



UNIVERCITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des hydrocarbures de l'énergie
Renouvelable Et des sciences de la terre et de l'univers
Département des énergies renouvelables
Mémoire Présenté pour l'obtention d'un diplôme de
Master



Filière : Génie mécanique
Spécialité : Energies Renouvelables en mécanique

Présenté par :

Fouad BOULIFA

Ismail BOUSEBSI

Mohammed Laid BENDOUMA

Thème

**Traitement des eaux polluées par une membrane
photocatalytique suit une distillation solaire**

Soutenu publiquement

le : 12/06/2022

Devant le jury :

Gharbi Brahim	M.A.A	U.K.M.OURGLA	Président
Berrebeuh Med Hafed	M.C.B	U.K.M.OURGLA	Examineur
Zobeidi Chahinaz	M.C.B	U.K.M.OURGLA	Encadreur

Année universitaire 2021/2022

Résumé

Afin d'améliorer la purification de l'eau salée et le traitement des eaux polluées, une technologie de décomposition "photo-catalytique hétérogène" des matériaux organiques a été démontrée. Comme catalyseur, nous avons choisi un semi-conducteur qui est le dioxyde de titane TiO_2 et l'oxyde de zinc avec du charbon actif en présence de rayonnement solaire comme source de catalyseur. Le phénol a été utilisé comme polluant industriel pour prouver le processus.

Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres est désormais envisageable pour répondre à la demande croissante en eau potable. Parmi les différents procédés, la distillation solaire est une solution intéressante pour les régions isolées arides et/ ou éloignées.

Un distillateur solaire parabolique a été sélectionné pour ce processus.

Mots clés / eau polluée, photo-catalyse, dioxyde de titane, rayonnement solaire, dessalement de l'eau, eau salée, distillation solaire, distillateurs solaires paraboliques.

الخلاصة

من أجل تحسين تنقية المياه المالحة ومعالجة المياه الملوثة تم إثبات تقنية التحلل بواسطة "التحفيز الضوئي غير المتجانس" للمواد العضوية ، حيث قمنا باختيار شبه موصل وهو ثاني أكسيد التيتانيوم TiO_2 ، و هذا بإضافة أكسيد الزنك مع الكربون النشط في وجود الأشعة الشمسية للتحفيز . كما تم استخدام الفينول كملوث صناعي لإثبات العملية.

أصبح من الممكن الآن تحلية مياه البحر والمياه المالحة لتلبية الطلب المتزايد على مياه الشرب من بين الحلول المختلفة نذكر التقطير الشمسي الذي هو حل مثير للاهتمام بالنسبة للمناطق القاحلة /أو النائية والمعزولة

تم اختيار المقطر الشمسي قطع مكافئ لهذه العملية .

الكلمات المفتاحية : المياه الملوثة ، التحفيز الضوئي ، ثنائي اوكسيد التيتانيوم ،الأشعة الشمسية ، تحلية المياه ، المياه المالحة ، التقطير الشمسي ، المقطر الشمسي قطع مكافئ .

Abstract

In order to improve saline water purification and polluted water treatment heterogeneous photo-catalysis of organic matter was emphasized. As a catalyst we chose semiconductors It is titanium dioxide TiO_2 and then zinc oxide with active carbon in the presence of solar radiation as an energy source. Phenol was used as an industrial pollutant to prove the process

Desalination of seawater and brackish water is now possible to respond to the growing demand for drinking water. Among the various processes, solar distillation is an interesting solution for isolated, arid and / or remote regions.

A parabolic solar still was selected for this process.

Key words: polluted water, photo-catalysis, titanium dioxide, solar radiation, water desalination, brine, solar distillation, equivalent solar still.

Dédicace

Au meilleur des pères

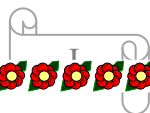
A ma très chère maman

**Qu'ils trouvent en moi la source de leur
fierté A qui je dois tout**

**A mes frères et à tous mes amis, qui je
souhaite un avenir radieux plein de réussite**

**A tous ceux que j'aime et ceux qui
m'aiment.**

(Fouad BOULIFA)

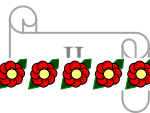


Dédicace

إلى من قرن الله عز وجل الإحسان إليهما بطاعته وأوصى
بهما خيرا الوصية إلى من ربياني صغيرا وشملا ني بعظيم
عطفهما كبيرا . والدتي الكريمة أطال الله في عمرها وأكرمها
بكامل الصحة والعافية ووالدي الكريم أطال الله في عمره
وأكرمه بكامل الصحة والعافية إلى من قال فيهما الرحمان
"وبالوالدين إحسانا"

إلى كل من كان سندا لي وسعى لراحتي و إسعادي ونجاعي
إلي كل الأساتذة الكرام وإلي كل إخواني وأخواتي وإلي كل
زملائي وأصدقائي إلي كل هؤلاء أهدى هذا العمل.

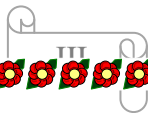
ISMAIL BOUSEBSI



Dédicace

إلى من تغمدهما الله برحمته جدتاي رحمة الله عليهما
إلى من أفضّلها على نفسي ومن ربياني صغيرا "أمي و أبي
حفظها الله و رعاهما "
إلى إخوتي و أخواتي فقد كان لهم بالغ الأثر في كثير من
العقبات والصعاب إلى ابنة أختي ذات الضحكة البريئة
إلى كل الزملاء
إلى كل الأساتذة الكرام
إلى كل من علمني حرفا أهدي هذا العمل .

MOHAMMED LAID BENDOUMA



Remerciements

Tout d'abord, nous remercions, notre créateur de nous avoir donné les forces pour accomplir ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, conférenciers et toutes les personnes qui nous ont dirigés par leurs paroles, écrits, conseils et critiques et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions au cours de nos recherches. en particulier **Dr. Chahinaz ZOUBAIDI** a encadré notre sujet. Nous la remercions pour ses conseils, son aide et ses conseils.

Un grand merci est adressé aux M.de Jury les docteurs « **Gharbi Brahim** et **Berrebeuh Med Hafed** » d'avoir accepté la lecture et l'évaluation de notre mémoire.

Nous remercions tout particulièrement l'équipe de Terrain Technique d'Analyses Physiques et Chimiques (CRAPC) d'Ouargla pour nous avoir offert une opportunité exceptionnelle de mener à bien notre travail de terrain.

Finalement, nous remercions tous ceux qui ont participé à réaliser ce mémoire.

Sommaire

Dédicace	I
Remerciements	IV
Sommaire	V
Liste des figures	XI
Liste des tableaux	XIV

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Généralité sur la distillation solaire

I.1.Introduction	02
I.2.Critères de qualité de L'eau	02
I.2.1 Caractéristiques des eaux marines et saumâtres	02
I. 2.1 .1 Eaux marines	02
I.2.1.2 Eaux saumâtres	03
I. 2.1.3 Eaux potable	03
I.2.1.4 Eaux usées	03
I.2.2 Ressources et consommation de l'eau à l'échelle mondial	03
I.2.3 Problématique de la consommation d'eau dans le monde Au niveau mondial.....	04
I. 2.4 Problème de consommation de l'eau en Algérie.....	05
I.3. Dessalement de l'eau.....	06
I.3.1 Définition	06
I. 3.2 Différents procédés de dessalement	06
I. 3.4 Techniques de dessalement	06
➤ L'osmose inverse	07
I.4. Processus de distillation	08
I.4.1 Distillation solaire	09
➤ Définition	10

➤ <i>Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire</i>	10
I.4.2 Différentes types de distillation solaire	10
I.4.2.1 Distillation solaire à effet de serre	11
➤ Cas d'un distillateur d'urgence	11
➤ Distillation à la vapeur	11
➤ Distillateurs à pente unique	12
➤ Distillateurs à double pentes	13
➤ Distillateur sphérique	13
I.4.2.2 Distillation solaire à multiples effets	14
➤ Distillation aux effets multiples.....	11
➤ Distillateur solaire incliné à cascade	14
➤ Distillateur à mèche	15
➤ Distillateur à diffusion	15
➤ Distillateur solaire à cheminée	16
I.4.2.3 Distillateur solaire à film capillaire	17
➤ Distillateur solaire à film capillaire	17
I.5.Conclusion	18
Chapitre II : Application de la photocatalyse pour la dégradation des polluants	
II.1.Introduction	19
II.2. Principe de la photocatalyse hétérogène.....	19
II.3 Définition de réacteur photocatalytique.....	21
II.4. Différents types de réacteur photocatalytique	21
II.4.1. Réacteurs photocatalytiques avec lumière artificielle.....	22
II.4.2. Réacteurs à irradiation radiale (lampe plongeante centrale).....	22
II.4.3.Réacteurs à irradiation externe	22

Tables des matières

II.4.4.Réacteurs Solaire	22
II.4.4.1. Photoréacteur à collecteurs paraboliques (CP)	23
II.4.4.2. Photoréacteur à lit fixe et à flux ruisselant	24
II.4.4.3. Concentrateur en auge parabolique (PAC)	25
II.5. Structures cristallines du TiO₂.....	28
II. 6. Paramètres physiques influençant la cinétique de la réaction photocatalytique.....	30
II. 7. Applications photocatalytiques	31
II. 8. Désinfection/décontamination par photocatalyse	33
II. 8.1. Désinfection/potabilisation de l'eau par photocatalyse	33
II. 8.2. Désinfection de l'air par photocatalyse	35
II. 9. Cinétique hétérogène dans le procédé de photocatalyse	35
II. 10. Paramètres influençant l'activité photocatalytique	36
II. 10 .1. Effet de la surface spécifique	36
II. 10 .2. Influence de la concentration initiale du catalyseur	37
II. 10 .3. Influence du pH de la solution	37
II. 10 .4. Influence de la concentration initiale du polluant	38
II. 10.5.Influence de la température	38
II. 10 .6.Influence d'accepteurs d'électrons	38
II. 11.Avantages de la photocatalyse	39
II. 12.Conclusion	39
Chapitre III : Étude expérimentale	
III.1 Introduction	41
III.2 Première partie	41

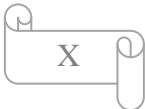
Tables des matières

III.2.1. Etude appliquée d'un distillateur solaire	41
III.2.2. Présentation générale du lieu d'expérimentation (Ouargla)	41
III.2.3. Systèmes à réflecteur parabolique	41
III.3. Composants du distillateur solaire parabolique	42
III.3. 1. Réflecteur	42
III.3.2. Récepteur	45
III.3.3. Condenseur	45
III.4. Les instruments des mesures	46
III.4.1. Thermomètre	46
III.4.2. Solar power meters	47
III.4.3. Mesure de la vitesse du vent : Anémomètre	48
III.5. Résultat et Discussion	48
III.5.1. Evolution de la température de récepteur	48
III.5.2. Variation de la température de récepteur	49
III.5.3. Variation de la température de l'intérieur	49
III.5.4. Variation de la température de récepteur avec la température d'ambiante	50
III .6. Evolution de quantité l'eau distillée	51
III .7. Rendement de distillateur... ..	51
III .8. Quantité d'eau perdue	51
III .9. Conclusion	51
IV. Deuxième partie	52
IV.1. Dégradation photocatalytique du phénol	52
IV.2. Photolyse du Phénol	52
IV.3. Préparation de la solution de phénol	52
IV.3.1. Processus d'expansion de la solution	53

Tables des matières

IV.3.2. Courbe d'étalonnage de phénol.....	54
IV.3.3. Longueur d'onde maximale du phénol	54
IV.3.4. Calcul des concentrations après le processus d'extension.....	55
IV.3.5. Courbe d'étalonnage	55
IV.3.6. Dégradation photocatalytique du phénol	56

Tables des matières



Liste des figures

Chapitre I

Figure	Titre	Page
Figure I.1	Un schéma illustrant le principe de l'osmose inverse	08
Figure I.2	Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED)	09
Figure I.3	Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire	10
Figure I.4	Distillateur solaire d'urgence	11
Figure I.5	Schéma d'une installation de dessalement par multiple-effets accouplés à des capteurs solaires	12
Figure I.6	Distillateurs à pente unique	12
Figure I.7	Distillateurs à double pentes	13
Figure I.8	Distillateur sphérique	14
Figure I.9	Distillateur à cascade	14
Figure I.10	Distillateur solaire à mèche	15
Figure I.11	Distillateur à diffusion	16
Figure I.13	Distillateur à film capillaire	17

Chapitre II

Figure	Titre	Page
Figure II.1	Schéma montrant les bandes d'un semi-conducteur	20
Figure II.2	Réacteur photocatalytique (CDER)	24
Figure II.3	Le photoréacteur à collecteurs Cylindro parabolique	25
Figure II.4	collecteur à non-concentration de type cascade utilisant le catalyseur supporté Ahlstrom (plate forme solaire d'Almeria, Espagne)	26

Liste des figures

Figure II.5	concentrateur en auge parabolique doté d'un système de suivie du soleil à deux axes, installé sur la plate forme solaire d'Almería en Espagne	27
Figure II.6	Principe général de la photocatalyse	28
Figure II.10	Réactions d'oxydo-réduction au cours du processus photocatalytique sur TiO ₂	28
Figure II.11	Relation entre le spectre d'irradiance (particulièrement de la lumière ultraviolette et visible) et l'absorption du TiO ₂	30
Figure. II.12	champs d'action et applications de la photocatalyse et du TiO ₂ illuminé	32

Chapitre III

Figure	Titre	page
Figure III.1	La forme du concentrateur solaire	42
Figure III.2	Schéma d'une distillateur solaire	44
Figure III.3	La variation de la température (°C) de récepteur en fonction le temps (heures) pour une journée	49
Figure III.4	La variation de la température intérieur	50
Figure III.5	La variation de la température de récepteur (°C) et la température d'ambient (°C) en fonction le temps (heures) à chaque jour.	50
Figure IV.1	Image d'une boîte de phénol	52
Figure IV.2	photo d'une balance électrique	53
Figure IV.3	photo d'une spectrophotomètre	54
Figure IV.4	La courbe de longueur d'onde du phénol	54
Figure IV.5	La courbe d'étalonnage de phénol	55
Figure IV.6	Variation L'absorbance change en fonction du temps	56
Figure IV.7	Une courbe montrant l'absorbancephénol + sio ₂ le long des longueurs	56

Liste des figures

	d'onde du spectre	
Figure IV.8	Une courbe montrant l'absorbancePhénol +TiO ₂ le long des longueurs d'onde du spectre	57

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableaux	Titre	page
Tableau I.1	Concentrations des principaux ions dissous dans une eau de mer typique dont la salinité est de 35 g/kg.	02
Tableau I.2	Paramètres physico-chimiques de l'eau potable	04
Tableau I.3	Consommation mondiale d'eau par habitant	05

Chapitre II

Tableaux	Titre	page
Tableau II.1	Energie de bande interdite et longueur d'onde d'activation des différents semi-conducteurs	21
Tableau II.2	Dioxyde de Titane	28
Tableau II.3	Caractéristiques cristallographiques des principales formes de TiO ₂	29
Tableau II.4	Paramètres physiques influençant la cinétique des réactions photocatalytiques	31

Chapitre III

Tableaux	Titre	page
Tableau III.1.	Données climatiques et géographique	41
Tableau III.2	Caractéristiques géométriques du réflecteur parabolique	43
Tableau III.3	Mesures de tubes en cuivre	46
Tableau III.4	Mesures sans régulateur.	48
Tableu IV.1.	Processus d'expansion	53

Tableau IV.2	Valeurs de concentration après extension	55
Tableau IV.3	Valeurs d'absorbance et de concentration	55

Introduction générale

Introduction générale

Globalement, les besoins en eau potable ne cessent d'augmenter, Bien qu'environ 71 % de la surface de la Terre soit recouverte d'eau, la majorité de cette eau est salée et ne peut donc pas être consommée. Comme il y a moins de 2,5 % d'eau dans la terre est d'eau douce, ajoutez à cela le problème de la pollution de l'eau, ce qui signifie que le pourcentage disponible pour la consommation est très faible. [1]

Comme solution alternative, le dessalement solaire ou l'utilisation des unités de distillation solaire représente un moyen efficace pour résoudre le problème de l'eau dans les régions où l'énergie solaire est disponible et les ressources en eau sont limitées. De nos jours, cette technique est de plus en plus utilisée grâce à ses avantages économiques ainsi que pour des raisons liées à la protection de l'environnement.

Comme pour l'eau polluée, les photo-catalyseurs jouent un rôle important dans le processus de traitement de l'eau polluants organiques présents dans l'eau. Excitation optique des semi-conducteurs sous un rayonnement approprié assure la production de radicaux hydroxyle, qui est l'un des plus oxydant. En plus d'utiliser l'énergie solaire, ce procédé de traitement de l'eau Il respecte pleinement le principe de développement durable.

Notre mémoire présente l'intérêt et la problématique de notre projet, nous avons présenté dans ce manuscrit est logiquement enchainé dans une introduction, trois chapitres et une conclusion;

Le premier chapitre introduire des généralités et des définitions sur les techniques des distillations solaires. Nous exposons dans le deuxième chapitre le principe de processus de traitement photo-catalyse de l'eau par dégradation des polluants sur des adsorbants catalytiques.

Et enfin la partie expérimentale qui se compose en deux parties opérationnelles, la première est une étude de paramètres procédé de distillation solaire, deuxième partie une étude cinétiques de la dégradation des polluants par une membrane photocatalyse. [1]

Chapitre I :

Généralité sur la

distillation solaire

I.1. Introduction

L'eau est l'un des Facteurs importants de la Nature, et c'est le secret de cette vie, Au même titre que l'air. Récemment, l'eau une grande détérioration, et c'est ce qui en a fait un risk pour l'humanité, et il est devenu une source de nombreux problèmes. C'est ce qui a poussé l'homme à recourir à la découverte de nouvelles sources d'exploitation de l'eau, notamment: exploiter l'eau turbide en la filtrant puis en la dessalant.

L'eau est partie intégrante de la Vie, elle constitue à 75% chaque cellule vivante. Les océans, quant à eux, représentent 97% de réserves en eau pour seulement 3% d'eau douce, ce qui explique pourquoi nous devons être responsables quant aux utilisations que nous en faisons [2].

