

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : des Sciences de l'Ingénierat
Département : Génie des Procédés
Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie Chimique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**ETUDE DE DECOLORATION DU METHYLE ORANGE
EN MILIEU HETEROGENE**

Présenté par : BELOUETTAR LYNDA

Encadrant : DJERAD SOUAD Professeur Université BADJI MOKHTAR ANNABA

Jury de Soutenance :

TIFOUTI LAKHDAR	Professeur	Université BADJI MOKHTAR ANNABA	Président
DJERAD SOUAD	Professeur	Université BADJI MOKHTAR ANNABA	Encadrant
MENADJLIA LEILA	MCB	Université BADJI MOKHTAR ANNABA	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

Dedicaces

Je dédie ce modeste travail, fruit de mes études

A la mémoire de mon père

A ma tendre mère qui m'a entouré de son amour

A mes sœurs : Sabrina , Chahira et Hassiba

A mon frère : Salim

Sans oublier leurs enfants Anwar ,khawla ,Meriem
Yasmine Sirine Darine surtout **INESS** et mon
Trésor **SAMY**

Les petits Ouaiss, Kossai, Isshak et mon
ange **ANAIS**

A tous ceux qui me sont chers

A tout mes amis (es) et à toute ma
promotion 2019-2020

Remerciements

En premier lieu, je remercie Dieu qui m'a procuré ce succès.

J'adresse mes plus vifs remerciements à Madame S .DJERRAD, pour la confiance qu'elle m'a accordée en m'accueillant dans son laboratoire, pour toute l'aide, le savoir mais aussi le sérieux implaçable dont elle a fait preuve

En second lieu, je remercie le jury qui m'offre l'opportunité d'être examiné durant cette épreuve déterminante de mon cursus professionnel

J'adresse, de même, mes sincères remerciements à Mr.Kherrat et Mr Lachgar.Je leur exprime toute ma reconnaissance pour leurs conseils, leurs encouragements;aide et gentillesse

J'exprime également gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation

Je ne saurais oublier de remercier très chaleureusement toutes les personnes que j'ai eu le plaisir de connaître au cours de cette année pour leur présence amicale,leur soutien moral et leur disponibilité

Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont porté aide et conseils pendant tout mon travail

LYNDË

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
1. Définition de la pollution	3
1.1. Types de pollution.....	3
1.1.1 La pollution de l'air.....	3
1.1.2. La pollution des sols.....	4
1.1.3. La pollution de l'eau	4
1.1.3.1. Les principaux polluants de l'eau.....	6
1.1.3.2. Les Conséquences de la pollution de l'eau.....	7
1.1.3.2.a. Conséquences sur le milieu aquatique	7
1.1.3.2.b .Conséquences sur la santé humaine et ses activités.....	8
1.1.3.2.c .Conséquences sur l'économie	8
1.2. Pollution des eaux par les colorants.....	8
1.3. Définition des colorants.....	9
1.4. Les types de colorants	9
1.4.1. Les colorants naturels.....	9
1.4.2. Les colorants synthétiques.....	9
1.5. Toxicité et dangers environnementaux des colorants.....	9
1.5.1 Cancers.....	10
1.5.2. L'eutrophisation.....	10
1.5.3. La sous-oxygénation.....	10
1.5.4. La couleur, turbidité et odeurs.....	10
1.5.5. La bioaccumulation.....	10
1.6. Méthodes de traitement des effluents liquides contenant un ou des colorants.....	11
1.6.1. Méthodes physiques.....	11
1.6.1.1. Filtration sur membrane.....	11
1.6.1.2. Adsorption (sur charbon actif).....	11
1.6.1.3. Méthode physico-chimique de coagulation – floculation.....	12
1.6.2. Traitements chimiques.....	12
1.6.2.1. Réactif de Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$).....	13
1.6.2.2. L'Ozonation (O_3).....	14
1.6.2.3. Peroxonation ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$).....	14
1.6.2.4. Photocatalyse de peroxyde d'hydrogène ($\text{TiO}_2/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$).....	15
1.6.2.5. Résumé comparatif des procédés et analyse critique.....	15
1.6.3. Traitements biologiques.....	16
1.7. Le méthyle orange.....	16
1.7.1. Définition.....	16
1.7.2. Couleurs de l'indicateur méthyle orange.....	17
1.7.3. Caractéristiques physico-chimiques du méthyle orange	18
1.8. Le cuivre.....	19
1.8.1. Présentation.....	19
1.8.2. utilisations.....	20
1.9. Peroxyde d'oxygène.....	20
1.9.1. Présentation.....	20
1.9.2. Utilisations.....	20
2. conclusion.....	21

CHAPITRE 2 : ETUDE DE LA DECOLORATION DU METHYLE ORANGE EN MILIEU HOMOGENE ET HETEROGENE.

I. Introduction.....	22
II. Matériel et produits chimiques utilisés.....	22
III. Mode opératoire.....	22
IV. Etude de la décoloration du méthyle orange en présence de cuivre (milieu hétérogène).....	23
IV.1- Système : Cuivre + méthyle orange en milieu acide.....	23
IV.1-a Effet de la masse du cuivre.....	23
IV.1-b Effet de la température	24
IV.1-c Effet du volume de la solution du colorant.....	25
IV.1-d Effet de l'ajout du peroxyde d'hydrogène sur la décoloration du méthyle orange en présence du cuivre en milieu acide la	26
V. Conclusion générale.....	28
Bibliographie.....	29

LISTE DES FIGURES

Figure. I.1 : Le méthyle orange en poudre.....	17
Figure. I.2 : La formule développée du méthyle orange	17
Figure. I.3 : zone de virage de l'hélianthine (Mo)	18
Figure. I.4 : Du cuivre sous forme de poudre	20
Figure. I.5 : Flacon d'eau oxygénée.....	21
Figure. II.1 : Effet de la masse du solide sur la décoloration du méthyle orange.....	24
Figure. II.2 : Effet de la température sur la décoloration du méthyle orange	25
Figure. II.3 : Effet du volume de la solution du colorant sur sa coloration.....	25
Figure. II.4 : Effet de l'ajout de H ₂ O ₂ sur la décoloration du méthyle orange en présence du cuivre en milieu acide.....	26

