

République Algérienne Démocratique et Populaire
العلمي البحث و العالي التعليم وزارة
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
مليانة خميس بونعامة الجيلالي جامعة
Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de la Technologie



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention d'un diplôme de **Master** en Génie des Procédés

Spécialité : Génie des Procédés de l'Environnement

Thème :

**ÉTUDE THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTALE DE
TRAITEMENT DES EAUX USÉES PAR ÉNERGIE
SOLAIRE**

Présenté par :

-Mr Ledmi Rabeh

-Mr Aggoun Fouad

Devant le jury composé de :

- Encadreur : Mr R.Kerfah

- Encadreur : Mr K.Hachama

- Examineur : Mr A.Khadraoui

- Examineur : Mdm C.Mesli

Année Universitaire 2019/2020

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire, je remercie ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces années d'étude.

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Mes remerciements sincères à **Mr R.KERFAH** ainsi qu'à **Mr K.HACHAMA** en tant qu'encadrants de mémoire, se sont toujours montrés à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Egalement, je remercie les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DEDICACE

*Avec l'aide de Dieu , le tout puissant , nous avons achevé ce modeste
travail qui je le dédie :*

Au la fleur de ma vie... Mes parents qui sont la source de ma réussite.

Ma famille qui est la source de ma promotion.

A mais très chères amis

Mes enseignants qui sont la source de mon savoir.

*Aux étudiants de génie des procédés de l'environnement et toute la
promotion 2020.*

F.Aggoun

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents qui sont la source de ma réussite.

Ma famille qui est la source de ma fierté.

Mes amis qui sont la source de ma confiance.

Mes enseignants qui sont la source de mon savoir.

*Aux étudiants de génie des procédés de l'environnement et toute la
promotion 2020.*

R.Ledmi

ملخص :

معالجة المياه المستعملة تساهم عموما في تطوير الاقتصاد و تنمية المناطق و كذا حماية البيئة. هناك العديد من الحلول لمعالجة و تنقية المياه، في هذا البحث قمنا بدراسة تجريبية لمعالجة المياه العادمة التي اعتمدنا فيها أساسا على الطاقة الشمسية فكان الهدف من هذا العمل هو دراسة إمكانية المقطر الشمسي للتخلص من الشوائب والبكتيريا المتواجدة في عينة ماء عادم لواد الشلف. أكدت نتائج المعاينة للمعطات الفيزيوكيميائية والميكروبيولوجية للعينة المتحصل عليها بواسطة لوح التقطير الشمسي أنها تخلو من العناصر الملوثة و البكتيريا مقارنة مع العينة الخام، ما يعزز فعالية جهاز التقطير المستعمل للطاقة الشمسية في ازالة الملوثات والبكتيريا.

الكلمات المفتاحية : المياه العادمة ، المعاينة ، الطاقة الشمسية ، لوح التقطير الشمسي.

Résumé

Le traitement des eaux usées contribue généralement au développement de l'économie et au développement des régions, ainsi qu'à la protection de l'environnement.

Il existe de nombreuses solutions pour traiter et purifier l'eau. Dans cette recherche, nous avons mené une étude expérimentale de traitement des eaux usées dans laquelle nous appuyons principalement sur l'énergie solaire. L'objectif de ce travail était d'étudier la possibilité d'une distillation solaire pour se dégrader les impuretés et bactéries présentes dans un échantillon d'eaux usées d'Oued Chalef. Les résultats de l'analyse des paramètres physicochimiques et microbiologiques de l'échantillon obtenu par le distillateur solaire ont confirmé la disparition des éléments contaminés et des bactéries par rapport à l'échantillon brut, ce qui confirme l'efficacité du distillateur solaire utilisé pour éliminer les polluants et les bactéries.

Mots clés: eaux usées, échantillonnage, énergie solaire, panneau de distillation solaire

Abstract:

Wastewater treatment generally contributes to the development of the economy and the development of regions, as well as to the protection of the environment .

There are many solutions for treating and purifying water. In this research, we carried out an experimental study of wastewater treatment in which we mainly rely on solar energy. The objective of this work was to study the possibility of solar distillation to degrade the impurities and bacteria present in a sample of Oued Chelf waste water .The results of the analysis of the physicochemical and microbiological parameters of the sample obtained by the solar distiller confirmed the disappearance of contaminated elements and bacteria compared to the raw sample, which confirms the efficiency of the solar distiller used to eliminate pollutants and bacteria.

Keywords: wastewater, sampling, solar energy, solar distillation panel

Table des matières

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées

I.1. Définition et origine des eaux usées.....	4
I.1.a. Les effluents domestiques.....	4
I.1.b. Les effluents d'établissement industriels, communaux ou artisanaux.....	4
I.1.c. Les effluents d'agriculture.....	4
I.1.d. Les effluents d'origine naturelle.....	4
I.2. Les substrats polluants	6
a. Matières décantables ou flottantes	6
b. Matières fines en suspension.....	7
c. Matières colloïdales.....	7
d. Matières solubles.....	7
d.1. Matières biodégradable	7
d.1.1 Matières aisément dégradables.....	7
d.1.2 Matières lentement dégradables.....	7
d.2. Matières non-biodégradables.....	7
d.2.1. Matières organiques.....	8
d.2.2 Matières inorganiques.....	8
I.3. Caractéristiques des eaux usées	9
I.3.1. Caractéristiques physico-chimiques	9
a. La température.....	9
b. Le potentiel d'Hydrogène (pH)	9
c. La turbidité	9
d. Les matières en suspension.....	10
e. La conductivité électrique	10
f. La demande biologique en oxygène (DBO5)	10
g. La demande chimique en oxygène (DCO)	10
h. La biodégradabilité.....	11
I.3.2. Les caractéristiques microbiologiques.....	11
a. Bactéries.....	12
a.1. Bactéries indicatrices spécifiques de pollution fécale.....	12
a.1.1. Les coliformes totaux.....	12
a.1.2. Les coliformes fécaux (coliformes thermo-tolérants).....	13
a.1.3. Les streptocoques fécaux.....	13

Chapitre II: Traitement des eaux usées

II.1. Introduction.....	15
II.2. Les différents traitements des eaux usées.....	15
II.2.1. Procédés physiques.....	15
II.2.2. Procédés physico-chimiques.....	16

II.2.3. Procédés chimiques.....	16
II.2.4. Procédés radiatifs.....	16
II.2.5. Procédés biologiques.....	17
II.3. La réutilisation des eaux usées épurées.....	17
II.3.1. Bilan mondial	17
II.3.2. Réutilisation des eaux usées traitées en Algérie.....	18
II.4. Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées	18
II.5. Risques liés à la réutilisation des eaux usées.....	19
II.5.1. Risque microbiologique	19
II.5.2. Risque chimique.....	20
II.5.2.1. Métaux lourds.....	20
II.5.2.2. Micropolluants organiques.....	21
II.5.3. Risque environnemental.....	21
II.6. Les différentes réglementations dans le monde.....	22
II.6.1. Les recommandations de l’OMS.....	22
II.6.2. Les recommandations de l’USEPA.....	23
II.6.3. Directives de la FAO.....	23

Chapitre III: Traitement des eaux usées par distillateur solaire

III.1. Historique de la distillation solaire.....	26
III.2. Distillation solaire en Algérie.....	27
III.2.1. Principe de fonctionnement d’un distillateur solaire.....	28
III.2.2. Classification des distillateurs solaires.....	29
III.2.2.1. Distillateur solaire passif.....	29
III.2.2.2. Distillateur solaire actif	29
III.2.3. Paramètres influant sur de la productivité d’un distillateur solaire.....	30
III.3. Matériel et méthodes	30
III.3.1. Site d’étude	30
III.3.2. Préparation de l’échantillon.....	31
III.3.3. Analyses physico-chimiques.....	32
III.3.4. Analyse bactériologique.....	32
III.3.4.1. Avant distillation solaire.....	33
III.3.4.2. Après distillation solaire	36
III.3.5. Résultats et discussion.....	37
Conclusion générale.....	42
Annexe	45
Liste des tableaux.....	52
Liste des figures.....	53
Liste des symboles et Abréviations.....	54
Références bibliographiques	

INTRODUCTION

Introduction générale

L'eau ne peut être considérée comme un simple produit commercial, elle doit être classée comme un patrimoine universel et donc protégée, défendue et traitée comme tel. Elle est une ressource vitale pour l'homme ; elle l'est également pour ses activités agricoles, économiques et la qualité de son environnement en dépend étroitement. Cependant, elle est le réceptacle universel de tout type de pollution^[1].

En Algérie, comme partout dans le monde, les activités domestiques, agricoles, et industrielles rejettent dans l'environnement et rendent les eaux superficielles très vulnérables au phénomène de la pollution^[2].

La pollution des eaux peut être minérale ou microbiologique. Les eaux de surface sont très polluées contrairement aux eaux souterraines, qui sont bien protégées^[3]. Nombreuses, sont les technique qui permettent d'épurer les eaux usées parmi elles la distillation solaire, dont l'importance réside dans l'utilisation de l'énergie solaire^[4].

La distillation solaire une l'une des alternatives a entre prendre pour faire face ce problème d'eau surtout que l'Algérie dispose d'un grand potentiel solaire. Plusieurs études ont été entreprises en Algérie sur les distillateurs solaires. Ainsi, plusieurs conception ont été réalisé et teste dans les différentes régions du pays^[5].

L'objectif de notre travail est de contrôler l'élimination de la matière organique et minérale ainsi que la qualité microbiologique des eaux usées par énergie renouvelable (distillation solaire). Donc Le problème soulevé dans ce travail consiste à savoir si l'eau traitée produite par les distillateurs solaires est pure et exempte de microbes ?

Le présent travail comporte trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la généralité sur les eaux usée.
- Le deuxième chapitre est consacré à la généralité sur le traitement des eaux usées.
- Quelque notion de base sur le traitement des eaux usées par distillateur solaire avec les principaux résultats obtenus et leurs interprétations font l'objet du troisième chapitre.

CHAPITRE I
LES EAUX USÉES

I.1. Définition et origine des eaux usées

La pollution de l'eau s'entend comme, une modification défavorable ou nocive des propriétés physicochimiques et biologiques, produite directement ou indirectement par les activités humaines, les rendant impropres à l'utilisation normale établit .Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante, elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance^[6].

L'effluent entrant en station est dénommé "eaux usées", il peut se composer de quatre types d'effluents différents dont l'importance relative est fonction du site (collectivités, industries, type de réseau, état du réseau, etc...) ^[7- 10] :

I.1.a. Les effluents domestiques

Sont composés d'eaux usées domestiques : eaux ménagères (eaux de lavabo, douche, baignoire, appareils ménagers,...). A ces eaux fortement polluées s'ajoutent, (selon le type de réseau séparatif ou pseudo-séparatif, ou unitaire) des eaux moins polluées qui peuvent provenir des toitures, de drainage, de cours, de sous-sol et garage.

I.1.b. Les effluents d'établissement industriels, communaux ou artisanaux

Qui sont issues d'activité domestique (cantines, W-C, douches,...) ou plus spécifiquement des eaux liées à l'activité industrielle, telles que les eaux de refroidissement, ou les effluents résultant du processus utilisé^[10].

I.1.c. Les effluents d'agriculture

L'agriculture constitue la première cause des pollutions diffuses^[10]. Les pollutions d'origine agricole englobent à la fois celles qui ont trait aux cultures (pesticides et engrais) et à l'élevage (lisiers et purins).

I.1.d. Les effluents d'origine naturelle

La teneur de l'eau en substances indésirables est le fait de l'activité de certains phénomènes naturels (irruptions volcaniques, contact de l'eau avec les gisements minéraux,...).

L'effluent entrant en station peut comporter une part d'eaux parasites dues à des défauts de structure du réseau (mauvaise conception, malfaçons, collecteurs endommagés)^[11].

On distingue les eaux parasites de temps sec qui correspondent à l'intrusion d'eau de la nappe phréatique, et les eaux parasites pluviales, qui concernent uniquement les réseaux séparatifs eaux usées et qui sont dues à des erreurs de raccordement, voire à du drainage rapide^[12].



Figure I.1 : Eau usée d'Oued Chlef « Ain Defla »

Tableau I.1: Les substances polluants et leurs origines et effets^[13]

Substances	Origines	Effets
Hydrocarbures Essences , huiles , fioul	Transports routiers , industries , accidents pétroliers , fuites lors des déchargements des pétroliers, lessivage par la pluie des zones urbaines (parking, route).	Altération des mécanismes physiologiques de tous les organismes vivants
Métaux lourds	Transports routiers , industries métallurgiques et pétrochimique , peinture et carénage des bateaux	Affectent surtout les animaux .Ralentissement de la croissance .Altération des organes .Classement par ordre de nocivité croissant : Hg - >Ag>Cu>Cd>Zn>Pb>Cr>Ni>Co
Pesticides et Insecticides	Utilisation domestique , agriculture	Trouble du métabolisme et du système neurologique .Altération des processus enzymatiques
Composés azotés et phosphatés	Agriculture, aquaculture, industries agroalimentaires , eaux usées domestique	Phénomène d'anoxie et d'eutrophisation
Détergents	Eaux usées domestiques, industries	Affectent les plantes et les algues . Effet amplifié si combinaison avec des hydrocarbures
Matières en suspension MES	Eaux usées domestique , lessivages des sols , industries	Diminution apport de lumière

I.2. Les substrats polluants

A la différence de divers phénomènes de pollution, celle des eaux se traduit par les effets particuliers liés aux spécificités écologiques propres aux milieux aquatiques ^[14]. En effet, l'eau peut dissoudre, souvent avec facilité, de nombreuses substances chimiques et biologiques. Par conséquent, tout polluant peut être véhiculé fort loin de la source de contamination^[12]. On distingue quatre catégories principales liées aux différentes caractéristiques de ces substances qui déterminent le type de procédé efficace pour leur purification ^[8,15-17].

a. Matières décantables ou flottantes

Elles représentent la fraction des composés grossiers (galets, graisses...). Ces substances sont soumises à des prétraitements ou éventuellement à un traitement primaire. En fonction de leur nature, on peut recourir aux procédés de flottation ou de décantation.

b. Matières fines en suspension

Elles sont formées de particules visibles à l'œil nu (de 0.1 à 1 mm) qui contribuent à la turbidité de l'eau. Leur traitement s'effectue par des techniques de sédimentation ou de centrifugation.

c. Matières colloïdales

Dissoute dans l'eau, elles sont constituées de particules d'un diamètre de 0.01 à 100 µm. A la limite entre les phases solide et soluble, ces éléments sont éliminés par dégradation biologique ou par décantation associée à un mécanisme de coagulation.

d. Matières solubles

Leur taille est inférieure à 0.01 µm. Ces substances sont directement consommées par les populations biologiques au cours de traitement secondaire. La partie biodégradable peut se retrouver dans l'effluent de sortie; si leur quantité est importante un traitement tertiaire s'impose. Une autre classification très importante est fondée sur le pouvoir de dégradation des déchets polluants. On distingue ainsi deux classes principales ^[8,18,19] :

d.1. Matières biodégradables

Affectées par les activités biologiques des micro-organismes, ces substances sont soumises aux divers processus biochimiques de conversion. Cette fraction biodégradable peut être structurée en deux groupes :

d.1.1 Matières aisément dégradables

Composées des substances solubles. Ces matières ont la caractéristique de pouvoir être directement absorbées par les bactéries.

d.1.2. Matières lentement dégradables

Composées des substrats particuliers formés par un mélange de substances organiques solides, colloïdale et solubles. Ces matières sont soumises à certains processus intermédiaires avant d'être absorbées par les populations bactériennes.

d.2. Matières non-biodégradables

Ces substances inertes ne subissent aucun phénomène biologique de transformation. Ces matières sont soit présentes dans les eaux résiduaires, comme les métaux lourds, soit issues des phénomènes de mortalité des micro-organismes au cours des processus biologiques d'épuration.

Les composants non-biodégradables solubles peuvent traverser la station d'épuration sans être modifiés mais les matières inertes en suspension peuvent être éliminées par les mécanismes de décantation.

La structure chimique des polluants permet de distinguer deux types de composés ^[20] :

d.2.1. Matières organiques

Elles sont constituées d'un grand nombre de composés qui ont la particularité commune de posséder au moins un atome de carbone, d'où leur nom de substance carbonées. Ces atomes de carbone sont oxydés biologiquement par les micro-organismes pour fournir l'énergie nécessaire à leur croissance.

d.2.2. Matières inorganiques

Sont des substances ne contenant pas de carbone. La fraction minérale des eaux résiduaires représente principalement les produits azotés et phosphorés.

