation efficace des matières premières renouvelables

CHAPITRE I :

Généralité sur la

pollution

CHAPITRE I

Généralité sur la pollution

I.1. Définition de la pollution

La pollution des eaux est une modification défavorable de la qualité de l'eau par diffusion directe ou indirecte de substances chimiques, physiques ou biologiques, qui modifie les composants naturels de l'eau et est potentiellement toxique et nocif pour les organismes vivants qui sont vivants dans l'eau. **(Abdurramane, Labiod(2022)).**

Plusieurs définitions ont été proposées pour le terme « **pollution** » parmi lesquelles (Kayalto,2009).

❖ **Définition selon le dictionnaire Larousse**

La pollution est une dégradation d'un milieu naturel par des substances chimiques et des déchets industriels ou naturels (à l'exemple des ordures ménagères).

❖ **Définition admise par le comité scientifique officiel de la Maison-Blanche pour la protection de l'environnement en 1965**

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les modalités de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources en produits agricoles, en eau, et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il détient, les possibilités régénératrices du milieu ou encore en enlaidissant la nature.

I.2. Classification et type de la pollution

Il existe plusieurs manières de classer la pollution. Selon le type de polluant, on peut classer la pollution en trois catégories : pollution physique, pollution chimique et pollution biologique et atomique

I.2.1. Pollution physique

Ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs (GUERRAICHE (2017). Il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans le milieu. (GUERRAICHE, Z. (2017)). Dépend de trois principes des agents de pollution : la température, transport de matière solide en suspension, et la radioactivité (Abdelmadjid, (2007).

- ✓ **La température** : plus la température de l'eau est élevée plus le besoin en oxygène est grand ce qui entraîne une diminution de l'oxygène dans l'eau.
- ✓ **Transport de matière solide en suspension (MES)** : elles agissent en augmentant la turbidité de l'eau qui réduisent la pénétration de la lumière.
- ✓ **La radioactivité** : c'est la fuite de polluants radioactifs de l'air dans l'eau par l'activité résultants d'exploitation nucléaire de champs radioactifs et de centrales nucléaires.

I.2.2. Pollution chimique

La pollution chimique est une pollution générée par des rejets de substances chimiques dont certaines sont non dégradables suite aux activités humaines, agricoles, industrielles ou urbaines (**GUERRAICHE, (2017)**).

I.2.3. Pollution biologique

La pollution biologique de l'eau est une pollution résultant d'une contamination bactérienne dont la plus importante est constituée micro-organismes les bactéries, les virus, les parasites les champignons et les algues (**Abdelmadjid, (2007)**).

I.2.4. Pollution atomique

Il s'agit d'une pollution causée par des sources de rayonnement nucléaire de radioéléments issus des explosions d'arme nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires (**Chenna, (2016)**).

I.3. L'origine de la pollution

I.3.1. Pollution domestique

Les déchets liquides et solides issus des activités domestiques constituent une grande source de pollution des eaux. Ces eaux usées domestiques rejetées dans les cours d'eau sont caractérisées par des matières organiques et fécales et des produits chimiques. (**Adjagodo, et al (2016)**).

I.3.2. Pollution urbaine

L'origine des eaux résiduaires urbaines est principalement domestique, c'est un mélange de déchets humains telles que les urines, fèces, eaux de toilette et des salles de bains, eaux des cuisines, des eaux de lavages sont chargées de détergents. Les eaux usées urbaines peuvent aussi contenir des eaux Industrielle qui ont été traité. (**Asma., (2016)**).

I.3.3. Pollution agricole

C'est la pollution résultante de l'utilisation d'engrais et de produits pour traitements des végétaux et les pesticides (herbicides, insecticides et fongicides), les agriculteurs utilisent des engrais chimiques pour accroître les rendements. Selon les enquêtes effectuées par (**Atidéglà et Agbossou (2010) au Bénin, s.** En dehors de l'utilisation des engrais chimiques en agriculture, certains agriculteurs utilisent des engrais organiques (déjections

animales et humaines, engrais vert, lisières et résidus de récolte) comme fertilisant.

(Adjagodo, et al (2016))

I.3.3. Pollution industrielle

Le développement accéléré des techniques industrielles modernes engendré une pollution très importante. En effet, celle-ci est devenue plus massive, plus variée et plus insidieuse. Ils'agitdedifférentsdéchetsprovenantdesindustriesdiversesquisontprincipalement installées au niveau du rivage à la fois pour se débarrasser des déchets directement et pour faire refroidir leurs machines (Industrie alimentaire, Industrie agricole, Tanneries textile, Papeterie, Industrie physique, Industrie chimique, Industrie pétrochimie). Devant 'extrême diversité de ces rejets, une investigation propre à chaque type d'industries nécessaire : il est donc primordial d'être parfaitement informé sur les procédés de fabrication et le circuit des réactifs et des produits.

II. La pollution des eaux

La pollution des eaux est provoquée par le rejet d'eau salie par nos activités domestiques (lavages et nettoyages divers, évacuation de nos urines et fèces, etc.) mais également par les diverses activités industrielles et agricoles, nécessaires pour fournir les aliments et biens dont nous avons besoin.

La plupart des effluents pollués sont des mélanges très complexes dont la composition varie suivant leur provenance industrielle, agricole ou urbaine. L'évaluation de la pollution est donc basée sur des classifications selon les propriétés globales de l'effluent (tableauI.1).

Tableau.1 : *Classification des composés de l'effluent suivant leur taille* (Sperandio,1998)

Classification	Diameters particles(μm)	Caractéristique	Exemple de composé
----------------	---	-----------------	--------------------

CHAPITRE I. GENERALITE SUR LA POLLUTION

Soluble	<0.08		Carbohydrates simples, acides aminés, acides gras volatils, protéines, polysaccharides (Amidon, cellulose) ...
Colloïdale	0.08 – 1	Limite entre phase solide et soluble	Graisses, bactéries libres, débris Cellulaires,
Supra-colloïdale	1 – 100	Matières fines en suspension, visibles à l'œil nu, Contribue la Turbidité de d'eau	Fibres cellulosiques, agrégats lipidiques, floccs bactériens, macroprotéines...
Particulaire	>100	Composés grossiers	

CHAPITRE II :

LES COLORANTS

CHAPITRE II

LES COLORANTS

L'homme a mis des couleurs dans sa vie dès les débuts de son aventure : peintures rupestres d'Altamira et de Lascaux, céramiques mésopotamiennes, vêtements des tombes égyptiennes, décors corporels des populations primitives, etc. Il a d'abord utilisé les pigments des « terres colorées », puis ceux des fibres végétales et animales. Nous vivons dans un monde où tout est coloré, nos vêtements, nos aliments nos produits cosmétiques, pharmaceutiques, etc., cela grâce aux colorants. Ces derniers sont de plus en plus synthétiques, en raison de la facilité et de la rapidité leur synthèse et production, ainsi que la diversité de leurs couleurs si on les compare aux colorants naturels. **(H. Ben Mansour., et al .2011).**

Avant le 20^{ème} siècle, uniquement les colorants d'origine naturelle (pigments inorganiques et les colorants organiques) sont connus dans des applications industrielles notamment les textiles. A partir de 1856, le chimiste anglais Perkin obtint la première matière colorante qu'il appela Mauve aniline lors de la tentative de synthétiser la quinine. Par ailleurs, ces colorants sont tous des composés aromatiques majoritairement issus des plantes. Par la suite, les colorants synthétiques ont presque complètement supplanté les colorants naturels. Actuellement, les colorants constituent un véritable capital de la chimie moderne car le développement scientifique dans le domaine de la synthèse organique est l'une des raisons qui facilite l'utilisation des colorants dans différents secteurs cosmétique, pharmaceutique, agroalimentaire, papeterie et textile **(Kourdali, Sidali. 2015).**

1. Historique de colorant

Depuis le début de l'humanité, les colorants ont été appliqués dans pratiquement toutes les sphères de notre vie quotidienne pour la peinture et la teinture du papier, de la peau et des vêtements, etc. Jusqu'à la moitié du 19^{ème} siècle, les colorants appliqués étaient d'origine naturelle. Des pigments inorganiques tels que l'oxyde de manganèse, l'hématite et l'encre étaient utilisés. Par ailleurs, des colorants naturels organiques ont été appliqués, Surtout dans l'industrie de textile. Ces colorants sont tous des composés aromatiques qui Proviennent essentiellement des plantes, tel que l'alizarine et l'indigo.

L'industrie des Colorants synthétiques est née en 1856 quand le chimiste anglaise **W. Perkin**, dans une Tentative de synthèse de la quinine artificielle pour soigner lamalaria, a obtenu la première Matière colorante synthétique qu'il appela "mauve" (aniline, colorant basique). **(Welham A., (2000), Hammami, S. (2008))**

CHAPITRE II : LES COLORANTS

De nouveaux colorants synthétiques commencent à paraître sur le marché. Ce processus a été stimulé par la découverte de la structure moléculaire du ~~benzène~~ en 1865 par **Kekulé**. En conséquence, au début du 20ème siècle, les colorants synthétiques ont presque Complètement supplantés les colorants naturels. La production mondiale des colorants Synthétiques est estimée à 800 000 tonnes/an en 2011.

On Dénombre environ 8000 Colorants synthétiques chimiquement différents, répertoriés dans le Collor Index (CI) sous 40000 dénominations commerciales. Chaque colorant y est classé sous un nom de code Indiquant sa classe, sa nuance ainsi qu'un numéro d'ordre (par exemple CI Acide Orange7).

I.1 Les colorants

Un colorant est défini comme étant un produit capable de teindre une substance d'une manière durable. Il est constitué en un assemblage de groupes chromophores, de groupe auxochromes et de noyaux aromatiques (cycles benzéniques, anthracèn) (R M Christie.2015)

Tableau 02 : Principaux groupes chromophores et auxochromes (Hammami, S. (2008).)

Groupes chromophores	Groupes autochromes
Azo (-N=N-)	Amino ($-NH_2$)
Nitro so ($-NO_2$ ou $=N-OH$)	Methylaminos ($-NHCH_3$)
Carbonyl (=C=O)	Diméthylamino ($-N(CH_3)_2$)
Vinyl (-C=C-)	Hydroxyl (-OH)
Nitro (NO_2 ou $=NO-OH$)	Alkoxyl ($-OR$)
Sulfur	Groupes donneurs electrons

I.2 Classification des colorants

Les colorants ont une grande variété de structures, ils peuvent être classés selon il

- ✓ Leur origines (naturelle : végétale, animale, minérale ; synthétique).
- ✓ Leur constitution chimique : la nature des chromophores (groupement azoïque, Anthraquinone, triarylméthane, etc.).
- ✓ Leur application : acides, à mordant, direct, réactifs, de cuve.

- ✓ Leur état de dissolution dans les solvants : pigment ou colorant (**Kourdali, Sidali.2015**).

Les colorants sont principalement classés en fonction de leur composition chimique (classification chimique) ou de leurs méthodes d'application aux différents substrats (classification tinctoriale). (**Aliouche. S,2007**)

I.3. Classification chimique

Les principes de classification les plus couramment rencontrés dans les industries textiles, sont basés sur les structures chimiques des colorants synthétiques et sur les méthodes d'application aux différents substrats (textiles, papier, cuir, matières plastiques, etc.). Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du Groupement chromophore.

I.3.1 Les colorants azoïques

Les colorants azoïques se distinguent par la présence d'un groupement chromophore azoïque (-N=N-) entre deux noyaux benzéniques dans la molécule. Actuellement, cette catégorie de colorants est la plus utilisée dans le domaine industriel, car elle représente plus de 50 % de la production mondiale de colorants (S.A. Avlonitis, (.2008)) (T.A. kurniawant.,2006).

Dans la molécule, on peut distinguer les mono-azoïques, les bis-azoïques et les poly-azoïques en fonction du nombre de chromophores présents. Selon les estimations, environ 10 à 15 % des quantités initiales sont perdues pendant les procédures de teinture et sont évacuées sans préavis dans les effluents.

Ces substances organiques sont cancérogènes, extrêmement résistantes à la dégradation biologique et résistantes aux méthodes de traitement courantes.

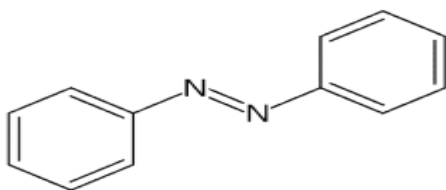


Figure 1 : Structure chimique d'un colorant azoïque

13.2. Les colorants indigoïdes

Les indigoïdes sont les colorants naturels les plus importants et les plus anciens utilisés par la civilisation humaine (**TALHI, 2021**). Ces colorants sont nommés en référence à l'indigo.

(BERKANE, 2019). Ils sont nommés d'après l'indigo dont ils dérivent. Les composés sélénés, soufrés et oxygénés du bleu indigo entraînent donc des effets hypo-chromes importants, avec des teintes allant de l'orange au turquoise. On les emploie comme colorants dans le textile, comme additifs dans les produits pharmaceutiques, dans la confiserie, ainsi que dans les tests médicaux.

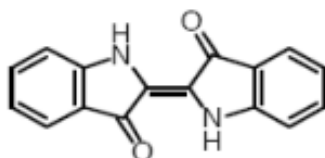


Figure 2 : Structure chimique des colorants indigoïdes

I.3.3. Les colorants xanthènes

Ces colorants présentent une fluorescence intense. La fluorescéine est le composé le plus connu. Leurs propriétés de marqueurs lors d'accidents maritimes ou de traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines sont peu utilisées comme teinture. (Samiha. Hammam. 2012), les xanthènes sont des substances organiques tricycliques composées d'un cycle de pyrane encadré par deux cycles de benzène (BERKANE, Nabila. 2019)

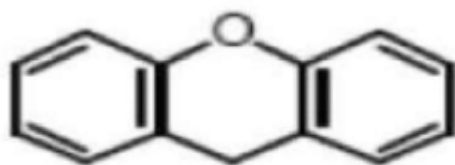


Figure 3 : Structure chimiques des colorants xanthène

I.3.4. Les colorants anthraquinoniques :

Ce sont, d'un point de vue commercial, les plus importants après les colorants azoïques, qui couvrent avantageusement la gamme de nuances jaune-orange-rouge. En revanche, dans le bleu et le turquoise, les colorants anthraquinoniques conduisent à de meilleures caractéristiques de solidité à la lumière et de vivacité des coloris. Ainsi, ces deux classes de colorants se complètent idéalement pour composer la palette de nuances. Contrairement aux colorant, dérivé d'un hydrocarbure « anthracène », est constitué de trois noyaux benzéniques accolés. Le chromophore est un noyau qu'ionique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amines (Kourdali, Sidali 2015).

