



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et
Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي، برج

بومخريرج

Université Mohamed
El Bachir El Ibrahim
de Bordj Bou Arréridj



Faculté des sciences et de la technologie Département Génie de l'environnement

Mémoire

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE MASTER

Filière : *Génie des procédés*

Option : *Génie des Procédés de l'environnement*

THÈME :

**Traitement des eaux usées de la STEP d'Aïn Taghrout
par un procédé d'oxydation avancée.**

Préparé par : HAMMOUCHE Charaf eddine
KETFI Mohammed Redha

Encadreur : Pr. A. BAHLOUL

Soutenu le : 16 /09/2021

A. Hellati	Président	M.C.A	Université Bordj Bou Arreridj
A. Dilmi	Examineur	M.C.B	Université Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire 2020-2021

Remerciements

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire. Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de

Pr. AHMED BAHLOUL

On le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire. Veuillez trouver ici l'expression de notre respectueuse considération et notre profonde admiration pour toutes vos qualités scientifiques et humaines.

A nos chers enseignants, membres de jury

Dr, A, Hellati

Dr. A. Dilmi

Nous vous remercions pour vos examens de notre travail, vos remarques et conseils, pour vos enseignements et soutiens dans tous les années de nos études, et finalement veuillez trouver ici le témoignage de notre profonde gratitude.

Nous remercions **la direction de station d'épuration d'Aïn Taghrout** et surtout **les personnels** de la station pour leurs aides, disponibilité et leurs assistances par les données et les documents nécessaires.

Nous remercions tous **les enseignants et les chefs des laboratoires** de la Faculté des sciences et de la Technologies de l'Université de Mohamed El Bachir El Ibrahimi.

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail, comme preuve de respect de
gratitude et de reconnaissance à

Nos chers parents

Qui n'ont jamais cessé de nous encourager et nous conseiller Ils
nous ont beaucoup aide tout en long de notre chemin, grâce à
leur amour, leur dévouement, leur compréhension et leur
patience sans jamais nous quitter des yeux ni baisser les bras et
leurs soutien moral et matériel, on ne saurait jamais traduire ce
qu'on ressent vraiment envers eux.

Nos frères et sœurs

Pour leur indulgence en notre faveur qu'ils touchent ici
l'affection la plus intime qu'on ressent à leur égard.

Nos amis et collègues

Pour leur compagnie et bons moments passés ensemble

Table des matières

Introduction générales.....	1
Chapitre I	2
I.1. Introduction	2
I.2. Techniques classiques et leurs limites	2
I.2.1. Traitements physico-chimiques (Traitements primaires)	2
I.2.2. Traitements biologiques (traitements secondaires)	3
I.3. Procédés d'oxydation avancée	3
I.3.1. Principe des Procédés d'oxydation avancée	4
I.3.2. Principaux types Procédés d'oxydation avancée	4
I.3.3. Avantages des procédés d'oxydation avancée	5
I.3.4. Inconvénients des procédés d'oxydation avancée	5
I.4. La Photocatalyse	5
I.4.1. Procédé de la photocatalyse en phase homogène (photo Fenton)	6
I.4.2. Procédé de la photocatalyse hétérogène	7
I.4.3. L'utilisation de la photocatalyse dans le traitement des eaux usée :	8
I.4.4. Méthode de préparation d'un catalyseur massique	8
I.4.4.1. Synthèse par co-précipitation	9
I.4.4.2. Synthèse par méthode sol gel	9
I.5. Paramètres influençant la photocatalyse	9
I.6. Les matériaux photocatalyseurs	10
I.7. Propriété optique et spectroscopique de quelques matériaux photocatalyseurs... 11	11
I.7.1. Oxyde de zinc, ZnO	11
I.7.2. Dioxyde de cérium, CeO₂	12
I.7.3. Dioxyde de titane TiO₂	13
I.8. Mécanisme et le principe de photocatalyse hétérogène	14
I.8.1. Excitation du photocatalyseur	14
I.8.2. Mécanismes réactionnels généraux	14

I.9. Aspect cinétique de la photocatalyse	18
I.10. Montage et caractéristique de la cellule photocatalytique	19
I.11. Application de la technique photocatalyse dans les STEP	20
Chapitre II	22
II.1 Prélèvement des échantillons	22
II.2 Paramètres physico-chimiques	23
II.2.1 Potentiel des ions hydronium (pH)	23
II.2.2 Conductivité	25
II.2.3 Demande chimique en Oxygène (DCO)	26
II.2.4 Demande biochimique oxygène (DBO₅).....	28
II.2.5 Spectroscopie infrarouge	30
Chapitre III	32
III.1. Synthèse du matériau photocatalyseur Ag₂MnO₂	32
III.2. Prélèvement de l'échantillon d'eau.....	33
III.3. Traitement de l'échantillon prélevé par photocatalyse	34
IV. Conclusion.....	42

La liste des figures

Figure 1 : Principe de la photocatalyse.....	7
Figure 2 : Structure de bandes du ZnO.....	12
.....	
Figure 3 : Représentation schématique de la structure électronique du CeO ₂	13
Figure 4: Les différentes structures de TiO ₂ : (a) rutile, (b) anatase et (c) brookite..	13
Figure 5: Excitation d'un électron	16
Figure 6: Recombinaison d'un électron.....	16
Figure 7 : Mécanismes de la photocatalyse.	18
Figure 8: Étapes d'un procédé catalytique.....	19
Figure 9: Reacteur utilise une lampe blanche , la plaque agitatrice et le mélange reactional.	20
Figure 10 :Photoreacteur pilote solaire (Projets Solwater et Aquacat) et RayWOx Receiver Hirschmann	21
Figure 11 : Photocatalyseur solaire (Madrid, Espagne) et (Almeria, Espagne).	21
Figure 12: Echantillons	23
Figure 13: pH-mètre	24
Figure 14: Conductimètre	25
Figure 15: Tubes des tests du dosage de DCO.	27
Figure 16 : Spectrophotomètre.....	28
Figure 17: Flacons de mesure de DBO ₅	29
Figure 18 : Spectrophotomètre infrarouge à transformée Fourier.....	30
Figure 19: Synthèse de Ag ₂ MnO ₂	32
Figure 20: Spectre infrarouge du matériau Ag ₂ MnO ₂	33
Figure 21: Courbe d'évolution de la DCO en fonction de la masse de Ag ₂ MnO ₂	35
Figure 22: Rendement de la photo dégradation (taux d'abattement en DCO) sous une illumination visible et en présence de différentes masses de Ag ₂ MnO ₂	36
Figure 23 : Traitement d'une eau usée par les différents procédés (adsorption, photolyse et photocatalyse).	37
Figure 24: Evolution de la DCO et le pourcentage d'élimination des polluants selon les différents procédés.....	38
Figure 25: Evolution de la DBO ₅ et le pourcentage d'élimination des polluants par photocatalyse.	38
Figure 26: Evolution de pH, conductivité, salinité et TDS après l'élimination des polluants par photocatalyse.	40

La liste des tableaux

Tableau 1 :Propriété optique et spectroscopique de quelques matériaux photocatalyseurs....	11
Tableau 2 : Propriétés optiques de ZnO	12
Tableau 3 : Les propriétés physiques du dioxyde de titane	14
Tableau 4 : Classification des eaux selon leurs pH.....	24
Tableau 5: Qualité des eaux en fonction de la conductivité.....	26
Tableau 6: Volumes d'eau utilisés dans l'analyse de la DBO₅.....	30
Tableau 7 : les différentes bandes de transmittance.....	33
Tableau 8: Analyses physicochimique de l'échantillon prélevé le 21/06/2021	34

Introduction générales

Les stations d'épuration urbaines qui utilisent en général un traitement biologique, ne permettent pas de traiter les effluents industriels contenant des composés organiques non biodégradables ou bactéricides très récalcitrants. Des opérations spécifiques sont alors nécessaires pour éliminer ces polluants toxiques, telles que les procédés chimiques ou physiques de dépollution des eaux, qui sont généralement des techniques difficiles à mettre en œuvre et très onéreuses.

De nouvelles technologies sont alors apparues ces dernières années, parmi lesquelles les procédés d'oxydation avancés (POA). Il s'agit de technologies basées sur la production d'espèces oxydantes très réactives comme le radical hydroxyle, pour dégrader les polluants organiques récalcitrants.

La photocatalyse hétérogène est l'un de ces POA qui a déjà démontré sa capacité à traiter un grand nombre de polluants. Propulsée par l'avancée des technologies dites photoniques, cette technique à gagner du terrain ces dernières années et s'est révélée très efficace pour éliminer les composés toxiques dans l'eau de façon économique et propre, car elle utilise une source d'énergie renouvelable et des matériaux semi-conducteurs à coût limité.

Dans ce travail nous nous sommes intéressés la préparation et la caractérisation de nouveau matériau photocatalyseur « Ag_2MnO_2 » par la méthode de co-précipitation. Ensuite, ce matériau sera utilisé dans la photocatalyse pour dépolluer une eau usée de la STEP d'Ain Taghrouit.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Le première Chapitre est une étude bibliographique dont la thématique principale est la technique photocatalytique en solution. Nous parlerons en premier lieu des différentes méthodes d'oxydation dont la photocatalyse fait partie. Le but étant de situer la photocatalyse parmi les autres méthodes utilisées et ainsi de dégager les principaux avantages de cette dernière et en donnant les propriétés de quelle photocatalyseur. Nous parlerons aussi sur le mécanisme réactionnel et le principe de la photocatalyse hétérogène. Finalement nous avons site quelle que exemples réels de l'application de photocatalyse sur les STEP.

Le deuxième chapitre, décrira les méthodes expérimentales et les différentes techniques analytiques utilisées au cours de cette étude (conductimétrie, DBO_5 , DCO, pH, TDS et salinité).

Dans le troisième chapitre, nous présenterons les résultats obtenus et leurs discussions.

Ce mémoire sera terminé par une conclusion avec des perspectives.

Chapitre I : Recherche Bibliographique

I.1. Introduction :

L'impact de la révolution industrielle sur l'environnement s'est traduit par la pollution de l'air, de l'eau et du sol. Ces pollutions entraînent des modifications sur les écosystèmes dont les conséquences sont : La déforestation et la fragilisation des ressources naturelles entraînant une diminution en eaux consommables ce qui se répercute sur la demande alimentaire

La pollution de l'eau a pour origine : les activités agricoles, urbaines et surtout industrielles. Par exemple les usines industrielles de fabrication de batteries ou de piles ont été à plusieurs reprises à l'origine de la contamination des eaux des nappes souterraines et des contaminations des sols. Parfois, les eaux déversées après traitement dépassent aussi bien les normes de rejets Algériennes que celles des normes de l'organisation mondiale de la santé [1].

La recherche sur le traitement de l'eau s'est fortement développée. Les contrôles de pollution sont plus rigoureux et la législation devient de plus en plus stricte sur la qualité de l'eau usée traité. De nouveaux procédés de traitement ont été proposés tels que les Procédés d'Oxydation Avancées (POA), très intéressantes pour la dégradation de polluants organiques récalcitrants. Ces techniques sont complémentaires aux techniques classiques [2].

Les traitements classiques appliqués sont nombreux : osmose inverse, résine échangeuse d'ion, absorption sans réaction chimique, électro-réduction, adsorption et dégradation biologique. Le traitement idéal, s'il existe, serait celui qui consomme le moins de produits chimiques, le moins d'énergie et qui ne rejeterait rien de nocif dans l'environnement. Dans ce cadre de contraintes, les POA bénéficie de nombreux atouts, elle ne nécessite pas de coproduits, nécessite peu d'énergie et minimise les rejets secondaires car c'est un procédé de réduction des métaux ou de dégradation des produits organiques permettant d'obtenir une excellente eau pure [1].

I.2. Techniques classiques et leurs limites :

En fonction de leur principe d'élimination des composés, ces techniques peuvent être classées en deux principales familles : les procédés physico-chimiques et les procédés biologiques.

I.2.1. Traitements physico-chimiques (Traitements primaires) :

Nous traiterons ici à la fois des prétraitements et des traitements primaires au sens strict. Les prétraitements sont une phase d'épuration grossière. On élimine tous les éléments solides volumineux et grossiers (sables, corps gras) qui pourraient d'ailleurs endommager les installations par la suite. Notons qu'on retire alors environ 35% des éléments polluants. Tout d'abord on réalise le dégrillage. L'eau qui est issue de ce premier traitement subit ensuite le dessablage et le déshuilage-dégraissage. On va alors retirer les sables par pompage et prélever l'écume. Le traitement primaire au sens strict est un traitement physico-chimique. Il est possible d'ajouter dans

l'eau des agents coagulants et floculats. On peut alors récupérer un grand nombre de particules en suspension par décantation ou flottation. Les éléments azotés, phosphatés, composés actifs et des particules fines. Se rajoutent ensuite les traitements secondaires voire tertiaires [3].

I.2.2. Traitements biologiques (traitements secondaires) :

Ces procédés mettent à profit l'activité de certaines bactéries afin d'éliminer les polluants des eaux résiduaires. Ces microorganismes ne seront capables de dégrader les polluants organiques en composés moins toxiques ou de les minéraliser que lorsque ces molécules présentent un minimum de biodégradabilité et une faible toxicité.

