



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret-
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : "Sciences de la Nature et de la Vie"

Filière : " écologie et environnement "

Spécialité : "écosystème steppique et saharien"

Présenté et soutenu publiquement par

Massinissa Djoudi

**Etude de possibilité de l'utilisation des eaux usées
traitée par rayonnement UV pour l'irrigation des
agrosystèmes dans les zones steppiques dans la région
de Tissemsilit.**

JURY:

Grade

-Président :

-Examineur :

-Promoteur: M^{lle} OMAR. Y

MCB

-Co-promoteur: Mr SBAA. C

Directeur O.N.A

-Invités: Mr BEZZEROUK. M.A

Mr BOUSMAHA. H

Année universitaire : 2017–2018

Remerciement

Je remercie tout d'abord ALLAH qui m'a donné le courage et la patience pour terminer ce modeste travail, je remercie ma famille et surtout ma femme.

Ce travail ne serait jamais vu la lumière sans la contribution efficace de tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, par leur appui en acquisition de documents et de matériels nécessaires, en accès à l'information ou par leur soutien moral et encouragements. A tous, je suis redevable et reconnaissant.

Néanmoins, dans ce chemin de reconnaissance, il y a des personnes qu'il faut citer.

Tout d'abord mon encadreur M^{lle} OMAR Yamina pour avoir consacré une partie de son temps pour m'encadrer et pour leur patience. Je tiens à remercier particulièrement mon Co-promoteur SBAA Cherif, qui m'a toujours encouragé, aidé pendant toute la période de l'expérimentation et pour ses précieux conseils.

J'adresse aussi mes remerciements aux membres du jury : Mr BOUSOUIM M.O et MR BERAMAH.M

J'adresse un remerciement particulier à Mr BEZZEROUK.MA et Mr BOUSMAHA. H pour leurs aides, patiences et leurs conseils constructives le long de la réalisation de ce modeste travail ; Par la même occasion je remercie : Mes enseignants de filière écologie et environnement Et Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de ce mémoire.

Je dédie ce travail à :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien,

Tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance

Et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il,

L'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de Sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire

En sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien

À mon soutien dans la vie ma cher femme

*Mes enfants **AMR ET ASSMA** et toute la famille.*

*Mes collègues de travail **ONA tissemsilt** surtout **ANNOUN MOHAMED, BACHA NASSIM, KADI RABEA, Madame BOUKIYM, Madame BOUSSIAD.***

Table de matière

Table de Matière	
Liste des Abréviations.....	I
Liste des tableaux.....	II
Liste des Figures	III
Introduction générale.....	01

PARTIE I : Partie bibliographique

Chapitre 01 : Généralités sur les eaux usées

1.1. Définition des eaux usées.....	04
1.2. Origine des eaux usées.....	04
1.2.1. Origine industrielle.....	04
1.2.2. Origine domestique.....	05
1.2.3. Origine agricole.....	05
1.3. Caractéristiques des eaux usées.....	06
1.3.1. Paramètres Physiques.....	06
1.3.1.1. Température.....	06
1.3.1.2. Matière en suspens.....	06
1.3.2. Paramètres Organoleptique.....	06
1.3.2.1. Turbidité.....	06
1.3.2.2. Couleur.....	06
1.3.3. Paramètres Chimiques.....	07
1.3.3.1. Potentiel Hydrogène (pH).....	07
1.3.3.2. Conductivité.....	07
1.3.3.3. Oxygène Dissous.....	07
1.3.3.4. Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	07
1.3.3.5. Demande Biochimique en Oxygène (DBO).....	07
1.3.3.6. Azote.....	08
1.3.4. Paramètres Bactériologiques.....	08
1.3.4.1. Coliformes.....	08
1.3.4.2. Streptocoques fécaux et <i>Enterococcu</i>	08

Chapitre 02 : Dépollution de l'eau

1. Généralités sur la dépollution.....	10
2. Les principales méthodes de dépollution de l'eau.....	10
2.1. Méthodes physico-chimiques.....	10
2.1.1. Procédés classiques de dépollution de l'eau.....	10

2.1.1.1. Procédés physiques	11
2.1.1.1.1. Adsorption sur charbons actifs	11
2.1.1.1.2 Technologies membranaires.....	11
2.1.1.2. Procédés biologiques	11
2.1.1.3. Procédés chimiques	11
2.1.1.3.1. Méthodes de récupération	12
2.1.1.3.2. Méthodes d'oxydation classiques.....	12
2.1.2. Procédés d'Oxydation Avancées (POA)	13
2.1.2.1. Généralités sur la photocatalyse	14
2.1.2.2. Traitement de l'eau par photocatalyse hétérogène.....	14
2.1.2.3. Photocatalyseurs.....	15
2.1.2.4. Principe de la photocatalyse hétérogène	17
2.1.2.5 Photocatalyse et l'inactivation bactérienne	18
2.1.2.6 Désinfection solaire de l'eau (SODIS).....	19
2.1.2.7 Avantages de la photocatalyse	20
2.2. Généralités.....	20
2.3. Effets de photocatalyse sur les métaux lourds	21
2.4. Effets de photocatalyse sur les micro-organismes pathogènes	21
2.4.1. Les bactéries	22
2.4.2. Structure d'une bactérie	22
2.4.3. <i>Escherichia coli</i> : une bactérie commensale et un agent pathogène	23

PARTI II : Partie expérimentale

Chapitre 01 : Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique.....	25
2. Relief	26
3. Conditions climatiques	26
4. Secteur d'agriculture dans la wilaya de Tissemsilt	26

Chapitre 02 : Mise en place du protocole expérimental

1. Dispositif expérimental	30
2. Choix de photocatalyseur : Le photocatalyseur SnO_2	31
2.1. Propriétés cristallographiques de l'oxyde d'étain	32

2.2. Propriétés optiques	33
2.3. Propriétés électriques	33
3. Prélèvement des échantillons	33
4. Analyse physico-chimique des eaux usées traitées par UV et photo catalyseur	34
4.1. Détermination du pH.....	34
4.2. Mesure de la conductivité	34
4.3. Mesure La température et l'Oxygène dissous.....	35
4.4. Matières en suspension (M.E.S).....	36
4.4.1. Principe de la méthode	36
4.4.2. Mode opératoire	36
4.4.3. Calcul et expression des résultats.....	36
4.5. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	37
4.6. Demande chimique en oxygène (DCO)	37
4.7. Nitrates (NO ₃ ⁻).....	37

Chapitre 03 : Résultats et discussion

1. Résultats optique	38
1.1. Effet du temps d'irradiation par rayonnement ultraviolet avec l'absence du photocatalyseur.....	38
1.2. Effet du dopage par Bismuth sur le SnO ₂ utilisé comme phtocatalyseur.....	39
2. Analyses physico-chimiques des échantillons	39
2.1. Echantillons d'eau traités par rayonnement UV et photocatalyse dopé à 5%.....	42
2.1.1. Conductivité électrique	42
2.1.2. Potentiel hydrogène et l'oxygène dissous	43
2.1.3. Demande chimique en oxygène (DCO)	44
2.1.4. Demande biologique en oxygène (DBO5)	45
2.1.5. Nitrates et matières en suspension	45
2.1.6. Matières en suspension.....	46
2.2. Echantillons d'eau traités par rayonnement UV et photocatalyse dopé à 9%.....	47
2.2.1. Conductivité électrique	47
2.2.2. Potentiel hydrogène et l'oxygène dissous	49
2.2.3. Demande chimique en oxygène (DCO)	49
2.2.4. Demande biologique en oxygène (DBO5)	49

2.2.5. Nitrates et matières en suspension	50
2.2.6. matières en suspension	51
Conclusion générale	52
Références bibliographiques	
Résumé	

Liste Des Abréviations :

E.R.U : Eaux Résiduaires Urbaines

pH : Le Potentiel Hydrogène

M.E.S : Matière En Suspension

D.C.O : Demande Chimique en Oxygène

D.B.O : Demande Biochimique en Oxygène

P.O.A : Procédés d'Oxydation Avancées

U.V : Ultra-violet

SODIS : Désinfection solaire de l'eau

S.T.E.P : Station Traitement Et D'Épuration

O.M.S : Organisation Mondiale De La Santé

SnO₂ : Dioxyde D'étain

SAU : Surface Agricole Utile

Liste des figures

Figure 01 : Schéma global représentant les étapes de la dégradation photocatalytique	15
Figure 02 : Principe de la photocatalyse.....	18
Figure 03 : Spectre d'absorption du rayonnement ultra-violet.....	21
Figure 04 : Structure d'une cellule bactérienne.....	23
Figure 05 : Image d' <i>Escherichia coli</i>	24
Figure 06 : Situation géographique de la wilaya de Tissemsilt.....	25
Figure 07 : Présentation de la station d'épuration de Tissemsilt.....	28
Figure 08 : Dispositif expérimental de la photocatalyse.....	30
Figure 09 : Organigramme présentant les étapes suivies lors de notre investigation.....	31
Figure 10 : Maille élémentaire d'oxyde d'étain.....	32
Figure 11 : Appareil de mesure de la conductivité.....	34
Figure 12 : Mesure de la DBO.....	36
Figure 13 : Mesure de la DCO.....	37
Figure 14 : Spectres d'absorptions sous rayonnement ultraviolet de l'eau usée de station d'épuration de Tissemsilt.....	38
Figure 15 : Photolyse par rayonnement ultraviolet.....	39
Figure 16 : L'absorption moyenne en fonction du dopage (SnO ₂ : Bi) exposé sous rayonnement ultraviolet de l'eau de station d'épuration de Tissemsilt.....	40
Figure 17 : Evolution de la conductivité électrique (µs/cm) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau + photocatalyseur+UV) durant 2 et 4 heures.....	42
Figure 18 : Evolution de taux de pH et les teneurs de l'oxygène dissouts (mg/l) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV).....	43
Figure 19 : Evolution de taux de DCO et les teneurs de DBO5 (mg/l) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV).....	44
Figure 20 : Evolution de taux du nitrate (mg/l) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV).....	45
Figure 21 : Evolution de taux des matières en suspension dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV).....	46
Figure 22 : Evolution de la conductivité électrique (µs/cm) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau + photocatalyseur+UV) durant 2 et 4 heures.....	47
Figure 23 : Evolution de taux de pH et les teneurs de l'oxygène dissouts (mg/l) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV).....	48
Figure 24 : Evolution de taux de DCO et les teneurs de DBO5 (mg/l) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV).....	49
Figure 25 : Evolution de taux du nitrate (mg/l) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV).....	50
Figure 26 : Evolution de taux des matières en suspension dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV).....	51

Liste des tableaux

Tableau 01: Différents procédés d'oxydation.....	14
Tableau 02: Energie de la bande gap de plusieurs photocatalyseurs.....	17
Tableau 03 : les caractéristiques techniques de l'eau de rejet à l'entrée de la STEP.....	29
Tableau 04 : Valeurs d'absorption moyenne durant 6 heures d'exposition sous rayonnement ultraviolet de l'eau de station de purification du Tissemsilt.....	38
Tableau05 : Valeurs d'absorption moyenne en fonction du dopage (SnO ₂ : Bi) exposé sous rayonnement ultraviolet de l'eau de station d'épuration du Tissemsilt.....	40

Introduction générale

La qualité des eaux superficielles, en Algérie, se dégrade dans des bassins d'importance vitale sous l'effet des rejets de déchets urbains et industriels, les barrages réservoirs s'ensavent et perdent de la capacité utile et le rejet de la vase dans les cours d'eau pose d'énormes problèmes écologiques et environnementales. Les eaux souterraines sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline.

En Algérie, du fait de sa rareté et du développement économique et social désordonné. Cela entraîne une suite de problèmes de gestion au sens large : pertes, gaspillages, traitements aléatoires, dégradations et manque de protection de la ressource, qui s'ajoute aux conditions naturelles défavorables. (FAO ,2003)

La gestion durable de l'eau est l'un des principaux axes du développement durable, dans la mesure où l'eau doit répondre aux besoins des générations actuelles et satisfaire les générations futures. L'agriculture constitue le plus gros consommateur des ressources hydriques, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies. Les agriculteurs, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées (Maynard et Hochmuth, 1997). L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option attrayante, en particulier dans les zones arides et semi-arides, car elle représente une source d'eau et d'engrais additionnels renouvelables et fiables (FAO, 2003).

Les eaux usées constituent l'une des principales ressources hydriques utilisées en agriculture urbaine dans les pays en développement. Le phénomène s'étend à travers le monde entier. De nombreux rapports font état des évolutions scientifiques et socio-économiques relatives à cette problématique (FAO, 2003; WHO, 2006; World Bank, 2003). L'un d'entre eux, établi récemment par l'institut international de gestion des ressources en eau (IWMI, 2008) dans le cadre du sommet mondial de l'eau à Stockholm, dresse un bilan global de la situation et indique qu'au moins 20millions d'hectares seraient irrigués dans le monde avec des eaux usées partiellement traitées ou non traitées, principalement pour produire des légumes et du riz.

La valorisation agricole des eaux usées est une démarche de plus en plus intégrée dans les politiques de gestion des ressources en eau, même dans les pays industrialisés ou émergents, comme en témoignent des études menées en Espagne (Cazurra, 2008), en Italie (Lopez et Vurro, 2008) ou en Chine (Wang et *al.*, 2007). Ces études scientifiques démontrent qu'un traitement efficace des eaux usées permet de les rendre tout à fait conformes aux normes relatives aux eaux d'irrigation, normes qui par ailleurs sont souvent drastiques dans ces pays.

En Algérie, la présence de normes de rejet spécifiques à la réutilisation des eaux usées en agriculture (Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 et décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006) ainsi que la présence de textes réglementaires fixant la modalité de réutilisation des eaux usées et la liste des cultures et les conditions de leur irrigation par les eaux usées épurées (Décret exécutif n° 07-149 du 20 mai 2007 et l'arrêté interministériel du 2 janvier 2012) constituent une promotion de projets de réutilisation des eaux usées épurées pour une mise en valeur et une gestion efficace et durable des eaux usées épurées, face à des demandes en eau en augmentation.

Le développement considérable de l'activité industrielle et agricole a entraîné l'apparition de nouvelles classes de polluants organiques dits « persistants » qui résistent aux procédés de traitement classiques des eaux.

Parmi les progrès les plus récents, basés sur les techniques d'oxydation avancées, la photocatalyse représente de nos jours, une solution émergente aux problèmes de pollution des milieux aquifères.

La photocatalyse hétérogène constitue une alternative prometteuse pour le traitement des polluants organiques présents dans l'eau. Le principe de la photo-dégradation catalytique repose sur le phénomène naturel de photolyse qui intervient dans l'environnement lorsque les conditions nécessaires au déroulement des réactions photochimiques sont réunies.

L'absorption d'un rayonnement de longueur d'onde appropriée fait passer les molécules à un état excité.

L'utilisation d'un catalyseur favorise la formation de radicaux libres et assure une forte augmentation de la vitesse de dégradation. C'est un processus électronique se produisant à la surface d'un catalyseur qui, sous un rayonnement solaire ou artificiel engendre des entités oxydantes réagissant avec des composés organiques ou des micro-organismes.

La photocatalyse solaire consiste à utiliser la part UV du spectre solaire afin d'activer le catalyseur (Malato, 2002 ; Blangis et Legube, 2007 ; Goetz et *al.*, 2008).

Les nombreuses études menées en laboratoire ont ainsi montré que cette technique pouvait être utilisée pour éliminer certaines bactéries comme les coliformes et les entérocoques [(Wei et *al.*, 1994; Sunada et *al.*, 1998; Rincon et Pulgarin, 2004) in Blangis et Legube, 2007] et également pouvant minéraliser totalement les pesticides [(Muszkat et *al.*, 1995; Topalov et *al.*, 1999, Zaleska et *al.*, 2000) in Blangis et Legube, 2007].

La photocatalyse apparait comme une technique de choix pour ce type d'application. Elle permet, en effet d'aboutir à l'oxydation complète de la plupart des polluants organiques à température ambiante et sous pression atmosphérique (Blangis et Legube, 2007).

A cet égard, ces procédés s'inscrivent pleinement dans le cadre du développement durable utilisant le soleil comme source d'énergie renouvelable.

La présente étude est consacrée à l'étude de l'effet des rayonnements ultra-violet associé au photocatalyseur dans le traitement et la purification des eaux usées destinées à l'irrigation des terres agricoles dans les régions steppiques.

Dans cette optique, cette étude est divisée en deux parties La première partie présente une synthèse bibliographique qui contient deux chapitres ; le premier présente des généralités sur les eaux usées. Le deuxième chapitre est consacré à la purification de l'eau où les principales méthodes de dépollution sont décrites.