BIBLIOGRAPHIE

- [1] GB, « conservation nature information sur la biodiversité », sur <http://www.conservaionnature.fr/article2>.
- [2] www.toupie.org > Dictionnaire/Définition de la pollution
- [2] www.quebecscience.qc.ca/ Qu'est ce que la pollution
- [3] Fr.wikipedia.org > wiki > Pollution
- [4] stationdepuratondufutur-e-monsite.com/ la pollution- de- l'eau et ses conséquences //html : la pollution de l'eau et ses conséquences
- [5] <https://Fr.oceancampus.eu/> la pollution de l'eau /Surfriderocean campus
- [6] www.lenntech.fr/faq-pollution-eau.htm (FAQ-pollution de l'eau-Lenntech
- [7] [https://www.research.net /](https://www.research.net/)les colorants textiles sources de contamination de l'eau
- [8]«les colorants toute une histoire », [http://www.mtmad.fr/Lists/Ressources/Scolaire _ Parcours / les-colorants-toute-une-histoirevisite- mars-16.pdf](http://www.mtmad.fr/Lists/Ressources/Scolaire_Parcours/les-colorants-toute-une-histoirevisite-mars-16.pdf)
- [9] [https://www.aquaportail .com /](https://www.aquaportail.com/)colorant naturel : définition et explications
- [10] [https:// tpefglescolorantsalmentaire.e-monsite.com/Nos différents types de colorants\]](https://tpefglescolorantsalmentaire.e-monsite.com/Nos_diff%C3%A9rents_types_de_colorants)...
- [11]Djebar Raouf, Etude de la Decoloration Du (Bm) En Milieu Heterogene Et Homogene / Mémoire de master en génie des procédés, sous la direction du professeur DJERAD Souad, ANNABA, département du génie des procédés, juin 2019
- [12] [www. Fr.wikipedia.org](http://www.Fr.wikipedia.org) > wiki >Hélianthine
- [13] Tir Mabrouka et Kadri Samah, Elimination de colorant (Méthyl orange)par des hydroxydes doubles lamellaires (HDLS)/Mémoire de Master académique/université echahid hamma lakhdar-el-oued/faculté de technologie/2018
- [14]MERAD BOUDIA Sanaa, Préparation-de-Composites-Bentonites- P4VP-Application à l'adsorption de colorants / Mémoire de Master /université Abou -Bekr Belkaid- TLEMEN / Faculté des Sciences-département de Chimie/2018
- [15]Nour BOUANIMBA, Modélisation et Optimisation de la Cinétique de Dégradation Photocatalytique de Polluants Organiques en solution Aqueuse, Mémoire de MAGISTER en Chimie, Université MENTOURI-Constantine /Faculté des Sciences Exactes /Département de Chimie/2009
- [16] Alaounia Nadjette/Dégradation photocatalytique de polluants organiques (Méthyle orange,Pentachlorophénol et Acide benzoïque) en présence du dioxyde de titane nanocristallin élaboré par la méthode sol-gel/ Université BADJI MOKHTAR-ANNABA/Faculté des Sciences de l'Ingénieur /Département de Génie des Procédés/Memoire de MAGISTER/Année 2009

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'activité humaine liée à son adaptation au biotope ou à son développement n'est pas sans conséquences pour son environnement. L'émergence de la technologie et l'essor industriel qui l'accompagne ont contribué à l'amélioration des conditions de vie et la satisfaction des besoins des populations. Cependant, la diversité et l'intensité de ces activités ont causé des dégâts à l'environnement ce qui est devenu à l'heure actuelle une préoccupation majeure et planétaire. Ces atteintes à l'environnement portent sur la qualité de l'air, du sol et de l'eau. La liste de ces atteintes est longue et montre d'une manière explicite que la dégradation de l'environnement s'accompagne de l'atteinte des équilibres aquatiques, autrement dit la pollution indirecte des eaux[1].

La pollution directe des eaux résulte des rejets industriels et domestiques dans les voies d'eau et réseaux urbains d'évacuation des eaux usées.

L'ampleur des tonnages des polluants met en péril les ressources hydriques, aussi la nécessité de traitement des eaux est impérieuse pour la sauvegarde de cette ressource vitale.

Plusieurs techniques sont mises en œuvre pour le traitement de ces rejets selon leur nature et leur tonnages telles que l'adsorption sur charbon actif, le traitement par coagulation floculation et les procédés d'oxydation avancés.

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés au problème des colorants et à la possibilité de les traiter en utilisant un solide qui sert à les dégrader définitivement. Ce solide a été préparé au laboratoire et est à base de cuivre .

INTRODUCTION GENERALE

La présence des colorants dans les effluents domestiques et industriels constitue l'une des pollutions les plus visibles des eaux. En effet, la production mondiale des colorants est estimée à plus de 800.000 tonnes/an , 15% sont perdus lors des opérations de coloration. Leur composition très hétérogène rend leur traitement difficile et incomplet.

L'objectif de ce travail consiste à tester une technique de traitement des colorants basée sur l'utilisation d'un solide très actif dans l'oxydation des matières organiques. Le solide en question est le cuivre qui a été préparé au laboratoire dans le cadre d'un travail de recherche. Son application dans le traitement des colorants peut s'avérer intéressante car elle demande peu de moyens ainsi les conditions de traitements faciles à mettre en place.

Dans ce travail on a choisi le méthyle orange comme produit représentatif de la pollution par les colorants. Différentes conditions opératoires ont été testées afin d'optimiser son oxydation.

Ce travail est divisé en deux chapitres :

- Le premier chapitre de ce mémoire est consacré à la partie bibliographique, dans laquelle seront présentés entre autres: définition de la pollution, les différentes pollutions, leurs conséquences ;les colorants, leur classification, leur impacts sur l'environnement et la santé ainsi que les différents traitements utilisés.
- Dans le deuxième chapitre on a testé le cuivre qui a été préparé au laboratoire dans la réaction de décoloration du méthyle orange dont le but est de réduire les temps de la réaction en optimisant des paramètres opératoires tels que la quantité du solide, la température, le volume de la solution du colorant et l'ajout de l'oxydant
- Une conclusion générale terminera ce manuscrit.

CHAPITRE I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

L'eau est utilisée pour la fabrication de différents produits de consommation courante et d'éléments nécessaires au développement humain. Les différents procédés utilisés vont générer des effluents aqueux pollués qu'il est nécessaire de traiter avant leur rejets dans l'environnement. Cette étape s'impose car l'eau propre devient une denrée rare qu'il faut protéger et préserver pour les générations futures.

1. Définition de la pollution

La pollution désigne la dégradation de l'environnement causée par la diffusion directe ou indirecte de substances chimiques, physiques ou biologiques qui affectent les activités humaines. Ces substances peuvent être toxiques pour les organismes vivants ou interférer avec les fonctions naturelles des écosystèmes. Outre son impact sur la santé humaine et animale, la pollution peut également provoquer la migration ou l'extinction de certaines espèces qui ne peuvent s'adapter à l'évolution de leur environnement naturel[2].

1.1. Les types de pollution

1.1.1. La pollution de l'air:

La pollution de l'air (ou pollution atmosphérique) est une altération de la qualité de l'air pouvant être caractérisée par des mesures de polluants chimiques, biologiques ou physiques. Elle peut avoir des conséquences préjudiciables à la santé humaine, aux êtres vivants, au climat, ou aux biens matériels.

Les polluants peuvent être d'origine naturelle ou anthropique et concerner l'air atmosphérique ou l'air intérieur des espaces clos (véhicules, maisons, usines, bureaux). Ils constituent généralement des cocktails de polluants tels que des particules en suspension, ou autres substances dont la concentration et les durées de présence suffisent à produire un effet toxique ou écotoxique. Ils peuvent interagir avec la lumière (pollution photochimique). Dans le monde pour la période 1990-2016, la pollution de l'air est le cinquième facteur de risque pour la santé (après la malnutrition, les risques alimentaires, l'hypertension artérielle et le tabagisme). Elle provoque la mort prématurée de sept millions de personnes chaque année.

1.1.2.La pollution des sols :

La pollution du sol peut être diffusée ou locale, d'origine industrielle, agricole (utilisation excessive d'engrais, de pesticides, etc. qui s'infiltrent dans les sols). Ces pollutions agricoles peuvent avoir plusieurs impacts sur la santé humaine en contaminant par bioaccumulation ou diffusion par ruissellement[3].

1.1.3.La pollution de l'eau:

Il ne fait aucun doute que la pollution de l'eau est aussi ancienne que l'ère sédentaire des humains et de leurs principales industries (décharge locale d'acide du millénaire, étangs, puits, bassins contaminant les déchets animaux ou humains, etc.). Lorsque les humains utilisent de l'eau, sa consommation s'accompagne de rejets souvent pollués ce qui n'est pas sans conséquences pour l'environnement.