Ces diverses classifications sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.2 : Classifications des substrats polluants ^[8]

Classification selon	Polluants
Taille	-Matières décantables ou flottantes -Matières fines en suspension -Matières colloïdales -Matières solubles
Pouvoir de dégradation	-Matières biodégradables <ul style="list-style-type: none"> • aisément dégradables • lentement dégradables -Matières non-biodégradables
Structure chimique	-Matières organiques -Matières inorganiques

I.3. Caractéristiques et paramètres à analyser dans les eaux usées

Les normes de rejet des eaux usées, fixent des indicateurs de qualité physicochimique et biologique. Ce potentiel de pollution généralement exprimés en mg/l, est quantifié et apprécié par une série d'analyses. Certains de ces paramètres sont indicateurs de modifications que cette eau sera susceptible d'apporter aux milieux naturels récepteurs.

Pour les eaux usées domestiques, industrielles et les effluents naturels, la mesure de ces paramètres se fait au niveau des rejets, à l'entrée et à la sortie des usines de traitement et dans les milieux naturels.

Les eaux usées peuvent être caractérisées selon plusieurs paramètres, parmi lesquels les paramètres physicochimiques et les paramètres microbiologiques.

I.3.1. Caractéristiques physico-chimiques

a. La température

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32°C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C^[21].

b. Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9.

L'influence du pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution bio-disponible et donc leur toxicité.

Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien. La nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de pH comprises entre 7,5 et 9^[21].

c. La turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau^[22].

d. Les matières en suspension

Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques ou minérales, non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel^[22].

e. La conductivité électrique

La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau).

La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (Rodier,2009). Sa mesure est utile car au-delà de la valeur limite de la salinité correspondant à une conductivité de 2500 $\mu\text{Sm/cm}$, la prolifération de microorganismes peut être réduite d'où une baisse du rendement épuratoire^[22].

f. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)

La DBO5 comme étant la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO5^[22].

Elle se résume à la réaction chimique suivante :

Substrat + microorganisme + O₂ → CO₂ + H₂O + énergie + biomasse

g. La demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg O₂/l. La valeur du rapport DCO/DBO5 indique le coefficient de biodégradabilité d'un effluent, il permet aussi de définir son origine^[23].

Généralement la valeur de la DCO est :

- DCO = 1.5 à 2 fois DBO5
- DCO = 1 à 10 fois DBO5
- DCO > 2.5 fois DBO5

Pour les eaux usées urbaines ; Pour tout l'ensemble des eaux résiduaires ; Pour les eaux usées industrielles. La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO5 et la DCO est donnée par l'équation suivante :

$$MO = (2 DBO5 + DCO)/3.$$

h. La biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les microorganismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que, $K = DCO / DBO5$:

- Si $k < 1,5$: cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradable.
- Si $1,5 < K < 2,5$: cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- Si $2,5 < K < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables.
- Si $K > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteur de la croissance bactérienne, tels que, les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures etc... La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, sinon on applique un traitement physicochimique ^[22].

I.3.2. Les caractéristiques microbiologiques

Généralement, tous les ressources d'eaux soit des lacs, des rivières, des fleuves, aussi bien des nappes phréatiques un peu profondes, contient 3 type des germes : typiquement aquatique, tellurique (due par ruissellement) et des germes de contamination humaine ou animale (contamination fécal) ; que ce soit le type du germe il peut engendre des maladies infectieuses chez l'homme ^[24].

En définitive, La majorité des micro-organismes pathogènes (virus, bactéries ou protozoaires) pouvant causer des maladies susceptibles de se trouver dans l'eau, proviennent de déjections humaines ou animales, l'importance de pollution microbiologie nous obliger de faire un traitement avant d'être distribuer au publique ^[25].

L'analyse microbiologique de l'eau distribué à la consommation basée sur la recherche des germes (**microorganismes indicateurs de contamination fécale**). Ces indicateurs sont spécifiques de la flore intestinale, ils ne sont pas nécessairement pathogènes, mais leur présence en grand nombre dans un milieu aquatique indique l'existence d'une contamination fécale, et donc un risque épidémiologique potentiel ^[24].

a. Bactéries

Le contrôle bactériologique réalisé dans ce contexte, porte sur la quantification des germes indicateurs de contamination fécale : les coliformes et les streptocoques fécaux. D'autres indicateurs non spécifiques ont été utilisés comme complémentaires : les germes totaux et les Clostridium sulfito-réducteurs ^[24].

Implique aussi la recherche de certains germes pathogènes : Escherichia coli, Salmonella, Shigella, Vibrio, Pseudomonas aeruginosa et les Staphylocoques ^[26].

a.1. Bactéries indicatrices spécifiques de pollution fécale

Ces bactéries ont été choisies parce qu'elles sont présentes en grand nombre dans les selles des animaux à sang chaud qui sont des sources fréquentes de contamination assez grave, qu'elles sont détectables facilement ^[26].

Trois indicateurs sont à noter : les Coliformes totaux, Coliformes fécaux, et Les streptocoques fécaux ^[24].

a.1.1. Les coliformes totaux

Sous le terme de « coliformes » est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des Enterobacteriaceae, correspondent à des bacilles Gram négatif, non sporulés, aéro/anaérobies facultatifs, possèdent des propriétés caractéristiques de structure et de culture à 35-37C°, ils sont sensibles au chlore ^[27].

Ils se répartissent en deux catégories:

- Les germes thermophiles ;
- Les germes psychrophiles (aquatique ou terrigène).

Leur intérêt plus moindres pour déceler une contamination d'origine fécale ^[28].

a.1.2. Les coliformes fécaux (coliformes thermo-tolérants)

Les coliformes fécaux sont un sous-groupe de coliformes totaux, l'existence de ces germes peut être une indication de la présence des micro-organismes entéropathogènes, comme les salmonelles [24].

Un autre test peut fournir les mêmes indications que celles fournies par le dénombrement des coliformes fécaux, c'est le dénombrement des E.coli présumés qui correspondent à des coliformes thermo-tolérants qui produisent de l'indole à partir du tryptophane, à 44°C [24].

- **E. coli:** L'espèce la plus fréquemment associée aux coliformes fécaux est E. coli représente toutefois 80 à 90% des coliformes thermo-tolérants détectés. L'OMS (2004), n'énonce que la présence d'E.coli, apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente [29].
- **Intérêt de la recherche et de dénombrement d'E. coli:** Selon l'OMS, l'indicateur le plus précis pour estimer la pollution fécale est en fait E. coli, en raison de son abondance dans les fèces humaines (jusqu'à 1 milliard de bactéries par gramme de matière fraîche), et de sa persistance pour être recherché (sa durée de détection dans l'eau à 20°C varie d'une semaine à un mois) [24].

a.1.3. Les streptocoques fécaux

Ce sont les streptocoques du groupe D. Elles sont des bactéries sphériques groupées en paires ou en chaînes, Gram positif, catalase négatif et anaérobies facultatives. Ce groupe est divisé en deux sous groupes : Enterococcus et Streptococcus [30].

- **Intérêt du dénombrement des streptocoques fécaux:** L'apport d'entérocoques par rapport aux coliformes consiste en leur plus grande résistance dans les eaux naturelles. Leur présence serait donc le signe d'une contamination fécale de l'eau plus ancienne [28].

CHAPITRE II:

TRAITEMENT DES EAUX USEES

II.1. Introduction

Avant d'entamer l'étude générale du traitement des eaux usées, nous tenterons d'éclaircir quelques points sur la terminologie liée à ce domaine.

En effet, en général, le traitement des eaux usées a pour fonction de les transformer en eau potable. Alors que l'assainissement des eaux usées a pour objectif de collecter puis d'épurer les eaux polluées avant leur rejet. Toutefois, le terme « traitement » est généralement employé pour désigner l'opération d'assainissement ^[8].

Ainsi, bien que le terme « traitement » sera largement utilisé dans ce manuscrit, il concernera seulement la seconde définition.

Par ailleurs, épurer signifie « rendre pur » tandis que la définition de purifier est « débarrasser des impuretés ». Quand on parle d'épuration des eaux résiduaires, il n'est pourtant pas question de les rendre pures, mais plutôt d'en retirer le plus de déchets possible avant de les évacuer ^[8].

II.2. Les différents traitements des eaux usées

Les caractéristiques des eaux brutes sont extrêmement variées ^[31]. Il existe un certain nombre de procédés élémentaires destinés à les traiter. Les professionnels de l'eau peuvent combiner de différentes manières ces procédés, en fonction des cas spécifiques ^[32]. En outre, chaque procédé pourra changer de rôle en fonction de la place qu'il occupe dans la filière du traitement et de la façon dont il est mis en œuvre ^[33].

Il n'est pas simple de prétendre décrire de façon complète les différents procédés et filières de traitement ^[34]. Il est, cependant, possible de proposer une classification générale de procédés de base, puis une description des étapes les plus courantes du traitement ^[10].

II.2.1. Procédés physiques

Ce sont des opérations de séparation de phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide^[8]. Parmi ces procédés, les plus courantes sont :

- _ **Le dégrillage** permettant d'éliminer les corps flottants et les gros déchets par l'intermédiaire de grilles placées en travers du canal d'amenée afin de protéger les installations contre les obstructions ^[35].
- _ **La filtration**, passage d'un mélange liquide-solide à travers un milieu poreux (filtre) qui retient les solides (gâteau de filtration) et laisse passer les liquides (filtrat) ^[36].

- _ **La décantation** utilisant les forces de gravité pour séparer les particules de densité supérieure à celle du liquide en provoquant leur dépôt ^[37].
- _ **La centrifugation**, opération de séparation par action de la force centrifuge, du mélange entraîné dans un mouvement de rotation ^[8].
- _ **La flottation** visant à séparer les phases solides des phases liquides par la poussée d'Archimède. En flottation naturelle, les floes de faible densité remontent librement à la surface. La flottation assistée s'obtient par l'injection d'air ^[37].

II.2.2. Procédés physico-chimiques

Utilisés en général comme moyens de traitement complémentaires, ces procédés combinent les principes de la chimie et de la physique ^[8]. Certaines substances comme les colloïdes sont particulièrement stables en suspension et leur durée de décantation peut être trop longue. Afin de favoriser leur décantation, le décanteur est probablement conditionné avec les réactifs chimiques qui facilitent l'agglomération des particules ^[16]. Deux techniques sont utilisées ^[8].

- La coagulation annule les charges électriques des particules en suspension par l'ajout de réactifs minéraux.
- La floculation provoque l'agglomération des particules déchargées par les coagulants.

La fraction des floes peut être améliorée par addition de floculant.

II.2.3. Procédés chimiques

Ils sont très utilisés dans le traitement final des effluents. On peut citer les procédés suivants :

- **L'oxydation** par des agents tel que le chlore et l'ozone, agit sur les métaux, sur les matières organiques et détruit ou inactive totalement ou partiellement les germes vivants, les virus et les bactéries ^[8].
- **Les échanges d'ions** sont des procédés de substitution d'ions sur des résines spécifiques ^[8].
- **La neutralisation** ou l'acidification agissent sur le pH de l'eau ^[8].

II.2.4. Procédés radiatifs

Ces techniques peuvent être utilisées dans les opérations de décontamination de l'eau :

- Les ultra-violets irradient les cellules vivantes indésirables. Suivant la qualité d'énergie UV reçue, elles sont soit stérilisées (effet bactériostatique) soit détruites (effet bactéricide) ^[8].
- Le bombardement électronique est un dispositif basé sur l'exposition brève des eaux polluées à un fort flux d'électrons. La structure des éléments complexes est décomposée sous

l'action des ions qui cassent leurs liaisons chimiques. La décontamination bactériologique est réalisée par destruction des bactéries et des virus ^[8].

II.2.5. Procédés biologiques

Le traitement biologique reproduit dans des réacteurs spécifiques le phénomène d'auto épuration qui se déroule naturellement dans les cours d'eau. Le principe consiste à mettre la matière organique contenue dans les eaux usées au contact d'une masse bactérienne. Celle-ci se nourrit des polluants et les dégrade.

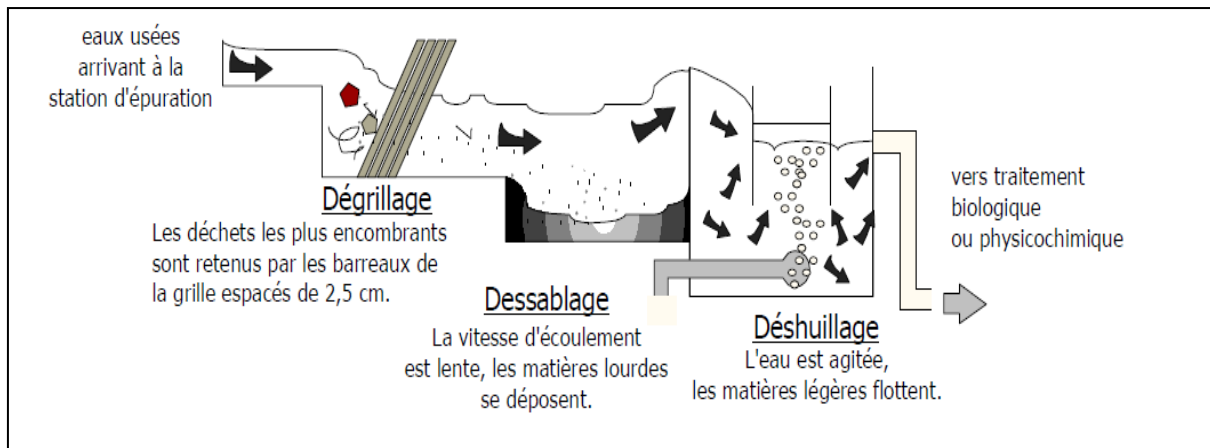


Figure II.1. Schéma représente les étapes de traitement des eaux usées ^[13]

II.3. La réutilisation des eaux usées épurées

II.3.1. Bilan mondial

La réutilisation des eaux usées est répandue dans le monde entier avec plusieurs types de valorisation. Il existe des milliers de projets utilisant des eaux usées ^[38], mais dans la plupart des cas, les eaux usées sont utilisées à l'état brut ou après un traitement minimal, et pratiquement aucune mesure n'est prise pour protéger la santé ^[39].

➤ ont classés les différents types de réutilisation selon 4 catégories ^[40] :

- (1) usage agricole, (2) usage urbain et périurbain et recharge des nappes, (3) usage industriel, (4) usages mixte.

Sur le plan mondial, la réutilisation des eaux usées traitées pour l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvrent respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau. Cependant ^[41], ces proportions varient selon les régions dans le monde (Fig.I.2).

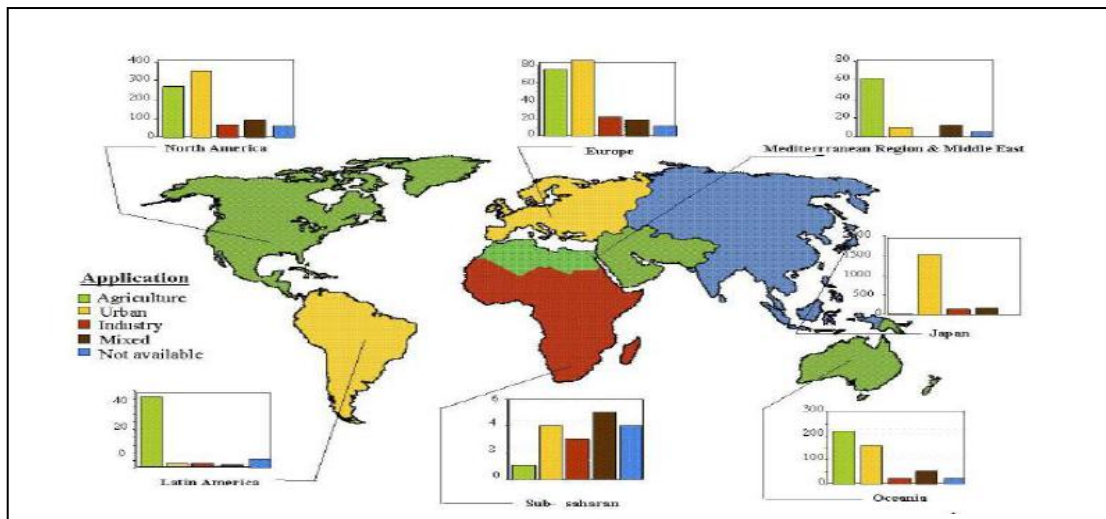


Figure II.2: Aspects de réutilisation des eaux usées dans les différentes régions du monde [41]

II.3.2..Réutilisation des eaux usées traitées en Algérie

Actuellement l’Algérie se penche vers cette technique et sa réutilisation en agriculture. Ceci nécessite dans un premier temps d’identifier et de quantifier les volumes d’eaux usées rejetés par les agglomérations à travers le pays. Le volume d’eaux usées rejetées annuellement par les agglomérations dépassant 20.000 habitants est estimé à 58 300 m³ par an. La réutilisation des eaux usées pour l’irrigation concerne en priorité les zones déficitaires en eau naturelle qui devient de plus en plus rare [42].