La deuxième partie concerne l'étude expérimentale, divisée en en trois chapitres. Le premier chapitre englobe des généralités sur la zone d'étude, le deuxième chapitre expose les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette recherche, à savoir le photocatalyseur SnO₂, ainsi que les techniques et les protocoles expérimentaux suivis lors de la réalisation de ce travail.

Les résultats sont illustrés dans le troisième chapitre de même que leurs interprétations.

Enfin, on termine l'étude par une conclusion générale qui synthétisera les principaux résultats.

PARTIE I :
Partie bibliographique

Chapitre 01 :
Généralités sur les eaux usées

Introduction

En parlant d'eau usée, il semble important d'avoir une idée sur sa définition, son origine et ses caractéristiques, ainsi que les différentes méthodes utilisées pour son épuration.

1.1. Définition des eaux usées

Selon Rejsek (2002), les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, sont « *des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine* ».

C'est généralement un mélange de matières polluantes, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels. (Grosclaude, 1999). Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leurs puretés ; c'est-à-dire leurs propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles).

1.2. Origine des eaux usées

D'après Rodier et *al* (2005), On peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaines constituées par des eaux ménagères (lavage corporel et du linge, lavage des locaux, eaux de cuisine) et les eaux vannes chargées de fèces et d'urines ; toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie et les eaux pluviales. Peuvent s'y ajouter suivant les cas les eaux d'origine industrielle et agricole. L'eau, ainsi collectée dans un réseau d'égout, apparaît comme un liquide trouble, généralement grisâtre, contenant des matières en suspension d'origine minérale et organique à des teneurs extrêmement variables. En plus des eaux de pluies, les eaux résiduaires urbaines sont principalement d'origine domestique mais peuvent contenir des eaux résiduaires d'origine industrielle d'extrême diversité. Donc les eaux résiduaires urbaines (ERU) sont constituées par :

- ✓ Des eaux usées d'origine domestique, industrielle et/ou agricole ;
- ✓ Des eaux pluviales ou de ruissellement urbain.

1.2.1. Origine industrielle

Les déchets et les effluents industriels définissent largement la qualité et le taux de pollution de ces eaux usées. Les établissements industriels utilisent une quantité importante d'eau qui tout en restant nécessaire à leur bonne marche, n'est réellement consommée qu'en

très faible partie le reste est rejeté. Nous pouvons, néanmoins, faire un classement des principaux rejets industriels suivant la nature des substances qu'ils déversent (Rodier, 2005):

- Pollution due aux matières en suspension minérales (Lavage de charbon, carrière, tamisage du sable et gravier, industries productrices d'engrais phosphatés....) ;
- Pollution due aux matières en solution minérales (usine de décapage, galvanisation...);
- Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissages, pâte à papier...);
- Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, porcherie, produits pharmaceutiques.....);
- Pollution due aux rejets toxiques (déchets radioactifs non traités, effluents radioactifs des industrie nucléaires....).

Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Indépendamment de la charge de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou non, elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés. (Rodier, 2005).

1.2.2. Origine domestique

Les effluents domestiques sont un mélange d'eaux contenant des déjections humaines : urines, fèces (eaux vannes) et eaux de toilette et de nettoyage des sols et des aliments (eaux ménagères).

Ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. Elles se composent essentiellement par des eaux de vanne d'évacuation de toilette et des eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salle de bains (Rejsek, 2002).

1.2.3. Origine agricole

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement (Grosclaude, 1999). :

* Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation) ;

* Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides,...).

1.3. Caractéristiques des eaux usées

1.3.1. Paramètres Physiques

1.3.1.1. La température

La température est un facteur important pour l'écosystème aquatique, de ce fait il est important de la connaître avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels,...etc. (Rodier *et al.*, 2005).

1.3.1.2. La matière en suspension (MES)

La pollution particulaire est due à la présence de particules de grande taille (> 10µm) en suspension dans l'eau, et que l'on peut assimiler aux matières en suspension (MES). Cette dernière représente une cause essentielle de la turbidité de l'eau, vue la présence des particules minérales et/ou organiques ainsi que des particules de nature argilo- humique provenant de l'érosion des sols et d'autres constituants d'origine biologique. (Castany, 1982 ; Rejsek, 2002).

1.3.2. Paramètres Organoleptiques

1.3.2.1. La Turbidité

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent. Elle est causée par des matières en suspension composées d'argile, de limon, de particules organiques, de plancton et de divers autres organismes microscopiques, une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. En effet, c'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes (Rejsek, 2002 ; Centre d'expertise en analyse environnementale du quebec, 2016).

1.3.2.2. La couleur

Une eau naturelle, même une fois traitée n'est jamais rigoureusement incolore (on la comparant à une eau distillée). Cela est dû à la présence de certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques (acide humique et fulvique). Elle doit

être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire. L'élimination de la couleur s'accompagne également de celles de certaines matières organiques indésirables (Maiga, 2005).

1.3.3. Paramètres Chimiques

1.3.3.1. Le potentiel Hydrogène (pH):

Ce paramètre est très important puisqu'il contrôle la corrosion et montre la stabilité de l'eau. Le pH est lié à tous les paramètres de qualité de l'eau.

Aux pH inférieurs à 7 et dans les eaux polluées par les dérivés soufrés, il se forme le sulfure d'hydrogène (H_2S) qui donne à ces eaux une odeur « d'œuf pourri ». L'action bactéricide du chlore augmente ou tend à augmenter pour les valeurs faibles du pH de l'eau, en particulier une augmentation de la teneur en CO_2 produisant une baisse du pH ; pour les eaux ayant une alcalinité, l'action du chlore sera plus grande pour les eaux contenant plus de CO_2 que celle en contenant moins (Maiga, 2005).

1.3.3.2. La 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. (Rejsek, 2002 ; Rodier, 2005).

1.3.3.3. L'Oxygène Dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. Il l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu (Rejsek, 2002).

1.3.3.4. La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau. En effet cette mesure correspond à l'estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quel que soit leur origine organique ou minérale (Rodier, 2005).

1.3.3.5. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO)

La demande biochimique en oxygène devrait permettre d'apprécier la charge du milieu considéré en substances dégradable (Rodier, 2005).

La demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO_5) d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommé par les micro-organismes aérobies présents dans cet échantillon pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques (Rejsek, 2002).

1.3.3.6. L'azote

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniaque, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total. (Rodier, 2005).

1.3.4. Paramètres Bactériologiques

Les bactéries sont ubiquitaires dans la nature, car il s'agit probablement des premiers êtres vivants apparus sur la terre. La plupart des espèces bactériennes sont inoffensives ou même utiles, étant commensales, et faisant partie des flores cutanées, digestive, buccale, génitale, alors que certaines sont pathogènes, opportunistes (Rodier, 2005).

1.3.4.1. Les coliformes :

Sous le terme de « coliformes » est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant à la famille des *Enterobacteriaceae*.

La définition suivante a été adoptée par l'Organisation Internationale de Standardisation (ISO) 2002.

« *Bacille à Gram négatif, non sporogène, oxydase négative, facultativement anaérobie, capable de croître en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance similaire, et capable de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 h, à des températures de 35 à 37 C°* »

1.3.4.2. Les streptocoques fécaux et *Enterococcus* :

Sous la dénomination générale de « streptocoques fécaux », il faut entendre l'ensemble des streptocoques possédant la substance (acide teichoïque) antigénique caractéristique du groupe D de Lancefield, c'est-à-dire essentiellement : *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans*, *E. hirae*, *Streptococcus bovis*, *S. suis* et *S. equinus*. Ces streptocoques du groupe D sont généralement pris globalement en compte comme des témoins de pollution fécale, car tous ont un habitat fécal.

Toutefois, d'une façon générale, les concentrations en streptocoques fécaux sont, dans les milieux naturels autres que ceux spécifiquement pollués par le bétail, inférieures à celles des coliformes fécaux. Il faudra tenir compte de cette différence des concentrations (que l'on peut évaluer à un rapport de 1 à 2 ou 4) dans le choix des prises d'essai (Rodier, 2005).

Le genre *Streptococcus* est vaste et divers, de sorte qu'il est difficile de classer ces Bactéries de façon satisfaisante. Les 29 espèces du genre *Streptococcus* sont subdivisées en 5 groupes principaux :

- ***Les streptocoques pyogènes hémolytiques ;***
- ***Les streptocoques oraux ;***
- ***Les entérocoques ;***
- ***Les streptocoques lactiques.***

L'application à ces bactéries des techniques de biologie moléculaire a donné un nouveau Système de classification. Le genre unique original est maintenant séparé en 3 genres Différents :

- ***Streptococcus*** : comprend la plupart des espèces pathogènes pour l'homme ;
- ***Enterococcus*** : correspond au précédent groupe des enterocoques ;
- ***Lactococcus*** : correspond aux streptocoques lactiques.

La norme ISO 7899-2 donne la définition suivante :

« *Microorganismes se développant à 37 C° sur un milieu de Salnetz et Bartley, donnant une réaction positive à 44 C° sur une gélose biliée à l'esculine et qui, de plus, donnent une réaction négative dans l'essai à la catalase* ».

Chapitre 02 :

Dépollution de l'eau

1. Généralités sur la dépollution :

Lorsqu'une eau est polluée et qu'une action de dépollution apparaît nécessaire, il s'agit de choisir la filière d'épuration la plus adaptée pour atteindre les objectifs de dépollution.

Le choix de la combinaison des méthodes de traitement doit prendre en compte de nombreux paramètres : nature et concentration du ou des polluant(s), leur toxicité, volume d'eau à traiter et type d'effluent, etc.

Le traitement efficace d'une eau usée nécessite, en effet, une bonne connaissance de sa quantité (flux), sa qualité (composition chimique) et des variations temporelles de sa composition. Bien évidemment, les considérations technologiques (taille des infrastructures, conception modulaire de l'installation et évolution possible de la technique vis-à-vis de la réglementation) et surtout économiques (frais d'investissement, coûts de la méthode, frais d'entretien et de maintenance) sont des facteurs importants dans le choix du procédé à mettre en œuvre (Bertrand, 2011).

2. Les principales méthodes de dépollution de l'eau

2.1. Méthodes physico-chimiques

2.1.1. Procédés classiques de dépollution de l'eau

Pour atteindre la qualité conforme à la réglementation à partir d'une eau brute, il est nécessaire de mettre en place des traitements efficaces et multiples. Ils forment une chaîne de traitement, plus ou moins sophistiquée qui doit être évolutive étant donné que les caractéristiques de l'eau à traiter ainsi que les exigences normatives sont susceptibles d'être modifiées.

Les méthodes utilisées sont classées selon 3 catégories principales : les procédés physiques, biologiques et chimiques (Hadou, 2010)

2.1.1.1. Les procédés physiques

Des opérations physiques ou mécaniques permettent un prétraitement de l'eau brute.

2.1.1.1.1. L'adsorption sur charbons actifs

L'adsorption sur charbons actifs est très répandue, Le charbon est dit actif après avoir subi diverses opérations telles que la pyrolyse. Ces opérations permettent de le rendre poreux et d'augmenter sa surface d'échange avec l'eau (Gergova et *al.*, 1992).

De nombreux adsorbants sont retenus par le charbon et sont ainsi transformés. Ses propriétés ont été largement utilisées pour la purification de l'air et la dépollution des eaux potables, en particulier pour le traitement des polluants organiques et inorganiques (Jayson et *al.*, 1982 ; Utrera-Hidalgo et *al.*, 1992).

2.1.1.1.2. Les technologies membranaires

Permettent la séparation de particules, de molécules ou d'ions entre deux phases. La membrane est constituée d'une couche mince (de dix à quelques centaines de microns), d'une matière permettant l'arrêt ou le passage sélectif de substances sous l'action d'une force motrice de transfert (Ravanchi et *al.*, 2009) .

La nature de la membrane varie et son application à la dépollution de l'eau en dépend fortement : il existe des membranes poreuses (microfiltration: pores de 0,05 à 10 µm, ultrafiltration: pores de 1 à 100 nm, nanofiltration: pores de 1 à 2 nm), des membranes denses (osmose inverse) ou encore des membranes échangeuses d'ions. Le procédé d'osmose inverse est utilisé pour le dessalement de l'eau de mer et la production d'eau ultra-pure (Heinz, 2004). Les autres procédés membranaires sont souvent couplés à d'autres techniques (biologiques, chimiques) de dépollution et sont utilisés en tant que pré ou post traitement (McAdam et Judd, 2006 ; Leiknes, 2009).

2.1.1.2. Les procédés biologiques

Les procédés d'épuration par voie biologique sont communément utilisés, en particulier pour le traitement des eaux résiduaires urbaines. Le traitement des contaminants repose sur l'utilisation de microorganismes qui dégradent les polluants organiques en composés moins toxiques ou les minéralisent en dioxyde de carbone, eau et sels inorganiques.

Par ce procédé, il a été rapporté dans la littérature de nombreux cas réussis de traitement d'eau contaminée par divers polluants chimiques (Min et *al.*, 2004 ; Ohlen et *al.*, 2005 ; Butler et *al.*, 2006).

Les principaux inconvénients des bioréacteurs sont l'apport d'énergie nécessaire et le pompage de l'eau à traiter.

Ces procédés ne sont pas toujours applicables sur les effluents industriels en raison des fortes concentrations de polluants, de la toxicité ou de la très faible biodégradabilité.

2.1.1.3. Les procédés chimiques

Les traitements chimiques peuvent être classés selon 2 groupes :

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

2.1.1.3.1. Les méthodes de récupération

La clarification par «coagulation-floculation-décantation » est un des procédés les plus utilisés, il permet l'élimination des matières en suspension. Les matières colloïdales sont coagulées par un apport en sels minéraux (de fer ou d'aluminium). 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 (Lefebvre et Legube, 1990 ; Franceschi, 2002)

La précipitation par ajout d'un agent chimique permet 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 ou d'aluminium (Metcalf et Eddy, 2003).

2.1.1.3.2. Les méthodes d'oxydation classiques

La chloration et l'ozonation constituent les 2 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.

La chloration

Le chlore est l'un des produits utilisés pour la désinfection de l'eau potable où il est employé essentiellement sous forme de chlore gazeux ou d'hypochlorite de sodium (eau de Javel). A l'intérieur de la cellule, le chlore bloque toute activité enzymatique, entraînant ainsi la mort cellulaire (Albrich et Hurst, 1982).

L'ozonation

L'ozone possède en outre la capacité de détruire les microorganismes, ce qui lui confère un grand intérêt en tant que désinfectant (Von Gunten, 2003).

2.1.2. Les Procédés d'Oxydation Avancées (POA)

L'effet des polluants sur la santé humaine et leur impact écologique ainsi que les législations sur la qualité de l'eau devenues de plus en plus strictes ces dernières années ont conduit au développement de nouvelles techniques de traitement des eaux tels quels Procédés d'Oxydation Avancées (POA) (Helali ,2012).

Les Procédés d'Oxydation Avancées (POA) émergent comme une nouvelle technologie alternative et prometteuse dans le domaine de la dépollution des eaux usées (Robert et Malato, 2002). Ces POA sont basés sur la génération et l'utilisation d'un puissant oxydant, le radical hydroxyl (OH•). Ce radical hydroxyl peut être produit par des procédés photochimiques et non photochimiques (Tableau 05).

Parmi ces procédés, la photocatalyse hétérogène est considérée comme la technique la plus efficace dont la production des radicaux hydroxyles OH et par conséquent la plus appropriée dans le domaine de la dépollution des eaux usées (Carp et *al.*, 2004 ; Nieto-Suárez et *al.*, 2009).

Tableau 01 : Différents procédés d'oxydation (Glaze et al., 1987).

Procédés non photochimiques	Procédés photochimiques
Peroxonation(O_3/H_2O_2) procede Fenton Sonochimie Radiolyse ElectroFenton Oxydation elctrochimique	UV/ H_2O_2 UV// H_2O_2/O_3 Photo Fenton Photocatalyse hétérogène Sonophotocatalyse Photolyse de l'eau (UV-V/ H_2O)

2.1.2.1. Généralités sur la photocatalyse de l'eau

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 (Mehria et Mezouar, 2014).

Le traitement photocatalytique se présente donc comme une technologie de choix pour la dépollution et l'intégration de ces eaux usées, car il s'agit d'un système performant, simple et économique. Ces différentes caractéristiques attractives ont engendré un grand intérêt de la part des chercheurs pour la compréhension, l'optimisation et l'application industrielle de ce procédé (Helali, 2012).