Nous verrons le rôle de l'eau dans la vie .

Nous chercherons à expliquer critères de qualité de L'eau , ensuite, . En prenant l'exemple du eau potable , nous montrerons certains des ressources et consommation de l'eau a échelle mondial . Enfin, nous aborderons la dessalement de l'eau .

I.2.Critères de qualité de L'eau

➤ Eaux marines

L'eau de mer contient des minéraux essentiels (chlorure de sodium, magnésium, sulfate et carbonate), ce qui la rend très saline. La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g.L^{-1}

Tableau I .1. Concentrations des principaux ions dissous dans une eau de mer typique dont la salinité est de 35 g/kg . [3].

	NaCl	MgCl ₂	SO ₄	CaSO ₄	K ₂ SO ₄
g.L^{-1}	27,2	3,8	1,7	1,26	0,86

Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées

mer Méditerranée : $36 \text{ à } 39 \text{ g.L}^{-1}$,

mer Rouge : environ 40 g.L^{-1} ,

mer Caspienne : 13 g.L^{-1} ,

mer Morte : 270 g.L^{-1} ,

Golfe Arabo-Persique : 36 à 39 g.L⁻¹.

Le pH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4 : l'eau de mer est un milieu légèrement basique.

➤ **Eaux saumâtres**

L'eau saumâtre est une eau moins salée que l'eau de mer et est considérée comme impropre à la consommation (boisson, arrosage....), et la plupart des eaux saumâtres par litre contiennent entre 1 et 10 g de sels. Et c'est une nappe phréatique chargée en sels en dissolvant certains sels présents dans le sol traversé. Sa composition dépend donc de la nature du sol transversal et de la vitesse de rotation de ce sol, et il peut s'agir d'eau de surface. Les principaux sels solubles sont CaCO₃, CaSO₄, MgCO₃, NaCl [4].

➤ **Eaux potable**

L'eau potable est conforme aux normes des seuils auxquels les substances nocives contenues dans l'eau ne doivent pas dépasser un certain nombre, et c'est une eau propre à la consommation et ne présentant aucun danger pour le consommateur. [5]

➤ **Eaux usées**

Eaux usées Les eaux usées comprennent les eaux usées domestiques (eaux noires et eaux domestiques), les eaux usées et les effluents industriels (eaux usées d'usine). Il forme alors des déchets liquides pollués, qui sont rejetés dans les égouts vers le milieu naturel[6].

I.2.1 Ressources et consommation de l'eau à l'échelle mondiale

Les normes de L'O.M. S pour l'eau potable L'eau potable elle doit répondre à des normes de qualité très rigoureuses qui s'appuient sur des travaux médicaux de l'organisation mondiale de la sante (O.M.S). Ces critères peuvent être regroupés en six groupes [7].

* Paramètres physico-chimiques :

✓ PH, température, concentrations en inorganiques minéraux conductivité.

✓ Substances indésirables (nitrates, fluor...).

✓ Substances toxiques (plomb, chrome...).

* Paramètres organoleptiques : transparence, couleur, odeur et saveur.

* Paramètres micro biologiques : bactéries nuisibles (coliformes les streptocoques

fécaux...)

* Pesticides et produits apparentés.

* Paramètres concernant les eaux adoucies livrées à la consommation humaine.

* Paramètres relatifs aux substances indésirables, substances tolérées en très faible quantité pouvant avoir une incidence sur la santé sans provoquer de désagréments à court termes . Voir le tableau I. 2 suivant:

Tableau I.2 : Paramètres physico-chimiques de l'eau potable [7].

Paramètres	Normes de potabilité selon l'OMS (mg/l)
Aluminium (Al^{+3})	Maximum 0.2
Chlorures (Cl^-)	Maximum 200
Magnésium (Mg^{+2})	Maximum 50
Calcium (Ca^{+2})	3
Potassium (K^+)	Maximum 12
Sodium (Na^+)	Maximum 150
Sulfates (SO_4^{-2})	Maximum 250
PH	De 6.5 à 9
La température	Varie entre 20 C° et 22 C°

I .2.2 Problématique de la consommation d'eau dans le monde Au niveau mondial

Les ressources en eau potable se répartissent en trois types de besoins, les besoins agricoles couvrent le pourcentage le plus important des ressources en eau utilisées, estimé à 70%, suivi du pourcentage moyen, estimé à 22% , qui couvre les besoins industriels, et enfin le pourcentage le plus faible Il est occupé par les besoins des ménages et est estimé à 8 %.

Ces chiffres représentent un point moyen global évoluant dans le temps et dans l'espace. Ils évoluent différemment d'un continent à l'autre et d'un pays à l'autre, mais ils nous renseignent sur la consommation prédominante du secteur agricole, un secteur qui consomme près des trois quarts des ressources en eau dans la majorité des pays. Cela ne peut se faire qu'aux dépens des autres usagers et notamment des riverains. Le niveau de consommation d'eau potable dans un pays, comme l'énergie, est devenu un indicateur du niveau de développement économique de celui-ci, comme le montre le tableau [8].

Tableau I.3. Consommation mondiale d'eau par habitant [8].

La zone	Consommation en (m³/habitant. Année	Consommation en (L/habitant. Jour)
Afrique	17	47
Asie	31	87
Europe	122	334
USA , Japon	210	578
Moyenne mondiale	50	137

I.2.3 Problème de consommation de l'eau en Algérie

En Algérie, les besoins en L'Algérie a cruellement besoin d'eau potable et d'eau utilisée dans le domaine industriel, en particulier dans les zones désertiques, qui occupent une superficie d'environ deux millions de kilomètres carrés et sont riches en eaux souterraines et couvrent environ 60 x 10³ milliards de mètres cubes. Comme cette eau est difficile à exploiter et difficile à reconstituer ; Cependant, seuls 4 à 5 milliards de mètres cubes peuvent être exploités annuellement, malgré le fait que la majeure partie de cette eau est saumâtre et la majeure partie est concentrée dans le nord de l'Algérie, et les eaux souterraines à l'état naturel sont estimées à 1,8 milliards de mètres cubes, bien que cette eau ne soit pas utilisable, mais elle peut avoir une grande valeur et une grande importance dans le développement et l'amélioration des conditions de vie dans ces zones, et l'Algérie fait également partie des pays qui souffrent en raison des pénuries d'eau, et elle occupe aujourd'hui la 14e place mondiale, et s'il n'y a pas de moyens efficaces pour éliminer et mettre fin à cette souffrance, elle occupera

la sixième place d'ici 2025. L'Algérie reçoit 65 milliards de mètres cubes de pluie par an, dont [8]

* 15 milliards m^3 de têtes de rivières.

* 3 milliards m^3 de recharge des nappes phréatiques.

* 47 milliards m^3 s'évaporent dans l'atmosphère

I. 3. Dessalement de l'eau

I.3.1 Définition Dessalement de l'eau

Le dessalement de l'eau ou dessalement de l'eau est le processus de conversion de l'eau salée ou saumâtre en eau douce (eau destinée à la consommation et représentée dans l'eau potable en plus de l'eau d'irrigation ou d'irrigation). [9]

I.3.2 Différents procédés de dessalement

L'eau occupe les deux tiers du globe, ce qui nous assure qu'elle est abondamment disponible puisqu'elle atteint 1380 millions de kilomètres cubes. Le pourcentage le plus élevé est couvert par l'eau de mer (97,2%) et la glace (2,15%), qui ne peuvent pas être utilisées directement. L'eau douce représentée par les lacs, les rivières et certaines eaux souterraines ne couvre que 0,07 % des ressources totales, soit environ un million de kilomètres cubes. Mais la répartition de cette eau est très inégale. En fait, 60 % des réserves d'eau douce sont partagées par dix pays, et les pénuries chroniques d'eau douce sont concentrées en Afrique et au Moyen-Orient, et 29 pays se partagent cette pénurie. Selon l'Institut des ressources en eau, 250 millions de personnes n'ont actuellement pas le minimum vital d'eau Spécifié à 1 000 mètres cubes par personne et par an. 400 millions de personnes vivent en situation de stress hydrique, estimé entre 1 000 et 2 000 m^3 par habitant et par an. En raison de l'évolution de la densité de population et de l'augmentation de la consommation d'eau, on estime qu'en 2025, jusqu'à 2,5 milliards de personnes pourraient souffrir de pénurie d'eau.[10]

Pour réduire cette pénurie aiguë d'eau, et pour répondre aux besoins toujours croissants de la population, de nouvelles technologies de production d'eau potable doivent être développées. L'une des technologies les plus répandues dans les pays est le dessalement de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre.

I.3.4 Techniques de dessalement

Les techniques de dessalement se divisent en deux parties selon le principe retenu :

Section un : Les processus thermiques qui impliquent des changements de phases sont la congélation et la distillation.

Deuxième volet : les opérations utilisant des membranes telles que l'osmose inverse et l'électro lavage.

Nous vous donnerons une explication simple et succincte du principe de l'osmose inverse et de la distillation:

I.3.4.1 L'osmose inverse

Est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10^{-7} mm de taille.

L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes haute pression.

La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de 0,5 g.L-1.

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration.

C'est un système en deux parties séparées par une membrane semi-perméable et contient deux solutions de concentrations différentes (Fig. I - 1). Le phénomène d'osmose va provoquer l'écoulement dirigé de l'eau de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher cet écoulement d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transportée par osmose diminuera. Il viendra un moment où la pression ainsi appliquée annulera l'écoulement de l'eau. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, alors cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. Une augmentation de pression au-delà de la pression osmotique conduit à un flux d'eau dirigé dans le sens du flux osmotique inverse (voir figure I - 1), c'est-à-dire d'une solution concentrée à une solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse [11].

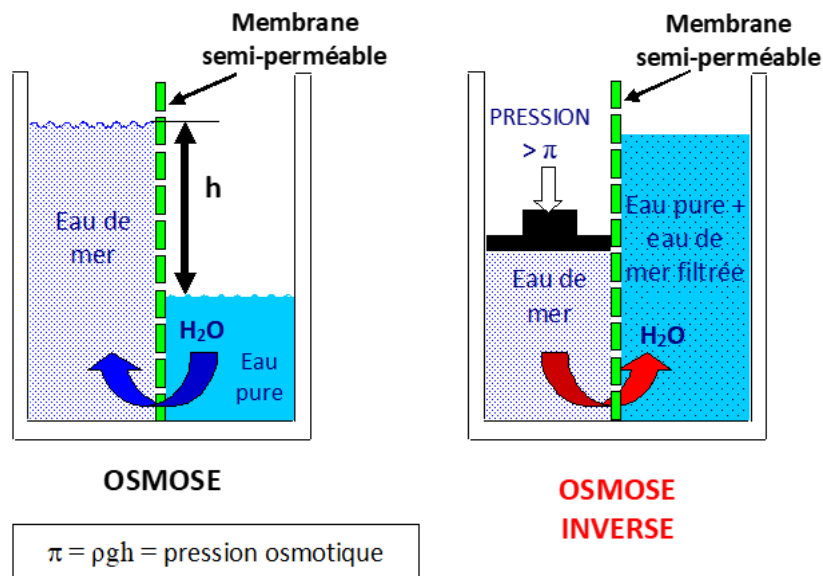


Figure I.1 Schéma illustrant le principe de l'osmose inverse. [12]

I.4 Distillation solaire

Histoire de la distillation solaire : la distillation solaire est utilisée depuis des siècles. Mais la plus grande réalisation a eu lieu en 1872 près de Las Salinas, dans le nord du Chili. Le modèle a été fabriqué par Carlos Wilson, un ingénieur suédois avec une surface vitrée de 5000 mètres carrés, produisant environ 20 mètres cubes d'eau douce par jour à partir d'eau salée contenant 140 g/L. Ce système a été utilisé jusqu'en 1910 en raison de la crise de l'accumulation rapide de sels dans le bassin, qui a nécessité un nettoyage régulier de l'appareil de distillation. La durée de la distillation solaire est minime entre 1880 et la Première Guerre mondiale. Dans les années 1920, Koch a fabriqué des réflecteurs métalliques pour concentrer la lumière du soleil (types toit, couverture en V, plateau incliné...etc.) [13].

I. 4.1 Définition

La distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer de l'eau saumâtre dans un bac couvert par une vitre inclinée [14]. L'eau salée dans le bac va se chauffer (d'autant plus vite que le bassin est noir) et avec l'augmentation de température une partie de l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente. Éventuellement des gouttes d'eau vont se former, couler sur la surface de la vitre et tomber dans le récupérateur situé au coin.

I.4.2 Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire

Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire Les distillateurs solaires utilisent tous le même principe de fonctionnement ; néanmoins ,ils peuvent différer les uns des autres en conception et en matériau. Le fonctionnement d'un distillateur solaire repose sur l'effet de serre La distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer de l'eau saumâtre dans un bac couvert par une vitre inclinée. L'eau salée dans le bac va se chauffer (d'autant plus vite que le bassin est noir) et avec l'augmentation de température une partie de l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente. Éventuellement des gouttes d'eau vont se former, couler sur la surface de la vitre et tomber dans le récupérateur situé au coin. Il faut régulièrement nettoyer le bassin pour éliminer les sels[15] vois Figure 1.2 .

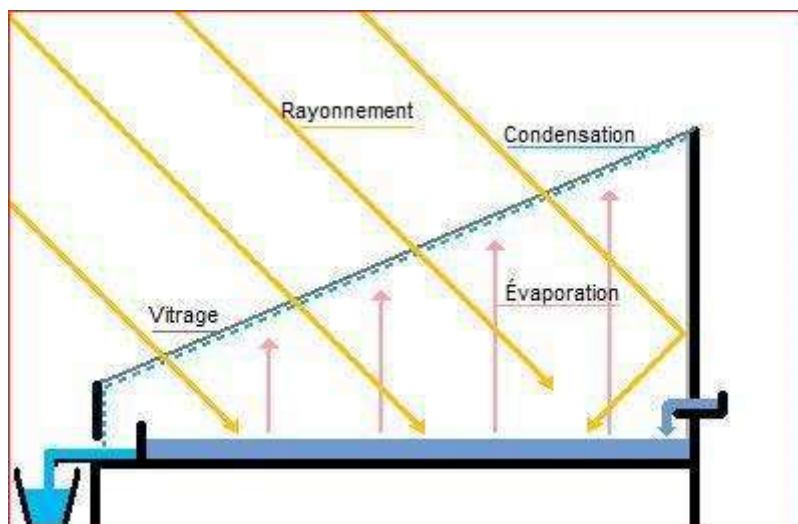


Figure 1.2. Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire [15]

I.4.3 Différentes types de distillation solaire

Les procédés de dessalement par distillation utilisant l'énergie solaire sous forme thermique sont:

- Distillation solaire à effet de serre.
- Distillation solaire à multiples effets.
- Distillateur solaire à film capillaire.

➤ **Distillation solaire à effet de serre**
➤ **Cas d'un distillateur d'urgence**

Pour fournir l'eau potable de secours sur la terre, un distillateur très simple peut être fait. Il se sert d'une couverture en plastique, une cuvette ou un seau, et un caillou vois Figure I.3 .

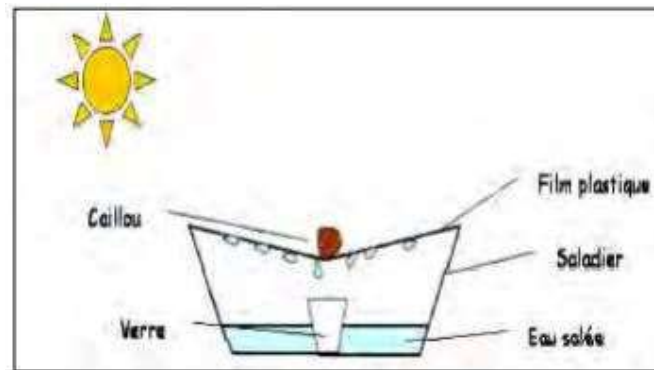


Figure I.3 Distillateur solaire d'urgence (Source [16])

➤ **Distillation à la vapeur**

Les performances de ce procédé sont améliorées en recyclant la vapeur du dernier effet (au niveau thermique le plus bas) en la comprimant puis en l'utilisant comme vapeur de chauffage au premier effet. Il s'agit d'un processus qui implique une série d'évaporateurs .Ce processus peut utiliser l'énergie solaire comme source de chaleur, mais nécessite de l'énergie supplémentaire pour comprimer la vapeur. Cela se fait soit avec un compresseur mécanique (pression mécanique) soit un éjecteur à vapeur (pression thermique).[17]

➤ **Distillation aux effets multiples**

Dans cette catégorie, il existe deux processus différents : Le premier procédé utilise des tubes verticaux, et le second procédé utilise des tubes verticaux et Autres tubes horizontaux. Ce qui distingue l'utilisation des tubes horizontaux est d'obtenir une résistance Moins de pompage et coefficient d'échange thermique global plus élevé.

Ce procédé consiste à un ensemble d'effets successives où la vapeur produite dans un effet est utilisée pour chauffer l'eau de l'effet suivant en s'y condensant, l'apport thermique initial est fourni à l'effet de tête (bouilleur). De part sa simplicité et sa souplesse de fonctionnement, ce procédé est le mieux disposé à s'adapter à l'énergie solaire. Cette adaptation peut se faire :

- soit avec des capteurs solaires plans pour les petites unités allant jusqu'à plusieurs m³/jour.

- soit avec des capteurs à concentration pour des capacités plus importantes. Un stockage thermique est souvent utilisé, sous forme de réserve d'eau chaude, pour permettre d'avoir une certaine autonomie de fonctionnement en régime permanent ou intermittent [17] voir Figure I.4 .

