

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : SNV

N° :



DOMAINE : SNV

FILIERE : Ecologie et l'environnement

OPTION : Ecologie Urbaine

Mémoire Présenté pour l'Obtention
du Diplôme de Master professionnel

Par:

SAHNOUNE Moncef sami & DERRADJI Noor

Intitulé

Gestion des déchets ; cas d'un produit hospitalier

Soutenu le :/Juin/ 2024

Devant le jury composé de :

Dr. BENMHAIA. R	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
Dr. MERNIZ. N	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Encadreur
Pr. MEGLAILI. O	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Co- Encadreur
Dr. CHERIF. K.	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciement

Nous remercions ALLAH Tout-Puissant de nous avoir donné

La capacité de suivre la carrière académique et la force de

Terminer ce travail.

Nous remercions également tous ceux qui ont contribué à

L'achèvement de ce travail en particulier ; Mr Merniz. N à l'aide du Pr Meglaili. O pour avoir accepté de nous encadrer et pour ses précieux conseils.

Nous remercions également les membres des jurys qui ont eu l'amabilité de porter une appréciation sur ce travail et de participer au jury de soutenance ;

Enfin de compte, nous remercions toute l'équipe du

Laboratoire science de nature et de vie de

L'université M'sila.

Dédicace

louange à Dieu, Seigneur des mondes, qui a illuminé les mondes et le chemin de la vérité.

Et les prières soient sur le bien-aimé choisi

*Je dédie ceci à mon cher père qui a travaillé si dur pour m'amener là où je suis
aujourd'hui.*

Et à ma mère qui a enduré mes dures expériences

*À mes frères (Wail et Rafik Rami) et à ma sœur unique chaima, j'espère que Dieu Tout-
Puissant leur accordera le succès dans sa vie.*

*J'adresse également mes sincères remerciements à mes proches et à tous mes amis
(Youssef, Abd el Latif, Hamza, Mohsen, Ziad, Mukhtar) qui m'ont souhaité du succès
dans la réalisation de ce travail.*

*Un merci spécial à ma collègue (Noor Derradji) pour le travail commun et son soutien
dans ce travail*

*Et à tous mes estimés professeurs, en particulier les professeurs encadrants « Nouredine
Merniz, Maglali Omar ». À tous mes professeurs, je demande à Dieu Tout-Puissant de
nous faire bénéficier de ce qu'ils m'ont appris*

SAHNOUNE MONCEF SAMI

Dedication:

Whoever said I am hers “got it.”

*The journey was not short, nor should it be. The dream was not near, nor was the road
fraught with ease*

*However, I did it and I got it. Praise be to God, love, thanks and gratitude, thanks to
which I am here today looking at a long-awaited dream that has become a reality that I
am proud of.*

*To my pure angel, my strength after God, my first and eternal supporter, “Mother,” I
dedicate this achievement to you, which without your sacrifices would not have existed. I
am grateful that God has chosen you for me from among the people, but you are the best
support and compensation.*

To the one who supported me without limits and gave me for free

“My dad”

To those of whom it was said:

(We will strengthen your support through your brother.)

To those who tirelessly extended his hand in my time of weakness

My brothers, may God keep you as a constant side for me.

To the one who believed in my abilities and the safety of my days,

To the one who reminds me of my strength and stands behind me like my shadow,

*To my steadfast friends, despite the turmoil of the world, thank you for standing by my
side. What I know is that your presence with me is a tremendous support for me. I hope
that we will never be separated.*

DERRADJI NOOR

Table des matières

Introduction	I
Chapitre I : Synthèse bibliographique	2
1. Généralités sur les déchets de soins médicaux	3
2. Classification des déchets hospitaliers selon la loi algérienne :	4
2.1 Les déchets anatomiques.....	4
2.2 Les déchets infectieux.....	4
2.3 Les déchets toxiques	4
3. Gestion des déchets hospitaliers :	4
3.1 Le tri :	5
3.2 Le conditionnement	5
3.3 La collecte.....	5
3.4 Le stockage :	6
3.5 Le transport :	6
3.6 Élimination finale :	6
4. Le traitement de Déchets d'Activités à Risques Infectieux (DASRI) :	7
4.1 Les procédés de banalisation des DASRI :	7
4.2 L'incinération des DASRI :	7
4.2.2 Avantages et inconvénients de l'incinération :	8
5. Sources des déchets hospitaliers.....	9
5.1 Sources majeures	9
5.2 Sources mineures.....	9
6. Risques des déchets hospitaliers sur la santé et sur l'environnement	9
6.1 Personnes à risques	9
6.2 Principales voies d'exposition.....	10
6.3 Types des risques associés aux déchets hospitaliers	10
7. Pré-traitement.....	10
7.1 Le recyclage :	10
7.2 Broyage et désinfection :	10
8. Législation sur les déchets hospitaliers.....	12
8.1. Accords internationaux.....	12
8.2 Réglementation algérienne	12
9. Pollution des eaux par des colorants.....	13
9.1 Classification des colorants.....	13
9.1.1 Classification chimique	13
9.1.2 Classification tinctoriale	14

9.2 Toxicité des colorants.....	15
9.3 Impacts sur l'environnement et la santé	15
10. Méthodes de dégradation des colorants dans les eaux usées	15
10.1 Méthodes biologiques.....	15
10.2 Méthodes physiques	16
10.2.1 Filtration sur membrane.....	16
10.2.2 Adsorption.....	17
10.3 Méthodes chimiques	17
10.3.1 Méthodes de récupération	18
10.3.2 Méthodes d'oxydations classiques.....	18
11. Procédés d'oxydations avancées (POA).....	19
11.1 Procédés d'ozonation	19
11.2 Procédé photochimique homogène UV.....	19
11.3 Photocatalyse homogène	19
11.4 La photocatalyse hétérogène	20
a. Principe de la photocatalyse	21
b .Domaines d'applications de photocatalyse	22
c . Facteurs influençant la photocatalyse.....	24
Chapitre II : Matériels et méthodes.....	25
1. Procédure expérimentale	26
1.1 Matériels utilisés.....	26
1.2 Produits	28
1.3 Mode opératoire	30
Chapitre III.....	32
Résultats et Discussion	32
1. Préparation du catalyseur	33
2. Détermination des courbes d'étalonnage :	34
3. Détermination des courbes d'étalonnage du BM et VM.....	36
4. Dégradation du BM et VM par une lumière UV	38
5. Calcul de l'efficacité de dégradation du BM et VM.....	38
6. Comparaison de photodegradation de BM et VM	42
Conclusion.....	44

Liste des figures

Figure 1 : Schéma L'incinération des DASRI.....	7
Figure 2 : Schéma de l'encapsulation du ciment dans une fosse spéciale (Diaz et al., 2005).	12
Figure 3 : Principe de la photocatalyse (Simon,et al.2008).....	20
Figure 4 : Dégradation des polluants sur la surface du TiO ₂ (Huchon,2006).....	22
Figure 5 : Domaines d'applications de la photocatalyse.(Chergui,2011).....	23
Figure 6 : Image photographique de l'agitateur magnétique.....	26
Figure 7 : Image photographique de la lampe UV utilisée pour la photodégradation.....	27
Figure 8 : Spectrophotomètre UV-Visible	27
Figure 9 : (a) et (b) La structure moléculaire du bleu de méthylène BM.	28
Figure 10 : La structure, la formule moléculaire et quelques propriétés du vert de méthylène	29
Figure 11 : les couches minces d'oxyde de zinc.....	30
Figure 12 : Image photographique de l'échantillon verre+ITO+ ZnO (Al=1%).....	33
Figure 13 : spectre DRX de la couche ZnO dopée par Al à 1% (Daoudi,2016)	34
Figure 14 : Variation de l'absorbance optique A en fonction de la longueur d'onde pour différentes concentrations molaire du BM.....	35
Figure 15 : Variation de l'absorbance optique A en fonction de la longueur d'onde pour différentes concentrations molaire du VM.....	36
Figure 16 : Courbes d'étalonnage de (a) : BM et (b) : VM.....	37
Figure 17 : Schéma du dispositif d'irradiation par la lumière UV de la couche ZnO et de la solution BM ou VM.....	38
Figure 18 : Représentation graphique de l'absorption optique (A) en fonction de la longueur d'onde λ du BM irradié par une lampe UV en présence du catalyseur ZnO à différents temps (de 1h à 4h). Le spectre (e) : la solution est exposée avec le catalyseur ZnO au soleil durant 4h	39
Figure 19 : Représentation graphique de l'absorption optique (A) en fonction de la longueur d'onde λ du VM irradié par une lampe UV en présence du catalyseur ZnO à différents temps. Le spectre (e) : la solution est exposée avec le catalyseur ZnO au soleil durant 4h	39
Figure 20 :Variation de la concentration des solutions de BM en fonction du temps d'exposition aux rayons UV.....	40
Figure 21 : Variation de la concentration des solutions de VM en fonction du temps d'exposition aux rayons UV.....	41
Figure 22 : Efficacité de dégradation du BM et VM par un catalyseur de ZnO en couche mince.....	42
Figure 23 : Comparaison de l'efficacité de dégradation du BM et VM par le catalyseur ZnO.....	43

Liste des tableaux

Tableau 1 : Avantages et inconvénients de l'incinération.	8
Tableau 2 : Principaux groupes chromophores et auxochromes (Saidi,2013)	14
Tableau 3 : Le volume d'eau distillée ajouté à 5 ml de la solution initiale pour obtenir une solution avec une concentration C_f.	31
Tableau 4 : L'absorption optique du BM et VM pour différentes concentrations molaires	36

Abréviations

A	absorbance
BC	la bande de conduction
BM	bleu de méthylène.
BV	la bande de valence
C	Concentration
DAOM	Déchets d'Activités aux Ordures Ménagères
DAS	Déchet Activité de Soins
DASRI	Déchets d'Activités à Risques Infectieux
DH	déchets hospitaliers
g	gramme
H	heure
M	la masse molaire
M	mol /l
MSPLCS	Ministère de la Sante Publique et de la lutte Contre le Sida
m_(BM)	la Masse du bleu de méthylène.
m_(VM)	la Masse du vert de méthylène.
ml	millilitres
nm	nanomètre
OMS	Organisations Mondiale de la Santé
POA	Procédés d'oxydations avancées
S	solution
UIOM	Unité d'Incinération d'Ordures Ménagères
UV	ultraviolet

V Volume

VM vert de méthylène

WHO World Health Organization

Zno L'oxyde de zinc

Introduction

Introduction

Introduction

L'environnement est un élément vital pour la santé publique et la qualité de vie , c'est pourquoi il est désormais crucial de prendre des mesures pour sa protection.

De par leurs activités, les établissements de soins produisent des déchets en grande quantité, et de nature très diverse : ce sont les déchets d'activités de soins (DAS), défini comme : « déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, curatif ou palliatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire» sont assimilés aux déchets d'activités de soins les déchets issus des activités d'enseignement de recherche et de production industrielle ainsi que ceux issus des activités de thanatopraxie (**Chardon, 1995**).

Les déchets liés aux soins de santé constituent un réservoir de micro-organismes susceptibles d'infecter les patients hospitalisés, les personnels de santé et le grand public. Les autres risques infectieux potentiels sont notamment le rejet dans l'environnement de microorganismes pharmaco-résistants présents dans les établissements de soins (**MSPLCS, 2012**).

Le but de cette étude est de connaître le temps de dégradation de deux produits utilisés dans les hôpitaux en l'occurrence le bleu et le vert de méthylène par un photocatalyseur. Pour cela, ce travail est composé de trois chapitres. Le premier est une recherche bibliographique sur les déchets hospitaliers et leurs gestions. Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté notre travail expérimental en laboratoire dans ses aspects les plus importants. Poursuivant nos recherches, nous sommes arrivés au troisième chapitre, dans lequel nous avons discuté des résultats les plus importants de notre expérience en laboratoire. Et nous terminons par une conclusion.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Généralités sur les déchets de soins médicaux

D'après la loi n° 83-03 du Ministère de l'intérieur de 05 février 1983, relative à la protection de l'environnement, définit les déchets comme suit : « Un déchet est toute chose délaissée abandonnée par son propriétaire, suite à une opération de production, transformation ou utilisation de toute matière ou produit, d'une manière globale ». Quant à la loi Algérienne n° 01-19 relative à la gestion, contrôle et à l'élimination des déchets, caractérise les déchets comme suite : « Tout résidu d'un processus de production de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance, ou produit dont le propriétaire ou le détenteur se défait, ou projette de se défaire ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer (**Journal Officiel, 2001**).

Parmi les déchets produits par l'homme, on retrouve les déchets de soins médicaux. Ils comprennent tous les déchets produits par des activités médicales. Ils englobent des activités de diagnostics aussi bien que ceux des traitements préventifs, curatifs et palliatifs dans le domaine de la médecine humaine et vétérinaire (**Rapport National, 2011**). En d'autres termes, on considère les déchets de soins médicaux tous les déchets produits par des institutions médicales (publiques ou privées), des établissements de recherche ou les laboratoires (**OMS, 2004**)

Ces déchets peuvent être des objets piquants et tranchants (seringues, aiguilles, lames de bistouri, débris de verre, etc.) ; des pièces anatomiques (placentas et annexes, tissus, cultures, sang et dérivés, fèces...) ; des cotons, plâtre, couches, pansements..., oueds produits chimiques, pharmaceutiques, radioactifs, ou des conteneurs pressurisés. Le déchet piquant et tranchant représente environ 10 à 25 % de l'ensemble des déchets produits par les établissements de soins (**OMS, 1999**).

Les déchets d'activités de soins à risque infectieux (DASRI) répondent à la définition des déchets d'activité de soins (DAS) mais contiennent des microorganismes viables ainsi que leurs toxines, qui en raison de leur nature peuvent causer des maladies chez l'homme ou chez d'autres organismes vivants susceptibles de contaminer l'homme. On retrouve aussi parmi les DASRI : les matériaux piquants, coupants ou tranchants destinés à l'abandon qu'ils ont été ou non en contact avec un produit biologique, les produits sanguins à usage thérapeutique utilisé ou arrivé à péremption, les déchets anatomiques humains, correspondants à des fragments humains non aisément identifiables, et les placentas issus de toutes les maternités (**Rapport National, 2011**).

2. Classification des déchets hospitaliers selon la loi algérienne :

En Algérie, les déchets médicaux et pharmaceutiques sont classés d'après leurs caractéristiques. Selon l'aloï n° 01-19, relative à la gestion au contrôle et à l'élimination des déchets (**Journal Officiel, 2003**)

: Les déchets d'activités de soins sont classés en trois catégories :

- ✓ Les déchets anatomiques.
- ✓ Les déchets infectieux.
- ✓ Les déchets toxiques.

2.1 Les déchets anatomiques

Sont qualifiés de déchets anatomiques tous les déchets anatomiques et biopsiques humains, issus des blocs opératoires et des salles d'accouchement. Ils doivent être pré-collectés dans des sachets plastiques de couleur verte à usage unique (**Journal Officiel, 2003**).

2.2 Les déchets infectieux

Les déchets infectieux sont les déchets qui contiennent des micro-organismes ou leurs toxines, susceptibles d'affecter la santé humaine. Les déchets infectieux coupants, piquants ou tranchants doivent avant leur pré-collecte dans les sachets prévus à cet effet, être mis dans des récipients rigides et résistants à la perforation, munis d'un système de fermeture.