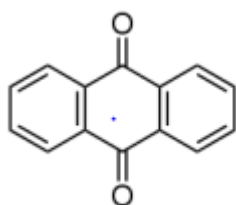


Figure 4 : Structure chimiques des colorants anthraquinoniques

I.3.5. Les phtalocyanines :

En raison de leur structure complexe, ces colorants ont un atome central métallique (BERKANE, Nabail.2019) Ce groupe, récemment découvert, à la suite d'une étude approfondie d'une impureté bleue observée dans la production de la phtalimide, ne contient que peu de représentants. Il s'agit de complexes métalliques qui se forment aisément grâce à l'union de 4 molécules de dicyanobenzène autour d'un atome métallique (Fe, Cu, Ni, etc.). La phtalocyanine est elle-même un pigment bleu magnifique (H. WAHL. 1980)

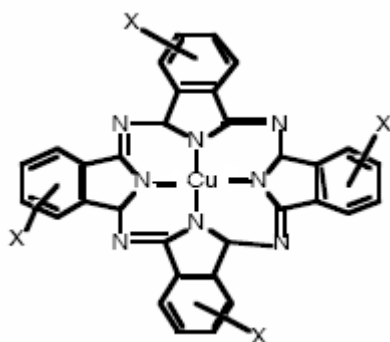


Figure 5 : Structure chimiques des colorants phtalocyanines

I.3.6. Les colorants nitrés et nitrosés

Des colorants nitrés et nitrosés constituent un nombre très limité de pigments relativement anciens et caractérisés par la présence d'un groupe nitro ($-NO_2$) exposition ortho d'un groupement électro-donneur (hydroxyle ou groupes aminés) .

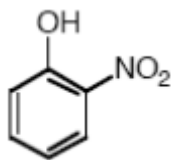


Figure 6 : Structure chimiques des colorants nitrés et nitrosés

II. Classification tinctoriale

Anciens et caractérisés par la présence d'un groupe nitro ($-NO_2$) en position ortho d'un groupement électro-donneur (hydroxyle ou groupes aminés). Si les fabricants de colorants sont intéressés par la classification chimique, le teinturier privilégie le classement par domaine d'application. On peut donc obtenir des informations sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les différentes fibres et la nature de la fixation, qui varie en fonction de la liaison entre le colorant et le substrat, qu'elle soit ionique, hydrogène de Van der Waals ou covalente. Les auxochromes définissent cette fois-ci différentes catégories tinctoriales.

II.1. Les colorants acides ou anioniques

Ces colorants sont solubles dans l'eau en raison de leurs groupements sulfonâtes ou carboxylates, ce qui leur permet de colorer les fibres animales (laine et soie) ainsi que quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. Ces colorants sont transformés en solution avec des charges négatives, d'où leur nom. Les liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupements amino des fibres textiles sont responsables de

CHAPITRE II : LES COLORANTS

l'affinité colorant fibre. Parmi ces molécules, on peut mentionner le colorant rouge Congo (**Reffas, A., 2017**)

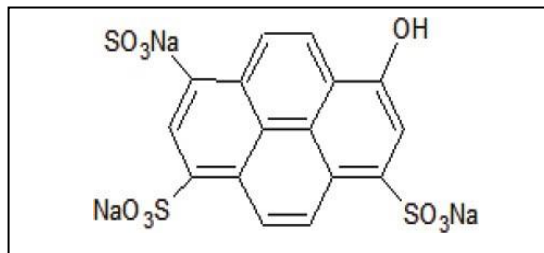


Figure 7. Structure d'un colorant anionique (Colorant C.I. Acidred 27).

II.2. Les colorants basiques ou cationiques :

On les nomme également colorants basiques. Il s'agit de colorants composés de sels qui se dissocient dans l'eau. On les emploie pour colorer la laine et la soie et on peut les utiliser sur le coton. Ces colorants ont une faible stabilité sur les fibres. L'aspect des fibres acryliques a suscité un regain d'intérêt pour ces pigments (**Mansour, H.B .2011**)

Ces colorants renferment des éléments tels que des groupes amino-NH₂ ou imino-NH₂, ces fonctions de base sont probablement en interaction avec des fonctions acides pour produire des composés solubles dans l'eau. Les colorants cationiques sont désignés en raison des charges positives qui se forment à leur surface une fois qu'ils sont en solution. L'exemple du Bleu Capri illustre les colorants cationiques (**Reffas, 2017**).

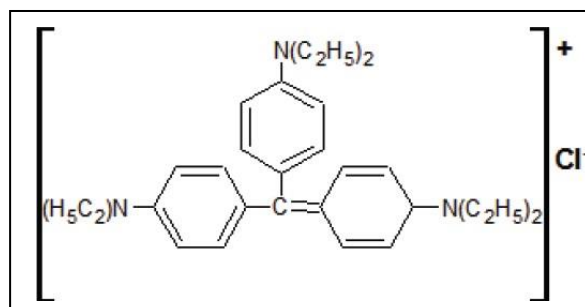


Figure 8 : Structure du Basic Violet

II.3. Les colorants développés ou azoïques insolubles

Les colorants développés ou azoïques insolubles sont obtenus directement sur la fibre. Dans un premier temps, le support textile est rempli d'une solution de naphthol (copulant), avec des précurseurs de la molécule suffisamment petits pour se diffuser dans les pores et les fibres sont ensuite traitées avec une solution de sel de diazonium qui, par réaction de copulation, fait émerger immédiatement le colorant azoïque.

II.4. Colorant de la cuve

Il est nécessaire de convertir les colorants de cuve en leuco-dérivés (c'est-à-dire le produit de réduction qui est incolore ou blanc et soluble dans l'eau). Le leuco-dérivé a une préférence pour des fibres textiles comme le coton, le lin, la laine et la soie. En utilisant l'air ou un agent oxydant, le colorant initial qui ne se dissout pas dans l'eau est régénéré au sein de la fibre. (Laoubi Chaïma. 2017).

II.5. Les colorants réactifs

Contiennent des groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïques, anthraquinonique et phtalocyanine. Leur appellation est liée à la présence d'une fonction chimique réactive, de type triazinique ou vinylsulfone assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres. Solubles dans l'eau, ils entrent de plus en plus fréquemment dans la teinture du coton et éventuellement dans celle de la laine et des polyamides (Mansour, H.B. 2011).

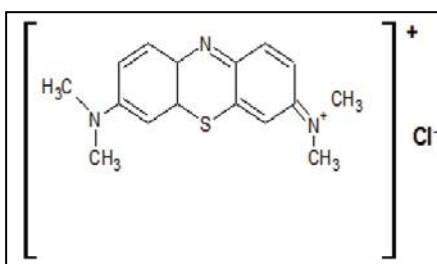


Figure 9 : Structure du Bleu de Méthylène

II.6. Les colorants directs

Les colorants directs se distinguent par leur solubilité dans l'eau, ce qui les rend anioniques. Les colorants azoïques ou phtalocyanines sont principalement utilisés (**BERKANE, Nabila. 2019**). De nombreux critères sont pris en compte pour classer ces colorants, tels que le chromophore, les caractéristiques de solidité ou les caractéristiques d'application (**TALHI, et al. 2021**)

II.7. Les colorants à mordants

Dès les plus anciens temps, on avait constaté que certains oxydes métalliques, avec des colorants appropriés, formaient des associations très solides. C'est ainsi qu'est apparue la technique du mordantage, qui implique de placer un oxyde métallique dans les fibres (de textile) avant la teinture. L'ajout d'un mordant permet aux colorants à mordant de se lier à un matériau pour lequel ils n'ont que peu ou pas d'affinité, ce qui accroît l'interaction entre le colorant et le matériau. La majorité de ces colorants sont composés d'azote ou de triphénylméthane.

II.8 Les colorants dispersés

En général, de composition azoïque ou anthraquinonique, ils sont très peu solubles dans l'eau et sont couramment employés pour la teinture de la plupart des fibres manufacturées, en particulier le polyester. La teinture est réalisée à une température élevée en les déposant dans le bain sous forme d'une poudre fine dispersée. Ils se propagent dans les fibres artificielles et s'y fixent. (**Kourdali, Sidali. 2015**).

III. Impacts des colorants sur l'environnement

De nombreux colorants peuvent être observés dans l'eau, même à des concentrations très faibles ($<1 \text{ mg L}^{-1}$). Ils sont donc responsables des problèmes de pollution causés par la production d'une grande quantité d'eau usée contenant des colorants résiduels. La pollution, l'eutrophisation et les perturbations non esthétiques de la vie aquatique sont causées par le rejet de ces eaux résiduaires dans l'écosystème, ce qui représente un danger potentiel de bioaccumulation qui peut avoir un impact sur l'homme lors du transport à travers la chaîne alimentaire (**BECHIRI OUIAHIBA 2010**).

CHAPITRE III :

Techniques De Traitement

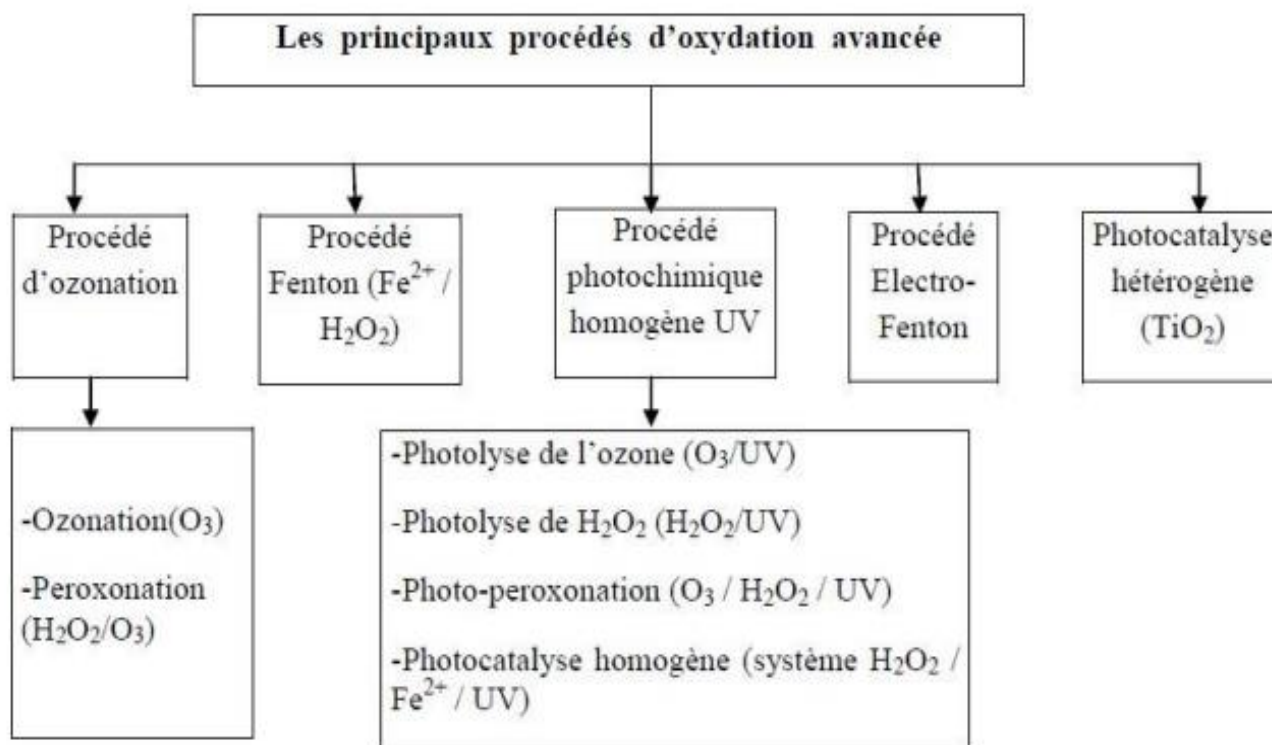
CHAPITRE III : Techniques De Traitement

1. Les Principaux Procédés D'oxydation Avancée :

Les procédés d'oxydation avancée, il s'agit d'un ensemble de techniques de technologie qui utilisent les différents d'oxydation, qui conduit à une minéralisation complète des polluants en CO_2 , H_2O et composés inorganiques. Les POA est basée sur la formation de l'oxydant, le radical d'hydroxyle $\text{HO}^\bullet$ est produit par un agent oxydant tel que le peroxyde d'hydrogène, l'Ozone, les ultraviolette.

Figure 01 : Différents types des procédés d'oxydation avancée (G. Hafida, 2011)

1.1. Réactivité de $\text{HO}^\bullet$



Le radical hydroxyle $\text{HO}^\bullet$ est une molécule composée d'un atome d'oxygène et d'hydrogène possédant un électron non apparié (électron célibataire) sur son orbital externe. Le radical hydroxyle est l'un des oxydants les plus forts parmi les radicaux oxygénés ($E^\circ = 2.8 \text{ V/ESH}$) en milieu acide et en milieu alcalin fort (Boutiti, A., et al. (2018)). Il existe sous sa forme basique conjuguée, le radical anion $\text{O}^\bullet$ ($\text{pK}_a = 11,9$) ; réagissant plus lentement par attaque nucléophile. En milieu acide, c'est la forme d'acide qui réagit sur la matière organique par des réactions d'addition électrophile et des réactions

CHAPITRE III : TECHNIQUES DE TRAITEMENT

d'abstraction d'hydrogène, à décrire les deux réactions selon les équations suivantes (Abdurramane R et al., (2022)).

Équation 01 Réaction d'addition électrophile (addition de radicale $\text{HO}^\bullet$ sur le composé organique R)



Équation 02 : réaction d'abstraction d'hydrogène (élimination d'un atome d'hydrogène)



I.2. Réaction parasites

Lors du traitement de l'eau, il y a certains éléments dans l'eau traitée qui limitent l'action des radicaux hydroxyles, ce sont des inhibiteurs, Ces radicaux $\text{HO}^\bullet$ sont consommés en milieu aqueux par le contaminant, des composés inorganiques présents dans la matrice $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}, \text{Fe}^{+2}$ et / ou les mêmes réactives. $\text{O}_3, \text{H}_2\text{O}_2, \text{Fe}^{+2}$. Gousmi, N. (2019).

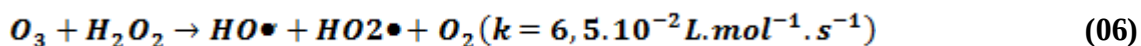
2. Les procédés d'oxydation chimique en phase homogène

2.1. Procédé d'ozonation ($\text{O}_3 / \text{OH}^\bullet$)

C'est un gaz instable dans l'air, l'ozone est un oxydant puissant ($E^\circ = 2.07 \text{ V/ESH}$ à $\text{pH}=0$), il est dégradé les substances organiques, l'ozone se décompose en O_2 et O atomique. (Minière, M., 2016)

2.2 Procédé Peroxonation ($\text{H}_2\text{O}_2 / \text{O}_3$)

Les radicaux d'hydroxyle sont formés à partir des principaux oxydants de la peroxine par décomposition de H_2O_2 comme le montre la réaction ci-dessous.



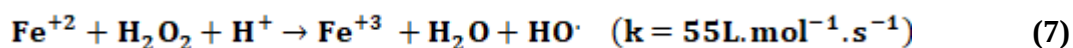
Les radicaux $\text{HO}_2^\bullet$ sont obtenus pour initier la décomposition O_3 et se lient avec H^+ pour la formation des radicaux $\text{HO}^\bullet$.

2.2. Procédé Fenton ($\text{Fe}^{2+} / \text{H}_2\text{O}_2$)

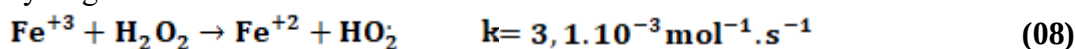
CHAPITRE III : TECHNIQUES DE TRAITEMENT

La réaction Fenton est une interaction entre Fe^{+2} et H_2O_2 , peroxyde d'hydrogène est réagi avec les sels métallique pour donner les espèces radicalaires ($HO\cdot$ et $HO_2\cdot$ etc.).