Un vaste programme consiste à réutiliser les eaux usées épurées en aménageant des périmètres à l’aval de chaque station d’épuration et lagune. Le potentiel de cette ressource est estimé à 750 millions de m³ et atteindra le volume de 1,5 milliards de m³ à l’horizon 2020 [43]. Le nombre de STEP en cours d’étude et de réalisation est de 12 pour l’irrigation de plus de 8000 hectares (ha) de terres agricoles.

Le potentiel de la réutilisation des eaux usées traitées à des fins agricoles évolue d’une manière significative et le nombre de stations concernées sera de 25 STEP à l’horizon 2014[44].

II.4. Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées

La réutilisation des eaux usées permet de fournir des quantités d'eau supplémentaires et d'assurer l'équilibre du cycle naturel de l'eau et une protection de l'environnement [45].

Elle constitue en outre, une alternative aux rejets dans les milieux récepteurs qui peuvent présenter des capacités d'absorption limitées. Par ailleurs, le contenu de ces eaux en fertilisants, notamment l'azote, le potassium et le phosphore incite les agriculteurs à les

utiliser. L'utilisation des eaux usées traitées peut également prévenir l'eutrophisation et éviter la croissance des algues dans les étendues d'eau fermées, telles que lacs et étangs ^[42].

II.5. Risques liés à la réutilisation des eaux usées

Les eaux usées sont soumises à diverses sources de contaminants, limitant ainsi leur potentiel de réutilisation. Elles peuvent contenir un grand éventail de constituants biologiques, organiques et inorganiques, dont certains peuvent être nocifs pour la santé et la sécurité des êtres humains en fonction de leur concentration et de la durée d'exposition ^[46]. Cependant, le niveau de préoccupation va surtout varier en fonction de l'usage qui est fait des eaux usées traitées, et donc des risques de contact entre ceux-ci et la population ^[46]. Les risques liés à la réutilisation des eaux usées sont :

- Le risque microbiologique.
- Le risque chimique.
- Le risque environnemental.

II.5.1. Risque microbiologique

La plus grande préoccupation associée à la réutilisation des eaux usées, même traitées, est la transmission potentielle de maladies infectieuses, essentiellement, les pathogènes entériques. Les fèces des personnes et des animaux infectés représentent la source principale des pathogènes présents dans les eaux usées. De ce fait, la nature et la concentration des microorganismes pathogènes des eaux usées dépendent de la santé des populations sources ^[47].

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes ^[48]. Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un environnement frais, humide et à l'abri du soleil. Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte. Les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes ^[49].

Le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque : ainsi, l'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes peuvent avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation.

L'irrigation par aspersion crée des aérosols contaminants qui peuvent être transportés sur de longues distances. Alors que l'irrigation gravitaire à la raie et par inondation expose les travailleurs à des hauts risques sanitaires, notamment lorsque le travail de la terre se fait

sans protection ^[50]. Les nouvelles recommandations de l'OMS ont prévu des niveaux de risque selon la technique d'irrigation et les types des cultures ^[51].

II.5.2. Risque chimique

Il est lié aux éléments traces. La seule voie de contamination préoccupante pour les éléments traces est la consommation des plantes cultivées, dans lesquelles ils s'accumulent.

L'accumulation des micropolluants dans les plantes est plus problématique, quoique certains de ces micropolluants soient d'intérêt en tant que facteurs de croissance des végétaux. Le compromis entre le risque sanitaire et l'intérêt agronomique doit être trouvé ^[52].

II.5.2.1. Métaux lourds

Ils constituent, le problème principal pour la réutilisation des eaux usées traitées. A faibles concentrations, les métaux sont des éléments essentiels et indispensables pour les êtres vivants comme constituant et cofacteur de différentes enzymes, ils interviennent également dans diverses voies métaboliques comme catalyseurs (Fig.I.3). Cependant, à des concentrations plus importantes que celles nécessaires à un développement optimal, les métaux inhibent la croissance et plusieurs processus cellulaires incluant la photosynthèse, la respiration, l'activité enzymatique mais également la synthèse de pigments et de protéines. La division cellulaire peut, également, être affectée. Les éléments métalliques surveillés sont le fer, le chrome, le zinc, le nickel, qui sont utiles au monde vivant en très faible quantité. Les métaux lourds ont un fort caractère bio accumulatif et ont la particularité de ne pouvoir être éliminés. Ils changent simplement de forme ^[53]. Les métaux lourds non indispensables au développement des végétaux, et qui sont dangereux d'un point de vue sanitaire sont l'arsenic, le nickel, et le Cd. Le nickel est peu toxique, mais il s'accumule facilement dans les tissus végétaux. Le Cd est le polluant non organique le plus préoccupant. Il est parfois présent à des concentrations importantes dans les eaux usées et il est très mobile dans le sol. Il s'accumule dans les plantes à de fortes concentrations engendrant la phytotoxicité ^[54]. Il peut s'accumuler dans l'organisme et provoquer de graves intoxications ^[55].

L'OMS (1997) préconise un apport alimentaire moyen de 0.057 à 0.071 mg/j/individu. La FAO (2000) fixe comme un taux maximal dans les aliments de 0.1 mg/kg pour les légumes et 0.05 mg/kg pour les céréales et leurs dérivés ^[56].

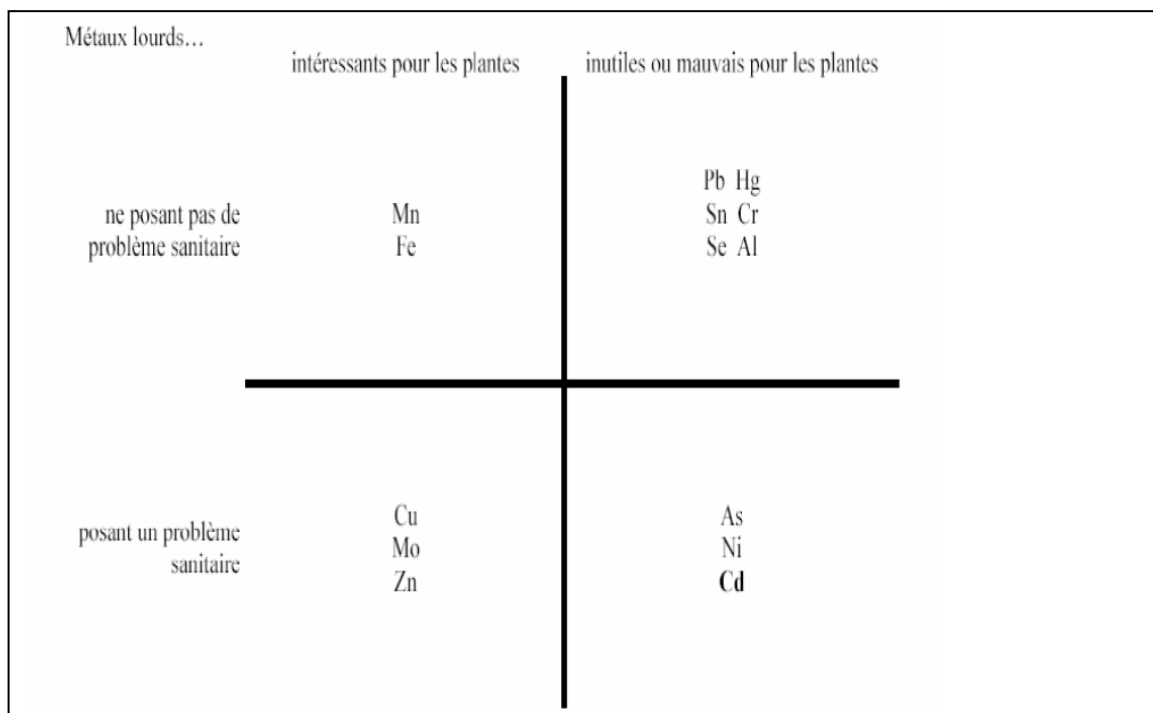


Figure II.3. Classification des métaux lourds en fonction des risques et de l'intérêt agronomique ^[47]

II.5.2.2. Micropolluants organiques

Le risque posé par les effets à long terme des micropolluants organiques est encore très peu étudié ainsi que celui d'apparition de nouvelles substances toxiques ^[57].

L'existence de tels risques potentiels ne conduit, cependant, pas à une interdiction de l'utilisation d'eaux usées épurées pour l'irrigation ^[58]. La plupart des éléments traces sont peu solubles, et le traitement des eaux usées par décantation les élimine efficacement. On les retrouve plutôt dans les boues que dans les eaux usées épurées ^[59].

Les concentrations infimes dans les effluents d'origine urbaine et leur absorption limitée par les végétaux réduisent le risque sanitaire dans le cas d'une réutilisation agricole ^[60]. Le problème des pesticides et des métaux lourds est plus préoccupant dans le cas du recyclage des boues ^[61].

II.5.3. Risque environnemental

Sur le plan environnemental, les impacts potentiels peuvent se situer à trois niveaux : une possible dégradation des sols, une contamination des eaux souterraines par lessivage et la pollution des eaux superficielles.

Dans les régions arides et semi-arides, les impacts physicochimique et microbiologique des eaux usées sur le sol sont accentués et accélérés par la forte demande évaporative qui concentre rapidement les constituants minéraux et autres polluants apportés au sol par l'eau d'irrigation. Les impacts majeurs observés sont la salinisation, l'alcalinisation et les changements structuraux du sol. Les conséquences en sont une baisse générale de la fertilité liée à une accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire, ainsi qu'une réduction notable de la conductivité hydraulique et de la capacité d'infiltration des sols ^[62].

II.6. Les différentes réglementations dans le monde

II.6.1. Les recommandations de l'OMS

Les recommandations de l'OMS sont source d'inspiration pour de nombreux pays à travers le monde. Ces recommandations (Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture) ou « Recommandations sanitaires pour l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture » (1989) sont les seules à l'échelle internationale. Elles ne concernent que l'usage agricole et sont ciblées sur des paramètres exclusivement microbiologiques.

En 2000, elles ont été révisées, en intégrant les résultats de nouvelles études épidémiologiques ^[59]. Les modifications ont essentiellement porté sur la norme "œufs d'helminthes" qui pour certaines catégories est passée de 1 à 0,1 œuf/L. Ces recommandations sont destinées à une utilisation internationale et sont donc adaptées aux pays en voie de développement. Elles représentent la limite au-delà de laquelle la santé publique n'est plus assurée ^[64].

L'OMS a publié en 2006 de nouvelles lignes directrices sur l'utilisation des eaux usées (WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater), qui tiennent compte des situations locales et privilégient les moyens à prendre pour réduire au minimum les risques sanitaires posés par ces eaux. L'approche innove surtout parce qu'elle encourage l'adoption de mesures relativement simples pour protéger la santé à tous les maillons de la chaîne alimentaire. Il s'agit d'une approche à barrières multiples qui cherche à protéger la santé des consommateurs avant que les aliments irrigués au moyen d'eaux usées n'atteignent leur assiette. Cette approche peut inclure la combinaison des éléments suivants: le traitement des eaux usées, la restriction des cultures, les techniques d'irrigation, le contrôle de l'exposition aux EU ainsi que le lavage, la désinfection et la cuisson des produits ^[51].

II.6.2. Les recommandations de l'USEPA

L'USEPA (United States Environmental Protection Agency) a publié en 1992, en collaboration avec l'USAID (United States Agency of International Development), ses propres recommandations sur la REUE, intitulées "Guidelines for Water Reuse" ^[65]. Contrairement à l'OMS, ces normes ne sont pas basées sur des études épidémiologiques et une estimation du risque, mais sur un objectif de zéro pathogène dans les eaux réutilisées. Les normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes. Ces normes concernent tous les usages envisageables des eaux usées épurées (usage urbain, agricole, industriel, recharge de nappe, etc.) ce qui en fait un outil important. Précisons que chaque État américain peut lui-même fixer ses propres recommandations, en s'inspirant plus ou moins de celles de l'USEPA.

Les recommandations de l'USEPA portent sur plusieurs paramètres notamment : le pH, la DBO5, la turbidité ou les MES et les coliformes fécaux (CF). Il faut retenir que seul le facteur " CF " permet de juger de la qualité microbiologique. Le pH est toujours fixé entre 6 et 9. La turbidité ne doit pas dépasser en général 2 NTU. La DBO5 maximale est fixée soit à 10 mg/L, soit à 30 mg/L, selon les usages.

Les CF doivent être soit en concentration inférieure à 200 CF/100 mL (pour l'irrigation avec restriction, les usages paysagers, industriels et environnementaux), soit à un niveau de non détectabilité (pour l'irrigation sans restriction, la baignade et la réutilisation indirecte pour l'eau potable).

II.6.3. Directives de la FAO

La FAO établit en 1974 des directives concernant la qualité physicochimique et d'éléments traces métalliques de l'eau d'irrigation dans lesquelles l'accent était mis sur l'influence à long terme de la qualité de l'eau, sur la production agricole, sur les conditions du sol et les techniques culturales ^[66]. Ces directives générales sont présentées dans (tab.I.2).

Tableau II.1: Concentrations maximales d'éléments à l'état de trace recommandées pour les eaux d'irrigation ^[67]

Elément	Concentration maximale mg/l	Observation
Aluminium	5.0	Peut provoquer la stérilité des sols acides pH < 5.5, mais les sols sodiques précipiteront l'ion et élimineront la toxicité à pH >7.0
Arsenic	0.1	La toxicité à l'égard des plantes varie de 12 mg/l pour le Sudan à 0.05 mg/l pour le riz
Béryllium	0.1	La toxicité vis-à-vis des cultures varie de 5 mg/l pour le chou à 0.5 mg/l pour le haricot
Cadmium	1.0	Toxique pour les haricots, les betteraves et les navets à des faibles concentrations (0.1 mg/l dans la solution nutritive). Des limites prudentes sont recommandées en raison des possibilités des concentrations dans les sols et les végétaux, dangereuses pour l'Homme
Cobalt	0.05	Toxique pour la tomate à 0.1 mg/l dans la solution nutritive
Chrome	0.1	N'est en général pas considéré comme un élément essentiel pour la croissance, en raison d'un manque d'information sur ses effets toxiques, on recommande des limites prudentes.
Cuivre	0.2	Toxique pour un certain nombre de plantes à partir des concentrations de 0.1 à 1 mg/l
Fer	5.0	Pas toxique pour les plantes dans les sols aérés, mais peut contribuer à l'acidification des sols et à la baisse de la disponibilité du phosphore et de molybdène essentiels, peut provoquer en aspersion haute, Des dépôts peu esthétiques sur les plantes, l'équipement et les bâtiments
Lithium	2.5	Toléré par les cultures jusqu'à 5mg/l, mobile dans le sol, toxique pour les agrumes à des concentrations faibles 0.075 mg/l agit comme le bore
Manganèse	0.2	Toxique pour un certain nombre de plantes à partir de quelques dixièmes de mg/l à qqes mg/l mais en général dans les sols acides
Molybdène	0.01	Non toxiques pour les cultures à des concentrations normales dans le sol et l'eau peut être toxique pour le bétail lorsque le fourrage pousse sur des sols à forte concentration de molybdène disponible
Nickel	0.02	Toxique pour un certain nombre de plante à partir de concentration variant de 0.5 à 1.0 mg/l, toxicité réduite avec un pH neutre et alcalin
Plomb	5.0	Peut inhiber la croissance des cellules végétale
Sélénium	0.02	Toxique pour les cultures à des concentrations aussi faibles que 0.025 mg/l et toxique pour le bétail si le fourrage est cultivé sur des sols avec un niveau relativement élevé de sélénium apporté, essentiel aux animaux mais à des concentrations très basses
Vanadium	0.1	Toxique vis-à-vis de nombreux végétaux à des concertations faibles

CHAPITRE III:

*Traitement des eaux usées par distillateur
solaire*

III.1. Historique de la distillation solaire:

La distillation solaire est une technologie très ancienne qui date de plus de 2000 ans. Les premiers à avoir conçus des appareils pour distiller l'eau, étaient les alchimistes Arabes en 1551 où des miroirs concaves servant à concentrer les rayons solaires étaient utilisés pour la distillation. Della Porta en 1589 a utilisé de larges pots de terre exposés aux rayons solaires pour évaporer l'eau des feuilles et rassembler le condensat dans des vases placés au-dessous (Figure III.1). Lavoisier en 1861 a utilisé de larges lentilles en verre pour concentrer les rayons solaires afin de distiller de l'eau ^[67].