La plupart de ces procédés de traitement ne permettent malheureusement pas une élimination totale des polluants, soit ils les concentrent, soit ils les transfèrent vers un autre état physique ce qui ne résout pas le problème. Cependant, de nouveaux procédés de traitement ont émergé au cours des dernières décennies, notamment les procédés d'oxydation avancée (POA), qui ont progressivement fait leur preuve dans la dégradation de molécules organiques récalcitrantes [4].

I.3. Procédés d'oxydation avancée :

Afin d'améliorer les systèmes existants de traitement des eaux usées municipales et industrielles, ou de remplacer les technologies conventionnelles peu efficaces pour l'élimination de contaminants organiques réfractaires, inorganiques et microbiens, les scientifiques se sont intéressés aux POA qui ont vu le jour vers les années 1970. Actuellement, ces procédés sont en pleine expansion dans le domaine des technologies environnementales. La plupart d'entre eux nécessitent en général moins de réactif et sont faciles d'automatisation par comparaison aux autres. De nombreuses études réalisées à l'échelle du laboratoire ont clairement prouvé l'efficacité des POA pour le traitement de divers effluents [3].

Les procédés d'oxydation avancée (POAs) sont des procédés de traitement ayant connu une évolution rapide au cours des vingt dernières années. Elles appartiennent à la dernière génération de techniques mises au point dans ce domaine. Elles ont pour but la minéralisation totale de polluants en CO₂, H₂O et composés inorganiques. Si la charge polluante est trop élevée ou le débit trop important pour une minéralisation totale, elles visent au moins la dégradation des polluants toxiques et récalcitrants en composés moins toxiques et si possible moins concentrés. 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. Elles fournissent une solution complète à l'abattement de la pollution aqueuse et ne sont

pas concernées par des problématiques d'élimination de déchets secondaires ou concentrés (filtrats, adsorbats, boues biologiques, etc.). 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.

L'inconvénient de ces techniques est la consommation relativement importante de réactifs nécessaires à leur mise en œuvre, ce qui les rend inappropriées car très coûteuses, pour traiter des effluents trop concentrés. Pour des concentrations en carbone organique supérieures à 5 g/L, il devient peu intéressant d'utiliser des POAs. On pourra alors privilégier l'oxydation par voie humide, voire pour une charge organique très importante, l'incinération de l'effluent [5].

I.3.1. Principe des Procédés d'oxydation avancée :

Les méthodes d'oxydation avancées sont toutes basées sur la formation d'entités chimiques très réactives, qui vont oxyder les molécules les plus récalcitrantes en molécules biologiquement dégradables et finalement en composés minéraux tels que CO_2 et H_2O . 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 filtration ou de transfert de matière. Elles fournissent une solution finale à l'abattement de pollutions aqueuses et évitent les éliminations de déchets secondaires ou concentrés (filtrats, adsorbat, boues biologiques etc.), à température et pression ambiantes. Ces procédés reposent sur la formation in situ des radicaux hydroxyles (OH^\bullet) qui possèdent un pouvoir oxydant supérieur à celui des oxydants classiques, tels que Cl_2 , ClO_2 ou O_3 . Ces radicaux sont capables de minéraliser partiellement ou totalement la plupart des composés organiques. Comme les radicaux OH^\bullet sont des espèces très réactives et instables, ils doivent être produits de façon continue grâce à plusieurs réactions : chimiques, photochimiques, biologiques ou électrochimiques [6].

I.3.2. Principaux types Procédés d'oxydation avancée :

Les POA peuvent être regroupés en cinq catégories [7] :

- **Les procédés d'oxydation homogène** : Les radicaux sont générés par la réaction de Fenton, ozone à pH élevé ou $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$.
- **La photolyse homogène UV** : ces procédés emploient la photolyse UV de H_2O_2 et/ou O_3 en solution homogène pour générer les radicaux OH^\bullet .
- **Photocatalyse hétérogène** : Une source lumineuse induit des réactions photo

électrochimiques à la surface du photocatalyseur semi-conducteur tel que TiO_2 .

- **La radiolyse** : Des espèces OH^\bullet , H^\bullet sont produites par irradiation de forte énergie (rayon- γ) des solutions à traiter.
- **Les procédés électrochimiques d'oxydation** : les radicaux sont générés dans le milieu à partir de réactifs formés par électrochimie (Electro-Fenton) ou à partir du solvant aqueux (oxydation anodique de l'eau).

Ces technologies sont toutes basées sur la production d'entités radicalaires, notamment, les radicaux hydroxyles (OH^\bullet) qui sont des espèces oxydantes les plus puissantes que l'on puisse utiliser dans le domaine du traitement des eaux et des effluents industriels. Par exemple, les radicaux hydroxyles peuvent oxyder un grand nombre de composés organiques avec une vitesse d'oxydation largement supérieure à celle de l'ozone (109 fois plus élevée). Les radicaux libres sont des espèces hautement actives susceptibles de réagir avec la quasi-totalité des molécules organiques.

I.3.3. Avantages des procédés d'oxydation avancée :

Parmi les avantages, on cite :

- Simple à réaliser.
- Élimination rapide des polluants.
- Production in-situ des radicaux réactifs.
- Ne produisent pas de déchets secondaires.
- Efficaces pour le traitement des composés récalcitrants, toxiques et non biodégradable.

I.3.4. Inconvénients des procédés d'oxydation avancée :

- La consommation relativement importante de réactifs nécessaire à leur mise en œuvre, qui les rend très coûteuse, pour traiter des polluants très concentrés
- Ils ne sont pas favorisés pour le traitement de grands volumes.
- Ce sont des procédés émergents.

I.4. Le Photocatalyse :

La pollution des eaux est un sujet d'actualité, ce qui génère un nouveau domaine de recherche qui est le traitement des eaux usées. La recherche est donc ouverte dans le domaine avec une nouvelle méthode de traitement photocatalytique afin de résoudre le problème de la pollution des eaux [8].

D'après l'IUPAC (Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée), la photocatalyse est le domaine de la catalyse qui fait intervenir la lumière comme moyen d'activation du catalyseur. Plus généralement il est possible de définir le concept de photocatalyse à travers les réactions

chimiques dites photocatalytiques induites par l'absorption de photons (énergie lumineuse) par un photocatalyseur.

L'utilisation de la photocatalyse a été élargie au traitement de l'eau. En effet, ce procédé peut être opéré à température et à pression ambiante et une minéralisation complète des molécules et de leurs sous-produits de dégradation est possible. Par ailleurs, la photocatalyse présente des faibles coûts opératoires comparativement à d'autres POA (la sonochimie par exemple) [9].

Son principe est simple il réside dans la décomposition et la dégradation de la matière sous l'action des rayons lumineux principalement ultraviolets. Des réactions d'oxydation et de réduction peuvent ainsi se produire entre les électrons capturés et les substances chimiques absorbées [10].

La photocatalyse hétérogène désigne l'excitation d'un semi-conducteur par un rayonnement. Elle donne lieu à des modifications électroniques au niveau de sa structure, engendrant la formation de radicaux responsables de réactions d'oxydoréduction avec différents composés adsorbés à sa surface. Dans ce cas la réaction se produit uniquement à la surface du catalyseur solide dans une phase liquide contenant les réactifs et les produits [9].

En photocatalyse homogène, le catalyseur, les réactifs et les produits forment une seule phase alors que dans la photocatalyse hétérogène il forme deux phases le photocatalyseur sous forme solide, les réactifs et les produits sous forme liquide.

Il existe une très grande variété de photocatalyseurs, chacun adapté à la réaction souhaitée. Selon qu'ils sont solubles ou non dans le milieu réactionnel, on parle de photocatalyse homogène ou de photocatalyse hétérogène [11].

La plupart des chercheurs sont intéressés par la photocatalyse hétérogène, dans ce dernier on trouve un photocatalyseur dopé et un photocatalyseur de système à hétérojonction [1].

I.4.1. Procédé de la photocatalyse en phase homogène (photo Fenton) :

D'une part, l'oxydation induite par photolyse de l'ozone ou du peroxyde d'hydrogène nécessite un coût d'énergie élevé si le polluant absorbe fortement les radiations UV. D'autre part l'utilisation des sels de Fer (II) (réactif de Fenton) produit la boue inorganique qui peut causer des dommages aux installations de traitement. Dans ce contexte, un couplage de UV/H₂O₂ avec le Fer (II) ou Fer (III) (procédé photofenton) est prometteur. Basé sur le concept où le sel de Fer sert de catalyseur et le H₂O₂ d'agent oxydant, le procédé photofenton est efficace et faible coût pour le traitement de l'eau et produit plus des HO[•].

Cependant l'irradiation UV ne conduit pas seulement à la formation supplémentaire des radicaux HO[•] mais aussi au recyclage du catalyseur Fe (II) par réduction de Fe (III), ce qui entraîne l'augmentation des Fe (II) par conséquent l'accélération de la réaction [12].

I.4.2. Procédé de la photocatalyse hétérogène :

Si le photocatalyseur se trouve dans une autre phase que les réactifs et les produits, on parle de la photocatalyse hétérogène. Dans notre cas le photocatalyseur est à l'état solide et le procédé est en phase liquide-solide (Figure I.1).

La photocatalyse hétérogène implique des photoréactions qui se produisent à la surface du catalyseur solide. Si le processus de photoexcitation initial se produit sur une molécule adsorbée, celle-ci va alors interagir avec le catalyseur, ce processus est appelé photoréaction catalysée. Si la photoexcitation initiale a lieu sur le catalyseur et qu'ainsi il est photoexcité, il réagit alors avec une molécule adsorbée, on parle alors de photoréaction sensibilisée. Dans tous les cas, la photocatalyse hétérogène fait référence à un semi-conducteur photocatalyseur ou à un semi-conducteur photosensibilisateur.

La photocatalyse hétérogène est un procédé d'oxydation avancé, utilisée dans le domaine du traitement de l'eau, de l'air et de la désodorisation. La photocatalyse hétérogène repose sur l'irradiation d'un semi-conducteur jouant le rôle de catalyseur par un rayonnement lumineux de longueur d'onde inférieure à 387 nm. Cette technique présente l'avantage de permettre la dégradation des polluants organiques à une température ambiante et à une pression atmosphérique sans ajout des réactifs chimiques [13].

La photocatalyse est un cas particulier de catalyse hétérogène déclenchée par l'irradiation de matériaux semi-conducteurs avec des photons d'énergie adaptée au solide. Elle permet l'oxydation rapide jusqu'à la minéralisation complète de nombreux composés organiques, azotés...etc., adsorbés sur le catalyseur [14].

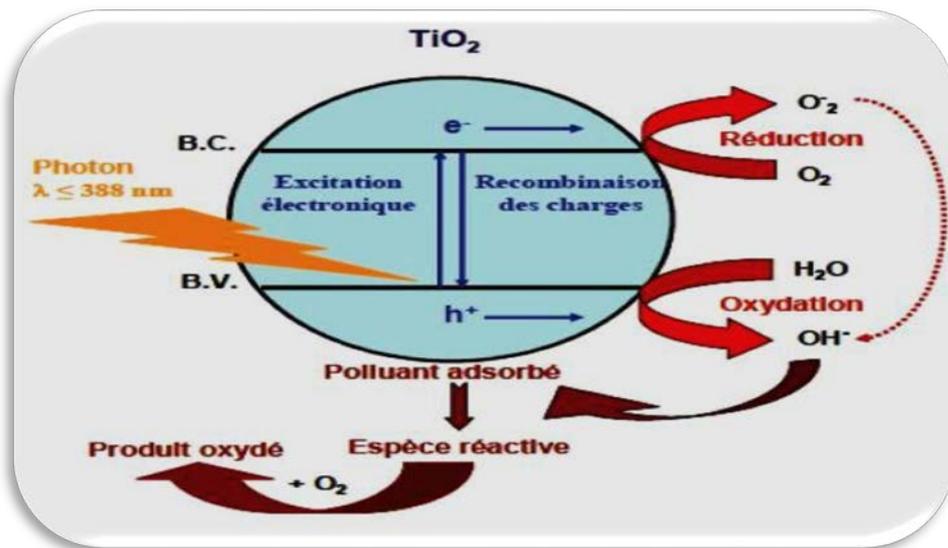


Figure 1 : Principe de la photocatalyse

I.4.3. L'utilisation de la photocatalyse dans le traitement des eaux usées :

La dépollution de l'eau est devenue l'un des problèmes majeurs de nos sociétés modernes, que ce soit pour produire de l'eau potable ou pour limiter les rejets polluants dans le milieu récepteur. Pour la production d'eau potable, les procédés de traitement fréquemment utilisés consistent en des étapes successives de filtration, suivies par une ultime étape de désinfection (le plus souvent une chloration).

Les traitements traditionnels sont peu efficaces ou insuffisants. Il convient alors de les coupler à d'autres procédés d'oxydation chimiques plus énergétiques. Parmi les différentes techniques existantes, la photocatalyse hétérogène a été testée avec succès pour éliminer bon nombre de micropolluants biorécalcitrants. De nombreuses familles de polluants peuvent ainsi être traitées : les polluants inorganiques (ammonium, nitrite, métaux, etc.), les polluants organiques (pesticides, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), solvants chlorés, polychlorobenzènes (PCB), colorants, médicaments, etc.), et ceux issus de la microbiologie (bactéries, virus, levures, champignons, etc.), dont les mécanismes et voies de dégradation par photocatalyse diffèrent [15].

