



**UNIVERSITE KADI AYYAD**  
**Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech**  
**Département des sciences de la terre**

**MEMOIRE**  
**DU PROJET DE FIN D'ETUDES**  
**Licence Sciences et Techniques**  
**Option Eau et Environnement**

**Etude du Rendement de traitement tertiaire par  
le rayonnement ultraviolet  
Exemple de la station d'épuration M'zar  
(Région d'Agadir, Maroc)**

**Réalisé par :**  
**Fouzia ABANNAIM**

**Encadrée par Mohamed el Mehdi SAIDI**

**Soutenu le 04 mars 2014 devant la commission d'examen :**

**Khadija EL HARIRI      Professeur à la FST Marrakech**  
**Mohamed el Mehdi SAIDI Professeur à la FST Marrakech**  
**Mustapha MOUTI      Responsable du laboratoire de la RAMSA (co-encadrant)**

*Année universitaire: 2013-2014*

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>5</b>
<b>Partie I : Présentations générales.....</b>	<b>7</b>
<b>I. Présentation de la régie autonome multi-services d'Agadir.....</b>	<b>8</b>
I.1. Tâche de la RAMSA.....	8
I.2. Zone d'action de la RAMSA : .....	8
I.3. Objectifs de la RAMSA .....	9
I.4. Réutilisation des eaux usées par la RAMSA.....	9
<b>II. Les eaux usées .....</b>	<b>9</b>
II.1. Définition .....	9
II.2. Types des eaux usées : .....	9
<b>III- Quelques types de procédés d'épuration :.....</b>	<b>10</b>
III.1. Boues activées : .....	10
III.2. Infiltration-percolation .....	10
III.3. Lagunage naturel.....	11
<b>IV. Procédés de désinfection des eaux usées :.....</b>	<b>11</b>
IV.1. Chloration.....	12
IV.2. Ozonation.....	12
IV.3. Désinfection par le rayonnement UV.....	13
IV.3.1. Principe de fonctionnement .....	13
IV.3.2. Réacteurs BIO-UV .....	14
<b>V. Station d'épuration M'zar .....</b>	<b>15</b>
V.1. Caractéristiques de la station d'épuration M'zar.....	15
V.2. Localisation de la station d'épuration M'zar.....	16
V.2. Etapes de traitement des eaux usées à la station M'zar.....	16
<b>Partie II : Traitement des eaux usées par le rayonnement UV.....</b>	<b>21</b>
<b>I. Traitement des eaux usées par le rayonnement UV .....</b>	<b>22</b>
I.1. But et principe de fonctionnement de rayon UV .....	22
I.2. Appareillage : .....	22
I.3. Dose efficace : .....	23
I.4. Avantages et inconvénients de rayonnement UV : .....	24
<b>II. Mécanismes de traitement des eaux usées par le rayonnement UV .....</b>	<b>24</b>
<b>III. Inactivation des Virus et des bactéries.....</b>	<b>26</b>
<b>IV. Phénomène de photoréactivation .....</b>	<b>27</b>
IV.1. Définition de photoréactivation.....	27
IV.2. Etapes de la photoréactivation .....	27
<b>V. Paramètres influençant l'efficacité de la désinfection .....</b>	<b>28</b>
V.1. Temps d'exposition .....	28
V.2. Intensité UV émise par les lampes .....	28
V.3. Dose UV.....	29
<b>Partie III :Méthodes expérimentales .....</b>	<b>30</b>
<b>I. Paramètres analysés : .....</b>	<b>31</b>
I.1. Paramètres physico-chimiques .....	31
I.1.1. pH.....	31
I.1.2. Température .....	32

I.1.3. Conductivité .....	32
I.1.4. Matières en suspension .....	33
I.1.5. Turbidité.....	33
I.1.6. Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	35
I.1.7. Demande Biochimique en Oxygène (DBO5).....	35
I.2. Paramètres bactériologiques .....	35
I.2.1. Méthode filtration sur membrane .....	36
I.2.2. Méthode nombre plus probable .....	39
<b>II. Résultats et discussion .....</b>	<b>40</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>48</b>