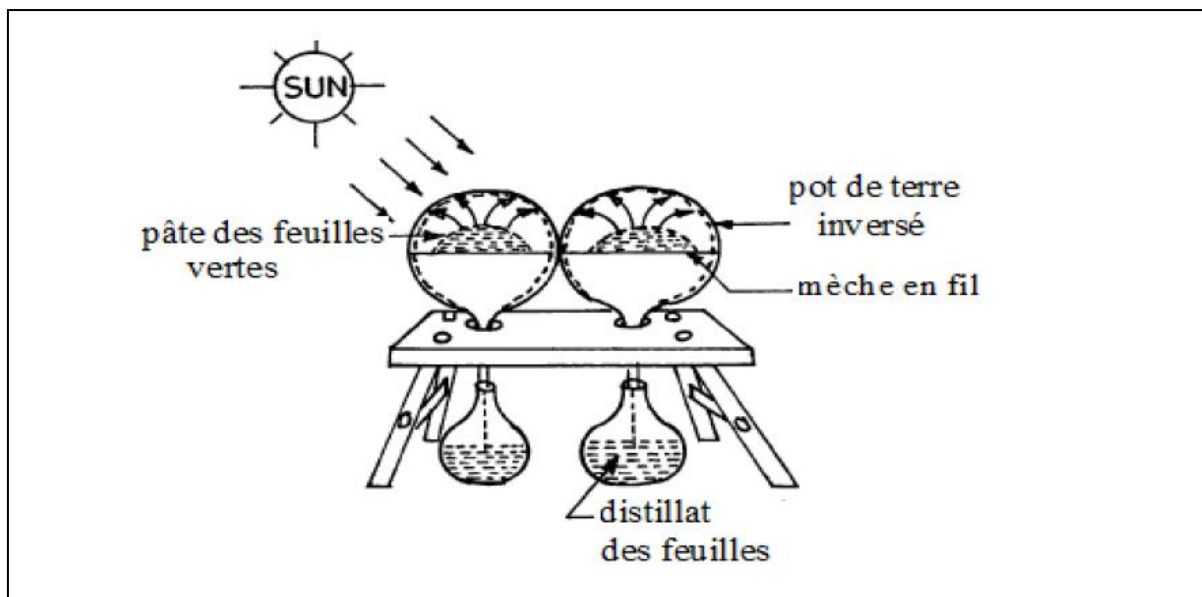


Figure III.1: Apparition de la distillation solaire Della Porta en 1589.

Le premier distillateur solaire conventionnel à grande échelle a été construit en 1872 dans les mines de nitrates du nord du Chili. Le modèle a été fabriqué par Carlos Wilson, un ingénieur Suédois avec une surface vitrée de 5000 m², produisant jusqu'à 20 m³ d'eau douce par jour, à partir d'une eau saline. Ce distillateur a été abandonné en 1910 à cause de l'accumulation du sel dans le bassin^[68]. Au début du 1930, une nouvelle conception, d'un distillateur incliné, a été proposée en Russie par Trofimov ^[69]. Durant la 2^{ème} guerre mondiale, Maria Telkes développa des distillateurs solaires sphériques pour la marine et les forces aériennes américaine ^[70]. En 1953 en Algérie, Cyril Gomella a développé plusieurs types de distillateurs solaires (plus de 20 distillateurs ont été testés) et certains d'entre eux, ont été commercialisés à travers l'Afrique du Nord, le Sénégal et l'Australie ^[71].

III.2. Distillation solaire en Algérie

L'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme compte tenu sa situation géographique et la durée d'insolation enregistrée sur la quasi-totalité du territoire national (Fig III.2). Selon l'Agence Spatiale Allemande (ASA), l'Algérie possède le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique et 13.9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Ceci est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel à Hassi Ramel ^[72].

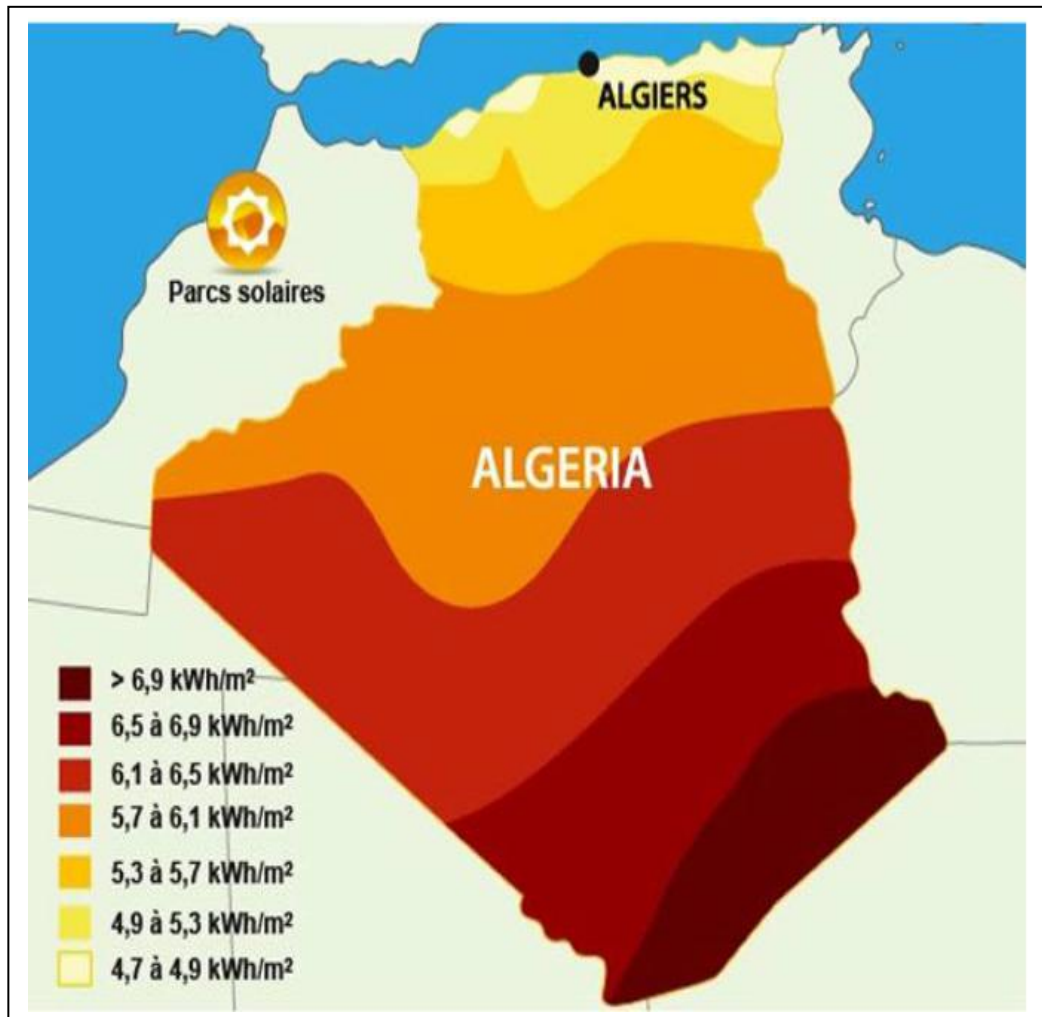


Figure III.2: Irradiation solaire annuelle en Algérie.

La durée d'insolation dans le Sahara Algérien est de l'ordre de 3500 h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8 heures/jour et peut aller jusqu'à 12 heures/jour pendant l'été.

Tableau III.1: Gisement solaire moyenne annuelle pour différentes zones d'Algérie ^[73].

Régions	La côte	Hauts plateaux	Sahara
Superficie en (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Énergie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650

III.2.1. Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire

Le distillateur solaire est un cycle hydrologique à petite échelle analogue au cycle naturel. Le rayonnement solaire passe à travers le couvercle transparent puis absorbé par l'eau. L'eau s'échauffe et s'évapore sous l'action du flux solaire incident jusqu'à atteindre la température de saturation. L'évaporation commence et la vapeur produite se condense sur la face interne de la vitre due à sa faible température par rapport à celle de la vapeur. Les gouttelettes liquides se forment et sous l'effet de leur poids et de leur tension superficielle avec la vitre, elles glissent jusqu'à atteindre la gouttière placée en bas de la vitre. L'eau distillée ainsi produite est récupérée pour être stockée pour de futures utilisations. Un appoint d'eau doit compenser le distillat produit. Ce procédé produit une eau très pure grâce à l'élimination des impuretés telles que le sel, les métaux lourds et les micro-organismes ^[74].

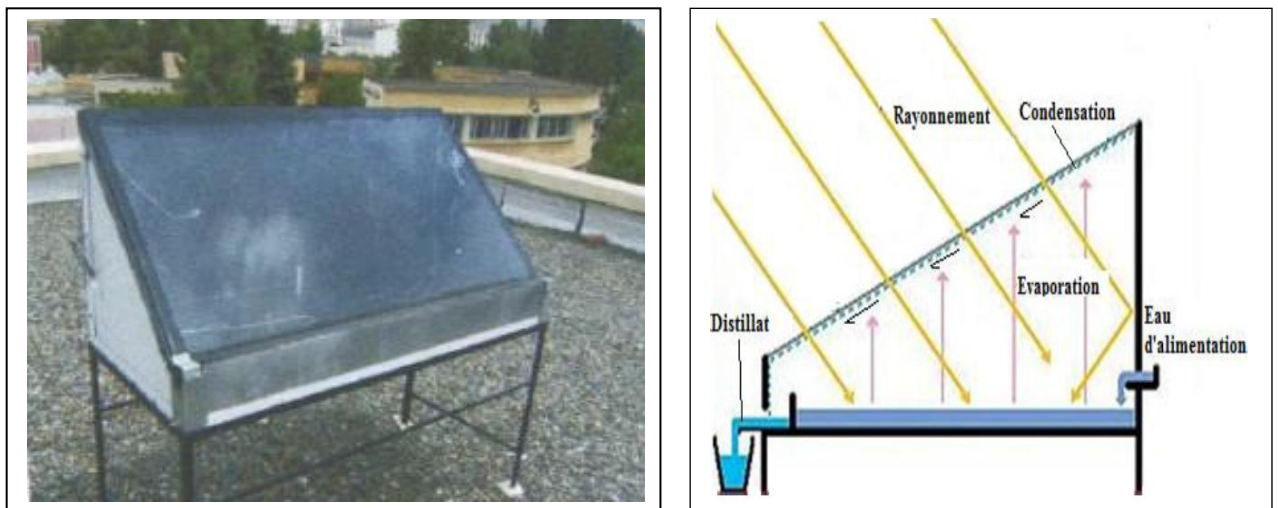


Figure III.3: Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire simple (Université de Khemis Miliana).

III.2.2. Classification des distillateurs solaires

Les distillateurs solaires peuvent être classifiés selon leurs conceptions et le mode de fonctionnement en deux types différents, actif et passif ^[75] :

III.2.2.1. Distillateur solaire passif

Le distillateur solaire passif présente l'avantage d'être simple, facile à réaliser et peu coûteux. Ils présentent néanmoins le gros inconvénient d'une production très faible.

Dans le cas du distillateur solaire passif (Fig III.4), l'eau dans le bassin subit un chauffage direct par une seule source d'énergie qui est l'énergie solaire. Le distillateur solaire passif présente d'autres inconvénients, qui limitent parfois son utilisation pour la production à grande échelle ^[75]:

- l'exigence de zone ensoleillée de grand rayonnement solaire.
- Exposition aux dommages causés par l'intempérie.
- Faible rendement et efficacité.
- Moins demandé sur le marché mondial et un faible intérêt pour les fabricants.

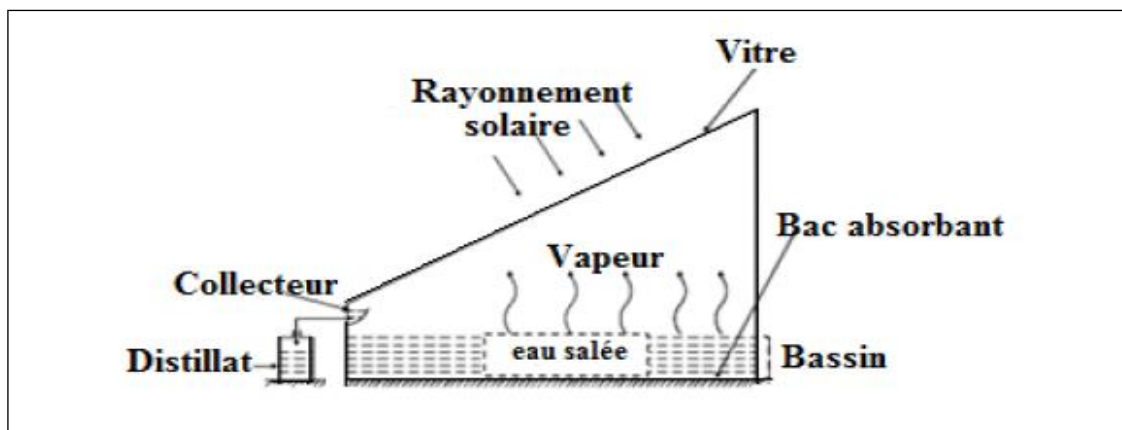


Figure III.4: Distillateur solaire passif ^[75].

III.2.2.2. Distillateur solaire actif

Certains inconvénients des distillateurs solaires passifs ont incité les chercheurs de développer d'autres distillateurs plus avancés dites distillateurs solaires actifs. La productivité des distillateurs solaires passifs peut être améliorée par l'apport d'une autre source de chaleur telle que les réflecteurs et les capteurs photovoltaïques ou thermiques. La figure III.5 montre un distillateur actif amélioré par l'intégration d'un capteur plan externe. Cette amélioration peut être obtenue grâce à une modification appropriée à la conception du distillateur solaire et son mode de fonctionnements en adoptant différents techniques ^[76].

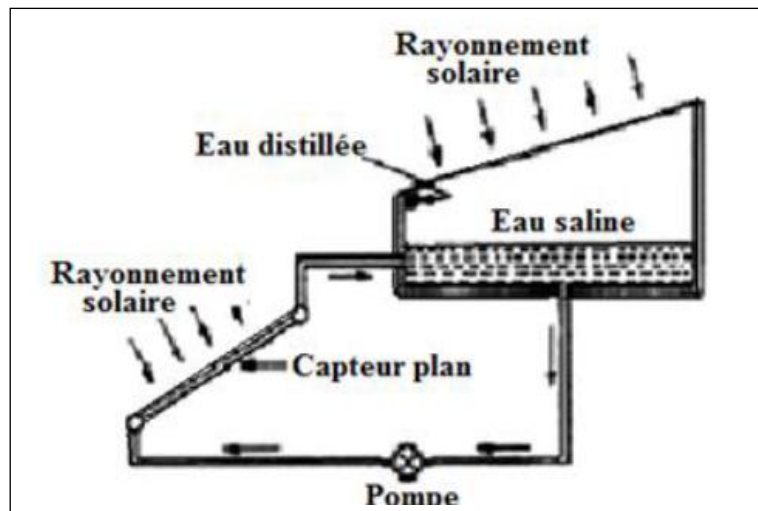


Figure III.5: Distillateur solaire actif ^[76].

III.2.3. Paramètres influant sur de la productivité d'un distillateur solaire

Les principaux paramètres agissant sur la productivité du distillateur sont les conditions météorologiques, les procédures opérationnelles et les paramètres de construction du distillateur solaire. Les conditions météorologiques comprennent la radiation solaire, la température ambiante et la vitesse du vent. Les procédures opérationnelles comprennent la variation de la masse de l'eau dans le bassin, préchauffage d'eau d'alimentation, utilisation ponce, mèche et autres matériaux de stockage de la chaleur, refroidissement de la vitre et création de la convection interne. En ce qui concerne les paramètres de conception, elles incluent la géométrie et le design du distillateur, à savoir: l'inclinaison de la vitre, surface libre de l'eau, réflecteur interne/externe, condenseur interne/externe, isolation thermique et d'autres paramètres ^[77].