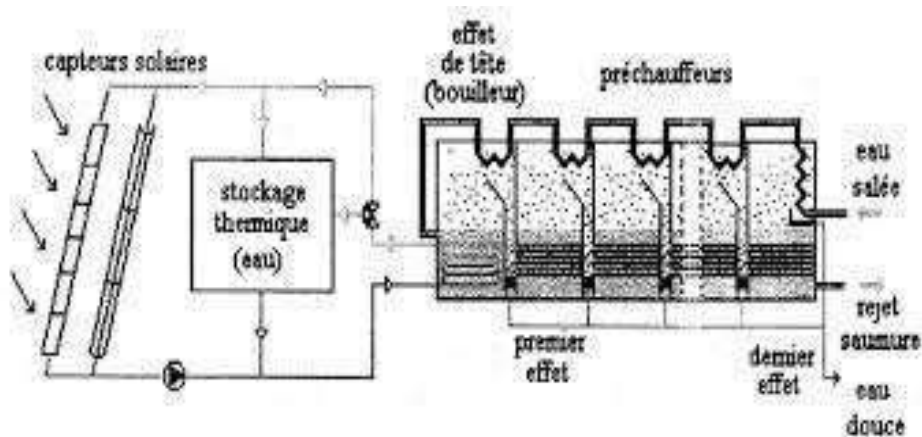


Figure I.4 Schéma d'une installation de dessalement par multiple-effets accouplés à des capteurs solaires [17]

➤ Distillateurs à pente unique

Le distillateur à pente unique à un capteur unique incliné d'un angle (β). Ce système de distillateur est incliné d'un angle (β) est essentiellement constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre (Figure I - 5). La partie inférieure est recouverte d'un plan d'eau (eau saumâtre ou eau de mer). Sous l'action de flux solaire, transmis par la couverture transparente, l'eau s'échauffe et une partie de celle-ci s'évapore. La vapeur produite se condense sur la face intérieure de la vitre et le condensat est récupéré par un récepteur voir Figure I.5 [18].

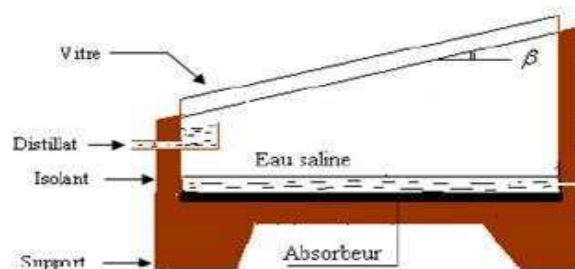


Figure I.5 Distillateurs à pente unique [18].

Distillateurs à double pentes

C'est un distillateur à double capteurs où chacun d'eux est incliné d'angle; son avantage est qu'il expose un capteur au soleil et un autre à l'ombre pour accélérer la condensation (Figure I.6)[19].

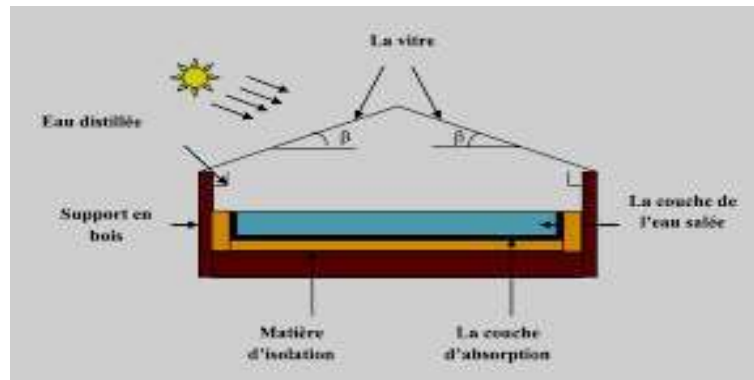


Figure I.6 Distillateurs à double pentes[18]

➤ Distillateur sphérique

C'est un distillateur en plexiglas ou en matériau plastique transparent de forme sphérique reposant sur des supports, il est essentiellement constitué par trois parties, une demi-sphère supérieure qui sert à transmettre le rayonnement solaire d'une part et joue le rôle de surface de condensation d'autre part, une demi-sphère inférieure qui permet de récupérer le distillat, un bac horizontal en métal noir contenant l'eau à distiller qui se trouve dans le plan médian de la sphère (Figure I - 7). Le rayonnement solaire incident transmis par la demi-sphère supérieure pénètre dans le bac et sert à chauffer la masse d'eau contenue dans celui-ci. Une partie de l'eau s'évapore, et la vapeur dégagée vient se condenser sur la face intérieure de la vitre. Le distillat passe dans la demi-sphère inférieure à travers l'espace annulaire entre le bac et la sphère. Un essuie-glace entraîné par un moteur électrique, permet de maintenir la surface de condensation, constamment transparente au rayonnement et d'assurer un drainage rapide des gouttelettes.[20] voir Figure I.7

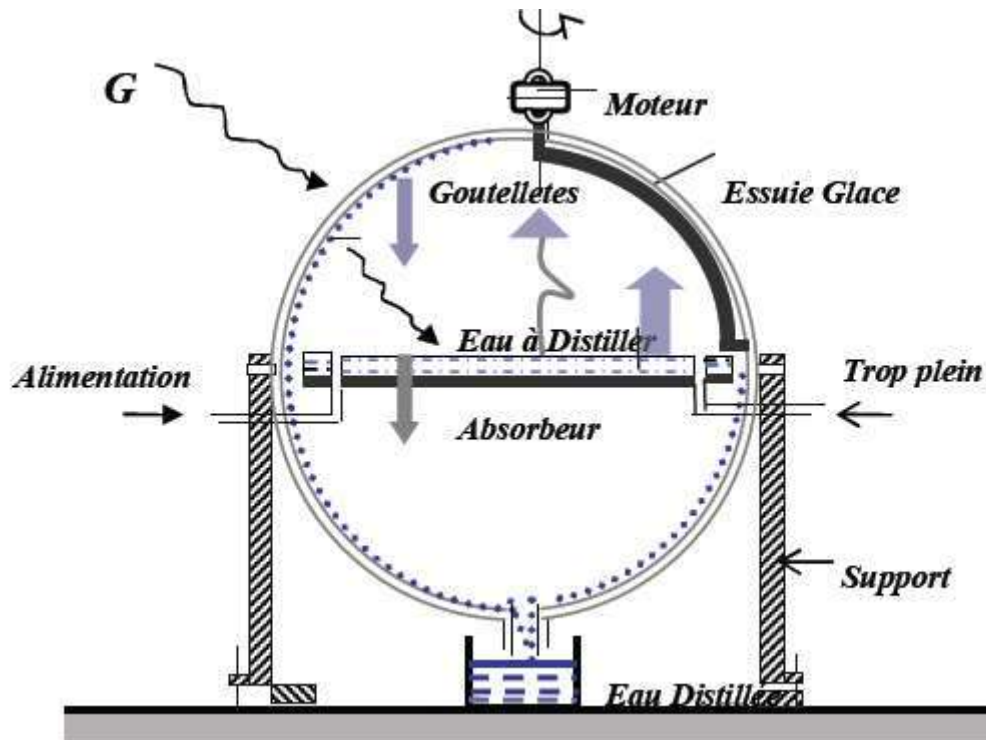


Figure I.7. Le distillateur sphérique (Source [20])

- **Distillation solaire à multiples effets**
- **Distillateur solaire incliné à cascade**

Ce dispositif présente deux avantages, le premier avantage est que la couche d'eau est très faible et le deuxième avantage est que l'orientation par rapport au rayonnement incident est proche . Ces appareils fonctionnent parfaitement mais sont coûteux à construire et à entretenir[21] voir Figure I.8 .

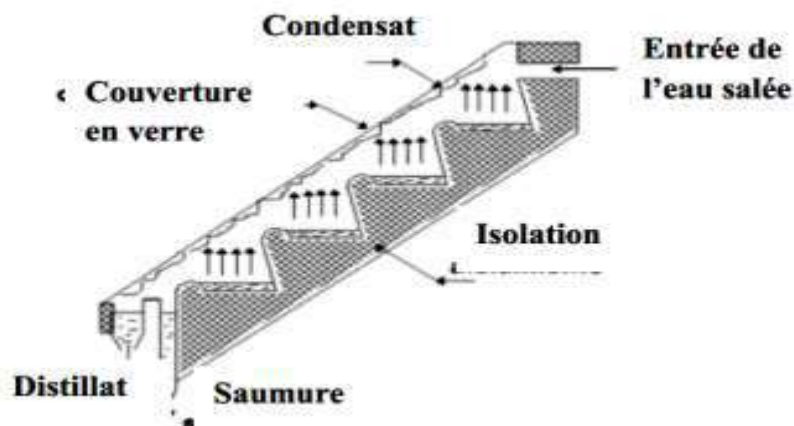


Figure I.8 Distillateur à cascade [20]

➤ Distillateur à mèche

Dans un distillateur à mèche (Figure I - 9), l'eau d'alimentation coule lentement à travers une garniture poreuse, absorbant les rayonnements (mèche). Deux avantages sont revendiqués sur les distillateurs de bassin. D'abord, la mèche peut être inclinée de sorte que l'eau d'alimentation présente un meilleur angle avec le soleil (réduisant la réflexion et présentant une grande surface efficace). En second lieu, moins d'eau d'alimentation est dans le distillateur à tout moment donc l'eau est chauffée plus rapidement et à une température élevée. Les distillateurs simples à mèche sont plus efficaces que les distillateurs à bassin et quelques conceptions sont prétendues pour coûter moins qu'un distillateur à bassin du même rendement. voir Figure I.9 . [21].

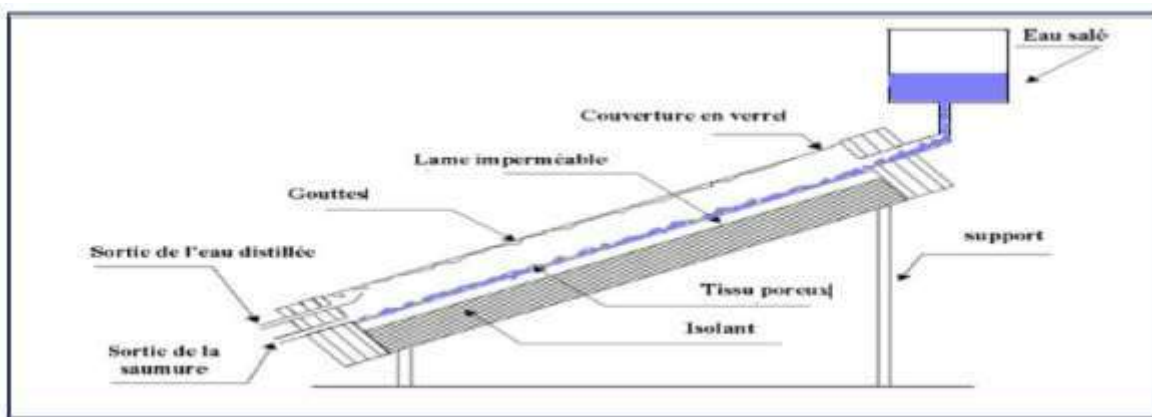


Figure I.9 Distillateur solaire à mèche [21].

Distillateur à diffusion

Cet appareil se compose principalement de deux parties, un réservoir de stockage relié à un capteur et une série de plaques métalliques parallèles et verticales (Figure I -10). L'eau chaude provenant du réservoir de stockage chauffe la première plaque et provoque l'évaporation de l'eau qui coule sur le côté droit de celle-ci, la vapeur d'eau produite se condense sur le côté gauche de la deuxième plaque, la chaleur de condensation libérée servira à évaporer l'eau qui coule sur le côté droit de la deuxième plaque et ainsi de suite jusqu'à la dernière plaque où la chaleur de condensation va contribuer au préchauffage de l'eau salée d'alimentation. [22]

Il est donc apparu absolument nécessaire d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur à simple effet. Ceci a été obtenu grâce à la distillation à multiples effets. On sait en effet, que la température d'ébullition de l'eau varie avec la pression. On peut donc utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau de chauffe d'une seconde chambre à pression et température plus faibles, et ainsi de suite (Figure I -10).[22].

Le nom de multiples effets a été donné à ce type d'appareils parce que la vapeur initiale(Vapeur de chaudière) accomplit plusieurs fois son effet. vois Figure I.10

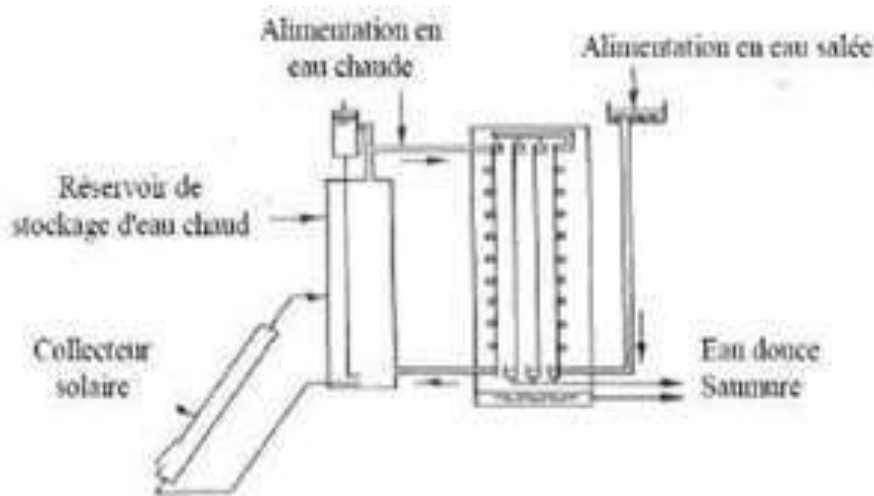


Figure I.10 Distillateur à diffusion [22].

➤ **Distillateur solaire à cheminée**

Cet appareil de distillation se différencie des autres distillateurs classiques par une jonction cheminée avec un échangeur de chaleur, et un canal plat recouvert d'une fenêtre pour capter l'énergie solaire. Sous l'influence du rayonnement solaire, l'eau salée circulant dans le tuyau s'évapore et monte dans la cheminée où elle se condense, et la chaleur de condensation peut être utilisée pour préchauffer l'eau. vois Figure I.11 [23].

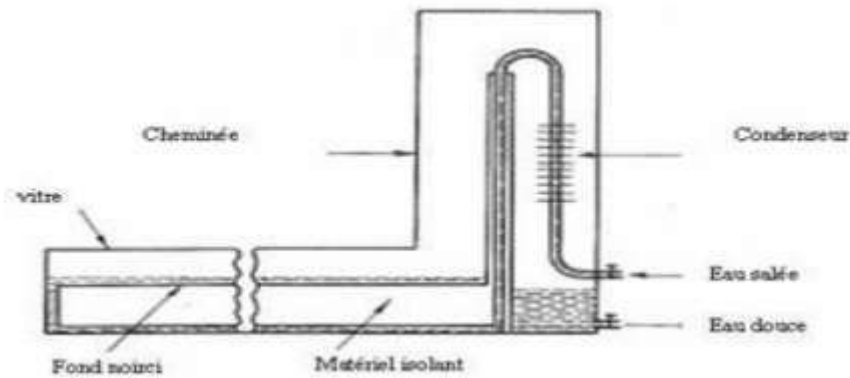


Figure I.11 Distillateur à cheminée [23].

➤ Distillateur solaire à film capillaire

Il se compose d'une très mince couche de textile à mailles fines, trempée d'eau qui se maintient d'elle-même au contact de la plaque jouant le rôle d'évaporateur. Les forces de tension inter-faciale, nettement supérieures à celles de la pesanteur, jouent un rôle très important dans la formation du film capillaire, de faible inertie thermique, en empêchant toute formation de bulles d'air. Ce distillateur (Figure I -12) est composé des éléments suivants : le capteur – évaporateur, le condenseur et l'alimentation.

La première cellule capte le rayonnement solaire qui passe à travers la couverture. La vapeur se condense sur la paroi opposée et la chaleur dégagée par cette condensation permet l'évaporation du film qui ruisselle sur l'autre face de cette même paroi vois Figure I.12[19] .

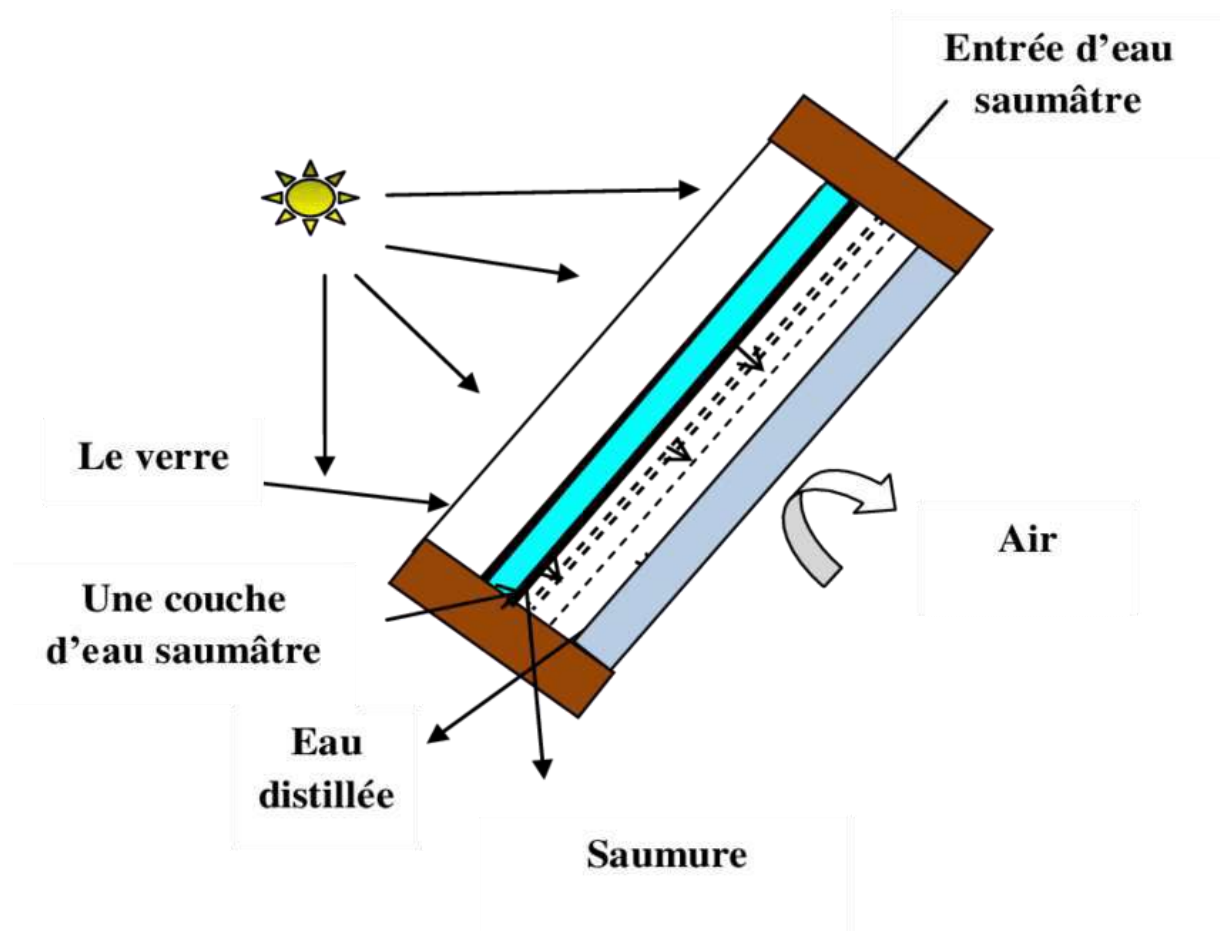


Figure I.12 Distillateur à film capillaire [19]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mené une étude approfondie sur le dessalement de l'eau et la distillation solaire et ses types. Nous avons conclu que le processus de dessalement vise à éliminer ou séparer les sels minéraux et les minéraux dissous dans l'eau. Quant à la distillation solaire, elle dépend principalement de la puissance de rayons solaires. En augmentant les rayons solaires, l'évaporation de l'eau augmente et donc, en augmentant son intensification, et cela signifie augmenter la productivité.