## Liste des Figures

Figure 1 : Zone d'action de la RAMSA .....	8
Figure 2 : spectre d'absorption du rayonnement ultra-violet .....	14
Figure 3 : Types des réacteurs UV .....	15
Figure 4 : Localisation de la station d'épuration M'zar.....	16
Figure 5 : Déshuilage-dessablage .....	17
Figure 6 : Traitement primaire : décanteur .....	18
Figure 7: Traitement secondaire : filtre à sable .....	19
Figure 8: Les boues après séchage .....	20
Figure 9 : Installation de désinfection par UV –traitement tertiaire .....	23
Figure 10 : Portion d'efficacité en fonction de la longueur d'onde émise par la lampe UV.....	24
Figure 11 : Double hélice de l'ADN et les deux paires de ses bases.....	25
Figure 12: Spectre d'absorption relatif des bases de l'ADN et l'ARN .....	26
Figure 13 : Dimérisation photochimique de deux bases de thymine .....	26
Figure 14 : pH mètre .....	32
Figure 15 : Conductimètre.....	33
Figure 16 : Turbidimètre .....	35
Figure 17 : Résultats après incubation.....	39
Figure 18 : Evolution de la température durant les étapes de traitement .....	40
Figure 19 : Evolution du pH selon les étapes de traitement.....	41
Figure 20 : Evolution de la conductivité électrique durant les étapes de traitement .....	42
Figure 21 : Evolution de la MES durant les étapes de traitement.....	43
Figure 22 : Evolution de la turbidité .....	44
Figure 23 : Evolution de la DCO au cours du traitement .....	45
Figure 24 : Evolution de la DBO5 au cours du traitement .....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 25 : Evolution de la teneur en bactéries dans les différentes étapes de traitement .....	46
Figure 26 : Taux d'abattement dans les différentes étapes de traitement.....	47

## Liste des abréviations

ADN : Acide désoxyribonucléique

ARN : Acide ribonucléique

CE : Conductivité Electrique

CF : Coliformes Fécaux

CT : Coliforme Totaux

DBO<sub>5</sub> : Demande Biochimique en Oxygène durant 5 jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

ED : Entrée décanteur

EF : Entrée filtre

ER : Entrée réacteur

MES : Matières En Suspension

NPP : Nombre le Plus Probable

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

RAMSA : Régie Autonome Multiservices d'Agadir

SF : Stréptocoques Fécaux

SR : Sortie réacteur

STEP : Station de Traitement des Eaux Polluées

UV : Ultra-Violet

UFC : Unité Formant Colonie

# INTRODUCTION

La réutilisation des eaux usées est une pratique très répandue dans les régions du monde affectées par des pénuries de ressources en eau , l'irrigation de cultures ou d'espaces verts des agglomérations est le mode le plus répandu de leurs utilisations .

Les eaux usées peuvent véhiculer des nombres importants de microorganismes pathogènes (des bactéries pathogènes, des protozoaires...) et des substances chimiques, le traitement de ces eaux est donc indispensable afin de les ramener à des normes et d'éviter la transmission des maladies.

Les procédés d'épuration primaire et secondaire sont capables d'éliminer dans des proportions variables les matières en suspension et les matières organiques, mais aucune d'elle n'offre une véritable protection vis-à-vis des risques sanitaires par élimination complète des œufs de parasites. Pour cela, on a recourt à des techniques de désinfections qui sont soit chimiques : utilisation du chlore et de ses dérivés, soit physique : rayonnement ultra-violet.

Dans le but d'étudier l'efficacité de désinfection des eaux usées par le rayonnement ultra-violet au sein de la station d'épuration M'zar, nous avons effectué des analyses microbiologiques sur des échantillons d'eau à l'entrée et à la sortie de réacteur BIO-UV, ainsi que des analyses physicochimiques.