Les déchets infectieux doivent être pré-collectés dans des sachets plastiques d'une épaisseur minimale de 0,1 mm, à usage unique, de couleur jaune, résistants et solides (**Journal Officiel, 2003**).

2.3 Les déchets toxiques

Les déchets toxiques regroupent :

- ✓ Résidus et éléments périmés des produits pharmaceutiques et chimiques de laboratoire
- ✓ Les déchets contenant de fortes concentrations en métaux lourds, les acides, les huiles usagées et les solvants.

Les déchets toxiques doivent être pré-collectés dans des sachets plastiques de couleur rouge à usage unique, résistants, solides et ne dégageant pas de chlore lors de l'incinération (**Journal Officiel, 2003**).

3. Gestion des déchets hospitaliers :

La gestion des déchets est une préoccupation majeure des autorités en charge du secteur. Une étude menée par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) sur les impacts sanitaires et la gestion des déchets a montré que pour appréhender les risques sanitaires, il est nécessaire de relativiser et d'intégrer de nombreuses données, principalement (**OMS, 2005**) :

- La connaissance fine des déchets et de leur comportement.
- Techniques de gestion et versions associées.
- Le comportement et le devenir de diverses matières et émissions dans l'environnement (eau, air, sol), chaîne alimentaire, etc.
- Toxicité de différentes substances, seules ou en combinaison, et les mécanismes qui conduisent à un effet potentiel sur la santé.

Selon l'Organisation mondiale de la santé la gestion des déchets vise à éliminer et traiter les déchets de la manière la plus propre et la plus économique possible grâce à des méthodes qui réduisent, à toutes les étapes, les risques pour la santé et l'environnement. **(OMS, 2005)**,

3.1 Le tri :

Sépare les déchets dangereux des déchets ordinaires. Cette première étape nécessite un emballage spécial avec des étiquettes à travers afin de prévenir les risques d'infection et de contamination. Les produits "piquants" doivent être placés dans des contenants hermétiques, et les autres déchets dangereux sont collectés dans des sacs étanches et résistants. Cette première étape présente également un intérêt économique car elle permet de réduire la quantité de déchets devant subir un traitement spécifique et donc les coûts. Le compactage et le mélange du DASRI avec les ordures ménagères sont strictement interdits. Le tri est l'étape la plus importante pour une gestion réussie des DAS, il consiste en la séparation sur la base de leurs propriétés dangereuses des différents types de déchets, les types de traitement et d'élimination qui leur sont appliqués. Une manière recommandée d'identifier les catégories des DAS est de les disposer selon des codes couleur et dans des sacs ou conteneurs clairement étiquetés **(WHO, 2005)**.

3.2 Le conditionnement

Son but est de protéger les personnes et d'éviter les distractions.) Emballages) : à usage unique, spécifiques (code couleur, code, risques biologiques), adaptés aux différents types de déchets (sacs, boîtes à aiguilles, etc.), à leurs conditions de production, aux caractéristiques externes et internes de la filière d'élimination **(Chadron, 2006)**.

3.3 La collecte

Il s'agit du trajet depuis le site de production de déchets jusqu'à la zone centrale de stockage. Il est recommandé que la collecte dans les hôpitaux soit effectuée par une équipe d'assainissement composée de personnel qualifié. Les heures de collecte doivent être déterminées par la direction de l'établissement à travers.

Le service des déchets doit être intégré aux services préétablis de l'établissement et doit respecter les règles classiques des flux propres et sales, habituellement préconisées dans les établissements de santé **(Biadillah, 2004)**, La collecte est le deuxième pas important pour la gestion des DAS, les infirmiers et le personnel devraient veiller à ce que les sacs à déchets soient bien fermés lorsqu'ils ont environ trois quarts de remplissage **(Prüss et al., 1999)**.

Le temps de collecte doit être à des heures régulières et appropriés à la quantité de déchets produits dans chaque zone de l'établissement de santé. Les DG ne doivent pas être collectés en même temps ou dans le même chariot que les DASRI ou autres déchets dangereux (**Rushbrook et al., 2005**).

Une autre étape importante, qui consiste à établir les circuits de circulation séparés autour de l'établissement de santé : l'un pour les patients, personnel et le matériel médical non utilisé et l'autre pour les déchets, linge sale et le matériel usagé. Ceci est dit le système d'accès du « propre » et du « sale » (**Rushbrook et al., 2005**).

Certaines recommandations devraient être suivies par les agents chargés de la collecte des déchets (**Prüss et al., 1999 ; Chartier, 2014**) :

- ✓ Les déchets doivent être collectés quotidiennement et transportés vers le site de stockage central désigné ;
- ✓ Aucun sac ne doit être enlevé, à moins qu'ils ne soient étiquetés avec la date, type de déchets et le point de génération pour leur permettre de les suivre jusqu'à l'élimination. Le poids devrait également être enregistré régulièrement ;
- ✓ Les sacs ou les conteneurs doivent être remplacés immédiatement par des nouveaux du même type ;
- ✓ Un approvisionnement en sacs ou conteneurs devrait être facilement disponible dans tous les endroits où les déchets sont produits.

3.4 Le stockage :

Les déchets médicaux sont stockés temporairement avant d'être traités / éliminés sur site ou transportés hors site. La durée maximale de stockage ne doit pas dépasser 24 heures. Les déchets de soins de santé non dangereux doivent toujours être stockés dans des endroits séparés de ceux où les déchets infectieux/dangereux sont déposés pour éviter toute contamination. Il doit y avoir un site de stockage proportionné au volume de déchets générés et à la fréquence de collecte des déchets dans toutes les formations sanitaires. Le stockage des déchets ne doit pas être situé à proximité des magasins d'alimentation ou des cuisines et l'accès doit être limité au personnel autorisé. Il doit également être facile à nettoyer, bien éclairé et bien aéré, et conçu pour ne pas être envahi par les rongeurs, les insectes et les oiseaux. (**PNUE, 2005 ; OMS, 2005**)

3.5 Le transport :

Le transport des déchets doit toujours être correctement documenté et tous les véhicules doivent être munis d'un bordereau d'emballage du point de collecte au site de traitement. De plus, les composés utilisés pour collecter les déchets de soins de santé dangereux/infectieux ne doivent pas être utilisés à d'autres fins. Il ne doit pas avoir de bords tranchants, doit être facile à charger et à décharger à travers, facile à nettoyer/désinfecter et bien couvert pour éviter le déversement de déchets à l'intérieur de l'hôpital ou sur la route. (**OMS, 2005**)

3.6 Élimination finale :

La réglementation impose l'élimination définitive des déchets d'activités de soins par incinération ou prétraitement (banalisation) dans un dispositif de désinfection, permettant l'utilisation d'usines d'incinération (**Chauvreau, 2004**).

4. Le traitement de Déchets d'Activités à Risques Infectieux (DASRI) :

Les DASRI doivent être :

- Soit incinérés dans des sites spécialement autorisés.
- Soit traités par des appareils de banalisation validés. (Abd-el-Malek,2015)

4.1 Les procédés de banalisation des DASRI :

Voici le montage simultané :

- L'apparence des déchets (broyage).
- Réduction de la contamination microbologique (par stérilisation à la vapeur sous pression).

4.2 L'incinération des DASRI :

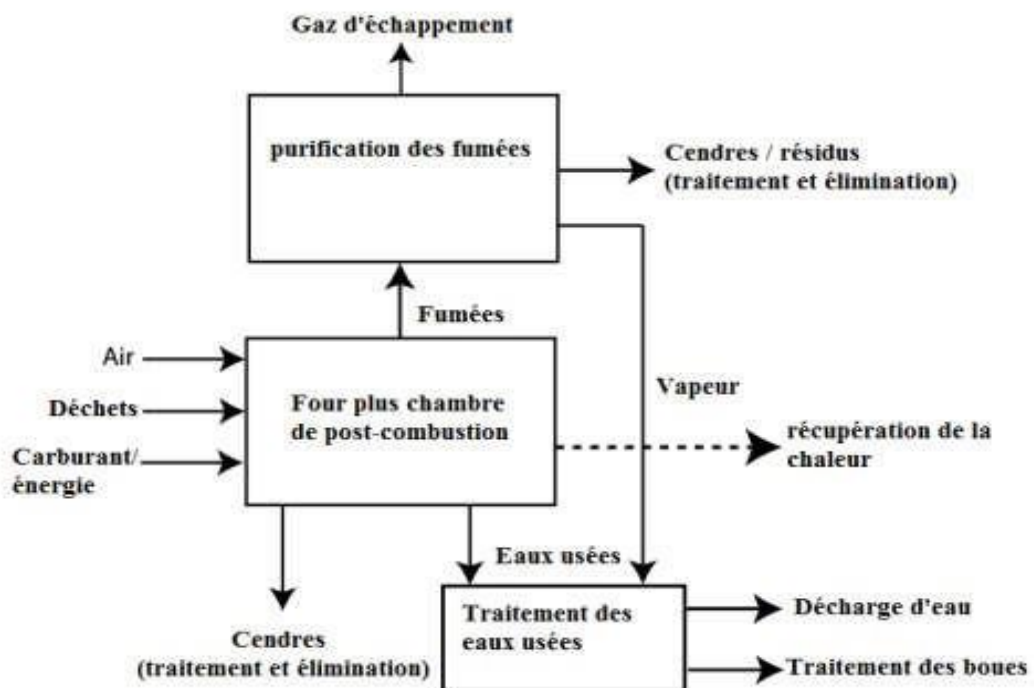


Figure 1 : Schéma L'incinération des DASRI

Les installations doivent faire l'objet d'une autorisation en rapport avec des normes de protection de l'environnement. Les installations doivent être autorisées conformément aux normes de protection de l'environnement. Il n'est plus permis d'installer de nouveaux incinérateurs sur le site. Seuls les incinérateurs déjà installés sur le site et « conformes » sont autorisés à fonctionner. Ceux qui ne "se conforment pas" devraient être réformés et les structures de santé concernées invitées à incinérer leurs déchets de soins à l'étranger par le biais d'une société spécialisée et agréée. (Abd-el-Malek,2015)

4.2.1. Les types d'incinérateurs :

Trois types généraux de technologie d'incinération sont couramment utilisés pour traiter les déchets médicaux :

A. Les incinérateurs à air contrôlé à deux chambres : qui fonctionnent en mode air contrôlé (dans des conditions stœchiométriques) au premier étage primaire et sont conçus pour l'incinération des déchets médicaux infectieux.

b. Incinérateurs à plusieurs chambres : y compris les incinérateurs à ligne torsadée utilisés pour les incinérateurs de déchets pathologiques, fonctionnant en excès d'air (au-dessus des conditions stœchiométriques).

c. Les incinérateurs à fours rotatifs : Généralement capables d'atteindre des températures qui décomposent les substances les produits chimiques résistants à la chaleur (Emaleu,2017). Les rejets atmosphériques par incinérateur : Les rejets atmosphériques des Unité d'Incinération d'Ordures Ménagères (UIOM) contiennent de nombreux composés chimiques présents en quantité et qualité variables dans les vapeurs. La nature et la concentration des matières émises dépendent principalement du procédé d'incinération, du type de déchets incinérés, des conditions de combustion et du système de traitement des fumées. Certaines substances sont inhérentes à la nature de la combustion des déchets, d'autres se forment lors de la combustion incomplète des déchets, voire lors du refroidissement des gaz. Les principales substances concernées sont le dioxyde de carbone, le NO, le SO², le Hcl, les dioxines, les furannes, les PCB, les poussières et certains métaux lourds. Une fois que ces polluants sont rejetés dans l'atmosphère, ils sont plus susceptibles d'être inhalés ou de se déposer sur le sol, causant potentiellement des problèmes de santé en polluant la chaîne alimentaire (Rosine *et al.*, 2008).

4.2.2 Avantages et inconvénients de l'incinération :

Le tableau suivant représente les avantages et les inconvénients de l'incinération :

Tableau 1 : Avantages et inconvénients de l'incinération.

Avantages	Inconvénients
Élimination complète des déchets et réduction des volumes.	Coûts élevés d'installation, d'exploitation et de maintenance.
Les DMP ne sont pas reconnaissables.	Émissions de gaz toxique si les déchets sont mal incinérés.
Traitement de grandes quantités.	Les cendres peuvent contenir des métaux lourds, des dioxines et des furanes si les températures de combustion n'atteignent pas 1000 °C.
Émissions réduites.	
Adapté à tous les types de déchets (organiques, liquides, solides).	

5. Sources des déchets hospitaliers

5.1 Sources majeures

Ces sources sont les hôpitaux, centres d'autopsie, recherche et essais sur les animaux, banques et service de collecte de sang, maisons de soins pour personnes âgées, laboratoires et centres de recherche, autres établissements de santé (services médicaux d'urgence, centres de santé et dispensaires, cliniques obstétriques et de maternité, cliniques ambulatoires, centres de dialyse) (Chartier, 2014).

5.2 Sources mineures

Ces sources produisent de petite quantité des déchets mais elle reste très dangereuse, il s'agit de petits établissements de santé, instituts spécialisés de santé et établissements à faible production de déchets, services funéraires, services d'ambulance, traitement à la maison, activités impliquant des interventions intraveineuses ou sous-cutanées (cosmétique, piercing d'oreille et tatouage, utilisateurs de drogues illicites avec échanges d'aiguilles) (Chartier, 2014).

6. Risques des déchets hospitaliers sur la santé et sur l'environnement

La gestion des DH est devenue un problème critique, elle est également d'une importance accrue en raison des risques potentiels pour l'environnement et pour la santé publique pouvant même entraînant des épidémies (Awodele *et al.*, 2016).

6.1 Personnes à risques

Toutes les personnes qui sont en contact avec les déchets dangereux directement en manipulant les déchets ou indirectement en raison de la gestion inappropriée des DH sont potentiellement à risque. Les principaux groupes de personnes à risque sont :

- Le corps médical : médecins, infirmiers, laborantins, pharmaciens, brancardiers, le personnel sanitaire et de maintenance des hôpitaux, auxiliaires de santé, personnel scientifique.
- Les patients internes ou externes recevant des traitements dans les établissements sanitaires ainsi que leurs visiteurs.
- Les travailleurs des services de soutien liés aux établissements sanitaires tels que :
- Les services de buanderie, les services de manipulation des déchets et de transport, nettoyeurs, responsables des déchets, transporteurs, personnel de la maintenance.
- Les travailleurs des installations d'élimination des déchets, y compris les ramasseurs d'ordures.
- Le grand public et plus spécifiquement, les enfants jouant avec des objets qu'ils peuvent trouver dans les déchets à l'extérieur des établissements sanitaires (WHO, 2005 ; Babanyara *et al.*, 2014 ; Chantier *et al.*, 2014 ; Oli *et al.*, 2016;)

6.2 Principales voies d'exposition

Le personnel et surtout les agents qui manipulent les déchets sont constamment exposés aux risques sur leur santé.

Les principales voies d'exposition sont :

- Ponction, écorchure ou coupure de la peau (lors de la manipulation des déchets dangereux par contact direct).
- L'inhalation des émissions des incinérateurs, des sites d'enfouissement et des substances chimiques.
- La consommation d'eau contaminée par le lixiviat d'enfouissement.
- La chaîne alimentaire en particulier la consommation d'aliments contaminés par des bactéries et des virus provenant de l'étalement des eaux usées.

- Le vent qui disperse les polluants atmosphériques dans les communautés voisines.
- Des vecteurs tels que les rats, les mouches et les cafards qui sont des transporteurs passifs de pathogènes microbiens, leurs populations peuvent augmenter considérablement en cas de mauvaise gestion des déchets (Giusti, 2009 ; Hossain et *al.*, 2011 ; Chartier, 2014).