Chapitre II :

Application de la photocatalyse pour la dégradation des polluants

II .1.Introduction

Le procédé de dégradation photocatalytique a reçu beaucoup d'attention ces dernières années dans le cadre de la purification de l'eau en tant que procédé d'élimination de micropolluants organiques (solvants, pesticides, herbicides) et s'est montré récemment un procédé efficace de purification de l'air (élimination des odeurs et/ou des composés organique volatils). Dans ce procédé, un semi-conducteur absorbe la lumière et convertit l'énergie photonique en énergie chimique.

La photocatalyse hétérogène constitue une alternative prometteuse pour l'élimination des polluants organiques présents dans l'eau. Le principe de la photodégradation catalytique repose sur le phénomène naturel de photolyse qui intervient dans l'environnement lorsque les conditions nécessaires au déroulement des réactions photochimiques sont reunites [24].

II. 2 .Principe de la photocatalyse hétérogène

La photocatalyse hétérogène est basée sur l'absorption des photons par les semi-conducteurs d'énergie égale ou supérieure à la bande passante interdite ($E_c - E_v$), permettent Transfert d'électrons de la bande de valence (E_v) vers la bande de conduction (E_c). Lacunes l'électronique, communément appelée trous (ou "trous", h^+) sont créés dans La bande de valence et le système d'oxydoréduction sont générés. Les électrons peuvent être transférés aux accepteurs d'électrons, tandis que les trous peuvent être transférés Plein de donneurs d'électrons. Si les espèces chimiques résultantes réagissent Avant d'effectuer les transformations électroniques inverses, on les appelle transformations chimiques Ainsi, la photocatalyse peut se produire [25].

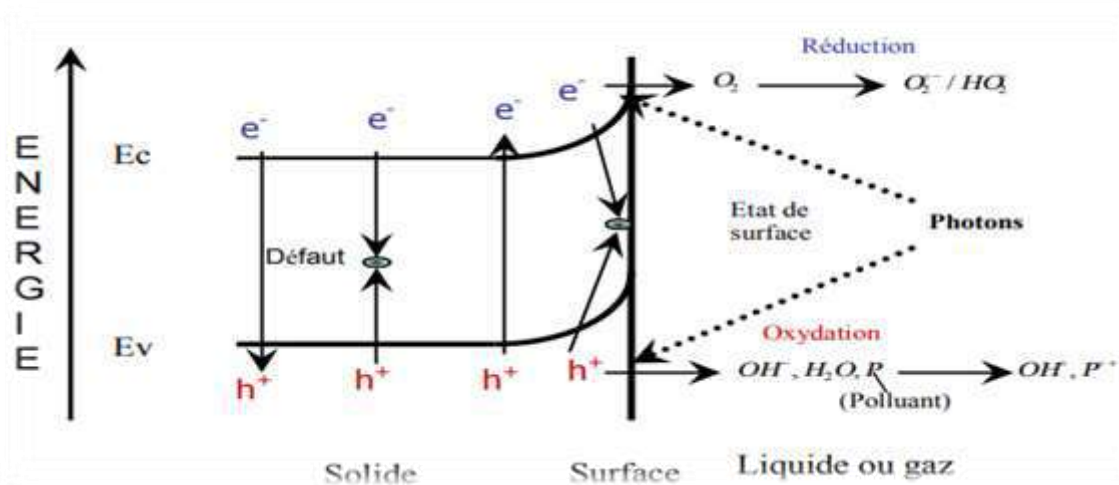


Figure II.1: Schéma montrant les bandes d'un semi-conducteur [25].

Chapitre II : Application de la photocatalyse pour la dégradation des polluants

La photocatalyse hétérogène est basée sur l'excitation optique des semi-conducteurs en absorbant les photons et en interagissant avec la molécule dans la phase absorbée. Il peut être décrit comme catalysant une réaction photochimique et comprend une interface solide/gazeux ou solide/liquide [26].

Le processus de photocatalyse peut être divisé en cinq étapes indépendantes qui sont les suivantes:

- Migration diffusionnelle des réactifs de la phase fluide vers la surface du photocatalyseur, y compris dans la porosité du photocatalyseur
- adsorption d'au moins un réactif à la surface du catalyseur
- réaction en phase adsorbée (étape où se déroule la réaction photocatalytique à proprement parlé)
- désorption des produits
- Migration diffusionnelle des produits de la surface du catalyseur vers la phase fluide [27].

II.3. Matériaux aspects photocatalyses

Plusieurs semi-conducteurs ont été testés dans la photocatalyse comme TiO_2 , ZnO , ZnS , WO_3 , GaP , Fe_2O_3 et CdS [28]. Les semi-conducteurs CdS et GaP ont l'avantage d'absorber par rapport au TiO_2 une fraction plus importante du spectre solaire, mais malheureusement ces semi-conducteurs sont instables durant l'oxydation photocatalytique. TiO_2 , au contraire, est stable et constitue un bon compromis entre efficacité et stabilité. C'est le semi-conducteur le plus utilisé en photocatalyse hétérogène en raison de son faible coût et sa grande efficacité à minéraliser des polluants organiques. Plusieurs auteurs ont trouvé une efficacité photocatalytique plus importante en présence de TiO_2 , et cela explique que la plupart des recherches et études se basent sur ce composé.

Tableau II.1: Energie de bande interdite et longueur d'onde d'activation des différents semi-conducteurs [29].

Semi-conducteur	Energie de bande (ev)	Longueur d'onde (nm)
ZnO	3.2	390
CdO	2.1	590
CdS	2.5	497

CdSe	1.7	730
Fe ₂ O ₃	2.2	565
GaAs	1.4	887
GaP	2.3	540
SnO ₂	3.9	318
TiO ₂	3.2	390
WO ₃	2.8	443

II.4. Définition de réacteur photocatalytique

Un réacteur est un dispositif utilisé pour effectuer des réactions photocatalytiques, en quel le photocatalyseur peut être utilisé en suspension dans le flux à traiter dépôt sur plaques support catalytique [30], au contact du contaminant avec le catalyseur et activer celui-ci par irradiation à l'aide d'une source lumineuse l'intensité du rayonnement est ajustée en fonction de la longueur d'onde du matériau stimulant .

II.5. Les différents types des réacteurs photocatalytiques

Les réacteurs photovoltaïques sont divisés en deux types ; solaire et synthétique Nous allons essayer de discuter de certains des deux :

II.5.1. Réacteurs photocatalytiques avec lumière artificielle :

Plusieurs chercheurs travaillent actuellement sur l'étude de la technologie photocatalytique utilisant les rayons ultraviolets (uv). Tous les réacteurs sont identiques dans leurs performances et leur fonction, alors qu'ils diffèrent par leur forme et leur plage de rayonnement. [31].

II.5.2. Réacteurs à irradiation radiale (lampe plongeante centrale)

Les photoréacteurs annulaires sont les réacteurs les plus simples à mettre en œuvre. Il s'agit d'un réservoir agité dans lequel les particules solides de catalyseur sont en suspension dans l'eau ou supportés sur les parois généralement réfléchissantes du réacteur [31]. Ils possèdent

une ou des lampes plongeantes à l'intérieur du réacteur. La solution irradiée circule autour de la source lumineuse [32].

II.5.3. Réacteurs à irradiation externe

Ce réacteur comporte six lampes UV situées à l'extérieur du liquide à traiter, autour du corps du réacteur. Les parois doivent alors être aussi transparentes que possible à la lumière et ne pas absorber le rayonnement de longueur d'onde émis par les lampes [32].

II.5.4. Réacteurs Solaire

Procédés de destruction des polluants organiques en solution Hydrolysé par photocatalyse solaire basée sur l'utilisation de la partie supérieure Spectre d'énergie solaire (≤ 400 nm) pour induire des réactions Oxydation et réduction. Ces réactions se produisent aux rayons ultraviolets Active un semi-conducteur catalytique (TiO_2) ou un autre matériau semi-conducteur en Présence d'oxygène ou d'autres accepteurs d'électrons. s'efforcer de Dans ce contexte, qu'une substance toxique dans l'environnement Il est exposé à une oxydation qui modifie sa structure, le rendant moins toxique Et plus biodégradable .

Au laboratoire de bioénergie environnement de CDER où s'effectue ce travail, deux projets d'études photocatalytiques impliquant ces deux groupes de catalyseurs ont donné des résultats assez prometteurs en termes de traitement de la pollution chimique et de la désinfection de l'eau.[33].



Figure II.2: Réacteur photocatalytique (CDER) [33].

➤ Photoréacteur à collecteurs paraboliques (CP)

C'est un bon compromis entre le complexe Auge parabolique non concentrée et condensée. Il se compose de deux miroirs Semi-circulaire juxtaposé, se prolongeant sur son bord extérieur

par un prolongement Une parabole dont la ligne focale se trouve à la connexion de deux demi-cercles, où il y a Le tube de verre où se produit la réaction photocatalytique. Grâce à cette ingénierie spéciale, le La lumière venant de toutes les directions, frappant le collecteur, est redirigée vers le tube. Le La lumière diffuse ou directe peut être utilisée pour activer le catalyseur TiO_2 (en)suspension ou catalyseur appuyé sur un ruban placé à l'intérieur du tube de verre [33].

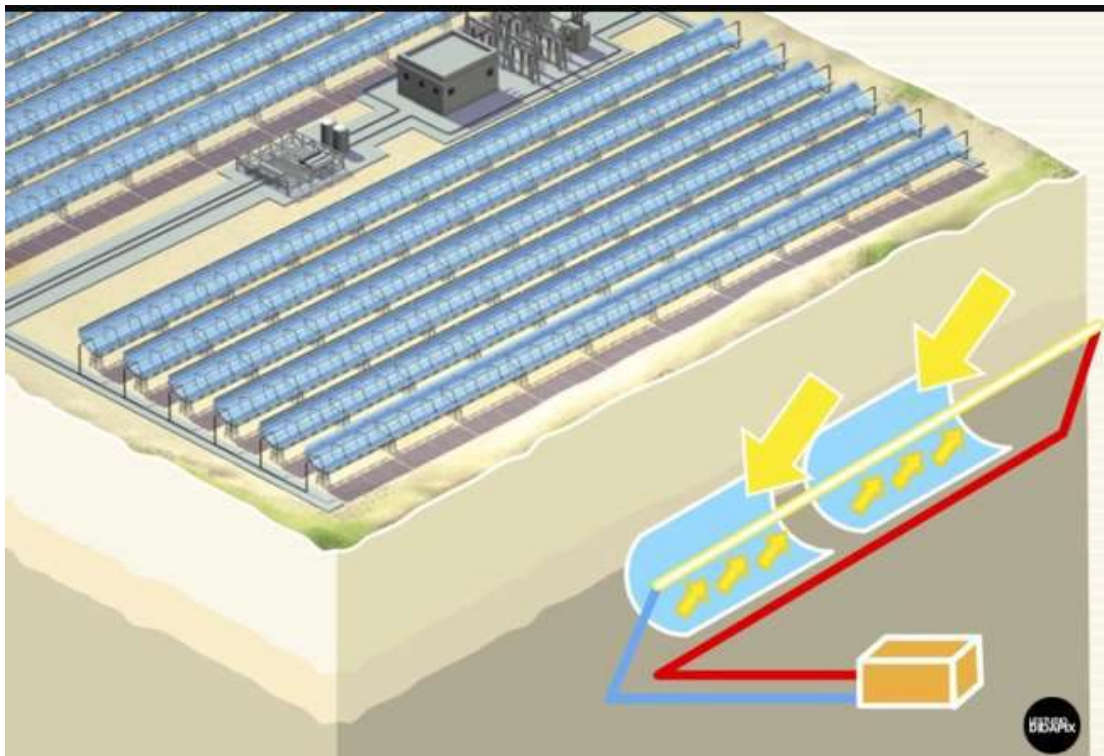


Figure II.3 photoréacteur à collecteurs Cylindro parabolique [33].

➤ Photoréacteur à lit fixe et à flux ruisselant

C'est l'un des premiers réacteurs, qui a été développé Il peut utiliser des photons ultraviolets de la lumière directe ou diffuse. Il se compose d'une plaque inclinée, plate ou étagée, Surface d'où s'écoule une fine couche d'eau à traiter. Le catalyseur est alimenté par Panneau éclairé par rayonnement solaire ou artificiel.

Il peut fonctionner dans le temps, même si l'efficacité du système est réduite par rapport à conditions ensoleillées; Ce type de réacteur est généralement plus efficace que les systèmes Condensateurs, car tout le rayonnement lumineux est utilisé pour activer le catalyseur. De plus, le coût d'installation est faible. Il convient à la population économiquement Et il y a beaucoup de soleil toute l'année. [34].



Figure II.4 collecteur à non-concentration de type cascade utilisant le catalyseur supporté Ahlstrom (plate forme solaire d'Almeria, Espagne) [34].

➤ **Concentrateur en auge parabolique (PAC)**

Dans un réacteur photovoltaïque à condenseur parabolique (PAC), le complexe moyen Le rapport de concentration entre 5 et 50 a une surface réfléchissante Forme parabolique qui concentre le rayonnement sur un récepteur tubulaire situé au point de la parabole. Étant donné que seul le rayonnement arrive perpendiculairement à La surface réfléchissante peut être utilisée, elle nécessite un système de suivi de position Le soleil, ce dernier pouvant être sur un axe vertical ou horizontal Ou avec deux axes (vertical et horizontal).[35]



Figure II. 5 Concentrateur en auge parabolique doté d'un système de suivi du soleil à deux axes, installé sur la plate forme solaire d'Almería en Espagne [36].

Il existe de nombreuses formes de réacteurs à énergie solaire qui peuvent être appliqués dans le processus de photocatalyse

Quand un catalyseur semi-conducteur (TiO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , ZnS , CdS ...) est illuminé par des photons d'énergie égale ou supérieure à l'énergie de sa bande interdite, ou band gap, ($E_g < h\nu$), il y a ainsi absorption de ces photons et création de paires électron (e^-) - trou (h^+) avec transfert d'un électron de la bande de valence à celle de conduction (**Figure 6 (a)** et **Eq.1**). Il y a alors création d'une lacune électronique (h^+) au niveau de la bande de valence (**Eq.1**).

Simultanément, en présence d'une phase fluide (gaz ou liquide), une adsorption spontanée se produit et selon le potentiel redox de chaque adsorbat, un transfert d'électron peut s'opérer vers les molécules de caractère électro-accepteur (A) (**Figure 6 (d)** et **Eq.2**), tandis que les photo-trous positifs sont transférés vers les molécules de caractère électro-donneur (D) (**Figure 6 (e)** et **Eq.3**). Enfin, une recombinaison électron-trou reste possible. Elle peut avoir lieu dans le volume (**Figure 6 (b)**) ou en surface du semi-conducteur (**Figure 6 (c)**) et s'accompagne d'un dégagement de chaleur **Eq.4** [37].

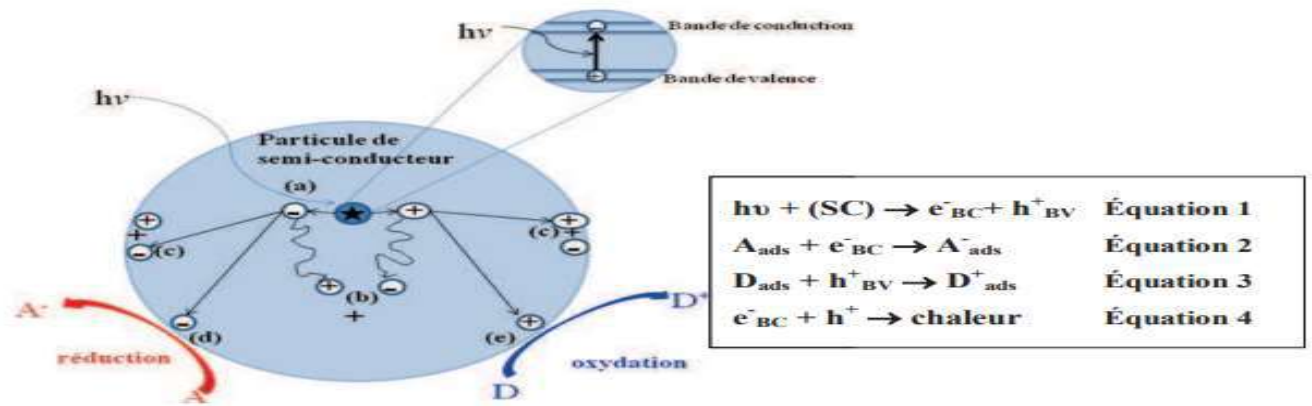


Figure II.6 Principe général de la photocatalyse. Absorption de photon et génération de paire électron-trou (a); recombinaison en volume (b) ; recombinaison en surface (c); réduction d'un accepteur d'électron (d) ; oxydation d'un donneur d'électron (e) [37].