Les ions de fer réagissent avec le peroxyde d'hydrogène de réactive de fenton selon l'équation suivante



La réduction du Les ions ferriques au le fer ferreux en présence de peroxyde d'hydrogène.



Les avantage de fenton est :

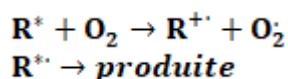
- ✓ Les réactifs simples et non dangereux pour l'environnement.
- ✓ Les racines de peroxyde d'hydrogène réagissent rapidement.
- ✓ Les produits de réaction (H_2O , CO_2 , ions minéraux et hydroxydes ferriques) est non polluent l'environnement.

3. Procèdes photo catalytique en phase homogène

3.1. Photolyse directe UV

Les rayonnements ultraviolets Dans le traitement des eaux usée, c'est seul ou avec le peroxyde d'hydrogène, l'ozone, ou photo Fenton (Bousnoubra, et al 2017). Les polluants organiques sont séparés par excitation UV directe, le composé oxydé par la photo-excitation initiale $R + h\nu \rightarrow R^*$

Réagit avec le dioxygène dissous dans l'eau avant d'être transformé en sous-produits (équation 10,11).



Les vitesses de photo oxydation de composés organiques dépendent de l'absorption du milieu, du rendement du procédé, de la vitesse des photons à la longueur d'onde d'excitation et de la concentration en oxygène dissous.

CHAPITRE III : TECHNIQUES DE TRAITEMENT

Le traitement des composés organiques par photolyse directe a rapidement été abandonné pour de nombreuses raisons incluant les coûts très élevés de fonctionnement. (Chenna, M., 2016).

3.2. Photolyse de l'ozone (O_3 /UV) :

L'ozone est un oxydant thermique spontané, il se décompose rapidement dans l'eau. L'ozone en solution aqueuse absorbe les radiations UV avec un maximum d'adsorption à 253,7 nm. Cette réaction génère H_2O_2 qui initialise sa décomposition en radicaux hydrolyses. Ainsi l'irradiation UV accroît la dégradation des polluants par formation des radicaux $HO\cdot$ (Bousnoubra., et al 2017).



La photolyse de l'ozone ne possède pas les mêmes limitations que la photolyse du peroxyde d'hydrogène lorsqu'on utilise une lampe UV à basse pression de mercure émettant à 254 nm. L'efficacité de ce procédé dépend de la quantité d'ozone utilisée et des longueurs d'onde d'irradiation appliquées, De plus, son application aux eaux très chargées en particules ou composés colorés est délicate, en raison de la moindre efficacité de l'irradiation UV

3.3. Photolyse de H_2O_2 (H_2O_2 /UV)

Le peroxyde d'hydrogène est décomposé sous rayonnement ultraviolet qui conduisent à la formation de la des radicaux hydroxyles à des longueurs d'onde comprises entre (200 nm et 300 nm) selon les équations (14,20). Iboukhoullef, H., 2014).



CHAPITRE III : TECHNIQUES DE TRAITEMENT

La production des radicaux est affectée par les conditions de milieu telles que le PH, les caractéristiques des lampes UV (spectre d'émission, énergie), les caractéristiques du milieu facteur de transmission du rayonnement UV, turbidité, la concentration en H_2O_2 et la présence de consommateurs de radical.

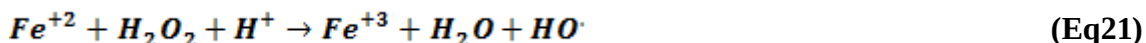
3.4. Photo-peroxonation (O_3 / H_2O_2 / UV):

L'ozone a absorbé les radiations UV et produit du peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (équation 21), qui à former des radicaux hydroxyles par photolyse, H_2O_2 accélère la décomposition de l'ozone O_3 en milieu aqueux, en radicaux $HO^\bullet$



3.5. Photo-Fenton (système H_2O_2 / Fe^{2+} / UV)

Lors que le couplage du rayonnement ultraviolet et la réaction de Fenton H_2O_2 et Fe^{2+} donne le procédé de photo-Fenton (équation 24), régénère de Fe^{2+} par la photolyse de Fe^{+2} (équation 25). (Kesraoui-Abdessalem, A. 2008).



La production des $HO^\bullet$ par la réaction de Fenton par la photolyse de Fe^{+3} et peroxyde d'hydrogène. Par contre, la contribution de la photolyse de H_2O_2 est négligeable car le peroxyde d'hydrogène absorbe peu les rayonnements visibles, Le $Fe(OH)^{2+}$ est absorbé la lumière UV dans la région $250 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$ dans les conditions optimale PH (3-5) mieux que le Fe^{+3} (Ambuludi, S. L., 2012)

4. Photocatalyse En Phase Hétérogène (TiO_2)

La photocatalyse hétérogène est une technologie de type POA basée sur l'oxydant capables de minéraliser la plupart production et l'utilisation de radicaux hydroxyles $HO^\bullet$

CHAPITRE III : TECHNIQUES DE TRAITEMENT

La photo catalyse consiste à irradier un semi-conducteur, à l'aide d'un rayonnement ultraviolet (UV) produit naturellement via la lumière solaire ou artificiellement à l'aide d'une lampe UV avec dioxyde de titane TiO_2 . (Simon, et al., (2008).

La méthode électrochimique est basée sur un processus électronique qui se produit à la surface du dioxyde de Titane en quatre étapes.

➤ Production De Paires D'électrons/Trou

Le processus de photo catalyse est basé sur l'excitation d par le rayonnement UV à toutes les longueurs d'onde ($\lambda < 380$ nm). L'électron de semi-conducteur peut passer de la bande de valence (BV) à une orbitale vacante de la bande de conduction (BC), ensuite, deux sites d'oxydation(trou)sont créés dans la bande de valence.

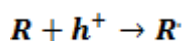
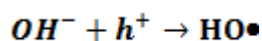
➤ Séparation des électrons et des trous

La durée de vie des paires est de quelques nanosecondes et il libère de la chaleur lorsqu'il est réinstallé, En l'absence d'accepteur et de donneur d'électrons, la réaction est très rapide lorsque le trou/électron est réinstallé.

➤ Réactions d'oxydation et de réduction

Les charges qui en résultent migrent vers la surface du catalyseur et interagissent avec des matériaux capables d'échanger des électrons entre eux. D'autre part, les trous h^+ réagissent avec certaines espèces susceptibles de donner des électrons comme l'eau pour former des radicaux hydroxyles et $R^\bullet$. En oxydant

Les anions HO^- et les produits organiques R adsorbés à la surface du semi-conducteur.



5. Comparaison Des Procèdes D'oxydation Avancée

Tableau 01 : Comparaison des procédés d'oxydation avancée Gumuchian, D. (2014).

Procédé	Avantage	Inconvénient
	Production de radicaux libre et simple. C'est un système d'oxydation	Très cher. Réaction de limitée par le

CHAPITRE III : TECHNIQUES DE TRAITEMENT

O_3/UV	puissant. La possibilité de former H_2O_2 .	transfert de masse de O_3 . Efficacité et durée de vie de la lampe limitée. Sous-produits inconnus. Minéralisation incomplète.
Procédé Fenton	Oxydant puissant permettant la décoloration rapide de la solution et la minéralisation des colorants organiques	Apport constant en H_2O_2 Régénération du catalyseur limitée Transport, stockage et manipulation de H_2O_2
H_2O_2/UV , $H_2O_2/Fe^{3+}/UV$	Source importante et directe de radicaux hydroxyles. 100% de rendement quantique de la photolyse.	Transport, stockage et manipulation de H_2O_2 . Efficacité et durée de vie des lampes UV limitée. Coefficient d'absorption H_2O_2 faible. Production de sous-produits inconnus.
Photocatalyse Hétérogène Systèmes Photocatalytiques ($TiO_2/UV...$)	Installation simple. Dégradation efficace des composés organiques.	Procédé limité par le transfert de masse. Nécessitent la récupération du catalyseur après réaction. Efficacité et durée de vie des lampes UV limitées.

CHAPITRE III : TECHNIQUES DE TRAITEMENT

Électrocoagulation	Faible quantité de produits Chimique. Élimination des Composés organiques.	La production de H ₂ à la cathode qui empêche la fuite du matériau.
--------------------	---	--

Chapitre IV :

CHIMIE VERTE

La Chimie Verte

I.1.GENERALITE SUR LA CHIMIE VERTE

« La chimie verte est la pratique de la chimie d'une manière qui maximise ses avantages tout en éliminant ou en réduisant considérablement ses impacts négatifs. La chimie verte est la pratique durable de la science chimique et de la fabrication dans un cadre d'écologie industrielle d'une

CHAPITRE IV : CHIMIE VERT

manière durable, sûre et non polluante, consommant des quantités minimales d'énergie et de ressources matérielles tout en ne produisant pratiquement aucun déchet » (**Mitarlis et al , (2023)**)

La tendance actuelle des termes souvent entendus et étudiés par des experts tels que développement durable, chimie verte, chimie durable, etc. (**Anastas et al .,(2018)**). Industrie verte (**Grillitsch, et al(2019)**), technologie verte (**Guo et al (2020)**), économie verte (**Georgeson et al .,(2017)**)

I.1.Définition

La chimie verte, aussi connue sous le nom de chimie durable, consiste à développer et à mettre en place des procédés qui ont pour but de réduire la génération de substances toxiques durant l'ensemble du cycle de vie d'un produit chimique. Que ce soit lors de sa conception, sa production, son utilisation ou encore de son élimination, le produit chimique est pensé pour avoir un impact environnemental et sanitaire minimisé. La chimie verte a pour objectif de promouvoir l'utilisation de matières premières issues de la biomasse donc renouvelables, favoriser l'utilisation de produits non-toxiques, gérer et réduire au maximum les déchets et les émissions de gaz à effet de serre. Pour comprendre le champ d'action de la chimie verte. La chimie verte, chimie écologique ou chimie renouvelable, prévoit la mise en œuvre de principes pour réduire et éliminer l'usage ou la génération de substances néfastes pour l'environnement.

I.2.L'historique de la chimie verte

L'environnement est désormais au centre des préoccupations des mondes économiques et industriels. Il y a un peu plus de 15 ans, plusieurs chercheurs se sont attachés à proposer des paramètres permettant de qualifier une réaction du label de " chimie verte ". Naissance du concept de chimie verte au début des années 1990. En 1991, l'agence Américaine pour la protection de l'environnement lance la première initiative de recherche en chimie verte. Le concept de la chimie verte est défini en 1998 par les chimistes Américaines Paul Anastas et John C. Warner appartenant à l'EPA "Environnement al protection Agency. (United States Environnemental Protection Agence).

La chimie verte est la science de la matière et de ses transformations," et la vie ; est son expression la plus haute". Elle fournit des structures douées de propriétés et élabore les procédés

CHAPITRE IV : CHIMIE VERT

de synthèse de ces structures, elle est aussi science de transfert, nœud de communication entre le simple et le complexe, entre les lois de la physique et les règles de la vie... ». Elle prévoit l'utilisation de principes pour réduire et éliminer l'usage de substances néfastes pour l'environnement, par de nouveaux procédés chimiques et des voies de synthèses « propre », c'est-à-dire respectueuse de l'environnement

II. Les douze principes de la chimie verte

Le concept de chimie verte a été proposé en 1991 par les chimistes Anastas et Warner appartenant à l'EPA (United States Environmental Protection Agency). Il repose sur 12 principes permettant au milieu industriel de diminuer les impacts négatifs au niveau économique et surtout environnemental.

II.1. Prévention

Ce principe a été formulé par Anastas et Warner 1998 "il est préférable de prévenir les déchets que de traiter, de réduire de moitié ou de former des déchets". **Kolb, V. M. (2017)**. Les déchets sont générés quotidiennement par les laboratoires et divers environnement industriels, l'élimination finale peut être très coûteuse et vous pouvez échouer et peut donner des substances toxiques ce qui affecte négativement sur l'environnement et les humains. Il vaut mieux limiter la pollution à la source plutôt que de devoir éliminer les déchets (Ducamp, C. (2011)).

II.2. L'économie d'atomes

Des méthodes économiques doivent être conçues pour maximiser l'incorporation de tous les matériaux utilisés dans le processus dans le produit final. Améliorer l'intégration des réactifs dans le produit final pendant la réaction chimique.

II.3. Synthèses chimiques moins nocives

Les méthodologies de synthèse doivent être conçues pour utiliser et générer des matériaux peu ou pas toxiques pour la santé humaine et l'environnement" (**Kolb, V. M. 2017**). Concevoir des synthèses chimiques moins dangereuses qui utilisent et produisent des produits chimiques non toxiques et nocifs pour la santé et l'environnement.

II.4. Conception de produits chimiques plus sécuritaires

CHAPITRE IV : CHIMIE VERT

Les produits chimiques doivent être conçus pour maintenir l'efficacité de la fonction tout en réduisant la toxicité". Concevoir des produits et composés chimique non dangereux et non toxique tout en préservant leur fonction.

II.5. Solvants et auxiliaires plus sécuritaires

L'utilisation de matériaux auxiliaires tels que les solvants et les matériaux de séparations doit être inutile chaque fois qu'elle est nocive lorsqu'elle est utilisée. Les matériaux auxiliaires sont des matériaux utilisés pour la séparation, l'isolation et pour purification des produits chimique qui sont utilisés quotidiennement dans les laboratoires et les usines. L'utilisation des solvants et des substances auxiliaires doit être réduite au maximum.

II.6. Amélioration du rendement énergétique

Les besoins en énergie pour leurs impacts environnementaux et économiques devraient être reconnus et minimisés". (Kolb, V. M. (2017)). L'énergie est consommée à toutes les étapes des expériences chimiques, la fabrication, le chauffage, refroidissement...etc., la production d'électricité nécessite souvent un équipement énorme et coûteux.

II.7. Mettre à profit les matières premières renouvelables

La matière première doit être renouvelable là où cela était techniquement et économiquement possible". Kolb, V. M. (2017)

Les matières premières sont principalement des substances pétrochimiques, il est préférable l'utilisation de ressources fossiles qui représente l'ensemble de la matière organique et le matériau végétal qui est utiliser comme matière primaire renouvelable.

II.8. Réduire le nombre de dérivés susceptibles de créer des déchets

Ce principe a été formulé par Anastas et Warner 1998"Dérivation (groupe de blocage, protection/dé protection, modification temporaire de processus physiques/chimiques) doivent être évités autant que possible". Kolb, V. M. (2017).

II.9. Privilégier les procédés catalytiques aux procédés stœchiométriques

Ce principe a été formulé par Anastas et Warner 1998" Catalyseur les réactifs (aussi sélectifs que possible) sont supérieurs aux réactifs stœchiométriques". Les catalyseurs améliorent la réaction chimique, les réactifs catalytiques sont hautement sélectifs supérieurs aux réactifs équivalents.