2.1.2.2. Traitement de l'eau par photocatalyse hétérogène

Parmi les diverses applications de la photocatalyse, le traitement de l'eau utilisant ce type de procédé a fait l'objet de nombreuses publications et brevets ces dernières années. En catalyse classique, on distingue la catalyse homogène de celle dite hétérogène en fonction de l'état du catalyseur par rapport aux réactifs (catalyse homogène : réactifs et catalyseurs dans le même état physique ; catalyse hétérogène : catalyseur dans un état différent des réactifs - exemple : catalyseur solide et réactifs liquides). Dans le cas du traitement de l'eau par photocatalyse hétérogène, les réactifs sont dissous dans la matrice aqueuse liquide et le photocatalyseur est un solide (Cazoir, 2011)

La photocatalyse hétérogène est un processus catalytique qui repose sur l'excitation d'un semi-conducteur par un rayonnement lumineux conduisant à l'accélération de la photoréaction en faisant intervenir des réactions entre les paires électron/trou et les produits organiques et inorganiques adsorbés sur la surface du semi-conducteur (Helali, 2012).

La réaction photocatalytique peut être décomposée en cinq étapes (Herrmann, 1999)

- 1 - Transfert de réactif de la phase fluide vers la surface du catalyseur.
- 2 - Adsorption de réactif sur la surface.
- 3 - Réactions en phase adsorbée.
- 4 - Désorption des produits intermédiaires et/ou finals.
- 5 - Transfert de ces produits de la région de surface dans la phase fluide.

Les étapes de la dégradation photocatalytique d'un polluant organique peuvent donc être représentées de manière globale par la figure 01.

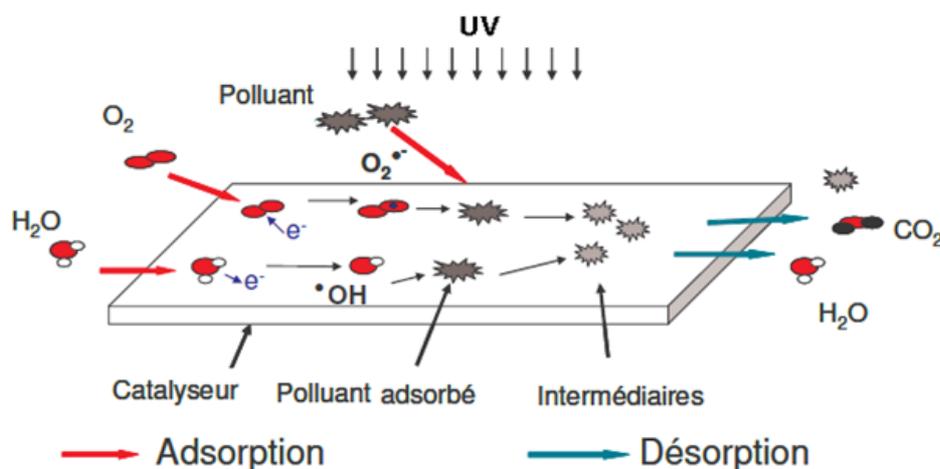


Figure 01 : Schéma global représentant les étapes de la dégradation photocatalytique (Herrmann, 1999)

2.1.2.3. Les photocatalyseurs

Depuis quelques années, des efforts importants ont été accomplis dans le domaine des couches minces d'oxydes semi-conducteurs transparents, notamment grâce à leurs propriétés structurales, électriques et optiques particulières. Ces matériaux revêtent une grande importance, du point de vue technologique, leurs champs d'application étant très vaste ; on les

retrouve dans des domaines tels que l'électronique, l'optoélectronique, la conversion photothermique, la conversion photovoltaïque, etc...(Yi Hu et *al.*, 2004).

Dans les réactions de photocatalyse, les semi-conducteurs jouent le rôle de catalyseurs, et ne sont donc pas consommés dans la réaction globale. Ils sont appelés « photocatalyseurs ». Un bon photocatalyseur doit posséder les propriétés suivantes :

- Etre photoactif,
- Etre en mesure d'être excité en présence d'UV et/ou de lumière visible,
- Etre biologiquement et chimiquement inerte,
- Etre photostable (non photocorrosif),
- Etre peu couteux et non toxique.

Pour qu'un semi-conducteur soit photochimiquement actif, le potentiel redox, des trous photogénérés de la bande de valence, doit être suffisamment positif pour produire des radicaux OH•, pouvant oxyder le polluant organique ciblé et le potentiel redox des électrons de la bande de conduction doit être suffisamment négatif pour réduire l'oxygène adsorbé en surface, en anion superoxyde O₂⁻ (Bhantkhande et *al.*, 2001).

Plusieurs photocatalyseurs ont été testés comme TiO₂, ZnO, ZnS, WO₃, GaP, Fe₂O₃ et CdS (Herrmann et *al.*, 1989 ; Chatterjee et *al.*, 1994). CdS et GaP ont l'avantage d'absorber par rapport au TiO₂ une fraction plus importante du spectre solaire, mais malheureusement ils sont instables durant l'action photocatalytique.

Le TiO₂ au contraire, est le semi-conducteur le plus utilisé en photocatalyse hétérogène en raison de sa stabilité, son faible coût et sa grande efficacité à minéraliser les polluants organiques (Blake, 2000). Plusieurs auteurs ont trouvé une efficacité photocatalytique plus importante en présence du TiO₂ (Neppolian et *al.*, 1999 ; Herrmann et *al.*, 1999 ; Blake, 2000).

Le tableau ci-dessous donne l'énergie et la position de la bande gap de certains photocatalyseurs.

Tableau 02: Energie de la bande gap de plusieurs photocatalyseurs (Bhantkhande et *al.*, 2001).

<i>Photocatalyseur</i>	<i>Energie de la bande gap(eV)</i>	<i>Photocatalyseur</i>	<i>Energie de la bande gap(eV)</i>
Si	1,1	ZnO	3,2
TiO ₂ (rutile)	3,0	TiO ₂ (anatase)	3,2
WO ₃	2,7	CdS	2,4
ZnS	3,7	SrTiO ₃	3,4
SnO ₂	3,6	WSe ₂	1,2
Fe ₂ O ₃	2,2	Fe ₂ O ₃	3,1

2.1.2.4. Principe de la photocatalyse hétérogène

L'irradiation à l'aide d'une lampe artificielle (ou par le soleil) d'un semi-conducteur par les photons d'énergie égale ou supérieure au band gap ($> 3,2\text{eV}$ pour le TiO₂ par exemple), va provoquer l'éjection d'un électron de la bande de valence (BV) vers la bande de conduction (BC). Ce qui a pour conséquence de créer un trou h^+ dans la bande de valence. Ces trous ainsi formés sont des oxydants puissants, alors que les électrons qui ont été éjectés sur la bande de conduction sont de bons réducteurs. Dans la plupart des réactions de photocatalyse de molécules organiques, c'est le pouvoir oxydant des trous qui va permettre la dégradation des polluants soit directement, soit indirectement par l'intermédiaire des radicaux hydroxyles $^{\circ}\text{OH}$ qui sont formés à la surface du catalyseur (Didier, 2001).

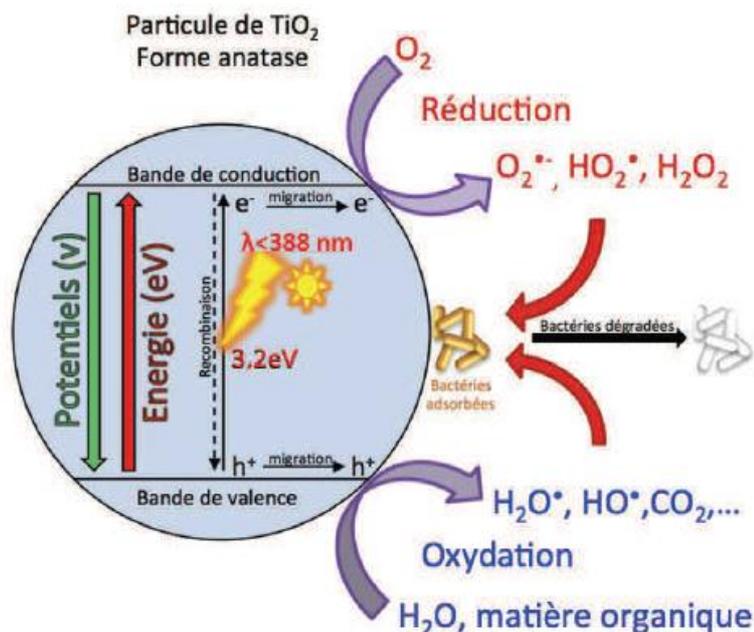


Figure 02 : Principe de la photocatalyse (Guillard et al., 2012)

2.1.2.5 La photocatalyse et l'inactivation bactérienne

L'inactivation photocatalytique des bactéries a été étudiée pour la première fois en 1985 par Matsunaga et al., en utilisant $\text{TiO}_2\text{-Pt}$ comme photocatalyseur pour la destruction des cellules microbiennes dans l'eau (*E. coli*, *Lactobacillus*, *Acidophilus*, etc.). Depuis lors, la photocatalyse est largement utilisée pour l'inactivation des virus, des champignons, et des bactéries dont *E. coli* est l'organisme le plus étudié (Saito et al., 1992 ; Joyce et al., 1996 ; Salih, 2002 ; Sichel et al., 2007 ; Pigeot et al., 2011).

Horie et al., (1996) ont étudié l'inactivation photocatalytique d'*E. coli* et du *Saccharomyces cerevisiae* (levure) en utilisant différentes concentrations de TiO_2 (0 - 0,5 g/L). Ils ont trouvé que pour une concentration de TiO_2 variant de 0-0,1g/L, l'inactivation d'*E. coli* et de *S. cerevisiae* augmente avec la concentration. Pour des concentrations plus grandes que 0,1g/L, une diminution de l'inactivation est observée due à la diffusion et la réflexion de l'intensité lumineuse par le surplus des particules de TiO_2 dans le photoréacteur.

2.1.2.6 Désinfection solaire de l'eau (SODIS)

La désinfection solaire a été largement étudiée pour la purification des eaux. Il s'agit d'un procédé propre à énergie renouvelable. En effet, le soleil est une source d'énergie propre, abondante, inépuisable et gratuite, dont le spectre solaire (290 - 800 nm) est constitué des ondes ultra-violettes (UV), visibles et infra rouges.

Ce processus de désinfection solaire qui est connue sous le nom de SODIS (abréviation de Solar Water Disinfection), a été étudié pour la première fois en 1980 par Acra et *al* où ils ont utilisé des sacs de polyéthylène et des récipients en verre transparent et en plastique remplis avec de l'eau contaminée et exposés directement au soleil. Les résultats confirment l'efficacité et la faisabilité de la décontamination solaire de l'eau en petite quantité où un zéro coliforme/ml est atteint après environ une heure. Ils ont signalé que l'action germicide peut être due au rayonnement UV solaire dans la gamme de longueur d'onde (300-400 nm).

Plus tard, en 1990, Acra et *al* ont démontré que l'eau peut être décontaminée par le rayonnement solaire sur une grande échelle à l'aide des systèmes à flux continu. Depuis lors, la désinfection de l'eau à l'aide de la lumière solaire naturelle et artificielle est largement étudiée pour l'inactivation d'une large gamme de bactéries (*E. coli*, *streptococcus faecalis*, *Shigella dysenteriae*, *Cryptosporidium*, *Enterococcus faecalis*, *salmonelle*, *pseudomonas* et *coliform*) (Acra et *al.*, 1990 ; Reed, 1997).

En 1998, McGuigan et *al.*, ont étudié le rôle des mécanismes optiques et thermiques dans l'inactivation d'*E. coli* sous lumière solaire. Ils ont constaté que l'inactivation thermique était importante seulement à des températures d'eau supérieures à 45°C et montré que les UV-A (320-400 nm) et la lumière visible étaient majoritairement responsables de l'inactivation d'*E. coli* car les UVB (280-320 nm) sont filtrés par le PET- bouteille.

En 2008, Schmid et *al.*, ont étudié le risque pour la santé causé par la réutilisation des bouteilles en PET lors de la désinfection solaire de l'eau due à la migration des plastifiants et autres produits chimiques dans l'eau. Ils ont confirmé que la méthode SODIS ne constitue aucun risque pour la santé si elle est appliquée correctement.

Bolton et *al.*, 2008 ont montré que parmi les rayonnements UV solaires qui atteignent la surface terrestre, seulement les UV-B peuvent être absorbés par l'ADN et l'ARN, causant des mutations qui inhibent la reproduction bactérienne.

SODIS est une méthode efficace et peu coûteuse qui est plus appropriée pour l'application dans les pays du tiers-monde pour améliorer la qualité de leur eau.

2.1.2.7 Avantages de la photocatalyse

La photocatalyse présente plusieurs avantages parmi lesquelles on peut citer :

- ✓ C'est une technologie destructive et non sélective
- ✓ Minéralisation totale possible: formation de H₂O et CO₂ et autres espèces
- ✓ Elle fonctionne à température et pression ambiante
- ✓ Catalyseur utilisé non toxique, actif sous différentes formes physiques, bon marché
- ✓ Elle est efficace pour de faibles concentrations en polluants
- ✓ Elle nécessite une faible consommation d'énergie (Hellali, 2012).

Méthode physico-chimique : *Photocatalyse par irradiation Ultra-Violet*

8.1. Généralités

La désinfection des eaux par le rayonnement UV a été abordée dès 1910, ce n'est qu'à partir des années 70 qu'elle s'est effectivement développée, actuellement elle est très répandue dans de nombreux pays du monde, elle est considérée comme la meilleure alternative.

Il s'agit donc d'une technologie éprouvée, les domaines d'application s'élargissent au-delà du traitement des eaux usées à des utilisations comme la stérilisation des produits agro-alimentaires et à l'industrie pharmaceutique (Anis Ben Messaoud, 2009).

✓ Principe de fonctionnement par UV

Le rayon ultraviolet appelé couramment UV est un rayonnement électromagnétique qui se déplace par ondes dans toutes les directions à partir de la source émettrice (lampe), le spectre lumineux de rayonnement UV est situé entre celui de rayons X et la lumière visible; Le rayonnement UV se situe dans l'intervalle de longueurs d'ondes compris entre 100 et 400 nm et peut être émis par des sources naturelles (rayonnement solaire) ou artificielles. (AFSSE, 2005).

Le spectre de la lumière UV se divise en 3 bandes :

- spectre UV-A : de 320 à 400 nm
- spectre UV-B : de 280 à 320 nm
- spectre UV-C : de 100 à 280 nm

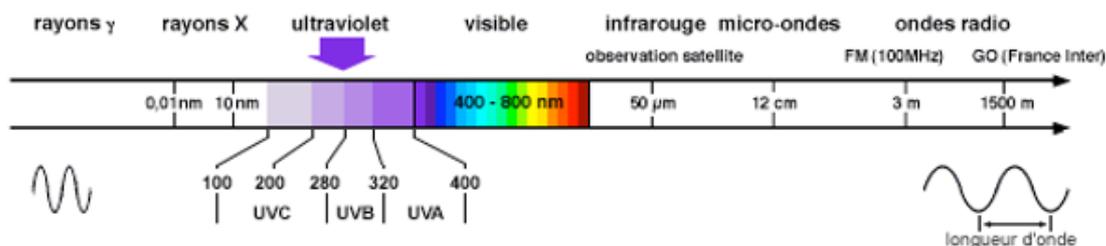


Figure 03 : Spectre d'absorption du rayonnement ultra-violet (AFSSE, 2005).

8.2. Effets de photocatalyse sur les métaux lourds

La photocatalyse est un phénomène au cours duquel une substance appelée «photocatalyseur» accélère une réaction chimique sous l'action de la lumière naturelle (solaire) ou artificielle (lampe ultraviolets généralement). Elle s'apparente au processus chimique de la photosynthèse : le photocatalyseur utilise l'énergie lumineuse, l'eau et l'oxygène de l'air, engendrant ainsi la formation de radicaux très réactifs. Ces derniers sont capables de décomposer certaines substances organiques et inorganiques présentes dans l'eau, parfois nocives (métaux lourds), et de les transformer en composés oxydés (dioxyde de carbone et eau, par exemple). Lors de cette réaction chimique, le photocatalyseur n'est ni consommé ni altéré, ce qui permet au processus de continuer dans le temps (EPF, 2010).

8.3. Effets de photocatalyse sur les micro-organismes pathogènes

L'eau d'alimentation peut contenir une grande quantité de micro-organismes inoffensifs mais également pathogènes (streptocoques fécaux, coliformes fécaux, légionnelles...). Pour que l'eau soit potable, il est nécessaire d'enlever complètement ces bactéries.

Le processus de désinfection le plus utilisé est la chloration. Toutefois, en raison de la présence de la matière organique naturelle dans l'eau, des sous-produits cancérigènes peuvent être générés lors de la désinfection (Lawrance et *al.*, 1984). D'autres processus fréquemment utilisés permis ces processus l'irradiation par des lampes UV germicides.