Ce travail est réalisé en collaboration entre la Faculté des Sciences et Technique de Marrakech et la Régie Autonome Multi-services d'Agadir.

Ce présent mémoire est subdivisé en trois parties, la première comporte une présentation sur l'organisme d'accueil, des généralités sur des stations d'épurations et des différents procédés de désinfection. La deuxième partie

explique le mécanisme de la désinfection par rayonnement ultra-violet. La troisième partie est consacrée aux résultats et aux interprétations.

# Partie I : Présentations générales



# I. Présentation de la régie autonome multi-services d'Agadir

## I.1. Tâche de la RAMSA

La RAMSA ou la Régie Autonome Multi-Services d'Agadir, est un établissement public à caractère industriel et commercial créée en 1989. La mission qui a été confiée à la RAMSA selon le cahier de charge qui la régit est d'assurer la gestion des réseaux de distribution de l'eau potable, et à partir de 1993, l'installation d'assainissement des eaux usées sur son territoire d'action.

La Régie veille alors sur :

.L'alimentation des citoyens et organisation de son périmètre d'action de l'eau potable dans de bonnes conditions de qualité et de débit.

La collecte, le transport, l'évacuation et éventuellement le traitement des eaux pluviales, ménagères ou usées ;

La réalisation, l'exploitation et l'entretien d'ouvrages (réservoirs, stations de pompage, canalisation, station de relevage et d'épuration) afin d'assurer la réalisation de sa mission.

## I.2. Zone d'action de la RAMSA :

La RAMSA agit sur les communes urbaines d'Agadir, de Dcheira, d'Inezgane, d'Ait melloul et la commune rurale d'Aourir, assainissement liquide et distribution de l'eau potable.