6.3 Types des risques associés aux déchets hospitaliers

- Risques liés aux Déchets Infectieux et aux objets PCT
- Risque lié aux déchets chimiques et pharmaceutiques
- Risque lié aux déchets génotoxiques
- Risque lié aux déchets radioactifs

7. Pré-traitement

Le prétraitement est toute opération physique, chimique, ou biologique conduisant un changement dans la nature ou la composition des déchets ; en vue de réduire dans des conditions contrôlées le potentiel polluant ou la quantité de déchets, ou d'en extraire la partie recyclable (Pichat, 1995).

7.1 Le recyclage :

Il constitue sans aucun doute l'alternative la plus intéressante en prétraitements. Les établissements de soins doivent correctement trier les déchets afin de diminuer la part des déchets non recyclables (qui finiront dans un centre de stockage ou un incinérateur) (Pichat, 1995).

7.2 Broyage et désinfection :

C'est un procédé de pré-traitement qui vise à modifier l'apparence des déchets, et à réduire la contamination microbiologique. Par contre, les déchets broyés peuvent par la suite être mis en décharge avec les ordures ménagères (Hajli, 2005). La désinfection se fait par deux méthodes :

a. Désinfection physique :

Le procédé de désinfection des déchets par voie thermique et humide, fonctionne selon un principe analogue à celui de l'autoclave : c'est-à-dire par exposition de ces déchets à la vapeur d'eau, à une pression de quelques bars et une température minimum de 120°C pendant une heure. Le principe de fonctionnement est le suivant : « Les déchets sont introduits dans l'appareil pour subir une première phase de broyage. A l'issue du broyage, les déchets sont mis dans une chambre de réception où ils sont soumis à une pression variable (entre 2,5 et 3,5 bars) et stérilisés à une température de l'ordre de 130°C-140°C » (Hajli, 2005).

b. Désinfection chimique

La désinfection chimique entraîne habituellement une désinfection plutôt qu'une stérilisation (Chartier, 2014). Elle est adaptée pour le traitement de déchets liquides tels que le sang, les urines, les excréments ou les canalisations d'hôpitaux (eaux usées) (Prüss *et al.*, 1999 ; WHO, 2005; Chartier, 2014).

Les déchets solides, même très dangereux, y compris les cultures microbiologiques et les objets PCT, peuvent également être désinfectés chimiquement, avec des limitations comme les puissants désinfectants qui peuvent être dangereux (Prüss *et al.*, 1999; Chartier, 2014). La désinfection des déchets solides est effective si seuls les déchets sont déchiquetés (Shareefdeen, 2012).

Les désinfectants chimiques utilisés pour la désinfection des DAS sont principalement des composés chlorés, des aldéhydes (formaldéhyde et glutaraldéhyde), des gaz d'ozone, des sels d'ammonium et des composés phénoliques (Diaz *et al.*, 2005; Chartier, 2014). Ils constituent une alternative pour l'hypochlorite de sodium, puisqu'il a été démontré que le chlore est un précurseur de la formation de dioxines en combustion (Diaz *et al.*, 2005).

7.3 Enfouissement

Dans tous les systèmes de déchets, l'élimination des matières résiduelles restantes après la minimisation ou le traitement nécessitera l'accès au terrain pour l'élimination finale (Chartier, 2014). L'enfouissement est l'option commune pour les méthodes générales d'élimination des déchets. C'est une méthode d'élimination facile et peu coûteuse. Mais, si une décharge n'est pas correctement gérée, elle soulève des problèmes de santé humaine et de pollution de l'environnement (Hossain *et al.*, 2011).

7.4 Encapsulation

L'encapsulation (ou solidification) consiste à englober un petit nombre d'objets ou de matériel dangereux ou à risque dans une masse de matériau inerte (WHO, Department of Immunization, 2005).

Les objets PCT sont placés dans des conteneurs. Les récipients peuvent être en carton, en plastique ou en métal (Diaz *et al.*, 2005). Lorsque les conteneurs sont presque pleins, un matériau connu pour immobiliser les objets

PCT est ajouté. Les matériaux les plus couramment utilisés pour immobiliser les objets PCT sont le ciment, les mousses plastiques, le sable bitumineux, les résines et l'argile. Une fois que le matériau d'immobilisation est sec ou durcit, le récipient doit être correctement scellé et éliminé dans les sites d'enfouissement (Fig.8) (Prüss et al., 1999; Chartier, 2014; Diaz et al., 2005; WHO, Department of Immunization, 2005).

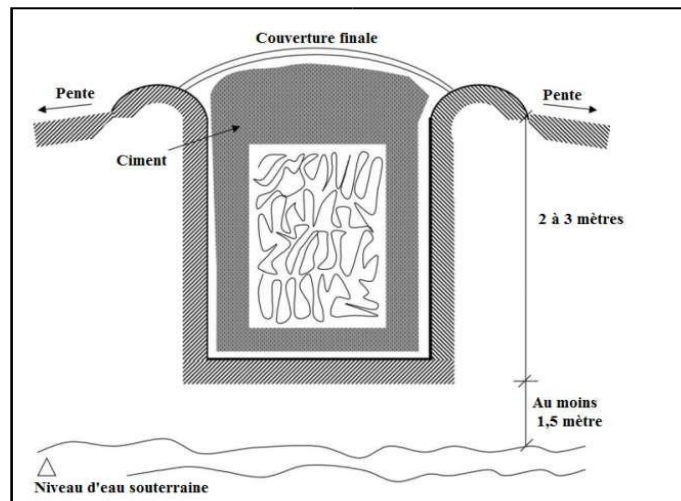


Figure 2 : Schéma de l'encapsulation du ciment dans une fosse spéciale (Diaz et al., 2005).

8. Législation sur les déchets hospitaliers

8.1. Accords internationaux

Les accords et conventions internationaux sont particulièrement pertinents pour la gestion des déchets des établissements de santé, la protection de l'environnement et le développement durable. Ils devraient être pris en compte dans la préparation de la politique et de la législation en matière de gestion des déchets (WHO, Regional Office for the Western Pacific, 2015).

8.2 Réglementation algérienne

En Algérie, la gestion des déchets spéciaux y compris les déchets hospitaliers, a toujours constitué, une priorité en matière d'environnement ; La loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, traite des aspects inhérents à la prise en charge des déchets spéciaux et la transposition des dispositions de la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination. Les textes d'application de cette loi relative aux déchets spéciaux sont :

- Décret exécutif n°03-478 du 9 décembre 2003: définissant les modalités de gestion des déchets d'activités de soins.

- Décret exécutif n°04-409 du décembre 2004: fixant les modalités de transport des déchets spéciaux dangereux.

- Décret présidentiel n°05-119 du 11 avril 2005 : relatif à la gestion des déchets radioactifs.

- Décret exécutif n° 06-104 du 28-02-2006 : fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux (art 01- art 05). Ce décret attribue un numéro de code à 3 chiffres à tous les déchets à savoir le premier chiffre pour la catégorie qui retrace le secteur d'activité, le deuxième chiffre pour la section qui retrace l'origine ou la nature du déchet et le troisième pour la rubrique qui retrace la désignation du déchet.

Ce décret fixe également les classes des déchets :

MA: pour ménagers et assimilés

I: pour inerte

S: pour spéciaux

SD: pour spéciaux dangereux

L'indication de la dangerosité de déchets spéciaux dangereux est aussi préciser dans ce décret.

L'arrêt interministériel du 10 juin 2012: fixant les modalités de traitement des déchets anatomiques.

9. Pollution des eaux par des colorants

9.1 Classification des colorants

Les colorants peuvent être classifiés selon plusieurs critères : la couleur, le nom commercial, le domaine d'application ou d'utilisation et la composition chimique, parmi ces critères deux d'entre eux sont usuels la classification selon tinctoriale c'est-à-dire en fonction des colorants et la classification selon la constitution chimique.

9.1.1 Classification chimique

Suivant ce critère, un colorant textile peut être classé selon son groupement chromophore qui lui confère la couleur ou selon son groupement auxochrome (groupement d'atomes ionisables pouvant changer la fréquence d'absorption d'un chromophore) qui permet sa fixation ou son intensification (Saidi, 2013 ; Bounouri,2010)

Tableau 2 : Principaux groupes chromophores et auxochromes (Saidi,2013)

Groupements chromophore		Groupements auxochrome	
Azo	-N=N-	Amine tertiaire	-NR _{1,2}
Azométhine	-CH=N-	Amine secondaire	-NHR
Azoxy	-N-N=O	Amine primaire	-NH ₂
Nitro	-NO ₂	Hydroxyl	-OH
Nitroso	-N=O	Metoxy	-OCH ₃
Carbonyl	C=O	Iode	-I
Thio	CS	Brome	-Br
Ethényl	C=C	Chlore	-Cl

- Colorants azoïques
- Colorants anthraquinoniques
- Colorants de triphénylméthane
- Colorants indigoides
- Colorants phtalocyanines

9.1.2 Classification tinctoriale

Si la classification chimique présente un intérêt pour le fabricant de matières colorantes, le teinturier préfère le classement par domaine d'applications. La structure chimique du matériau à colorer détermine le procédé et le colorant adéquat en vue de le teindre. Les techniques de teinture peuvent varier d'une structure chimique de la fibre à colorer à une autre. Les classes les plus importantes suivant le domaine d'application sont citées ci-dessous.

- Les colorants directs
- Les colorants acides (anioniques)
- Les colorants basiques (cationiques)
- Les colorants de cuve et leurs leuco-dérivés
- Les colorants au soufre
- Les colorants mordants
- Les colorants métallifères
- Les colorants réactifs
- Colorants azoïques insolubles
- Les colorants dispersés
- Pigments

9.2 Toxicité des colorants

La présence des colorants dans l'eau peut causer de nombreux problèmes de santé pour l'homme (irritation sévère des yeux ; nausées ; vomissements ; diarrhée ; confusions mentales ; cancer etc...) et nuire à l'environnement (aquatique) (Saidi, 2013 ; Bounouri, 2010)

9.3 Impacts sur l'environnement et la santé

Les difficultés liées à l'écoulement des colorants ne se limitent pas aux textiles eux-mêmes. En effet, certains métaux, comme le fer, le zinc, le manganèse, le cuivre, le chrome et le cobalt utilisés dans les catalyseurs ou comme catalyseurs et certains dérivés organochlorés sont nocifs pour l'environnement lorsqu'ils dépassent une certaine concentration. A l'inverse, les effluents colorés de l'industrie textile rejetés dans les rivières et les océans nuisent à la vie aquatique (Saidi,2013 ; Bounouri,2010), par exemple en bloquant le passage de la lumière solaire pour produire la photosynthèse. Quant à la santé humaine les colorants peuvent s'avérer :

- Mutagènes ;
- Génotoxiques ;
- Cancérigènes ;
- Agit sur le système nerveux central ;
- Perturbant (augmentation) de la perméabilité intestinale

10. Méthodes de dégradation des colorants dans les eaux usées

Les eaux usagées contaminées par des colorants doivent être traitées car leur présence dans la nature peut causer des dégâts incontestables, et pour ce faire il existe de nombreuses méthodes de dépollution on cite les techniques biologiques et physico-chimiques (Saidi,2013)

10.1 Méthodes biologiques

Ces méthodes sont très respectueuses de l'environnement, elles reproduisent artificiellement ou non les phénomènes naturels d'autoépuration de la nature. Facile à mettre en œuvre elles font appel généralement aux procédés à culture libre comme les boues activées et le lagunage, et d'autre part on distingue deux procédés à culture fixée : les lits bactériens et les biofiltres. Ces méthodes consistent à décomposer des polluants organiques dans l'eau par des microorganismes (Boeglin,1998). On trouve deux types de traitement :

➤ **Traitement aérobie :**

En présence d'air ou d'oxygène dissout dans les eaux usées, les bactéries dégradent les polluants organiques. La technique est efficace pour le déplacement DBO-5, DCO et les produits organiques suspendus, produits organiques volatils, nitrates, phosphates, etc.

➤ **Traitement anaérobie :**

À l'inverse de la biodégradation aérobie, la digestion anaérobie des composés organiques s'effectue en l'absence d'oxygène et forme du dioxyde de carbone, du méthane, de l'eau, de l'azote, du soufre.

L'inconvénient c'est lorsque le volume à traiter est grand le recyclage devient essentiel. Et par ailleurs, la majeure partie des effluents sont récalcitrants comme les colorants, les antibiotiques, les pesticides, les insecticides, ceci rend le procédé irréalisable. Il faut donc le coupler avec une autre technique qui rend la pollution biodégradable.

10.2 Méthodes physiques

Dans les procédés physiques il y a l'adsorption (sur charbon actif, argiles, zéolithes etc...), la floculation, l'extraction, la décantation etc... ces techniques ne dégradent pas les effluents, elles les transferts d'une phase à une autre pour qu'ils soient mieux stockés et gérés, l'ennui c'est que ces méthodes peuvent créer une autre forme de pollution

De plus, ces techniques, non destructives, nécessitent des opérations postérieures onéreuses de régénération et de post traitement des déchets solides. **(Bounouri, 2010 ; Ruey-Shin, et al., 2010).**

10.2.1 Filtration sur membrane

Dans ce procédé, les polluants sont retenus par une membrane semi perméable dont le diamètre des pores est inférieur à celui des molécules à éliminer. C'est une technique qui est largement utilisée dans le dessalement de l'eau de mer. Selon la qualité de l'eau désirée, on distingue la microfiltration, l'ultrafiltration ou la nanofiltration. La nanofiltration 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, l'ultrafiltration ne s'applique qu'à la réduction de la demande chimique en oxygène (DCO) et de solide en suspension **(Boeglin, 1998).**

10.2.2 Adsorption

L'adsorption est un phénomène physique ou chimique qui a lieu à l'interface solide/soluté où des molécules à traiter sont piégées à la surface de l'adsorbant. Ce type de traitement est favorisé lorsque l'effluent à traiter est de type macromoléculaire et l'adsorbant est sous forme de fines particules. Il existe cependant deux types d'adsorption :

a. La chimisorption

Cette technique met en jeu des liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbant et l'adsorbat. L'adsorption chimique est généralement une méthode irréversible. La chaleur d'adsorption est relativement élevée, elle est comprise entre 20-200 kcal/mol (Fezzoua et Lalaoui,2015).

b. La physisorption

L'adsorption physique met en jeu des interactions faibles telles que les forces d'attraction de van der Waals et les forces dues aux interactions électrostatiques de polarisation. L'énergie des liaisons créées est comprise entre 5 – 40 kJ/mol. En revanche cette adsorption est réversible et le phénomène inverse qui est la désorption peut être total (Fezzoua et Lalaoui, 2015) .

c. Mécanisme d'adsorption physique

Le processus d'adsorption est l'une des étapes de transfert de matière qui s'effectue entre le fluide et l'adsorbant. Il se produit principalement en plusieurs étapes (Fezzoua et Lalaoui,2015) :

- La diffusion de l'adsorbat de la phase fluide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant ;
- Diffusion extra granulaire de la matière (le transfert du soluté à travers le film fluide vers la surface des grains) ;
- Transfert intra granulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des graines vers les sites actifs) ;
- Réaction d'adsorption au contact des sites actifs. Une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile.

10.3 Méthodes chimiques

Ces traitements peuvent être classés selon deux catégories :

- a) Les méthodes de récupération qui consistent à précipiter, complexer ou coaguler.
- b) Les méthodes d'oxydation classique.