III.3. Matériel et méthodes

Notre travail a été réalisé au niveau de l'université de Djilali Bounaama (Khemis Miliana), en collaboration avec le centre de recherche scientifique d'analyses physico-chimique (Boussmail) et aussi avec laboratoire d'analyse médicale (Khemis Miliana).

III.3.1. Site d'étude

Du mont Aflou, dans le sud de l'Algérie, prend sa source dans le fleuve le plus long et le plus important, c'est la vallée de la Chélif qui se jette dans la mer Méditerranée sur une longueur de 725 km. Son passage par Khemis Miliana «Ain Defla» avec distance environ de 12.01 km (Figure.III.6), en a fait la ville agricole la plus importante du pays, jusqu'à ce qu'on l'appelle le panier de légumes «Algérie», et de nombreuses villes s'en nourrissent, où les habitants de la région vivent du bien de la vallée, ainsi toutes les terres bordant la vallée s'épanouissent avec l'agriculture et la production de divers légumes et fruits.

Les ressources en eau conventionnelles de la région sont principalement souterraines et superficielles. Le réseau d'assainissement est de type unitaire.

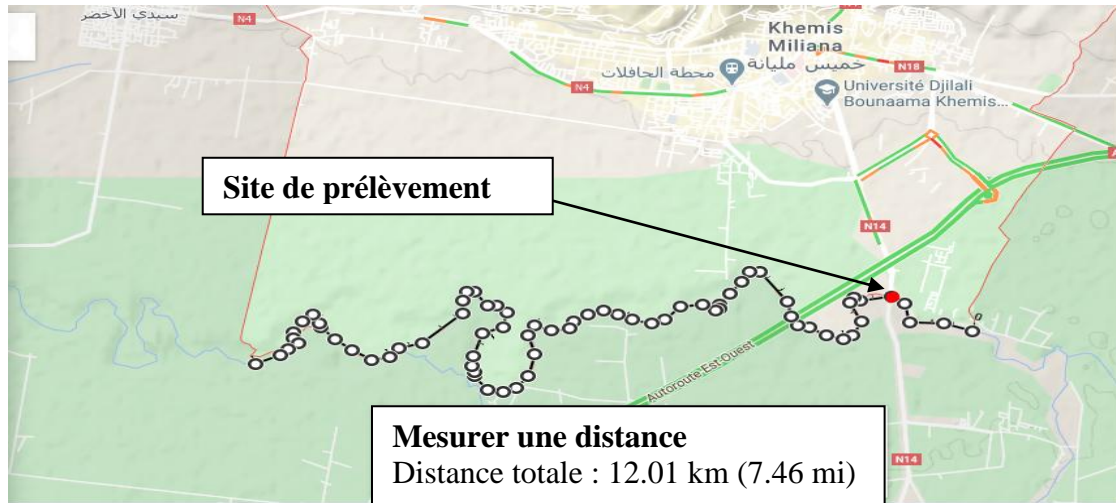


Figure.III.6 : Distance totale d'Oued Chélif dans la région Khemis Miliana.

III.3.2. Préparation de l'échantillon

La région étudiée sur Oued Chélif (Khemis Miliana), les échantillons d'eau usée ont été prélevés en période humide (mois de février 2020), cette période montre une pluie intense et une crue violente.

Les échantillons d'eau usée ont été prélevés (voir figure III.6 et Figure III.7) à l'aide de bouteilles en plastique, préalablement stérilisée avec l'eau distillée. Ils ont été ensuite fait un prétraitement physique (filtration par sable, charbon actif et gravie pour éliminée les grosses particules (Figure.III.8), puis conservés à 4°C avant quelles soient analysés.



Figure III.7 : Prélèvement d'échantillon au niveau d'Oued Chélif (Khemis Miliana).

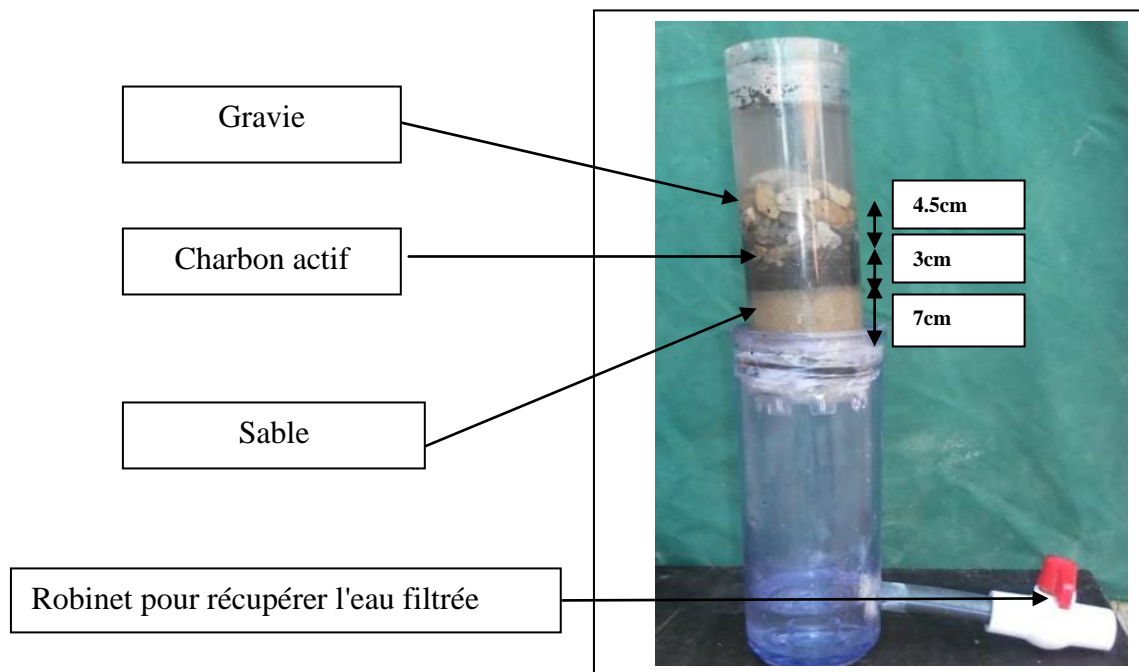


Figure.III.8 : Un filtre simple avec différentes couches.

III.3.3. Analyses physico-chimiques

Les analyses avant et après la distillation des eaux usées filtrées ont porté sur quelques principaux paramètres susceptibles de caractériser ces eaux. Les métaux lourds sont dosés par spectrométrie d'absorption atomique (à émission de flamme) au centre de recherche d'analyse physico-chimique (CRAPC Bousmail). Les substances organiques à l'aide du HPLC (haut performance liquide chromatographique) de type : YL 9100. Le pourcentage massique des éléments à l'aide du FRX (aussi au CRAPC).

III.3.4. Analyse bactériologique

L'étude bactériologique basée sur l'estimation de la quantité de bactéries présentes avant et après distillation solaire. La technique BCPL a été utilisée dans un début pour confirmer la présence des bactéries. Lorsque plusieurs tubes ont été prélevés contenant du bouillon de lactose à simple concentration et à double concentration et inoculer dans chaque tube l'échantillon d'eaux usées.

Ensuite l'identification de la bactérie mise en eau usée avant et après traitée avec l'utilisation de l'échantillon positif et négatif de la première partie à l'aide de l'ensemencement sur boîte pétrie (avec milieu de culture 'Hektoen').

III.3.4.1. Avant distillation solaire**A) Matériel nécessaire**

- Echantillon de l'eau usée avant distillation (fig III.9).
- Etagère pour tube à essai.
- Pipette graduée de 10 ml.
- Pipette graduée de 1 ml.
- Incubateur.
- Boîtes de pétrie avec un milieu de culture (La gélose Hektoen).
- Bec Bunsen.
- Milieu de bouillon lactosé à double concentration (D/C).
- Milieu de bouillon lactosé à simple concentration (S/C).
- Anse de platine.

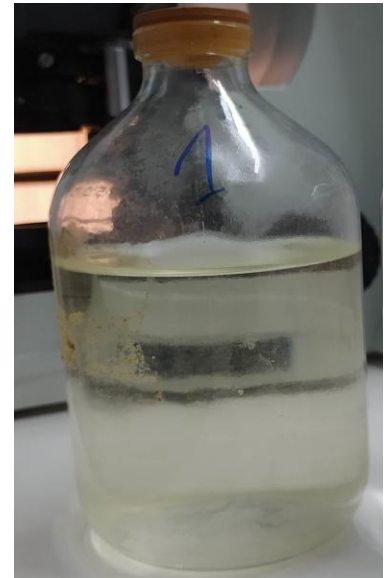


Figure III.9 : Echantillon de l'eau usée avant distillation

B) 1^{er} partie : Méthode en milieu liquide sur BCPL

La technique en milieu liquide c'est pour le test de présomption : réservé à la recherche des coliformes totaux et fécaux.

B.1. Manipulation

- a) Stériliser la zone de travail avec bec bunsen.
- b) Inoculer avec une pipette stérilisée dans les 5 tubes qui contiennent le bouillon lactosé à concentration double 10 ml d'échantillon de l'eau usée dans chaque tube.
- b) Inoculer avec une pipette stérilisée dans les 5 tubes qui contiennent le bouillon lactosé à concentration simple 1 ml d'échantillon de l'eau usée dans chaque tube.
- c) Mélanger.
- d) incuber les tubes à 37 °C pendant 24 h.



Inoculer 1 ml

Inoculer 10ml



Bouillon lactosé à concentration simple



Bouillon lactosé à concentration double

C) 2^{ème} partie : Méthode de l'ensemencement sur boîte pétrie (milieu hektoen)

C.1. Manipulation

- a) Stériliser la zone de travail avec bec bunsen.
- b) Stérilisé l'anse avant et après chaque l'ensemencement avec bec bunsen.
- c) Prélever à l'aide de l'anse de platine un échantillon de bouillon lactosé à D/C du couleur jaune.
- d) Ensemencer sur boîte pétrie (milieu hektoen) par stries fines et très serrées le premier demi-cercle.
- e) Continu dans même boîte pétrie l'ensemencement par stries fines et légèrement. Convergentes le deuxième demi-cercle et par stries fines et divergent le troisième demi-cercle.
- f) Prélever à l'aide de l'anse de platine un échantillon de bouillon lactosé à S/C du couleur jaune.
- g) Faire la même méthode de l'ensemencer avec une autre boîte pétrie (milieu hektoen).

CHAPITRE III: Traitement des eaux usées par distillateur solaire

h) Incuber les deux boîtes pétries à 37 °C pendant 24 h dans l'incubateur.



Figure.III.10: Stérilisation de la zone du travail.

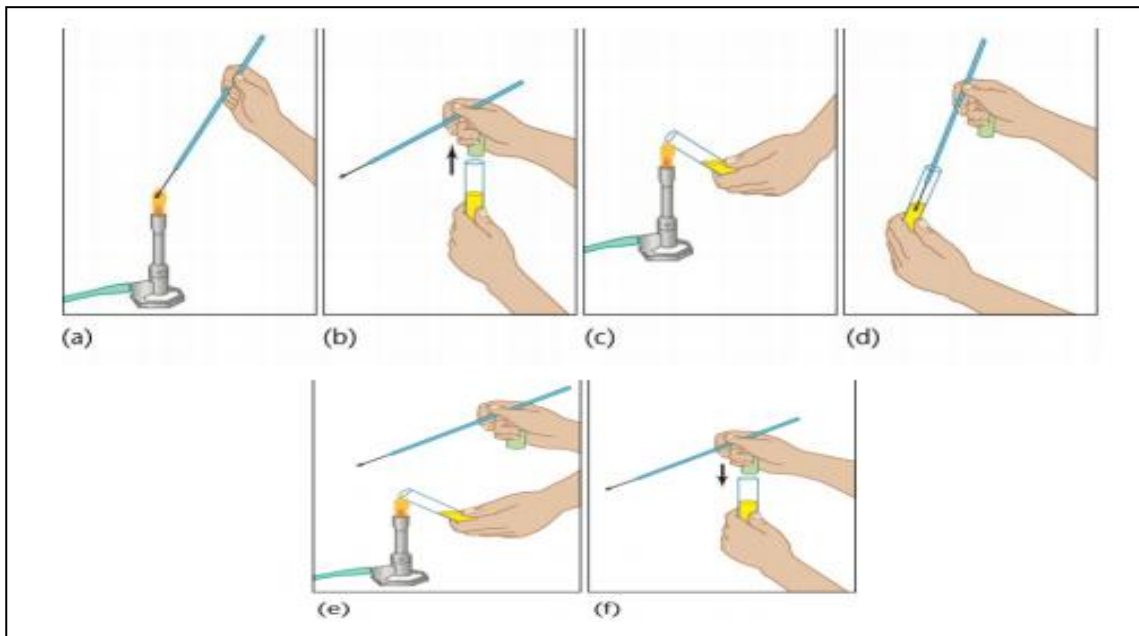


Figure.III.11: La manière de saisir l'anse de platine et le tube de suspension bactérienne.

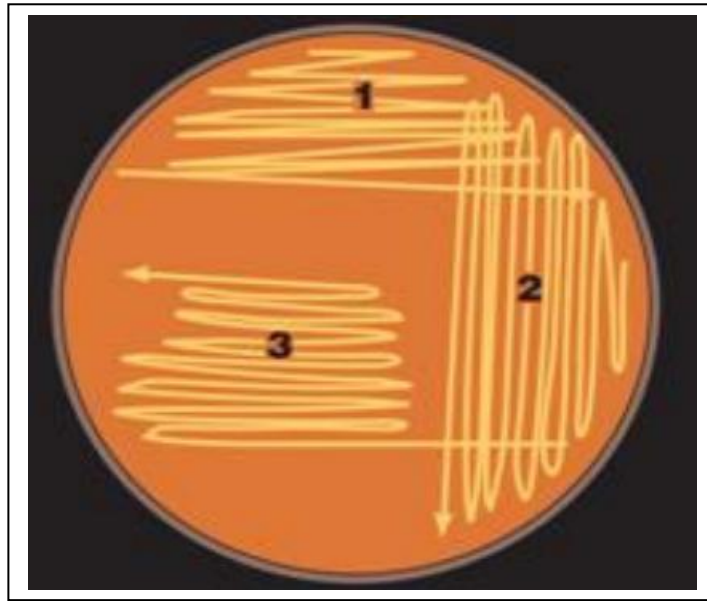


Figure.III.12 : Etapes de l'ensemencement

III.3.4.2. Après distillation solaire

A) Manipulation

- On utilise un échantillon de l'eau usée après distillation solaire (fig III.13) et refaire ce manipulation avec même étapes de la partie avant distillation solaire.



Figure III.13 : Echantillon de l'eau usée après distillation solaire

III.3.5. Résultats et discussion

A. Analyse physicochimique

A.1. Métaux lourds

L'analyse des eaux usées du Oued Chleff (Khemis Miliana) se fait au CRAPC par SAA a révélé l'absence des métaux lourds suivants: Cr, Cu, Cd, Mn mais elle a décelé la présence de zinc, sodium, potassium et manganèse (Tableau III.2).

Tableau III.2 : Teneurs moyennes en métaux lourds avec l'absorption dans les eaux usées avant et après distillation solaire

Eléments	Avant distillation		Après distillation	
	Absorbance	Concentration (mg/l)	Absorbance	Concentration (mg/l)
Cr	ABS	ABS	ABS	ABS
Cu	ABS	ABS	ABS	ABS
Pb	ABS	ABS	ABS	ABS
Cd	0,0007	0,0123	ABS	ABS
Zn	0,0143	0,0088	ABS	ABS
K	0,4601	70,9194	0,0021	0,3664
Mn	ABS	ABS	ABS	ABS
Na	0.6690	31.2382	0.0052	0.1918

A.2. Les substances organique

Les résultats de la séparation chromatographique ont montré une diminution de la concentration des éléments organique présents dans l'eau produite après distillation solaire.