L'intérêt principal de la photocatalyse réside dans son efficacité à éliminer une large gamme de polluants, en particulier ceux difficilement oxydables par les méthodes conventionnelles

En outre, cette technique permet de transformer certains composés minéraux toxiques en composés moins toxiques. Il est en effet possible d'oxyder les anions, nitrite, sulfite, cyanure et bromate en d'autres composés inoffensifs tels que NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_2 et Br^- , respectivement. La photocatalyse permet également, par l'intermédiaire des radicaux hydroxyles, de détruire les polluants biologiques pathogènes tels que les virus, bactéries et moisissures. Dans le cas d'un effluent fortement chargé en matière organique (ex : DCO > 800 mg. L⁻¹), l'absorption trop importante de l'intensité de la radiation rend la technique inadaptée, sauf pour un traitement final [16].

I.4.4. Méthode de préparation d'un catalyseur massif :

Les méthodes les plus courantes sont classées en deux types :

- Synthèse par voie sèche (réaction à l'état solide).
- Synthèse par voie humide.

La méthode humide permet un contrôle précis des propriétés physiques et chimiques des poudres et des précurseurs avec autres avantages :

- L'homogénéité.
- L'uniformité de la forme des particules

I.4.4.1. Synthèse par co-précipitation :

La co-précipitation est un procédé de synthèse en solution, qui permet une précipitation simultanée de deux cations M^{+n} et M^{+m} . généralement, après le mélange de deux solutions contenant les métaux cationiques. La mesure du pH est nécessaire pour pouvoir suivre l'évolution de la précipitation.

Après dissolution des masses adéquates d'oxydes métallique, les solutions sont mélangées progressivement puis diluées, l'ajout d'un agent précipitant est nécessaire pour accélérer la coexistence des deux cations.

Après filtration, le précipité est récupéré puis lavé, une vérification de la précipitation totale est effectuée sur le liquide récupéré.

Les précipités obtenus sont en général amorphes ou mal cristallisés. Leurs chauffages entre 600°C et 750°C et conduit à un oxyde mixte dont la formulation nous révèle la proportion dans laquelle les éléments de départ M^{+n} et M^{+m} coexistent dans le [14].

I.4.4.2. Synthèse par méthode sol gel :

Lors d'une synthèse par voie sol-gel, les précurseurs moléculaires contenus dans la solution de départ (le sol) polymérisent suivant divers mécanismes et forme un réseau d'oxydes (le gel), un traitement thermique est ensuite nécessaire à la densification et à l'obtention du matériau inorganique sous différentes formes : poudres ou film selon l'application envisagée.

Cette technique présente de nombreux avantages. Parmi les plus significatifs, citons la très grande pureté, les contrôles de la porosité des matériaux et de la taille des grains, la simplicité, et la rapidité.

La synthèse sol gel utilisé pour la préparation de nos catalyseurs a été ce n'importe quelle méthode citrate, ou l'agent de complexation est l'acide citrique [14].

I.5. Paramètres influençant la photocatalyse :

L'efficacité de la dégradation photocatalytique dépend fortement des conditions opératoires telles que la nature du photocatalyseur, sa concentration en suspension dans l'eau, l'intensité lumineuse, la concentration en O_2 dissous, la température, le pH et la concentration en polluants. Elle peut dépendre également du taux d'adsorption des molécules à la surface du semi-conducteur mais aussi à l'inverse sans phénomène d'adsorption comme mentionné dans divers travaux avec

les composés solubles dans l'eau, tels que les herbicides de type phénylurée et certains colorants [17].

I.6. Les matériaux photocatalyseurs :

Les photocatalyseurs sont des matériaux semi-conducteurs dont l'absorption de photons permet de promouvoir un électron depuis la bande de valence vers la bande de conduction alors séparées énergétiquement par une bande interdite appelée band gap. De cette promotion naît alors au sein du matériau une paire dite électron-trou qui sera à l'origine de réactions d'oxydoréduction des composés adsorbés à sa surface, générant de fait des espèces radicalaires dont HO[•] à fort pouvoir oxydant [26].

Les semi-conducteurs tels que TiO₂, ZnO, CdS, SnO₂, ZnS, ZrO₂, CeO₂ ont prouvé leur activité et sont classés parmi les meilleurs photocatalyseurs. Toutefois, beaucoup d'auteurs présentent le dioxyde de titane TiO₂ comme la substance la plus efficace pour la dégradation photocatalytique, et cela grâce à une grande stabilité chimique dans une solution aqueuse, une activité photocatalytique importante, un aspect non toxique, un coût relativement faible et une disponibilité dans le commerce. Beaucoup d'études ont été faites afin de prouver l'efficacité de TiO₂ [18,11].

Les oxydes des métaux de transition, des semi-conducteurs TiO₂, ZnO, SrTiO₃, CeO₂, SnO₂, ZrO₂, Sm₂O₃, Fe₂O₃, Bi₂O₃, Sb₂O₃, WO₃ et MoO₃, et des calcogènes CdS, CdSe, CdTe, ZnS, ZnSe, PbS et HgS absorbent des rayonnements lumineux d'énergies comprises entre 2,2 et 3,8 eV [19].

Matériau	Eg (eV)	Propriété
Diamant (c)	5,33	Isolant
ZnO	3,2	Semi-conducteur
SiC	3	Semi-conducteur
TiO ₂	3,18	Semi-conducteur
Si	1,14	Semi-conducteur
Ge	0,67	Semi-conducteur
PbS	0,34	Semi-conducteur
Sn	Très faible nulle	Semi-conducteur
Pb		Conducteur

Tableau 1 : Propriété optique et spectroscopique de quelques matériaux photocatalyseurs

I.7. Propriétés optiques et spectroscopiques de quelques matériaux photocatalyseurs :

Les propriétés optiques d'un semi-conducteur sont principalement dues aux interactions entre les photons et les électrons. Ces interactions ont une influence considérable sur la fonction diélectrique lorsque l'énergie des photons est du même ordre de grandeur que l'énergie du gap. Nous allons donc décrire l'interaction lumière-matière via l'étude de la fonction diélectrique [25].

I.7.1. Oxyde de zinc, ZnO :

La figure I.2 montre l'existence d'une bande vide d'états entre 0 et 3,4 eV appelée bande interdite ou "gap" du matériau. Le gap correspond à l'énergie nécessaire pour faire passer un électron de la bande de valence (BV) vers la bande de conduction (BC). Le passage d'électron de la bande de valence vers la bande de conduction crée une paire électron-trou liés par une interaction coulombienne au sein de la structure cristalline. Ils se comportent comme une seule particule appelée exciton. L'énergie de liaison de l'exciton est de 60 MeV. A température ambiante l'énergie de liaison est supérieure à l'énergie de l'agitation thermique qui est de 23 MeV, ce qui veut dire que l'exciton créé ne sera pas détruit thermiquement.

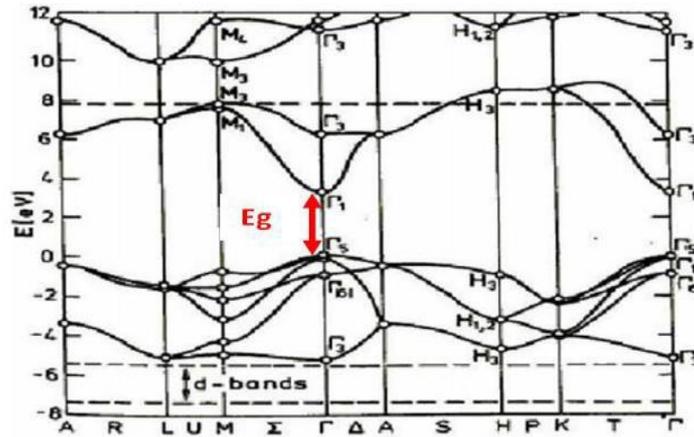


Figure 2 : Structure de bandes du ZnO.

L'oxyde de zinc est un semi-conducteur transparent dans le visible sous la forme massive ayant un indice de réfraction égal à 2 qui varie entre 1,90 et 2,20 suivant les auteurs. D'autre part sous forme de couche mince, présente une forte absorption et diffusion des rayonnements ultraviolets grâce à son large bande interdite [20].

Tableau 2: Propriétés optiques de ZnO [19].

Propriétés	Valeurs
Transmittance dans le visible (%)	80–90
Indice de réfraction à 560nm	1,8 - 1,9
Coefficient d'absorption (cm^{-1})	10^4
Gap option (eV)	3,3

I.7.2. Dioxyde de cérium, CeO_2 :

De couleur beige, le CeO_2 fait partie de la famille des semi-conducteurs à bande interdite directe. Des calculs de structure de bande ont montré que sa bande de valence a principalement un caractère O (2p) alors que sa bande de conduction présente essentiellement un caractère Ce (5d). La différence énergétique entre ces deux niveaux est d'environ 5,75 eV. Le niveau Ce (4f) vide du cation Ce^{4+} est cependant situé entre ces deux niveaux (figure 3). Ceci explique la plus faible bande interdite obtenue expérimentalement de 3,19 eV (389 nm). Les propriétés d'absorption du CeO_2 dans l'UV sont donc dues à un transfert de charge entre les orbitales moléculaires 2p de l'oxygène et les orbitales 4f du cérium, vides dans le cas de Ce^{4+} . Son spectre d'absorption UV visible est composé d'une large bande dont le maximum se situe généralement dans l'UVB [30]. La position spectrale de cette bande dépend notamment de la taille et de la forme des particules [21].

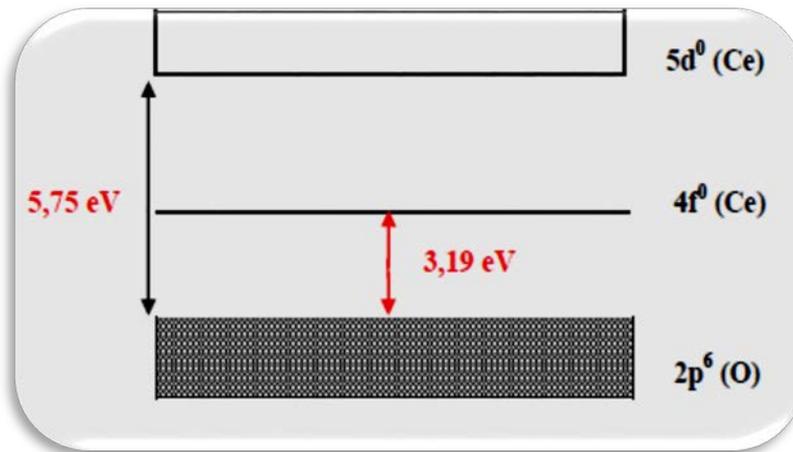


Figure 3 : Représentation schématique de la structure électronique du CeO₂.

I.7.3. Dioxyde de titane TiO₂ :

Le TiO₂ cristallise sous plusieurs structures cristallines dont trois formes allotropiques principales : anatase, rutile et brookite, pour lesquelles d'importants travaux théoriques et expérimentaux ont été effectués, notamment pour les deux premières phases (figure 4). Néanmoins, sous des conditions de températures et de pressions particulières, quatre autres formes sont obtenues : colombite, baddeleyite, fluorite et pyrite.

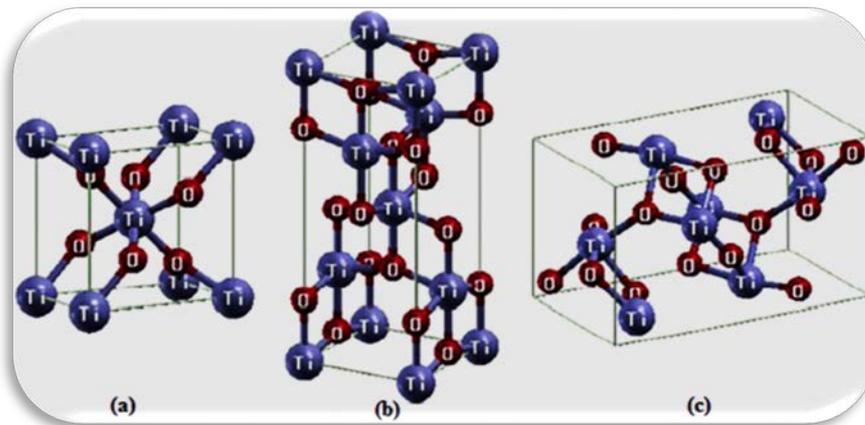


Figure 4: Les différentes structures de TiO₂ : (a) rutile, (b) anatase et (c) brookite.

Parmi les trois phases cristallines du TiO₂, le rutile a l'indice de réfraction le plus élevé (tableau 3), en plus de son grand pouvoir couvrant, ce qui fait de lui un pigment de choix, massivement utilisé dans l'industrie des peintures

Le TiO₂ en poudre présente pour le spectre de la lumière visible un coefficient de diffusion élevé, 96% de la lumière est réfléchi ce qui donne à l'œil humain l'impression de couleur blanche.

Tableau 3: Les propriétés physiques du dioxyde de titane [22].