La pollution de l'eau est tout changement chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui peut avoir des effets nocifs sur les organismes alimentaires. Lorsque les humains boivent de l'eau contaminée, ils ont souvent de graves conséquences pour leur santé[4].

L'eau est vitale pour la vie. Pour répondre aux besoins humains et environnementaux, l'eau doit être de haute qualité. Si la qualité de l'eau est compromise, cela menacera l'équilibre global.

Il existe trois principaux types de pollution de l'eau:

Pollution bactériologique: Ces bactéries proviennent principalement des rejets d'eaux usées (non traitées) contenant des matières fécales et des déchets organiques.

Pollution chimique: Généralement due aux rejets d'eaux usées contenant des produits de nettoyage, des hydrocarbures et des métaux lourds.

Pollution causée par les déchets aquatiques: définie comme «tout matériau ou produit manufacturé qui est directement ou indirectement jeté dans le milieu aquatique au profit de l'humanité.

Il peut y avoir de nombreuses sources de ces pollutions, principalement quatre sources :

A) La pollution domestique

Elle est généralement liée au rejet des eaux usées et peut être divisée en deux types:

-Les eaux usées produites par l'eau quotidienne (toilettes, cuisine, douche ...) contiennent des déchets organiques ou des excréments. Les maisons connectées ou non au réseau de santé collectif peuvent provoquer une contamination bactérienne de l'eau.

-Les produits ménagers que nous utilisons contiennent des polluants chimiques nocifs pour l'environnement. Mélangés à l'eau, ils finissent par pénétrer dans nos pipelines ou dans la nature et provoquent une pollution chimique. Les résidus de ces produits traversent rarement le réseau de traitement des eaux usées, remplissant la rivière de produits chimiques.

B) Pollution industrielle:

L'industrie génère différents types de pollution selon le domaine d'activité. Par exemple, les papeteries utilisent beaucoup de produits chimiques dans leurs processus de fabrication. Malgré les réglementations régissant le traitement de leurs eaux usées, certaines substances sont encore difficiles à éliminer et finissent par pénétrer dans l'environnement.

Les activités agro-alimentaires (conserveries, coopératives, etc.) traitent de grandes quantités de matière organique, enrichissent l'environnement en nutriments et provoquent l'eutrophisation

C) Pollution agricole

Les pesticides et les engrais chimiques provoquent une pollution chimique. Ces substances pénètrent dans le cycle de l'eau ou polluent le milieu aquatique par ruissellement.

D) Pollution liée au transport maritime

Le transport maritime peut être une source de pollution chimique. Il est généralement causé par le rejet de pétrole (volontairement ou non) directement dans la mer. Les fuites d'huile en sont l'exemple le plus évident.[5]

1.1.3.1. Les principaux polluants de l'eau

Il existe plusieurs types de polluants de l'eau.

Le premier est le facteur qui cause la maladie. Ce sont les bactéries, les virus, les protozoaires et les vers parasites qui prospèrent dans les égouts et les eaux usées non traitées.

Le deuxième type de polluants concerne les déchets qui nécessitent de l'oxygène, des déchets qui peuvent être décomposés par des bactéries qui nécessitent de l'oxygène. Lorsque un bon nombre de ces bactéries qui décomposent les déchets fonctionnent, elles peuvent réduire la teneur en oxygène de l'eau, entraînant la mort d'autres espèces qui vivent dans l'eau (comme les poissons).

Le troisième type de polluants dans l'eau sont les polluants inorganiques solubles dans l'eau, tels que les acides, les sels et les métaux toxiques. L'utilisation intensive de ces composés rend l'eau impropre à la consommation et à la vie aquatique.

Les nutriments constituent un autre type de polluant de l'eau. Ce sont des nitrates et des phosphates solubles dans l'eau, qui provoquent une croissance excessive des algues et des plantes aquatiques, réduisant ainsi la teneur en oxygène de l'eau et l'asphyxie du milieu.

L'eau peut également être contaminée par divers composés organiques, tels que le pétrole, les plastiques et les pesticides, qui sont nocifs pour l'homme et tous les animaux et plantes vivant dans l'eau.

Une catégorie très dangereuse de polluants est celle des sédiments en suspension, car elle réduit l'absorption de la lumière par l'eau, et ces particules peuvent diffuser des composés dangereux (tels que les pesticides) dans l'eau.

Enfin, les composés radioactifs solubles dans l'eau peuvent provoquer le cancer, des malformations néonatales et des modifications génétiques, et sont donc des polluants de l'eau très dangereux [6].

1.1.3.2. Conséquences de la pollution de l'eau

1.1.3.2.a. Conséquences sur le milieu aquatique

La qualité de l'eau touche directement l'état du milieu aquatique, affectant à la fois les animaux et les plantes. Le bon fonctionnement des écosystèmes dépend de la qualité de l'eau dans laquelle ils se trouvent.

La présence d'engrais chimiques (d'origine agricole) a le même effet sur certaines plantes aquatiques et terrestres. Ceci est le résultat de la propagation d'algues vertes envahissant la plage. Ce phénomène est également connu sous le nom de "marée verte" et l'utilisation extensive d'hormones synthétiques en agriculture (élevage) et au quotidien (médecine) a pour effet de féminiser certaines espèces aquatiques (poissons, reptiles ...).

1.1.3.2. b. Conséquences sur la santé humaine et ses activités

La qualité de l'eau affecte les gens, leur santé et leurs activités. La contamination bactérienne peut être à l'origine de maladies (otites, gastro-entérites, éruptions cutanées, etc.) causées par des nageurs et des personnes engagées dans des activités nautiques. Ces contaminations peuvent être détectées en analysant deux bactéries intestinales: *Escherichia coli* et entérocoques. Les risques sanitaires liés à la pollution chimique sont peu connus et donc plus difficiles à détecter.

1.1.3.2.c. Conséquences sur l'économie

La pollution peut avoir de graves conséquences sur les activités économiques. Quel que soit le type de pollution, l'épuisement du milieu naturel réduira son attractivité. Il est donc dans l'intérêt de tous de le conserver.

1.2. Pollution des eaux par les colorants

Le colorant est largement utilisé dans l'impression, l'alimentation, les cosmétiques et les produits cliniques en raison de sa stabilité chimique, de sa synthèse facile et de son changement de couleur, mais surtout dans l'industrie textile. La production mondiale de colorants est estimée à plus de 800 000 tonnes, les colorants azoïques représentent la majorité de 60 à 70%. Compte tenu de l'hétérogénéité de ces composants, leur dégradation conduit souvent à la conception de chaînes de traitement physico-chimiques et biologiques qui assurent l'élimination de différents polluants à des stades successifs. Des études ont montré que plusieurs colorants sont toxiques et mutagènes. Le traitement biologique de ces colorants semble avoir une grande signification scientifique.

Les méthodes de traitement physiques et chimiques courantes (adsorption, coagulation/floculation, précipitation, etc.) sont généralement utilisées dans les eaux usées industrielles. Malgré la vitesse de traitement élevée, ces méthodes se sont révélées inefficaces compte tenu des normes requises pour ces émissions. Les méthodes biologiques permettent de dégrader en sous-produits mais cela reste difficile à cause de la stabilité des molécules [7].