II.10. Conception de la dégradation finale

CHAPITRE IV : CHIMIE VERT

Ce principe a été formulé par Anastas et Warner 1998" Les produits chimiques doivent être conçus de manière à ce qu'à la fin de leur fonction, ils ne persistent pas dans l'environnement et ne se décomposent pas en produits de dégradation inoffensifs". **Kolb, V. M. (2017).** La plupart des produits chimiques et des biens de consommation ne se décomposent pas facilement et sont donc un problème pour l'environnement. **(NAMANI, A., & MATMAR, A.2021)**

II.11. Mettre au point des méthodes d'analyses en temps réel de lutte contre la pollution

Les méthodologies analytiques doivent être développées pour permettre une surveillance et un contrôle en temps réel en cours de processus avant la formation de substances dangereuses".

Ce principe est basé sur le développement de techniques de surveillance des réactions latérales et de la transformation des matériaux en substances dangereuses et toxiques, une fois vous le savez, vous éliminez sa composition ou vous le réduisez. **Kolb, V. M...**

II.12. Minimiser le risque d'accidents en pratiquant une chimie à sécurité Maximale

Ce principe a été formulé par Anastase et Warner 1998" Substances et la forme d'une substance utilisée dans un processus chimique devrait être choisie de manière à minimiser le potentiel d'accidents chimiques, y compris les rejets, les explosions et les feux". . Ce principe vise à réduire ou à empêcher l'utilisation de substances ayant des propriétés dangereuses, telles que l'inflammabilité ou celles qui produisent des substances nocives pour l'environnement.

Les 12 Principes de la Chimie Verte



Figure 01 : Les 12 principes de la chimie verte (éliminer le gras)

III. L'utilisation des colorants dans la chimie verte

L'utilisation de colorants dans la chimie verte est un domaine de recherche important et actif, pour un développement de colorants durables et respectueux de l'environnement. De nouvelles méthodes de synthèse ont été développées pour produire des colorants à partir de matière première naturelles et renouvelables, telles que les plantes, les légumes et les fruits. Ces colorants naturels peuvent offrir une alternative plus respectueuse de l'environnement et plus saine pour les consommateurs.

III.1. Les colorants comme indicateurs de la chimie verte

Les colorants peuvent être utilisés comme indicateurs de la chimie verte dans la mesure, la surveillance et dans l'évaluation des réactions chimiques en temps réel, ils peuvent être utilisés pour suivre la progression d'une réaction chimique. Par exemple, un indicateur acido-basique tel que le bleu de bromothymol, change de couleur en fonction du pH de la solution.

CHAPITRE IV : CHIMIE VERT

De même les indicateurs redox pour surveiller la production de composés organiques à partir des réactions de réduction.

En évitant l'utilisation de produits chimiques dangereux, toxiques et coûteux, ce qui est cohérent avec les principes de la chimie verte, sachant que l'utilisation des colorants peut également avoir un impact environnemental lorsqu'ils sont rejetés dans l'environnement, et qu'il convient donc de veiller à leur utilisation et à leur élimination de manière responsable.

III.2. Application des colorants naturels dans l'industrie chimique

Les colorants naturels sont de plus en plus utilisés dans l'industrie chimique en raison de la demande croissante de produits plus naturels et durables. Les colorants naturels sont des pigments extraits de sources végétales, animales ou minérales et ils offrent plusieurs avantages par rapport aux colorants synthétiques, dans l'alimentation et les boissons, textiles et cosmétiques ainsi les produits pharmaceutiques.

III.3. Les avantages des colorants naturels dans la chimie verte

L'utilisation de colorants naturels présente plusieurs avantages, notamment : une réduction des produits chimiques synthétiques potentiellement nocifs, une diminution de l'impact environnemental et une demande croissante de produits naturels et durables. Cependant, il convient de noter que même les colorants naturels peuvent provoquer des réactions allergiques chez certaines personnes, et une réglementation stricte est nécessaire pour garantir leur sécurité et leur qualité dans l'industrie chimique.

III.4. Nettoyage à sec écologique des vêtements

Le perchloroéthylène est le solvant le plus couramment utilisé dans les vêtements de nettoyage à sec. Le perc (Cl_2C) est soupçonné d'être cancérigène et il contamine les eaux souterraines lors de son élimination. Une nouvelle technologie connue sous le nom de technologie miCell est développée par Joseph De Simons, Timothy Remark et James McClain dans laquelle le dioxyde de carbone liquide peut être utilisé comme solvant plus sûr avec un tensioactif pour sécher les vêtements propres. Cette méthode est maintenant utilisée commercialement par certains nettoyeurs à sec. Les machines de nettoyage à sec ont été modifiées pour utiliser cette technologie afin que le PERC cancérigène soit remplacé par un solvant vert (McCoy, M.,(2016))

CHAPITRE IV : CHIMIE VERT

III.5. Agents de blanchiment verts

Classiquement, lors de la fabrication d'un papier blanc de bonne qualité, la lignine du bois utilisé pour celui-ci est éliminée en plaçant de petits morceaux de bois dans un bain d'hydroxyde de sodium et de sulfure de sodium suivi de sa réaction avec le chlore.

Au cours du processus, le chlore réagit également avec les cycles aromatiques de la lignine pour former des dioxines chlorées et des furanes chlorés. Ces composés étant cancérigènes, causent des problèmes de santé. Terrence Collins de l'université Carnegie Mellon a développé un agent de blanchiment vert qui implique l'utilisation de H_2O_2 comme agent de blanchiment en présence de certains activateurs tels que TAML qui catalysent la conversion rapide de H_2O_2 en radicaux hydroxyles qui provoquent le blanchiment. Cet agent de blanchiment décompose la lignine en un temps plus court et à une température beaucoup plus basse. Il peut être utilisé en lessive et réduit la consommation d'eau. (Wallenberger et,(2002))

III.6. Solution pour rendre l'eau trouble claire

La poudre de graine de tamarin, jetée comme déchet agricole, est un bon agent pour créer des eaux usées municipales et industrielles claires. La suite actuelle consiste à utiliser du sel d'Al pour traiter cette eau. Il a été constaté que l'alun augmente les ions toxiques dans l'eau traitée et provoque des maladies comme la maladie d'Alzheimer. D'autre part, la poudre de noyau n'est pas toxique et est périssable et économique. Pour l'étude, quatre flocculats spécifiquement la poudre de graine de tamarin, le mélange de la poudre et de l'amidon, l'amidon et l'alun ont été utilisés. Les flocculats avec des boues étaient prêts en combinant une quantité mesurée d'argile et d'eau. Le résultat a montré que l'agrégation de la poudre et des particules en suspension était très poreuse et permettait à l'eau de s'exsuder et de devenir compacte et de former un volume plus important d'eau claire. Les flocons d'amidon, en revanche, se sont révélés légers et moins poreux et ne permettaient donc pas à l'eau de la goûter facilement. L'étude établit le potentiel de la poudre en tant que flocculats économiques de degré associé avec des performances proches des flocculats plus mûrs comme $K_2SO_4Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$.

III.7. Générateur de vent

CHAPITRE IV : CHIMIE VERT

Les coûts d'une éolienne domestique varient considérablement. Certains ont construit leurs propres éoliens avec des pièces prêtes à l'emploi provenant de leurs quincailleries locales. D'autres ont acheté des kits ou payé une installation professionnelle pour compléter l'électricité achetée à partir de leur réseau électrique local. La capacité de production d'électricité d'une éolienne domestique varie à peu près autant que la dépense initiale. De nombreux générateurs en kit ne produiront que suffisamment d'énergie pour compenser 10 à 15 % des coûts énergétiques de votre maison (**Payal Rathi. ;(2023)**).

Élimination de colorant textile par UV/H₂O₂

I-Introduction

Cette étude a pour but d'évaluer l'efficacité et l'applicabilité d'un procédé d'oxydation avancée (UV/H₂O₂), pour le traitement des eaux polluées par de colorants de Textile. La particularité de ce procédé tient à la génération dans le milieu d'entités oxydantes très réactives, les radicaux hydroxyles (HO•) qui sont capables d'oxyder n'importe quelle polluant organique jusqu'à la minéralisation totale.

Dans cette étude expérimentale, nous avons étudié en premier lieu la photolyse de colorant par le système : UV_{seul}, UV/H₂O₂ dans le but

- De montrer l'influence de quelques paramètres expérimentaux sur le taux de dégradation des colorants azoïque.
- D'étudier l'efficacité de ce système sur la dégradation des colorants.

II. Matériels Et Méthodes

II.1 Caractéristiques Spectrales De Colorant

Le spectre UV/visible de colorant étudié en conditions expérimentales, notamment à pH acide, basique et naturel. Pour atteindre cet objectif, nous rappelons essentiellement que :

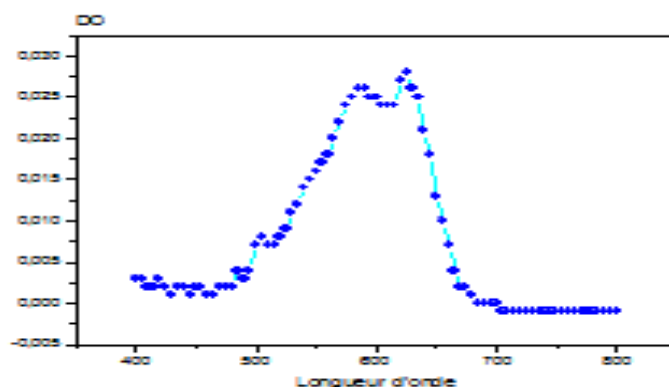


Figure (1) : Spectre UV/Vis- d'absorbance du BC

Le spectre de bleu Cibacron est dépend de deux bandes d'adsorption qui est localisé à la plus intense $\lambda=625\text{nm}$ ($\epsilon_{\text{max}} = 8530.66\text{L.mol}^{-1}\text{.cm}^{-1}$) et la moins intense $\lambda=585\text{nm}$ ($\epsilon_{\text{max}} = 7921.33\text{L.mol}^{-1}\text{.cm}^{-1}$) dans une concentration 5ppm.

- La solution à traiter est préparée à partir d'une eau distillée et de colorant ; les différentes concentrations sont obtenues par dilution.
- L'eau oxygénée retenue comme espèce oxydante est à une concentration de 90% en masse. L'avantage de travailler à une telle concentration revient à employer des volumes très faibles de l'ordre de quelques millilitres ; qu'on injectera dans la solution à traiter ; les concentrations utilisées varient de 100 à 400 mg/L, de cette façon l'incidence sur le volume réactionnel est négligeable.
- Les pH acides ou basiques sont obtenus par ajustement de la solution à l'aide d'une solution de soude NaOH à 1 N et d'acide chlorhydrique HCl à 1 N.

II.2. Montage

L'expérience d'irradiation à 254 nm, ont été réalisées dans une enceinte cylindrique, comprenant un réacteur tubulaire de 2 cm de diamètre, et les expériences ont été effectués avec une lampe à basse pression de vapeur de mercure (253,7 nm) correspondant aux domaines de la photolyse des composés organiques ou du peroxyde d'hydrogène. Sont présentés successivement et entourant ce réacteur dans une symétrie parfaite. Il est à préciser que tout le dispositif interne est placé dans le sens vertical de l'enceinte d'irradiation. L'évolution spectrale et les mesures de la densité optique des solutions du colorant, à différents temps de réaction ont été suivies par spectrophotométrie UV/Visible.

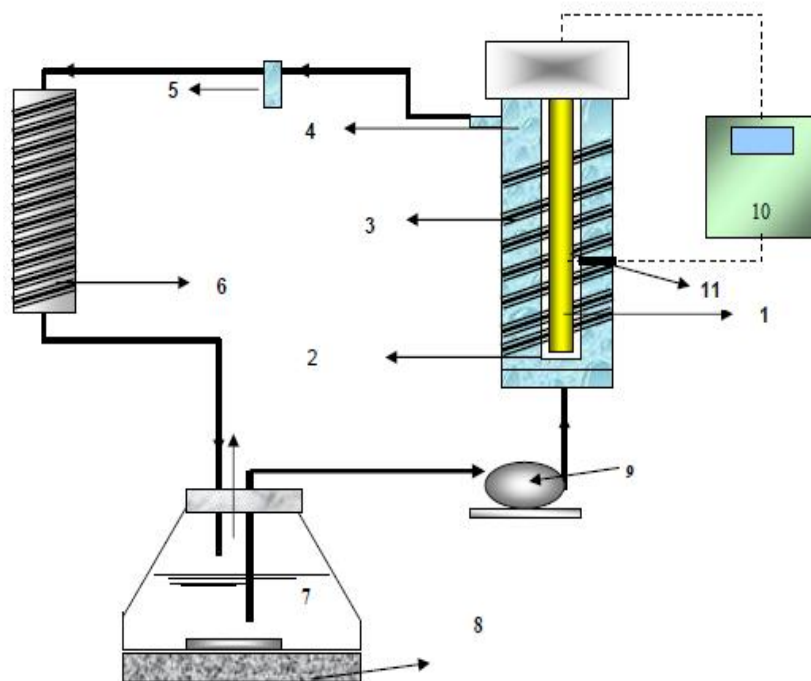


Figure (2) : Réacteur pour le procédé UV/H₂O₂

(1) Lampe UV (2) Jacquette de la lampe en quartz (3) Réacteur cylindrique en inox (4) Système de refroidissement (6) Système de refroidissement à eau (8) Agitateur magnétique (9) Pompe centrifuge (11) Actinomètre (5) Point d'échantillonnage (7) Eau brute à traiter (10) Alimentation électrique

II.3. Protocoles des essais

- La solution à traiter est préparée à partir d'une eau distillée et de colorant ; les différentes concentrations sont obtenues par dilution.
- L'eau oxygénée retenue comme espèce oxydante est à une concentration de 90% en masse. L'avantage de travailler à une telle concentration revient à employer des volumes très faibles de l'ordre de quelques millilitres ; qu'on injectera dans la solution à traiter ; les concentrations utilisées varient de 100 à 400 mg/L, de cette façon l'incidence sur le volume réactionnel est négligeable.
- Les pH acides ou basiques sont obtenus par ajustement de la solution à l'aide d'une solution de soude NaOH à 1 N et d'acide chlorhydrique HCl

à 1 N.

II.4. Produits chimiques

Les produits chimiques utilisés au cours de cette étude Tableau (4) sont de qualité analytique. Ils ont été utilisés sans purification préalable. Les solutions ont été préparées avec de l'eau distillée.

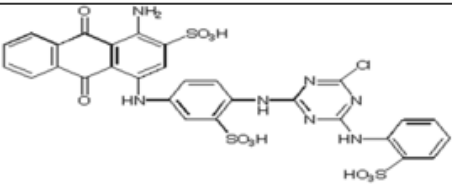
Tableaux 01 : Les produits chimiques utilisés

produits	Formule	Brute
Peroxyde d'Hydrogène	H_2O_2	30%
Ethanol	C_2H_5OH	95%
Hydroxyde de sodium	<u>NaOH</u>	98%
Acide chlorhydrique	<u>HCl</u>	99%

II.5. Caractéristique de bleu Cibacron

Le colorant qui a fait l'objet de cette présente étude est un colorant direct qui se distingue par son infinité pour les fibres sans application de mordant, liée à la structure plane de leur molécule. Le tableau (3) Donne le colorant étudié avec son nom chimique et quelques caractéristiques.

Le tableau 02 : Caractéristiques de Bleu Cibacron.