Phase	Rutile	Anatase	Brookite
Indice de réfraction	2,9467-2,6506	2,5688-2,6584	2,809-2,677
Densité	4,13	3,79	3,99
Energie du gap (eV)	3,05	3,26	3,14
Constante diélectrique	110	55	78

I.8. Mécanisme et le principe de photocatalyse hétérogène :

La photocatalyse fait intervenir trois points importants [23] :

- L'excitation du photocatalyseur,
- Les mécanismes réactionnels généraux,
- Les paramètres influençant l'activité photocatalytique.

I.8.1. Excitation du photocatalyseur :

En photocatalyse, les réactions d'oxydoréduction sont initiées par l'excitation électronique d'un matériau semi-conducteur suite à l'absorption de photons.

L'énergie de ces photons doit être au moins égale à celle de la largeur de bande interdite du matériau (E_g) pour promouvoir le déplacement d'un électron de la bande de valence (BV) à la bande de conduction (BC). Cela permet de générer un site oxydant (lacune positive ou trou : h^+) dans la bande de valence. L'électron photogénéré à la bande de conduction constitue également un site réducteur (e^-). La bande interdite (E_g) correspond à l'écart énergétique entre la bande de valence (BV) et sa bande de conduction (BC) [23].

I.8.2. Mécanismes réactionnels généraux :

Le principe de la photocatalyse est basé sur l'excitation d'un semi-conducteur par un rayonnement lumineux (UV ou visible). Sous l'action des photons, le semi-conducteur (ou catalyseur), mis en milieu aqueux, produit des radicaux libres très oxydants permettant la destruction des composés adsorbés à sa surface.

On prend le semi-conducteur TiO_2 comme un exemple dans notre mécanisme réactionnel.

Le semi-conducteur TiO_2 convertit l'énergie photonique en énergie chimique par réaction d'oxydo-réduction. Cela engendre l'activation de sites de TiO_2 puis la dégradation moléculaire

des composés présents. Le processus de dégradation consiste ensuite en une succession d'oxydations radicalaires initiées par des oxydants forts tels que l'OH[•]. Les radicaux hydroxyles formés OH[•] sont directement générés par la photolyse de molécules d'eau adsorbées sur les sites actifs de TiO₂ et ils participent également à la dégradation des polluants organiques [11] :



Les polluants organiques adsorbés sur le catalyseur sont alors dégradés par réactions radicalaires successives en espèces non toxiques. La capacité de dégradation du semi-conducteur est liée à plusieurs paramètres :

- La nature et l'intensité de l'irradiation ou de la source lumineuse, c'est-à-dire le nombre de photons incidents permettant l'activation du TiO₂;
- La nature du milieu réactionnel (la quantité de TiO₂ (ou sites actifs)), et la teneur en eau permettant la production de radicaux hydroxyles ;
- La nature et les concentrations en polluants.

On peut, de manière succincte, décrire le processus de dégradation des polluants en quatre étapes successives :

Première étape : Activation du TiO₂ :

L'étape d'activation de la photocatalyse correspond à la formation de pair trou-électron au sein de l'oxyde métallique. Pour générer une paire trou-électron, il est nécessaire de fournir de l'énergie, d'une valeur supérieure ou égale à la bande interdite (BI) (ou gap), pour que l'électron puisse passer de la bande de valence (BV) à la bande de conduction (BC). L'irradiation par des photons est la méthode la plus simple pour activer ce dernier. Ainsi, quand l'énergie du photon est supérieure ou égale à celle de la bande interdite, il y a formation d'un pair électron-trou (voir réaction (2)).

Dans le cas de l'anatase, l'énergie du photon doit être supérieure ou égale à 3.2 eV, une irradiation de longueur d'onde λ_{ex} inférieure à 388 nm est nécessaire pour une activité photocatalytique. Pour le rutile, E_{ex} est supérieure ou égale à 3 eV, soit une irradiation de longueur d'onde λ_{ex} inférieure à 413 nm pour permettre la mise en place de sites actifs . Il s'établit alors un transfert de charge entre ces paires électron-trou et les espèces adsorbées à la surface du TiO₂[25].



Deuxième étape : Séparation des électrons et des trous :

Lors de l'irradiation d'un rayonnement, un électron de la BV se déplace vers la BC et laisse un trou. C'est le phénomène d'excitation électronique représenté par la **figure 5** :

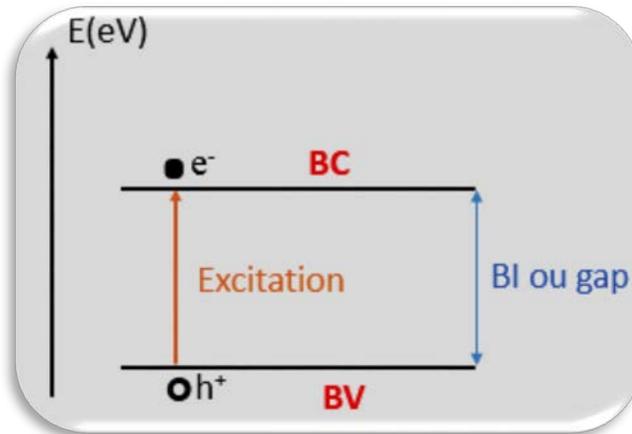


Figure 5: Excitation d'un électron.

La durée de vie des paires électron-trou (e^-/h^+) est de quelques nanosecondes et leur recombinaison s'accompagne d'une émission de photons (figure 6).

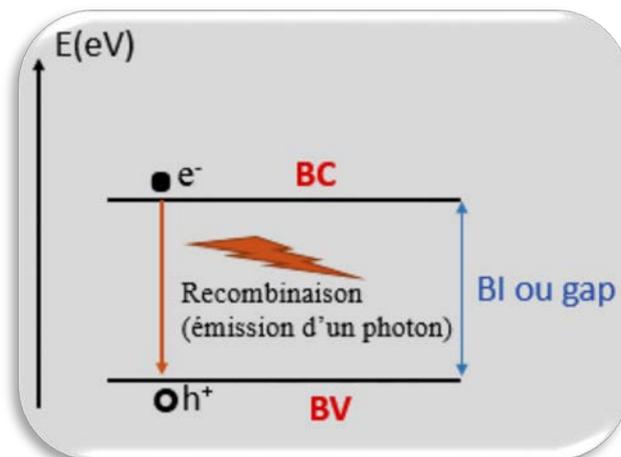
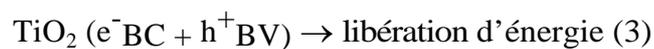


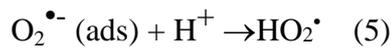
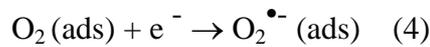
Figure 6: Recombinaison d'un électron.



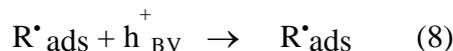
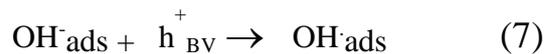
Dès lors, en absence d'accepteur et de donneur d'électrons appropriés, une réaction de recombinaison électron/trou très rapide a lieu. Pour que l'oxydation photocatalytique soit efficace, il faut éviter cette recombinaison.

Troisième étape : Réactions d'oxydation et de réduction :

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 interviennent la dépollution. D'un côté, les électrons réagissent avec des accepteurs d'électrons tels que l'oxygène adsorbé sur le photocatalyseur pour former des radicaux superoxydes $O_2^{\bullet-}$ (ads)



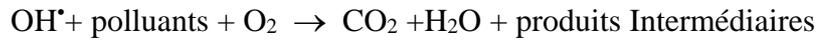
De l'autre côté, les trous h^+ réagissent avec certaines espèces susceptibles de donner des électrons. Ainsi, ils forment des radicaux hydroxyles et R^{\bullet} en oxydant ces donneurs d'électrons tels que l'eau, les anions OH^-_{ads} et les produits organiques R_{ads} adsorbés à la surface du semi-conducteur (réactions (6, 7, 8))



Quatrième étape : Dégradation des molécules organiques:

À leur tour, les radicaux générés (OH^{\bullet} , $O_2^{\bullet-}$, R^{\bullet}) sont très oxydants et peuvent décomposer des substances (polluants réfractaires, pesticides, herbicides, colorants, etc.) adsorbés sur la surface du semi-conducteur. Les produits finaux de ce mécanisme sont principalement de l'eau, du dioxyde de carbone et des produits intermédiaires. Dans les conditions courantes d'utilisation, les techniques photocatalytiques ne permettent pas d'obtenir directement une minéralisation totale des molécules traitées (formation exclusivement de CO_2 et H_2O sans présence d'intermédiaires). La quantité de polluant minéralisé dépend de la technique de photocatalyse utilisée (réacteur statique ou dynamique, volume traité, surface de catalyseur, source et puissance UV et

concentrations des polluants). Il apparaît donc obligatoirement des produits de dégradation intermédiaires de nature différente selon les composés initiaux. Il est possible d'écrire la réaction de la photocatalyse comme étant :



Finalement, un polluant contenu dans une phase liquide va, pour faire suite à une succession de processus d'adsorption et de désorption, être dégradé par le photocatalyseur activé par UV et les radicaux générés (OH^\bullet , O_2^\bullet , R^\bullet).

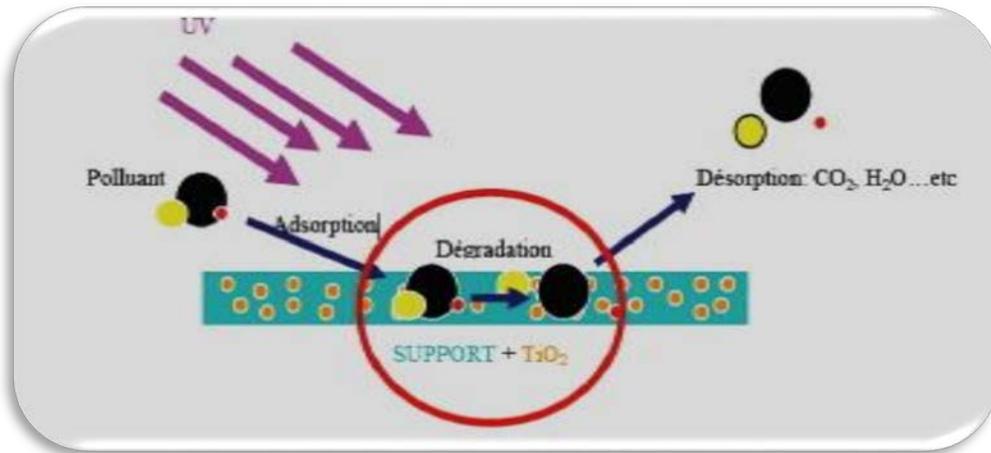


Figure 7 : Mécanismes de la photocatalyse.

I.9. Aspect cinétique de la photocatalyse :

D'une manière générale, on peut dire que le mécanisme réactionnel de la photocatalyse est caractérisé par deux processus ; l'un chimique et l'autre physique :

- Le processus chimique consiste en une réaction chimique de dégradation proprement dite ;
- Le processus physique comporte le transport jusqu'à l'interface solide où la transformation a lieu.

-Photocatalytique décomposé en cinq étapes :

- Diffusion de la matière polluante du liquide jusqu'à l'interface du catalyseur;
- Adsorption de polluants sur le catalyseur;
- Réaction photocatalytique des molécules adsorbées (oxydation des substances adsorbées);
- Réduction des trous - électrons (réaction chimique);
- Désorption du produit de la réaction;

- Diffusion du produit vers le milieu liquide (dans la phase homogène)

La figure 8 résume l'ensemble des processus physico-chimiques qui se produisent au niveau du média photocatalytique. C'est l'ensemble des processus exposés au niveau de la particule de TiO₂.

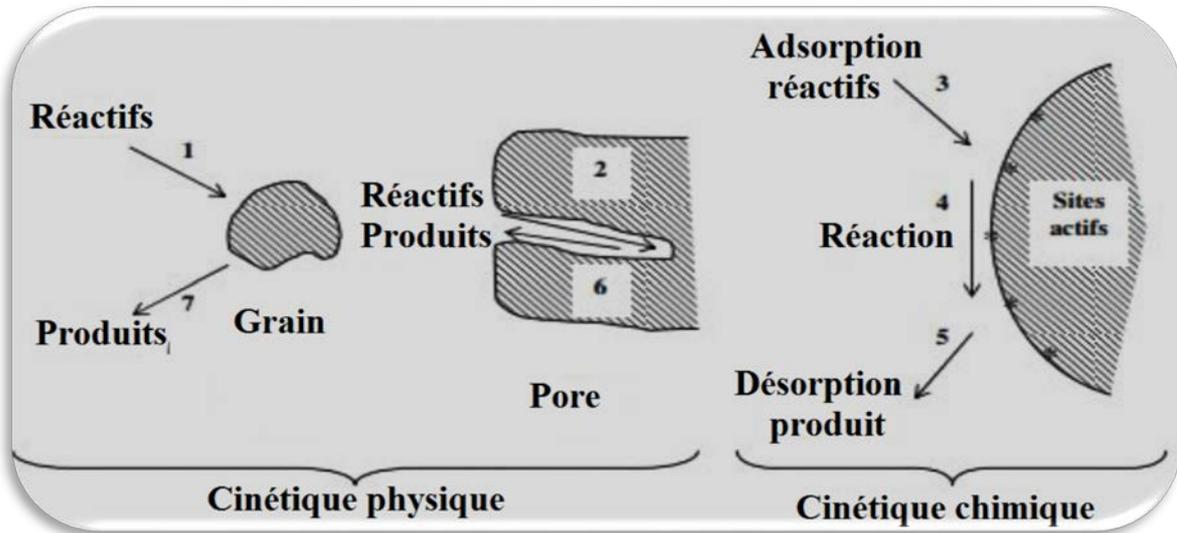


Figure 8: Étapes d'un procédé catalytique.