1. 3.Définition des colorants

Les colorants sont des composés absorbant une partie du spectre lumineux dans le visible(400nm-800nm). La couleur est due à la fraction de lumière non absorbée et qui est réfléchiée et c'est ce qui donne une couleur à la matière [8]

1.4.Les types de colorants

1.4.a.Les colorants naturels

Les colorants naturels sont des substances qui proviennent des plantes et des fibres animales.Les colorants naturels sont utilisés depuis l'Antiquité tel que l'indigo. L'avantage des colorants naturels est que leur utilisation les rend moins dangereux,mais leur inconvénients sont principalement économiques, car leur production est chère, et leur approvisionnement limité [9].

1.4.b.Les colorants synthétiques

Les colorants synthétiques représentent la grande majorité des colorants utilisés dans l'industrie et les formules chimiques sont très différentes.

L'avantage des produits synthétiques est une plus grande stabilité et donc fiabilité mais aussi leur faible coût par rapport aux colorants naturels. De plus, ils permettent de mettre en évidence de nouvelles inventions et couleurs, mais leur inconvénient est que la plupart des colorants synthétiques sont des colorants azoïques, ce qui est une cause possible de cancer chez l'homme.

Il convient de noter que ce n'est pas parce que le produit est naturel, qu'il est donc inoffensif. L'extraction de colorants à partir des produits naturels laissera des impuretés, ces impuretés doivent également être prises en compte, c'est pourquoi les colorants naturels doivent aussi faire l'objet de recherches toxicologiques et cliniques [10].

1.5.Toxicité et dangers environnementaux des colorants

1. 5.1 Cancers

Même si la plus part des colorants ne sont pas nocifs, leurs sous-produits en revanche sont bien souvent la cause de maladies car ils peuvent être cancérogènes,

mutagènes et tératogènes comme des amines cancérigènes pour les azoïques.

1. 5.2 L'eutrophisation

Sous l'action des micro-organismes, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans l'eau. Ces ions minéraux produits en trop grande quantité peuvent devenir toxiques pour la vie sous-marine et altérer la production d'eau potable. Leur consommation par les plantes aquatiques entraîne une prolifération anarchique et conduit à la diminution de l'oxygène par inhibition de la photosynthèse dans les profondeurs des cours d'eau et des eaux stagnantes

1. 5.3 La sous-oxygénation

Lorsque des charges importantes de matières organiques sont déversées dans le milieu récepteur via des rejets réguliers, les processus naturels de régulation (l'autoépuration du milieu) ne peuvent plus compenser la consommation bactérienne d'oxygène « le professeur en chimie de l'environnement Stanley E. Manahan de l'université du Missouri estime que la dégradation de 7 à 8 mg de matière organique par des micro-organismes suffit pour consommer l'oxygène contenu dans 1L d'eau».

1. 5.4 La couleur, turbidité et odeurs

L'accumulation des matières organiques dans les cours d'eau engendre de mauvais goûts, prolifération bactérienne, odeurs indésirables et coloration anormales. ont a évalué qu'une coloration pouvait être perçue par l'oeil humain à partir de 6-10g /L. En dehors de l'aspect inesthétique, les agents colorants sont des obstacles pour la transmission de la lumière dans l'eau, bloquant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques.

1. 5.5 La bioaccumulation

Certaines substances ne pouvant pas être dégradées comme par l'effet de micro-organismes restent présente dans le milieu ou elles se trouvent et sont donc

récalcitrantes. Elles peuvent par conséquent entraîner une dispersion potentiellement nocive pour les êtres peuplant la zone [11].

1.6. Méthodes de traitement des effluents liquides contenant un ou des colorants

1.6.1. Méthodes physiques

1.6.1. 1. Filtration sur membrane

La filtration sur membrane par pompage hydraulique peut être une microfiltration, ultrafiltration et nano-filtration. L'effluent passe à travers une membrane semi-perméable qui bloque en amont les contaminants de supérieure au diamètre des pores, pour produire un perméat purifié et un concentré contenant les impuretés organiques. Parmi les quatre types de procédés, la nano-filtration et l'osmose inverse sont les plus adéquats à la rétention partielle de la couleur et des molécules organiques et l'osmose inverse reste la plus répandue. La nano-filtration s'applique surtout au traitement des bains de teinture de colorants réactifs en agissant comme un filtre moléculaire tandis que la microfiltration retient les matériaux colloïdaux tels que les colorants dispersés ou de cuve grâce à une « membrane écran ». L'ultrafiltration ne s'applique qu'à la réduction de la demande chimique d'oxygène (DCO) et des solides en suspension et ne se montre réellement efficace qu'en combinaison avec la coagulation/ floculation. Ces procédés, limités dans leurs applications, nécessitent des investissements coûteux et le retraitement du concentré est jusqu'à six fois plus cher que celui de l'effluent originel.

1.6.1. 2. Adsorption (sur charbon actif)

Lors de l'adsorption, le colorant est capté par la phase solide. Le charbon activé est le plus souvent utilisé pour réduire la couleur, mais cette technique n'est fiable que sur certaines catégories de colorants (cationiques, à mordant, dispersés, de cuve et réactifs). De plus, ces méthodes

non destructives nécessitent des traitements de régénération et de post-traitement des déchets solides généralement onéreux. Dans la plupart des cas, les résidus solides sont répandus en décharges et des dispositions doivent être prises à l'égard des composés organiques qui peuvent lixivier avec le temps.

1.6.1. 3. Méthode physico-chimique de coagulation - floculation

Sous le terme de coagulation - floculation, on entend tous les processus physico-chimiques par lesquels des particules colloïdales ou des solides en suspension sont agglomérés par des matières floculantes (souvent des polymères) en espèces plus visibles et facilement séparables (les floes). Les floes formés sont séparés par décantation et filtration puis évacués. Les coagulants inorganiques tels que l'alun sont les plus efficaces pour la décoloration des effluents textiles contenant des colorants de cuve et au soufre, mais sont totalement inefficaces pour les colorants réactifs, azoïques, acides et basiques.

Par ailleurs, la coagulation- floculation ne peut pas être utilisée pour les colorants fortement solubles dans l'eau. Enfin, d'importantes quantités de boue sont formées avec ce procédé : leur réutilisation reste la seule issue mais demande des investissements supplémentaires pour les régénérer.

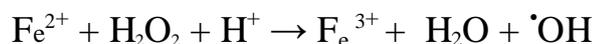
1. 6.2. Traitements chimiques

Dans la littérature, les techniques chimiques d'oxydation sont le plus souvent appliquées pour traiter des composés organiques dangereux présents en faibles quantités, en prétraitement avant des procédés biologiques, pour le traitement des eaux usées chargées de constituants résistants à la biodégradation et enfin en post-traitement pour diminuer la toxicité aquatique. Parmi les méthodes de traitement chimique, les procédés d'oxydation avancée (AOP) restent les plus utilisés. Ceux-ci sont fondés sur la formation d'une entité radicalaire extrêmement réactive : le radical hydroxyle ($\cdot\text{OH}$) qui a un temps de vie très court, un potentiel

d'oxydation très élevé et une forte réactivité vis-à-vis de nombreux composés organiques. Les principaux procédés de production du radical hydroxyle sont présentés.

1. 6.2.1. Réactif de Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$)

Fenton avait décrit à la fin du XIXe siècle que le fer ferreux améliorait fortement l'oxydation de l'acide maléique par le peroxyde d'hydrogène en milieu acide. Des travaux ultérieurs ont montré que la combinaison du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et de Fe^{2+} , nommé « réactif de Fenton », était un oxydant efficace pour une grande variété de substrats organiques, notamment les phénols, les pesticides, les aromatiques polycycliques et des colorants, en particulier les azoïques. Quarante ans plus tard, on a identifié le radical hydroxyle comme étant l'espèce oxydante de la réaction présentée ci-dessous et communément appelée réaction de Fenton :



Les micropolluants organiques, notamment les colorants synthétiques, sont ensuite oxydés par le radical hydroxyle selon une cascade réactionnelle complexe. Les principaux paramètres déterminant la réaction d'élimination d'un micropolluant sont bien connus : temps de contact, température, concentration en peroxyde d'hydrogène et en sulfate de fer et le pH.