Nom chimique	abréviation	Structure	Class chimique	λ_{max} (nm)
<u>Bleu Sibacron</u>	BC		Direct	600

II.6. Protocoles des essais

- La solution à traiter est préparée à partir d'une eau distillée et de colorant ; les différentes concentrations sont obtenues par dilution.

- L'eau oxygénée retenue comme espèce oxydante est à une concentration de 90% en masse. L'avantage de travailler à une telle concentration revient à employer des volumes très faibles de l'ordre de quelques millilitres ; qu'on injectera dans la solution à traiter ; les concentrations utilisées varient de 100 à 400 mg/L, de cette façon l'incidence sur le volume réactionnel est négligeable.
- Les pH acides ou basiques sont obtenus par ajustement de la solution à l'aide d'une solution de soude NaOH à 1 N et d'acide chlorhydrique HCl à 1 N.

II.7. Méthodes d'analyse

La spectroscopie UV-Visible permet d'accéder qualitativement à des renseignements quant à la nature des liaisons présentes au sein de l'échantillon mais également de déterminer quantitativement la concentration d'espèces absorbant dans ce domaine spectral. Non destructive et rapide, cette spectroscopie est largement répandue en travaux pratiques de chimie ainsi qu'en analyse chimique ou biochimique.

La méthode spectrophotométrique nécessite pour son utilisation, l'établissement des courbes d'étalonnage qui relient l'absorbance à la concentration de l'échantillon à analyser. La spectroscopie UV-Visible permet d'accéder qualitativement à des renseignements quant à la nature des liaisons présentes au sein de l'échantillon.

III. Résultats et discussion

Les expériences de photolyse directe UV de cette colorant, ont été effectuées en réacteur statique (type tubulaire) et sous éclairage externe par une lampe germicide Ainsi nous avons constaté que :

Pour une concentration de 50 ppm, aucune photolyse de ce colorant n'est produite après 22 heures d'irradiation. ($D.O \gg 2$ tout au long de cette période)

Pour une concentration de 10 à 15 ppm et sur le même temps d'irradiation, une photolyse faible de ce colorant a été obtenue. En effet, le pourcentage de décoloration atteint, dans ces conditions, est de l'ordre de 0.5% après un temps 900 min.

L'étude de cet effet a montré que le pourcentage de décoloration de solution de colorant augmente lorsque la concentration initiale de ce dernier diminue. En effet, après 1 heure

d'irradiation, nous avons obtenu des diminutions décroissantes par rapport à la concentration.

III.1. Modélisation de l'influence de la présence de H_2O_2 sur la photolyse de BC :

Avant de commencer l'étude du processus du bleu Cibacron par H_2O_2 /UV, il est nécessaire de vérifier les possibilités de réaction d'oxydation pouvant se produire entre le colorant et H_2O_2 en l'absence de rayonnement UV à 254 nm. Ainsi, l'évolution thermique d'un mélange constitué par 3 ppm de colorant et de 5ml en H_2O_2 a été suivi au cours du temps et par balayage spectrophotométrique entre 200 et 800 nm. Comme le montre la figures 3, la cinétique de dégradation de BC, n'est pas significativement il est amélioré par la présence de peroxyde d'hydrogène dans le milieu.

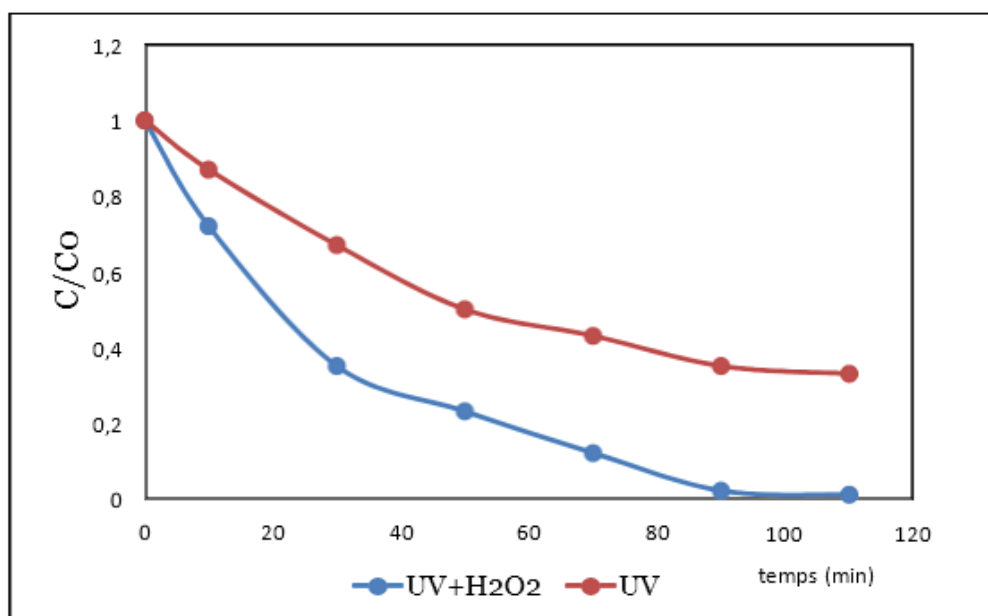


Figure 03 : Modélisation de l'influence de la présence de H_2O_2 sur la photolyse de BC

III.2 Evolution spectrale du processus de décoloration de BC en fonction du temps de traitement

La figure 4 représente le spectre d'absorbance évolue en fonction du temps de traitement, comme le montrent la figure 4. Les bandes d'absorption correspondant à la fonction azo $-N=N-$, caractéristique de ce type de colorant, ainsi que l'épaule est observé sur le spectre. Le traitement par l'ultraviolet réduit l'intensité de pic. Celui-ci disparaît complètement après 160 minutes de traitement. Il est possible que cette décoloration soit due à la destruction progressive de

la bande la plus intense absorbante dans le système conjugué, qui est responsable de la couleur des transitions caractéristiques des cycles aromatiques, dans le visible. Le bande d'absorption qui se forment en fonction du produit intermédiaire et commencent à diminuer devraient disparaître si ce n'est que le comportement de solution diluée envers l'oxydation par les HO•. De plus, les données du spectre infrarouge indiquent que la séparation du colorant initial à la suite de l'action oxydante des radicaux hydroxyles est accompagnée de la formation de composés intermédiaires aromatiques qui absorbent dans les zones de 220 et 280 nm. À leur tour, ces derniers sont dégradés par les radicaux hydroxyles.

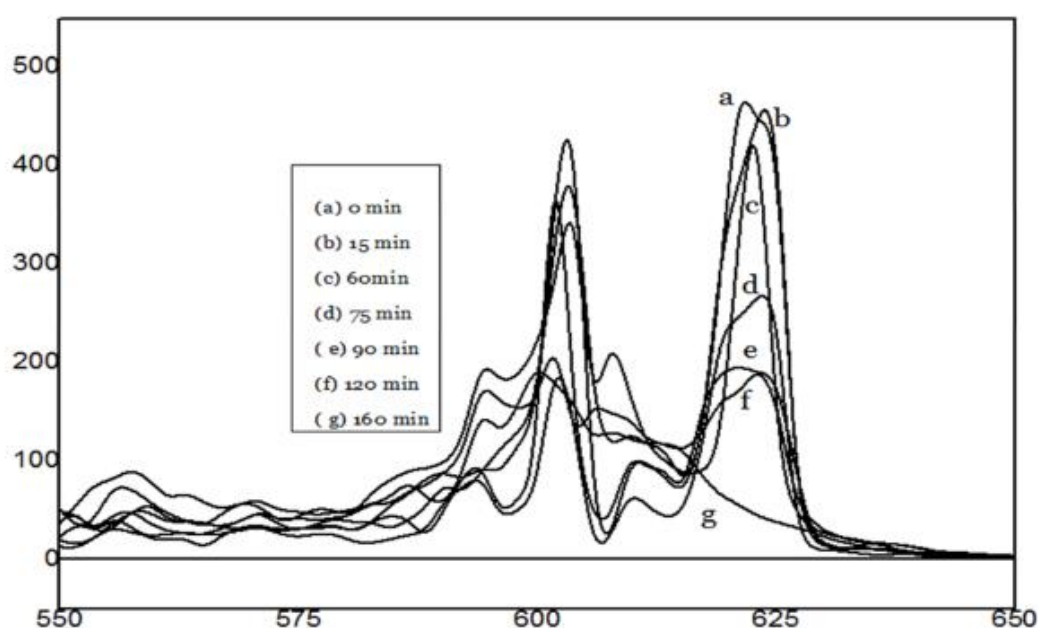


Figure 04 : Evolution spectrale du processus de BC en fonction du temps de traitement. (3 ppm) – H₂O₂ (3 ml).

III.3.Modélisation de l'influence de la concentration de départ sur la photolyse de BC

Dans le but d'évaluer le rôle joué par la concentration initiale de solution du colorant lors du traitement par système UV/H₂O₂, nous avons réalisé des expériences en gardant la teneur meanu oxygénée de 3mL et en variant la charge initiale du colorant de 1 à 5ppm. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 05

Les résultats montrent que, lorsqu'on irradie la solution, les colorants sont

totalément éliminés pour les trois différentes concentrations. Le temps nécessaire pour l'élimination totale est fonction de la concentration initiale. En outre, plus la concentration initiale du colorant est importante, plus le temps d'irradiation nécessaire augmente, évidemment.

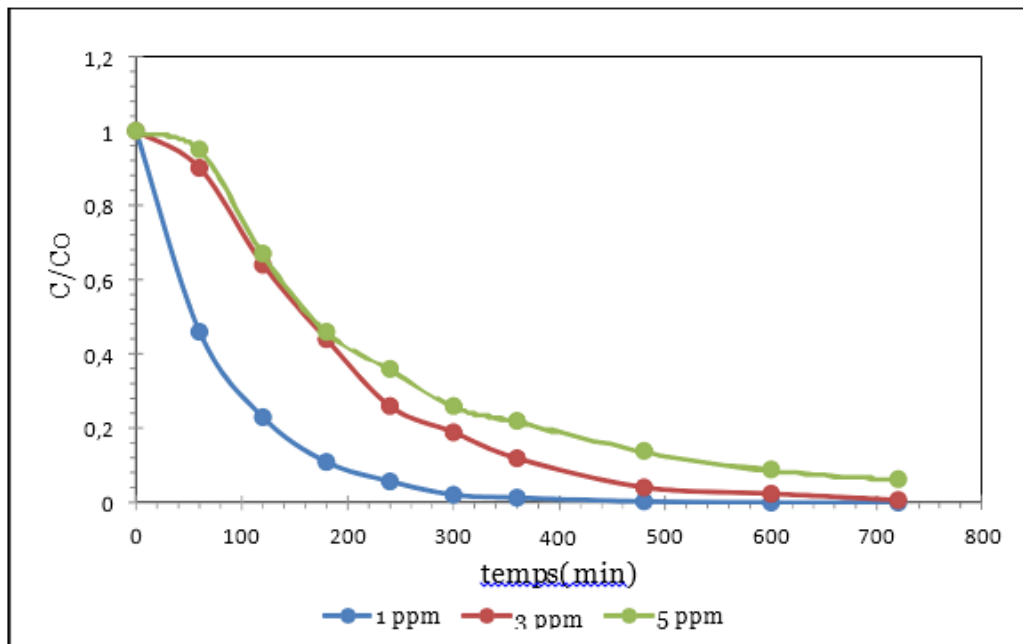
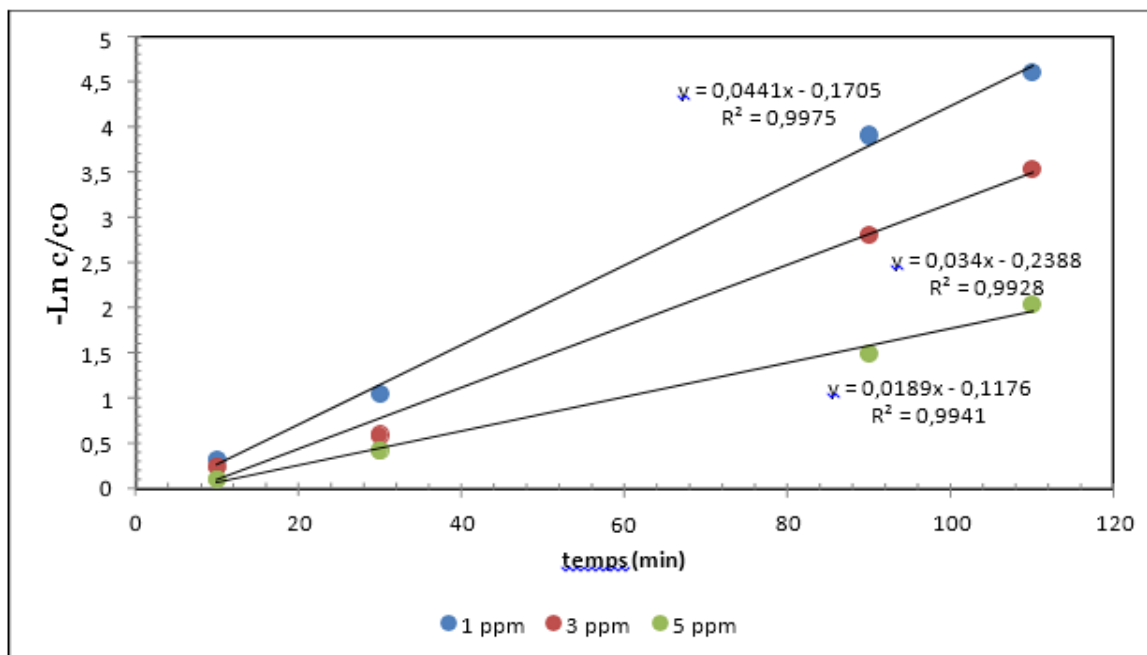


Figure 05 Modélisation de l'influence de la concentration de départ *sur la photolyse de BC*

III.4. Approche cinétique (détermination des constantes cinétiques)



Pour décrire les cinétiques de dégradation de ce colorant, nous nous sommes inspirés des résultats relatés dans la littérature (Kinkennon et al., 1995 ; Mathew et al., 1996 ; Herrmann et al., 2000 ; Gerecke et al., 2001 ; Macounova et al., 2001 ; Higarashi et al., 2002., Farran et al., 2004). Comme nous l'avons montrée précédemment, le colorante est un composé photolysable en présence de H₂O₂, l'équation cinétique globale comprend en fait deux composantes, la photolyse directe et la hydroxyles formés. Selon Jacob (1995), les radicaux hydroxyles sont des réactifs avec une durée de vie très courte, d'environ quelques nanosecondes. Cela conduit à une concentration quasi-stationnaire de radicaux hydroxyles dans la solution, ce qui signifie que leur vitesse de formation est égale à leur vitesse de disparition dans le milieu réactionnel. La cinétique de photodégradation de nombreuses molécules organiques est généralement définie comme celle des réactions d'ordre un avec une vitesse qui est équivalente à l'équation.

Figure : 06Détermination des constantes de vitesse apparentes de l'influence de la concentration initiale de la solution sur la photolyse de BC

Tableau 03 : Constantes de vitesses apparentes (k_{app}) de l'influence de la concentration initiales de la solution sur la photolyse

Concentration	Bleu cibacron	
	K	R ²
1ppm	0.044	0.997
3ppm	0.034	0.992
5ppm	0.018	0.994

Selon les Figures I.8 et les valeurs des coefficients de corrélation des droites obtenues, cette loi cinétique de pseudo-premier ordre de la dégradation de colorant par le système UV est entièrement conforme aux valeurs expérimentales. Il est observé que la constante de réaction apparente (k_{app}) augmente à mesure que la concentration initiale en colorant diminue.