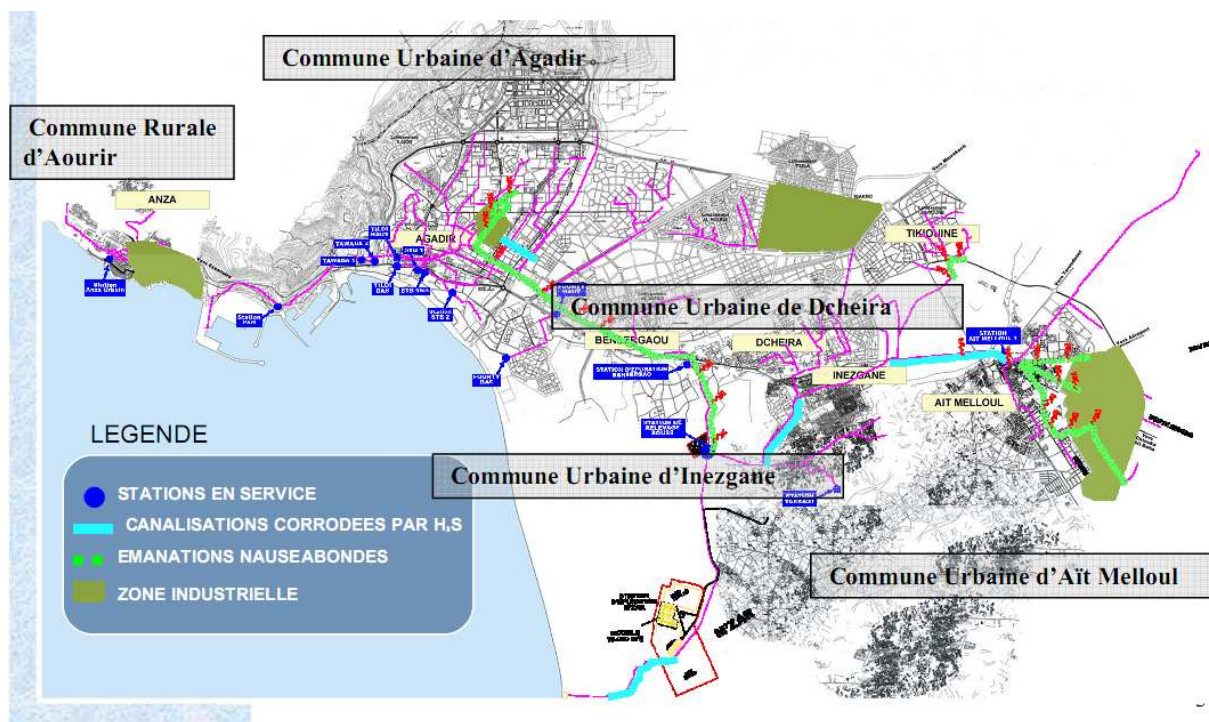


Figure 1: Zone d'action de la RAMSA

### **I.3. Objectifs de la RAMSA**

La régie vise à supprimer la pollution au niveau de l'oued souss, améliorer la qualité des eaux de baignade de la baie d'Agadir et contribue aussi à la réduction du déficit hydrique par la réutilisation des eaux usées .

### **I.4. Réutilisation des eaux usées par la RAMSA**

Actuellement la RAMSA utilise les eaux épurées en irrigation des golfs. Le Golf de l'océan est desservi par les eaux épurées (4 000 m<sup>3</sup>/j en moyenne et 4800 m<sup>3</sup>/j en pointe) de la station de traitement M'zar et celles de la station expérimentale de Bensergao (300 m<sup>3</sup>/j).

## **II. Les eaux usées**

### **II.1. Définition**

Les eaux usées sont toutes les eaux chargées de différentes substances telles que les détergents, les urines, les matières fécales, les huiles, les microorganismes (bactéries, virus, parasites), les pesticides, les engrais..., provenant de la population mais aussi des activités commerciales et industrielles du fait qu'elles ont été utilisées pour le lavage ou les toilettes, qui sont de nature à polluer les milieux dans lesquelles elles seront déversées. C'est pourquoi, dans un souci de respect de ces différents milieux, des traitements sont réalisés sur ces effluents par le réseau d'assainissement urbain.

Ces traitements peuvent être réalisés de manière collective dans une station d'épuration ou de manière individuelle. La plupart des stations d'épuration fonctionnent selon les mêmes processus de base, mais des différences plus ou moins importantes peuvent exister dans la manière de mettre en place ces processus. Le traitement se divise généralement en plusieurs étapes.

### **II.2. Types des eaux usées :**

Généralement, on distingue plusieurs grandes catégories d'eaux usées :

**Eaux usées domestiques :** sont issues des habitations. Elles sont principalement polluées par des matières organiques. Elles comprennent :

- les eaux « ménagères » d'évacuation des cuisines et salle de bains. Elles sont polluées par des détergents, les lessives et les graisses, les eaux de vaisselle.
- les eaux « vannes » d'évacuation des toilettes. Ils sont constitués de matières organiques dégradables et de matières minérales. Ces substances sont sous forme dissoute et en suspension.

**Eaux usées industrielles :** leurs caractéristiques sont extrêmement variables et sont directement liées au type d'industrie agroalimentaire, chimique, minière ou autre. Après des premiers traitements spécifiques, les eaux usées industrielles sont assimilables à des eaux usées domestiques, ce qui permet leur rejet dans un réseau de collecte public.

**Eaux usées agricoles :** issues des élevages. Elles sont polluées notamment par les déjections des animaux.

**Eaux pluviales :** peuvent être fortement polluées en particulier en début de pluie du fait du lessivage des fumées dans l'atmosphère, du lavage des chaussées grasses et des toitures chargées de poussière, du lessivage des zones agricoles traitées (écoulement de purin, épandage d'engrais et de désherbants) et des zones de terrassements (écoulement de boues). Les polluants présents dans ces eaux peuvent être des matières organiques biodégradables ou non, des matières en suspension ou dissoute, des toxiques.