Les résultats de séparation sont indiqués dans les courbes suivantes:

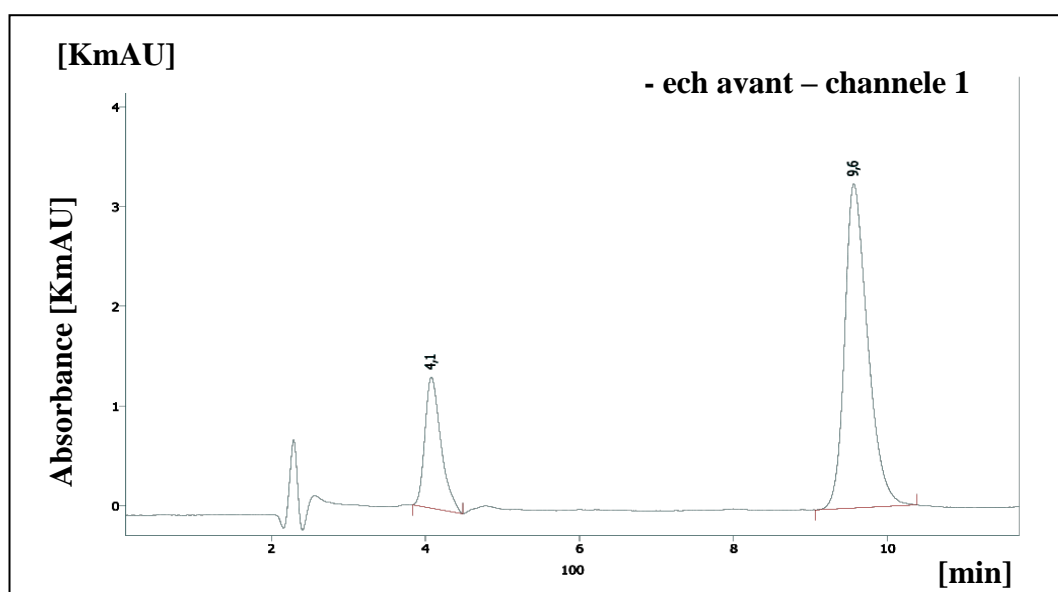


Figure.III.14: chromatogramme par HPLC de l'eau usée avant distillation solaire.

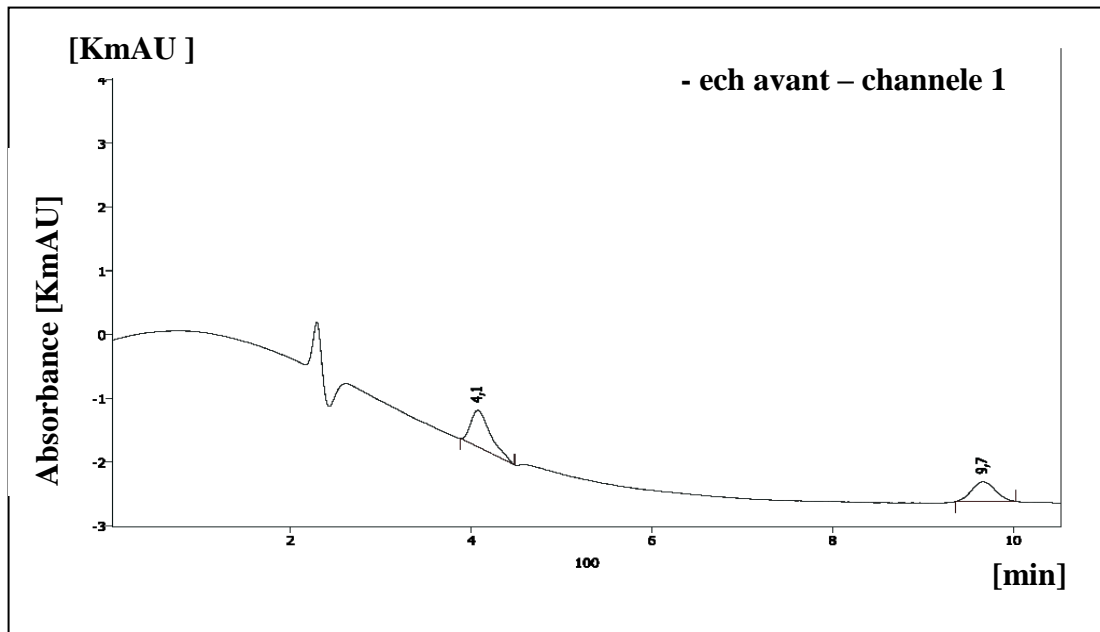


Figure III.15: chromatogramme par HPLC de l'eau usée après distillation solaire.

B. Analyse bactériologique

B.1. Avant distillation solaire

B.1.1. Résultat et discussion de 1^{er} partie : Méthode en milieu liquide sur BCPL

Après 24 h de l'incubation, les tubes de bouillon lactosé (D/C) et (S/C) trouvés positives, (voir Fig III.16) :



Figure III.16: Photo de résultat test de présomption par bouillon lactosé

CHAPITRE III: Traitement des eaux usées par distillateur solaire

Après la lecture macroscopique des résultats , on a remarqué :

- il y a un dégagement de gaz avec un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune et une odeur inacceptable.
- on a trouvé 5 tubes positifs de bouillon lactosé S/C et de bouillon lactosé D/C. selon de la table de mac-grady , NPP= 240 % .
- donc l'échantillon de l'eau usée avant distillation solaire. il contient 240 des coliformes totaux et fécaux.

Remarque : la lecture finale des résultats de milieu du bouillon lactose sont exprimés en NPP (nombre plus probable) selon les prescriptions de la table de mac grady ^[80].

B.1.2. Résultat et discussion de 2^{ème} partie : Méthode de l'ensemencement sur boîte pétrie

Les résultats de la culture bactérienne après 24h de l'incubation (voir fig III.17 et fig III.18) :

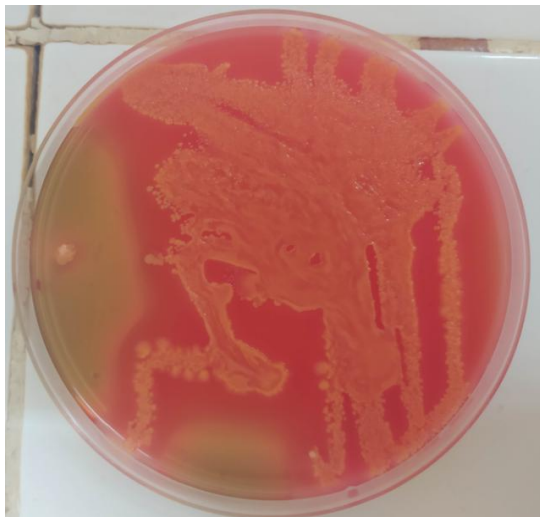


Figure III.17: Photo de la cultures bactériennes sur le milieu hektoen de l'échantillon de bouillon lactosé à S/C du couleur jaune



Figure III.18: Photo de la cultures bactériennes sur le milieu hektoen de l'échantillon de bouillon lactosé à D/C du couleur jaune

Après la lecture macroscopique des résultats , on a remarqué :

- Un virage de couleur du milieu de culture (Hektoen) au rouge et une odeur inacceptable, l'émergence d'un grand groupe des colonies bactériennes.
- La présence de plusieurs d'entérobactéries dans le milieu de culture (hektoen) signifie que l'eau usée avant traité par distillation solaire il est contient plusieurs types des bactéries pathogène et non pathogène.

B.2. Après distillation solaire**B.2.1. Résultat et discussion de 1^{er} partie : Méthode en milieu liquide sur BCPL**

Après 24 h de l'incubation, les tubes de bouillon lactose (D/C) et (S/C) trouvés négative, (voir Fig III.19) :



Figure III.19 : Photo de résultat test de présomption par bouillon lactosé

Après la lecture macroscopique des résultats , on a remarqué :

- On a 5 tubes négative de bouillon lactosé D/C et de bouillon lactosé S/C. selon de la table de mac-grady, NPP= 1%.
- donc l'échantillon de l'eau usée après distillation solaire, il ne contient pas des coliformes totaux et fécaux.

B.2.2. Résultat et discussion de 2^{ème} partie : Méthode de l'ensemencement sur boîte pétrie (milieu Hektoen)

Résultats de la culture bactérienne après 24h de l'incubation (voir fig III.20 et fig III.21) :

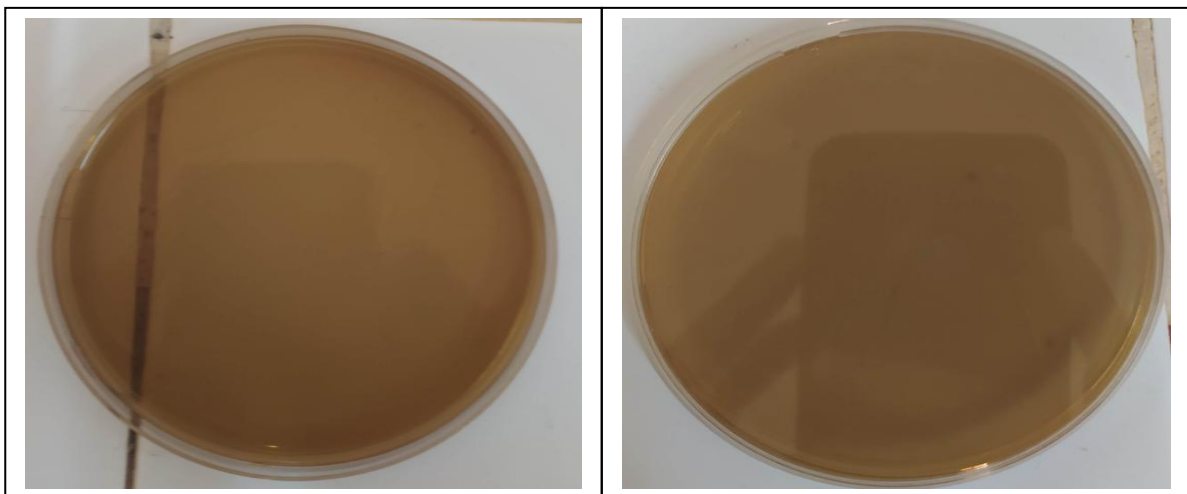


Figure III.20: Photo des résultats de l'échantillon de bouillon lactosé à S/C sur le milieu hektoen de l'échantillon

Figure III.21: Photo des résultats de l'échantillon de bouillon lactosé à D/C sur le milieu hektoen de l'échantillon

CHAPITRE III: Traitement des eaux usées par distillateur solaire

Après la lecture macroscopique des résultats , on a remarqué :

- le milieu de culture (Hektoen) est restée a sa couleur.
- L'absence de l'entérobactéries dans le milieu de culture (Hektoen) signifie que le traitement par distillation solaire à éliminer les bactéries .

Conclusion

Conclusion générale

L'Algérie est classée dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydriques au regard du seuil de rareté fixé par la banque mondiale à 1000 m³/habitant/an. La forte croissance démographique, l'urbanisation massive et le développement des activités industrielles ont généré une production importante d'eaux usées qui peuvent constituer une ressource en eau non négligeable suite à son recyclage.

la présence de normes de rejet spécifiques à la réutilisation des eaux usées en agriculture ainsi que la présence de textes réglementaires fixant la modalité de réutilisation des eaux usées et la liste des cultures et les conditions de leur irrigation par la eaux usées épurées constituent un promotion de projets de réutilisation des eaux usées épurées. Les dirigeants, publics et privés, ont des décisions à prendre en matière de réutilisation des eaux usées en agriculture. Ils sont confrontés à la nécessité d'exploiter des quantités en augmentation, afin de répondre à une demande toujours plus grande. La gestion intégrée des eaux usées épurées en Algérie, désormais institutionnellement reconnue comme un modèle de partenariat public- privé, est la meilleure approche pour une mise en valeur et une gestion efficace et durable des eaux usées épurées, face à des demandes en eau en augmentation.

Ce projet de fin d'étude qui a pour objectif la mesure du degré de pollution des eaux usées urbaines d'Oued Chélif dans un premier lieu et évaluer par la suite l'efficacité du traitement de ces eaux par un distillateur solaire fabriqué à l'université de Khemis Miliana.

Les résultats des paramètres physicochimiques ont montré que les échantillons d'eaux usées sont pollués par de nombreux micropolluants organiques, inorganiques et microorganismes. La disparition totale des substances organiques et inorganique après traitement par le distillateur solaire à été confirmé par l'utilisation de la HPLC, la spectrométrie d'absorption atomique. Les résultats microbiologiques démontrent que les eaux usées brutes d'Oued Chélif sont fortement chargées en bactéries. Cependant le traitement de ces eaux par la technique de distillation solaire a permis un abattement de la totalité de des germes.

Le traitement des eaux usées par la distillation solaire qui fonction par l'énergie solaire thermique est très faisable. Elle devrait encore se développer dans les années à venir car les besoins sont importants. Elle est économiquement rentable, et environnementale, ce qui est conforme aux principes du concept du développement durable.

ANNEXES

A-Annexe A

A.1. Spectrométrie d’Absorption Atomique(SAA):est essentiellement une méthode d'analyse quantitative qui convient beaucoup mieux à la détermination des traces qu'à celle des éléments majeurs. Elle présente de nombreux avantages : haute sensibilité, grande spécificité, influence négligeable de la composition du milieu analysé, rapidité et faible quantité de substance nécessaire (1 ml de la solution peut suffire).

Cette technique nécessite d'utiliser pour chaque élément à doser une source caractéristique (lampe), technique d'analyse de structure, domaine d'application limité presque exclusivement aux métaux et nécessité enfin de faire passer l'échantillon en solution.



A.2.Haut performance liquide chromatographique (HPLC) :

C'est une technique très couramment utilisée en laboratoire, qui supplante de plus en plus les autres techniques chromatographiques. La chromatographie ionique est apparentée à la HPLC.

Son nom l'indique, il s'agit d'une technique très performante car très rapide. Cette technique est fort apparentée à celle de CPG, hormis que la phase mobile n'est plus gazeuse mais liquide. Cette haute performance est justifiée par le fait qu'en HPLC :

- on peut travailler sur des composés apolaires ou très polaires .
- on peut travailler sur des composés de grande masse moléculaire.
- on dispose d'un grand nombre de colonnes, même chirales la chromatographie est rapide.
- les résultats sont facilement reproductibles.



B- Annexe B

B.1. Anse de platine : Contenant servant à recevoir un milieu de culture solide à base d'agar (Hektoen).

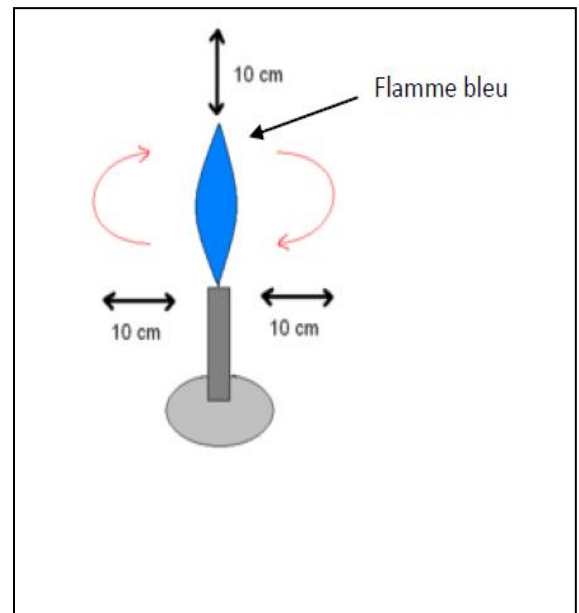
B.2. Le milieu BCPL ou bouillon lactosé au BCP : est un milieu de culture non sélectif et non enrichi utilisé en microbiologie pour l'identification de bactéries. C'est un milieu différentiel, comportant un indicateur de pH, le pourpre de bromocrésol (BCP de l'anglais bromocresolpurple). Ce dernier donne une couleur pourpre au milieu, et passe au jaune si le lactose du milieu est utilisé par les bactéries, par fermentation.

B.3. Boîte de Pétri : Appareil d'optique permettant l'observation des microorganismes

B.4. La gélose Hektoen : est un milieu de culture sélectif des bacilles à Gram négatif non exigeants et utilisé pour la recherche des entérobactéries.

B.5. Stérilisation : C'est une méthode pour inhiber la croissance et la multiplication des bactéries

B.6. Le Bec Bunsen se présente sous la forme d'une cheminée, reliée à une arrivée latérale de gaz combustible. Une virole permet de varier l'arrivée d'air par des orifices latéraux afin de régler l'intensité et la chaleur de la flamme. En chimie, il permet de faire chauffer des préparations placées dans un tube à essai. En biologie, il est surtout utilisé pour stériliser les instruments (en les passant dans la flamme) et l'atmosphère située dans un rayon de 10 centimètres autour de la flamme (indispensable pour des expériences de microbiologie).