10.3.1 Méthodes de récupération

➤ Clarification

La clarification par coagulation-floculation-décantation est un procédé très utilisé. Il permet l'élimination des matières en suspension. Les matières colloïdales sont coagulées par un apport en sels minéraux. Il y a formation de floes qui entraînent les particules coagulées. Le mode d'action des coagulants a fait l'objet d'un grand nombre de recherches destinées à améliorer le rendement d'élimination des composés organiques (**Demirbas,2008**).

➤ Précipitation

Par ajout d'un agent chimique permettant de rendre insoluble l'espèce chimique à traiter que l'on peut ensuite récupérer par filtration. Par exemple, le phosphore difficilement dégradable par voie biologique, est précipité sous forme de phosphate (PO_4^{3-}) à l'aide de sels de fer(III) ou d'aluminium. Il peut aussi être adsorbé par les hydroxydes d'aluminium (**Haddou,2010**).

10.3.2 Méthodes d'oxydations classiques

La chloration et l'ozonation constituent les deux voies majeures d'oxydation classique. Elles sont surtout appliquées à la désinfection, étape commune à tous les traitements de l'eau. Le chlore et l'ozone agissent sur les métaux, les matières organiques et inactivent les bactéries. (**Demirbas,2008**).

➤ Chloration

La chloration constitue l'unique procédé d'oxydation et de désinfection sous forme d'hypochlorite de sodium (eau de javel) ou plus rarement de chlore gazeux.

Bien que la réaction chimique du chlore avec les matières organiques présentes dans l'eau conduit à la formation de sous-produits organohalogénés potentiellement toxiques, la chloration demeure le procédé d'oxydation et de désinfection préféré à cause de sa simplicité, de son faible coût et de son efficacité (**Demirbas,2008**).

➤ Ozonation

Dans l'ozonation, le principal agent oxydant utilisé en traitement des eaux est l'ozone, qui est produit dans des générateurs d'ozone par le biais de décharges électriques dans de l'air purifié et séché ou directement dans de l'oxygène industriel. Le pouvoir oxydant de l'ozone à température et pression ambiantes et sa faculté de casser les plus grosses molécules organiques, est un préalable indispensable à un bon traitement chimique. Elle permet donc de rendre biodégradables des molécules organiques en les coupant en petites parties ; elle oxyde les micropolluants organiques (en particulier les pesticides) et son

pouvoir oxydant lui permet de détruire les bactéries et les virus. Après le traitement par l'ozone, l'eau acquiert des qualités remarquables (Demirbas,2008).

11. Procédés d'oxydations avancées (POA)

Les techniques d'oxydation avancée (TOA) sont des procédés de traitement d'eau, elles appartiennent à la dernière génération de techniques mises au point dans ce domaine. Elles ont pour but la minéralisation totale de polluants en CO_2 , H_2O et composés inorganiques. Ce sont des méthodes d'oxydation physico-chimique qui permettent la destruction des polluants cibles et non la séparation ou le changement de phase comme les procédés de séparation ou de transfert de matière. De plus, elles fonctionnent à température et pression ambiante. Plusieurs études rapportent que les composés non biodégradables sont souvent chimiquement très stables et difficiles à minéraliser de manière complète. C'est dans ce type de cas qu'il convient d'utiliser des techniques plus performantes que les procédés de purification classiques.

Toutes les techniques d'oxydation avancée sont fondées sur le même principe de base : générer des espèces radicalaires très oxydantes, comme les radicaux hydroxyles OH^\bullet , pour dégrader les polluants organiques. De par leur très forte réactivité, les radicaux hydroxyles sont des oxydants peu sélectifs, qui sont capable de dégrader toutes sortes de polluants (Ratnaweena,*et al.*, 1992).

11.1 Procédés d'ozonation

- Ozonation(O_3)
- Peroxonation ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$)

11.2 Procédé photochimique homogène UV

Ce sont des procédés qui permettent la production continue et efficace de radicaux hydroxyle généralement par la photolyse d'un solvant (H_2O) et/ou d'un additif (H_2O_2 , O_3).

- Photolyse de l'ozone (O_3 /UV)
- Photolyse de H_2O_2 (H_2O_2 /UV)
- Photo-peroxonation ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ /UV)

11.3 Photocatalyse homogène

- ❖ Procédés photo- Fenton (système $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ /UV):
- ❖ Procédé Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$)
- ❖ Procédé Électron-Fenton

11.4 La photocatalyse hétérogène

De nos jours, le terme « photocatalyse » se réfère plus spécifiquement à la « photocatalyse hétérogène » dans laquelle le photocatalyseur est un semi-conducteur (le plus souvent utilisé est le dioxyde de titane TiO_2 ou bien l'oxyde de zinc ZnO), et non une molécule ou un complexe métallique de transition. La photocatalyse hétérogène permet la dégradation et dans le cas idéal la minéralisation en formant de l'eau (H_2O) et du dioxyde de carbone (CO_2) (Simon *et al.*, 2008).

La photocatalyse repose sur l'absorption, par un photocatalyseur généralement semiconducteur (SC), d'une radiation lumineuse d'énergie supérieure ou égale à l'énergie (E_g) de sa bande interdite (différence d'énergie entre la bande de valence (BV) ou dernière bande totalement ou partiellement occupée par des électrons dans la théorie des bandes et la bande de conduction (BC) ou première bande non occupée par des électrons). Cette absorption d'énergie entraîne le passage d'électrons de la bande de valence dans la bande de conduction (fig.3) créant des lacunes électroniques, communément appelées « trous » (h^+) dans la bande de valence. Les paires électrons-trous (e^-/h^+) ainsi générées donnent au solide ses propriétés oxydo-réductrices. Ces paires (e^-/h^+) peuvent se recombiner, soit directement, soit indirectement (*via* les défauts de surface) par des processus radiatifs ou non, sans donner lieu à une réaction chimique (**recombinaison de charges**). En revanche, si les charges photogénérées migrent en surface et rencontrent un accepteur (A) et un donneur d'électron (D) adsorbés à la surface, un transfert de charge se produit :

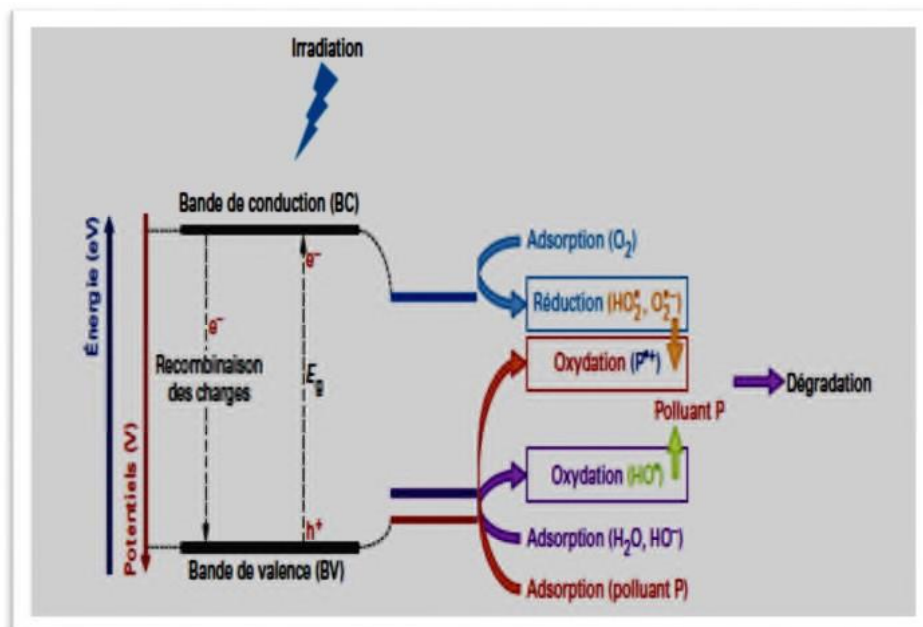


Figure 3 : Principe de la photocatalyse (Simon,et al.2008).

a. Principe de la photocatalyse

Le principe de la photocatalyse repose sur 04 étapes consécutives, prenons l'exemple de la photocatalyse hétérogène UV/TiO₂ (Huchon, 2006).

Etape 1 Production de paires électron/trou

Elle consiste à produire les paires d'e⁻/trou car le TiO₂ est un semi-conducteur ayant une structure électronique à bande interdite. Le processus photocatalytique repose sur l'excitation du TiO₂ par des photons de toutes longueurs d'onde de la région des UV ($\lambda < 380$ nm).

Ainsi, s'il est soumis à un rayonnement de photons d'énergie au moins égale à celle de la bande interdite, un électron du semi-conducteur peut passer de la bande de valence (BV) à une orbitale vacante de la bande de conduction (BC). Il y a alors création d'un site d'oxydation (trou) au niveau de la bande de valence, et d'un site de réduction (un électron) dans la bande de conduction (Huchon,2006).

Etape 2 Séparation des électrons et trous

La durée de vie des paires (e⁻/h⁺) est de quelques nanosecondes et leur recombinaison s'accompagne d'un dégagement de chaleur en l'absence d'accepteur et de donneur d'électrons appropriés, une réaction de recombinaison trou/électron très rapide a lieu. Pour que l'oxydation photocatalytique soit efficace, il faut bien sûr éviter cette recombinaison. Ceci est rendu possible par le transfert et le piégeage des charges libres vers des niveaux d'énergie intermédiaires grâce à des irrégularités de structure ou via des molécules adsorbées. Ainsi, le piégeage des électrons peut intervenir au niveau de sites défectueux du catalyseur (Ti³⁺ au lieu de Ti⁴⁺) ou des molécules d'oxygène adsorbées. Dans ce dernier cas, les molécules d'oxygène forment des espèces O₂⁻ très réactives. Le schéma de la (fig.4) résume les différentes réactions au niveau du catalyseur (TiO₂) tout en expliquant la dégradation des polluants (Huchon,2006).

Etape 3 Réactions d'oxydations et de réductions

Les charges créées migrent à la surface du catalyseur et réagissent avec des substances adsorbées susceptibles d'accepter ou de donner des électrons. Ce sont ces réactions d'oxydation ou de réduction qui sont intéressantes pour la dépollution.

En présence de protons adsorbés, le radical superoxyde peut mener à la formation d'un radical hydroperoxyde puis de peroxyde d'hydrogène décomposé à la surface du catalyseur en radical hydroxyle sous l'action des radiations, ou par réaction avec Ti³⁺ ou O²⁻.

D'autre part, les trous h^+ réagissent avec certaines espèces susceptibles de donner des électrons. Ainsi, ils forment des radicaux hydroxyles et R^\bullet en oxydant ces donneurs d'électrons tels que l'eau, les anions OH^- et les produits organiques R adsorbés à la surface du semi-conducteur.

Etape 4 dégradation des molécules organiques

Les radicaux générés (OH^\bullet , O_2^\bullet , R^\bullet) sont très oxydants et peuvent décomposer des composés (polluants réfractaires, pesticides, herbicides, colorants, etc.) adsorbés sur la surface du semiconducteur, jusqu'à les minéraliser dans cas parfait. Les produits finaux de ce mécanisme sont principalement de l'eau et du dioxyde de carbone.

Comme signalé plus haut, la réaction de recombinaison trou/électron est un facteur qui limite l'efficacité de cette méthode. C'est pourquoi de nombreuses recherches sont effectuées pour augmenter l'efficacité photocatalytique. Dans cette optique, on peut envisager le dopage du semi-conducteur par d'autres métaux (pour élargir la gamme d'adsorption vers le visible) ou encore l'addition au milieu réactionnel d'accepteurs d'électrons (ozone, peroxyde d'hydrogène, Fe^{3+} , ...) limitant la recombinaison des charges et renforçant considérablement la formation de radicaux OH^\bullet (Huchon,2006).

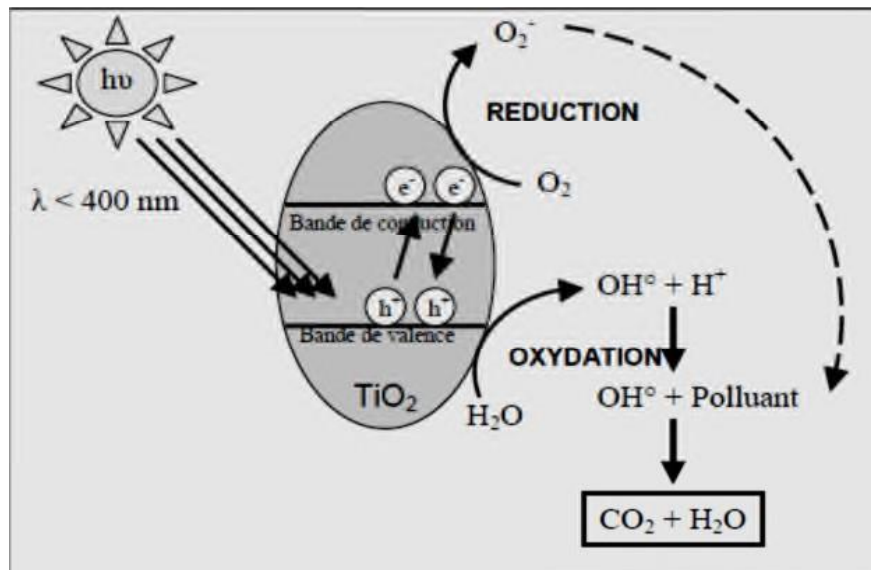


Figure 4 : Dégradation des polluants sur la surface du TiO_2 (Huchon,2006)

b .Domaines d'applications de photocatalyse

La photocatalyse trouve particulièrement ses lettres de noblesse dans la dépollution de notre environnement. La photocatalyse s'introduit au coeur de multiples applications (Fig.5) (Chergui,2011)

- **Dépollution de l'eau** : purification et potabilisation de l'eau, traitement des effluents industriels afin de limiter les rejets chargés en composés toxiques ;
- **Dépollution de l'air** : destruction des bactéries à l'origine de nuisances olfactives ou présentes en milieu hospitalier, réduction de la pollution de l'air d'un environnement urbain ;
- **Surfaces dites autonettoyantes** : augmentation de la durée entre deux nettoyages d'une surface.

Les applications photocatalytiques utilisent deux groupes de catalyseurs :

_ Les catalyseurs homogènes: Ceux qui constituent avec l'eau une seule phase (ex : Fe^{3+} , Fe^{3++} , H_2O_2 , ...)

_ Les catalyseurs hétérogènes: Ceux qui forment avec l'eau deux phases (ex : TiO_2 , ZnO , ...etc).

- **Traitement des effluents pharmaceutiques par le procédé photocatalyse hétérogène TiO_2/UV**

La photocatalyse hétérogène est basée sur le principe de la photo-excitation d'un semiconducteur (le dioxyde de titane « TiO_2 », l'oxyde de zinc « ZnO », « CdS », etc...) soumis au rayonnement UV artificiel ou solaire, permettant d'initier des réactions radicalaires. Les radicaux qui sont des espèces fortement oxydantes permettent la minéralisation d'un très grand nombre de polluants organiques (Chergui, 2011).