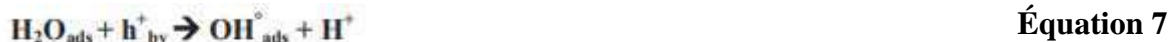
Dans le cas de TiO_2 , on écrit alors :



Dans le cas d'une migration des charges photogénérées à la surface de la particule, les photoélectrons réduisent l'oxygène moléculaire adsorbé à la surface du TiO_2 pour former les ions (radicaux) superoxydes ($O_2^{\circ-}$) (Eq.6)



Cette réaction permet à la fois de générer une espèce active oxydante, mais contribue aussi à la séparation des charges. Les trous photogénérés (h^+_{BV}) peuvent eux réagir avec l'eau adsorbée ou les espèces OH^- pour former des radicaux hydroxyles très réactifs (OH°), de courte durée de vie comparés à $O_2^{\circ-}$ (Eq.7-8) :



Ils peuvent aussi oxyder directement une molécule adsorbée (Eq.9) :



D'autres réactions secondaires peuvent aussi avoir lieu en phase adsorbée, parmi lesquelles on peut citer celles conduisant à la formation du radical hydroperoxyde ou du peroxyde d'hydrogène (Eq.10)



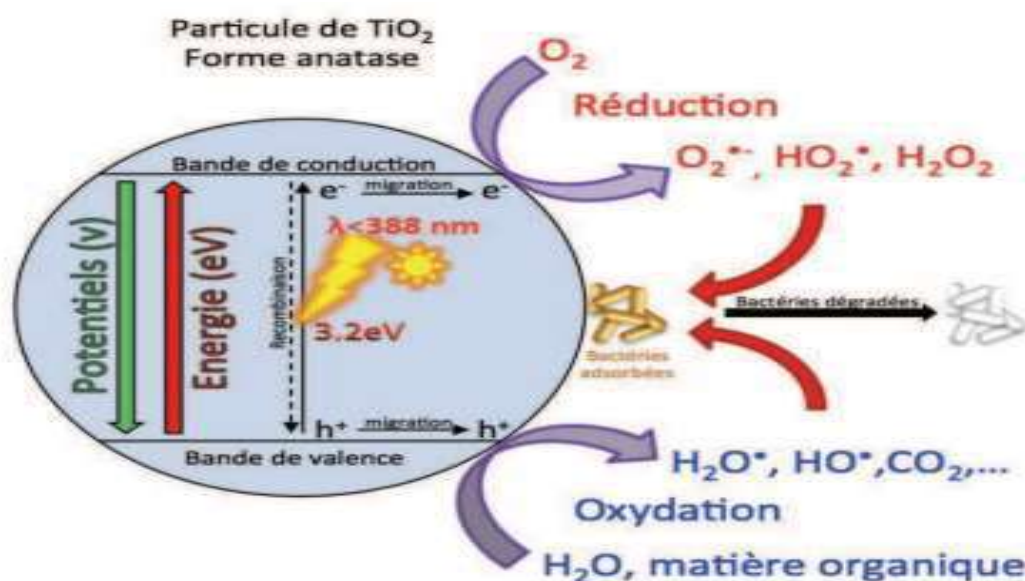


Figure II.7. Réactions d'oxydo-réduction au cours du processus photocatalytique sur TiO₂, adapté de [38].

Les molécules adsorbées peuvent donc réagir (i.e. être oxydées) directement par les trous photogénérés, ou indirectement par les espèces radicalaires ou plus généralement oxygénées.

II .6. Structures cristallines du TiO₂ :

Dans ce tab suivane , on résume les caractéristiques cristalline de TiO₂

Tableau II.2: Caractéristiques principales dioxyde de Titane

Nom	Dioxyde de Titane, Oxyde de Titane (IV), Titania		
Formule Chimique	TiO ₂		
Masse molaire (g.mol ⁻¹)	79,890		
Apparence	Solide blanc		
Phase Cristalline	Rutile	Anatase	Brookite
Système cristallin	Quadratique	Quadratique	Orthorhombique
Groupe	P42/mnm	I41/amd	Pbca
a (Å)	4.5845	3.7842	9.184
b (Å)	-	-	5.447
c (Å)	2.9533	9.5146	5.145
Densité	4.27	3.89	4.12
Volume d'espace par unité TiO ₂ (Å ³)	31.0	34.1	32.2

La Figure II.8 présente le spectre d'irradiance solaire reçue au niveau du sol de la Terre, et montre que seule une faible proportion de la lumière solaire, correspondant à la gamme des UV est utilisable pour l'activation du TiO_2 . Les rayonnements UV représentent environ 5% du rayonnement solaire.

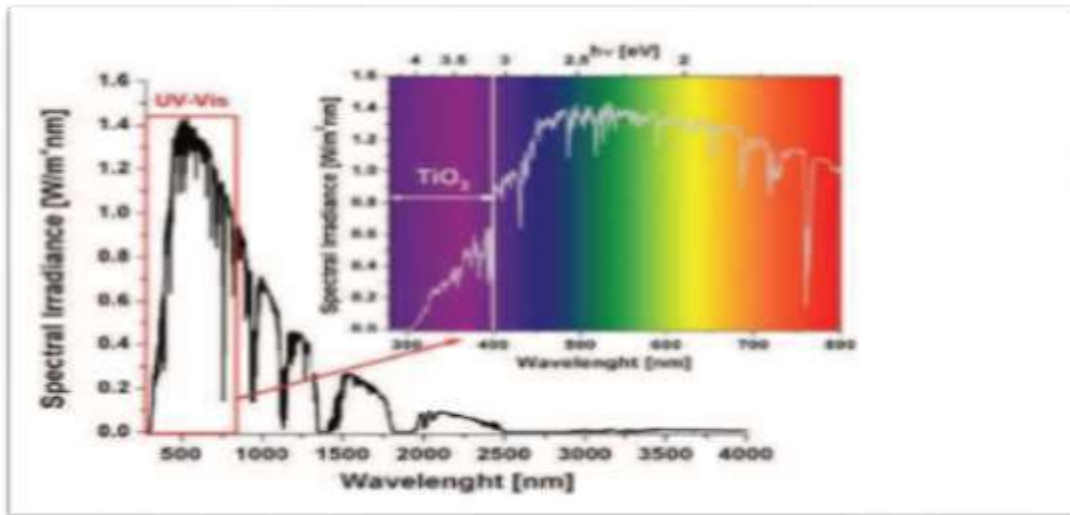


Figure II.8: Relation entre le spectre d'irradiance (particulièrement de la lumière ultraviolette et visible) et l'absorption du TiO_2 [29].

II. 7. Applications photocatalytiques :

Actuellement, la plupart des applications photocatalytiques et des recherches scientifiques concernent le développement de surfaces et de revêtements, de matériaux autonettoyants ou autodésinfectants (notamment les matériaux de construction) ainsi que la mise en œuvre de procédés de traitement et de purification de l'air. D'autres applications potentielles existent comme la production d'hydrogène par photodissociation de l'eau, et l'activation de surfaces (tissus, etc.). Ces applications sont à des stades assez avancés de recherche et de développement et certaines sont actuellement mises en œuvre commercialement [40].

Le véritable défi consiste maintenant à transférer la technologie photocatalytique des laboratoires universitaires vers l'industrie. Une partie de cela a été réalisée citons à titre d'exemple le verre autonettoyant qui est commercialisé en France par Saint-Gobain et en Grande-Bretagne par Pilkington. Dans le domaine des revêtements, il existe également des matériaux de construction (acier, béton, ciment), des revêtements routiers, des peintures qui incluent une fonction photocatalytique (et ultra-hydrophile). Des appareils de traitement de

l'air intérieur sont également disponibles sur le marché, mais leur efficacité a été mesurée systématiquement, relativement peu.

Il faut préciser que l'efficacité des produits commercialement disponibles est très variable, et que pour certains, elle est même sujette à caution. C'est pourquoi un important travail de standardisation (normalisation) des procédures d'évaluation, des performances des matériaux ou des systèmes a été entrepris à l'échelle française, européenne et mondiale.

A l'avenir, la capacité de la photocatalyse à dégrader des molécules faiblement concentrées (rejets hospitaliers, polluants émergents...) devrait être de plus en plus exploitée, en posttraitement ou en couplage avec d'autres techniques de traitement.

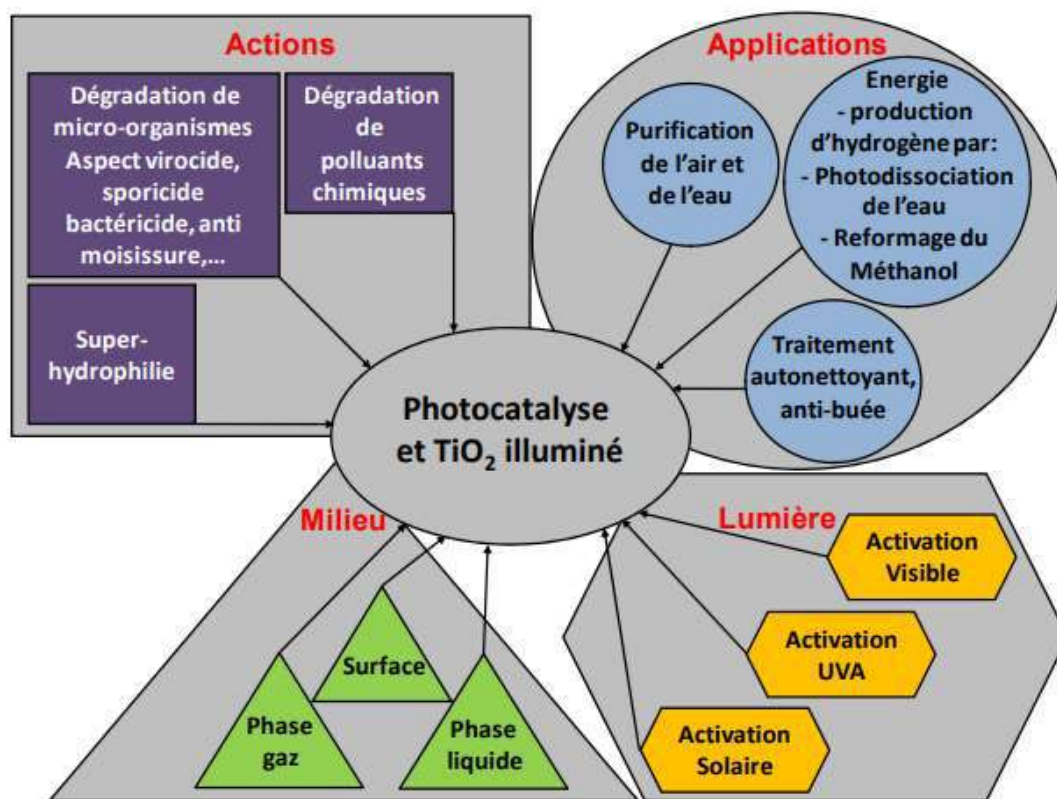


Figure. II.9. champs d'action et applications de la photocatalyse et du TiO_2 illuminé [41]

II. 8. Désinfection/décontamination par photocatalyse:

La photocatalyse sera mise en œuvre dans trois milieux différents, en phase liquide et en phase gazeuse, correspondant respectivement aux applications en désinfection/potabilisation de l'eau et en désinfection/décontamination de l'air, mais également sur surface, avec comme applications les surfaces et textiles auto-nettoyants/biocides. De ce fait, une étude bibliographique relative à ces différents milieux a été réalisée [40].

II. 8.1. Désinfection/potabilisation de l'eau par photocatalyse:

Bien que les techniques traditionnelles de désinfection de l'eau comme l'ozone ou le chlore soient très efficaces, elles génèrent des sous-produits de désinfection aux propriétés mutagènes ou cancérigènes (comme le triméthane) qui sont une véritable nuisance. Par conséquent, l'utilisation de la photocatalyse pour le traitement de l'eau revêt une importance croissante, car ce procédé permet de se débarrasser à la fois des composés chimiques et des micro-organismes pathogènes sans générer de substances nocives. Seuls les rayons ultraviolets lorsqu'ils sont exposés à un rayonnement élevé peuvent induire la mort de micro-organismes [42], [43] Alors que la photocatalyse en générant des molécules à haute énergie d'oxydation permet l'inactivation des microorganismes [40].

Ainsi dès 1985, Matsunaga et al. se sont intéressés à l'inactivation bactérienne en utilisant des particules de TiO_2 sous irradiation UV pendant 120 min avec une lampe aux halogénures métalliques, et ont montré qu'il était ainsi possible de tuer différentes espèces bactériennes et fongiques (*Lactobacillus acidophilus*, *Saccharomyces cerevisiae* et *E.coli*). [44].

Par la suite, les propriétés bactéricides de TiO_2 (sous forme anatase et avec des longueurs d'onde d'excitation comprises entre 300 nm et 400 nm) ont été mises en évidence sur *E.coli* et sur la flore hétérotrophe d'une eau naturelle lors de tests réalisés dans un réacteur de type flux traversant. [45]. L'étude de Wei et al. réalisée l'année suivante toujours chez *E.coli*, a notamment mis en exergue le rôle majeur de l'oxygène lors de l'action photocatalytique et montré que l'intensité lumineuse et la dose de TiO_2 utilisée sont deux paramètres importants pouvant influencer sur l'efficacité bactéricide en phase liquide. [46].

Les premiers tests de désinfection par lumière ultraviolette et photocatalyse solaire (TiO_2 P25, 0,25 g/L) d'eaux usées contenant des Coliformes et *Enterococcus faecalis* ont été réalisés en 2000 par Herrera Melian et al. , et l'a comparé à l'effet du rayonnement (UV / énergie solaire seule). En particulier, les chercheurs ont mis en évidence l'effet du pH sur les performances photocatalytiques et ont montré qu'une recroissance bactérienne plus lente se produisait après le traitement catalytique. En conséquence, ils ont conclu qu'une désinfection à grande échelle ne peut être effectuée que pour de longues durées d'exposition et pour de petites quantités faiblement contaminées. Cela pourrait être plus encourageant pour des concentrations de TiO_2 plus élevées. En effet, Rahmani et al. Ils ont obtenu une inhibition colique dans l'eau normale pour obtenir une concentration optimale de TiO_2 P25 de 0,8 g/L et un UV de 0,9 W/m^2 [46].

Chapitre II : Application de la photocatalyse pour la dégradation des polluants

L'efficacité photocatalytique en phase liquide a également été étudiée sur des microorganismes plus résistants. Par exemple, *E. cloacae*, une entérobactérie résistante au rayonnement UV-A, a pu être inactivée par photocatalyse UV-A (TiO_2 P25, 0,1 g/L) (365 nm, 5,5 mW/cm²), avec une réduction de 4 log en 40 min de rayonnement. 98 Seven et al. ont eux étudié l'inactivation par photocatalyse (TiO_2 P25 et ZnO à 0,01 g/mL avec une lampe à vapeur de sodium à 400 W) de *C. albicans* et d'*A. brasiliensis* -des champignons relativement résistants aux antiseptiques et désinfectants et ont montré, alors qu'une réduction de 5 log a été obtenue pour *C. albicans* après 120 min de traitement, aucune inactivation n'a été observée pour *A. brasiliensis* [47].

A ce jour, aucune corrélation n'a été observée entre la surface spécifique, la taille des particules et la taille des agrégats des différents échantillons de TiO_2 , et la cinétique d'inactivation des microorganismes. Ceci diffère des études réalisées jusqu'ici sur les composés chimiques, qui montrent par exemple que la surface spécifique est généralement un des paramètres clés du système photocatalytique (parmi d'autres). Il est probable que cette différence de comportement provienne notamment des différences de taille entre les deux types de cibles, de quelques angströms pour une molécule chimique à quelques microns pour les microorganismes, qui ont comme conséquence que l'adsorption/le contact des cibles à la surface des particules élémentaires (primaires) ou des agrégats de TiO_2 est fortement fonction du type de cible. Pour la même raison, il est probable également que la morphologie des particules élémentaires ou des agrégats de TiO_2 de même que leur porosité aient un rôle nettement plus important lors de la dégradation des microorganismes qu'elles n'en ont pour celle des molécules chimiques.

Ainsi, bien que l'activation soit basée principalement sur les mêmes phénomènes physicochimiques, il existerait de réelles différences entre l'oxydation photocatalytique des composés chimiques et la désinfection photocatalytique. Par exemple, en comparaison avec l'oxydation des composés chimiques, il s'avèrerait que les réactions de désinfection soient plus complexes à comprendre et à interpréter du fait de l'influence de nombreux paramètres intervenant dans la cinétique de réaction comme un potentiel stress osmotique, les mécanismes de réparation ou bien l'adhésion des bactéries à la surface du TiO_2 . [48].

II. 8.2. Désinfection de l'air par photocatalyse

La majorité des purificateurs d'air développés sont des dispositifs basés sur les technologies de filtration et d'adsorption pour l'élimination des particules aéroportées, des bioaérosols et des mauvaises odeurs. La photocatalyse hétérogène sous illumination UV-A est néanmoins une technologie prometteuse pour la désinfection/décontamination de l'air, notamment en raison de sa soutenabilité et de son action globale, à la fois pour l'élimination des molécules chimiques et des cibles biologiques aéroportées (bactéries, virus, spores). Malgré l'impact important en termes de santé publique, les travaux sur la désinfection des bioaérosols par photocatalyse sont nettement moins nombreux que ceux réalisés en phase liquide ou sur des surfaces, probablement en raison de la complexité de travailler avec des bioaérosols, qui combinent les difficultés liées à différents domaines [40].