L'étude de dépollution des effluents textiles colorés par le procédé Fenton (système $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$) a été révélée très efficace et plusieurs études ont montré que le taux de minéralisation des colorants synthétiques augmente avec l'augmentation des doses des réactifs et du temps de réaction. Le rapport des réactifs $R = [\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{Fe}^{2+}]$ et le rapport $[\text{Fe}^{2+}]/[\text{colorant}]$ jouent aussi un rôle important sur la vitesse de dégradation de colorants de départ et sur le taux de minéralisation.

Le procédé Fenton est considéré aujourd'hui comme le procédé le plus utilisé dans le monde pour le traitement d'effluents industriels textiles, mais ce procédé est limité par le manque de régénération du catalyseur qui nécessite généralement un apport constant en réactifs et qui contraint de ce fait à approvisionner en continu le milieu en peroxyde d'hydrogène coûteux.

1. 6.2.2.L'Ozonation (O₃)

L'ozone, oxydant puissant, se décompose rapidement en dioxygène et oxygène atomique et doit être produit impérativement « in situ » grâce à l'émission d'une charge électrique sous haute tension dans un courant d'air sec. L'emploi de l'ozone sur les colorants a montré que les effluents chargés réagissent différemment selon leur composition. Les rejets contenant des colorants dispersés et soufrés sont particulièrement difficiles à décolorer, alors que ceux chargés de colorants réactifs, basiques, acides et directs le sont assez rapidement. Bien que le pouvoir oxydant de l'ozone soit élevé, une minéralisation complète par ozonation est très difficile. Le principal désavantage de l'application d'un système d'ozonation aux bains de teinture, outre un investissement et des coûts opératoires élevés imputables à l'énergie électrique consommée et à la maintenance, réside dans la génération de sous-produits de dégradation récalcitrants et toxiques. De plus, l'ozonation est limitée par la très faible solubilité de l'ozone dans l'eau: environ 10^{-4} M à 293 K et son transfert de masse est un facteur limitant.

1. 6.2.3.Peroxonation (O₃/ H₂O₂)

Les radicaux hydroxyles, principaux intermédiaires oxydants de la peroxonation, sont formés par réaction entre l'ozone et le peroxyde d'hydrogène :



Même si ce procédé est plus efficace que l'ozonation pour de nombreux substrats organiques, notamment pour les colorants, son efficacité reste limitée par la vitesse de la réaction entre O₃ et H₂O₂. Ce système est affecté

par les mêmes contraintes que l'ozonation. En revanche, l'ozonation et la peroxydation présentent l'avantage, par rapport aux procédés avec irradiation UV, de pouvoir fonctionner dans une eau à forte turbidité, car le système ne dépend pas de la transmission des rayonnements dans l'effluent.

6.2.4. Photocatalyse de peroxyde d'hydrogène ($\text{TiO}_2/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$)

L'efficacité de la dégradation photochimique est considérablement améliorée par l'ajout de catalyseurs semi-conducteurs homogènes ou hétérogènes. Parmi les photocatalyseurs les plus communément rencontrés, l'oxyde de titane (TiO_2) présente une stabilité photochimique et une activité photocatalytique favorable au traitement des colorants. L'excitation des électrons à la surface du semi-conducteur par les photons UV, d'énergie supérieure à l'énergie d'activation du semi-conducteur crée des trous déficitaires en électrons dans les couches de valence, aboutissant à la formation du radical hydroxyle et de l'anion superoxyde.

La décoloration et la dégradation des colorants sont gouvernées par les réactions oxydantes dont l'efficacité dépend de la concentration en oxygène. Le principal inconvénient est le manque de connaissance des produits de dégradation générés, les produits finaux pouvant être plus toxiques que les colorants de départ.

1. 6.2.5 .Résumé comparatif des procédés et analyse critique

Bien que les méthodes physiques, chimiques et physico-chimiques soient très rapides, elles se sont avérées très coûteuses et peu efficaces compte tenu des normes exigées. En effet, plusieurs études ont montré que ces méthodes sont, d'une part, efficaces contre certaines des molécules colorantes et pas sur d'autres et, d'autre part, qu'elles chargent le milieu naturel avec des polluants organiques parfois plus toxiques que les molécules d'origine. Il est à noter aussi

que ces méthodes sont très coûteuses et nécessitent un équipement bien sophistiqué. Ce constat a permis aux chercheurs et aux industriels de s'orienter vers la recherche d'autres méthodes qui soient plus efficaces et moins coûteuses: ce sont les procédés biologiques .

1.6.3.Traitements biologiques

Les champignons blancs de putréfaction (white-rot fungi) sont capables de dégrader la lignine, structure polymère des plantes. *Phanerochaete chrysosporium* est le champignon le plus étudié en regard de la dégradation des xénobiotiques tels que les dioxines, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et autres composés organiques chlorés. La dégradation des colorants par « White-rot fungi » a été rapportée pour la première fois en 1983. On a étudié l'activité ligninolytique de *P. chrysosporium* vis-à-vis un certain nombre de colorants polymériques sulfonés. Une étude réalisée par a montré que *P.chrysosporium* est capable de dégrader les colorants azoïques sulfonés. Les études menées sur ce type de champignons se sont par la suite multipliées sur une gamme plus étendue et plus diversifiée de colorants synthétiques, notamment azoïques [11].

1.7 Le méthyle orange

1.7.1. Définition

Le méthyle orange (Mo), autrement appelé L'hélianthine, ou encore orangé de méthyle, est un colorant de forme cristaux orange. C'est un indicateur coloré utilisé en chimie pour marquer la présence d'un milieu acide (il vire en rose-rouge) ou d'un milieu basique (il vire en jaune-orangé).La modification du système conjugué par la protonation de la double liaison provoque un changement du maximum d'absorption. On l'utilise donc pour les dosages acido-basiques .Sa formule chimique est $C_{14}H_{14}N_3O_3S^-,Na^+$ lorsqu'il est sous forme de sel. Le couple acide-base

correspondant est $\text{NH}_2\text{-Phen-N=N-Phen-SO}_3^- / \text{NH}_2^+\text{-Phen-N-NH-Phen-SO}_3^-$. Le pK_a de ce couple est 3,39. Son nom date du XIX^e siècle et emprunte à la plante hélianthe (du latin *helianthus* - du grec *hêlios*, « soleil », et *anthos*, « fleur ») [12].



Fig. I.1: Le méthyle orange en poudre

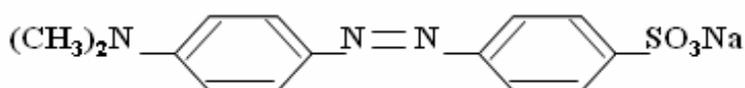


Fig. I.2 : Structure Chimique de méthyle orange (Mo)

1.7.2. Couleurs de l'indicateur méthyle orange

L'orange de méthyle est un indicateur de pH fréquemment utilisé dans les titrages en raison de son changement de couleur clair et distinct. Parce qu'il change de couleur au pH d'un acide de milieu de gamme, il est habituellement utilisé dans les titrages pour les acides. Contrairement à un indicateur universel, le méthyl-orange n'a pas un spectre complet de changement de couleur, mais a un point final plus net. Dans une solution devenant moins acide, le méthyl-orange passe du rouge à l'orange et finalement au jaune, l'inverse se produisant pour une solution qui augmente en acidité. [13].