Selon Chantal et *al* (2011), La désinfection (de l'eau ou de l'air) par *photocatalyse* (élimination de micro-organismes tels que bactéries, virus, champignons) est un domaine très exploré dans de nombreux laboratoires de recherche, même si la compréhension des mécanismes d'action contre les micro-organismes doit encore être approfondie.

8.3.1. Les bactéries

Les bactéries sont des micro-organismes monocellulaires sans noyau (procaryote), elles sont microscopiques, leur dimension est de l'ordre du micromètre (0,5-5 μ m). Les bactéries peuvent être saprophytes ou parasites (Vaillant, 1974), parmi les plus communément rencontrées, on trouve les *Salmonelles* et les *Shigella* qui sont respectivement des entérobactéries mobiles et immobiles. *Escherichia Coli* est l'une des espèces bactérienne la plus souvent rencontrée en pathologie infectieuse humaine. Des germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau, ce sont les coliformes thermotolérants, parmi ces germes on cite les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux et les clostridium (OIE, 1997).

8.3.2. Structure d'une bactérie

Les bactéries sont délimitées par une membrane cytoplasmique et contiennent tous les éléments nécessaires à leur reproduction. Elles possèdent une paroi, parfois une capsule, et sont munies d'un ou plusieurs flagelles. Leur chromosome, une unique molécule d'ADN circulaire, est libre dans la cellule. En plus les bactéries comportent des ribosomes, des plasmides et des pilis (Helali, 2012). (Figure11)

- ✓ **La paroi cellulaire** : c'est une enveloppe rigide plus ou moins épaisse présente chez toutes les bactéries. Elle constitue le squelette externe et est responsable de la forme de la bactérie.
- ✓ **La capsule** : c'est une substance visqueuse, plus ou moins épaisse qui entoure la paroi cellulaire. Elle permet à la bactérie d'adhérer plus facilement aux autres êtres vivants tout en la protégeant de la phagocytose.
- ✓ **Le cytoplasme** : est un hydrogel colloïdal, constitué d'un milieu plus ou moins homogène contenant des ribosomes, des plasmides, des pigments, des vacuoles à gaz et des substances de réserves qui sont des stocks de nutriments sous forme de glycogène, amidon
- ✓ **Les flagelles** : sont des filaments longs et très fins servant au déplacement de plusieurs sortes de bactéries. Le nombre et la position des flagelles constituent un critère de classification des bactéries à flagelles.
- ✓ **Les pilis** : sont des filaments courts possédés par beaucoup de bactéries. Ils permettent aux bactéries de se fixer sur différentes surfaces pour qu'elles puissent se nourrir. De plus, les pilis sexuels servent à établir le transfert de matériel génétique au cours d'un processus nommé «conjugaison ».

- ✓ **Nucleoïde (appareil nucléaire) :** formé d'un seul chromosome sous forme de filament d'ADN non entouré par une membrane. Il constitue le matériel génétique de la bactérie.
- ✓ **Les plasmides :** les bactéries contiennent souvent un ou plusieurs plasmides, qui sont des molécules d'ADN. Ces plasmides peuvent conférer certains avantages aux bactéries, comme la résistance à des antibiotiques ou des facteurs de virulence.
- ✓ **Les ribosomes :** sont de très fines granulations servant à la synthèse des protéines bactériennes (Helali, 2012).

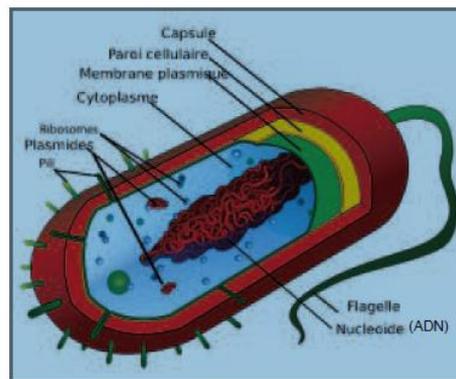


Figure 04: Structure d'une cellule bactérienne (Helali, 2012).

8.3.4. *Escherichia coli* : une bactérie commensale et un agent pathogène

Les *Escherichia coli* sont des bactéries pathogènes originaires du tractus digestif des ruminants qui peuvent contaminer certains aliments. Une fois ingérés, ils peuvent provoquer des pathologies graves. Elles font parties de la flore commensale de l'homme et des animaux à sang chaud (Euzéby, 2011).

Escherichia coli (*E. coli*) a été décrit pour la première fois en 1885 après avoir été isolé dans des selles de nourrissons par l'allemand Theodor Escherich. (Grimont, 1987).

C'est une bactérie à Gram négatif (Gram-) nommée aussi colibacille. Elle est en forme de bâtonnet qui fait partie de la famille des entérobactéries. C'est un type de coliforme fécal généralement commensal et est associé aux déchets animal ou humain. *E. coli* vit d'habitude dans l'intestin et est habituellement inoffensive. Plus de 95 % des souches d'*E. coli* ne sont pas dangereuses et nous en avons besoin pour vivre (Helali, 2012).

Cependant, certaines souches d'*E. coli* peuvent être pathogènes entraînant alors de diarrhées, des gastro-entérites, infections urinaires, méningites, ou septicémies. Des souches

d'*E. coli* peuvent causer parfois la mort, si elles parviennent à franchir les lignes de défense naturelles de l'organisme (Helali, 2012).

E. coli se réplique très rapidement à 37°C, toutes les 20 minutes, ce qui permet de multiplier facilement de l'ADN ou des protéines d'intérêt. *E. coli* est l'organisme le plus étudié à l'échelle du laboratoire à cause de sa plus haute résistance à l'effet bactéricide du soleil relativement aux autres bactéries (Acra et *al.*, 1984).

Donc à cause de sa forte résistance, *E. coli* est utilisé comme indicateur de contamination fécale récente dans les réseaux de distribution d'eau potable, c'est donc un bon indicateur de la présence de pathogènes entérique; constituant un risque pour la santé humaine. (Vernozy et *al.*, 2003 ; Texier , 2008)

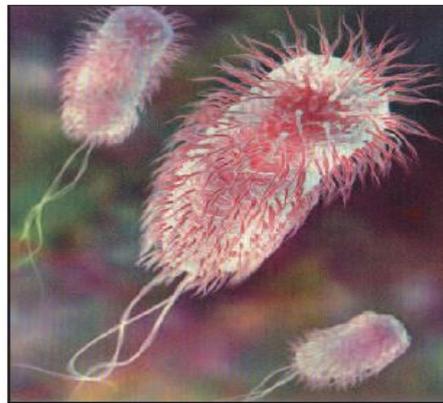


Figure05: Image d'*Escherichia coli* (Helali, 2012).

Partie

Expérimentale

Chapitre 01 :
Présentation de la zone d'étude

2. Relief

Le territoire de la wilaya est constitué des zones montagneuses qui représentent 65 % de sa surface globale, le reste est occupé par les hauts plateaux et dans une moindre mesure les steppes (ANDI, 2013). Ces terres sont divisées comme suit :

- ✓ Une zone montagneuse avec un taux de 65%.
- ✓ Une zone des hautes plaines avec un taux de 25%
- ✓ Une zone steppique occupant 10% de la superficie globale de la wilaya.

Le plus haut sommet est cartographie au niveau de Sidi Amar (monts de l'Ouarsenis) avec une de 1983m.

Alors que le niveau le plus bas est enregistré à Koudiet El Yachine (au Nord d'El Azharia) avec près de 389m d'altitude.

Tissemsilt abrite le Parc national de Theniet El-Haâd, connu par sa forêt de cèdres, en effet, le domaine forestier couvre 20 % du territoire de la wilaya (ANIREF, 2011).

3. Conditions climatiques

La région de Tissemsilt fait partie de l'étage bioclimatique semi-aride, particularité du climat méditerranéen, caractérisé par un hiver froid humide et un été chaud et sec, quant à la pluviosité moyenne annuelle, elle oscille entre 300 et 600mm de pluies, avec cependant un pic de 800mm enregistrée aux monts de l'Ouarsenis ou on note également la chute de neige dont la hauteur moyenne se situe dans une fourchette comprise entre 0,5 et 50cm d'épaisseur, accompagnée parfois de verglas (ANIREF, 2011; ANDI, 2013).

4. Secteur d'agriculture dans la wilaya de Tissemsilt

La Wilaya de Tissemsilt est à vocation agrosylviculture, elle dispose d'une SAU de 145.465 has et d'une superficie irriguée de près 2850 has sur un potentiel en sol irrigable de 15.000 has (ANIREF, 2011).

Le domaine forestier couvre 20% du territoire avec une superficie de 62.119 has. Dans ce cadre, plus de 137 lots viabilisés allant de 600 M² à 3000 M² sont répartis en quatre zones d'activités et implantées sur des axes routiers importants : RN14, RN60 et CW17 (ANIREF, 2011).

Le secteur agricole, à travers la production de céréales, de fourrages et d'élevage, revêt une importance capitale dans la wilaya de Tissemsilt au regard de sa vocation agrosylviculture. En effet, cette spécificité est déterminée grâce aux conditions climatiques favorables ainsi qu'à la diversité de ses terres (plaines, steppes et monts). Depuis des lustres, la population de Tissemsilt a su maîtriser ce genre d'activités, aidée en cela par l'immensité de ses terres aussi bien celles irriguées que celles pastorales pour l'élevage ovin, bovin, caprin, équin ainsi que la production de viandes rouge et blanche. De vastes superficies de terres sont également exploitées pour la culture des fruits et légumes saisonniers (ANIREF, 2011; ANDI, 2013).

5. Station d'épuration des eaux usées de la wilaya de Tissemsilt

Localisée dans la commune de Tissemsilt et Oued Bessem, la station de traitement et d'épuration (S.T.E.P) de Tissemsilt est située à 07 Km de la ville de Tissemsilt sur la route d'Alger. Caractérisée par une activité agricole due à la présence de barrage de Bougara, cette station s'étale sur une superficie de 7 Hectare avec une altitude de 850 m (ANDI, 2013).

Dotée en équipement de dernière génération, cette structure est destinée en premier lieu à préserver les eaux du barrage de Bougara situé à 8 km au sud de Tissemsilt. Cet ouvrage, qui recevait depuis longtemps les déchets (domestiques et toxiques) des deux communes de Tissemsilt et Ouled Bessem, vient à point nommé pour servir d'appoint aux autres opérations d'aménagement urbain dans la région de Tissemsilt. Selon le directeur de wilaya des ressources en eau, cet acquis permet le traitement de 12 000 m³/jour au profit de 85 000 habitants des communes de Tissemsilt et Ouled Bessem, avec comme objectif d'atteindre une capacité quotidienne de traitement de 27 000 m³ à l'horizon 2025. La station contribue également à protéger le barrage de Bougara, à l'irrigation des terres agricoles environnantes sur une superficie estimée à 1 000 ha, outre la protection du grand bassin Zahrar (wilaya de Chlef) (ANDI, 2013).



Figure 07 : Présentation de la station d'épuration de Tissemsilt (STEP, 2018).

5.1. Capacité du traitement des eaux usées

La station d'épuration de Tissemsilt a été conçue, en 2009 par le ministère de l'hydraulique, pour traiter un débit moyen de $1\,125,00\text{ m}^3/\text{h}$ avec une capacité maximale de 150 000 EH. C'est une station d'épuration à boues activées, prévue pour 850 000 habitants équivalents. En service réel depuis 2013, elle traite aujourd'hui la moitié des rejets des eaux usées déversées par la ville de Tissemsilt (Zaoui et Sbagh, 2017).

5.2. Qualité des eaux usées brutes arrivé à la station de Tissemsilt

Les eaux usées se classent en deux catégories, les eaux d'égouts et les eaux industrielles. La station d'épuration traite les eaux usées d'égouts de Tissemsilt. Ces eaux sont acheminées à la station par une conduite à écoulement gravitaire.

Le tableau suivant représente les caractéristiques techniques de l'eau de rejet à l'entrée de la STEP (STEP, 2018).

Paramètres	Unité	Horizon 2015	Horizon 2025
Procédé d'Oxydation	PROCEDE PAR BOUE ACTIVEES		
Nombre d'E.H	EQ/H	110 000	150 000
Volume Moyen Journalier des Eaux Usées	M ³ /J	15 840	27 000
Dotation D.B.O.5	mg/l	54	54
D.B.O.5 Journalière	Kg/j	5940	8100
Dotation M.E.S	mg/l	70	70

Tableau 03 : les caractéristiques techniques de l'eau de rejet à l'entrée de la STEP

(ONA Tissemsilt,2018)

Chapitre 02 :
Mise en place du protocole
expérimental

Dans cette étude expérimentale, nous avons étudiée l'efficacité d'un procédé photocatalytique par l'utilisation d'un photocatalyseur semi-conducteur le dioxyde d'étain (SnO_2) pour purifier les eaux usées à fin de les utiliser dans l'irrigation des terres agricoles.

1. Dispositif expérimental

Afin de ressortir le rôle du photocatalyseur (SnO_2) sur la dépollution et la purification des eaux usées, nous avons irradié l'eau usée, en présence et absence du photocatalyseur, par un rayonnement ultra-violet (UV) pendant une durée de 4 heures. La longueur d'onde centrale des lampes UV est de 254-366 nm (Fig. 08).

Nous avons obtenu 02 systèmes qui sont :

1. **Systeme S1** : consiste à irradier l'eau usée par rayonnement UV.
2. **Systeme S2** : irradiation de l'eau usée par un rayonnement UV en présence du photocatalyseur (SnO_2).

Les prélèvements ont été effectués chaque 2 heure pendant une durée de 4 heures, avec 3 répétitions, d'irradiation avec UV pour ces eaux.



Figure 08 : Dispositif expérimental de la photocatalyse (Cliché Massinissa, 2018).

Cette méthode a pour but de décomposer certaines substances polluantes présentes dans l'eau, qui sont nocives pour la santé humaine, pour les transformer en composés oxydés (dioxyde de carbone et eau, par exemple), et désinfecter l'eau, ainsi que l'élimination d'une grande partie des micro-organismes pathogènes de cette dernière. (Matsunaga et *al.*, 1985 ; Herrmann, 2003).

Durant cette étude, nous avons utilisé les eaux usées provenant de la station d'épuration de la ville de Tissemsilt.

Les différentes étapes, de traitement et d'analyse de l'eau usée irradiée par UV en présence du photocatalyseur, sont illustrées dans le schéma ci-dessous.

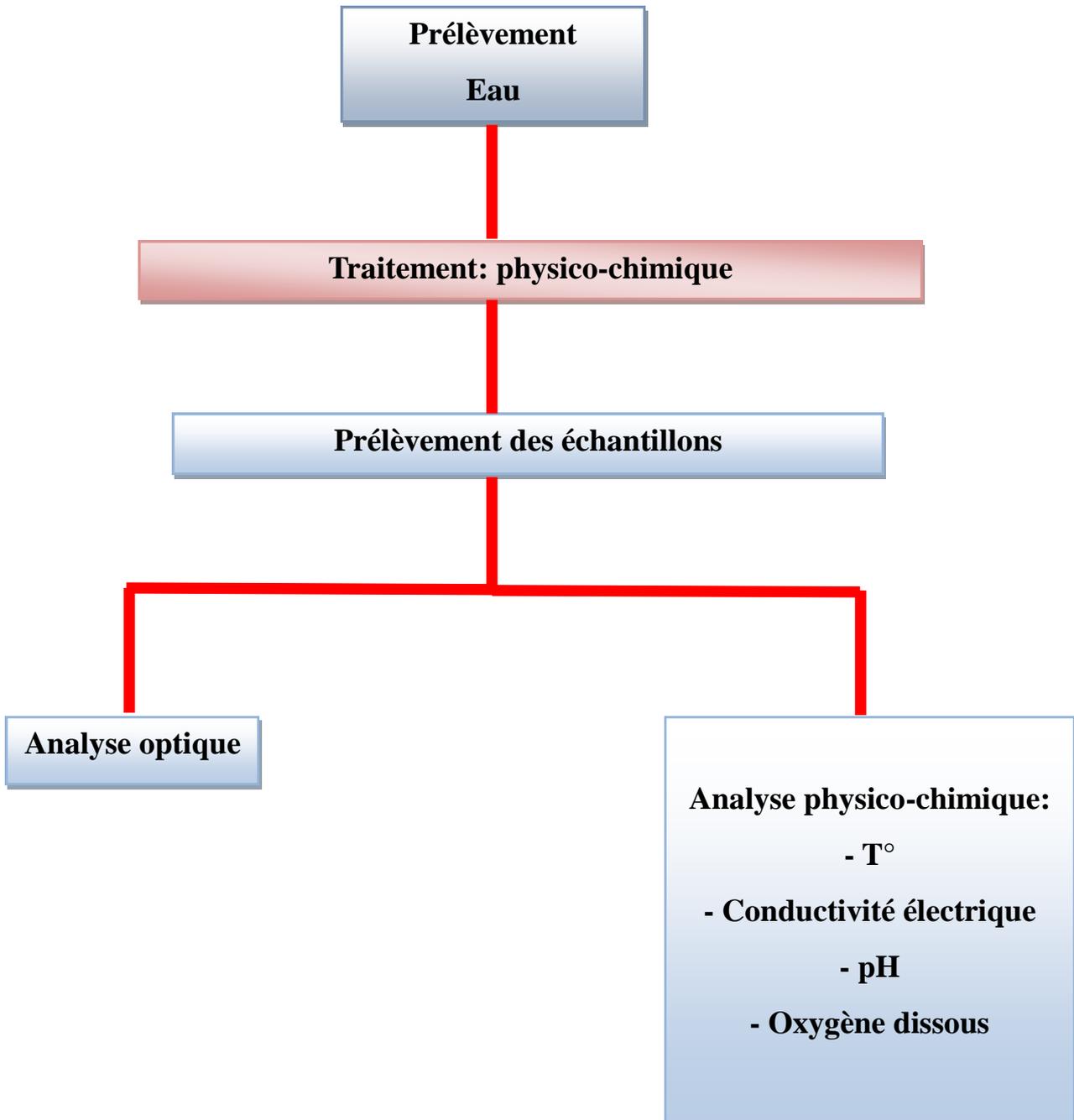


Figure 09 : Organigramme présentant les étapes suivies lors de notre investigation

2. Le choix de photocatalyseur : Le photocatalyseur SnO_2

Un semi-conducteur est caractérisé par l'existence dans son diagramme d'énergie d'une bande interdite notée E_g (également appelée "gap") séparant la bande de conduction et la bande de valence et selon les propriétés de cette bande interdite.