II. 9. Cinétique hétérogène dans le procédé de photocatalyse

Parmi les modèles utilisés pour rationaliser le procédé de la photocatalyse, le modèle de Langmuir- Hinshelwood (L-H) est le plus classique et celui le plus souvent rencontré dans les travaux publiés. Ce modèle considère que la réaction a lieu sur un nombre limité de sites à la surface du catalyseur et que seules les molécules adsorbées réagissent (cela ne veut pas dire que toutes les espèces mises en jeu dans la réaction doivent être présentes à la surface). La vitesse initiale de réaction (r) varie donc proportionnellement au taux d'occupation des sites d'adsorption à la surface de TiO_2 ($\theta_x = Q_{\text{ads}}/Q_{\text{max}}$) selon l'équation :

$$r = -\frac{dC}{dt} = k_r \theta_x = k_r \frac{KC}{1+KC} \quad \text{Équation 11}$$

Avec

- Q_{ads} : quantité de réactif adsorbé à l'équilibre ;
- Q_{max} : quantité maximale de réactif pouvant s'adsorber à la surface du catalyseur ;
- K_r : constante de vitesse de réaction ;
- K : constante d'adsorption du réactif ;
- C : concentration en réactif à l'équilibre d'adsorption au temps t .

Aux faibles concentrations en réactif ($C_0 < 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}$) et/ou pour des constantes d'adsorption faibles, l'expression au-dessus est simplifiée en une équation de cinétique de premier ordre apparent :

$$\ln \frac{dC}{dt} = k' \cdot t \quad \text{avec } k' = k_r \cdot K \quad \text{Équation 12}$$

Ainsi, le tracé de $\ln(C_0/C)$ en fonction du temps est une droite qui permet de déterminer la constante de vitesse apparente. Ce modèle prend donc en compte les phénomènes d'adsorption, même faibles, et considère qu'ils jouent un rôle dans la réaction photocatalytique. Toutefois, différents travaux ont montré que l'efficacité de photodégradation n'était pas uniquement liée aux phénomènes d'adsorption [49].

II. 10. Paramètres influençant l'activité photocatalytique:

L'efficacité du traitement photocatalytique dépend plusieurs facteurs qui régissent la cinétique de la photocatalyse, tels que les paramètres opératoires et structuraux du photocatalyseur. Les paramètres opératoires ou extrinsèques sont des facteurs externes tels que les conditions de fonctionnement qui incluent le pH de la solution, la concentration initiale du composé organique, l'intensité de la lumière, la température, la présence des agents oxydants... Les paramètres en rapport avec les propriétés du photocatalyseur ou intrinsèques.

sont ceux liés aux propriétés du photocatalyseur lui-même (surface spécifique, gap, taille des cristallites...)[50]

Cependant, l'interaction de ces facteurs n'est pas toujours facile à prendre en compte. La recherche des conditions optimales d'élimination des polluants est ainsi relativement complexe car dépendante des différents facteurs cités ci-dessus.

II. 10 .1. Effet de la surface spécifique:

Dans de nombreuses réactions photocatalytiques, il est possible de trouver une relation linéaire entre la vitesse de dégradation et la quantité de substrat adsorbé à la surface du photocatalyseur. Quand on augmente la surface spécifique (aire développée par unité de masse de solide photocatalytique), sans en changer les propriétés de surface, la vitesse de réaction entre les e^- et les h^+ avec le substrat devient plus rapide du fait du nombre plus important de molécules adsorbées entourant les aires $e^- - h^+$. Ainsi une surface spécifique plus grande, permet d'envisager une activité photocatalytique plus importante [51].

II. 10 .2. Influence de la concentration initiale du catalyseur:

La vitesse initiale d'une réaction photocatalytique est trouvée directement proportionnelle à la masse du catalyseur. Ceci indique que la photocatalyse est un vrai processus de catalyse hétérogène. Néanmoins, au-delà d'une certaine valeur, la vitesse de la réaction devient constante et indépendante de la masse du photocatalyseur

Les effets de la concentration du catalyseur sur la dégradation photocatalytique des colorants dans les eaux usées, ont été étudiés [52]. Dans la revue de la dégradation photocatalytique assistée par le TiO_2 des colorants azoïques en solution aqueuse Konstantinou et Albanis [53]. ont rapporté que dans tout système de réacteur, les taux initiaux de dégradation se sont avérés directement proportionnelles à la concentration du catalyseur, en milieu hétérogène. Ils ont en outre observé qu'il existe une limite de la concentration du catalyseur qui doit être utilisée pour la photodégradation d'un polluant dans les eaux usées, au-dessus duquel le taux de la photocatalyse va diminuer. Ceci est en accord avec des rapports récents

II. 10 .3. Influence du pH de la solution:

L'interprétation des effets du pH sur l'efficacité du processus de la photodégradation des colorants, est une tâche très difficile en raison de ses rôles multiples . Le changement du pH du milieu, modifie la charge de surface du catalyseur, la spéciation du réactif ainsi que l'équilibre des réactions radicalaires La charge de surface est un paramètre important lorsqu'il s'agit d'étudier les procédés de surface comme la photocatalyse. Pour tous les types de catalyseur, il existe toujours une valeur appelée le point de charge zéro où la charge de surface est nulle. Elle peut être déterminée expérimentalement [54].

Kormann et al, (1991) a présenté la spéciation des espèces de surface de TiO_2 en fonction du pH.

Le point de charge zéro (pzc) varie suivant la nature de TiO_2 utilisé. Le pH pzc est égal à 6,2 pour PC500 et 7 pour P25. À un $\text{pH} < \text{pH pzc}$, la surface de TiO_2 prend une charge positive due à l'augmentation de la fraction des sites présents sous forme $-\text{TiOH}^+$. A l'inverse, à $\text{pH} > \text{pH pzc}$, la surface a une charge négative due à une fraction significative des sites présents sous forme $-\text{TiO}_2^-$.

II. 10 .4. Influence de la concentration initiale du polluant:-

Il est généralement constaté que le taux de dégradation augmente avec l'augmentation de la concentration du polluant jusqu'à une certaine limite, au-delà de cette limite une augmentation de la concentration du polluant conduit à une diminution du taux de sa dégradation [55].

II. 10.5. Influence de la température:

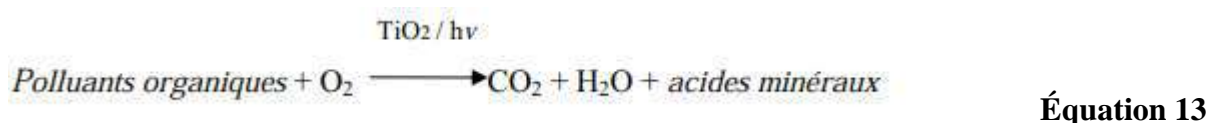
Le système photocatalytique ne nécessite pas l'apport de chaleur, du fait qu'il s'agit d'un processus d'activation photonique. La majorité des photoréactions sont non sensibles aux

petites variations de température. La diminution de la température favorise l'adsorption qui est un phénomène spontanément exothermique. Au contraire, quand la température augmente au dessus de 80°C, l'adsorption exothermique des polluants est défavorisée. La température optimale pour l'activité photocatalytique est généralement comprise entre 20 et 80°C, ce qui justifie le fait d'équiper par des installations solaires, lesquelles fonctionnent avec des concentrateurs de systèmes de refroidissement [56]. L'absence de chauffage justifie l'intérêt du procédé de photocatalyse dans la purification des milieux aqueux en permettant l'économie d'énergie. Ce qui explique le faible coût de la photocatalyse par comparaison avec d'autres procédés.

Cette faible dépendance de la vitesse de la réaction photocatalytique en fonction de la température dans cet intervalle est reflétée par la faible énergie d'activation (5-20 kJ mol⁻¹) en comparaison avec celle des réactions thermiques ordinaires [57].

II. 10 .6. Influence d'accepteurs d'électrons:

Dans la purification de l'eau par photocatalyse hétérogène, les polluants sont généralement organiques. L'équation de la réaction en présence d'oxygène peut s'écrire [58].



L'oxygène est nécessaire pour la minéralisation complète et ne doit pas être en compétition au niveau de l'adsorption avec d'autres espèces réactives sur le catalyseur.

La concentration en oxygène affecte directement la vitesse de réaction, qui augmente avec la pression en oxygène (PO₂) dans l'eau. Dans tous les cas, la différence entre l'air (PO₂ = 0,21 atm) et l'oxygène pur (PO₂ = 1 atm) n'est pas drastique. Ceci est très encourageant dans le cas d'un pilote industriel car l'utilisation de l'oxygène pur entraîne un surcoût non négligeable. L'ajout d'accepteur d'électron permet de réduire le phénomène de recombinaison électron/trou. Le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) est un oxydant inorganique le plus étudié pour son effet positif sur la cinétique de photodégradation. En effet, c'est un meilleur accepteur d'électrons par rapport à l'oxygène [59].

L'énergie minimale requise à la réduction de l'oxygène pour réduire des radicaux hydroxyles est de 3.0 eV tandis que pour le H₂O₂ elle est de 2.2 eV. De plus, en fonction de la longueur d'onde de la radiation incidente, l'eau oxygénée peut produire des radicaux hydroxyles •OH pour la dégradation photocatalytique. Cependant, il a été montré que l'effet de H₂O₂ sur la

cinétique de dégradation, n'est pas toujours positif et cela dépend de sa concentration et du système étudié.

II. 11. Avantages de la photocatalyse

La photocatalyse présente plusieurs avantages parmi lesquelles on peut citer :

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

II. 12. Conclusion:

Dans ce chapitre, une synthèse bibliographique sur les méthodes de traitement des eaux et sur les travaux publiés sur la dégradation des polluants organiques et plus précisément.

Ces données bibliographiques mettent en évidence la nécessité de la dépollution de ces eaux usées.

Ce chapitre a démontré également que les radicaux hydroxyles pouvaient être efficacement employés en milieu aqueux pour le traitement des composés organiques. Ces radicaux produits par divers processus, sont capables de dégrader la quasi-totalité des polluants organiques persistants à cause de leur pouvoir oxydant très élevé et de leur non sélectivité vis-à-vis des micropolluants organiques.

Au cours de cette synthèse bibliographique, nous nous sommes ainsi intéressés à l'adsorption de composés organiques sur TiO₂ car il s'agit de la première étape essentielle au déroulement de la réaction photocatalytique. Afin de mieux comprendre les étapes suivantes, il apparaît intéressant de faire quelques rappels concernant la nature et la structure des oxydes semi-conducteurs dont fait partie TiO₂, qui est le catalyseur privilégié des réactions photocatalytiques.

Chapitre III :

Étude expérimentale

III.1. Introduction :

Ce chapitre expose le matériel utilisé dans l'étude présentée et les résultats obtenus sous forme de graphes avec leurs interprétations.

Le travail expérimental a été divisé en deux parties distinctes. Dans la première expérience, le distillateur solaire a été étudié à l'aide d'une parabole. Comme pour la deuxième expérience, la photocatalyse a été étudiée en utilisant du TiO_2 pour éliminer le phénol.

III.2. Première partie:

III.2.1. Etude appliquée d'un distillateur solaire

Une distillation a été réalisée au niveau du laboratoire des énergies renouvelables à la Faculté des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables, des Sciences de la Terre et de l'Univers à l'Université de Kasdi Merbah, Ouargla

III.2.2. Présentation générale du lieu d'expérimentation (Ouargla) :

Ouargla est située dans le Nord-Est de l'Algérie, plus précisément dans la partie septentrionale du Sahara algérien. Elle se situe à 190 km à l'est de Ghardaïa, 160 km au sud-ouest de Touggourt, 388 km au sud de Biskra, à 800 km d'Alger et à 618 km de Constantine

Tableau III.1. Données climatiques et géographique

Superficie totale	163233Km ²
Latitude	164m
Longitude	5°21'Nord
Température	5-44 C°
Humidité	24-62%
Pluviométrie	20à60 mm
Vitesse moyenne du vent	3.7m/s

III.2.3. Systèmes à réflecteur parabolique

Pour atteindre une température élevée pour augmenter l'efficacité, il est nécessaire d'augmenter le flux optique incident qui peut En concentrant le rayonnement solaire c'est-à-dire qu'il est capté en un point. Ce processus est effectué à l'aide Les universités ont appelé les concentrateurs solaires. Parmi ce type de condensateurs, il y a condensateurs solaires paraboliques .Il a la même forme que les antennes paraboliques, Utilise des miroirs paraboliques pour se concentrer Le rayonnement solaire sur un récepteur est au centre du récepteur. Le récepteur contient du liquide Qui, lorsqu'il est frappé par la lumière du soleil, atteint une température de 750 à 1000 degrés Celsius. ce questionnaire La chaleur intense est ensuite utilisée pour générer de l'électricité dans un petit moteur connecté au récepteur, la cuisson ou la distillation solaire de la saumure selon notre sujet et d'autres applications[44].

Taille d'une parabole:

$$h = \frac{d^2}{16f}$$

l'angle d'ouverture (ψ):

$$\tan \psi_p = \frac{1}{(d/8h) - (2h/d)}$$

Surface d'une parabole :

$$A_x = \frac{2}{3} \cdot d \cdot h$$

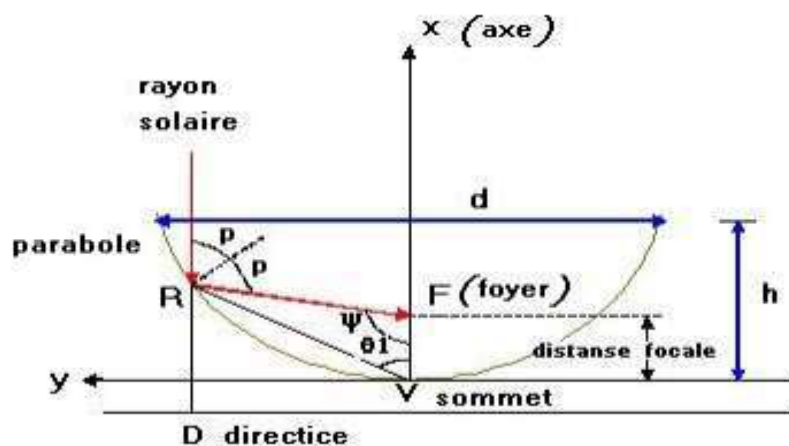


Figure III.1. Propriétés géométriques de la parabole [25]

III.3.Composants du distillateur solaire parabolique

III.3. 1.Réflecteur

C'est une plaque métallique parabolique recouverte de parties relativement petites de miroirs fixées à la partie concave du réflecteur dont la fonction est de collecter les rayons solaires en un point.

Tableau III.1: Caractéristiques géométriques du réflecteur parabolique

Diameter de la parabole	$D = 1.80 \text{ m}$
Taille de la parabole	$h = 0.24 \text{ m}$
L'angle d'ouverture	$\psi_p = 56.6^\circ$
Distance focal	$F = 0.81 \text{ m}$
Surface d'ouverture	$A_a = 2.79 \text{ m}^2$

Pour étudier l'efficacité de l'alambic solaire, nous avons étudié la configuration expérimentale ci-dessous, où nous sommes concentrés sur l'étude et le suivi du facteur de température dans le temps.

III.3.2 Récepteur

L'autocuiseur servait de récepteur solaire, car il était installé au point de rassemblement, puis une quantité d'eau salée était placée à l'intérieur et fermée hermétiquement.

III.3.3:Condenseur

Le condenseur est un tube de cuivre torsadé en forme d'hélice dont le sommet est collé au cocotte-minute et dont la partie enroulée est immergée dans un seau rempli d'eau.

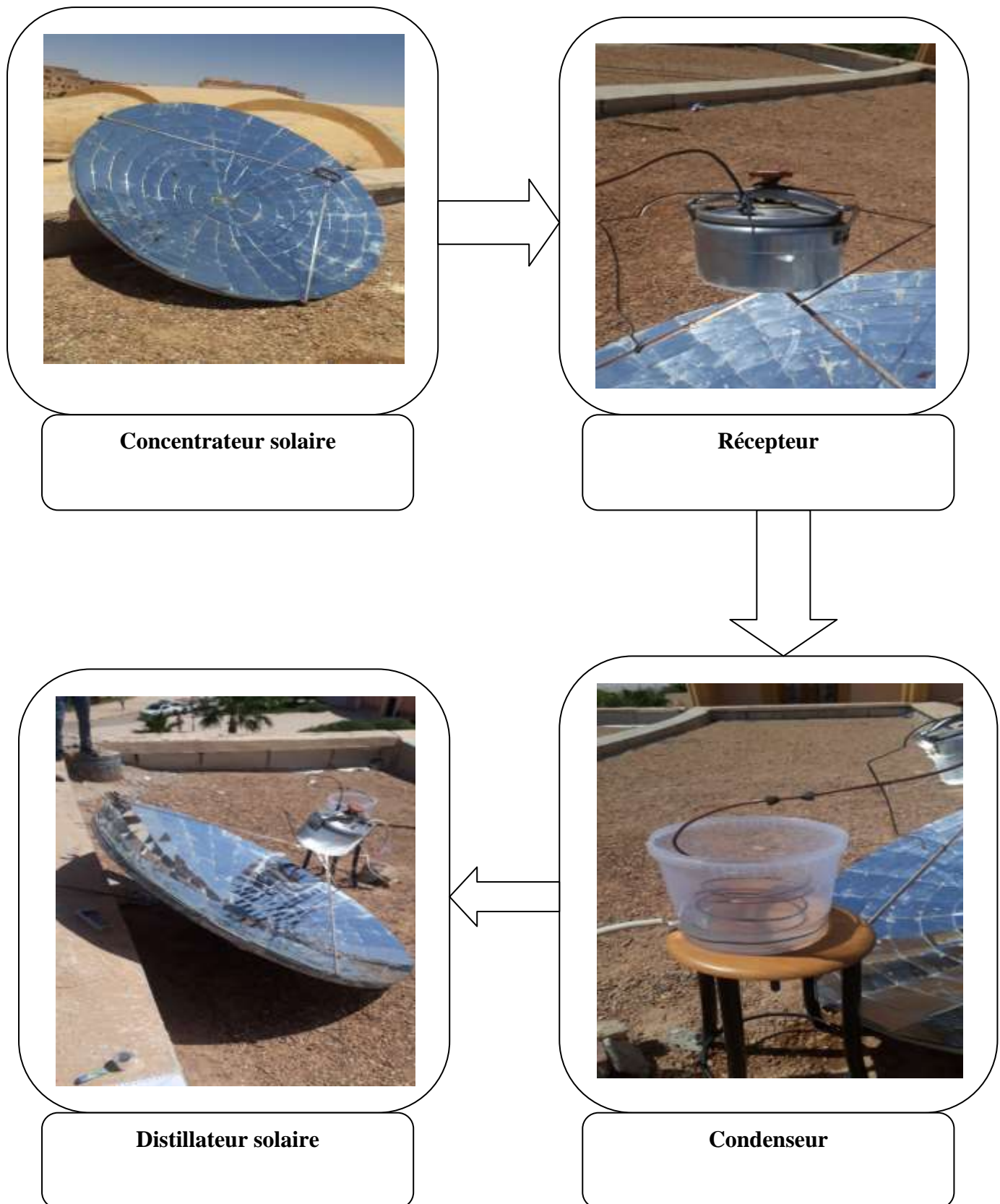


Figure III.2. Schéma d'une distillateur solaire

Tableau III.2 ; mesures de tubes en cuivre

Le longueur de tube	3.48m
Le diamètre de tube	12mm

III.4.Instruments des mesures

III.4.1. Thermomètre

Un thermomètre est un instrument utilisé pour mesurer la température. Au fil des siècles, diverses propriétés physiques des matériaux ont été exploitées afin de concevoir des thermomètres très efficaces.