Indicateur	Couleur (acide)	Transition (approximativement)	Couleur (base)
Méthyl orange	<u>rouge</u>	3,1 à 4,4	<u>jaune</u>
Méthyl orange en solution dans le xylène cyanole	<u>pourpre</u>	3,2 à 4,2	<u>vert</u>

L'orange de méthyle (MO), est l'un des acides/ aminés bien connus et a été largement utilisé dans l'industrie du papier, d'impression, textile pharmaceutique et les laboratoires. Le méthyle orange un colorant anionique appartient au groupe de colorants azoïque. Le groupe des colorants azoïques a l'azote dans la molécule. La présence d'un groupe azoïque (N = N) sur MO et sa faible biodégradabilité en font un sujet de préoccupation Pour la science environnementale [14]



Fig. I.3 : Zone de virage de L'hélianthine (Mo)

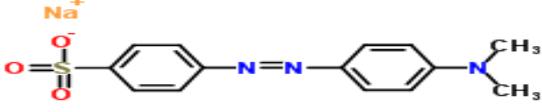
1.7.3. Caractéristiques physico-chimiques du méthyle orange (Mo)

Les aminoazobenzène sont protonés en fonction du pH aussi bien sur le groupe amino que sur l'azote-b du groupe azo. Pour les hydroxyazoïques, c'est le groupe OH qui est impliqué dans un équilibre acide-base. Lorsque les colorants fixent des protons, les transitions $\pi \rightarrow \pi^*$ sont déplacées et la coloration de la solution change. Cette faculté de changer de couleur en

fonction du pH fait que les colorants azoïques sont souvent utilisés comme indicateurs colorés dans des réactions de dosage acido-basique [15].

Les propriétés physico-chimiques du méthyle orange sont regroupées dans le tableau 1 :

Tableau1 : Propriétés physico-chimique du colorant azoïque méthyl orange [16].

Nom	sodium;4-[[4- (diméthylamino)phényl]diazenyl]benzenesulfonate
Structure	
Nom chimique	L'orange de méthyle; 547-58-0; Orange III; Gold Orange; Eniamethyl Orange; Helianthine
Formule moléculaire	C ₁₄ H ₁₄ N ₃ NaO ₃ S
Masse molaire	327,334 g/mol
pKa	3,39
λ _{max}	A pH acide λ _{max} = 505 nm A pH basique λ _{max} = 465 nm

1.8. Le cuivre

1.8.1. Présentation

Le cuivre est un métal de couleur rouge orangé présent dans le tableau « Mendeleïev » sa masse atomique est de 63,5g/mole, ductile et malléable, sa température de fusion est relativement basse. Il représente le plus ancien métal utilisé par l'homme. Son ancienneté a pu être déterminée à 5000 ans av J-C lors de fouilles archéologiques sur les plateaux iraniens de Sialk. Cependant, il a été aussi exploité dans d'autres coins du monde comme à Chypre d'où l'appellation romaine « aes cyprium » qui veut dire métal de Chypre.



Fig. I.4 : Cuivre sous forme de poudre

1.8.2. Utilisations

- Métal très conducteur de courant idéal pour la composition des câbles électriques.
- Résiste bien à la corrosion et propice à la production de tout type de tuyauteries.
- Le cuivre a des propriétés fongicides et bactériostatiques

1.9. Le peroxyde d'oxygène

1.9.1. Présentation

Le peroxyde d'hydrogène est un composé chimique de formule H_2O_2 . Sa solution aqueuse est appelée eau oxygénée. Elle est incolore et légèrement plus visqueuse que l'eau.

Le peroxyde d'hydrogène possède à la fois des propriétés oxydantes par exemple vis-à-vis d'ions iodure et des propriétés réductrices par exemple vis-à-vis des ions permanganate (c'est ce qu'on appelle un amphotère).

1.9.2. Utilisations

Utilisation dans l'industrie chimique : synthèse (composés époxy, acides peracides persulfates, peroxydes organiques, polymères, polyuréthanes, etc.)

Utilisation dans l'industrie de l'eau: traitement des eaux d'épuration et de l'eau potable.

Utilisation dans les traitements de rejets gazeux.

Utilisation dans l'agriculture (agent nettoyant).

Utilisation dans l'industrie minière.

Utilisation dans l'industrie papetière : la cellulose et traitement du vieux papier (agent blanchissant).

Utilisation dans l'industrie du textile, du bois (agent blanchissant).

Utilisation dans l'industrie électronique (ex circuits imprimés, wafers).

Utilisation dans l'industrie métallique (ex décapage de surface métallique).

Utilisation dans l'industrie pharmaceutique (pour les synthèses).

Utilisation dans de nombreux secteurs comme désinfectant.



Fig. I.5 : Flacon d'eau oxygénée

2. Conclusion

La contamination des eaux avec des colorants est un fléau qui prend de plus en plus d'ampleur ces dernières années. Malgré l'existence de plusieurs méthodes d'élimination certaines restent coûteuses et parfois peu fiables. Ce travail consiste à élaborer un procédé de dégradation optimal en utilisant différents composés en l'occurrence le cuivre seul et en combinaison avec le peroxyde d'hydrogène . Le but étant de rechercher les conditions opératoires optimales pour obtenir des résultats de décoloration d'une substance organique colorée rapides et satisfaisants.

CHAPITRE II

ETUDE DE LA DECOLORATION DU METHYLE ORANGE EN PRESENCE DU CUIVRE

I. Introduction

Dans ce travail on s'est intéressé à la décoloration du méthyle orange en utilisant un solide à base de cuivre en poudre préparé au laboratoire. L'idée c'est de voir quelles sont les conditions optimales qui donnent le temps de décoloration le plus court

II. Matériels et produits chimiques utilisés

Pour cette étude, les équipements suivant sont été utilisés :

1-Bain marie

2-Thermoplongeur afin de réguler la température

3-Agitateur magnétique pour homogénéiser la solution

4-Becher en guise de réacteur

5-spectrophotomètre pour suivre la variation de l'absorbance du colorant en fonction du temps.

Les produits chimiques utilisés sont le méthyle orange ($C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$), le cuivre en poudre préparé au laboratoire. L'eau distillée a été utilisée pour préparer toutes les solutions aqueuses

III. Mode opératoire

Une solution de méthyle orange à la concentration $10^{-5}M$ a été préparée et acidifiée à un $pH=3$. Dans chaque expérience on prend 100mL de la solution à laquelle on ajoute une masse de cuivre en poudre préparé au laboratoire. Le bain marie a été préchauffé à une température de $60^{\circ}C$ et l'agitation fixée à 100tr/min. L'expérience commence dès que la solution entre en contact avec le solide. Des prélèvements sont réalisés chaque 2min pour lire les valeurs de l'absorbance. Les valeurs sont lues à une longueur d'onde de 508 nm. Les valeurs de l'absorbance sont transformées

en pourcentage du méthyle orange décoloré en utilisant la formule suivante :

$$\text{Efficacité de décoloration : (\%)} = (A_0 - A_t) / A_0 \times 100 \quad (1)$$

Avec A_0 : la valeur de l'absorbance du bleu de méthylène avant le début de la réaction, et A_t sa valeur au temps t .