III.5.Modélisation de l'influence de volume en H₂O₂ sur la photolyse de BC

Les courbes montrent que l'augmentation du volume en eau oxygénée affecte directement la cinétique de dégradation de colorant sous l'effet des radiations ultraviolettes. En effet, nous constatons d'après les courbes du graphe que plus le volume en eau oxygénée est important par rapport à la concentration de colorant moins la dégradation est importante, et que cette dégradation est meilleure au rapport concentration de colorant égale à 3ppm et en eau oxygénée égale à 7ml. Il est impossible d'exclure un effet d'écran pour les concentrations élevées de peroxyde d'hydrogène. De la même manière, l'oxygène dissous joue également un rôle clé dans le processus. Les recherches menées par Karpel et ses collègues en 1997 ont étudié la photolyse du composé organique en présence de peroxyde d'hydrogène met en évidence cette fonction cruciale de l'oxygène dissous. Finalement, la configuration des réacteurs peut également avoir un impact significatif, en particulier sur la puissance de la lampe.

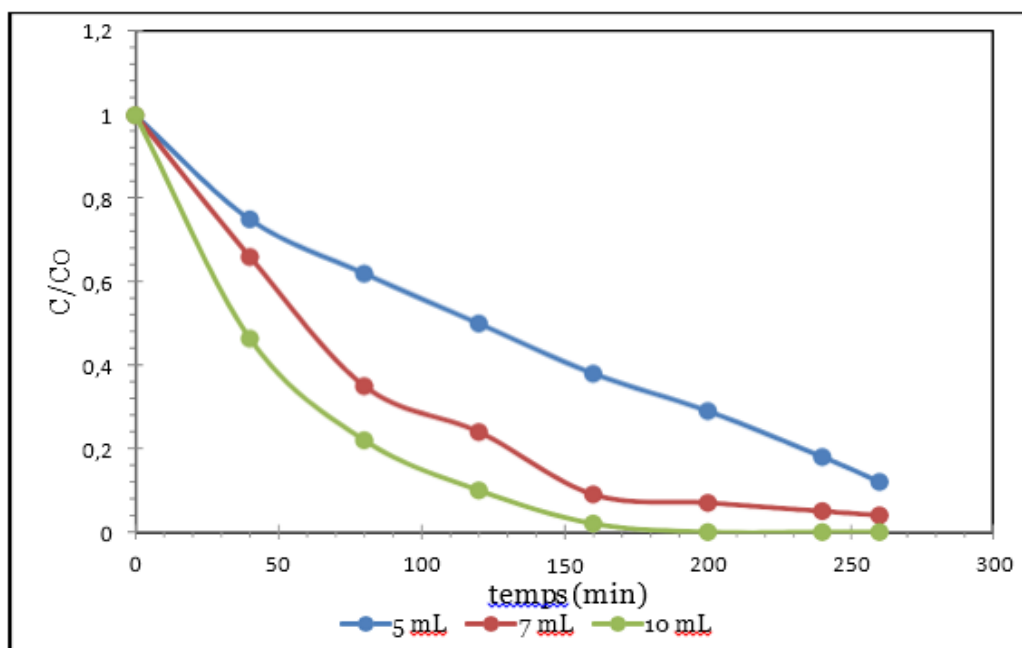


Figure 07 : Modélisation de l'influence de volume en H₂O₂ sur la photolyse de

Bc

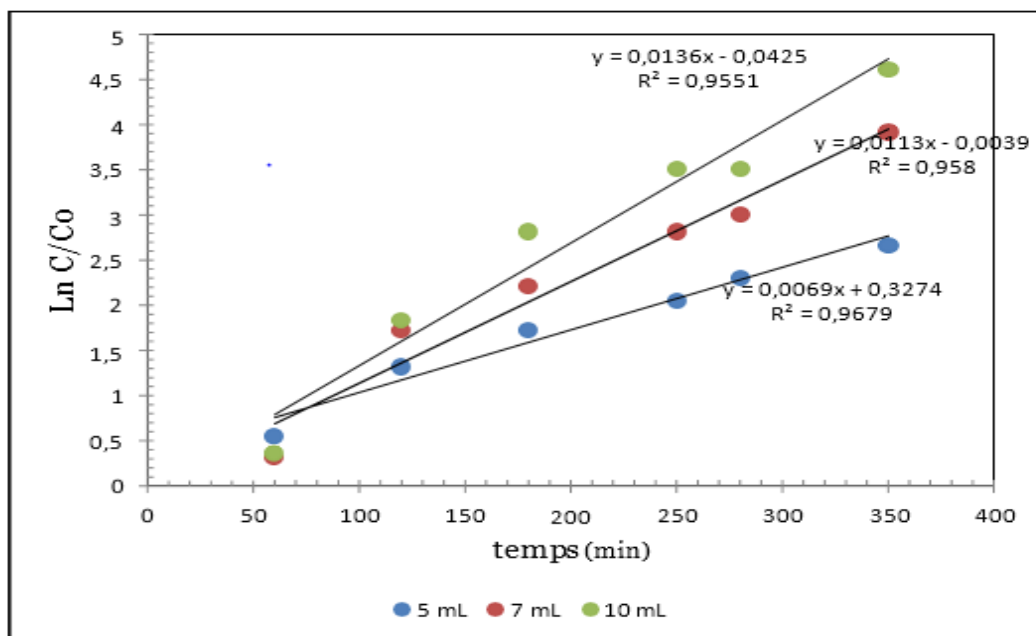


Figure 08 Détermination de constante de vitesse apparente de l'influence de volume en H₂O₂ sur la photolyse de BC

III.6. Approche cinétique (détermination des constantes cinétiques) :

Loi du premier ordre classe donne de bons résultats et corrects pour les effets de volume, comme le montre la Figure 09.

Ces résultats montrent que la vitesse initiale d'oxydation de colorant augmente, lorsque le volume en H_2O_2 augmente car la constante cinétique passe de 0.006 à 0.011 puis se stabilise pour des volumes élevés.

Tableau 04 : Constante de vitesse apparente (k_{app}) de l'effet de H_2O_2

Volume H_2O_2	Bleu Cibacron	
	K	R ²
5 mL	0.006	0.989
7 mL	0.014	0.986
10 mL	0.024	0.993

La valeur de la constante cinétique, que l'effet de l'oxydant n'est plus significatif pour des volumes faibles au-dessous de 5mL.

III.7. Modélisation de l'influence de PH de la solution sur la photolyse de BC

Le PH joue un rôle marquant et ardu dans le système de photolyse en présence d'un catalyseur, En effet, le pKa de H_2O_2 est de 11,7 et à partir de PH 8,5-8,7, l'effet de la présence de HO^{-2} est significatif. On peut donc avoir deux effets.

L'accélération de la vitesse de dégradation due à l'accélération de la réaction de photolyse de HO^{-2} ($\epsilon_{HO^{-2}} = 240 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ et $\epsilon_{H_2O_2} = 18.6 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$), donc l'augmentation de la production de radicaux $HO^\bullet$.

La diminution de la vitesse de dégradation due à la compétition plus élevée de la réaction des radicaux $HO^\bullet$ avec HO^{-2} , puisque la constante de vitesse du radical $HO^\bullet$ avec l'ion $HO^\bullet$ est plus importante (100 fois plus grande) qu'avec la molécule de peroxyde d'hydrogène ce que l'on constate dans le cas des colorants. La figure 11 rapporte les cinétiques de dégradation de colorant en fonction du pH, donc l'augmentation de la production de radicaux $HO^\bullet$.

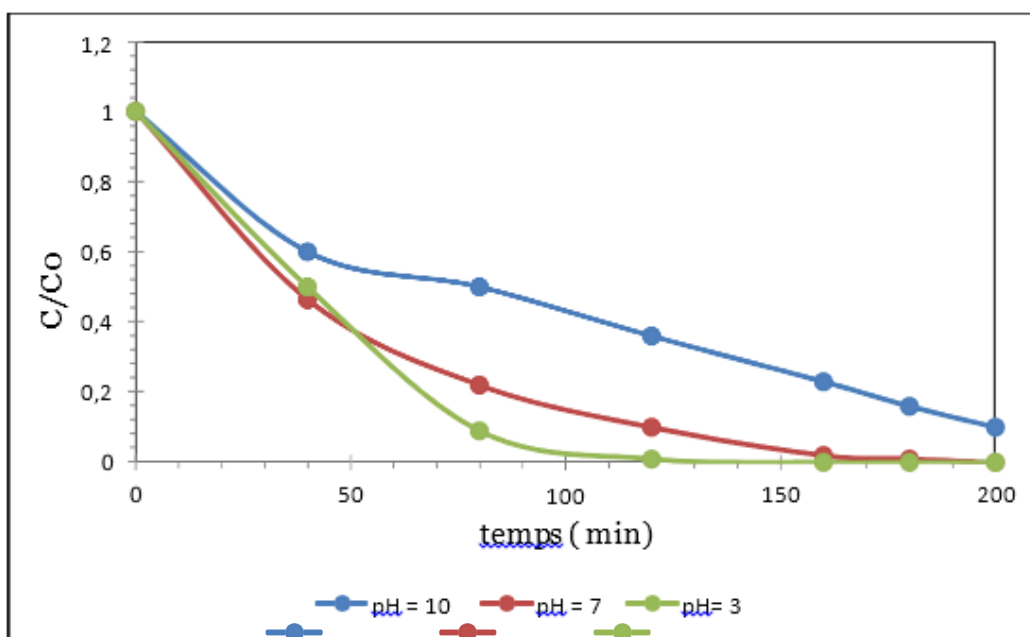


Figure 09 Modélisation de l'influence de PH de la solution sur la photolyse BC

L'interprétation de l'effet du PH semble la complexité du mécanisme réactionnel de la photodégradation qui dépend à la fois de l'attaque des radicaux hydroxyles, de l'oxydation et éventuellement du caractère acido-basique du colorant suivant le pH du milieu. (Chenna.M,2016) .

III.8 Approche cinétique (détermination des constantes cinétiques)

De la même manière, pour l'effet de pH, en observant les cinétiques de photodégradation de colorant, nous constatons que les points expérimentaux forment une droite entre 0 et 6 heures d'irradiation. Ce qui serait en accord avec une cinétique de photodispersion d'ordre 1.

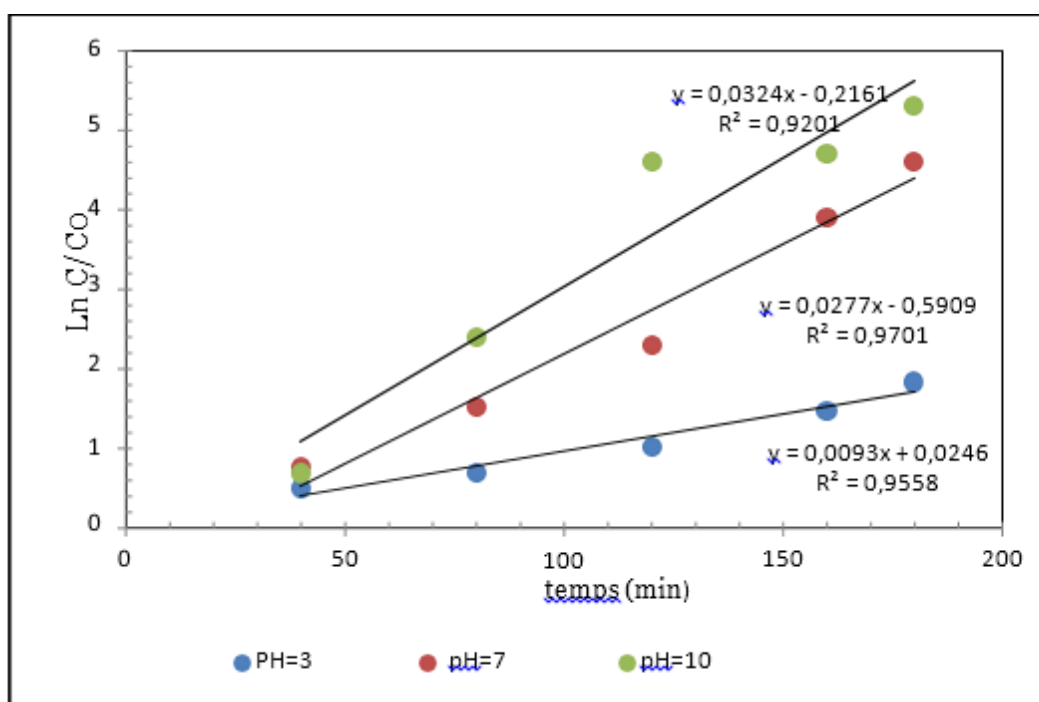


Figure10 : Détermination la constante de vitesse apparente de l'influence de pH sur la photolyse de BC

Tableau 5 : Constante de vitesse apparente de l'influence de PH sur hphotolyse de Colorant BC

pH	Bleu Cibacron	
	K	R ²
10	0.032	0.920
7	0.027	0.970
3	0.009	0.955

La valeur de la constante apparente augmente avec des valeurs de pH plus grands.

Interprétation Des Résultats Obtenues Selon Les Principes De La Chimie Verte

I .1. Prevention de la pollution à la source

En évitant la production de résidus

I.2.Economie d'atomes

L'économie d'atomes est un principe fondamental de la chimie verte, qui consiste à optimiser l'utilisation des réactifs dans une réaction chimique afin de minimiser la formation de déchets. Dans de nombreux processus chimiques traditionnels, il peut y avoir une utilisation inefficace des réactifs, conduisant à la formation de sous-produits indésirables et à une perte d'atomes précieux.

Dans le cas de la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, l'utilisation du peroxyde d'hydrogène comme réactif permet de promouvoir l'économie d'atomes. Le peroxyde d'hydrogène est utilisé comme source d'oxygène pour générer des radicaux hydroxyles ($\text{HO}\bullet$) réactifs lorsqu'il est exposé à la lumière UV. Ces radicaux $\text{HO}\bullet$ sont responsables de la dégradation des polluants.

L'efficacité de la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ réside dans le fait que le peroxyde d'hydrogène est utilisé comme catalyseur, ce qui signifie qu'il est régénéré et réutilisé dans le processus. Par conséquent, il n'y a pas de consommation excessive de peroxyde d'hydrogène, ce qui limite la production de déchets chimiques supplémentaires.

En optimisant l'incorporation des réactifs (en l'occurrence, le peroxyde d'hydrogène) dans le produit final (la dégradation des polluants), la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ permet de minimiser les pertes d'atomes et de maximiser l'efficacité du processus. Cela conduit à une réduction significative de la formation de déchets chimiques, ce qui est bénéfique d'un point de vue environnemental et économique.

I.3.Synthèses chimiques moins nocives

Dans le cadre de la chimie verte, il est essentiel de concevoir des méthodes de synthèse chimique qui minimisent les risques pour la santé humaine et l'environnement. Cela implique l'utilisation de réactifs et de conditions réactionnelles moins dangereux, ainsi que la production de produits finaux qui sont peu ou pas toxiques.