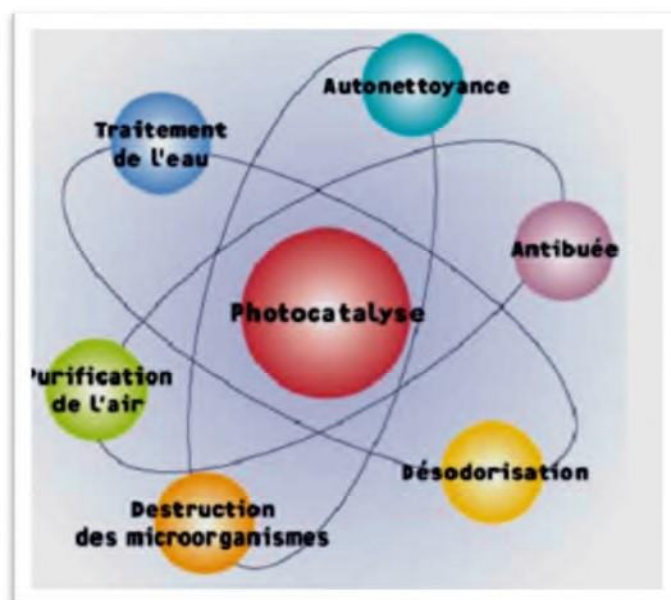


Figure 5 : Domaines d'applications de la photocatalyse.(Chergui,2011)

c . Facteurs influençant la photocatalyse

Il a été constaté par divers chercheurs que plusieurs facteurs à savoir le pH, la concentration initiale en colorant, la température, et la quantité de catalyseurs peuvent influencer l'efficacité de ce système.

On cite :

➤ Influence de la concentration initiale en colorant

Lorsque la concentration initiale du colorant est élevée le nombre de molécules adsorbées sur la surface du catalyseur augmente (**Huchon,2006**) . Pour de faibles concentrations initiales en colorant, l'expression de la vitesse de photo dégradation suit la loi cinétique de Langmuir-Hinshelwood (L-H). Les études cinétiques, ne peuvent pas permettre de déterminer si le processus se produit à la surface du catalyseur ou bien en solution. L'isotherme de (L-H) a été utilisée en premier dans la modélisation, il est généralement admis que la constante de vitesse et son ordre sont « relatifs ». Ces derniers servent à décrire la vitesse de dégradation d'un composé, mais ils n'ont pas vraiment de réalité physique.

Dans le traitement des données à partir du modèle de (L-H) il est admis que les réactions se produisent à la surface du catalyseur. Dans ces conditions on peut définir deux situations extrêmes pour les illustrer l'adsorption à la surface du catalyseur :

(a) Le polluant et l'eau sont en compétition pour l'occupation des sites actifs du catalyseur ;

(b) Le réactif et le solvant sont adsorbés à la surface du catalyseur sans compétition, sur les mêmes types de sites actifs.

➤ Influence de la turbidité

La turbidité, causée par la présence de particules et matières en suspension, est une mesure de l'aptitude de l'eau à disperser et absorber la lumière. Cela dépend de nombreux facteurs comme la taille, la quantité, la forme, l'indice de réfraction des particules et la longueur d'onde de la lumière irradiante. La présence de ces matières en suspension peut interférer avec l'intensité du rayonnement UV (**Huchon,2006**) .

L'insatisfaction des méthodes classiques d'épurations des eaux usagées ont poussées les chercheurs à trouver des alternatives menant ainsi à des solutions plus adéquates. La photocatalyse hétérogène est une méthode qui émerge depuis quelques années et elle est prisée pour ses nombreuses caractéristiques telles que le rendement élevé, la régénération facile du catalyseur et la non consommation d'énergie.

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Procédure expérimentale

Dans ce deuxième chapitre nous allons présenter le protocole expérimental suivi pour effectuer notre étude de dégradation des deux colorants ; bleu de méthyle BM et le vert de méthyle VM. Notons que la préparation de toutes les solutions chimiques ainsi que leurs photo dégradation sont effectuées au niveau de notre laboratoire pédagogique (Laboratoire d'Ecologie à l'université de M'sila). Le catalyseur utilisé pour la photo dégradation est une couche mince d'oxyde de zinc dopé par l'aluminium (ZnO :Al). Ce catalyseur est préparé au sein de Laboratoire Sciences et Informatique des Matériaux (MSIL Lab.) de l'université de Djelfa.

1.1 Matériel utilisé

- **Agitateur** : Pour la préparation des solutions à dégrader nous avons utilisé un agitateur magnétique de type IKA-RCT basic.



Figure 6 : Image photographique de l'agitateur magnétique

- La lampe d'irradiation : Pour la dégradation de nos solutions nous avons utilisé une lampe UV de puissance 6 Watt et d'une longueur d'onde de 254 nm (4.88 eV).

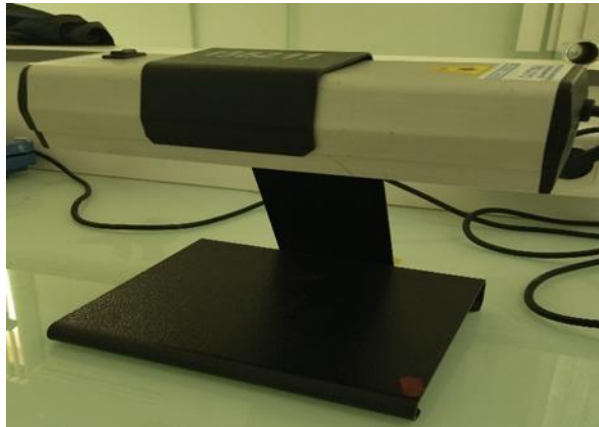


Figure 7 : Image photographique de la lampe UV utilisée pour la photodégradation.

- Le spectrophotomètre UV-Visible: Le suivi de la dégradation des solutions est basé sur la mesure de l'intensité d'absorption optique du pic intense. Pour mesurer l'absorption optique nous avons utilisé un spectrophotomètre UV-visible de type Multiskane Skyhigha (voir l'image de la **Figure 8**).



Figure 8 : Spectrophotomètre UV-Visible

1.2 Produits

• Bleu de méthylène (BM)

Le bleu de méthylène, connu aussi sous l'appellation chlorure de méthylthioninium, est un dérivé de la phénothiazine, composé chimique à l'origine de divers médicaments et colorants. Le bleu de méthylène est lui-même utilisé comme médicament et comme colorant son action réside essentiellement sur ses propriétés d'oxydoréduction. C'est une poudre soluble dans l'eau, à l'état pur, il est sous forme de poudre vert foncé ou brune. En solution, il peut être commercialisé sous sa forme oxydée (de couleur bleue) ou sous sa forme réduite (incolor). Utilisé comme colorant Ses domaines d'utilisation s'étendent à l'agroalimentaire afin de colorer certaines viandes, à l'hydrologie pour calculer le taux de dureté de l'eau, au domaine paysager en tant que marqueur des traitements afin d'améliorer les pratiques ou comme bleuissant des hortensias, au textile utilisé comme teinture, au BTP (test à la tâche sur béton) ou encore à la géologie pour déterminer l'argilosité des sols. Utilisé comme médicament, il est inscrit sur la liste modèle de l'OMS des médicaments essentiels comme antidote pour traiter la méthémoglobinémie après une intoxication (Benhamouda, 2017).

Dans ce qui suit nous présentons la structure, la formule moléculaire et quelques propriétés du bleu de méthylène (Figure 9).

Sa formule chimique : $C_6H_{18}ClN_3S$.

Sa masse molaire : (319.852 ± 0.022) g/mol.

Sa température de fusion: se décompose par chauffage au-delà de 190 °C.

Sa solubilité : 40 g/l à 20 °C.

Son absorption maximale $\lambda_{max} = 660$ nm.

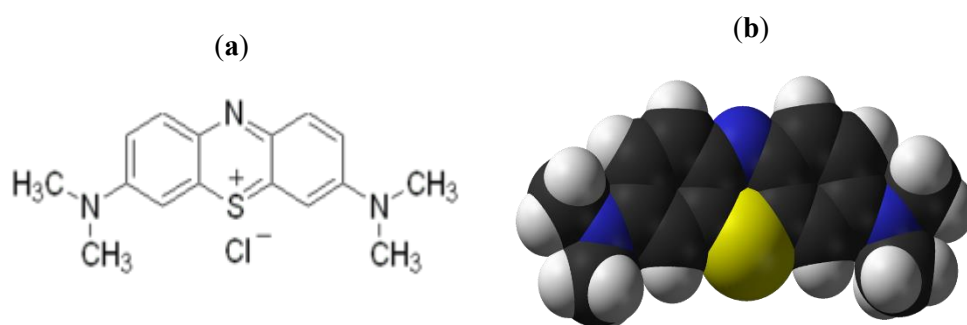


Figure 9 : (a) et (b) La structure moléculaire du bleu de méthylène BM.

- Vert de Méthylène (VM)

Le Vert de Méthylène connu aussi Chlorure de méthylthioninium est un colorant organique utilisé dans divers domaines tels que la biologie, la médecine et la chimie. Il est souvent utilisé comme colorant de tissus et comme indicateur coloré dans les expériences chimiques. C'est une substance bleue foncée.

La structure, la formule moléculaire et quelques propriétés du vert de méthylène (**figure 10**).

Sa formule chimique : $C_{26}H_{33}Cl_2N_3$.

Sa masse molaire : (458.47 ± 0.022) [g/mol](#).

Sa température de fusion: se décompose par chauffage au-delà de 225 °C.

Sa solubilité : 30 g/l à 20 °C.

Son absorption maximale $\lambda_{\max} = 626$ nm.

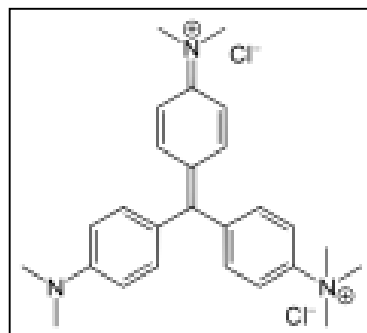


Figure 10 : La structure, la formule moléculaire et quelques propriétés du vert de méthylène

- L'oxyde de zinc (ZnO)

L'oxyde de zinc est un semi-conducteur dégénère de type n qui présent un ensemble de propriétés physiques susceptibles d'aboutir à de nombreuses applications dans le domaine de l'électronique, d photovoltaïque et de l'optoélectronique (Yuan-Chang, 2013) . le ZnO utilise dans de nombreux domaines ; dans les cellules solaires, dans les générateurs d'électricité et dans les vitrages intelligents et dans les couches de revêtement anti UV (Liu ,Chloé .2012) . il est piézoélectrique, très conducteur, bon absorbant, catalyseur, non toxique.

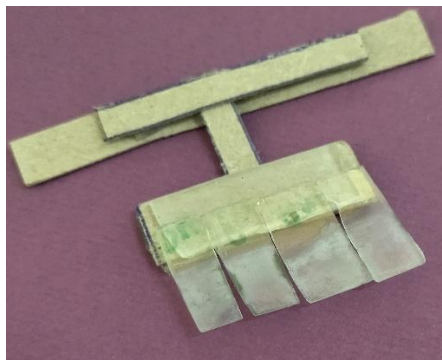


Figure 11 : les couches minces d'oxyde de zinc

1.3 Mode opératoire

On veut préparer 200 ml d'une solution de Bleu de Méthylène BM et 200 ml d'une deuxième solution de Vert de Méthylène VM à une concentration molaire $C=3\times 10^{-4}$ M. Pour cela on doit d'abord chercher la masse m du BM et de VM qu'il faut dissoudre dans l'eau distillée pour préparer ces deux solutions. La masse molaire de BM et VM sont respectivement égales à 319.85 g/mol et 458.47 g/mol.

a. La masse de BM : $m_{(BM)} = M.V.C = 319.85 \times 0.2 \times 0.0003 = 0.019191\text{g}$

b. La masse de VM : $m_{(VM)} = M.V.C = 458.47 \times 0.2 \times 0.0003 = 0.0275082\text{g}$

Les solutions mère du Bleu de Méthylène et de Vert de Méthylène de concentration initiale égale à 3×10^{-4} M ont été préparée en mettant la poudre ($m_{(BM)}=0.019191\text{g}$, $m_{(VM)}=0.0275082\text{g}$) dans 200 ml d'eau distillée. L'agitation mécanique a été faite pendant 15 min. La solution obtenue est de couleur bleu et homogène.

Les solutions standard pour l'établissement de la courbe d'étalonnage, ont été obtenues par des dilutions successives jusqu'aux concentrations désirées. Pour préparer ces solutions, nous prenons $V_0 = 5\text{ ml}$ de la solution mère (initiale) de concentration $C_0=3\times 10^{-4}$ M et nous ajoutons un volume $V_{ajouté}$ de l'eau distillée pour obtenir une solution fille à la concentration désirée C_f . Pour calculer le volume qu'on doit ajouter à la solution initiale, nous avons utilisé la loi de dilution suivante :

$$V_{ajouté} = V_0 - \frac{C_0 \times V_0}{C_f} \quad (2.1)$$

Les volumes calculés pour les différentes concentrations sont récapitulés dans le tableau ci-dessous (Tableau 3).

Tableau 3 : Le volume d'eau distillée ajouté à 5 ml de la solution initiale pour obtenir une solution avec une concentration C_f .

	Cf (M)	Vf (ml)	Vajouté (ml)
Solution S1	0.03×10^{-4}	500	495
Solution S2	0.06×10^{-4}	250	245
Solution S3	0.08×10^{-4}	187.5	182.5
Solution S4	0.1×10^{-4}	150	145
Solution S5	0.5×10^{-4}	30	25
Solution S6	1×10^{-4}	15	10

La méthode de détermination des courbes d'étalonnage de BM et VM, le calcul de la concentration des solutions après la dégradation ainsi que l'estimation de l'efficacité du catalyseur utilisé pour la photodégradation des colorants sont présentés en détail dans le chapitre III.

Chapitre III

Résultats et discussion

1. Préparation du catalyseur

Dans notre travail, le catalyseur utilisé pour la dégradation des colorants est une couche mince de ZnO (dopé par Al) déposée sur un substrat d'oxyde d'indium In_2O_3 dopé en étain (Sn) (ITO) par la méthode d'électrodéposition. Ce catalyseur est élaboré au sein de Laboratoire des Sciences et Informatique des Matériaux de l'Université de Ziane Achour-Djelfa, par Mlle F. Daoudi dans le cadre de son mémoire de Master (Daoudi,2016). Une image photographique de ZnO avant et après recuit est schématisée sur la Figure 12.

La solution de départ est obtenue par la dissolution du sulfate de zinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) comme matériau source de zinc dans l'eau distillée avec une concentration de 5×10^{-2} M. A cette solution nous avons ajouté une source d'aluminium qui est le chlorure d'aluminium ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), avec une concentration atomique de 1%.

La couche mince de ZnO a été déposée à une température de 65 °C, à une tension de dépôt de -7 V durant 45 min. Après le dépôt, l'échantillon a subi un recuit thermique sous atmosphère d'air à une température de 550 °C durant 60 min. Le film obtenu a été caractérisé par différentes techniques à savoir la diffraction des rayons X (DRX) et la spectroscopie UV-visible. Le diagramme DRX de cet échantillon est représenté sur la Figure 13.

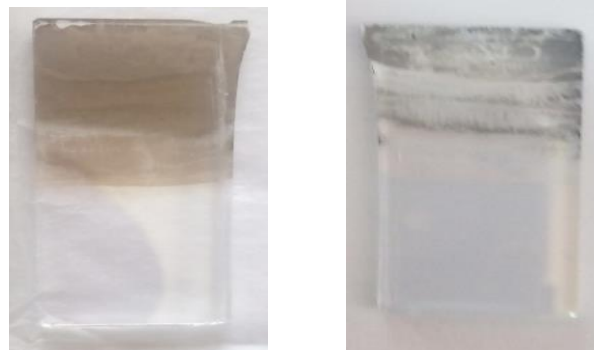


Figure 12 : Image photographique de l'échantillon verre+ITO+ ZnO (Al=1%)

(a) avant recuit, (b) après recuit (Daoudi,2016).