1.10. Montage et caractéristique de la cellule photocatalytique

Les expériences de photocatalyse doivent être effectuées dans un cristallisateur d'un volume précis. Afin d'éviter toute interférence avec la lumière visible, les manipulations doivent être réalisées dans une structure rectangulaire noire fermée. Pour initier la réaction photocatalytique, une ou plusieurs lampes doivent être fixées horizontalement sur un support à l'intérieur de la boîte.

Ce sont des lampes blanches, émettant à une longueur d'onde plus que 365 nm (UVA) et possédant chacune une puissance suffisante. Le mélange réactionnel doit être placé sur une plaque agitatrice.



Figure 9: Un photocatalyseur .

I.11. Application de la technique photocatalyse dans les STEP

Les applications photocatalytiques pour la dépollution de l'eau sont déjà arrivées au stade du pilote industriel. Plusieurs stations solaires sont actuellement en fonctionnement de par le monde. Les travaux de la plate-forme solaire d'Almeria (P.S.A), situé dans le sud de l'Espagne [37], ont montré l'efficacité de l'énergie solaire pour dégrader un grand nombre de polluants des eaux. Les projets « Solwater » réalisé entre l'Afrique du nord et la France, et « Aquacat » réalisé entre l'Argentine et la France, pour potabiliser des eaux de surface, reposent sur la conception d'un photocatalyseur pilote solaire (figure I.8) totalement autonome permettant de fournir de l'eau potable à des communautés isolées sans eau ni électricité dans des régions semi-arides où l'éclairement solaire est considérable (Projets Solwater et Aquacat) , ce qui représente une bonne alternative pour les zones à fort ensoleillement

Une installation (RayWOx) de démonstration (figure 9) a été inaugurée au Centre aérospatial allemand (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR) sur le site de Lampoldshausen. Cette installation peut économiser 90% d'énergie lors de la dégradation des impuretés sur une surface de 240 m² pour traiter environ 4500 litres d'eaux usées industrielles [24].

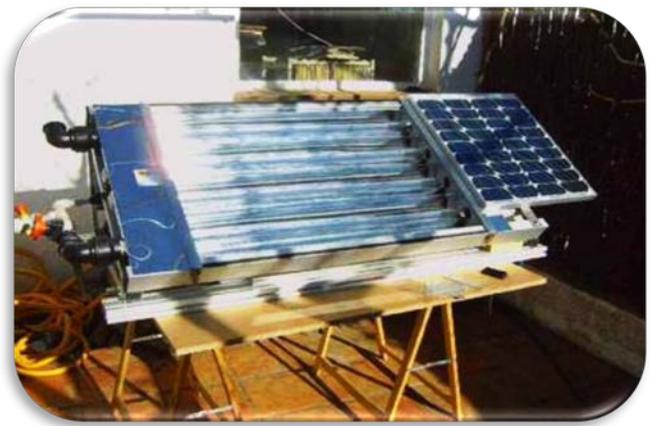


Figure 10 :Photoreacteur pilote solaire (Projets Solwater et Aquacat) et RayWOx Receiver Hirschmann.

Une nouvelle station de traitement des eaux par photocatalyse solaire a été développée à Almeria, en Espagne, pour traiter des eaux de rinçage des bouteilles des pesticides (Figure 11). Ce traitement a pu atteindre un taux de minéralisation supérieure à 80%. Cette eau est réutilisée à nouveau pour le rinçage des bouteilles ou déchargée pour l'irrigation à travers un filtre à charbon actif. Une autre station de traitement local a été conçue pour le traitement des eaux polluées par photocatalyse hétérogène solaire, l'industrie Hidrocen (Arganda del Rey, Madrid, Spain) traite 1 m³/h d'eau avec 100 m² de collecteur placé en parallèle avec des tubes de 1,5 m de longueur.

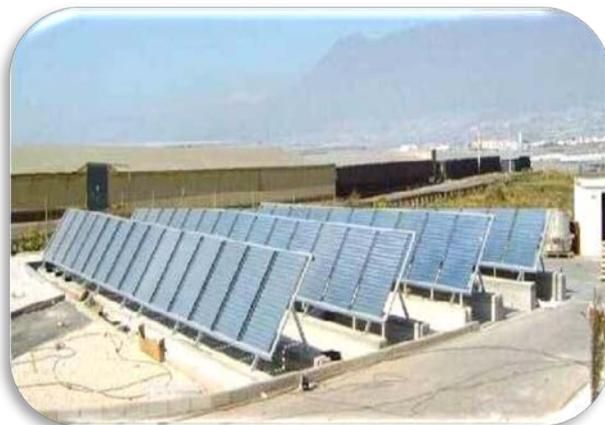


Figure 11 : Photocatalyseur solaire (Madrid, Espagne) et (Almeria, Espagne).

Chapitre II :
Techniques d'analyse

II.1 Prélèvement des échantillons :

Les récipients utilisés ne doivent pas apporter de toxiques et assurer, une fois bouchés, une protection totale contre toute contamination extérieure. Ils sont en verre borosilicaté à bouchage émeri, lavés puis rincés à l'eau déminéralisée. Ensuite, ils sont séchés à l'abri de l'air, bouchés au coton cardé et étiquetés. La manipulation est la même pour les bouchons.

Les flacons et les bouchons sont ensuite stérilisés par autoclavage. Pour être réutilisables, les flacons d'échantillonnage doivent pouvoir résister à des stérilisations répétées sans produire, ni reléguer, de substances susceptibles d'inhiber ou de favoriser la croissance bactérienne. Il existe des flacons stériles en matière plastique et à usage unique, plus faciles d'utilisation. Pour des prélèvements d'eau traitées par des oxydants (chlore, ozone, brome...), un agent réducteur est ajouté pour neutraliser leur pouvoir bactéricide ou bactériostatique. L'agent neutralisant ne doit pas affecter la viabilité ou la croissance des organismes recherchés. L'agent réducteur le plus souvent utilisé pour le chlore est le thiosulfate de sodium à 10%.

Il convient d'être très attentif pour éviter toute contamination accidentelle de l'échantillon durant le prélèvement, ce qui implique le respect de règles précises. Ces règles seront différentes selon le point de prélèvement ; le plus couramment, le prélèvement sera fait au niveau d'un robinet. C'est le cas du contrôle des eaux distribuées avec des prélèvements sur le réseau, dans des lieux publics ou chez des particuliers, ainsi que le contrôle fait sur le site de traitement de l'eau.

Pour la technique de prélèvement au niveau d'un robinet est la suivante :

- Eliminer les accessoires qui peuvent créer des éclaboussures et, avec un chiffon propre, nettoyer l'extérieur du robinet pour éliminer tout déchet.
- Ouvrir le robinet à son débit maximum et laisser l'eau s'écouler pendant 1 à 2 minutes. Fermer le robinet.
- Stériliser le robinet pendant 1 minute avec un coton imbibé d'alcool enflammé. Un petit Chalumeau peut être utilisé.
- Ouvrir doucement le robinet et laisser l'eau s'écouler, à un débit moyen, pendant 1 à deux minutes.
- Ouvrir la bouteille stérile en enlevant la ficelle entourant le papier de protection ainsi que le coton qui bouche le flacon
- Remplir le flacon en tenant le bouchon dans sa protection orientée vers le bas pour éviter

que des poussières viennent se déposer à l'intérieur.

- Un petit volume d'air doit rester à la surface de manière à faciliter l'agitation de l'eau avant son analyse.
- Fermer le flacon avec le bouchon qui sera recouvert par son enveloppe de protection.



Figure 12: photo d'un échantillons prélevé.

II.2 Paramètres physico-chimiques:

II.2.1 Potentiel des ions hydronium (pH) :

Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre l'acide et la base sur une échelle de 0 à 14. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau (tableau 4). La valeur du pH altère la croissance et la reproduction des micro-organismes existants dans une eau. Le pH peut être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie.

Tableau 4: Classification des eaux selon leurs pH.

pH	Etat et type d'eau
$\text{pH} < 5$	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles.
$\text{pH} = 7$	pH neutre.
$7 < \text{pH} < 8$	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface.
$5,5 < \text{pH} < 8$	Majorité des eaux souterraines.
$\text{pH} = 8$	Alcalinité forte, évaporation intense.

Le mode opératoire suivi est :

- Allumer le pH-mètre (Figure 13)
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée
- Etalonner le pH-mètre par des solutions tampons pH=4,13 et pH=7.
- Rincer l'électrode de verre avec l'eau distillée
- Mesurer le pH de l'échantillon



Figure 13: pH-mètre.

II.2.2 Conductivité :

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. La température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité.

Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25°C. Les appareils de mesure utilisés sur le terrain effectuent en général automatiquement cette conversion. Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est simple et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau. Comme la température, des contrastes de conductivité permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélanges ou d'infiltration...etc.

La conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau, la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au laboratoire.



Figure 14: Conductimètre.

Dans la cellule de conductimètre (Figure 14) les mesures de la conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de surface de 1 cm^2 séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

Chapitre II : Techniques d'analyse

La conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (tableau 5). D'une façon générale, la conductivité s'élève progressivement de l'amont vers l'aval des cours d'eau, les écarts sont d'autant plus importants que la minéralisation initiale est faible, en particulier dans les zones à substrat acide ou à sous-sol siliceux. Dans le cas d'un contrôle de distribution d'eau potable, l'intérêt de cette méthode ne réside pas dans une seule mesure mais dans une série de déterminations ou d'enregistrements en continu qui permettront de déceler les variations de composition pouvant signaler des arrivées d'eau susceptibles d'être polluées.

Tableau 5: Qualité des eaux en fonction de la conductivité.

Conductivité < 100 μ S/cm	Minéralisation très faible
100 μ S/cm < Conductivité <200 μ S/cm	Minéralisation faible
200 μ S/cm < Conductivité <333 μ S/cm	Minéralisation moyenne
333 μ S/cm < Conductivité <666 μ S/cm	Minéralisation moyenne accentuée
666 μ S/cm < Conductivité <1000 μ S/cm	Minéralisation importante
Conductivité >1000 μ S/cm	Minéralisation élevée

II.2.3 Demande chimique en Oxygène (DCO) :

La DCO exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant, le bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complet des matières oxydables présentes dans l'échantillon (certains hydrocarbures ne sont, par exemple, pas oxydés dans ces condition). L'objectif de la DCO est donc différé de celui de la DBO.

Mode opératoire :

- Ouvrir une cuvette de réaction à couvercle blanc à visser et verser 2 ml d'eau déminéralisée (cuvette étalon)

Chapitre II : Techniques d'analyse

- Ouvrir une deuxième cuvette de réaction à couvercle blanc à visser et verser 2 ml d'eau échantillon (cuvette échantillon)
- Bien refermer les cuvettes avec leur couvercle respectif. Mélanger le contenu en l'agitant avec précaution. (Attention ; dégagement de chaleur)
- Exposer pendant 2 heures les cuvettes à une température de 150° C dans le réacteur thermique préchauffé.
- (Attention : les cuvettes sont brûlantes). Retirer les cuvettes du bloc chauffant et laisser refroidir jusqu'à une température de 60 °C ou moins. Bien mélanger le contenu en retournant les cuvettes lorsqu'elles sont encore chaudes. Puis laisser refroidir les cuvettes à température ambiante et procéder à la mesure seulement après.
- Placer la cuvette étalon dans la chambre de mesure.
- Appuyer sur la touche ZERO.
- Retirer la cuvette de la chambre de mesure.
- Placer la cuvette échantillon dans la chambre de mesure.
- Appuyer sur la touche TEST.



Figure 15: Tubes des tests du dosage de DCO.

L'appareil de spectrophotomètre de type SPECTRODIRECT, qui est conçu pour l'analyse des différents paramètres en eau potable et/ou usée. Cet appareil offre un maximum de confort d'utilisation, de fiabilité et de sûreté de mesure.



Figure 16 : Spectrophotomètre.

II.2.4 Demande biochimique oxygène (DBO₅):

La DBO est mesurée de façon standardisée sur 5 jours, d'où l'appellation DBO₅. En moyenne, par habitant et par jour, on compte 90 g de matières en suspension (MES), 60g de DBO₅ 120g de DCO, 15g d'azote total et 4g de phosphore total.

Une quantité d'eau est versée dans une bouteille d'incubation de 300 ml, reliée à un manomètre à mercure ou fermée avec un bouchon muni d'un capteur de pression. Le volume choisi est fonction de la gamme de mesures souhaitée. L'appareil de mesure, de type IS 602, est placé dans un réfrigérateur maintenu à 20°C. On suit ensuite, en fonction du temps, soit tous les jours pendant 5 jours pour la DBO₅, la consommation d'oxygène, qui se traduit par une diminution de la pression d'air.