C- Annexe C

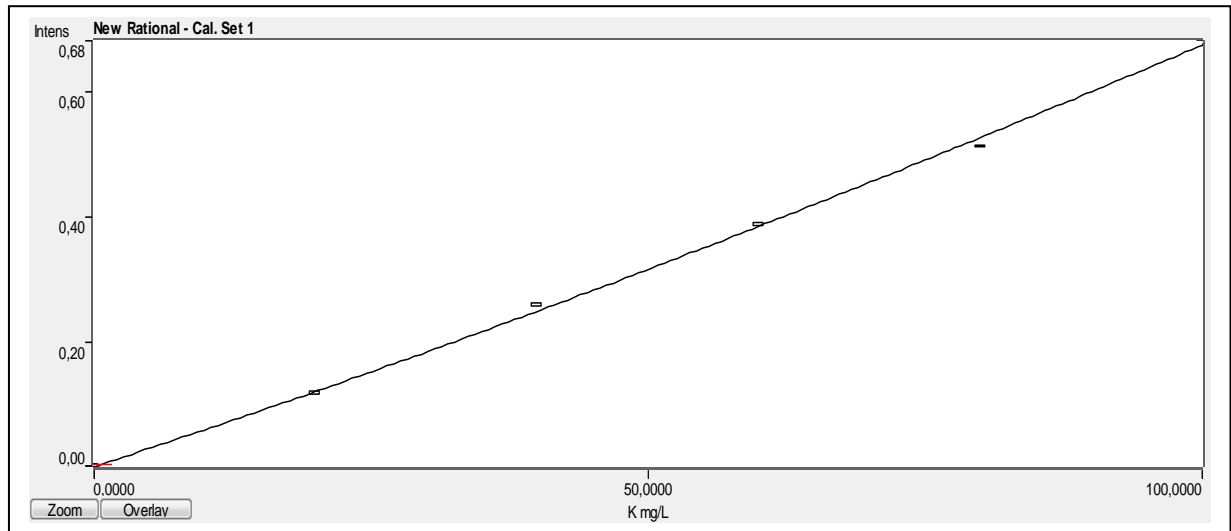
C.1. La méthode du NPP : (Nombre le Plus Probable) ou MPN (Most Probable Nombre) utilise une méthode statistique pour connaître le nombre (le plus probable) de bactéries présentes dans 1 ml de dilution.

C.2. Le table de Mac Grady : qui donne le NPP sur la dilution considérée.

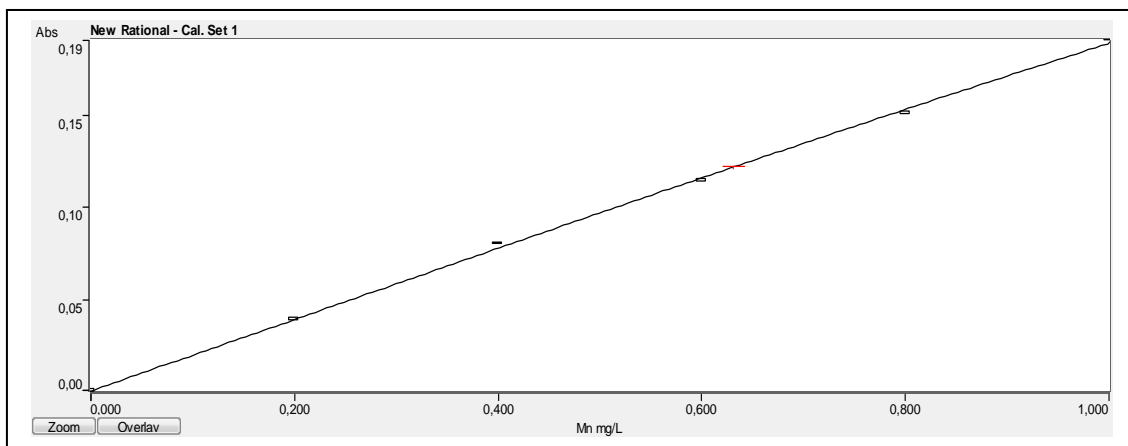
FLACON	Double Concentration D/C	Simple Concentration S/D	NPP
0	0	1	1 %
0	0	2	2 %
0	1	0	1 %
0	1	2	3 %
0	2	0	2 %
0	2	1	3 %
0	2	2	4 %
0	3	0	3 %
0	3	1	5 %
1	0	0	1 %
1	0	1	3 %
1	0	2	4 %
1	0	3	6 %
1	1	0	3 %
1	1	1	5 %
1	1	2	7 %
1	2	2	10 %
1	2	3	12 %
1	3	0	8 %
1	3	1	11 %
1	3	2	14 %
1	3	3	18 %
1	3	4	21 %
1	4	0	13 %
1	4	1	17 %
1	4	2	22 %
1	4	3	28 %
1	4	4	35 %
1	4	5	43 %
1	5	0	25 %
1	5	1	35 %
1	5	2	54 %
1	5	3	92 %
1	5	4	161 %
1	5	5	240 %

C.Spectres des éléments obtenu par SAA

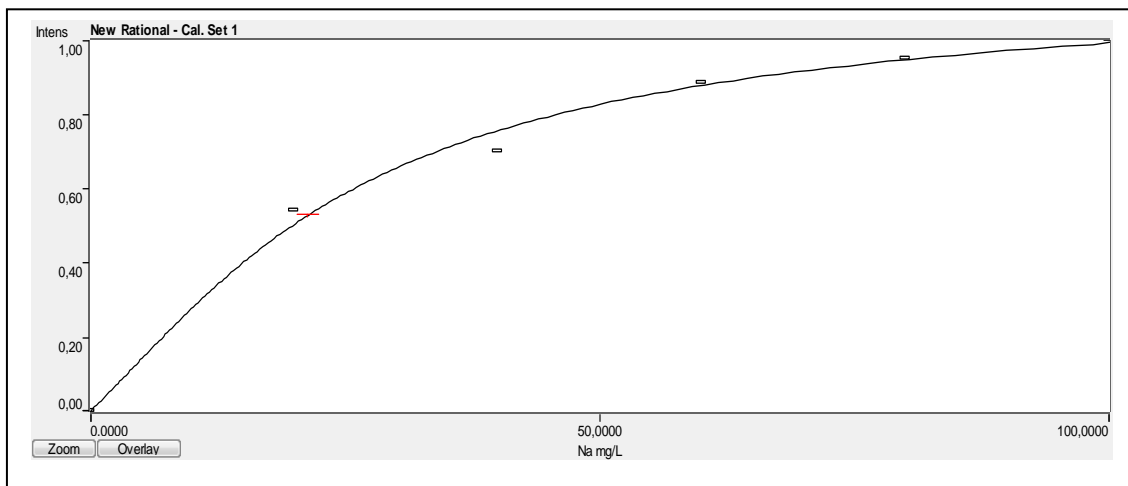
C.1. Méthode : Potassium (Flamme)



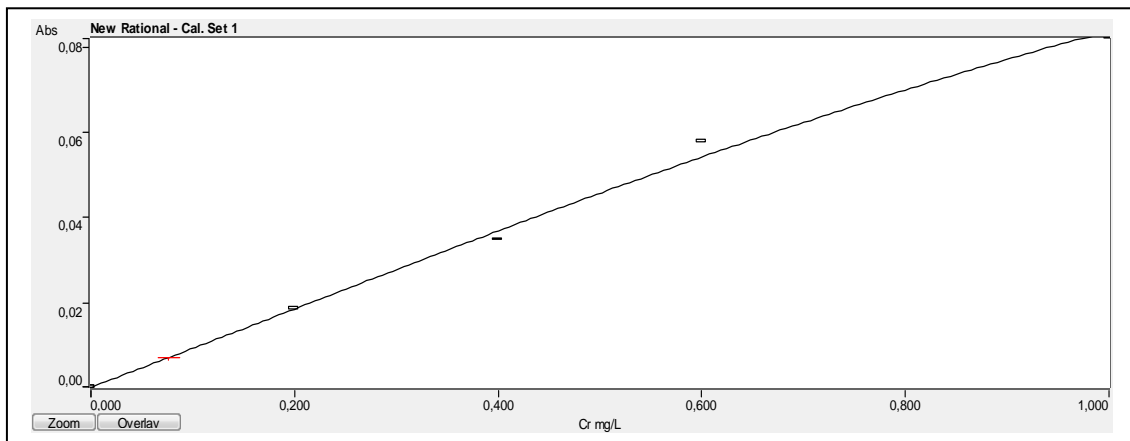
C.2. Méthode : Manganèse (Flamme)



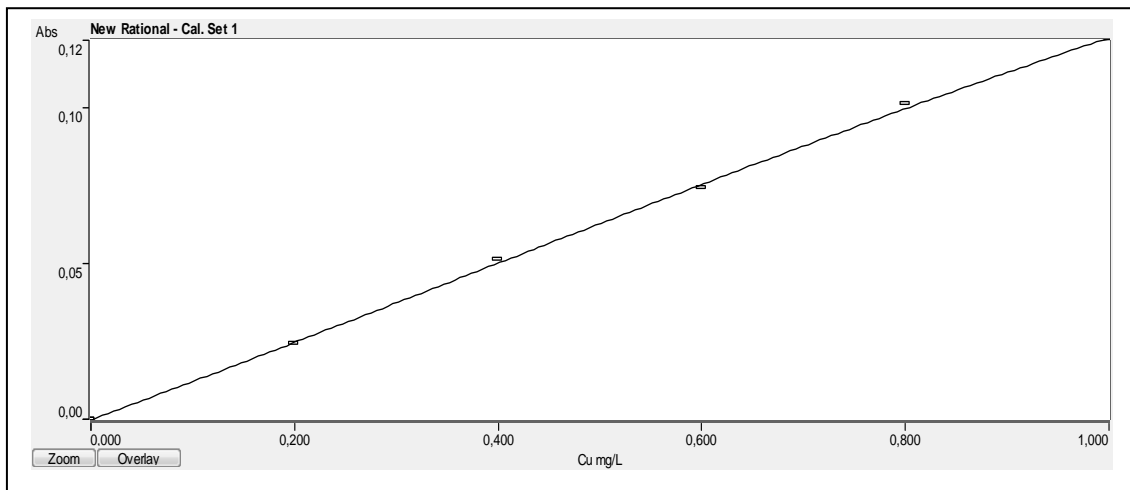
C.3. Méthode : Sodium (Flamme)



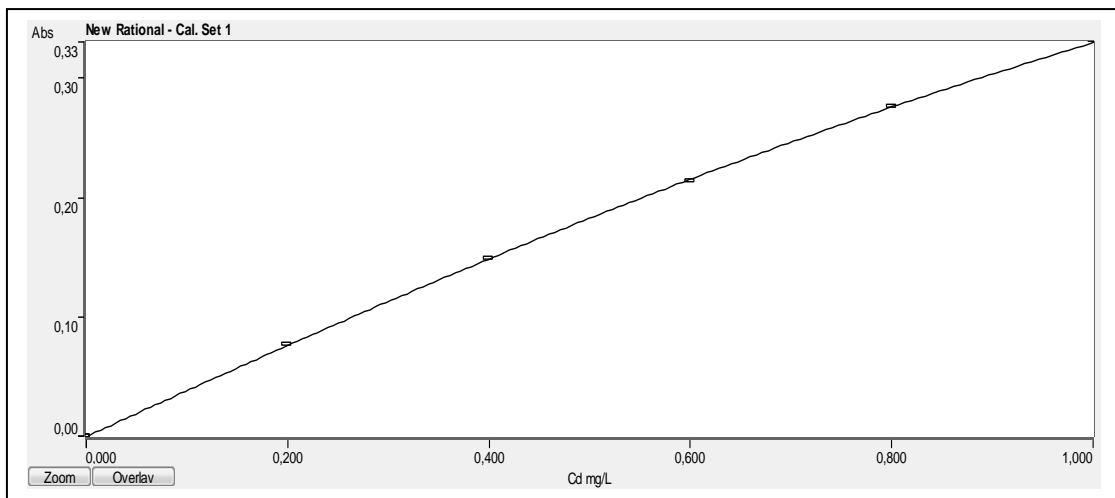
C.4.Méthode : Chrome (Flamme)



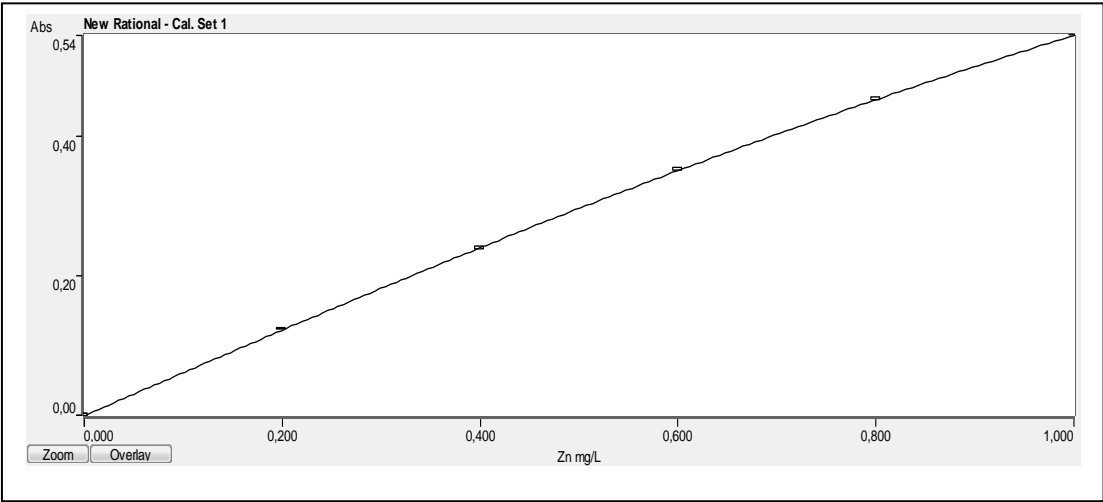
C.5. Méthode : Cuivre (Flamme)



C.6. Méthode : Cadmium (Flamme)



C.7. Méthode : Zinc (Flamme)



Listes des tableaux

Tableau I.1: Les substances polluants et leurs origines et effets

Tableau I.2 : Classifications des substrats polluants

Tableau II.1: Concentrations maximales d'éléments à l'état de trace recommandées
pour es eaux d'irrigation

Tableau III.1: Gisement solaire moyenne annuelle pour différentes zones d'Algérie.

Tableau III.2 : Teneurs moyennes en métaux lourds avec l'absorption dans les eaux usées
avant et après distillation solaire

Liste des Figures

- Figure I.1 :** Eau usée de oued Chlef « Ain Defla »
- Figure II.1.** Schéma représente les étapes de traitement des eaux usées
- Figure II.2:** Aspects de réutilisation des eaux usées dans les différentes régions du monde
- Figure II.3 :** Classification des métaux lourds en fonction des risques et de l'intérêt agronomique
- Figure III.1:** Apparition de la distillation solaire Della Porta en 1589.
- Figure III.2:** Irradiation solaire annuelle en Algérie.
- Figure III.3:** Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire simple (Université de Khemis Miliana).
- Figure III.4:** Distillateur solaire passif.
- Figure III.5:** Distillateur solaire actif.
- Figure III.6 :** Distance totale de oued chélif dans région khemis miliana
- Figure III.7 :**Prélèvement d'échantillon au niveau de Oued chélif (khemis miliana)
- Figure.III.8 :** Un filtre simple avec différentes couches.
- Figure III.9 :** Echantillon de l'eau usée avant distillation
- Figure III.10:** Stérilisation de la zone du travail.
- Figure III.11:** La manière de saisir l'anse de platine et le tube de suspension bactérienne.
- Figure III.12 :** Etapes de l'ensemencement
- Figure III.13 :** Echantillon de l'eau usée après distillation solaire
- Figure III.14:** chromatogramme par HPLC de l'eau usée avant distillation solaire.
- Figure III.15:** chromatogramme par HPLC de l'eau usée après distillation solaire.
- Figure III.16 :** Photo de résultat test de présomption par bouillon lactosé
- Figure III.17:** Photo des cultures bactériennes sur le milieu hecktoen de l'échantillon de bouillon lactosé à S/C du couleur jaune
- Figure III.18:** Photo des cultures bactériennes sur le milieu hecktoen de l'échantillon de bouillon lactosé à D/C du couleur jaune
- Figure III.19 :** Photo de résultat test de présomption par bouillon lactosé
- Figure III.20:** Photo des résultats de l'échantillon de bouillon lactosé à S/C sur le milieu hecktoen de l'échantillon
- Figure III.21:** Photo des résultats de l'échantillon de bouillon lactosé à D/C sur le milieu hecktoen de l'échantillon

Liste des Abréviations

Cd : Cadmium.