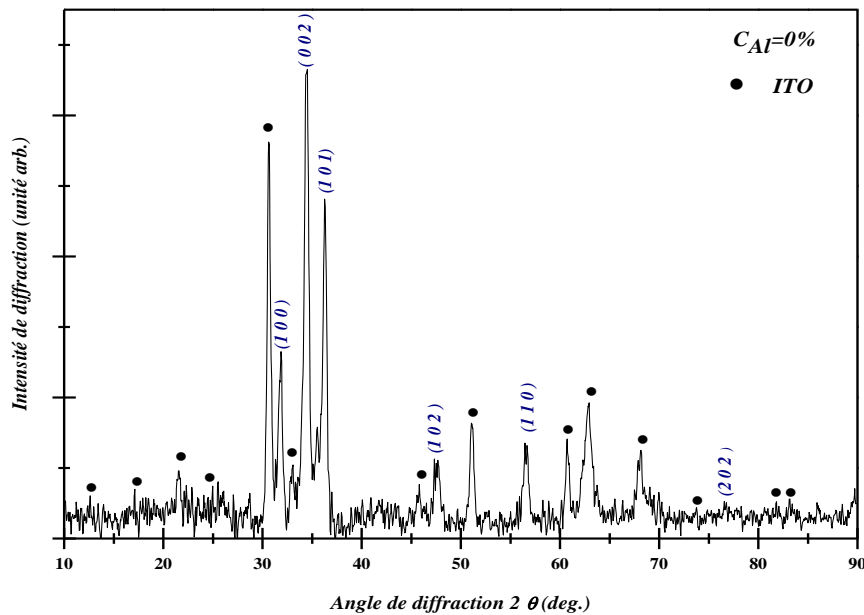


Figure 13 : spectre DRX de la couche ZnO dopée par Al à 1% (Daoudi,2016)

Ce spectre montre des pics situés à : $2\theta \approx 31.78^\circ$, 34.44° , 36.03° , 47.56° , 56.35° , 67.88° , 72.13° et 76.58° . Ces pics correspondent aux raies les plus intenses de la ZnO sous sa structure hexagonale, et qui correspondent respectivement aux plans réticulaires suivants : (100), (002), (101), (102), (110), (112), (004) et (202). Donc la diffraction des rayons X confirme la présence de la phase ZnO dans notre échantillon et l'UV confirme que ce semiconducteur a une énergie de gap $E_g = 3.41$ eV.

2. Détermination des courbes d'étalonnage :

La **figure 14** représente la variation de l'absorption optique (A) en fonction de la longueur d'onde d'irradiation (λ) pour différentes concentrations molaires du bleu de Méthyle (BM). La longueur d'onde d'irradiation varie de 400 à 900 nm ; c'est le domaine visible, et la concentration molaire de BM varie de 3×10^{-6} M à 1×10^{-4} M. Tous les spectres d'absorption optique présentent leur pic le plus intense d'absorption au voisinage de $\lambda = 660$ nm, c'est la raie d'absorption du BM. D'autre part L'intensité de ce pic augmente avec l'augmentation de la concentration molaire ; pour une

concentration molaire qui passe de 3×10^{-6} M à 1×10^{-4} M, nous constatons que l'absorption varie de 4 à 0.1 (voir le Tableau 4).

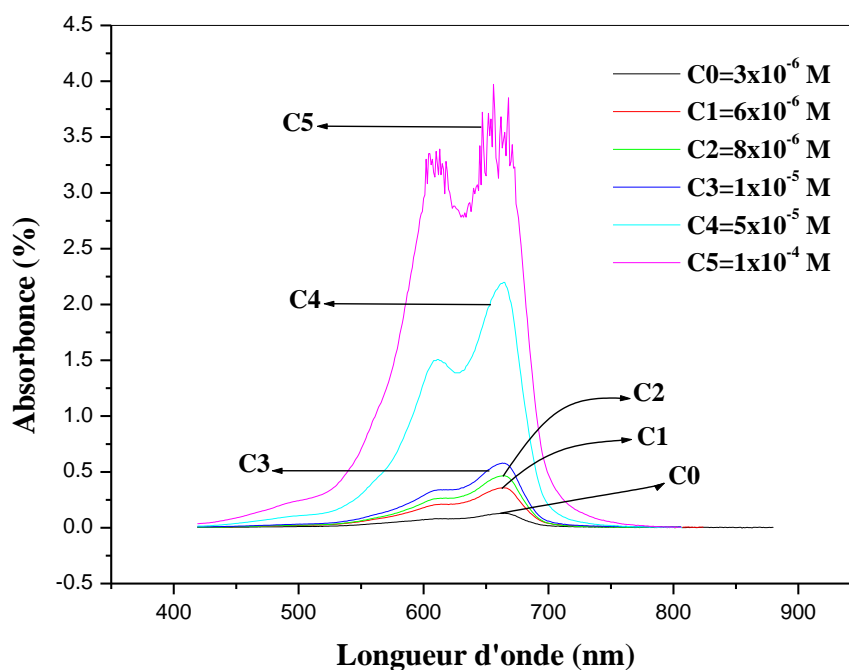


Figure 14 : Variation de l'absorbance optique A en fonction de la longueur d'onde pour différentes concentrations molaires du BM.

Sur la **figure 15** nous avons présenté l'évolution de l'absorption optique (A) en fonction de la longueur d'onde d'irradiation (λ) pour différentes concentrations molaires du vert de Méthyle (VM). La concentration molaire de VM varie de 3×10^{-6} M à 1×10^{-4} M. Le pic le plus intense de tous les spectres d'absorption optique se situe autour de $\lambda = 660$ nm, c'est la raie caractéristique d'absorption du VM. Nous remarquons également que l'intensité de ce pic augmente avec l'augmentation de la concentration molaire du VM; pour une concentration molaire qui passe de 3×10^{-6} M à 1×10^{-4} M, nous constatons que l'absorption diminue d'une valeur de 4 à une valeur de 0.2 (voir le Tableau 4).

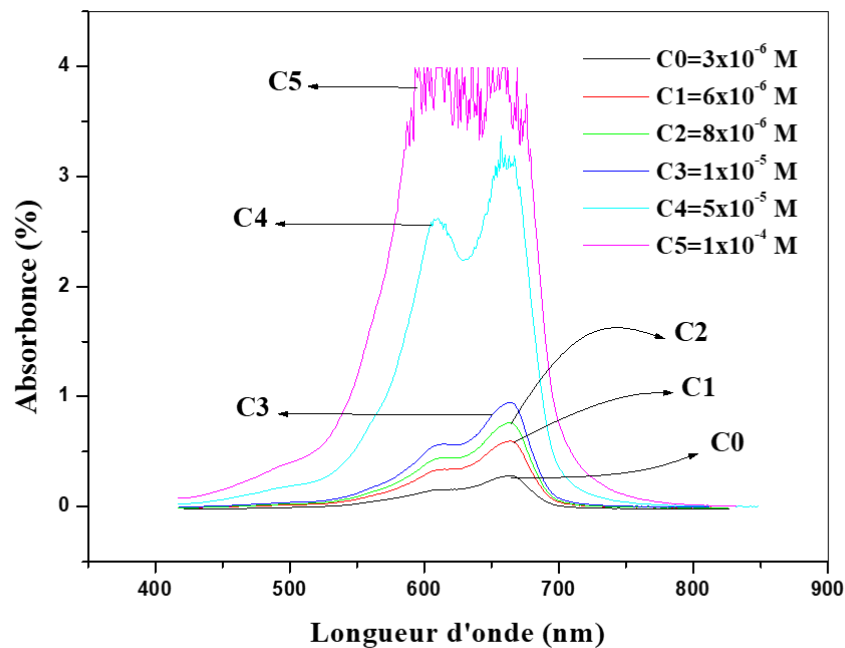


Figure 15 : Variation de l'absorbance optique A en fonction de la longueur d'onde pour différentes concentrations molaires du VM.

Tableau 4 : L'absorption optique du BM et VM pour différentes concentrations molaires

Concentration C (M)	A de BM	A de VM
3×10^{-6}	0.129	0.281
6×10^{-6}	0.358	0.597
8×10^{-6}	0.463	0.762
1×10^{-5}	0.576	0.948
5×10^{-5}	2.196	3.375
1×10^{-4}	3.96	3.991

3. Détermination des courbes d'étalonnage du BM et VM

La courbe d'étalonnage représente la variation de l'absorption optique A du BM ou VM en fonction de leur concentration molaire C (figure 16). Pour tracer ces courbes, nous avons déterminé à partir des figures 14 et 15 l'intensité du pic d'absorption pour chaque concentration molaire. Ces courbes sont établies afin de pouvoir déterminer les concentrations molaires des solutions des deux colorants (BM et VM) à partir de leurs absorptions optiques.

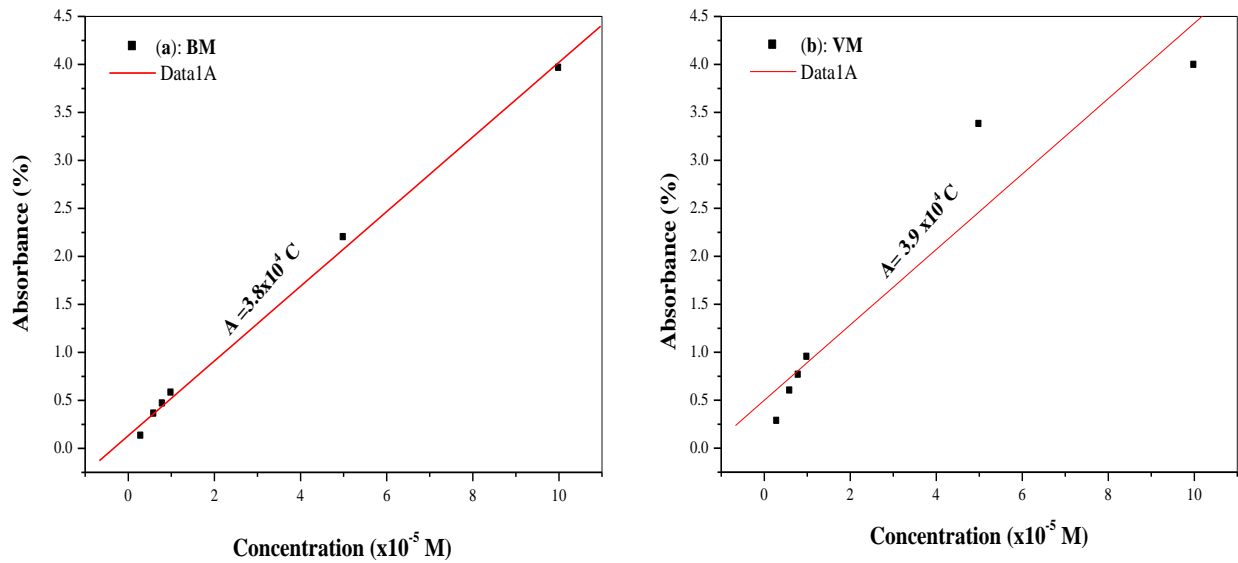


Figure 16 : Courbes d'étalonnage de (a) : BM et (b) : VM.

D'après la loi de Beer- Lambert-Bouguer donnée ci-dessous par l'Eq. (3.1) :

$$I = I_0 e^{-kC} \quad (3.1)$$

D'après cette formule, on déduit l'absorption comme suit :

$$A = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = kC \quad (3.2)$$

Avec I et I_0 sont respectivement l'intensité lumineuse transmise et incidente. k est une constante qui dépend de la molécule absorbante et de la distance parcourue par la lumière dans la solution. Cette dernière constante pour les molécules de BM et VM est extraire à partir des courbes d'étalonnage représentées sur la **Figure 16**.

Nous constatons que l'absorbance optique est une fonction croissante et varie linéairement avec la concentration molaire. En effectuant le fit linéaire; à l'aide du logiciel Origin, des courbes de la **Figure 16**, nous avons obtenu les deux formules théoriques suivantes :

a. Pour le BM : $A(\%) = 3.8 \times 10^4 C$, avec $R^2=0.998$ (3.3)

b. Pour le VM : $A(\%) = 3.9 \times 10^4 C$, avec $R^2=0.953$ (3.4)

Où C est la concentration molaire en mol/l.

4. Dégradation du BM et VM par une lumière UV

On verse 20 ml de la solution aqueuse de bleu de méthyle BM (vert de méthyle VM) de concentration molaire $C=1 \times 10^{-5} \text{ M}$ dans un bécher en verre dans lequel est placé notre catalyseur qui est une couche d'oxyde de zinc ZnO dopé par Al est déposée sur un substrat d'oxyde d'indium dopé par l'étain. L'ensemble solution-catalyseur (échantillon ZnO) est soumis à l'irradiation par une lumière UV de longueur d'onde égale à 360 nm (3.44 eV) durant des temps différents : 1h, 2h, 3h et 4h. Le schéma représentatif du dispositif de dégradations est représenté sur la **Figure 17**.

- 1 : Solution de BM (ou VM).
- 2 : Le substrat.
- 3 : Le catalyseur; couche de ZnO.
- 4 : Aiment d'agitation .
- 5 : La lampe UV
- 6 : Boitier noir

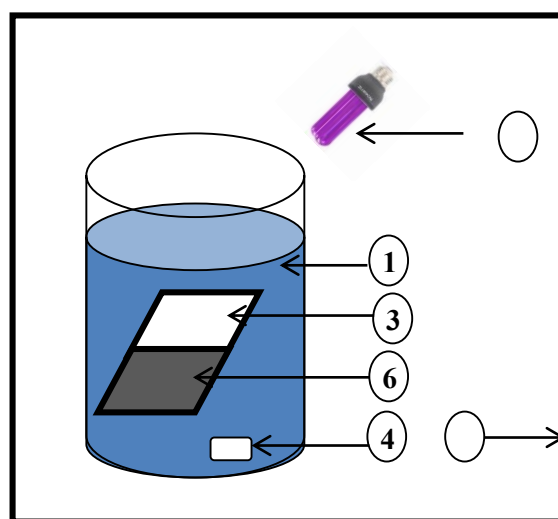


Figure 17 : Schéma du dispositif d'irradiation par la lumière UV de la couche ZnO et de la solution BM ou VM.

D'autre part et afin d'estimer l'efficacité de notre catalyseur à dégrader le BM et le VM sous l'irradiation solaire, on a exposé aussi nos deux solutions (BM et VM) avec le catalyseur aux rayons solaires pendant 4h, (journée ensoleillée du mois de Mai à M'sila, la période d'exposition de 10h00 à 14h00). Pendant toutes les durées d'irradiations, la solution est maintenue toujours sous agitation mécanique. Après l'étape d'irradiation, on récupère les solutions et on mesure à l'aide du spectrophotomètre UV-visible leurs absorptions optiques. Les spectres obtenus pour les deux différents colorants (BM et VM) sont respectivement reportés sur la **Figure 19** et la **Figure 20**.