Le SnO_2 attire beaucoup d'attention grâce à sa simple fabrication, sa réponse rapide. Avec ces propriétés électriques et optiques de haute qualité, il est utilisé dans le domaine photovoltaïque, matériaux électrodes, les écrans plats et les détecteurs à gaz.

Le dioxyde d'étain est un meilleur photocatalyseur. Toutefois, les recherches actuelles ont montré que il est parmi les matériaux les plus intéressants du fait de sa forte activité photocatalytique, de sa stabilité dans les conditions d'utilisation, de la non toxicité et de son prix bas (Bezzrouk, 2016).

2.1. Propriétés cristallographiques de l'oxyde d'étain

L'oxyde d'étain présente un écart à la stoechiométrie du fait de l'existence des lacunes d'oxygène au sein de la maille. La formule chimique de ce composé se présente sous forme SnO_2 ou bien SnO . (Arefi-Khonsari et al 1998; Kissine 1999)

Présent à l'état naturel, le dioxyde d'étain, sous forme cassitérite, cristallise sous la structure tétragonale de type rutile (Fig. 10). La maille est constituée de deux atomes d'étain placés aux sommets d'un triangle équilatéral et de quatre atomes d'oxygène placés aux sommets d'un octaèdre régulier (Arefi-Khonsari et *al.*, 1998 ; Kissine et *al.*, 1999).

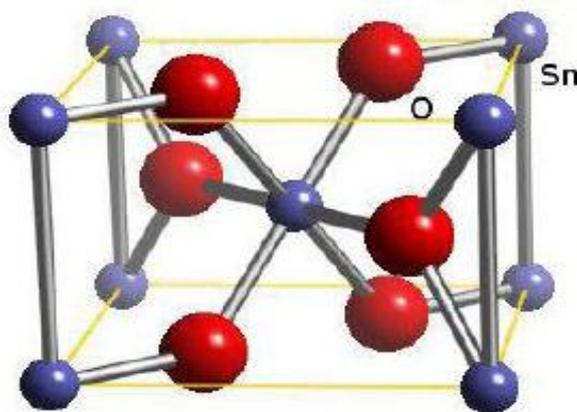


Figure 10 : Maille élémentaire d'oxyde d'étain (structure de type Rutile) (Arefi-Khonsari et *al.*, 1998 ; Kissine et *al.*, 1999).

2.2. Propriétés optiques

L'oxyde d'étain présente une forte absorption dans le domaine de l'ultraviolet et une forte réflexion dans le domaine de l'infrarouge. Cependant, dans toute la gamme spectrale du visible, les couches minces d'oxyde d'étain présentent une forte transmission.

L'étude de la courbe de transmission, dans le domaine de l'UV-Visible, d'une couche mince en fonction de la longueur d'onde permet de définir trois paramètres importants : l'indice de réfraction du film, l'épaisseur et l'énergie de gap (Swanepoel, 1983; Peng et *al.*, 1994 ; Hartridge et *al.*, 1998).

2.3. Propriétés électriques

Les propriétés électriques du SnO₂ caractéristiques sont la résistivité des films, la densité de porteurs de charge et leur mobilité.

L'oxyde d'étain SnO₂ est un semi-conducteur avec un gap de 3.6 eV. À température ambiante, ce semi-conducteur intrinsèque est pratiquement isolant (SnO₂ stoechiométrique) mais une fois il est loin de la stoechiométrie il devient relativement un bon conducteur (non stoechiométrique) , ce cas est appelé dopage intrinsèque c'est les vacances d'oxygène qui génèrent des électrons dans la bande de conduction (Swanepoel, 1983; Peng et *al.*, 1994 ; Hartridge et *al.*, 1998).

3. Prélèvement des échantillons d'eau

Le prélèvement a été effectué après traitement par photocatalyse et rayonnement UV chaque 2 heures avec 3 répétitions. Les échantillons d'eau prélevés, ont subi une série d'analyse dans le laboratoire de la station d'épuration de la ville de Tissemsilt et le laboratoire de génie-physique de la faculté de science de la matière de l'université Ibn khaldoun de Tiaret.

Durant cette étude, nous avons utilisé les eaux usées provenant de la station d'épuration de la ville de Tissemsilt.

Localisée dans la commune de Tissemsilt et Oueld Bessem, la station de traitement et d'épuration (S.T.E.P) de Tissemsilt est située à 07 Km de la ville de Tissemsilt sur la route d'Alger. Caractérisée par une activité agricole due à la présence de barrage de Bougara, cette station s'étale sur une superficie de 7 Hectare avec une altitude de 850 m (ANDI, 2013).

4. Analyse physico-chimique des eaux usées traitées par UV et photocatalyseur

L'analyse physico-chimique consiste en la détermination des paramètres de pollution tels que le pH, température, conductivité, DCO, DBO5, MES, NO_3^- , l' O_2 dissous.

Après avoir prélevé les échantillons, selon les conditions requises, les analyses ont été effectués directement et selon les protocoles préconisés (Rodier *et al.*, 2005).

4.1. Détermination du pH

Le pH est mesuré directement à l'aide d'une électrode de pH combinée. Il consiste à tremper l'électrode dans le bûcher de l'échantillon, laisser stabiliser un moment, puis noter le pH (Rodier *et al.*, 2005) avec un appareil multi-paramètre de marque *HACK*.

4.2. Mesure de la conductivité

Pour la détermination de la conductivité, nous avons utilisé un conductivimètre (Fig 11). Elle est déterminée après rinçage de l'électrode avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant l'échantillon à examiner ; faire la mesure en prenant soin que l'électrode soit complètement immergée. Le résultat de la conductivité est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Le résultat de la salinité et du taux de sels dissous (TDS) sont donnés respectivement en ‰ et en mg/l (RODIER *et al.*, 2005).



Figure 11 : Appareil de mesure de la conductivité (Cliché Massinissa, 2018).

4.3. Mesure La température et l'Oxygène dissous

L'utilisation de la méthode électrochimique nous a permis l'estimation simultanée de la température et de l'oxygène dissous. L'appareil utilisé est un oxymètre de terrain de marque HAC197i qui a une précision de #177; 01% La sonde électrolytique est plongée dans l'eau prélevée.

4.4. Les matières en suspension (M.E.S)

4.4.1. Principe de la méthode

La méthode consiste à filtrer l'eau sur membrane filtrante afin de retenir toutes les particules de taille supérieure à 05 um environ La membrane est rincée séchée et pesée avant et après filtration La différence de poids permet de connaître la masse sèche totale de matière en suspension dans le volume filtré correspondant (Aminot et Kérouel, 2004).

4.4.2. Mode opératoire

Le dispositif de filtration est constitué d'une base support-filtre surmontée d'un entonnoir amovible entre lesquels est pincé le disque membrane filtrant.

Un volume représentatif de l'eau (500 ml) de chaque échantillon est filtré à travers un filtre (Wattman GF/F, diamètre : 47 mm) préalablement conditionné et pesé.

Pour éviter tout éclatement des mailles des filtres ou des cellules vivantes la filtration est toujours effectuée avec des dépressions inférieures à 300 mm de mercure (Aminot et Chaussepied, 1983).

Avant la filtration le disque filtrant est laver (avec l'eau distillée), sécher pendant 2h à l'étuve puis peser.

4.4.3. Calcul et expression des résultats

Les concentrations sont calculées selon la formule suivante :

$$[\text{M.E.S}] \text{ (mg/l)} = (\text{P2} - \text{P1}) / \text{V}$$

Où : [M.E.S] : concentration de la matière en suspension (mg/l).

P1 : poids du filtre sec avant filtration (mg).

P2 : poids du filtre sec après filtration (mg).

V : volume d'eau filtré (ml).

4.5. La demande biochimique en oxygène (DBO5)

La demande biochimique en oxygène est représentée par la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour dégrader la matière organique dans l'eau (Aminot et Chaussepied, 1983).

C'est une méthode manométrique avec des manomètres de marque OxiTop à affichage numérique qui se fixe directement sur le flacon de DBO 5 (Fig 12).

Il permet de mesurer la quantité d'oxygène consommée et qui est induite par la production de CO_2 absorbé par un piège à soude créant ainsi une dépression enregistrée par le manomètre. Cette dépression est liée par corrélation à la DBO en fonction du volume de l'échantillon.

Le mode opératoire est décrit dans le catalogue de l'appareil :

- > La prise d'essai est de 250 ml.
- > Introduire 250ml dans un flacon brun en verre contenant un baro magnétique.



Figure 12 : Mesure de la DBO (Cliché Massinissa, 2018).

- Mettre deux pastilles de soude (NaOH) dans un ruban en caoutchouc dans le goulot de la bouteille.
- Fermer les flacons par les têtes et mettre à 0.
- La température est équilibrée par un thermostat réglé à 20°C .
- Les échantillons sont incubés à l'obscurité dans une armoire thermorégulatrice fermée à clef pendant cinq jours.
- La lecture des résultats se fait selon la formule suivante :

$$\text{DBO}_5 \text{ (mg d'O}_2\text{/L)} = \text{Valeur lu} * \text{Facteur}$$

-Valeur lu : afficher sur la tête de chaque flacon.

-Facteur : un coefficient en relation avec le volume incubé

4.6. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène nécessaire pour obtenir une oxydation complète des matières organiques et minérales présentes dans l'eau. Certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromate de potassium, en milieu acide en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure.

L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium (Rodier et *al.*, 2005).



Figure 13 : Mesure de la DCO (Cliché Massinissa, 2018)

4.7. Les nitrates (NO₃⁻)

Dosés selon la méthode de réduction au cadmium par passage sur une colonne de cadmium ; les nitrates sont réduits en nitrites. Le taux de nitrates exprimé en mg/l NO₃⁻ est calculé par la différence des taux des nitrates et nitrites à la fois et du taux des nitrites.

Chapitre 03 :

Résultats et discussion

1. Résultats optique

1.1. L'effet du temps d'irradiation par rayonnement ultraviolet avec l'absence du photocatalyseur :

Cette partie de travail a pour objectif d'étudier les efficacités du procédé photocatalytique pour traiter des eaux usées contaminées par des polluants chimiques, en utilisant seulement des photons de lumière artificielle ultraviolette (LA PHOTOLYSE).

On appelle photolyse toute réaction chimique dans laquelle un composé chimique est décomposé par la lumière. Le processus direct est défini comme l'interaction d'un photon inter-réagissant avec une molécule cible. La « **photo-dissociation** » ou « **photo-décomposition** » sont des formes de photolyse.

La figure suivante représente des spectres d'absorptions dans la gamme entre 290nm à 900nm. Puisque les tracés des différents temps d'exposition sont similaires, nous avons calculé l'absorption moyenne pour voir l'effet du temps d'exposition sur l'eau usée utilisée.

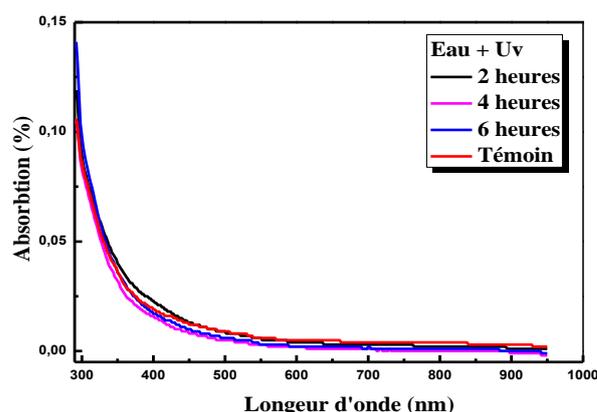


Figure 14 : Spectres d'absorptions sous rayonnement ultraviolet de l'eau usée de station d'épuration de Tissemsilt

Le tableau 04 résume les valeurs d'absorption moyenne calculée à partir des spectres d'absorptions représentés sur la figure N° 15.

Tableau 04: Valeurs d'absorption moyenne durant 6 heures d'exposition sous rayonnement ultraviolet de l'eau de station de purification du Tissemsilt.

Temps (heures)	Absorption moyenne (%)
2	0,0083%
4	0,0049%
6	0,0062%
Témoin	0,0086%

Nous remarquons clairement que l'absorption moyenne atteint une valeur minimale de 0,0049 % par rapport à l'échantillon témoin 0,0086% pour une durée de 4 heures d'éclairement.

Ces valeurs nous montrent, que l'eau usée utilisée est devenue moins sale durant la photolyse.

Les photons sont également absorbés par des substances, ce qui entraîne la rupture des liaisons chimiques entre les différents atomes constitutifs de ces molécules. Comme chaque substance a une longueur d'onde optimale de captation, le spectre UV-Visible, se prête donc à une large gamme de substances chimiques (Gumy *et al.*, 2006 ; Guillard *et al.*, 2008).

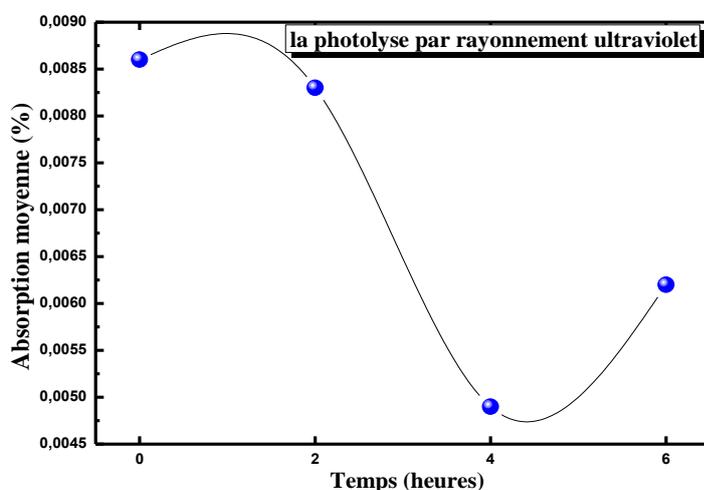


Figure 15 : Photolyse par rayonnement ultra-violet

1.2. L'effet du dopage par Bismuth sur le SnO₂ utilisé comme photocatalyseur :

Dans cette partie, nous avons utilisé le SnO₂ dopé bismuth pour étudier l'effet du dopage sur la nature de l'eau usée. Nous avons choisi le bismuth Bi⁺³ puisque il a un excès d'électron (atomes donneurs) par rapport au Sn⁺⁴. Le bismuth va prendre la place du Sn à la structure hôte de SnO₂. Les résultats obtenus de l'absorption moyenne pour une durée de 2 heures et 4 heures sont résumés dans le tableau 5 et la figure 16 respectivement.

Tableau 5: Valeurs d'absorption moyenne en fonction du dopage (SnO_2 : Bi) exposé sous rayonnement ultraviolet de l'eau de station d'épuration du Tissemsilt.