On procède enfin à la correction de la mesure par un facteur correctif qui dépend de la quantité d'échantillon prélevée et de la gamme de mesure souhaitée. L'oxydation des matières organiques provoque la formation de CO₂ qui sera piégé par une solution de KOH. Ainsi il se développe une dépression dans la bouteille. L'adjonction de 1 allyle 2 thio-urée : C₄H₈N₂S permet d'inhiber la nitrification car l'oxydation des dérivés ammoniacaux et des nitrites en nitrates absorbe également de l'oxygène. Cette amine joue un rôle d'inhibiteur. A introduire pour la mesure des eaux de sortie.



Figure 17: Flacons de mesure de DBO₅.

Mode opératoire :

Pour le mode opératoire :

- Mesurer la quantité désirée (selon le tableau 6) avec le ballon jaugé de trop-plein et verser dans la bouteille propre ;
- Introduire l'agitateur magnétique dans chaque bouteille ;
- Ajouter une pincée de l'allyle thio-urée ;
- Mettre 2 pastilles d'hydroxyde de potassium dans chaque bouchon intérieur (noir) avec deux pincettes ;
- Visser sans fermer hermétiquement le bouchon ;
- Mettre sur le système d'agitation à 20 °C ;
- Laisser s'établir l'équilibre pendant 30 mn et fermer hermétiquement le bouchon ;
- Relever les valeurs après 5 jours ;
- Utiliser les mesures des autres groupes et déterminer la précision des mesures. Il est recommandé d'effectuer le double de chaque dosage (selon la disponibilité du matériel de mesure).

La demande biochimique en oxygène pour une analyse dépend de la charge en substances organiques. La mesure de la DBO₅ peut être évaluée à environ 80 % de la DCO.

Tableau 6: Volumes d'eau utilisés dans l'analyse de la DBO₅.

Portée de mesure (mg/l)	Quantité (ml)	Facteur
0-40	432	1
0-80	365	2
0-200	250	5
0-400	164	10
0-800	97	20
0-2000	43,5	50
0-4000	22,7	100

II.2.5 Spectroscopie infrarouge :

Le principe de la spectroscopie IR à transformée de Fourier est une technique fréquemment utilisée pour l'analyse de la matière organique. Elle repose sur l'interaction entre des ondes lumineuses et les vibrations des atomes des molécules. Lorsqu'un spectre polychromatique interagit avec un solide ou avec des molécules, on observe une absorption à certaine fréquence propre au solide ou à la molécule. Cette absorption, traduite sous forme de pics, correspond à des fréquences de vibrations. Chaque mode de vibration est caractérisé par une énergie particulière.



Figure 18 : Spectrophotomètre infrarouge à transformée Fourier.

Chapitre II : Techniques d'analyse

Cette technique permet d'analyser la matière à l'état gazeux, liquide ou solide. On observe principalement des bandes en rapport avec deux modes de vibrations :

- Vibration d'élongation, c'est l'oscillation de deux atomes liés dans l'axe de leur produisant une variation périodique de leur distance
- Vibration de déformation, c'est l'oscillation de deux atomes liés à un troisième, produisant une variation périodique de l'angle de deux liaisons.

Dans notre étude nous utiliserons un spectrophotomètre à transformée de Fourier (Shimadzu FTIR IR-Affinity-) (figure 18). Le spectre infrarouge d'inhibiteur sera enregistré dans le domaine de nombre d'onde de $500\text{-}4000\text{cm}^{-1}$.

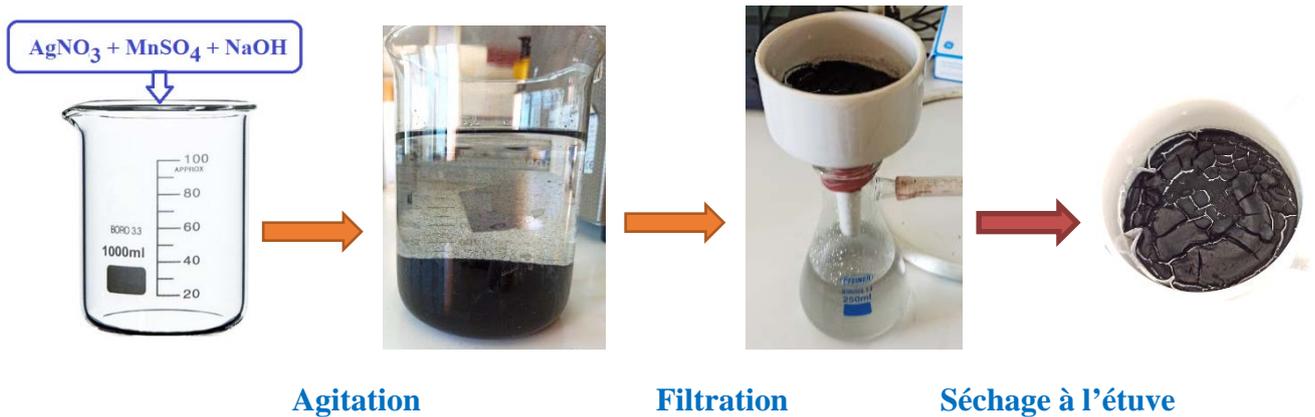
Chapitre III : Résultats et Discussion

III.1. Synthèse du matériau photocatalyseur Ag_2MnO_2 :

Dans cette étude le matériau photocatalyseur Ag_2MnO_2 a été synthétisé au niveau de notre laboratoire de génie de l'environnement (Figure 19), par une réaction redox entre le sulfate de manganèse monohydraté ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) et le nitrate d'argent (AgNO_3) en présence de la soude (NaOH). Après une agitation de quinze minutes, la réaction redox conduit à la formation d'un précipité de couleur noir, le précipité est ensuite soumis à une filtration et au lavage avec l'eau distillée plusieurs fois, ensuite le produit final est séché dans l'étuve à une température de 80°C pendant 48 h. La réaction de synthèse du Ag_2MnO_2 peut s'écrire de cette façon :



Figure 19: Synthèse de Ag_2MnO_2 .



Nous avons utilisé la spectroscopie infrarouge pour identifier les groupements fonctionnels majeurs ainsi que certaines bandes caractéristiques. Le spectre infrarouge du colorant synthétisé a été réalisé à l'aide d'un spectrophotomètre à transformée de Fourier sous la forme d'une pastille de KBr. Il a été enregistré en transmittance dans la zone de fréquence comprise entre 4000 à 400 cm^{-1} .

La figure 20 montre le spectre IR du matériau synthétisé Ag_2MnO_2 . Sur le spectre, nous pouvons relever l'existence de plusieurs groupements fonctionnels matériau photocatalyseur en se basant sur les absorptions des liaisons moléculaires en tant qu'énergie de vibration type élongation ou déformation, les attributions des différentes bandes de transmittance sont indiquées dans le tableau 7.

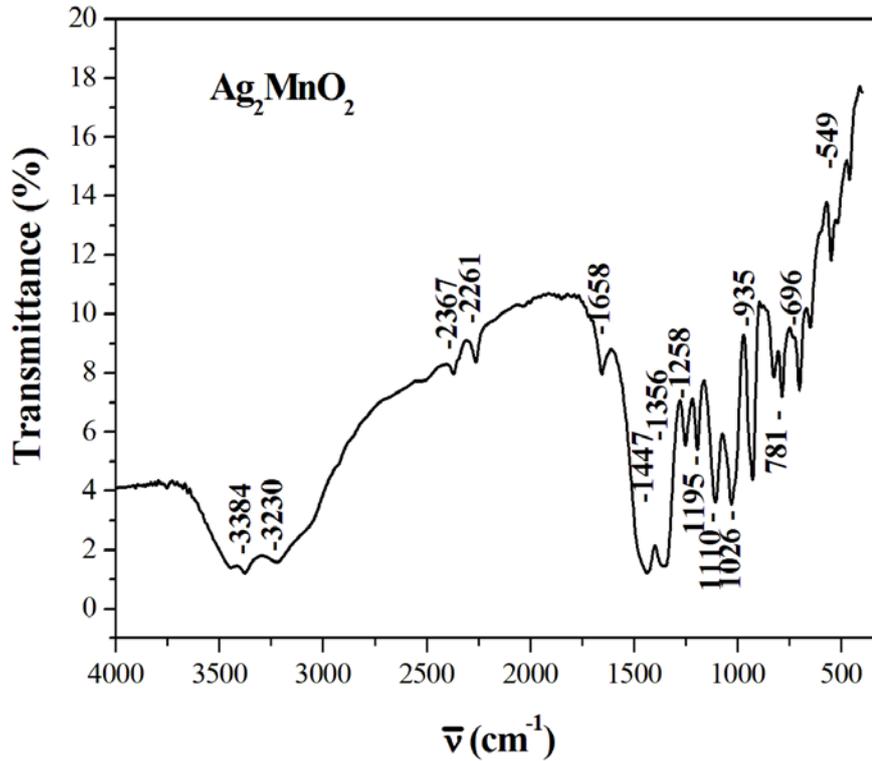


Figure 20: Spectre infrarouge du matériau Ag_2MnO_2

Tableau 7 : les différentes bandes de transmittance.

Position de la bande de transmittance (cm^{-1})	Attributions
3384 – 3230	Vibration d'élongation de la liaison ν –OH
2367-2261	KBr hydraté (molécules de H_2O)
1658 - 1447 - 1356	Vibrations de déformation dans le plan de la liaison O–H combinées dans la structure Ag_2MnO_2
1258-1195	/
1110-1026	Vibration de déformation de la liaison OH hors du plan combinée à l'atome l de Mn ou Ag dans la structure Ag_2MnO_2
935, 781, 696 et 549	Vibrations d'élongation de la liaison Mn–O et Ag–O dans la structure Ag_2MnO_2

III.2. Prélèvement de l'échantillon d'eau

Le 21 juin 2021, nous avons prélevé un échantillon d'une eau usée à l'entrée de la STEP d'Ain Taghrouit. Une fois réceptionné au laboratoire, l'échantillon a fait l'objet d'une analyse des différents paramètres tel que le pH, la conductivité ionique, MES, DBO_5 , DCO, salinité et TDS.

Les résultats des analyses de l'échantillon sont indiqués dans le tableau 8 suivant :

Tableau 7: Analyses physicochimique de l'échantillon prélevé le 21/06/2021

	Eau usée à l'entrée de la STEP
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2240
Salinité	1,1
TDS (mg/l)	/
pH	7,63
DCO (mg/l)	600
DBO₅ (mg/l)	300

III.3. Traitement de l'échantillon prélevé par photocatalyse :

Dans cette étude nous avons utilisé le procédé de photocatalyse, qui consiste à utiliser le matériau synthétisé Ag_2MnO_2 comme matériau photocatalyseur, la dégradation des polluants organiques dans l'eau usée prélevé s'effectue en présence de la lumière visible et du matériau photocatalyseur en même temps. Les réactions photocatalytiques hétérogènes ont lieu à la surface du semi-conducteur Ag_2MnO_2 , les propriétés de surface du semi-conducteur jouent un rôle crucial dans la détermination de l'efficacité et des mécanismes de la réaction photocatalytique.

Le procédé de photocatalyse a été suivi par la mesure de la demande chimique en oxygène (DCO) en fonction de la masse de Ag_2MnO_2 . Puisque la DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques dissoutes ou en suspension dans l'eau, à travers la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale.

La figure 21 montre l'évolution de la DCO en présence de différentes masses de Ag_2MnO_2 (0 - 0,01 - 0,02 - 0,05 - 0,07 - 0,1 et 0,2 g) pour 1 litre d'une eau usée traitée. Nous remarquons clairement que la DCO est diminuée significativement en fonction de la masse du matériau photocatalyseur ajoutée, de 600 mg/l jusqu'à 62 mg/l, pour une masse optimale elle est déterminée en extrapolant la courbe dans l'axe des masses, nous avons obtenu une masse de 0,07 g de Ag_2MnO_2 pour 100 ml de cette eau usée, ce qui donne une masse 700 g du matériau pour 1000 Litres. La diminution de la DCO est expliquée par la dégradation des polluants organiques contenus dans l'échantillon initial, ce qui confirme la bonne activité photocatalytique du matériau synthétisé.

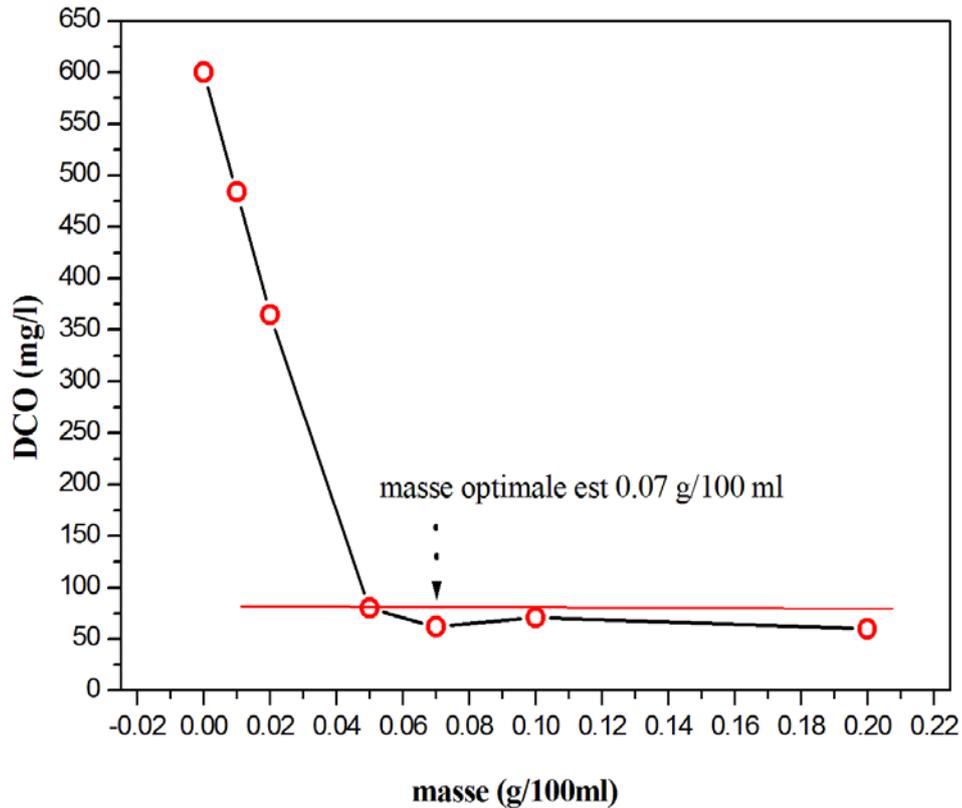


Figure 21: Courbe d'évolution de la DCO en fonction de la masse de Ag_2MnO_2 .