Nous avons utilisé le thermomètre pour mesure la variation périodique de température ambiante en °C

III. 4. 2. Solar power meters

Un compteur d'énergie solaire est un appareil qui peut mesurer l'énergie solaire ou la lumière du soleil en unités de W/m^2 , soit à travers les fenêtres pour vérifier leur efficacité, soit lors de l'installation d'appareils à énergie solaire.

Tableau III. 3.: Mesures sans régulateur.

Temps (heures)	T concentré (C°)	T ambiante(C°)	Vitesse du vent (m/s)	Ti(l'intérieur) (C°)	G(w/m ²)
10:00	C	38.6	3.8	59	940
10:15	376.2	38.7	3.7	73.2	940
10:30	410.8	38.7	3.1	97.7	970
10:45	422	38.9	3.1	98	950
11:00	436.6	38.9	3.2	98.4	950
11:15	438.2	39.1	3.0	99.8	958
11:30	442.8	39.3	2.9	101	938

11:45	451.1	39.4	3.1	106.3	963
12:00	455	39.7	3.2	109.6	973
12:15	455.3	39.8	3.0	109.9	968
12:30	458.6	39.9	3.3	111.3	971

III.4.3. Mesure de la vitesse du vent Anémomètre

L'étymologie du mot anémomètre provient du grec "anemos" signifiant vent et le suffixe "mètre" indique, quant à lui, la mesure. Un anémomètre est donc un appareil présent dans le secteur de la météorologie et permettant de mesurer la vitesse du vent.

III. 5. Résultat et Discussion

III. 5. 1: Variation de la température de récepteur

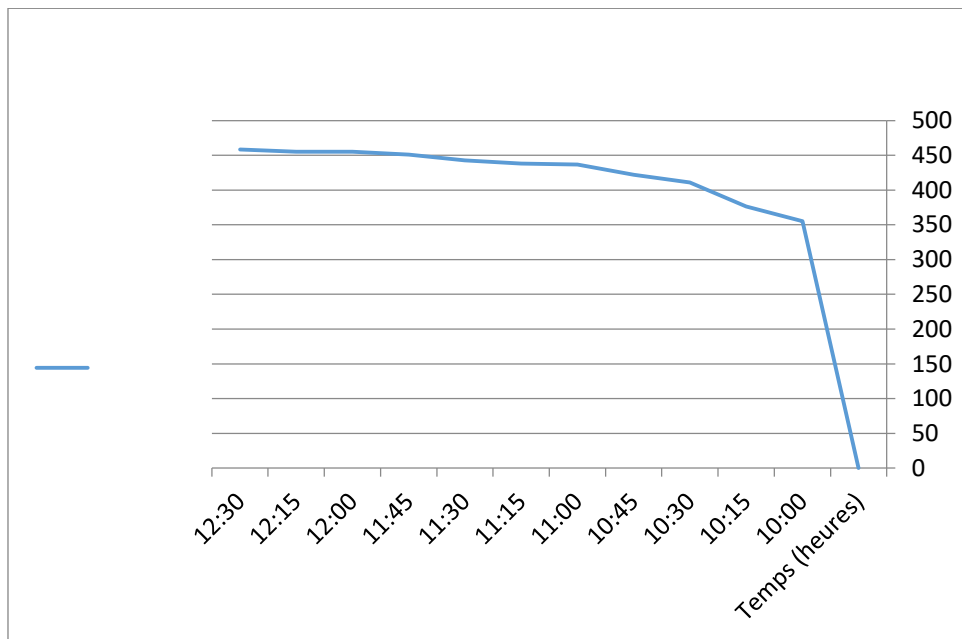


Figure III. 3: Variation de la température (°C) de récepteur en fonction du temps pendant une journée ensoleillée

En suivant l'évolution de la température du centre solaire en fonction du temps et pendant une période de temps significative, il devient clair qu'elle s'élève très nettement, ce qui indique l'efficacité du système de concentration à partir de la forme d'une parabole.

III. 5. 2: Variation de la température de l'intérieur:

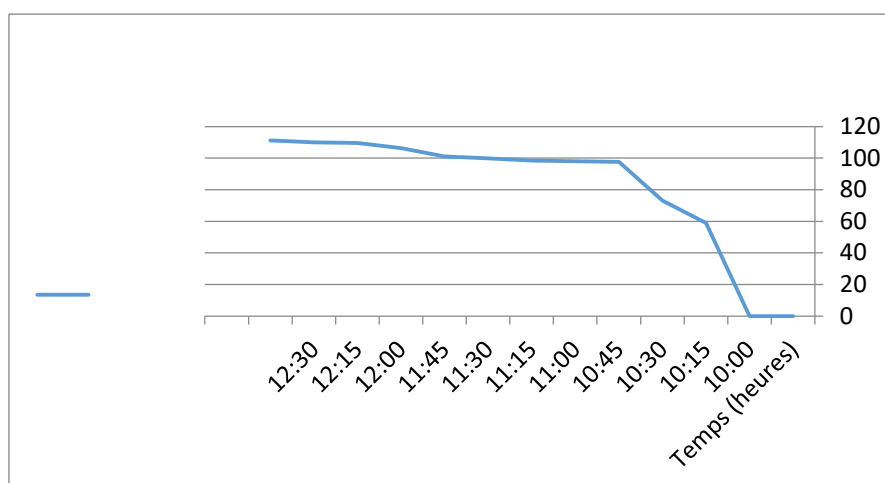


Figure III.3 variation de la température intérieure

On constate une élévation rapide de la température à l'intérieur des cocotte-minute, puis celle-ci est quasi stable au point d'ébullition de l'eau, ceci est logique et attendu et explique pourquoi des températures très élevées ne sont pas maintenues car les cocotte-minute sont reliées à un tube de cuivre ouvert sur l'autre côté, et cela permet à la quantité de vaporisé de s'échapper et non de l'enfermer pour faire monter sa température

III. 5. 3. Variation de la température de récepteur avec la température d'ambiante

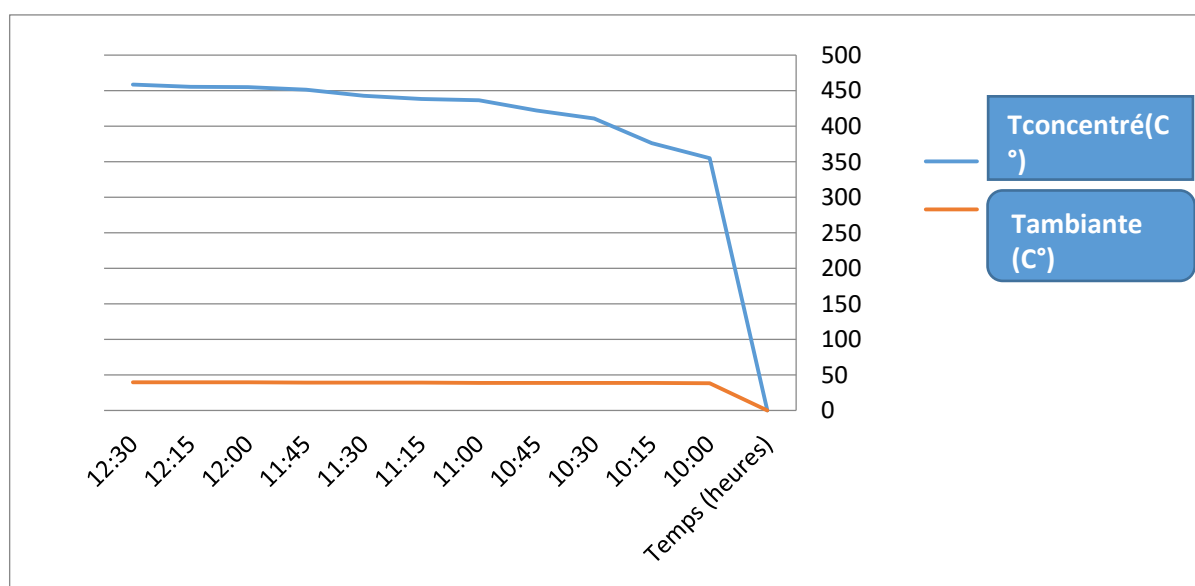


Figure III.4 La variation de la température de récepteur (°C) et la température d'ambiante (°C) en fonction le temps (heures) à chaque jour (18/05/2022).

Chapitre III : Étude expérimentale

On constate que la température de l'air s'élève d'un très faible pourcentage, contrairement à la température au foyer des rayons solaires, qui s'élève rapidement pour se prouver à la valeur maximale du centre solaire.

III. 6: Evolution de quantité l'eau distillée :

Une quantité d'eau salée de 465 ml a été placée à l'intérieur du puisard sous pression pendant environ trois heures, ce qui est un temps relativement long par rapport à la quantité d'eau, et le résultat a été d'obtenir une quantité d'eau distillée de 345 ml.

III. 7.Rendement de distillateur:

$$x = \frac{345}{465} \times 100 = 74.19\%$$

III. 8:Quantité d'eau perdue:

$$465-345=120 \text{ ml}$$

À travers les résultats précédents, il est clair que l'efficacité du centre solaire est une parabole très élevée, ainsi que le processus de refroidissement a prouvé son efficacité, car le pourcentage de perte est relativement faible, ainsi que la température de l'air affecte le rendement , ainsi que la vitesse du vent affecte relativement.

Conclusion:

Malgré les problèmes que nous avons rencontrés dans la réalisation du modèle de distillateur solaire parabolique et notre incapacité à l'étudier adéquatement, nous avons pu prouver son efficacité et l'influence de facteurs externes sur celui-ci.

IV. Deuxième partie

IV.1. Dégradation photocatalytique du phénol:

Le problème le plus important qui peut menacer l'eau L'environnement et la santé publique sont des composés toxiques et résistants qui peuvent être rejetés dans l'environnement par les eaux usées industrielles . Parmi les composés chimiques qui Présent dans les eaux usées industrielles, le phénol et Les dérivés sont dispersés dans les effluents industriels.

Dans ce chapitre, nous avons mené une expérience photocatalytique sur le phénol en présence de TiO_2 .

IV.2. Photolyse du Phénol:

Étant donné que la lumière représente une composante fondamentale du procédé photocatalytique, La dégradation du phénol par photolyse (absence complète de TiO_2) a été examinée, dans le but de vérifier la contribution de ce phénomène dans le processus de la photocatalyse. En effet, Il est connu que les rayonnements UV sont susceptibles d'exciter les molécules organiques à des longueurs d'onde adéquate (supérieur à l'énergie de liaison); le résultat est une rupture homolytique conduisant dans certains cas à des radicaux, espèces très réactives pouvant dégrader la molécule.

IV.3. Préparation de la solution de phénol:

Aux fins de la préparation d'une solution de phénol, sa concentration molaire 10^{-3} et volume 100 ml où est donné $M=94.11 \text{ g/mol}$. et à partir de là $m=0.0094\text{g}$



Figure IV.1: Image d'une boîte de phénol

À l'aide d'une balance, la masse appropriée a été pesée.



Figure IV.2. photo d'une balance électrique

IV.3.1. processus d'expansion de la solution:

Tableau IV.1 : processus d'expansion

	Vphénol/PhOH (ml)	VEau/H₂O (ml)
T ₀	0	5
T ₁	0.5	4.5
T ₂	1	4
T ₃	1.5	3.5
T ₄	2	3
T ₅	2.5	2.5
T ₆	3	2
T ₇	3.5	1.5
T ₈	4	1
T ₉	4.5	0.5
T ₁₀	5	0

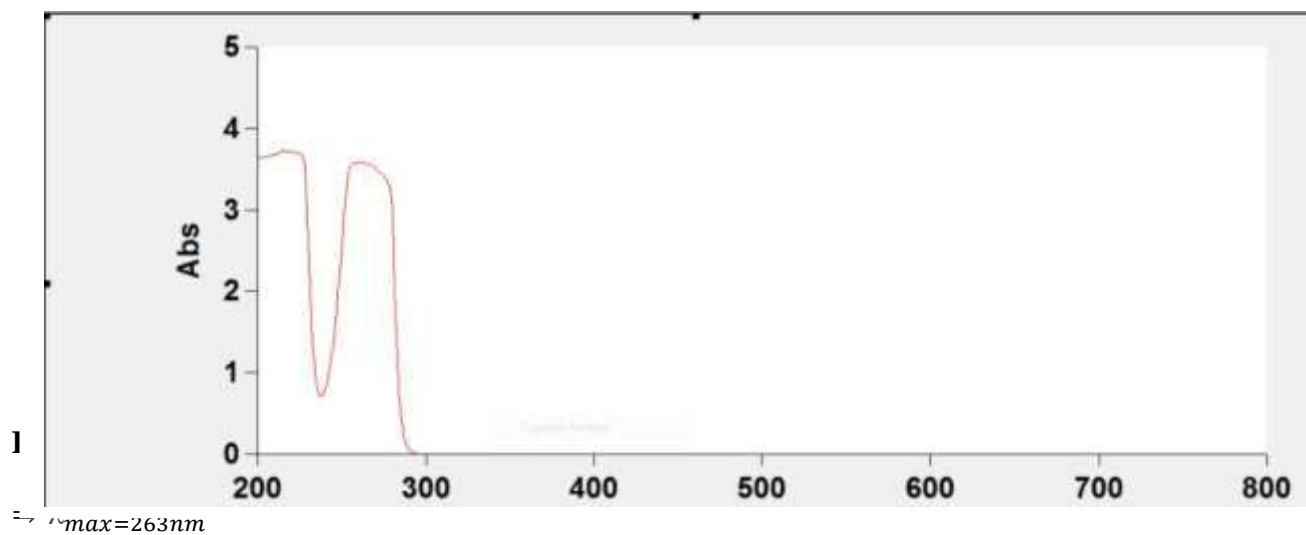
IV.3.2. Dégradation photocatalytique du phénol

Nous avons effectué ce processus avec un spectrophotomètre



Figure IV.3: photo d'une spectrophotomètre

IV-3.3. longueur d'onde maximale du phénol



IV.3.3. Calcul des concentrations après le processus d'extension

On utilise la loi: $c_0 \cdot v_0 = c_1 \cdot v_1$ Nous trouvons :

Tableau IV.2.: Valeurs de concentration après extension

$c_0(M)$	$c_1(M)$	$c_2(M)$	$c_3(M)$	$c_4(M)$	$c_5(M)$	$c_6(M)$	$c_7(M)$	$c_8(M)$	$c_9(M)$
0.001	0.0009	0.0008	0.0007	0.0006	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002	0.0001

Tableau IV.3 Les Valeurs d'absorbance et de concentration

C(M)	Abs
0.0001	0.0921
0.0002	0.2071
0.0003	0.3202
0.0004	0.457
0.0005	0.5345
0.0006	0.6535
0.0007	0.7571
0.0008	0.8572
0.0009	0.955
0.001	1.0717

IV.3.5. Courbe d'étalonnage

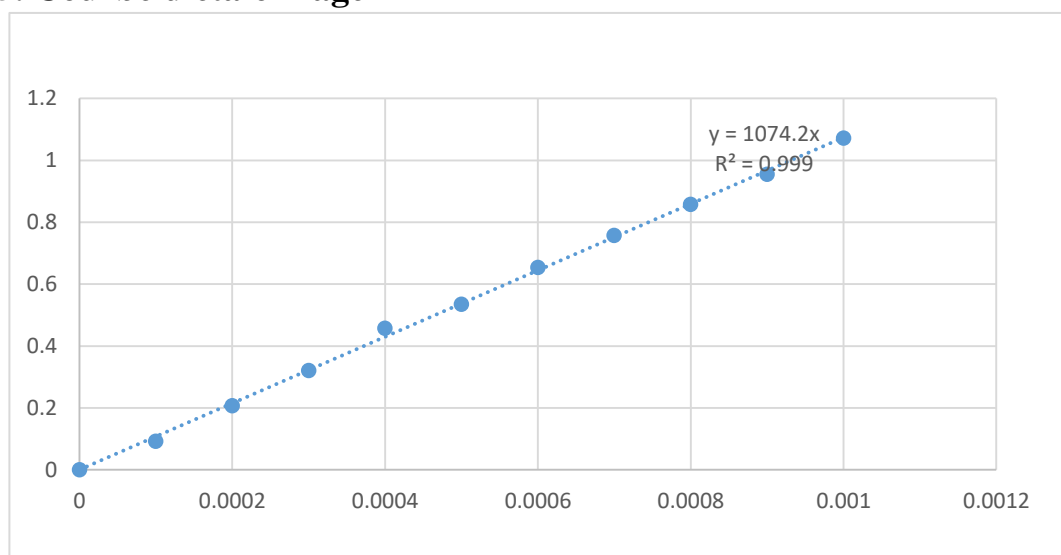


Figure IV.5 Courbe d'étalonnage de phénol

Tableau IV.4. L'absorbance change en fonction du temps

T (min)	Abs ZNO	Abs Charbon actif	Abs TiO2
0	1.6712	1.5891	1.3705
30	1.7043	1.6966	1.6103
60	1.6622	1.7892	1.7531
90	1.659	1.8566	1.748
120	1.6936	1.9057	1.5333
150	1.7487	1.6691	1.428

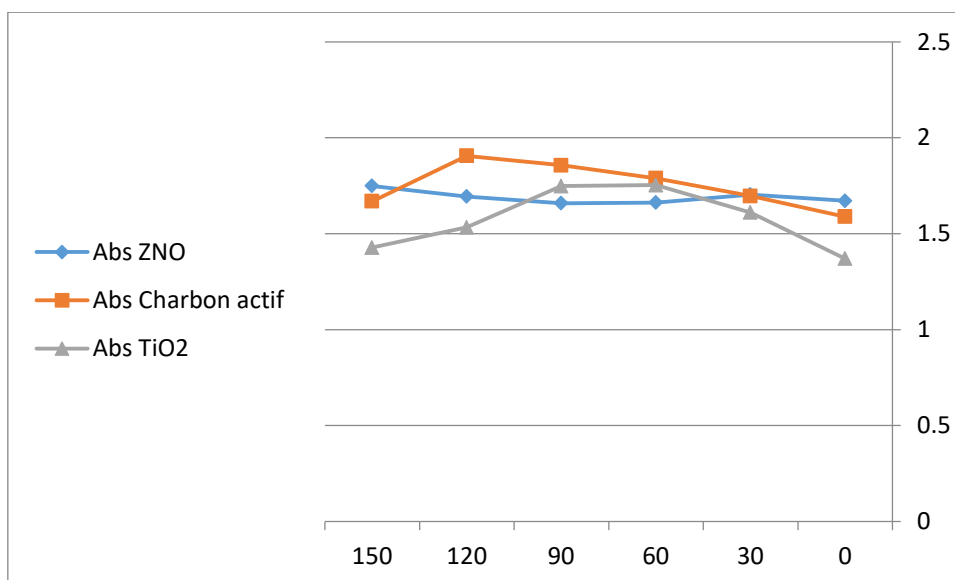


Figure IV.6 Variation L'absorbance change en fonction du temps

A travers les résultats présentés dans le tableau ci-dessus, il est clair que la concentration augmente avec l'augmentation du temps, car l'absorbance augmente, et ceci est illogique, et cela s'explique par l'apparition des produits de réaction.