Taux du dopage par Bismuth (Bi^{+3})	Absorption moyenne 2 heures	Absorption moyenne 4 heures
3%	0,0085	0,0086
5%	0,0083	0,0064
7%	0,0063	0,0085
11%	0,0079	0,0082
Témoin	0,0086	0,0086

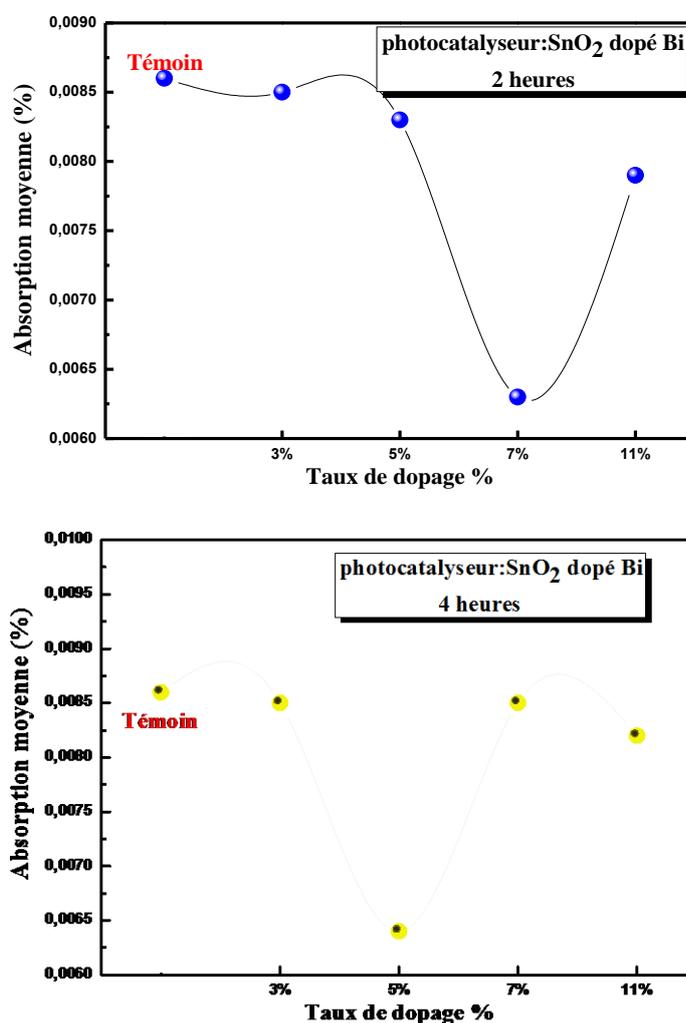


Figure 16 : L'absorption moyenne en fonction du dopage (SnO_2 : Bi) exposé sous rayonnement ultraviolet de l'eau de station d'épuration de Tissemsilt.

L'utilisation du photocatalyseur SnO₂ dopé Bi traduit une diminution d'absorption moyenne de 0,0086% vers 0,0063% pour un dopage de 7% pendant 2 heures d'exposition à l'UV, et vers 0,0064 pour un dopage de 5% pendant 4 heures d'exposition à l'UV.

Cette diminution est faible par rapport à la photolyse, due à un excès d'électron et une diminution des nombres des trous qui sont responsables de processus photocatalytique d'un côté. Les ions de Bismuth (Bi³⁺) sont remplacés par les ions d'étain (Sn⁺⁴) dans la matrice hôte de SnO₂ et provoque des défauts de structures.

D'autres coté, cette diminution est peut être due aux faibles défauts cristallins crée à cause de la substitution de Bi³⁺ (rayon ionique de 0,103 nm) par Sn⁺⁴ (rayon ionique 0,112 nm) donc une surface de contact un peu grande qui pourrait fournir des sites actifs pour les molécules de réactifs et favoriser l'efficacité de la séparation des polluants.

Haya et *al* (2017) et Malato et *al* (2002) ont remarqué que la création des défauts de structures sur les couches minces de SnO₂ dopé Sr⁺³ augmente le processus photocatalytique. Un nombre important des défauts cristallins créés par la substitution de l'atome de Sr (rayon ionique 0,126 nm) par l'atome de Sn⁺⁴ (rayon ionique 0,112 nm) traduit une surfaces de contact plus grade. Plus le rayon ionique de l'atome intégré est grand, plus le nombre des défauts cristallins sur la surface est grand, donc une importante efficacité de la séparation des polluants.

Ces résultats ouvrent pour nous, une autre porte de recherche pour étudier l'influence du dopage des matériaux utilisé comme photocatalyseur par des atomes accepteurs (un excès des trous) qui ont un rayon ionique plus grand.

2. Analyses physico-chimiques des échantillons

2.1. Echantillons d'eau traités par rayonnement UV et photocatalyseur dopé à 5%

La première phase de notre travail, consiste à faire des traitements, des échantillons d'eau usée, par rayonnement UV en présence et absence du photocatalyseur SnO₂ dopé à 5%.

2.1.1. La conductivité électrique

La conductivité électrique renseigne sur le degré de minéralisation des eaux superficielles et qui est la quantité de sels minéraux contenus dans l'eau sous forme d'anions (HCO⁻³, SO₄⁻², CL⁻) et cations (Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺).

Selon Rodier et al (2005), la mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau.

Les résultats de la conductivité électrique, obtenus lors de notre expérience, sont représentés dans la figure 17.

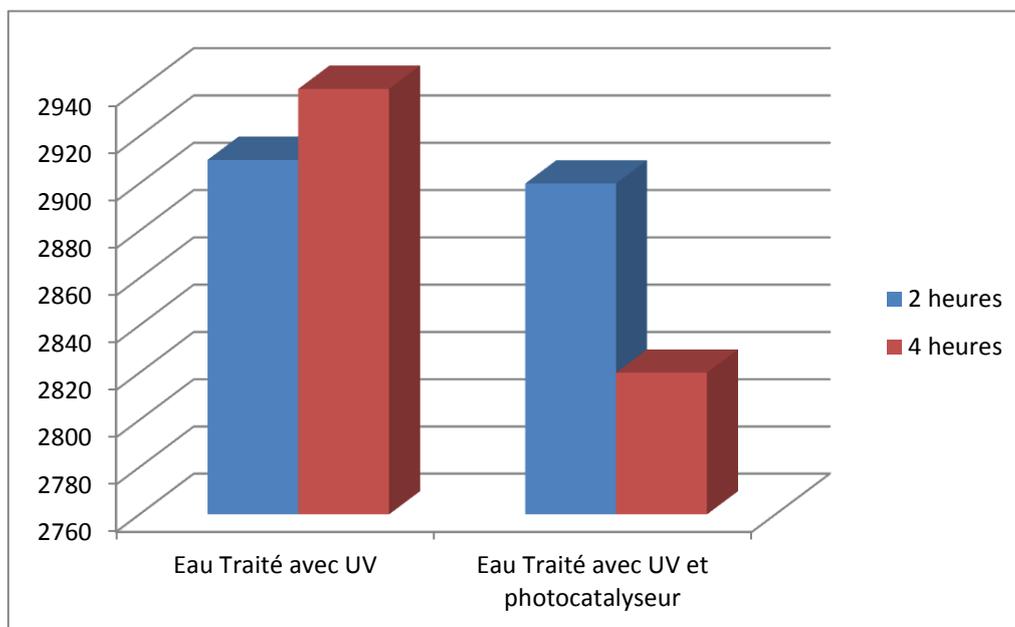


Figure 17 : Evolution de la conductivité électrique (µs/cm) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau + photocatalyseur+UV) durant 2 et 4 heures dopé à 5% .

L'analyse de la figure 17, permet de constater une augmentation du taux de la conductivité électrique pour l'eau traitée uniquement par rayonnement UV, en effet, elle est passée de 2910 à 2940 µs/cm.

Par contre nous remarquons, une diminution de la conductivité de l'eau traitée par UV en présence du photocatalyseur, en effet, elle est passée de 2900 à 2820 µs/cm.

Les valeurs enregistrées au cours de cette étude indiquent que la conductivité électrique des eaux usées se caractérise par des valeurs relativement élevées dues probablement aux charges polluantes. Selon Franck (2002), tout rejet polluant s'accompagne d'un accroissement de la conductivité.

2.1.2. Potentiel hydrogène et l'oxygène dissous

Les résultats du pH et de l'oxygène dissous, obtenus durant notre investigation, sont représentés dans la figure 18.

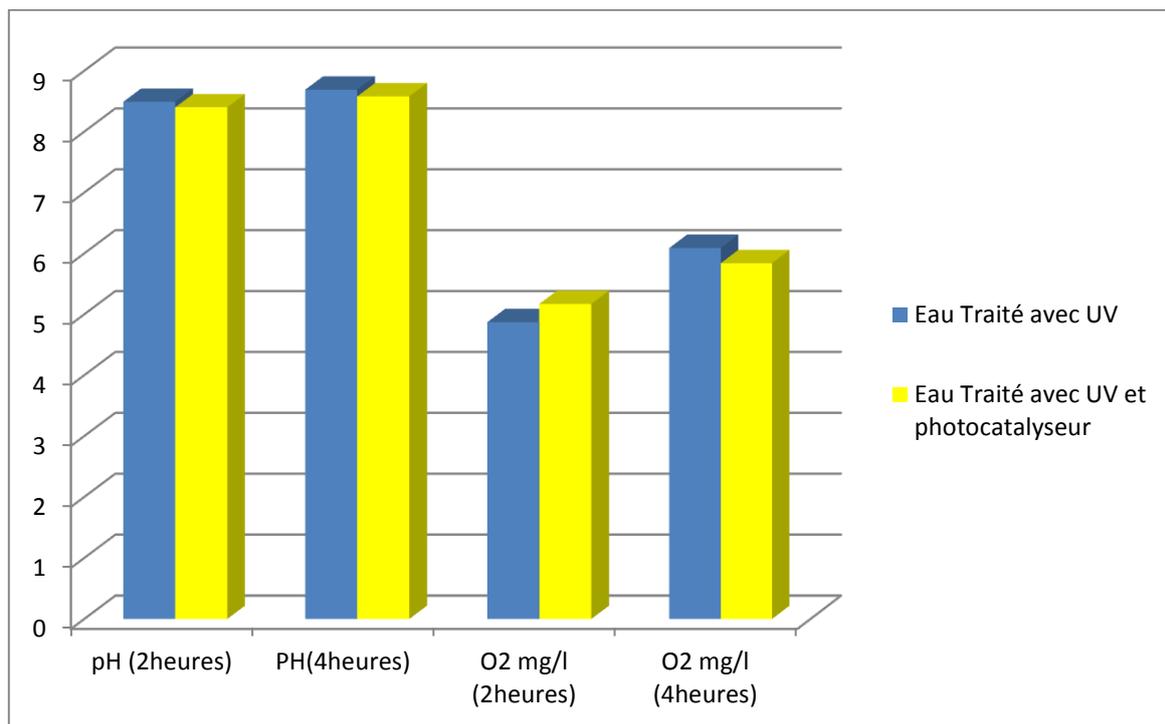


Figure 18 : Evolution de taux de pH et les teneurs de l'oxygène dissouts (mg/l) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV) dopé a 5%.

L'examen de la figure 18, indique que le pH de l'ensemble des échantillons, est alcalin et presque stable au cours de notre expérimentation.

L'eau traitée par UV à un pH qui varie de 8,49 à 8,69 et 8,58 respectivement pour 2 heures et 4 heures d'irradiation. Alors que l'eau traitée par UV en présence du photocatalyseur a un pH qui oscille de 8,40 et 8,58.

D'après Baque et *al* (2006), le pH est un paramètre pertinent lorsqu'il s'agit de décrire qualitativement l'origine d'une eau naturelle. En effet, selon la nature des terrains traversés par

les eaux, leur pH peut varier entre 6 et 8. Les eaux traversant majoritairement des zones carbonatées auront tendance à être basiques. Au contraire, celles traversant des terrains moins carbonatés ou siliceux auront tendance à être plus acides (pH inférieur ou voisin du 7). Le ministère du commerce (2011) limite le pH entre 6,5 et 9. Selon Rodier et al (2005), Le pH n'a pas une incidence écologique directe forte entre 5 et 9.

Nous remarquons que les teneurs de l'oxygène dissous augmentent durant les 04 heures de notre travail, en effet, on est passé de 4,87 à 6,09 mg/l pour l'eau traitée uniquement par UV et de 5,17 à 5,84 mg/l pour l'eau traitée par UV et photocatalyse durant les 04 heures d'expériences.

2.1.3. Demande chimique en oxygène (DCO)

Les résultats de la demande chimique en oxygène, obtenus durant notre investigation, sont représentés dans la figure 19.

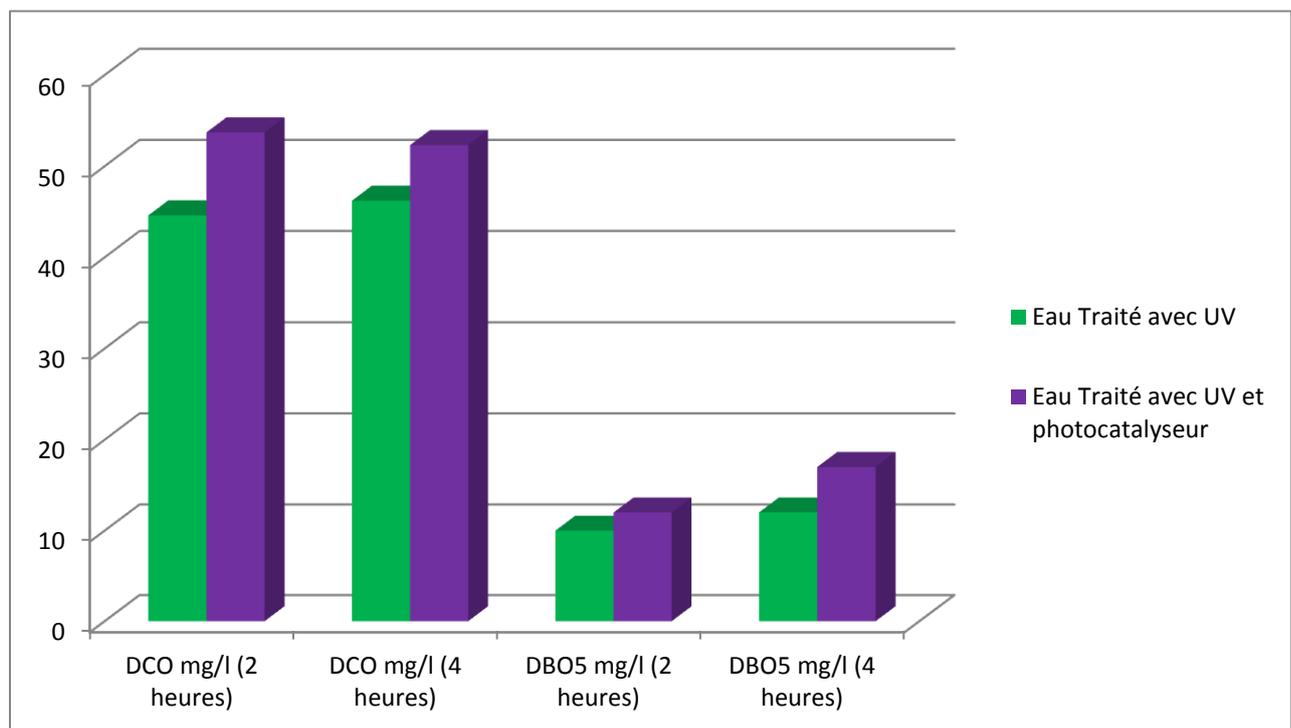


Figure 19 : Evolution de taux de DCO et les teneurs de DBO5 (mg/l) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV) dopé à 5%.

Nous observons une faible variation des teneurs de la DCO, ces valeurs oscillent entre 44,6 et 46,2 mg/l pour l'eau traitée avec UV, et de 53,7 à 52,3 mg/l pour l'eau traitée par UV et photocatalyse. Ces valeurs sont conformes aux normes algériennes de rejet (120 mg O₂/l), ainsi que celles de l'OMS (< 90 mg O₂/l).

2.1.4. Demande biologique en oxygène (DBO5)

Les résultats de la demande biologique en oxygène, obtenus durant notre investigation, sont représentés dans la figure 19. Elles oscillent entre 10 et 12 et de 12 à 17 respectivement pour l'eau traitée avec UV et pour l'eau traitée par UV et photocatalyse. Les valeurs de la DBO₅ sont inférieures aux normes algériennes de rejet (40 mg O₂/l) et à celles de l'OMS (< 30 mg O₂/l).

2.1.5. Les nitrates et matières en suspension

Les résultats du nitrates, obtenus durant notre investigation, sont représentés dans la figure 20.