IV. Etude de la décoloration du méthyle orange en présence du cuivre

Dans cette partie on a testé l'efficacité du solide seul dans la décoloration du méthyle orange en milieu acide. On a par la suite ajouté le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 au système (cuivre+ méthyle orange) en milieu acide $pH=3$ pour voir s'il y'a amélioration des résultats

IV.1- Système : Cuivre + méthyle orange en milieu acide

IV.1.a. Effet de la masse du cuivre:

L'effet de la masse du cuivre a été étudié en testant différentes valeurs : 0.01-0.02-0.03-0.04g. Les expériences ont été menées sous les conditions suivantes : température = $60^\circ C$, 100tr/min, et on a mis en contact les différentes masses de solide avec à chaque fois 100mL de la solution de méthyle orange à $10^{-5} M$ en milieu acide ($pH=3$)

La figure **II.1** montre la variation de l'absorbance du méthyle orange décoloré en fonction du temps et en présence de différentes masses du solide.

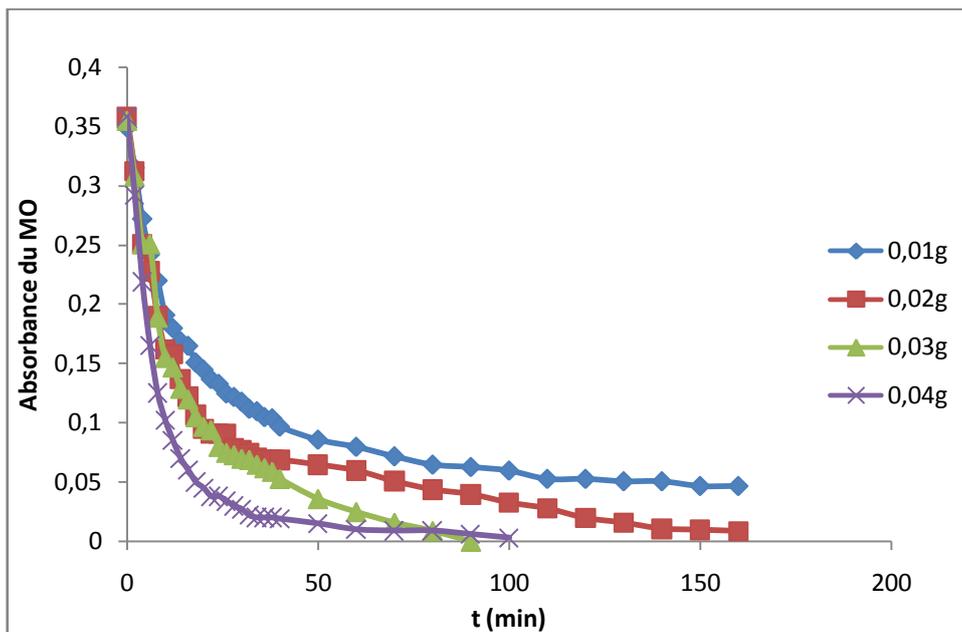


Figure II.1. Effet de la masse du solide sur la décoloration de méthyle Orange

Les résultats montrent que l'augmentation de la quantité du cuivre améliore la décoloration du méthyle Orange.

On remarque que la couleur de la solution disparaît complètement après 90 min avec 0,03 g et se stabilise à la valeur de 0,047 correspondant à un pourcentage de 86,87% après 160 min avec 0,01g. La masse de 0,03 g a été utilisée pour la suite des expériences.

IV.1.b. Effet de la température

L'effet de la température a été étudié en testant différentes valeurs qui varient entre 30 et 60°C. Les résultats montrent que l'augmentation de la température influe positivement sur le temps de la réaction. En effet, on remarque que l'absorbance a atteint la valeur de 0 correspondant à 100% de décoloration après 90 min à la température de 60°C. A 30°C elle atteint 0,081 après 180 min ce qui correspond à un pourcentage de 77,37%. Ceci indique que ce procédé de décoloration est thermiquement activé.

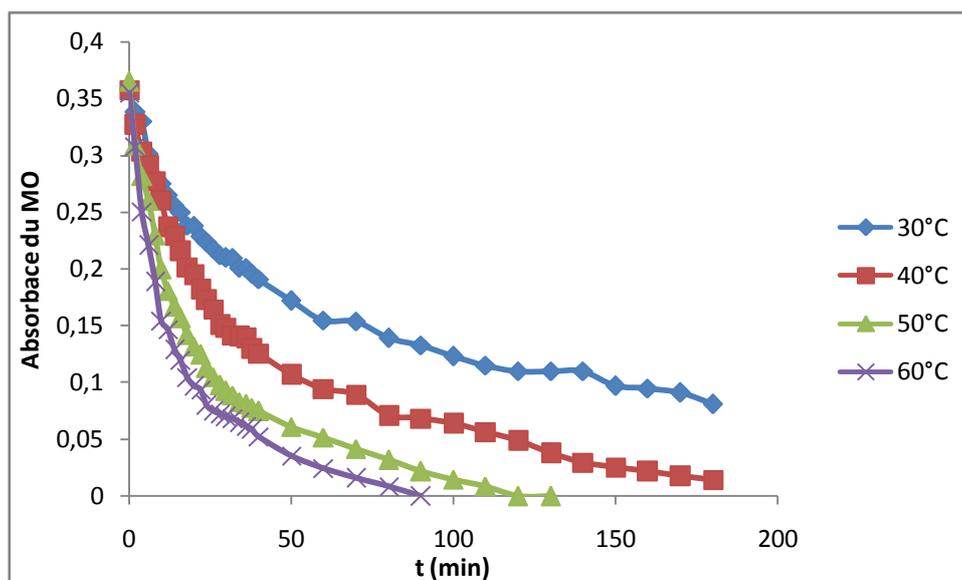


Figure II.2. Effet de la température sur la décoloration de méthyle Orange

IV.1.c. Effet du volume de la solution du colorant sur sa décoloration

Le volume de la solution du méthyle Orange a été varié de 100 à 300ml en gardant les autres paramètres constants (pH=3, 100 tr/min, la masse du solide = 0,03g et la température =60°C).Les résultats obtenus montrent que plus le volume de la solution du colorant est petit, plus que la réaction est rapide. Ceci est peut être due au fait que le contact entre les réactifs dans la solution est plus fréquent lorsque le volume est faible.

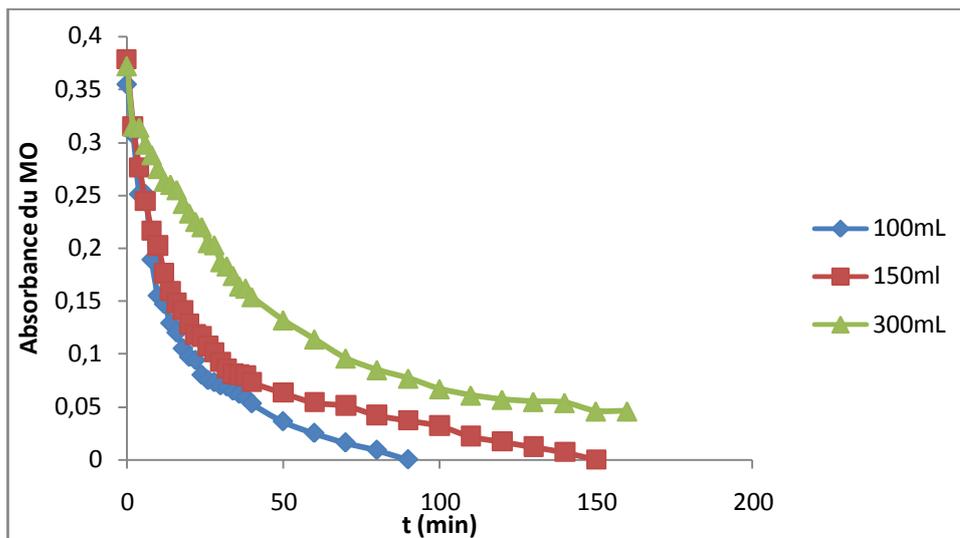


Figure II.3. Effet du volume de la solution du colorant sur sa décoloration

IV.1.d. Effet de l'ajout du peroxyde d'hydrogène

Le but de l'expérience est d'accélérer la réaction de décoloration en ajoutant un oxydant qui le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). On a pour cela testé différentes concentrations allant de 0,001 à 0,1 M et on a gardé les autres paramètres constants à savoir : la masse du cuivre =0,03 g, la température $60^\circ C$ et 100 tr/min avec la solution du colorant à pH=3.