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ offre des avantages dans cette optique. Tout d'abord, l'utilisation du peroxyde d'hydrogène comme réactif présente un profil de sécurité relativement élevé par rapport à d'autres composés chimiques plus toxiques. Le peroxyde d'hydrogène est une substance

largement utilisée dans de nombreux domaines, tels que la médecine et l'hygiène, et est généralement considéré comme sûr lorsqu'il est manipulé correctement.

De plus, la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ permet la dégradation des polluants en produits finaux non toxiques tels que le dioxyde de carbone (CO_2) et l'eau (H_2O). Cela signifie que les substances dangereuses présentes dans les polluants sont transformées en composés inoffensifs qui ne posent pas de risques pour la santé humaine ou l'environnement. En adoptant la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ comme méthode de dégradation des polluants, il est possible de réduire les risques associés aux synthèses chimiques traditionnelles, qui utilisent souvent des réactifs toxiques et génèrent des sous-produits nocifs. Cette approche favorise la conception de synthèses chimiques plus sûres et plus respectueuses de l'environnement.

I.4. Conception de produits chimiques plus sécuritaires

Dans le domaine de la chimie verte, il est essentiel de concevoir des produits chimiques qui préservent leur fonctionnalité tout en réduisant leur toxicité. Cela implique d'adopter une approche préventive dès la conception des produits chimiques, en minimisant l'utilisation de substances dangereuses et en favorisant des alternatives moins toxiques.

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ peut jouer un rôle dans cette perspective en permettant la dégradation des polluants chimiques, y compris les produits chimiques toxiques, en substances non toxiques et inoffensives. Les radicaux hydroxyles ($\text{HO}\bullet$) générés lors de cette réaction d'oxydation avancée ont la capacité d'oxyder et de décomposer divers polluants organiques, transformant ainsi les composés toxiques en produits finaux plus sûrs tels que le dioxyde de carbone (CO_2) et l'eau (H_2O).

En utilisant la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ pour traiter les polluants chimiques, on peut réduire la quantité de produits chimiques toxiques qui se retrouvent dans l'environnement. Cela contribue à la conception de produits chimiques plus sécuritaires en limitant les risques pour la santé humaine et l'écosystème.

De plus, la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ peut être utilisée pour dégrader les résidus de produits chimiques indésirables ou toxiques présents dans les eaux usées ou les effluents industriels. Cela permet de réduire la libération de substances dangereuses dans les milieux aquatiques, préservant ainsi la qualité de l'eau et la santé des écosystèmes aquatiques.

I.5. Solvants et auxiliaires plus sécuritaires

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ est une approche de dégradation des polluants qui peut contribuer à la chimie verte en favorisant l'utilisation de solvants et de substances auxiliaires plus sécuritaires et en réduisant leur utilisation au minimum.

Dans le cadre de la chimie verte, il est important de réduire autant que possible l'utilisation de solvants et de substances auxiliaires qui peuvent être toxiques, dangereux pour la santé humaine ou l'environnement. Cela peut être accompli en adoptant des méthodes de dégradation des polluants qui nécessitent moins de solvants et d'additifs chimiques.

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ se distingue par sa capacité à fonctionner dans un système sans solvant ou avec une quantité minimale de solvant. Les réactions de dégradation des polluants se produisent principalement à la surface d'un catalyseur, généralement sous forme de nanoparticules, sans avoir besoin d'un solvant en grande quantité pour faciliter la réaction.

De plus, la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ne nécessite généralement pas l'utilisation de substances auxiliaires supplémentaires pour améliorer l'efficacité de la réaction. Le peroxyde d'hydrogène et la lumière UV sont les principaux réactifs utilisés, et ils sont généralement considérés comme des substances relativement sûres lorsqu'ils sont utilisés correctement.

En réduisant la dépendance aux solvants et aux substances auxiliaires toxiques ou dangereuses, la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ contribue à promouvoir une approche plus durable de la chimie. Cela permet de minimiser les risques associés à l'utilisation de solvants toxiques, de réduire les émissions de composés volatils organiques et de préserver la santé humaine et l'environnement.

Il convient de noter que dans certaines applications spécifiques, des solvants peuvent être nécessaires pour améliorer la solubilité des polluants ciblés. Cependant, même dans de tels cas, des efforts peuvent être déployés pour choisir des solvants plus sécuritaires, tels que des solvants biodégradables ou des alternatives non toxiques.

I.6. Amélioration du rendement énergétique

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ peut contribuer à la chimie verte en améliorant le rendement énergétique des processus chimiques, en favorisant les procédés qui se déroulent à température et pression ambiantes.

Dans le contexte de la chimie verte, il est essentiel de minimiser la dépense énergétique associée aux processus chimiques. Cela implique de privilégier des méthodes qui nécessitent moins d'énergie pour atteindre les conditions réactionnelles souhaitées, réduisant ainsi l'empreinte carbone globale.

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ offre des avantages dans ce domaine. Les réactions de dégradation des polluants par photocatalyse peuvent généralement être effectuées à température et

pression ambiantes. Cela signifie qu'il n'est pas nécessaire de chauffer les réactifs ou de soumettre le système à des conditions réactionnelles énergétiquement exigeantes, ce qui se traduit par une économie d'énergie significative par rapport à d'autres méthodes de dégradation des polluants.

De plus, la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ utilise la lumière UV comme source d'énergie, ce qui est une ressource renouvelable et abondante. Contrairement à d'autres méthodes qui pourraient nécessiter l'utilisation de sources d'énergie non renouvelables, la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ exploite une énergie propre et durable pour activer les réactions chimiques.

En améliorant le rendement énergétique des processus chimiques, la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ contribue à réduire l'empreinte environnementale globale de l'industrie chimique. Moins d'énergie est nécessaire pour atteindre les conditions réactionnelles, ce qui réduit la consommation de combustibles fossiles et les émissions de gaz à effet de serre.

Cependant, il est important de noter que malgré ses avantages énergétiques, la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ peut nécessiter une source d'énergie supplémentaire pour fournir la lumière UV nécessaire. Dans ces cas, l'utilisation d'une source d'énergie renouvelable, comme l'énergie solaire, peut être envisagée pour minimiser l'impact environnemental global.

I.7. Utilisation de matières premières renouvelables

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ peut jouer un rôle important dans la transition vers une chimie verte en encourageant l'utilisation de matières premières renouvelables plutôt que de matières fossiles.

Dans le contexte de la chimie verte, il est essentiel de réduire notre dépendance aux matières premières non renouvelables, telles que les combustibles fossiles. Les matières premières renouvelables sont des ressources naturelles qui peuvent être régénérées à un rythme équivalent ou supérieur à leur utilisation, ce qui les rend plus durables et respectueuses de l'environnement.

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ peut contribuer à cette transition en fournissant une méthode de dégradation des polluants qui ne dépend pas de l'utilisation de matières premières fossiles. Cette technique utilise des réactifs tels que le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et la lumière UV pour générer des radicaux hydroxyles ($\text{HO}\bullet$), qui sont capables de décomposer les polluants organiques en produits finaux non toxiques.

En utilisant des matières premières renouvelables dans la production de réactifs tels que le H_2O_2 , on peut réduire la demande de matières fossiles et favoriser une approche plus durable. Par exemple, le H_2O_2 peut être produit à partir de matières premières renouvelables telles que l'eau et

l'oxygène, plutôt que de dépendre des procédés qui utilisent des composés chimiques dérivés du pétrole.

De plus, en adoptant la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ pour la dégradation des polluants, on réduit également la nécessité de produire de nouvelles matières premières pour la synthèse de produits chimiques destinés à la dégradation ou à l'élimination des polluants.

En favorisant l'utilisation de matières premières renouvelables, la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ contribue à réduire l'empreinte carbone globale de l'industrie chimique et à promouvoir une approche plus durable et respectueuse de l'environnement.

Cependant, il est important de noter que la disponibilité et la faisabilité technique des matières premières renouvelables peuvent varier selon les régions géographiques et les industries spécifiques. Il est donc essentiel d'évaluer attentivement les options et les alternatives disponibles pour chaque application chimique afin de prendre des décisions éclairées.

I.8. Réduction de la quantité de produits dérivés

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ peut jouer un rôle significatif dans la chimie verte en contribuant à la réduction de la quantité de produits dérivés générés lors des processus chimiques.

Dans le domaine de la chimie verte, il est préférable de minimiser la production de produits dérivés indésirables ou non intentionnels. Les produits dérivés sont des substances qui sont générées en plus du produit principal lors d'une réaction chimique. Ils peuvent être indésirables en raison de leur toxicité, de leur persistance dans l'environnement ou de leur coût élevé de traitement et d'élimination.

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ offre des avantages dans la réduction des produits dérivés, en particulier lorsqu'elle est utilisée pour la dégradation des polluants organiques. En utilisant des réactifs tels que le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et la lumière UV, cette technique génère des radicaux hydroxyles ($\text{HO}\cdot$) qui ont une forte capacité d'oxydation. Ces radicaux hydroxyles réagissent avec les polluants organiques, les décomposant en produits finaux non toxiques tels que le dioxyde de carbone (CO_2) et l'eau (H_2O).

En utilisant la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, les réactions de dégradation sont spécifiquement conçues pour minimiser la formation de produits dérivés indésirables. Les conditions réactionnelles, les catalyseurs et les paramètres de traitement sont optimisés pour favoriser la dégradation complète des polluants cibles, réduisant ainsi la production de sous-produits indésirables.

En évitant la formation de produits dérivés toxiques ou persistants, la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ contribue à prévenir la pollution et à minimiser les impacts sur la santé humaine et

l'environnement. Cela est conforme à l'objectif fondamental de la chimie verte, qui vise à concevoir des procédés chimiques respectueux de l'environnement.

Cependant, il est important de noter que la réduction des produits dérivés dépend de plusieurs facteurs, tels que la conception de la réaction, le choix du catalyseur et les conditions expérimentales. Une optimisation appropriée est nécessaire pour maximiser l'efficacité de dégradation tout en minimisant la formation de produits dérivés.

I.9. Catalyse

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ dans le cadre de la chimie verte illustre l'avantage des procédés catalytiques par rapport aux procédés stœchiométriques. Dans la chimie traditionnelle, les procédés stœchiométriques utilisent des réactifs en quantités équivalentes pour conduire une réaction chimique. Cela signifie que chaque molécule de réactif est utilisée de manière directe et spécifique pour former les produits désirés. Cependant, ces procédés peuvent entraîner une utilisation inefficace des réactifs, une production de déchets accrue et une consommation d'énergie plus importante.

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, en revanche, exploite les principes de la catalyse, ce qui signifie qu'un catalyseur est utilisé pour accélérer la réaction chimique sans être lui-même consommé. Dans ce cas, la lumière UV active le catalyseur (généralement des matériaux semi-conducteurs) pour générer des radicaux hydroxyles ($\text{HO}\bullet$) à partir du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Ces radicaux hydroxyles sont responsables de la dégradation des polluants organiques.

L'utilisation de la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ offre plusieurs avantages par rapport aux procédés stœchiométriques. Tout d'abord, elle permet une utilisation plus efficace des réactifs, car le catalyseur n'est pas consommé dans la réaction et peut être régénéré pour être réutilisé plusieurs fois. Cela réduit la quantité de réactifs nécessaires et limite la production de déchets chimiques.

Deuxièmement, les procédés catalytiques ont souvent une sélectivité plus élevée, ce qui signifie qu'ils favorisent la formation du produit souhaité tout en minimisant les sous-produits indésirables. Cela permet d'obtenir une meilleure efficacité et une meilleure pureté des produits finaux.

Enfin, les procédés catalytiques nécessitent généralement des conditions de réaction moins sévères, telles que des températures et des pressions ambiantes, par rapport aux procédés stœchiométriques qui peuvent nécessiter des conditions plus énergivores. Cela contribue à une réduction de la consommation d'énergie globale et à une approche plus respectueuse de l'environnement.

Dans le contexte de la chimie verte, la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ démontre ainsi l'avantage des procédés catalytiques sur les procédés stœchiométriques en termes d'efficacité des réactifs, de sélectivité des produits et de consommation d'énergie réduite. Cela souligne l'importance de développer et d'appliquer des technologies catalytiques dans la conception de processus chimiques durables et respectueux de l'environnement.

I.10. Conception de substances non persistantes

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ dans le contexte de la chimie verte favorise la conception de substances non persistantes en intégrant leur mode de dégradation finale.

L'un des principaux objectifs de la chimie verte est de minimiser l'impact des produits chimiques sur l'environnement et la santé humaine. Dans cette optique, il est crucial de concevoir des substances chimiques qui se dégradent facilement et rapidement en produits finaux non toxiques ou peu persistants.

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ offre une approche prometteuse pour atteindre cet objectif. En utilisant des réactifs tels que le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et la lumière UV, cette technique génère des radicaux hydroxyles ($\text{HO}\bullet$) qui ont une forte capacité d'oxydation. Ces radicaux hydroxyles réagissent avec les polluants organiques, les décomposant en produits finaux plus simples et moins persistants, tels que le dioxyde de carbone (CO_2) et l'eau (H_2O).

Lors de la conception de nouvelles substances chimiques, il est essentiel d'intégrer dès le départ leur mode de dégradation finale. Cela signifie prendre en compte les propriétés chimiques et la structure moléculaire de manière à favoriser une dégradation efficace et complète par des méthodes telles que la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$. En concevant des substances qui se décomposent facilement en produits non toxiques ou peu persistants, on limite leur accumulation dans l'environnement et les risques pour la santé.

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ offre une approche respectueuse de l'environnement en termes de dégradation des produits chimiques. Elle permet de transformer les substances indésirables en produits finaux plus simples et moins dangereux, réduisant ainsi l'empreinte environnementale globale des composés chimiques utilisés dans différents processus.

Il est important de souligner que la conception de substances non persistantes est un aspect complexe qui nécessite une approche multidisciplinaire. La connaissance approfondie des propriétés chimiques, de la réactivité et des voies de dégradation des substances est nécessaire pour prendre des décisions éclairées lors de la conception de nouvelles molécules.

I.11. Analyse en temps réel de la lutte contre la pollution

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ dans le cadre de la chimie verte permet de mettre au point des méthodes d'analyse en temps réel pour surveiller et contrôler efficacement le processus afin de prévenir la formation de substances nocives.

L'une des priorités de la chimie verte est de prévenir la pollution et de réduire les effets néfastes sur l'environnement et la santé. Dans cette optique, il est crucial de pouvoir détecter et contrôler les substances nocives dès le début du processus, avant même leur formation ou leur accumulation.

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ offre des avantages en termes d'analyse en temps réel de la lutte contre la pollution. Cette technique utilise des réactifs tels que le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et la lumière UV pour générer des radicaux hydroxyles ($\text{HO}\bullet$) qui ont une forte capacité d'oxydation. Ces radicaux hydroxyles réagissent avec les polluants organiques, les décomposant en produits finaux non toxiques ou moins nocifs.

En utilisant des méthodes d'analyse en temps réel, il est possible de surveiller le procédé de photocatalyse et d'identifier rapidement toute formation de substances nocives ou indésirables. Cela permet de prendre des mesures préventives pour ajuster les paramètres réactionnels, tels que la concentration des réactifs, le temps d'exposition à la lumière UV ou la présence de catalyseurs, afin de minimiser la formation de produits indésirables.