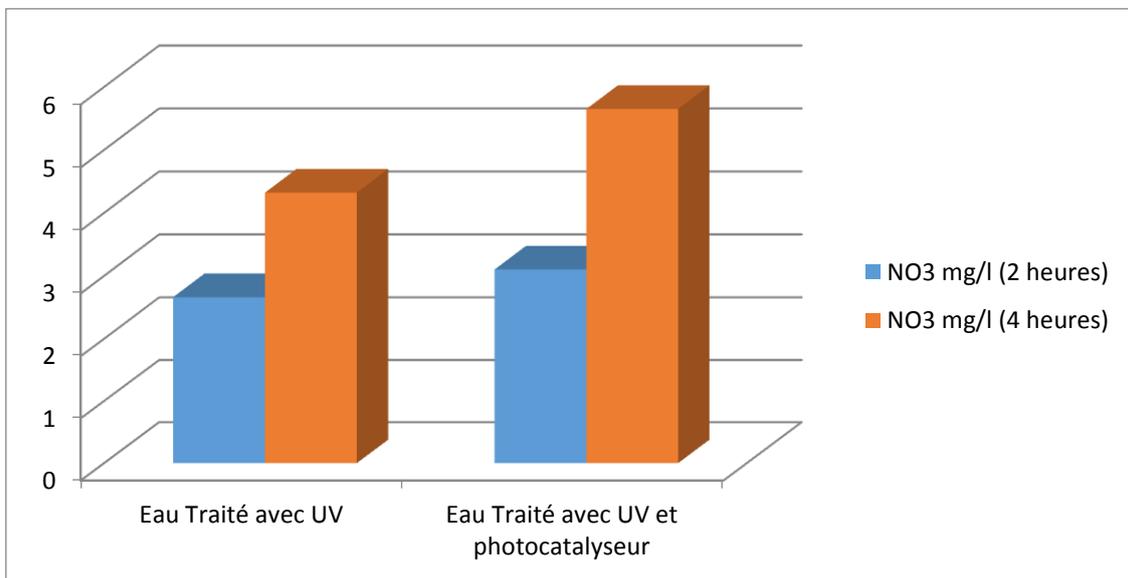


Figure 20 : Evolution de taux du nitrate (mg/l) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV) dopé à 5%.

Dans cette étude, de faibles teneurs en nitrates sont notées au niveau des eaux traitées avec UV. Elles varient entre 2,66 mg/l et 4,32 mg/l. Dans les eaux traitées par UV et photocatalyse épurées, ces valeurs oscillent entre 3,1 mg/l et 5,65 mg/l (Fig. 19). Le taux des nitrates a augmenté considérablement au niveau des eaux traitées par UV et photocatalyse par rapport aux eaux traitées uniquement par UV mais reste inférieur aux normes de l'OMS (50 mg/l).

2.1.6. Les matières en suspension

Les résultats des matières en suspensions, obtenus durant notre investigation, sont représentés dans la figure 21.

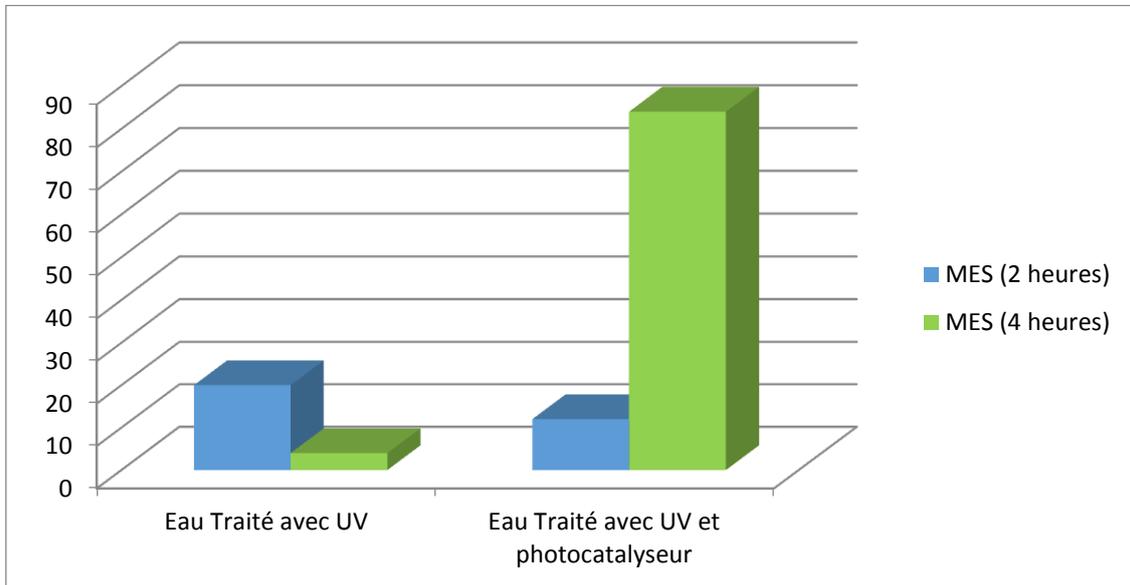


Figure 21 : Evolution de taux des matières en suspension dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV) dopé à 5%

Les résultats de la matière en suspension, obtenus durant notre investigation, sont représentés dans la figure 21. Elles oscillent entre 20 et 04 et de 12 à 84 respectivement pour l'eau traitée avec UV et pour l'eau traitée par UV et photocatalyse. Elles restent cependant inférieures à la norme de rejet de l'OMS (30 mg/l) et à celle du journal officiel algérien limitée à 35 mg/l (JORA, 2006) sauf pour les échantillons de 4 heures de l'eau traitée par UV et photocatalyse.

Selon la FAO (2003), la présence de matière en suspension dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols. Cependant, une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que l'obturation des systèmes d'irrigation (Belaid, 2010).

2.2. Echantillons d'eau traités par rayonnement UV et photocatalyse dopé à 9%

La deuxième phase de notre travail, consiste à faire des traitements, des échantillons d'eau usée, par rayonnement UV en présence et absence du photocatalyseur SnO₂ dopé à 9%.

2.2.1. La conductivité électrique

Les résultats de la conductivité électrique, obtenus lors de notre expérience, sont représentés dans la figure 22.

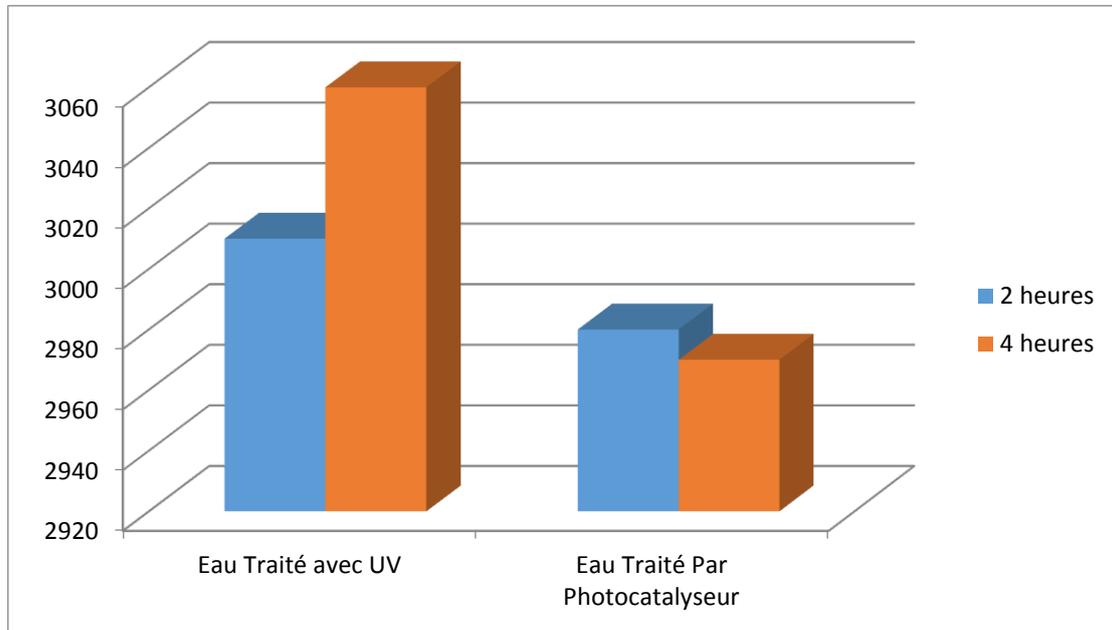


Figure 22: Evolution de la conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau + photocatalyseur+UV) durant 2 et 4 heures dopé à 9%.

L'analyse de la figure 22, permet de constater une augmentation du taux de la conductivité électrique pour l'eau traitée uniquement par rayonnement UV, en effet, elle est passée de 3010 à 3060 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Par contre nous remarquons, une faible diminution de la conductivité de l'eau traitée par UV en présence du photocatalyseur, en effet, elle est passée de 2980 à 2970 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Les valeurs enregistrées au cours de cette étude indiquent que la conductivité électrique des eaux usées se caractérise par des valeurs relativement élevées dues probablement aux charges polluantes. Selon Franck (2002), tout rejet polluant s'accompagne d'un accroissement de la conductivité.

2.2.2. Potentiel hydrogène et l'oxygène dissous

Les résultats du pH et de l'oxygène dissous, obtenus durant notre investigation, sont représentés dans la figure 23.

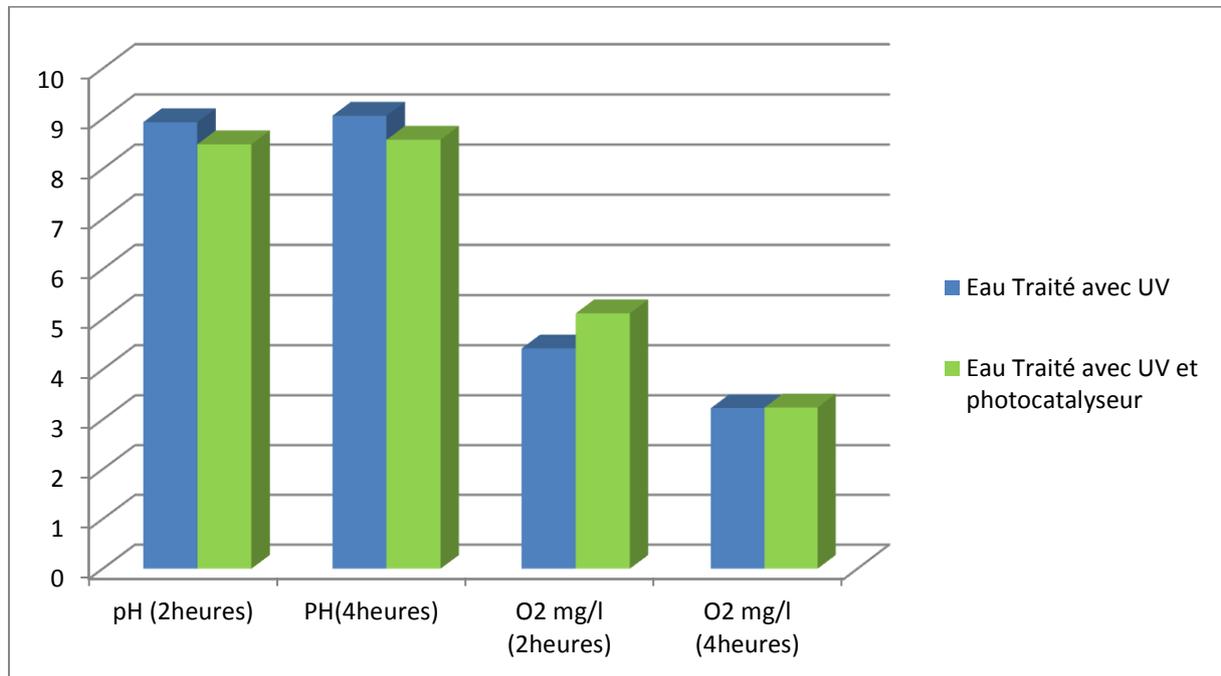


Figure 23 : Evolution de taux de pH et les teneurs de l'oxygène dissous (mg/l) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV) dopé a 9%

L'examen de la figure 23, indique que le pH de l'ensemble des échantillons, est alcalin et presque stable au cours de notre expérimentation.

L'eau traitée par UV à un pH qui varie de 8,93 à 9,06 respectivement pour 2 heures et 4 heures d'irradiation. Alors que l'eau traitée par UV en présence du photocatalyseur a un pH qui oscille de 8,49 et 8,58.

D'après Baque et al (2006), le pH est un paramètre pertinent lorsqu'il s'agit de décrire qualitativement l'origine d'une eau naturelle. En effet, selon la nature des terrains traversés par les eaux, leur pH peut varier entre 6 et 8. Les eaux traversant majoritairement des zones carbonatées auront tendance à être basiques. Au contraire, celles traversant des terrains moins carbonatés ou siliceux auront tendance à être plus acides (pH inférieur ou voisin du 7). Le ministère du commerce (2011) limite le pH entre 6,5 et 9. Selon Rodier et al (2005), Le pH n'a pas une incidence écologique directe forte entre 5 et 9.

Nous remarquons que les teneurs de l'oxygène dissous diminuent durant les 04 heures de notre travail, en effet, on est passé de 4,42 à 3,23 mg/l pour l'eau traitée uniquement par

UV et de 5,12 à 3,24 mg/l pour l'eau traitée par UV et photocatalyse durant les 04 heures d'expériences.

2.2.3. Demande chimique en oxygène (DCO)

Les résultats de la demande chimique en oxygène, obtenus durant notre investigation, sont représentés dans la figure 24.

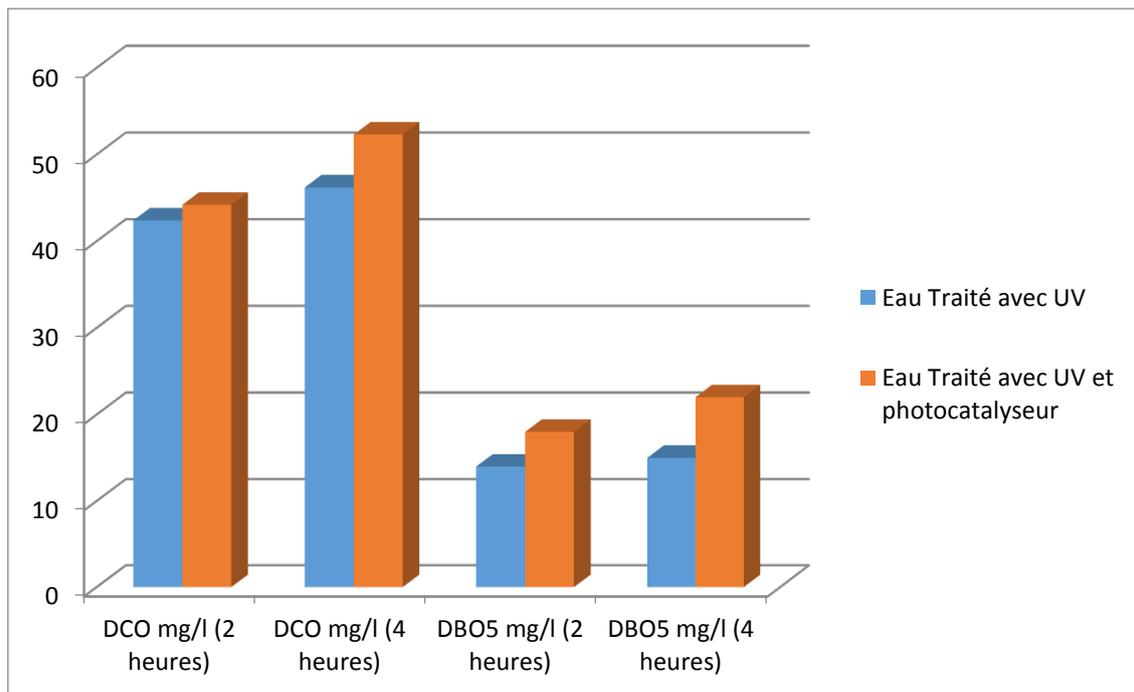


Figure 24 : Evolution de taux de DCO et les teneurs de DBO5 (mg/l) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV) dopé à 9%

Nous observons une faible variations des teneurs de la DCO, ces dernières oscillent entre 42,4 et 46,2 mg/l pour l'eau traitée avec UV, et de 44,2 à 52,3 mg/l pour l'eau traitée par UV et photocatalyse. Ces valeurs sont conformes aux normes algériennes de rejet (120 mg O₂/l), ainsi que celles de l'OMS (< 90 mg O₂/l).

2.2.4. Demande biologique en oxygène (DBO5)

Les résultats de la demande biologique en oxygène, obtenus durant notre investigation, sont représentés dans la figure 24. Elles oscillent entre 14 et 15 et de 18 à 22 respectivement pour l'eau traitée avec UV et pour l'eau traitée par UV et photocatalyse. Les valeurs de la DBO₅ sont inférieures aux normes algériennes de rejet (40 mg O₂/l) et à celles de l'OMS (< 30 mg O₂/l).