La figure 22 montre l'évolution du rendement de la photo dégradation à différentes masses de Ag_2MnO_2 . Le calcul du taux d'élimination a été effectué par l'équation (1) suivante :

$$\text{Taux d'abattement en DCO} = \frac{\text{DCO initiale} - \text{DCO finale}}{\text{DCO initiale}} * 100\% \quad (1)$$

Avec :

DCO *initiale* : la DCO initiale

DCO *finale* : la DCO à l'équilibre.

On observe un important taux d'abattement en DCO est obtenu à une masse optimale de 0,07 g, et qui atteint un pourcentage de 90 %. Nous observons que cette valeur de DCO est presque dans la norme selon les règlements algériens des rejets (<120 mg/l).

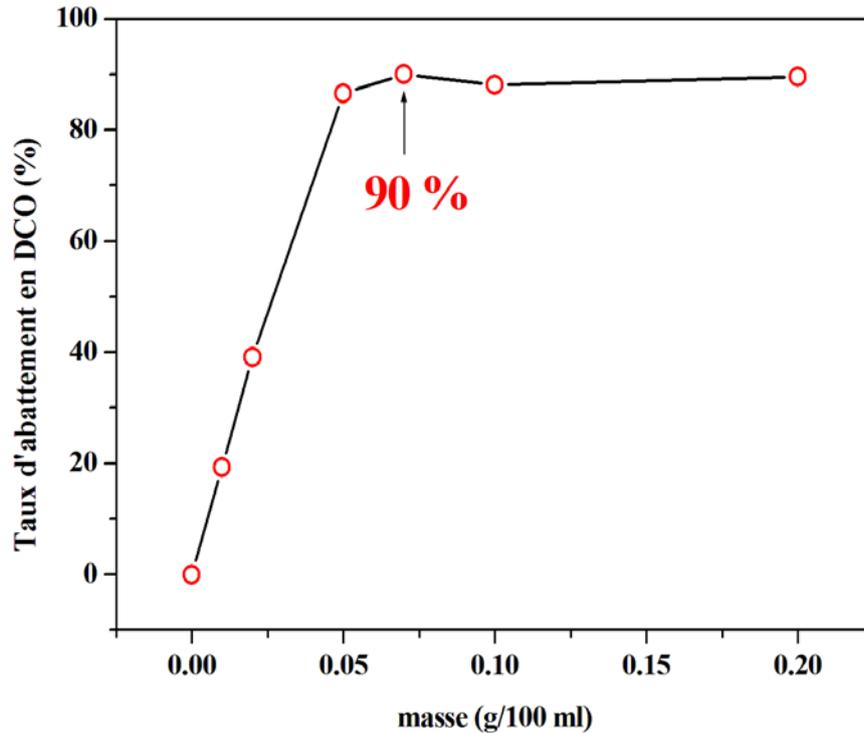


Figure 22: Rendement de la photo dégradation (taux d'abattement en DCO) sous une illumination visible et en présence de différentes masses de Ag_2MnO_2 .

Pour mieux confirmer que le traitement a été effectué par photocatalyse, l'échantillon initial a subi à un traitement par les différents procédés (Figure 23):

- ✓ Adsorption à l'obscurité ;
- ✓ Photolyse ;
- ✓ Photocatalyse.

L'adsorption à l'obscurité est la capture des différentes molécules organiques sur la surface du réacteur en absence de la lumière, les polluants doivent s'adsorber sur la surface du semi-conducteur Ag_2MnO_2 .

La photolyse directe consiste en l'irradiation d'une eau usée à l'entrée de la STEP en absence du matériau photocatalyseur, Les réactions photochimiques (réactions de dégradation) sont initiées par absorption de la lumière par matière organique à dégrader.

La photocatalyse consiste à utiliser la masse optimale de Ag_2MnO_2 comme matériau photocatalyseur et en présence de la lumière visible.

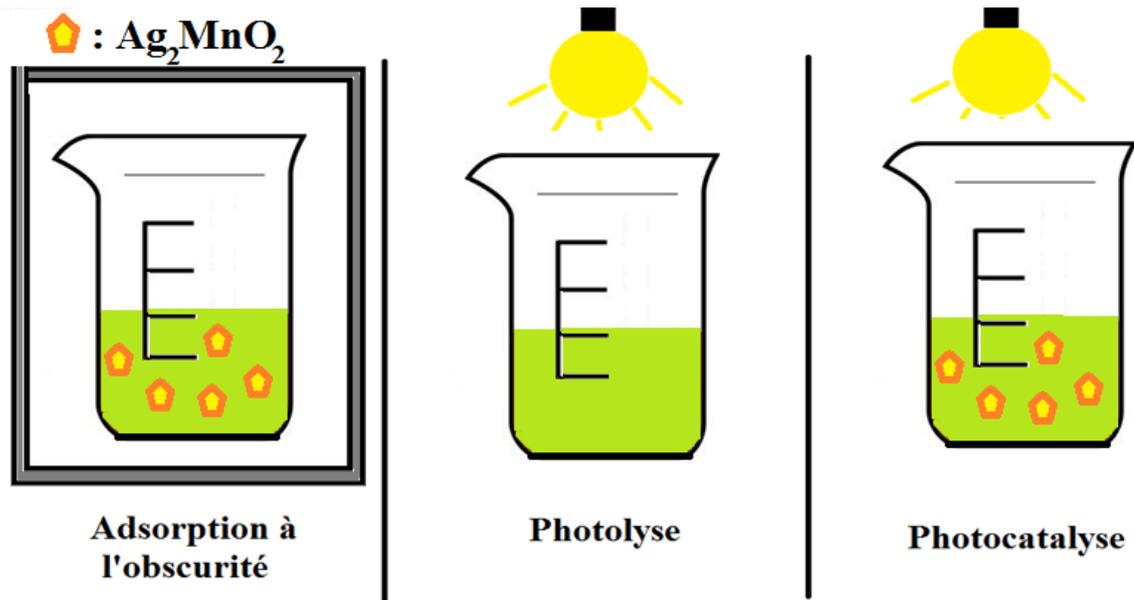


Figure 23 : Traitement d'une eau usée par les différents procédés (adsorption, photolyse et photocatalyse).

Les résultats des analyses de la DCO, sont représentés dans la figure 24. On observe que la DCO a été diminuée de 600 mg/l jusqu'à 60 mg/l, ce qui représente un rendement d'abattement de DCO de 90 % supérieur à celui obtenu par photolyse (54%) ou par adsorption (53%). Concernant les résultats de la DBO₅ figure 25, les mesures d'ont montré une diminution importante de la matière organique biodégradable de 300 mg/l dans l'eau usée de la STEP jusqu'à 26 mg/l pour l'eau traitée par le procédé de la photocatalyse, ce qui représente un taux d'abattement 91%.

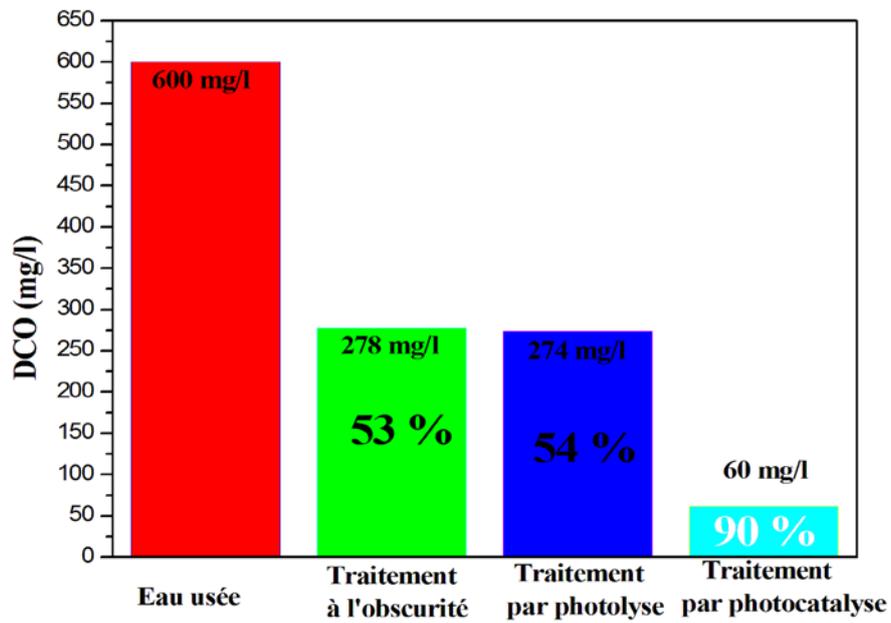


Figure 24: Evolution de la DCO et le pourcentage d'élimination des polluants selon les différents procédés.

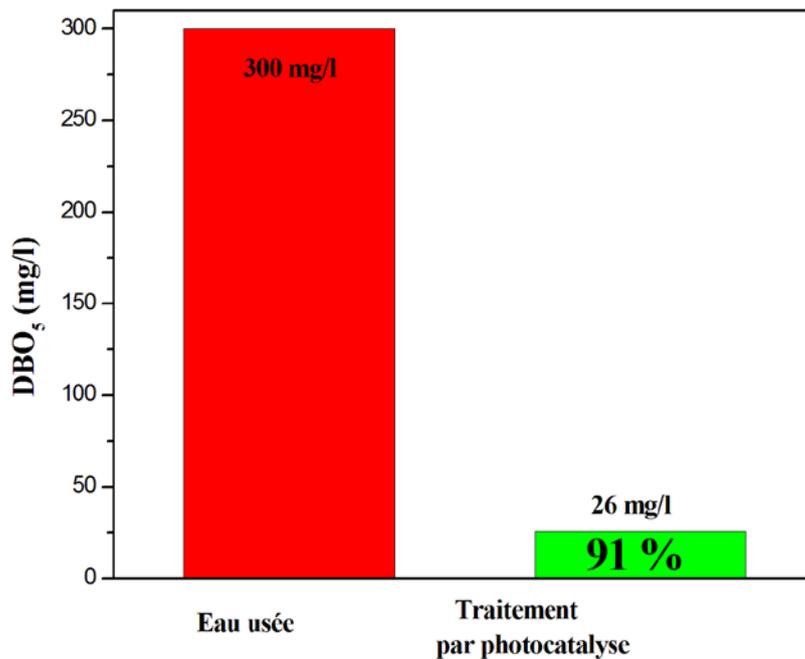


Figure 25: Evolution de la DBO₅ et le pourcentage d'élimination des polluants par photocatalyse.

Les analyse de pH, conductivité, salinité et TDS (Figure 26), on observe le pH augmente avec l'augmentation de la masse du matériau Ag_2MnO_2 , cette augmentation est attribuée au trace de NaOH sur les grains du matériau photocatalyseur et qui doit subir à un bon lavage à l'eau distillée pour éliminer tous les traces de la base dans les pores des grains.

Concernant les résultats de la conductivité, salinité et TDS, on remarque clairement une diminution dans les valeurs de ces paramètres cette diminution est dû à l'élimination des polluants dans l'eau usée.