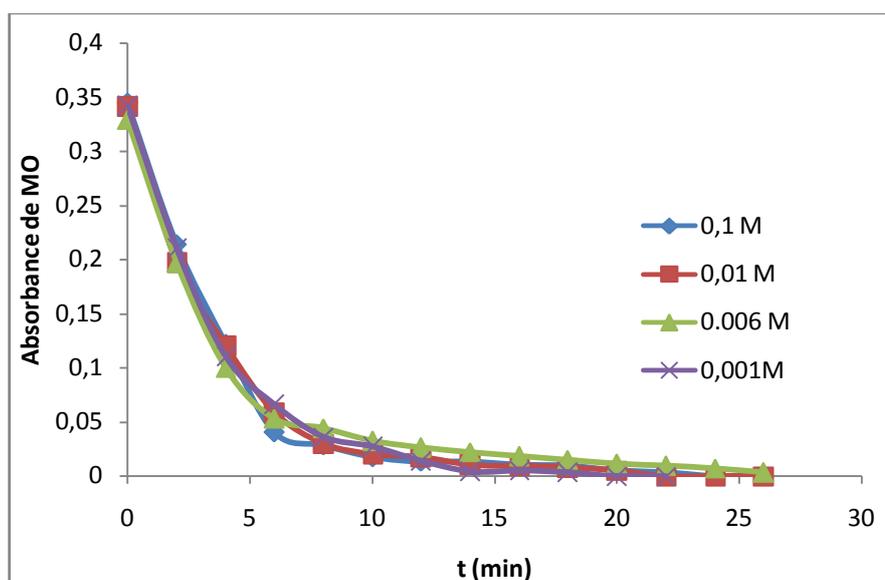


Figure II.4. Effet de l'ajout du peroxyde d'hydrogène sur la décoloration de méthyle Orange

Les résultats obtenus qui sont tracés sur la figure II.4 montrent que la réaction est accélérée en présence du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). En effet, une décoloration totale a été obtenue au bout de 26 min. cependant, la variation de la concentration du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) n'a pas affecté les résultats étant donné qu'ils sont pratiquement les mêmes.

Conclusion

Dans ce travail, on a étudié la réaction de décoloration du méthylorange par le cuivre préparé au laboratoire. Des résultats satisfaisants ont été obtenus.

En effet, l'utilisation d'une masse de 0,03g de cuivre a permis de décolorer la solution au bout de 90 min. L'utilisation du peroxyde d'hydrogène a accéléré la réaction et on a pu réduire le temps de décoloration jusqu'à 26 min.

V. Conclusion générale

Dans ce travail, on a testé une méthode de traitement de décoloration d'une solution de méthyle orange en milieu hétérogène par l'utilisation d'une poudre de cuivre préparé au laboratoire.

Cette méthode a donné des résultats satisfaisants par rapport au temps de réaction, les quantités de produits utilisés ainsi que les pourcentages de décoloration obtenus. Le cuivre ne peut réagir qu'en milieu méthyle orange acidifié. Un pH optimal égal à 3 a été déterminé. L'augmentation du volume de la solution, de la masse du solide au-delà de 0,03g diminuent l'efficacité de décoloration. L'ajout du peroxyde d'hydrogène a fortement amélioré l'efficacité du traitement en réduisant le temps de la décoloration. Cependant, l'augmentation de la concentration du peroxyde d'hydrogène n'a pas eu d'effet sur le temps de décoloration.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] GB, « conservation nature information sur la biodiversité », sur <http://www.Conservationnature.fr/article2>.
- [2] www.toupie.org> Dictionnaire/Définition de la pollution
- [2] www.quebecscience.qc.ca/ Qu'est ce que la pollution
- [3] Fr.wikipedia.org > wiki > Pollution
- [4] stationdepurationdufutur-e-monsite.com/ la pollution- de- l'eau et ses conséquences //html : la pollution de l'eau et ses conséquences
- [5] <https://Fr.oceancampus.eu/> la pollution de l'eau /Surfriderocean campus
- [6] www.lenntech.fr/faq-pollution-eau.htm (FAQ-pollution de l'eau-Lenntech
- [7] <https://www.research.net/> les colorants textiles sources de contamination de l'eau
- [8] «les colorants toute une histoire », [http://www.mtmad.fr/Lists/Ressources/Scolaire _ Parcours / les-colorants-toute-une-histoirevisite- mars-16.pdf](http://www.mtmad.fr/Lists/Ressources/Scolaire_Parcours/les-colorants-toute-une-histoirevisite-mars-16.pdf)
- [9] <https://www.aquaportail.com/> colorant naturel : définition et explications
- [10] [https:// tpefglescolorantsalmentaire.e-monsite.com/Nos différents types de colorants\]](https://tpefglescolorantsalmentaire.e-monsite.com/Nos_diff%C3%A9rents_types_de_colorants...)...
- [11]Djebar Raouf , Etude de la Decoloration Du (Bm) En Milieu Heterogene Et Homogene /Mémoire de master en génie des procédés, sous la direction du professeur DJERAD Souad, ANNABA,département du génie des procédés, juin 2019
- [12] [www. Fr.wikipedia.org](http://www.Fr.wikipedia.org) > wiki >Hélianthine
- [13] Tir Mabrouka et Kadri Samah, Elimination de colorant (Méthyl orange) par des hydroxydes doubles lamellaires (HDLS)/Mémoire de Master académique/université echahid hamma lakhdar-el-oued/faculté de technologie/2018
- [14]MERAD BOUDIA Sanaa, Préparation-de-Composites-Bentonites-P4VP-Application à l'adsorption de colorants / Mémoire de Master /université Abou –Bekr Belkaid– TLEMEN / Faculté des Sciences-département de Chimie/2018

[15]Nour BOUANIMBA, Modélisation et Optimisation de la Cinétique de Dégradation Photocatalytique de Polluants Organiques en solution Aqueuse, Mémoire de MAGISTER en Chimie, Université MENTOURI-Constantine /Faculté des Sciences Exactes /Département de Chimie/2009

[16]Alaounia Nadjette/Dégradation photocatalytique de polluants organiques (Méthyle orange,Pentachlorophénol et Acide benzoïque) en présence du dioxyde de titane nanocristallin élaboré par la méthode sol-gel/ Université BADJI MOKHTAR-ANNABA/Faculté des Sciences de l'Ingénieur /Département de Génie des Procédés/Memoire de MAGISTER/Année 2009