2.2.5. Les nitrates et matières en suspension

Les résultats du nitrates, obtenus durant notre investigation, sont représentés dans la figure 25.

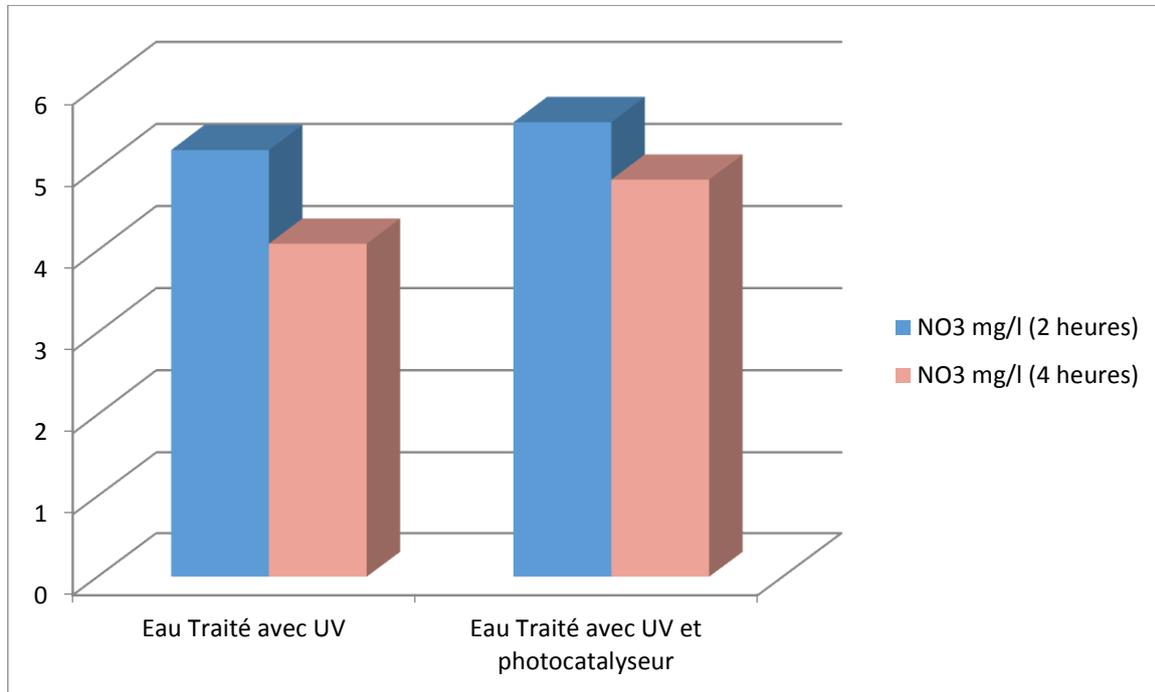


Figure 25: Evolution de taux du nitrate (mg/l) dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV) dopé à 9%

Dans cette étude, de faibles teneurs en nitrates sont notées au niveau des eaux traitées avec UV. Elles varient entre 5,22 mg/l et 4,08 mg/l. Dans les eaux traitées par UV et photocatalyse épurées, ces valeurs oscillent entre 5,65 mg/l et 4,86 mg/l (Fig. 20). Le taux des nitrates a augmenté considérablement au niveau des eaux traitées par UV et photocatalyse par rapport aux eaux traitées uniquement par UV mais reste inférieur aux normes de l’OMS (50 mg/l).

2.2.6. Les matières en suspension

Les résultats des matières en suspensions, obtenus durant notre investigation, sont représentés dans la figure 26.

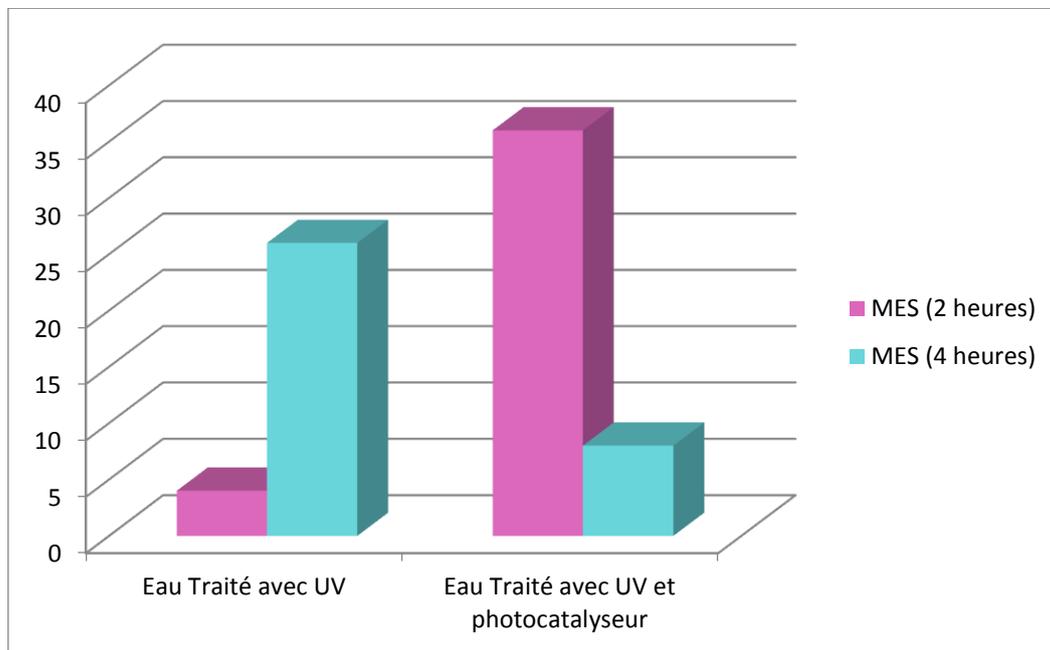


Figure 26 : Evolution de taux des matières en suspension dans les différents systèmes (Eau seul +UV, Eau +photocatalyseur+UV) dopé à 9%

Les résultats de la matière en suspension, obtenus durant notre investigation, sont représentés dans la figure 26. Elles oscillent entre 04 et 26 et de 36 à 8 respectivement pour l'eau traitée avec UV et pour l'eau traitée par UV et photocatalyse. Elles restent cependant inférieures à la norme de rejet de l'OMS (30 mg/l) et à celle du journal officiel algérien limitée à 35 mg/l (JORA, 2006) sauf pour les échantillons de 4 heures de l'eau traitée par UV et photocatalyse.

Selon la FAO (2003), la présence de matière en suspension dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols. Cependant, une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que l'obturation des systèmes d'irrigation (Belaid, 2010).

Conclusion générale

Ce travail est consacré à l'étude de possibilité de purifier les eaux usées par l'utilisation d'une méthode physique qui peut constituer une alternative intéressante pour purifier les eaux usées pour l'irrigation des terres agricoles, cette technique repose sur l'utilisation d'un semi-conducteur (SnO_2) sous la présence d'un rayonnement UV.

Notre étude expérimentale a permis de montrer que ce procédé est efficace pour la purification de ces eaux.

Nous avons étudié l'effet du dopage par Etain (Sn) sur la purification des eaux usées, où nous avons remarqué une diminution de l'absorption moyenne pour tous les échantillons exposés au rayon UV due principalement à une augmentation de la cinétique de la dégradation des métaux lourds.

D'après les résultats nous avons constaté que l'eau exposée à l'UV en présence du SnO_2 améliore le processus d'élimination des polluants. Nous avons remarqué que plus le temps est long plus le processus est efficace.

Ces résultats montrent que le procédé photocatalytique par l'irradiation UV est un moyen efficace dans la désinfection des eaux contaminées, dans lequel le photocatalyseur SnO_2 joue un rôle primordiale dans l'élimination de la flore microbienne.

Ce travail a montré d'une part l'efficacité du processus photo-catalytique vis-à-vis de l'élimination des polluants métalliques et l'inactivation bactériennes d'une eau usée, et d'autre part l'effet synergétique obtenu en appliquant le processus de la bio-surveillance sur la dégradation des métaux lourds.

Globalement, la présente étude démontre une stratégie économique et efficace pour éliminer à la fois une large partie des polluants organiques et les métaux lourds qui généralement coexistent dans les eaux usées réelles en tant qu'alternative aux plusieurs procédés du traitement successif.

Références bibliographiques

Références bibliographique

- 1) **Ammar B.A., Bammoun R.**, (2006). " Détermination des besoins en eau des cultures irriguées de la wilaya de Tipaza à l'aide du logiciel Cropwat 4.3.Cas de périmètre de la Mitidja ouest, mémoire d'ingénieur ". Institut national agronomique, Alger, p98.
- 2) **Analyse des eaux** - Aspects réglementaires et techniques (Broché) Franck Rejsek
- 3) **ANDI 2013** Agence National De Développement Et Investissement invest in Alegria Tissemsilt
- 4) **Armstrong, W.** (1992) : Waterlogging and plant ecology. Wiley, Chichester, pp. Disinfection of water and air by photocatalysis, Comptes Rendus Chimie p11 (2008)
- 5) **ANIREF 2011** Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière **D. Gummy, C. Morais, P. Bowen, C. Pulgarin, S. Giraldo, R. Hajdu, J. Kiwi**, Catalytic
- 6) **Bethemont.J. (1999)** Cahiers de géographie du Québec Grosclaude, Gérard, dir. L'eau, tome 1 : Milieu naturel et maîtrise et tome 2 : Usages et polluants. Versailles, Institut National de la recherche Agronomique (Coll. « Un point sur ... »), p 204.
- 7) **Cazurra, T.**, 2008. Water reuse of south Barcelona's wastewater reclamation plant Desalination, 218 (1- 43-51.from global assessment. International Water Management institute, 37 pp.
- 8) **E. J. Land**, M. Ebert, Pulse radiolysis of aqueous phenol. Trans. Faraday Soc. 63, (1967), pp1181-1190.
- 9) **Environmental 63** (2006) 76-84. Environnemental 63 (2006) pp76-84.
- 10) **Évaluation de la qualité bactériologique des eaux du complexe de guerbessanhadja** (wilaya de Skikda- nord est Algérien). ABDI S (1) ; MERZOUG S (2) ; TABOUCHE K (1) ; MAAZI M(1) et HOUHAMDI M (2). (1) Univ Mohamed Chérif Messaadia de Souk Ahras, Fac.SNV, Lab Ecosystème Aquatique et Terrestre LEAT, BP 1553 Route d'Annaba, Souk Ahras , Algérie. abdisoumia@hotmail.com (2) Univ 08 Mai 1945 de Guelma, Fac. SNV et STU, Lab Biologie, Eau et Environnement LBEE, B.P. 401, Guelma, Algérie.
- 11) **Fang, G. Mark, et al.**, OH radical formation by ultrasound in aqueous solutions Part I: the chemistry underlying the terephthalate dosimeter. Ultrasonics Sonochemistry. 3(1), (1996), pp 57-63.
- 12) **FAO**, Water Quality for Agriculture, FAO Irrigation and Drainage, Paper 29, Rev. 1, 1985, FAO, Rome (Italy).
- 13) **Fercial.**, (2011 . " Les fertilisants en Algerie, Manuel d'utilisation des engrais .Laboratoire agronomique, analyses ; terre- eau- foliaires ". Route des Salines ANNABA, Algérie.
- 14) **H. de Lasa, B. Serrano and M. Salaices**, Photocatalytic Reaction Engineering. New York: Springer, (2005),p 49.
- 15) **H. Herrmann**, Kinetics of aqueous phase reactions relevant for atmospheric chemistry. Chemical. Reviews. p103, (2003), 4691-4716.
- 16) **J. Baker, J. Arey, et al.**, Rate constants for the reactions of OH radicals with a series of 1,4-hydroxyketones. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 176(1-3), (2005),p 143-148.

-
- 17) **Kettab A., Metiche R., Bennacar N.**, (2008). " De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies ". Revue des Science de l'Eau; vol. 21, n° 2, p.247-256.
- 18) **Lopez, A.** et Vurro, M., 2008. Planning agricultural wastewater reuse in southern Italy: The case of Apulia Region. *Desalination*, 218 (1-3): p164-169
- 19) **M. R. Hoffmann, S. T. Martin, et al.**, Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis. *Chem. Rev.* 95, (1995), p 69-96.
- 20) **Maynard D.N.**, Hochmuth G.J. (1997). Knott's Handbook for Vegetable growers. 582p. (http://www.agr.gc.ca/pfra/water/microirr_htm), 4p
- 21) **Mills.** And S. Le Hunte, An overview of semiconductor photocatalysis." *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry.* 108(1), (1997), p1-35.
- 22) **Nakib M., Kettab A., Berreks A., Mandi L.**, (2014). "Study of the prospects for agricultural utilization of sludge produced from WWTPS in North Central Algeria". *Desalination and Water Treatment*, p.1-15.
- 23) **OMS, 2004.** Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3ème édition, Vol. 1. Directives. Ed.
- 24) **OMS, 2006.** Directives de qualité pour l'eau de boisson, troisième édition.
- 25) **OMS, 2007.** Directives de qualité pour l'eau de boisson. Recommandations. Ed. organisation mondiale de la sante, Genève, p 144
- 26) **ONA, 2018.** Donnes de l'office national d'assainissement. TISSEMSILT
- 27) **Organisation mondiale de la sante**, Genève, p 110.
- 28) **Organisation mondiale de la Santé**, Genève, p 78.
- 29) **Pescod M.B.**, (1992). «Wastewater treatment and use in agriculture". FAO Irrigation and Drainage, Paper 47, Rome, p.125
- 30) **R. C. Guedes, K. Coutinho, B. J. Costa Cabral, and S. Canuto**, Differential Hydration of Phenol and Phenoxy Radical and the Energetics of the Phenol O–H Bond in Solution. Simoes, J. A. M. J. *Chem. Phys.* 2003.
- 31) **REMINI. B.** LA PROBLEMATIQUE DE L'EAU EN ALGERIE DU NORD
Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, p. 27-46
- 32) **Rodier J.**, (2005). " Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer ". L'analyse de l'eau ,8e édition, Ed : Dunod , 1382 pages.
- 33) **S. Malato, P. Fernández-Ibáñez, M.I. Maldonado, J. Blanco, W. Gernjak**,
under solar simulated light: Influence of the isoelectric point, *Applied Catalysis B:*
- 34) **Sou.Y.M. 2009.**Recyclage des eaux usées en irrigation : potentiel fertilisant, risques sanitaires et impacts sur la qualité des sols. Thèse doctorat ; faculté environnement naturel, architectural et construit ; laboratoire d'écohydrologie ; école polytechnique fédérale de Lausanne, EPFL
- 35)**WHO, 2006.** Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2, Wastewater use in agriculture., p 213.
- 36) **Z. Yang, S. Si, X. Zeng, C. Zhang, and H. Dai**, Mechanism and Kinetics

Biblio net

[1] <http://www.memoireonline.com/08/09/2463/Contribution--letude-des-parametresphysico-chimiques-et-bacteriologiques-de-lembouchure-de-l.html>

[2] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Ent%C3%A9rocoque>

[3] <http://www.emo-france.com/html-eaux-usees/obj-solutions.htm>

[4] <http://www.u-picardie.fr/beauchamp/duer/ecosse/ecosse.htm>

[5] <http://www.oleiculteur.com/L%27eau%20et%20le%20sol.ht>

Résumé

Résumé :

Notre travail montre que le procédé photocatalytique par l'irradiation UV, est un moyen efficace dans la désinfection et la purification des eaux usées, dans lequel le photocatalyseur SnO₂ joue un rôle primordiale dans l'élimination des polluants. Ainsi, d'étudier l'efficacité de la photocatalyse qui repose sur l'excitation d'un semi-conducteur : le dioxyde d'étain (SnO₂) sous la présence d'un rayonnement UV vis-à-vis de l'élimination des polluants.

Mots clés : Photocatalyseur ; Rayon ultra-violet, Polluants, Eaux Usées

المخلص:

يظهر عملنا أن عملية التحفيز الضوئي بواسطة الأشعة فوق البنفسجية هي وسيلة فعالة في تطهير المياه الملوثة، حيث يلعب الحفاز دورا رئيسيا في القضاء على الميكروبات وحتى إزالة الملوثات المعدنية والتنشيط البكتيري لمياه الصرف الصحي

الكلمات المفتاحية: التحفيز الضوئي -الميكروبات-الملوثات المعدنية -مياه الصرف الصحي

Abstract:

Our work shows that the photocatalytic process by UV irradiation is an effective means in the disinfection of contaminated water, in which the photocatalyst SnO₂ plays a key role in the elimination of microbial flora and even the removal of metal pollutants and the bacterial inactivation of wastewater.

Key words: photocatalyst, UV irradiation, metal pollutants; wastewater