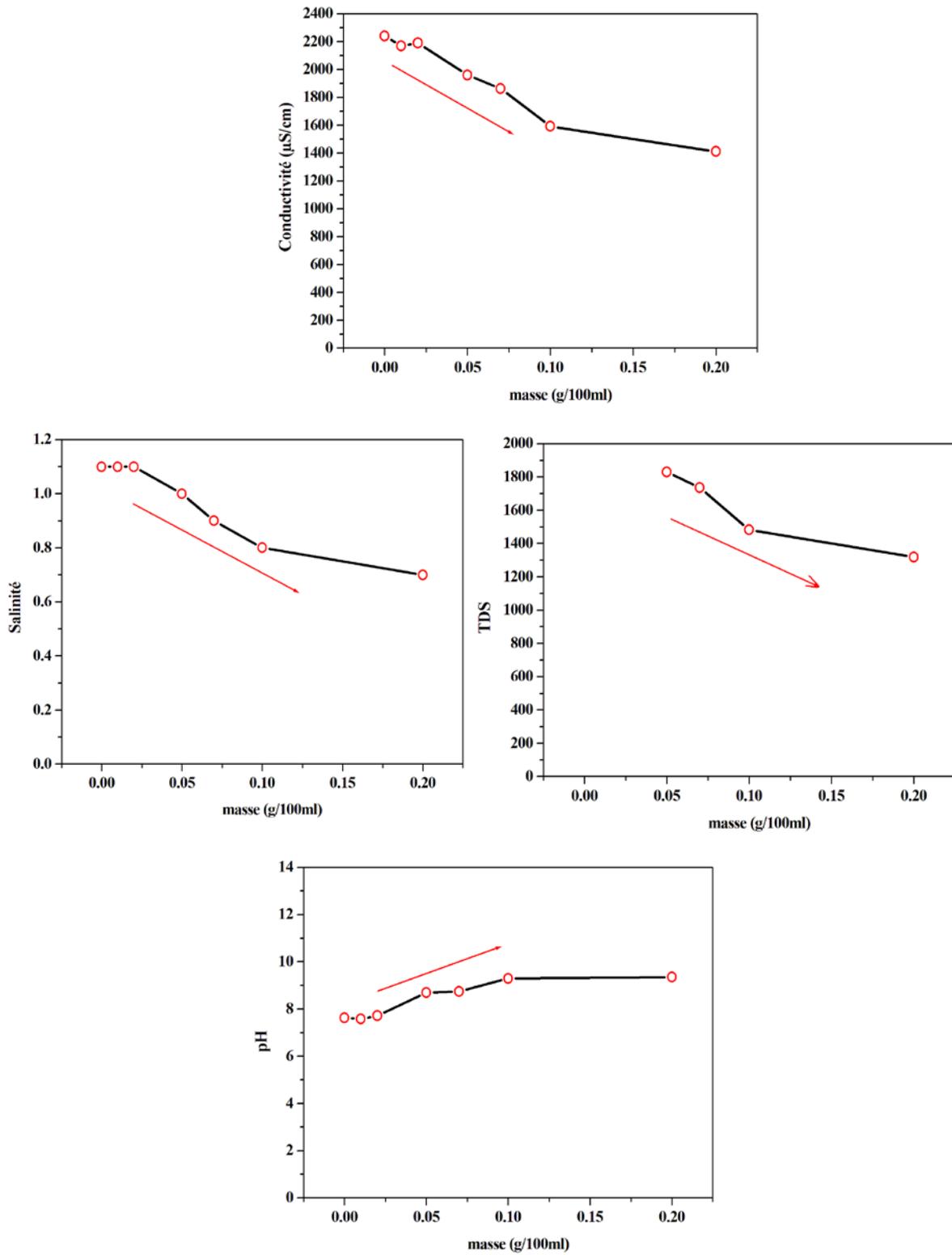


Figure 26: Evolution de pH, conductivité, salinité et TDS après l'élimination des polluants par photocatalyse.

Enfin, On peut conclure que d'après les résultats obtenus sont très encourageantes, le Ag_2MnO_2 est un bon matériau photocatalyseur et qui possède des propriétés très importantes puisqu'il est photoactif dans le visible, biologiquement et chimiquement inerte, il est photostable et non toxique, ce matériau pourra être utilisé comme un matériau dans les cellules de photocatalyse.

IV. Conclusion :

Le présent travail aborde la caractérisation physico-chimique des eaux de la STEP d'Ain Taghrout, les paramètres de l'étude ont été caractérisés suivant un scénario qui dresse une analyse générale, prenant en compte des seuils relativement plus ouverts, en particulier ceux proposés par la norme algérienne.

La caractérisation des eaux usées brutes a révélé que ce rejet liquide est chargé en matière organique en terme moyenne de DCO (600 mg/l), en DBO₅ (300 mg/l), en conductivité ionique (2240 µS/cm) et avec un pH assez alcalin de 7,63. Le rapport DCO/DBO₅ (2) montre que ces eaux usées sont de type industrielles, elles présentent une charge organique élevée et non biodégradable.

Dans la photocatalyse nous avons utilisé le Ag₂MnO₂ comme matériau photocatalyseur, ce produit a été synthétisé au niveau de notre laboratoire, les résultats obtenus sont très encourageants puisque :

La teneur en DCO a été diminuée de 600 mg/l jusqu'à 60 mg/l, ce qui représente un rendement d'abattement de DCO de 90 %. La DBO₅ a diminué de 300 mg/l jusqu'à 26 mg/l ce qui représente un rendement de dépollution de 91%.

Enfin, On peut conclure que le Ag₂MnO₂ est un très bon matériau photocatalyseur et qui possède des propriétés très importantes puisqu'il est photoactif dans le visible, biologiquement et chimiquement inerte, il est photostable et non toxique.

En perspective, pour une caractérisation complète des eaux de la STEP d'Ain Taghrout (Azote total, nitrate, nitrite, phosphore total,), et faire des études complémentaires, portant sur certains paramètres de pollution chimique comme les métaux lourds et hygiéniques tel que les parasites et les virus, qui doivent être aussi étudiés.

Références bibliographiques

- [1] F. Maamar, La photocatalyse des eaux usées par électrochimie” Recherche et Développement, Division Bioénergie et Environnement – C.D.E.R, p.p. 1–2.
- [2] S. Bouafia, et H. A.I.T. AMAR, “Le traitement des eaux par photocatalyse solaire” Revue Le Journal de l’Eau et de l’Environnement, 2014.
- [3] S. Moulin, D. R. Rêches, et M. Stankovic, "Traitement des eaux usées." Centre d’Enseignement et de Recherches sur l’Environnement et société, paris, 2013.
- [4] S. DALHATOU, Application des techniques d’oxydation avancée pour la dépollution des effluents organiques dans les eaux de rejets industriels: Cas des savonneries. 2014. Thèse de doctorat. Université de Grenoble.
- [5] M. Ismail, “Préparation et caractérisation de nouveaux matériaux pour les réactions de dépollution photocatalytique de l'eau dans le visible” Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine I.N.P.L., Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie Tunisie, 2011.
- [6] G. Atheba, “Traitement des eaux par action combinée de la photocatalyse solaire et de l'adsorption sur charbon actif: conception et réalisation du procédé” Thèse de doctorat, Université Paul Verlaine-Metz, 2009,
- [7] Redouane, S. Z. "Elimination d'un polluant organique par photodégradation par des photoinducteur en phase homogène et hétérogène" » thèse de magister, dép. Chimie, faculté des science exacte, université mentouri de Constantine,
- [8] A. B. N. Rakotoarison, “Synthèse de nanoparticule de dioxyde de titane (TiO₂) pour la photocatalyse : application à la décomposition des polluants organiques” Mémoire fin d’étude master 2, dép. chimie des matériaux, Faculté des science, Université d’Antananarivo, 2018,

- [9] A. CARABIN, “ Traitement photocatalytique des eaux contaminées par des résidus médicamenteux” Thèse de doctorat, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, 2014.
- [10] S. Chergui Bouafia," Photocatalyse Solaire: Application du rayonnement solaire au traitement de l'eau" Recherche et Développement, Division Bio-énergie & Environnement, p.p. 6 -7, 2011.
- [11] S. Belattar, et N. Debbache, “Contribution à l'étude de la dégradation photochimique de polluants organiques par les oxyhydroxydes de Fe (III) en solution aqueuse en phase hétérogène” Thèse de doctorat, université de mentouri Constantine, 2018.
- [12] D. Guettai, “Élimination de deux polluant organique le Biphénol-A et l'ébuprophene, par des P.O.A., Doctorat en science, Dép. Chimie, fac. Des science, Université de Abou bekr Belkaide Tlemcen, 2017.
- [13] D. Marouf, “ Etude des méthodes de synthèse et les caractéristiques des mâtériaux utilisé en photocatalyse” thèse de master, faculté des sciences exacte informatique, Dép. de chimie, Université Mohamed Seddik Benyahia, 2020.
- [14] H. boukrik, et A. khalefallah, “ Dégradation des colorant organique par procédés d'oxydation avancée en phases homogène et hétérogène” thèse de mastère, faculté Science et technologie, département génie des procédés, université de Mohammed sedik ben Yahia, 2019.
- [15] N. Keller, M.T. Maurette, P. Pichat, C. Pulgarin, A. G. Rincon, J. M. Herrmann, et D. Robert, “La photocatalyse pour l'élimination des polluant” L'actualité chimique, p.p.79-92, 2007.
- [16] F. Zaviska, “Modélisation du traitement de micropolluant organique par oxydation électrochimique” thèse de doctorat, Université du Québec et Institut National de la Recherche Scientifique Centre Eau Terre Environnement,

[17] N. Hadj Salah, “ Etude de la dégradation photocatalytique de polluants organiques en présence de dioxyde de titane, en suspension aqueuse et en lit fixe” thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2012.

[18] M. Ismail, “Préparation et caractérisation de nouveaux matériaux pour les réactions de dépollution photocatalytique de l’eau dans le visible” Génie des procédés, Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie, 2011.

[19] N. Chekkir “Application Des procédés d’oxydation avancée et rayonnement solaire au traitement des polluant émergent” Thèse de doctorat, Faculté génie mécanique, université de science et de la technologie houari Boumediene, 2015.

[20] Y. Bessekhouda, ” Propriétés photocatalytiques de TiO₂ nanocristallins dopés par des cations (Li⁺, Na⁺ et K⁺) et des hétérojonctions à base de sulfures et d'oxydes métalliques/TiO₂” Thèse de doctorat. Université Paul Verlaine-Metz, 2003.

[21] A. Elaziouti, “Elaboration et Caractérisation d’oxydes mixtes semi-conducteurs à Jonctions Hétérogènes de type p-n : application à la photocatalyse pour la dépollution ” thèse de doctorat, Département de Chimie physique, Spécialité Chimie, université de science et de la technologie d’Oran Mohammed Boudiaf, 2014.

[22] Z. Mazouz, K. Mazouz “Étude physique et structurale des poudres nanométriques de TiO₂ pur et dopé au Zn : Effet du dopage” Département des Sciences de la Matière, Université Larbi Ben Mehidi Oum El Bouaghi, 2019.

[23] E. Mallet, “Etude des propriétés polaritoniques de ZnO et GaN. Application à l’étude de l’effet laser à polaritons dans une microcavité” Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II. 2014.

[24] B. Djebbar, “ L’énergie solaire pour le traitement et l’épuration de l’eau” Projet Laboratoire Analyse et Etudes Environnementales, Centre De Recherche et De Développement de L’Electricité et Du Gaz C.R.E.D.E.G./S.P.A.

Références bibliographiques

[25] F. Guittouni, “ Oxydation des colorants par les procédés d’oxydation avancée sur des catalyseurs à base de la montmorillonite modifiée” thèse de master, Dép. chimie, Université de Tlemcen, 2017.

[26] A. CHaouche -Ramdene, et C. Belmire “Préparation et caractérisations de nouveaux Matériaux par voie sol-gel pour les réactions de dépollution photocatalytique de l’eau” Thèse de mastère, Dép. chimie, Université de Tlemcen, 2019.

Résumé

Parmi les différents procédés d'oxydation avancés (POAs), la photocatalyse hétérogène s'inscrit comme une technique prometteuse pour le traitement des eaux. Son efficacité résulte d'une oxydation par voie radicalaire initiée par l'attaque d'une entité radicalaire très réactive Générée dans le milieu (le radical hydroxyle OH \cdot). Cette étude a pour objectif de d'utiliser un nouveau matériau Ag $_2$ MnO $_2$ dans la photocatalyse et de vérifier l'efficacité de ce matériau dans le traitement d'une eau usée de station d'épuration d'Ain Taghrouit. Les résultats ont montré que le Ag $_2$ MnO $_2$ possède propriétés photocatalytiques très encourageantes vu à la diminution importante de la DCO de 600 mg/l jusqu'à 60 mg/l.

Abstract

Among the various advanced oxidation processes (POAs), heterogeneous photocatalysis is a promising technique for water treatment. Its effectiveness results from a radical oxidation initiated by the attack of a very reactive radical entity Generated in the medium (the hydroxyl radical OH \cdot). The objective of this study is to use a new material Ag $_2$ MnO $_2$ in photocatalysis and to verify the effectiveness of this material in the treatment of wastewater from Ain Taghrouit wastewater treatment plant. The results showed that Ag $_2$ MnO $_2$ possesses very encouraging photocatalytic properties given the significant decrease in COD from 600 mg/l to 60 mg/l.

ملخص

من بين العديد من عمليات الأكسدة المتقدمة (POAs)، يعد التحفيز الضوئي غير المتجانس تقنية واعدة لمعالجة المياه. فاعليته ناتجة عن أكسدة جذرية بدأها هجوم كيان جذري شديد التفاعل. يولد في الوسط (هيدروكسيل الجذر). (OH \cdot) الهدف من هذه الدراسة هو استخدام مادة جديدة Ag $_2$ MnO $_2$ في التحفيز الضوئي والتحقق من فعالية هذه المادة في معالجة مياه الصرف الصحي من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في عين تاغروت. أظهرت النتائج أن Ag $_2$ MnO $_2$ له خصائص تحفيز ضوئي مشجعة للغاية مع الأخذ في الاعتبار الانخفاض الكبير في COD من 600 مجم / لتر إلى 62 مجم / لتر.