5. Calcul de l'efficacité de dégradation du BM et VM

Les **Figures 18** et **19** présentent les spectres d'absorption optique respectivement des colorants BM et VM pour différents temps d'irradiation par une lampe UV et pour une irradiation par des rayons solaires (spectre (e)). D'après ces deux figures, nous notons que l'intensité du pic d'absorption du BM et VM diminue avec l'augmentation du temps d'exposition de la solution aux irradiations, ce qui

indique que notre catalyseur ZnO a dégradé les deux colorants. L'absorption optique des deux échantillons irradiés par les rayons solaire pendant 4h est la plus faible, elle est égale à 0.5 % et 0.1 respectivement pour le BM et le VM.

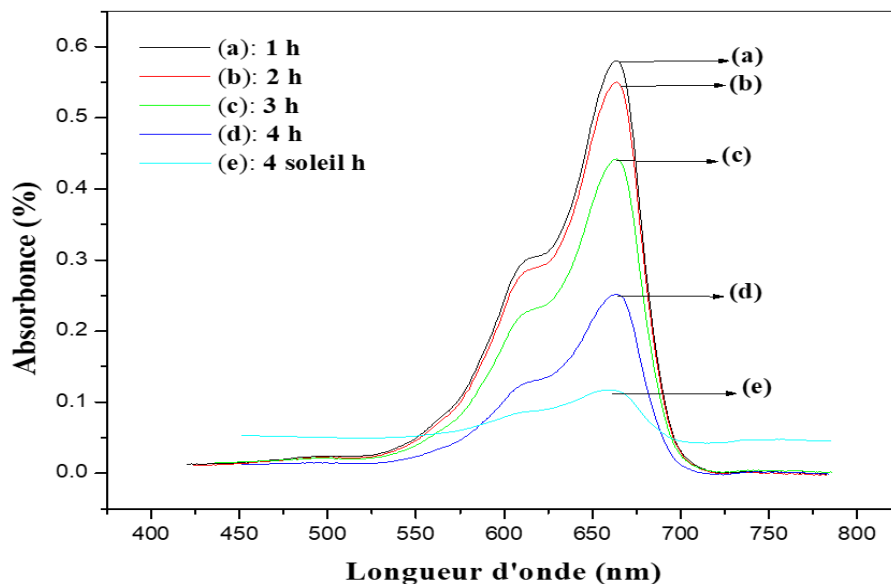


Figure 18 : Représentation graphique de l'absorption optique (A) en fonction de la longueur d'onde λ du BM irradié par une lampe UV en présence du catalyseur ZnO à différents temps (de 1h à 4h). Le spectre (e) : la solution est exposée avec le catalyseur ZnO au soleil durant 4h

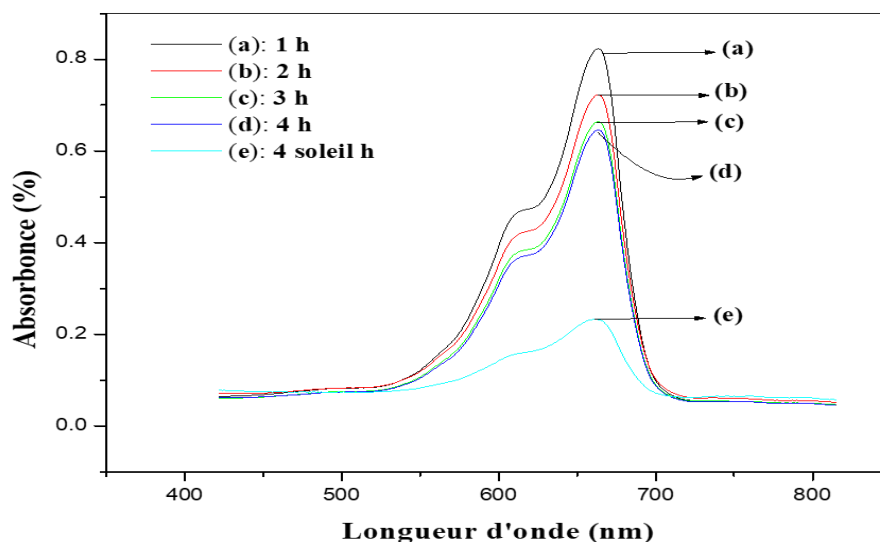


Figure 19 : Représentation graphique de l'absorption optique (A) en fonction de la longueur d'onde λ du VM irradié par une lampe UV en présence du catalyseur ZnO à différents temps. Le spectre (e) : la solution est exposée avec le catalyseur ZnO au soleil durant 4h

Pour une absorption optique A donnée et à partir des deux équations citées ci-dessus (Eqs. (3. 3) et (3. 4)), la concentration molaire C de la solution de BM et de VM est donnée par les formules suivantes :

a. Pour le BM : $C = \frac{A}{3.8 \times 10^4}$ (3.5)

b. Pour le VM : $C = \frac{A}{3.9 \times 10^4}$ (3.6)

Les évolutions des concentrations molaires des solutions de BM et VM en fonction du temps de dégradation et en présence du catalyseur ZnO sont représentées respectivement sur la **Figure 20** et la **Figure 21**. Pour les deux colorants, nous constatons que la concentration molaire diminue en fonction du temps d'irradiation, elle passe de 0.1×10^{-4} M à 0.05×10^{-4} M pour le BM et de 0.8×10^{-5} M à 0.6×10^{-5} M pour le VM. D'autre part, pour le même temps d'irradiation, nous remarquons aussi que la concentration du VM est inférieure à celle de BM.

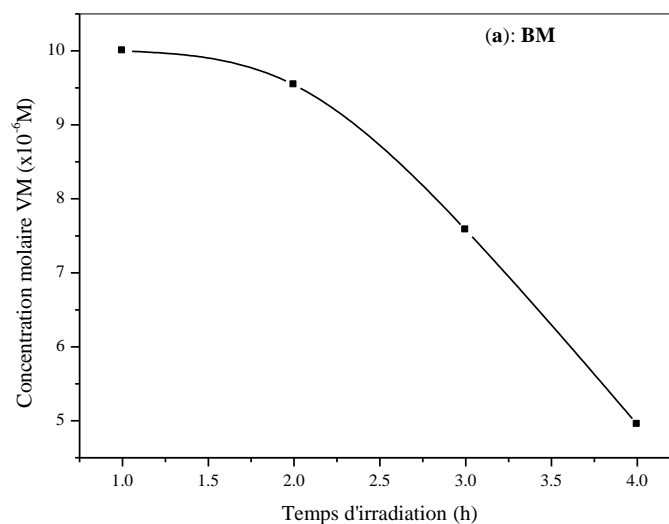


Figure 20 : Variation de la concentration des solutions de BM en fonction du temps d'exposition aux rayons UV.

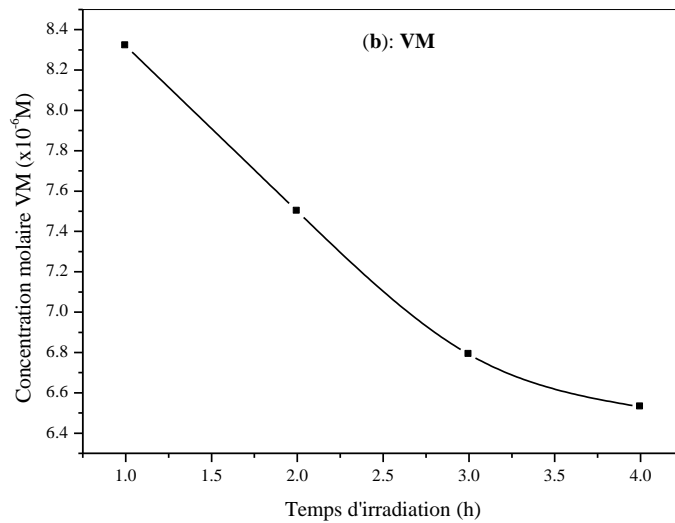


Figure 21 : Variation de la concentration des solutions de VM en fonction du temps d'exposition aux rayons UV.

Pour calculer l'efficacité de dégradation E_{ff} des deux colorants nous avons utilisé la formule suivante (Eq. (3.7)) :

$$E_{ff} = \frac{c_0 - c}{c_0} \quad (3.7)$$

Avec C_0 et C sont respectivement la concentration de la solution de BM et VM avant et après l'irradiation.

Nous avons utilisé cette dernière équation (Eq. (3.7)) pour calculer l'efficacité de notre catalyseur, les résultats de calcul pour les deux colorants BM et VM sont représentés sur la **Figure 22**.

D'après ces deux courbes, nous remarquons que l'efficacité du catalyseur de ZnO augmente avec l'augmentation du temps d'exposition des échantillons aux irradiations. Pour un temps qui varie de 1h à 4h, l'efficacité E_{ff} varie de 0 % à 50 % pour le BM et de 16.8% à 34 % pour le VM.

La dégradation des molécules de BM et VM sous l'effet de la lumière du soleil est plus important que celle de la lumière de la lampe UV. Après 4h d'exposition au soleil, la concentration de BM et VM dans les solutions deviennent respectivement 2.77×10^{-6} M et 2.27×10^{-6} et l'efficacité du catalyseur dans ce cas est supérieure à 72 % et 77%.

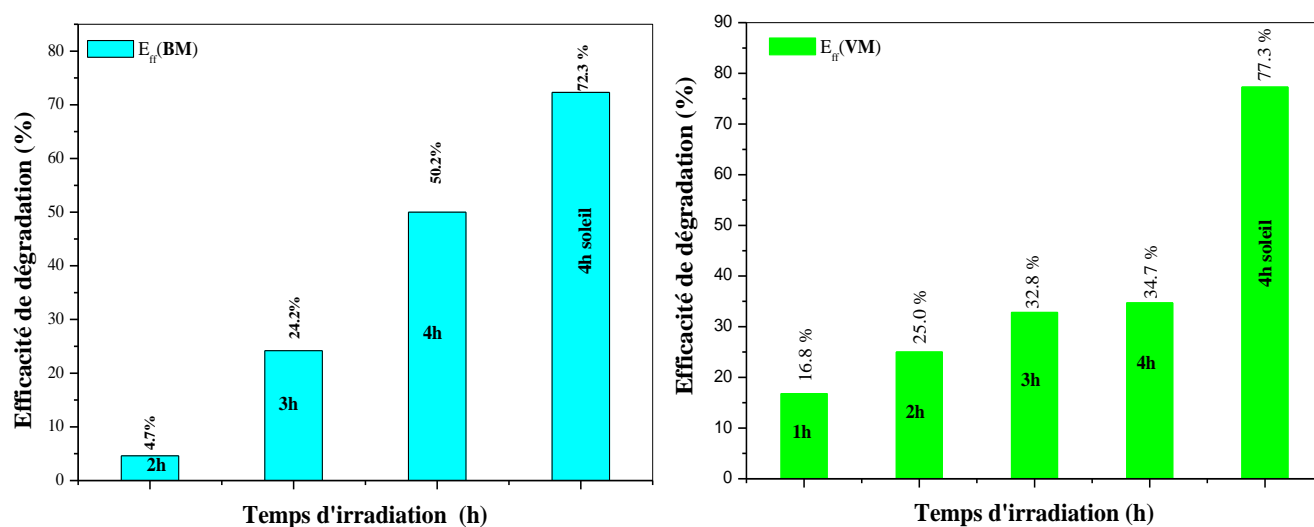


Figure 22 : Efficacité de dégradation du BM et VM par un catalyseur de ZnO en couche mince.

6. Comparaison de photodégradation de BM et VM

Sur la **Figure 23** nous avons représenté la variation de l'efficacité de dégradation en fonction du temps d'irradiation pour les deux colorants BM et VM.

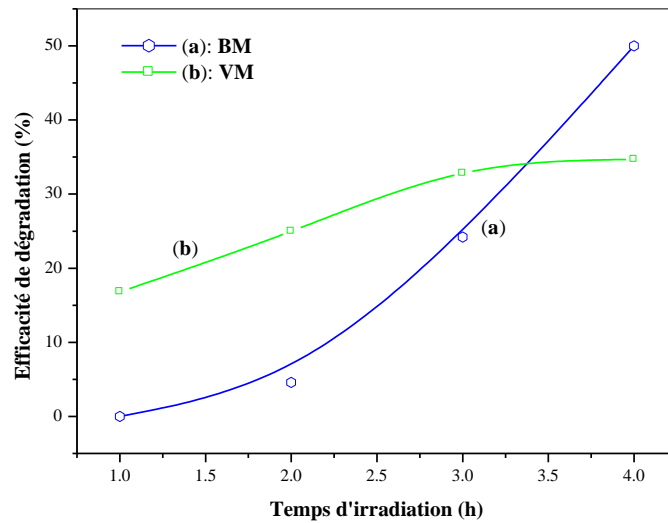


Figure 23 : Comparaison de l'efficacité de dégradation du BM et VM par le catalyseur ZnO

L'efficacité de dégradation est une fonction croissante du temps d'expositions, elle est plus rapide pour le BM. Pour des temps inférieurs ou égaux à 3h l'efficacité du catalyseur ZnO à dégrader le VM est supérieure à celle de BM, mais c'est l'inverse pour des temps supérieurs à 3h.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Le but de ce travail est d'étudier l'élimination des colorants bleu de méthylène et vert de méthylène à l'aide d'un photocatalyseur à base d'oxyde de zinc. Pour ce faire, nous avons rassemblé les éléments bibliographiques nécessaires à la compréhension des processus photo catalytiques. Ensuite, nous avons mené une étude expérimentale incluant l'efficacité du catalyseur avec des colorants et l'effet de différentes concentrations du processus phot catalytique. Les résultats obtenus au cours de notre étude ont pu éclairer les considérations suivantes :

- La longueur d'onde d'irradiation varie de 400 à 900 nm ; c'est le domaine visible, et la concentration molaire de bleu de méthylène varie de 3×10^{-6} M à 1×10^{-4} M. Tous les spectres d'absorption optique présentent leur pic le plus intense d'absorption au voisinage de $\lambda=660$ nm, c'est la raie d'absorption du BM. D'autre part l'intensité de ce pic décroît avec l'augmentation de la concentration molaire ; pour une concentration molaire qui passe de 3×10^{-6} M à 1×10^{-4} M
- La concentration molaire de vert de méthylène varie de 3×10^{-6} M à 1×10^{-4} M. Le pic le plus intense de tous les spectres d'absorption optique se situe autour de $\lambda=660$ nm, c'est la raie caractéristique d'absorption du vert de méthylène. Nous remarquons également que l'intensité de ce pic décroît avec l'augmentation de la concentration molaire du vert de méthylène ; pour une concentration molaire qui passe de 3×10^{-6} M à 1×10^{-4} M
- Nous notons que l'intensité du pic d'absorption du Bleu de méthylène et le vert de méthylène diminue avec l'augmentation du temps d'exposition de la solution aux irradiations, ce qui indique que notre catalyseur ZnO a dégradé les deux colorants. L'absorption optique des deux échantillons irradiés par les rayons solaires pendant 4h est la plus faible, elle est égale à 0.5 % et 0.1 respectivement pour le bleu de méthylène et le vert de méthylène.
- Pour les deux colorants, nous constatons que la concentration molaire diminue en fonction du temps d'irradiation, elle passe de 0.1×10^{-4} M à 0.05×10^{-4} M pour le bleu de méthylène et de 0.8×10^{-5} M à 0.6×10^{-5} M pour le vert de méthylène. D'autre part, pour le même temps d'irradiation, nous remarquons aussi que la concentration du vert de méthylène est inférieure à celle de bleu de méthylène

Conclusion

D'après ces deux courbes, nous remarquons que l'efficacité du catalyseur de ZnO augmente avec l'augmentation du temps d'exposition des échantillons aux irradiations. Pour un temps qui varie de 1h à 4h, l'efficacité E_{ff} varie de 0 % à 50 % pour le bleu de méthylène et de 16.8% à 34 % pour le vert de méthylène.