CT : Coliformes totaux.

DBO5 : Demande Biochimique en Oxygène au bout de 5 jours.

DCO : Demande Chimique en Oxygène

E. coli : Escherichia coli.

FAO: Food and agriculture organization.

ISO : International Standard Organisation (Organisation Internationale de normalisation).

MES : Matière en suspension.

NPP : Nombre le plus probable.

OMS : Organisation Mondiale de la santé.

ONA: Office Nationale d'Assainissement.

PH : Potentiel d'hydrogène.

SF : Streptocoques fécaux.

STEP: Station d'Épuration.

USEPA: United States Environmental Protection Agency.

WC: Water Closet.

Références bibliographiques

- [1] Eddabra R.,évaluation de la contamination bactériologique des eaux usées des stations d'épuration du grand Agadir : isolement, caractérisation moléculaire et antibioresistance des espèces du genre vibrio, thèse en co-tutelle, de l'université ibn zohr faculté des sciences d'Agadir et de l'université de Strasbourg Ecole doctorale science de la vie et de la sante, 2011,p146.
- [2] FRIOUA, Localisation et caractéristiques des zones sources de pollution des ressources en eau de la ville de Biskra à l'aide de S.I.G. Mémoire de Master en Sciences de l'Eau et de l'Environnement. Université Mohamed Khider Biskra, Algérie, 2014, p79.
- [3] J.L. Cuq, Microbiologie Alimentaire. Edition Sciences et Techniques du Languedoc., Université de Montpellier,2007,p 20-25.
- [4] A.A. SFEIR et G. GUARRACINO, Ingénierie des systèmes solaires. Application à l'habitat, Technique et documentation, Paris-1981.
- [5] Kerfah Rabah, Noura Belkheir, Belaid Fatima Zahra, Etude Technico-économique des Distillateurs Simples en Algérie,5ème Conférence Internationale des Energies Renouvelables (CIER– 2017), Proceeding of Engineering and Technology –PET ,Vol :31, P:66-70.
- [6] TABET Mouna , " Etude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration",THESE De Doctorat, UNIVERSITE 8 MAI 1945-GUELMA,(2015),p 3
- [7] S.Dauphin,Connaissance et contrôle du fonctionnement des stations d'épuration, intérêt et limites des moyens métrologiques actuels : application à la gestion hydraulique d'un décanteur secondaire, Thèse : Faculté des sciences et techniques de l'eau, Université Luis Pasteur de Strasbourg, France,1998.
- [8] Z.M.Hadj-Sadok, Modélisation et estimation dans les bioréacteurs ; prise en compte des incertitudes : application au traitement de l'eau, Thèse : Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Nice – Sophia Antipolis, France,1999.
- [9]G.Boari, I.M.Mancini and E.Trulli,Technologies for water and wastewater treatment, Séminaires Méditerranéens, Sér. A /n037, UniversitàdegliStudidella Basilicata Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell 'Ambiente Potenza, Italy,1997.
- [10] Zahir Bakiri, Traitement de eaux uses par des procedes biologiques classiques: Experimentation et Modelisation, Thèse Magister , Universite ferhat abbas-setif (Algerie),2007 ,p:14.

- [11] S.Jooste, C.Palmer, A.Kühn, and P.Kempster, The management of complex industrial wastewater discharges, Institute for Water Quality Studies, Department of Water Affairs and Forestry, Pretoria, South Africa, 2003, Private Bag X313.
- [12] S.Baumont, Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France, Observatoire régional de santé d'Ile-de-France, Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ilede-France, École nationale supérieure agronomique de Toulouse (ENSAT), France, 2004.
- [13] Y.Libes Les eaux usées et leur épuration
- [14] J.Pronost, R.Pronost, L.Deplat, J.Malrieu, and J.Berland, Stations d'épuration: dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, et des affaires rurales (FNDAE n°22 bis), document technique, France, 2002.
- [15] M.S.Ouali, Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. Office des publications universitaires, Algérie, 2001.
- [16] M.Henze, Characterization of wastewater for modelling of activated sludge processes. Wat. Sci. Tech, Vol 25, 6, 1992, p: 1-15.
- [17] A.Gaid, Epuration biologique des eaux usées urbaines. Office des publications universitaires, Algérie.
- [18] J.M.Berland, C.Boutin, P.Molle, and P.Cooper, Procédés extensifs d'épuration des eaux usées. Office des publications des communautés européennes, Luxembourg, 2001.
- [19] A.Norström, Treatment of domestic wastewater using microbiological processes and hydroponics in Sweden. Department of Biotechnology, Division of Applied Environmental Microbiology, Royal Institute of Technology, AlbaNova University Center, Stockholm, Sweden, Printed at IntellectaDocuSys AB, Nacka, Sweden, 2005.
- [20] N.J Horan, John Wiley and Sons, "Biological wastewater treatment systems", theory and operation, 1990.
- [21] Rodier .J, "L'analyse de l'eau ", 8ème, édition, Dunod, Paris, 2005.
- [22] Mohammed Saïd M, "Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes". Cas de la Step Est de la ville de Tizi-Ouzou, Thèse de doctorat, Université mouloud mammeri de Tizi-Ouzou, 2012, p 172.
- [23] Suschka.J, ferreira E Activated sludge respirometric measurements, Water Research, (1986), p137-144.
- [24] M.Debabza, Mémoire de Magister en Microbiologie appliquée : Analyse microbiologique des eaux des plages de la ville d'Annaba Evaluation de la résistance aux

antibiotiques des microorganismes pathogènes, Université des sciences de Badji-Mokhtar, Annaba(Algérie), 2005.

[25]Z. Belala, Mémoire de Magister, Etude et traitement de l'eau du barrage Djorf-Eltorba de la wilaya de Bechare par filtration sur sable, Université HassibaBenbouali des sciences et sciences de l'Ingénieur, Bechare (Algérie), 2006, p:128.

[26]A. DahelZanat, Mémoire de Magistère, Analyse de la qualité bactériologique des eaux du littoral Nord-Est algérien à travers un bioindicateur la moule *Perna perna*, UniversitéBadji-Mokhtar, Annaba, 2009, p: 69.

[27]M. HAMED, et al, Thèse d'Ingénieur d'état en Biologie Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF-TORBA, Université des sciences et technologies département des sciences(Bechar), 2012, p: 69.

[28]S. Ghizellaoui, Thèse de magister en chimie analytique et traitement des eaux, Evaluation de la qualité des ressources en eau alimentant la ville de Constantine, prévision de la demande en eau à l'horizon, 2010, p: 13-24.

[29]A. MAIGA, Thèse diplôme d'état (Docteur en Pharmacie) Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière, Bamako (Mali), 2005, p: 77.

[30]K. Seghir, Thèse de Doctorat En Géologie Appliquée Vulnérabilité à la pollution, protection des ressources en eaux et gestion active du sous système aquifère de Tébessa Hammamet (Est Algérien), Faculté des Sciences de la Terre de Badji Mokhtar, Annaba(Algérie), 2008, p: 158.

[31] G.Boari, ,I.M.Mancini and E.Trulli, Technologies for water and wastewater treatment. Séminaires Méditerranéens, Sér. A /n037, Università degli Studi della Basilicata Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell 'Ambiente Potenza, Italy,1997.

[32] P.Roumieu, E.Mazet and P.Ghilhem, ,La modélisation physique d'ouvrages d'assainissement source intéressante de gains technico-Economiques, Colloque SHF « quels modèles physiques pour le XXIème siècle » Lyon, France, 2003.

[33] J.Repšyte and R.Simutis, Process simulator for wastewater treatment plant, Information technology and control, Kaunas, Technologija, Vol 32, 3, 2004 ,pp 14-20.

[34] D.Xanthoulis,Systèmes d'épuration de petites tailles, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Asbl Epuvaleaua, Gembloux, Belgique, 2004.

[35]O.Alexandre,C.Boutin, Ph.Duchène, C.Lagrange, A.Lakel, A.Liénard and D.Orditz, Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités.Technique et documentation Lavoisier (FNDAE N22), Paris, France,1998.

- [36] A.Iwema, D.Raby, J.Lesavre and C. Boutin, *Epuration des eaux usées domestiques par filtres plantes de macrophytes : recommandations techniques pour la conception et la réalisation*.Groupe macrophytes et traitement des eaux, Agence de l'eau, France, 2005.
- [37] R.Bürger, and W.Wendland, *Sedimentation and suspension flows: Historical perspective and some recent developments*. Journal of Engineering Mathematics Vol 41,2001, pp 101-116.
- [38] D.Bixio, C.Thoeye, T.Wintgens, A.Ravazzini, V.Miska, M.Muston, H.Chikurel, A.Aharoni, D.Joksimovic and T.Melin, "Water reclamation and reuse implementation and management issues", *Desalination*, 2008, p13–23.
- [39] OMS, "L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquiculture : recommandation a visées sanitaires",Organisation Mondiale de la Santé, Genève,1989.
- [40] D.Bixio, B.Heyder, H.Chikurel, M.Muston, V.Miska, D.Joksimovic, A.I.Schäfer, A.Ravazzini, A.Aharoni, D.Savic and C.Thoeye, "Municipal wastewater reclamation:where do we stand? An overview of treatment technology and management practice",*Water Science Technology*, 2005, p 77–85.
- [41] D.Ecosse,"Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde",*Qualité et Gestion de l'Eau*, Fac Sciences Amiens, 2001, p 62.
- [42] B.Yazid," Évaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon "Allium cepa", Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, 2014 , p158.
- [43] L.Tamrabet,"Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage",Thèse de doctorat. Université Hadj Lakhdar –Batna, Institut de Génie Civil, d'Hydraulique et d'Architecture, 2011, p 147.
- [44] ONA , "Descriptif de fonctionnement et d'exploitation de la station d'épuration de Guelma", Ministère des Ressources en Eaux, Office National de l'Assainissement, Algérie, (2011), p 64.
- [45] Ouanouki .B, Abdellaoui .N and Ait Abdallah .N, "Application in agriculture of treated wastewater and sludge from a treatment station", *European Journal of Scientific Research*, (2009), p 602-619.
- [46] US NRC, "Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater ", Washington, National Academies Press, (2012), p 262.

- [47] Tamrabet .L, Goléa.D, Bouzerzour.H ,"La réutilisation des eaux usées en agriculture: insuffisances et solutions des méthodes de traitement des effluents en Algérie", Monastir, Tunisie, (2002), 295-302p.
- [48] Sheikh.B, Cooper R.C. and Israel K.E, "Hygienic evaluation of reclaimed water used to irrigate food crops: a case study",Water Science and Technology, 40(4-5), (1999),p 261-267.
- [49] Asano.T, "Wastewater reclamation and reuse", Ed, Water quality management library, (1998), p1475 .
- [50] Peasey.A, Blumenthal .U, Mara .D and Ruiz-Palacios .G, " A review of policy and standards for wastewater reuse in agriculture: A latinamerican perspective", Well. n° 68 partII, (2000), p74 .
- [51] OMS (2006) ," WHO guidelines for the safe use of wastewater", excreta and grey water, volume II, Wastewater use in agriculture, p 222.
- [52] Baumont.S, Camard J.P., Lefranc.A, et Franconi.A," Réutilisation des eaux usées épurées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de France", Observatoire Régional de Santé d'Île-de-France, (2004), p 176 .
- [53]Cauchi.H, Nakache, Schwartzbrod, Zagury, Baron, Carre Courtois, Denis, Derrat, Seguret," La réutilisation des eaux usées après épuration. Techniques", Sciences et méthodes, (1996), p 81-118.
- [54] Gupta.N, Khan D.K. and Snatra.S.C. "An assessment of heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater irrigated areas of Titagarh", West Bengal, India. Bull. Environnement, Contamination, Toxicologie , (2007), p115-118.
- [55] Yang .Y, Zhang F.S, Li H.F,and Jiang R.F,"Accumulation of cadmium in the edible parts of six vegetable species grown in Cd-contaminated soil" ,Environnement, Management,(2008), p1117–1122.
- [56] TABET Mouna, "Etude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration",THESE diplôme de Doctorat, UNIVERSITE 8 MAI 1945-GUELMA, (2015) ,p 20.
- [57] Tamrabet .L, Goléa .D, Bouzerzour .H," La réutilisation des eaux usées en agriculture: insuffisances et solutions des méthodes de traitement des effluents en Algérie", Monastir, Tunisie, (2002), p 295-302.
- [58]Garban.B, Ollivon.D, Teil.M.J , Blanchard.M, Blanchoud.H, Motelay-Massei.A, Chesterikoff.C, Hanselin.L, Rolet.J, Le Genti.J, et Chevreuil.M, "Activités humaines et transferts de polluants organiques persistants (POP)", Laboratoire Hydrologie et Environnement, Université Pierre et Marie Curie, Paris, (2003), p 36.

- [59] Jiries.N.G, Al Nasir.F.M , and Beese.F, "Pesticide and heavy metals residue in wastewater , soil and plants in wastewater disposal site near Al-Lajoun Valley, Karak, Jordan. Water, Air and Pollution,(2002), p 97-107.
- [60] Cauchi.H, Nakache, Schwartzbrod, Zagury, Baron, Carre, Courtois, Denis, Dernas, Seguret , "La réutilisation des eaux usées après épuration", Techniques, Sciences et méthodes, (1996), p 81-118.
- [61] Miquel .G,"La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Office Par le mentaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques", Tome I, (2003), p198.
- [62] Sou.Y," Recyclage des eaux usées en irrigation : potentiel fertilisant, risques sanitaires et impacts sur la qualité des sols", Thèse de Doctorat à la faculté environnement naturel, architectural et construit, Laboratoire d'Eco hydrologie, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse), (2009) , p16.
- [63] Blumenthal.U.J, Peasey.A, Ruiz-Palacios.G and Mara.D.D," Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence", WELL 128 Study, Task N° : 68 Part 1, London School of Hygiene & Tropical Medicine, UK WEDC, Loughborough University (UK), (2000),p 67.
- [64] TABET Mouna , " Etude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration", THESE De Doctorat, UNIVERSITE 8 MAI 1945-GUELMA,(2015),p 23.
- [65] Belaid.N, "Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb.S fax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques", thèse de doctorat, Université de Limoges, (2010),p236.
- [66] Ayers .R.S et Westcot .D.W,"Water quality for agriculture", FAO,Irrigation and drainage paper.N° 29 Rev. 1 FAO, Rome,(1994),p 174.
- [67] Mouchot.A, "La chaleur solaire et ses applications industrielles", Paris : Gauthier-Villars, (1879), p 233-238.
- [68] Daniel Farrington, "Direct use of the sun's energy", Yale University Press, New Haven, (1964), Chapter 10, Distillation of water, p 167-195.
- [69] Kalogiro.S, "Seawater desalination using renewable energy sources", Progress in Energy and Combustion Science,(2005), p 242-281.
- [70] Maria Telkes, "Solar distiller for life rafts", US Office of Science, Report N°525, June 1945, P 21120,.

- [71] Gomella.C," Contribution à l'étude de la distillation solaire les résultats industriels acquis en Algérie aperçu sur l'importance de l'énergie thermique", Colloques internationaux du Centre National de la Recherche Scientifique, France 1961.
- [72] L.G. Savornin, Etude sur l'Evaporation et la Condensation de l'Eau dans les Distillateurs Solaires, Application Thermique de l'Energie Solaire dans le Domaine de la Recherche et de l'Industrie, Colloques Internationaux, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), 1961, 589–600.
- [73] A. Mefti, M.Y. Bouroubi, H. Mimouni, Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N° 2, P12, décembre 2002.
- [74] Boutbila Hichem, "Etude et conception d'un distillateur solaire à usage agricole", thèse de doctorat, Université des Frères Mentouri, Constantine-1, 2012.
- [75] Mokhnache Islam ,mémoire de master « Simulation Numérique du Comportement Thermique d'un Distillateur Solaire », Université Larbi Ben M'hidi Oum-El-Bouaghi ,p7-8,2018.
- [76] Sivakumar.V, Ganapathy.S.E,"Improvement techniques of solar still efficiency: A review", RenewSusta.
- [77] Boutriaa Abdelouahab, "Étude et réalisations d'un nouveau distillateur solaire", thèse de doctorat, Université Larbi Ben M'Hidi, Oum El Bouaghi,2018.
- [78] fsnv.univ-bba.dz/TP_Microbiologie_de_l'environnement_Zerroug_A,2018