L'analyse en temps réel peut être réalisée à l'aide de techniques de surveillance telles que la spectroscopie, la chromatographie ou la spectrométrie de masse. Ces méthodes permettent de détecter et d'identifier les composés présents dans le milieu réactionnel, offrant ainsi une évaluation précise de l'efficacité du processus de photocatalyse et la possibilité de prendre des mesures correctives si nécessaire.

En intégrant des méthodes d'analyse en temps réel à la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, il est possible de contrôler activement le procédé et d'éviter la formation de substances nocives ou indésirables. Cela contribue à améliorer l'efficacité de la dégradation des polluants organiques tout en minimisant les impacts sur l'environnement et la santé.

I.12.Chimie essentiellement sécuritaire afin de prévenir les accidents

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ dans le cadre de la chimie verte favorise une approche essentiellement sécuritaire en choisissant des procédés qui minimisent les risques d'accidents, de rejets, d'explosions et d'incendies.

La photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ offre un certain nombre d'avantages en termes de sécurité, tout d'abord, cette méthode utilise des réactifs plus sûrs, tels que le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), qui est moins volatile et moins inflammable que d'autres produits chimiques potentiellement dangereux. De

plus, l'utilisation de la lumière UV comme source d'activation élimine le besoin d'une source de chaleur externe, réduisant ainsi les risques d'incendie et d'explosion.

De plus, lors de la conception des procédés de photocatalyse, des mesures de sécurité spécifiques peuvent être mises en place pour minimiser les risques potentiels. Cela peut inclure l'utilisation d'équipements de protection individuelle (EPI) appropriés pour les opérateurs, la mise en place de systèmes de confinement et de ventilation adéquats pour éviter les fuites et les rejets, ainsi que des mesures de prévention des accidents, comme des dispositifs de sécurité et des protocoles d'urgence.

En intégrant une approche essentiellement sécuritaire, la photocatalyse par $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ contribue à prévenir les accidents et à protéger la santé et la sécurité des opérateurs, ainsi que l'environnement. Les procédés sont conçus de manière à minimiser les risques potentiels liés à la manipulation de produits chimiques et à éviter les situations dangereuses.

Il est important de souligner que la sécurité doit être une préoccupation constante tout au long du processus, depuis la conception initiale jusqu'à la mise en œuvre et la gestion des procédés de photocatalyse. La formation adéquate des opérateurs, le suivi régulier des installations et la mise en place de systèmes de gestion des risques sont essentiels pour garantir un fonctionnement sécuritaire et éviter les incidents.

CONCLUSION

Conclusion

CONCLUSION

L'objectif de ce travail est le traitement des eaux polluées par les colorants textiles par couplage des radiations ultraviolettes avec un puissant oxydant (UV/H₂O₂). Cette technique basée sur la génération in situ des radicaux hydroxyles et représente une alternative très prometteuse.

Dans cette optique, nous avons tout d'abord rassemblé les éléments bibliographiques nécessaires à la connaissance des molécules étudiées et du procédé (UV/H₂O₂). Ensuite nous avons s'effectue une étude une optimisation des conditions opératoires telles que (la concentration initiale des colorants, le pH initial, le volume en H₂O.

Après optimisation de ces paramètres, nous avons obtenu les résultats suivants

- La photolyse directe nous a permis d'obtenir un taux de dégradation total en 500 minutes.
- La concentration du polluant joue un rôle dans ce processus, car l'augmentation de sa concentration réduit la vitesse de dégradation.
- L'incorporation d'un agent oxydant tel que le peroxyde d'hydrogène à ce processus accroît le taux de dégradation et réduit le temps de traitement. Au bout de 300 minutes.
- Pour toutes les teneurs en colorants testées, il existe toujours une dose optimale de volume en H₂O₂ à partir de laquelle la dégradation se stabilise.
- PH acide élimine complètement le bleu Cibacron.
- Les uividu ph des solutions de la solution a montré un décroît faiblement pour arriver à des paliers correspondants aux mêmes domaines.

En incorporant l'utilisation de la photolyse dans nos méthodes chimiques, nous pouvons aider à préserver l'environnement en réduisant les conséquences néfastes sur la santé humaine et les communautés. Néanmoins, il est essentiel de poursuivre l'amélioration de cette technologie en améliorant les catalyseurs, en explorant les mécanismes réactionnels et en explorant de nouvelles applications. Grâce à la photolyse, une chimie verte plus durable est possible, où les procédés chimiques sont élaborés de manière à réduire les dangers pour l'environnement et la santé, tout en encourageant l'efficacité et la rentabilité. En utilisant toutes les possibilités de cette technologie, nous avons la possibilité de contribuer à un avenir plus écologique et plus durable.

Conclusion

Cette approche présente des avantages significatifs en matière de chimie verte. Tout d'abord, elle permet de réduire la consommation d'énergie en favorisant des réactions à température et pression ambiantes. De plus, elle permet de minimiser l'utilisation de réactifs toxiques, de limiter la production de sous-produits nocifs et de favoriser l'utilisation de matières premières renouvelables.

Enfin, ce procédé d'un point de vue écologique économique, un avantage significatif comparé aux procédés classiques de traitement des eaux. L'application de ce procédé photo-oxydation (UV/H₂O₂) a démontré son efficacité pour la dépollution des eaux contaminées par des colorants textiles pouvant atteindre des taux de minéralisation très importants. Ce travail mérite d'être approfondi par l'identification pour chaque colorant des intermédiaires réactionnels.

Références

Références

- Ambuludi, S. L. (2012). Étude des propriétés physiques et du comportement mécanique des Basaltes: étude cinétique, mécanistique et toxicologique de l'oxydation dégradante de l'Ibuprofène par l'oxydation avancée électrochimique et photochimique (Doctoral dissertation, Université Paris-Est
- Ali, A. M. (2024). Etude d'un procédé d'oxydation avancée couplé plasma non thermique/carbone activé fonctionnalisé pour le traitement d'herbicides dans l'eau (Doctoral dissertation, Université d'Orléans).
- AbdurramaneRahmataCássimo, M. K., &Labiod Idris, O. R. (2022). Les agents responsable de la bioremédiation de l'environnement.
- Abdelmadjid, N. O. U. R. (2007). traitemet biologique des eaux usees par les bacteriesanaerobies butyriques (clostridium butyricum) qui produisent de l'hydrogene.
- AbdurramaneRahmataCássimo, M. K., &Labiod Idris, O. R. (2022). Les agents responsable de la bioremédiation de l'environnement.
- Adjagodo, A., Tchibozo, M. A. D., Kelome, N. C., &Lawani, R. (2016). Flux des polluants liés aux activités anthropiques, risques sur les ressources en eau de surface et la chaine trophique à travers le monde: synthèse bibliographique. International journal of biological and chemical sciences, 10(3), 1459-1472.
- Anastas, PT et Zimmerman, JB. Les objectifs de développement durable des Nations Unies : comment la chimie contribue-t-elle ? Opinion actuelle sur la chimie verte et durable, 13, 150-153. 2018.
- Asma, M. M. (2016). Diplôme de Doctorat en Sciences (Doctoral dissertation, Université De Tlemcen).
- AlioucheSiham .Etude de l'élimination d'un colorant par différentes méthodes photochimiques en milieu aqueux .Thèse magister. Université Mentouri Constantine .2007
- Boutiti, A., & Zouaghi, R. (2018). Photodégradation du chlorure de 1-hexyl-3-methylimidazolium en milieu aqueux homogène et hétérogène (Doctoral dissertation, Université Frères Mentouri-Constantine 1).
- Bossmann,S.H.Oliveros, E. Gob,S. Siegwart,S.Dahlen.E, P.Payawan,L, J. Straub, M. Wolmer, M. Braun, A, M. New evidence against hydroxyl radicals as reactive intermediates in the thermal and photochemically enhanced Fenton reactions. Journal of Physical Chimistry, 1998.
- Belaroussi Asma et BelkacemSaadounSoumia, ,2014.Etude d'extraction de colorant par adsorption sur des substances naturelles, Mémoire de Fin d'Etude Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Chimie Industrielle, Université des Sciences et de la Technologie Boudiaf Mohamed d'Oran.
- BERKANE, Nabila. Développement et caractérisation de nouveaux adsorbants pour l'élimination des polluants organiques en solution aqueuse. 2019. Thèse de doctorat. Université Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou

- BECHIRI.OUIAHIBA. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba.2010
- Bousnoubra, I., & Djebbar, K. (2017). Contribution à l'élimination de colorants (Vert de méthyle et Bromocrésol pourpre) par procédés photochimiques en phase homogène (séparés et mélangés), en phase hétérogène en milieu aqueux et par adsorption (Vert de méthyle) sur ZnO (Doctoral dissertation, Université Frères Mentouri-Constantine 1).
- Chenna, M. (2016). Elimination des molécules récalcitrantes par procédés d'oxydation avancés et procédé Electrochimique (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **Colás-Bravo, P., Magnoler, P., & Conde-Jiménez, J.** *Identification des niveaux de durabilité conscience des enseignants en formation à travers un e-portfolio. Durabilité (Suisse), 10(10), 1-18.* 2018.
- **Georgeson, L., Maslin, M. et Poessinouw, M.** *L'économie verte mondiale : un examen des concepts, des définitions, des méthodologies de mesure et de leurs interactions. Géo : Géographie et environnement, 4(1).* 2017.
- G. Hafida, «élimination DU 4-NITROPHENOL Par Des Procédés D'oxydation Avancée, Université Abou Bakr Belkaïd, TLEMCEM,» 14 / 12 / 2011.
- GUERRAICHE, Z. (2017). Impact de la pollution urbaine sur les eaux de surface du Grand Constantinois (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- **Gupta, J., & Vegelin, C.** *Objectifs de développement durable et développement inclusif. Accords environnementaux internationaux : politique, droit et économie, 16(3), 433-448.* 2016.
- Gousmi, N. (2019). Etude de l'applicabilité de différents procédés électrochimiques et d'oxydation avancée pour le traitement du rejet de la raffinerie d'Alger (Doctoral dissertation).
- **Grillitsch, M., & Hansen, T.** *Développement de l'industrie verte dans différents types de régions. européen Études de planification, 27(11), 2163-2183.* 2019.
- **Guo, M., Nowakowska-Grunt, J., Gorbanyov, V. et Egorova, M.** *Technologie verte et développement durable : cadres d'évaluation et de croissance verte. Durabilité (Suisse), 12(16).* . 2020.
- Hammami, S. (2008). Étude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels (Doctoral dissertation, Université de Marne la Vallée).
- H. Ben Mansour, O. Boughzala, D. Dridi, D. Bariller, L. Cchekir-Ghedira et R. Morsrati «Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement,» Revue des sciences de l'eau, Volume 24, numéro 3, 2011.
- **IBOUKHOULEF Hamida,** *Traitement des margines des huileries d'olive Par les procédés d'oxydation avancée basé sur le Système Fenton-like (H₂O₂/Cu), THESE DE doctorat, 2014*
- I. Kardzali, M. Gurel, O. Tunay. Characterization and treatment of textile printing wastewaters Technology, 2000
- Kourdali, Sidali. "Etude de l'efficacité des procédés électrochimiques (EF et EC) dans le traitement des polluants organiques en milieux aqueux." (2015).

- **Sánchez, MA, González-Gómez, D., & Jeong, JS.** *L'apprentissage par le service en tant que stratégie d'enseignement de l'éducation au développement durable (EDD): conception, mise en œuvre et évaluation dans un cours universitaire STEM. Durabilité, 1.* 2022.
- KayaltoBarnabas, 2009. Contribution A L'évaluation De La Contamination Par Les Métaux Lourds, De Trois Espèces De Poissons, Des Sédiments et des eaux du Lac Tchad (DEA) en Sciences Alimentaires/Nutrition université de Ngaoundere.
- Kesraoui-Abdessalem, A. (2008). Dégradation des pesticides chlortoluron, carbofurane et bentazone en milieux aqueux par les procédés d'oxydation avancée (Doctoral dissertation, Université de Marne la Vallée).
- Kolb, V. M. (2017). Green organic chemistry and its interdisciplinary applications. CRC Press
- LaoubiChaima, La dégradation du bleu de méthylène par la photo catalyse hétérogène
- Lemlikchi, W. (2012). Elimination de la pollution des eaux industrielles par différents procédés d'oxydation et de co-précipitation (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Mansour, H.B., et al, Les colorants textiles sources de contamination de l'eau: CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement. Revue des sciences de l'eau 2011: p. 209-238.
- **McCoy, M.** *Les fabricants de produits de nettoyage se prélassent dans de nouveaux solvants. Nouvelles de la chimie et de l'ingénierie, 93 (3), 1619.* 2015.
- **Mitarlis, Utiya Azizah, Berthe Yonata.** *l'intégration des principes de la chimie verte en chimie fondamentale apprendre pour soutenir la réalisation de objectifs de développement durable (odd) . s.l. : Journal of Technology and Science Education JOTSE, – 13(1): 233254 – ISSN en ligne : 20136374 – ISSN imprimé : 20145349,* 2023.
- **Payal Rathi, Saba Nausheen et Nisha.** *Chimie verte et technologie pour le développement durable Journal international des archives scientifiques et de recherche, 08 (02), 161–165.* 2023
- - R M Christie : Color Chemistry and edition School of Textiles & Design, Heriot-Watt University, UK and Department of Chemistry, King Abdul-Aziz University, Saudi Arabia 2015
- Reffas, A., E.M. Bencheikh, and L. Duclaux, Étude de l'adsorption de colorants organiques (rouge nylosan et bleu de méthylène) sur des charbons actifs préparés à partir du marc de café. 2017
- **Sperandio, M.,** "Développement d'une procédure de compartimentation d'une eau résiduaire urbaine et application à la modélisation dynamique de procédés à boues activées", Thèse de doctorat Génie des Procédés, INSA, Toulouse, 1998.
- S.A. Avlonitis, I. Poulis, D. Sotiriou, M. Pappas, K. Moutesidis. Simulated cotton dye effluents treatment and reuse by nanofiltration. Desalination /2008

- Simon, J. C., Dauby, B., & Nonet, S. (2008). Evaluation de l'efficacité de l'oxydation avancée par photocatalyse hétérogène UV/TiO₂ sur un effluent industriel contaminé par des composés organiques non biodégradables (colorants). *Revue scientifique des ISILF*, 22, 18-20.
- (TiO₂/Ultraviolet), Mémoire de master, Université Larbi Ben M hidi Oum EL Bouaghi , 2017p9-10
- T.A. kurniawant, G.Y.S. Chan, W.-H. LO, S Babel. Comparisons of low-cost adsorbents for treating wastewaters laden with heavy metals. 2006
- TALHI, Amina et BOUKHALFA-DJEBBAR, Chahrazed. Elimination d'un colorant industriel par des méthodes physico-chimiques cas du Noir Acide 210. 2021. Thèse de doctorat. Université Frères Mentouri-Constantine 1.
- Welham A., The theory of dyeing (and the secret of life). *J. Soc. Dyers Colour.* 116 (2000) 140-143
- **Wallenberger FT, Weston N, Chawla K, Ford R, Wool RP.** *Fibres avancées, plastiques, stratifiés et Matériaux composites.* 2002.