- La dégradation des molécules de bleu de méthylène et vert de méthylène sous l'effet de la lumière du soleil est plus important que celle de la lumière de la lampe UV. Après 4h d'exposition au soleil, la concentration de bleu de méthylène et vert de méthylène dans les solutions deviennent respectivement 2.77×10^{-6} M et 2.27×10^{-6} et l'efficacité du catalyseur dans ce cas est supérieure à 72 % et 77%.
- L'efficacité de dégradation est une fonction croissante du temps d'expositions, elle est plus rapide pour le bleu de méthylène. Pour des temps inférieurs ou égaux à 3h l'efficacité du catalyseur ZnO à dégrader le vert de méthylène est supérieure à celle de bleu de méthylène, mais c'est l'inverse pour des temps supérieurs à 3h.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abd-el-Malek-Boudiaf, 2015. Directives nationales relatives à l'hygiène de l'environnement dans les établissements de santé publics-privés. P223.
- Alagöz, A.Z., Kocasoy, G., 2008. Determination of the best appropriate management methods for the health-care wastes in Istanbul. *Waste Manag* 28, 1227–1235. doi:10.1016/j.wasman.2007.05.018
- Alessandri-J-P, 2004 : Gestion des déchets d'activité de soins a risques infectieux en milieu diffus en région Corse Etat des lieux et perspectives, Mémoire de l'Ecole Nationale de la Santé Publique, PP 4-5.
- Babanyara, Y.Y., Ibrahim, D.B., Garba, T., Bogoro, A.G., Abubakar, M.Y., 2014. Poor Medical Waste Management (MWM) Practices and Its Risks to Human Health and the Environment. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index, Aerospace and Mechanical Engineering*. 1(11), 14.
- Bendjoudi, Z., Taleb, F., Abdelmalek, F., Addou, A., 2009. Healthcare waste management in Algeria and Mostaganem department. *Waste Manag* 29, 1383–1387. doi:10.1016/j.wasman.2008.10.008
- Benhamouda K, « dégradation photochimique des colorants cationiques sur des Supports inorganiques chromophores en solution aqueuse », thèse de doctorat, Université [des frères mentouri constantine, année 2017.
- Biadillah-M-C, 2004. Guide de gestion des déchets des établissements de soins, Ed Centre Régional des Activités d'Hygiène du Milieu (CEHA) et l'Organisation Mondiale de la Santé. Maroc, (P 57).
- Boeglin J.C, 1998. Traitements biologiques des eaux usées résiduelles. *Techniques de l'ingénieur*, J3942.
- Boudjemaa, D, 2015. 124 Centre d'enfouissement technique en Algérie. *Ministre de l'Aménagement du territoire et de l'environnement. Journal of djazairess*, 23/03/2015. <https://www.djazairess.com/akhbarelyoum/136957>
- Bounouri Yacine. Mémoire Magister : Contribution à l'étude de l'adsorption d'un colorant textile basique par un complexe argile-oxyde métallique, modélisation par la méthode des plans d'expériences, (2010) Université de Béjaia.
- Carraro, E., Bonetta, Si., Bertino, C., Lorenzi, E., Bonetta, Sa., Gilli, G., 2016. Hospital effluents management: Chemical, physical, microbiological risks and legislation in different countries. *Journal of Environmental Management* 168, 185–199. doi:10.1016/j.jenvman.2015.11.021

- Chadron B, 2006. Déchets hospitaliers, Typologie risques sanitaires et environnementaux traitement réglementation CEDDES – France, P 9
- Chardon B, 1995. Les déchets d'activités de soins en secteur hospitalier et en secteur diffus. Mémoire DU de l'environnement et santé, faculté de médecine de Montpellier. 7p
- Chartier, Y., 2014. Safe management of wastes from health-care activities: a practical guide. ISBN 978-92-4-154856-4 978-92-4-069058-5
- Chergui-Bouafia S., 2011. Photocatalyse Solaire : Application du rayonnement solaire au traitement de l'eau, Division Bio-énergie & Environnement.
- Chew, M.R. L., 2017. Turning waste medicines to cost savings: A pilot study on the feasibility of medication recycling as a solution to drug wastage. Palliative Medicine 31, 35–41. doi:10.1177/0269216316639798
- Chloé Maury élaboration et caractérisation de matériaux hybrides a base de nano celluloses et de nanoparticules inorganiques PAR page 27
- Daoudi F. 2016. Elaboration Et Caractérisation des Couches Minces ZnO:Al par Electrodeposition, Mémoire de Master, Univ. Djelfa.
- Demirbas, Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: A review. Journal of Hazardous Materials 157 (2008) 220–229.
- Diaz, L.F., Savage, G.M., Eggerth, L.L., 2005. Alternatives for the treatment and disposal of healthcare wastes in developing countries. Waste Manag 25, 626–637. doi:10.1016/j.wasman.2005.01.005
- Emaleu S B, 2017, Prévention des infections en milieu hospitalier, Ed Société des Ecrivains, France, P 131
- Fatima Zahra SAIDI. 2013. Mémoire de Magister : Elimination du Bleu de Méthylène par des Procédés d'Oxydation Avancée. Université de Tlemcen.
- Fezzoua Souad, LALAOUI Amel, 2015. Mémoire master : Élimination de polluants organiques en solution aqueuse sur des argiles d'origine naturelle.
- Giusti, L., 2009. A review of waste management practices and their impact on human health. Waste Management 29, 2227–2239. doi:10.1016/j.wasman.2009.03.028
- H. Ratnaweena, H. Odegaard, J. Fettig, Coagulation with prepolymerized aluminum salts and their influence on particle and phosphorus removal, Water Sci. Technol., 26, 1992, 1229–1237., «Coagulation with prepolymerized aluminum salts and their influence on particle and phosphorus removal», Water Sci. Technol., 26(1992), 1229-1237.
- Haddou Menana, Thèse de doctorat : Dégradation de dérivés de l'acide benzoïque par les procédés d'oxydation avancée en phase homogène et hétérogène : procédés Fenton, photoFenton et photocatalyse, (2010), (17-22).

- Hajli A., 2005. Comprendre la Gestion des déchets hospitaliers. Cellule Hygiène Sécurité. Institut National d'Hygiène.
- Hossain, M.S., Santhanam, A., Nik Norulaini, N.A., Omar, A.K.M., 2011. Clinical solid waste management practices and its impact on human health and environment--A review. *Waste Manag* 31, 754–766. doi:10.1016/j.wasman.2010.11.008
- Huchon,R.«ACTIVITE PHOTOCATALYTIQUE DE CATALYSEURS DEPOSES SUR DIFFERENTS SUPPORTS (« MEDIAS ») APPLICATION A LA CONCEPTION D'UN PHOTOREACTEUR PILOTE, 2006, p15-21».
- International Organization Of Supreme Audit Institutions : (INTOSAI). (2004). Pour une vérification de la gestion des déchets.
- Jacob, A.N., Harikumar, P., 2016. Medical waste management : a way to public health. *International Journal of Management and Social Science Research Review*, .1. ISSN 23496738
- Journal Officiel, 2001. *Journal Officiel De La République Algérienne*, N° 67. 19 p .
- Journal Officiel, 2003. *Journal Officiel De La République Algérienne*,. N° 78. p 4-7.
- Lee, B.-K., Ellenbecker, M.J., Moure-Ersaso, R., 2004. Alternatives for treatment and disposal cost reduction of regulated medical wastes. *Waste Management* 24, 143–151. doi:10.1016/j.wasman.2003.10.008
- Liu Yang, « Caractérisation de couches minces de ZnO élaborées par la pulvérisation cathodique en continu », Thèse de DOCTORAT, Université du littoral côte d'opale (2012).
- Ministère De La Santé Publique Et De La Lutte Contre Le Sida (MSPLCS) (2012), Gestion des déchets médicaux dans le cadre du projet régional de renforcement du réseau de laboratoires de santé publique. Burundi, 53p.
- Moreira, A.M.M., Günther, W.M.R., 2013. Assessment of medical waste management at a primary health-care center in São Paulo, Brazil. *Waste Management* 33, 162–167. doi:10.1016/j.wasman.2012.09.018
- Oli, A.N., Ekejindu, C.C., Adje, D.U., Ezeobi, I., Ejiofor, O.S., Ibeh, C.C., Ubajaka, C.F., 2016. Healthcare waste management in selected government and private hospitals in Southeast Nigeria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 6, 84–89. doi:10.1016/j.apjtb.2015.09.019
- Organisations Mondiale de la Santé. Gestion des déchets d'activité de soins, Aide-mémoire N°281.Genève Octobre 2011,2p.
- Organisations Mondiale de la Santé., 2005. Secrétariat de la Convention de Bâle. Préparation des plans nationaux de gestion des déchets de soins médicaux en Afrique subsaharienne : manuel d'aide à la décision. Genève. p115.

- Park, H., Lee, K., Kim, M., Lee, J., Seong, S.-Y., Ko, G., 2009. Detection and hazard assessment of pathogenic microorganisms in medical wastes. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 44, 995–1003. doi:10.1080/10934520902996898
- -Pichat P., 1995. *La gestion des déchets : un exposé pour comprendre, un essai pour Réfléchir.* Flammarion, Paris. p124.
- PNUE, Organisations Mondiale de la Santé, 2005, Préparation des plans nationaux de gestion des déchets de soins médicaux en Afrique subsaharienne manuel d'aide à la décision, P 19.
- Prüss, A., Giroult, E., Rushbrook, P., World Health Organization (Eds.), 1999. *Safe management of wastes from health-care activities.* World Health Organization, Geneva. ISBN: 978-92-4-154525-9
- Prüss-Üstün, A., Rapiti, E., Hutin, Y., 2005. Estimation of the global burden of disease attributable to contaminated sharps injuries among health-care workers. *American Journal of Industrial Medicine* 48, 482–490. doi:10.1002/ajim.20230
- Rapport national de l'Algérie., 2011. 19ème session de la commission du développement durable des nations unies (cdd-19).
- Rosine J et al., 2008, Etude des risques sanitaires liés au fonctionnement de l'usine d'incinération d'ordures ménagères de la Cacem (Martinique), Santé environnement, Institut de veille sanitaire, Ed Cellule interrégionale d'épidémiologie Antilles-Guyane, P 5.
- Ruey-Shin Juang, Su-Hsia Linc, Pei-Ying Hsueh, 2010. Removal of binary azo dyes from water by UV-irradiated degradation in TiO₂ Suspensions. *Journal of Hazardous Materials* 182 (2010) 820–826.
- Rushbrook, P., Zghondi, R., 2005. World Health Organization, Regional Office for the Eastern Mediterranean, WHO Regional Centre for Environmental Health Activities, World Bank, Middle East and North Africa Region, *Better health care waste management: an integral component of health investment.* World Health Organization,
- Secretariat of the Basel Convention, World Health Organization, 2005. *Preparation of national health-care waste management plans in sub-Saharan countries: guidance manual.*
- Shareefdeen, Z.M., 2012. Medical Waste Management and Control. *Journal of Environmental Protection* 03, 1625–1628. doi:10.4236/jep.2012.312179
- Shimek, J.A., World Health Organization, 2011. *Replacement of mercury thermometers and sphygmomanometers in health care.* World Health Organization, Geneva.
- Simon, J. C. B. DAUBY, S. NONET, 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* n°22.

- Tsakona, M., Anagnostopoulou, E., Gidarakos, E., 2007. Hospital waste management and toxicity evaluation: A case study. *Waste Management* 27, 912–920. doi:10.1016/j.wasman.2006.04.019
- Walkinshaw, E., 2011. Medical waste-management practices vary across Canada. *Canadian Medical Association Journal* 183, E1307–E1308. doi:10.1503/cmaj.109-4032
- World Health Organization, Department of Immunization, V. and B., 2005. Management of solid health-care waste at primary health-care centres: a decision-making guide. Immunization, Vaccines and Biologicals (IVB), Protection of the Human Environment, Water, Sanitation and Health (WSH), World Health Organization, Geneva. ISBN: 978-92-4-159274-1 World Health Organization, Geneva. ISBN: 978-92-4-154662-1
- World Health Organization, Regional Office for the Western Pacific, 2015. Status of health-care waste management in selected countries of the Western Pacific region. ISBN: 978-92-9061-722-8
- Yuan-Chang Liang, Hua Zhong, *Applied Surface Science*, 283 (2013) 490-497.

Résumé

Les rejets chargés en colorants déversés dans l'environnement par les établissements de la santé nécessitent un traitement efficace. Ces colorants engendrent plusieurs effets tant sur la nature que sur la santé humaine. Les services médicaux libèrent une énorme quantité d'eaux usées contenant des colorants toxiques, cancérigènes. Face à cette problématique, nous proposons un traitement utilisant des nanoparticules. La dégradation du colorant Bleu de méthylène et Vert e méthylène qui a fait l'objet de cette étude a été menée sous systèmes de traitement en présence du photocatalyseurs ZnO, avec irradiation ultraviolet. Tous ces procédés de traitement appartiennent aux procédés d'Oxydation Avancée (POA) : la photocatalyse et le traitement par plasma-Glidarc. Ces deux POA génèrent des espèces oxydantes très réactives dont les radicaux hydroxyles dotés d'un puissant pouvoir oxydant.

Mots clés : environnement, Bleu de méthylène, rejet hospitalier, photocatalyse, ZnO

ملخص

إن التصريفات المحملة بالأصباغ التي تلقيها المؤسسات الصحية في البيئة تتطلب معالجة فعالة. تسبب هذه الأصباغ تأثيرات عديدة على الطبيعة وعلى صحة الإنسان. تطلق الخدمات الطبية كمية هائلة من مياه الصرف الصحي التي تحتوي على أصباغ سامة ومسببة للسرطان. ولمواجهة هذه المشكلة، نقترح العلاج باستخدام الجسيمات النانوية. تم إجراء تحليل صبغات أزرق الميثيلين وأخضر الميثيلين التي كانت موضوع هذه الدراسة تحت أنظمة المعالجة في وجود محفزات ضوئية من أكسيد الزنك، مع الأشعة فوق البنفسجية. تنتمي جميع عمليات المعالجة هذه إلى عمليات الأكسدة المتقدمة (AOP): التحفيز الضوئي ومعالجة البلازما-جليدراك. تولد هاتان الوكالتان أنواعًا مؤكسدة شديدة التفاعل بما في ذلك جذور الهيدروكسيل ذات قوة مؤكسدة قوية.

الكلمات المفتاحية: البيئة، أزرق الميثيلين، نفايات المستشفى، التحفيز الضوئي، أكسيد الزنك

abstract

Discharges laden with dyes dumped into the environment by health establishments require effective treatment. These dyes cause several effects both on nature and on human health. Medical services release a huge amount of wastewater containing toxic, carcinogenic dyes. Faced with this problem, we propose a treatment using nanoparticles. The degradation of the Methylene Blue and Methylene Green dyes which was the subject of this study was carried out under treatment systems in the presence of ZnO photocatalysts, with ultraviolet irradiation. All of these treatment processes belong to Advanced Oxidation (AOP) processes: photocatalysis and plasma-Glidarc treatment. These two POAs generate very reactive oxidizing species including hydroxyl radicals with powerful oxidizing power.

Keywords: environment, methylene blue, hospital discharge, photocatalysis, ZnO