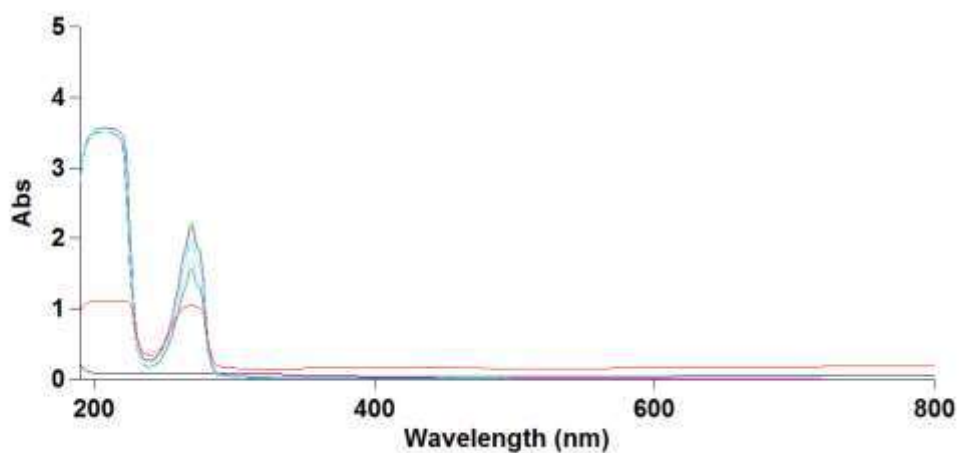


Figure IV.7 Courbe montrant l'absorbance phénol + SiO_2 le long des longueurs d'onde du spectre

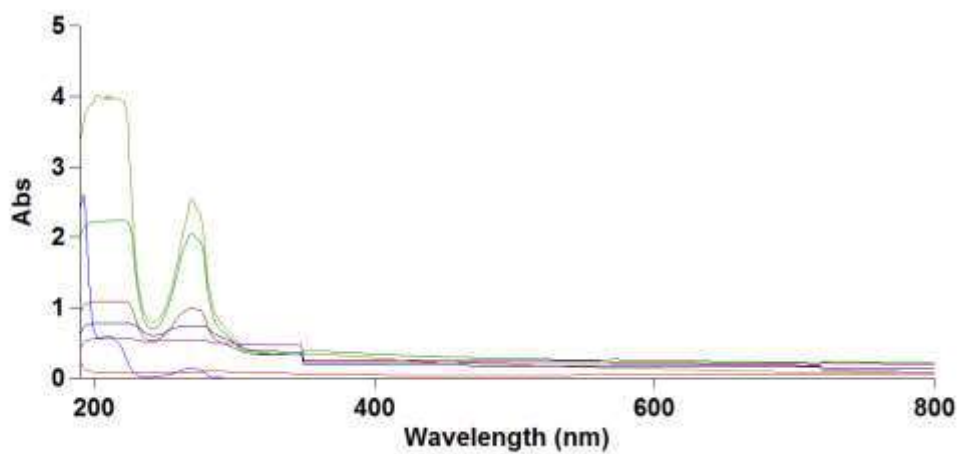


Figure IV.8 Courbe montrant l'absorbance Phénol + TiO_2 le long des longueurs d'onde du spectre

Conclusion générale

Le problème de l'approvisionnement en eau potable et de l'eau utilisable est devenu de plus en plus important Une réalité face aux aléas climatiques permanents et à la hausse du niveau de vie. défis mondiaux Aujourd'hui cap vers ces deux principaux fournisseurs étroitement liés Eau et énergie solaire. Où l'énergie solaire a été exploitée dans le dessalement de l'eau salée en développant des techniques nouvelles et efficaces, à savoir les distillateurs solaires, ainsi que le procédé photocatalytique pour purifier l'eau des polluants.

A travers cette étude, on peut conclure que Le solaire parabolique s'est encore avéré efficace et digne d'attention et de développement car il est peu coûteux et facile à appliquer.

Ainsi que le procédé de stimulation qui réalise une révolution scientifique car il peut être une solution à de nombreux problèmes environnementaux qui menacent les organismes vivants, qui ont fait leurs preuves dans l'espoir de les développer davantage pour devenir accessibles à tous et utiliser le rayonnement solaire direct et être d'une bonne efficacité et c'est ce à quoi aspirent les scientifiques.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] ASSOULINE Janine et Samuel, Géopolitique de l'eau : Nature et enjeux, Ed Studyrama Perspectives, Paris 2007, p 11
- [2] TP1 de physique (couleurs et images) ETUDE DES LENTILLES Composition d'un litre d'une eau de mer
- [3] <https://e.20-bal.com/> titre : I le rôle de l'eau dans l'économie moderne et du point du vue éthique /date de publication :12/12/2016 / type : documentos .
- [4]<https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/thermodynamique-chimique/le-dessalement-de-l-eau-de-mer-et-des-eaux> .
- [5] revue-responsabilite-et-environnement1-2011-3-page-63
- [6]Zeghoud Mohamed Seifeddine, Etude De Système d'épuration Des Eaux Usées UrbainesPar Lagunage Naturel De Village De Méghibra, Memoire De Master Conception Des Systèmesd'aep Et d'assainissement Universite d'el –Oued-2014, P16
- [7]ZeroualiMekki, Ontribution A l'optimisation Des Performances d'un Distillateur Solaire,Mémoire De Magistère En Physique Universite Hadj Lakhdar – Batna 2012, p 6,7
- [8]Sellami Mohamed Hassen,Etude Et Amelioration Des Techniques De Distillation SolaireDans La Region Sud-Est Algerien (Ouargla) These De Doctorat En Physique UniversiteKasdiMerbah Ouargla, 2014, p18,19,29,30
- [9]article projet de dessalement de l'eau de mer text Définition du dessalement A,(eau de mer notamment).
- [10]Zineb A. Maiche, Dessalement de l'eau de mer en Algérie, El watan, 30/1/2008.
- [11](Ivan T. LUCAS est Maître de Conférences à Sorbonne université -- Recherche le stockage de l'énergie électrochimique en technologie Lithium-ion)
- [12]Boukerzaza Nassima, Etude De l'effet Des Pertes Thermiques Sur Les Caractéristiques DeFonctionnement d'un Distillateur Solaire, Mémoire De Magistère En Physique Energétique,UniversitéMentouri De Constantine, p15
- [13]http://fr.ekopedia.org/wiki/Dessaleur_solaire. "Dessaleur Solaire" *Licence Art Libre* VI.2., 2006

Références bibliographiques

- [14] Benarimazine El Abdine, Amélioration De La Capacité De l'absorbeur d'un Distillateur Solaire Simple Par l'ajout d'une Couche De Sable, Mémoire De Master En Génie Chimique Université Kasdi Merbah Ouargla, 2012, p6,8,10
- [15] Rev. Energ. Ren. : Chemss 2000 91-97 91 Le Dessalement Solaire - Considérations Techniques A. Sadi Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger.
- [16] G.N. Tiwari, A. Minocha, P.B Sharma and M.E. Khan; Simulation of convective mass transfer in a solar distillation process. Energy. Conv. Mgnt. Vol 38. (1997). pp 761-770.
- [17] L. Cherrared, Amélioration du Rendement d'un Distillateur Solaire à Effet de Serre, Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Revue. Energie. Renouvelable, Valorisation pp 121-124, 1999
- [18] Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued Mémoire de fin d'étude Contribution à l'amélioration d'un distillateur simple pente : prédiction par la méthode des réseaux de neurones artificiels P 08
- [19] Boukerzazanassima étude des pertes thermique sur les caractéristiques de Fonctionnement d'un distillateur solaire .thèse magister université mentouri de Constantine (2005)
- [20] article projet de dessalement de l'eau de mer text Définition du dessalement A,(eau de mer notamment).
- [21] Fedalisaida modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres à bas coût pour les communautés rurales: thèse magister université Batna 2008.
- [22] Solar Distillation as a means of meeting small-scale water demands, United Nations Publication (1970).
- [24] Herrmann JM, Guillard C, Arguello M, Agüera A, Tejedor A, Piedra L, et al. Photocatalytic degradation of pesticide pirimiphos-methyl: Determination of the reaction pathway and identification of intermediate products by various analytical methods. Catalysis Today. 1999;54(2-3):353-67.
- [25] LACOMBE S., TRAN-HI T.-H., GUILLARD C., HERMANN J.M., KELLERSPITZER V., KELLER N., MAURETTE M.-T., PICHAT P., PIGOT T., PULGARIN C., RINCON A.-G, ROBERT D., - La photocatalyse pour l'élimination des polluants. L'actualité chimique, 308-309 (mai-juin 2007) 2-16.

Références bibliographiques

- [26] Herrmann J-M: Environmental photocatalysis: perspectives for China. *Science China Chemistry* 2010, 53(9):1831- 1843.
- [27] Malato S, Fernandez-Ibanez P, Maldonado MI, Blanco J, Gernjak W: Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: recent overview and trends. *Catalysis Today* 2009, 147:1 – 59. [21] K. Ogilvie, « L'abc des technologies de l'énergie renouvelable, Pollution Probe, » Canada, 2003.
- [28] J.-M. Herrmann, M.-N.I. Mozzanega, P. Pichat, Oxidation of oxalic acid in aqueous suspensions of semiconductors illuminated with UV or visible light, *Journal of Photochemistry* 22 (1983) 333-343.
- [29] Scacchi G, Bouchy M, Foucaut J-F, Zahraa O: *Cinétique et catalyse*; 1996
- [30] Bahnemann D: Photocatalytic water treatment: solar energy applications. *Solar energy* 2004, 77(5):445-459.
- [31] Lin CH, Yu RF, Cheng WP, Liu CR: Monitoring and control of UV and UV-TiO₂ disinfections for municipal wastewater reclamation using artificial neural networks. *Journal of hazardous materials* 2012, 209-210:348-354.
- [32] R.Huchon, « Activité photocatalytique de catalyseurs déposés sur différents supports (MEDIAS) Application à la conception d'un photoréacteur pilote », Thèse de doctorat , Université CLAUDE BERNARD - Lyon 1,(2002).
- [33] Souad B, Bouafia, Alloune E. Les réacteurs solaires photo catalytiques.2007:125-30.
- [34] DANION A.,- Développement d'un réacteur à base de fibres optiques photocatalytiquement actives pour la dépollution de l'eau. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon (2004)
- [35] DANION A.,- Développement d'un réacteur à base de fibres optiques photocatalytiquement actives pour la dépollution de l'eau. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon (2004)
- [36] MALATO S., BLANCO J., VIDAL A., RICHTER C., - Photocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale: an overview *Applied Catalysis B: Environmental*, 37(2002) 321-327

Références bibliographiques

- [37] Guillard C, Bui T-H, Felix C, Moules V, Lina B, Lejeune P: Microbiological disinfection of water and air by photocatalysis. *CR Chimie* 2008, 11:107-113.
- [38] Guillard C, Kartheuser B, Lacombe S: La photocatalyse: dépollution de l'eau ou de l'air et matériaux autonettoyants. In: *techniques de l'ingénieur*. 2012.
- [39] <http://www.hausarbeiten.de/faecher/vorschau/175947.html> consulté le 26 Avril 2022.
- [40] Wei C, Lin WY, Zainal Z, Williams NE, Zhu K, Kruzic AP, Smith RL, Rajeshwar K: Bactericidal activity of TiO₂ photocatalyst in aqueous medio: toward a solar assisted water disinfection system. *Environmental Science and Technology* 1994, 28:934-938.
- [41] Élaboration de revêtements pour matériaux de construction visant à lutter contre la prolifération microbienne à l'intérieur des bâtiments : efficacité et mode d'action
- [42] Hassen A, Mahrouk M, Ouzari H, Cherif M, Boudabous A, Damelin court J-J: UV disinfection of treated wastewater in a large-scale pilot plant and inactivation of selected bacteria in a laboratory UV device. *Bioresource Technology* 2000, 74:141-150.
- [43] Swetha S, Santhosh SM, Geetha Balakrishna R: Synthesis and comparative study of nano-TiO₂ over Degussa P-25 in disinfection of water. *Photochemistry and photobiology* 2010,
- [44] Matsunaga T, Tomoda R, Nakajima T, Wake H: Photoelectrochemical sterilization of microbial cells by semiconductor powders. *FEMS Microbiol Lett* 1985, 29(1-2):211-214.
- [45] Ireland JC, Klostermann P, Rice EW, Clark RM: Inactivation of *Escherichia coli* by titanium dioxide photocatalytic oxidation. *Applied and environmental microbiology* 1993, 58:1668-1670.
- [46] Rahmani AR, Samarghandi MR, Samadi MT, Nazemi F: Photocatalytic disinfection of coliform bacteria using UV/TiO₂. *Journal of research in health sciences* 2009, 9(1):1-6.
- [47] Seven O, Dindar B, Aydemir S, Metin D, Ozinel MA, Icli S: Solar photocatalytic disinfection of a group of bacteria and fungi aqueous suspensions with TiO₂, ZnO and Sahara desert dust. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 2004, 165:103-107.
- [48] Ochiai T, Fujishima A: Photoelectrochemical properties of TiO₂ photocatalyst and its applications for environmental purification. *Journal of Photochemistry and photobiology C: Photochemistry reviews*, 2012, 13:247-262.

Références bibliographiques

- [49] Pera-Titus M., Molina V.G., Banos M.A., Gimenez J., Esplugas S., a general review, *Applied Catalysis B: Environmental*, 47 (2004) 219-256.
- [50] Fdil. F., Thèse de doctorat .Université de Marne-La-Vallée, (2004).
- [51] Piscopo A., Thèse de doctorat en science, Metz, (2002).
- [52] Saquiba M., Tariqa M.A., Faisala M., Muneer M., *Desalination*, 219 (2008) 301-311.
- [53] Konstantinou I.K., Albanis T.A., A review, *Appl. Catal. B: Environ*, 49 (2004) 1-14.
- [54] Zhan H., Chen K., Tian H., *Dyes Pigments*, 37, 3 (1998) 241-247
- [55] Saquib M., Muneer M., *Dyes. Pigm*, 56 (2003) 37-49.
- [56] Ollis D.F., Al-Ekabi H., Elsevier Science Publishers, Amsterdam, (1993)169-181.
- [57] Chen D., Ray A.K., *Appl. Catal. B*, 23 (1999) 143-157.
- [58] Poullos I., Kositzi M., Kouras A., *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 115(1998) 175-183.
- [59] BANDALA E.R., ARANCIBIA-BULNES C.A., OROZCO S.L.,ESTRADA C.A., - Solar photoreactors comparison based on oxalic acid photocatalytic degradation. *Solar Energy*, 77(2004) 503-519

Annexes

1. Appareils de mesure

1.1. Thermomètre



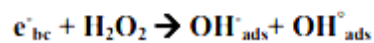
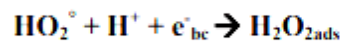
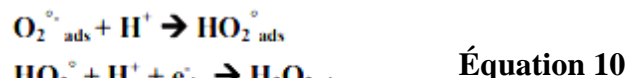
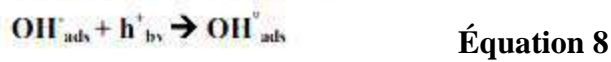
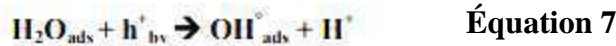
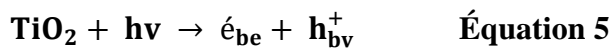
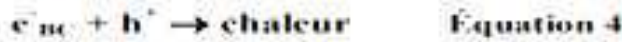
1.2. solar power meters



1.3. Anémomètre

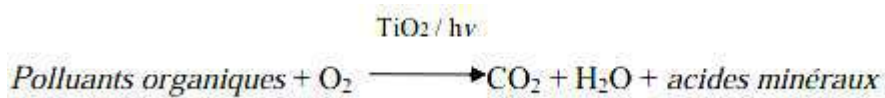


11. Équation



$$r = -\frac{dc}{dt} = k_r \theta_x = k_r \frac{KC}{1+KC} \quad \text{Équation 11}$$

$$\ln \frac{dc}{dt} = k'.t \quad \text{avec} \quad k' = k_r \cdot K \quad \text{Équation 12}$$



Équation 13