### **III- Quelques types de procédés d'épuration :**

#### **III.1. Boues activées :**

Les installations à boues activées fonctionnent selon le principe des cultures libres. Il s'agit d'un système d'épuration aérobie, c'est-à-dire nécessitant un apport d'oxygène. La culture bactérienne est maintenue dans un bassin aéré et brassé. Un système d'aération permet à la fois d'apporter l'oxygène nécessaire à l'épuration et de brasser les eaux usées. Ce brassage est indispensable pour homogénéiser le mélange et éviter les dépôts. Les matières organiques contenues dans l'eau se transforment en carbone (sous la forme de dioxyde de carbone - CO<sub>2</sub>) sous l'action des bactéries. Les résidus ainsi formés, contenant ce stock de bactéries, sont appelés : boues.

La dégradation de la matière dépend à la fois de la biomasse, la durée de rétention peut être de plusieurs heures à quelques jours et par l'augmentation de la hauteur d'eau pour obtenir des rendements d'élimination élevés.

#### **III.2. Infiltration-percolation**

L'infiltration-percolation est une technique d'épuration qui est basée sur l'activité du sol ou sable utilisé, Ce modèle est intéressant par la simplicité de sa mise en œuvre et par son coût faible d'exploitation ainsi que par ses performances en termes des rendements d'épuration.

Les phénomènes physiques, chimiques et biologiques mis en jeu pour l'épuration par

le système infiltration percolation sont :

- la filtration et la sédimentation des particules au niveau des pores du sol ;
- l'échange ionique, l'adsorption et la précipitation de sels dissous ;
- la biodégradation de la matière organique.

Le fonctionnement du système est basé sur la succession de périodes d'inondation et de dessiccation, ces dernières étant destinées à éviter la prolifération d'algues et à maintenir des conditions aérobies dans le sol pour permettre l'oxydation de la matière organique et entretenir une capacité d'infiltration élevée. En effet, les dépôts accumulés dans les pores, entravant l'aération du sol et favorisant la prolifération de bactéries anaérobies, peuvent entraîner un colmatage limitant fortement le fonctionnement du système.

### **III.3. Lagunage naturel**

Le lagunage consiste à établir un écoulement lent par gravité des eaux usées dans plusieurs bassins de rétention peu profonds en éliminant le risque d'infiltration dans les eaux souterraines. Pour cela, les bassins sont rendus étanche par la mise en place d'une géomembrane synthétique, ou plus rarement par une couche d'argile compactée.

Comme dans toute station d'épuration collective, l'eau usée est généralement prétraitée au préalable par un dégrilleur (élimination des déchets solides grossiers de type bouteilles, branches,...) et éventuellement un dégraisseur/dessableur (décanteur et insufflateur d'air, dimensionnés pour des vitesses ascensionnelles rapides et permettant la décantation du sable et la flottation des graisses).

Les premiers bassins sont des bassins à micro-organismes, où est dégradée la matière organique contenue dans les eaux usées. L'eau transite ensuite dans des bassins moins profonds, dont le but est le traitement de l'azote (généralement transformé en nitrates lors de la dégradation de la matière organique par les micro-organismes) et du phosphore. La photosynthèse favorise le développement de microphytes (planctons, algues) qui consomment de l'azote et du phosphore.

## **IV. Procédés de désinfection des eaux usées :**

Le risque sanitaire majeur posé par la réutilisation des eaux usées est lié à la présence potentielle dans ces eaux de micro-organismes pathogènes (bactéries pathogènes, virus entériques, kystes protozoaires, parasites...), les traitements complémentaires, au stade

tertiaire, ont donc pour objectif principal la désinfection. Ils sont trois types :

#### **IV.1. Chloration**

Le chlore est un agent oxydant fort qui réagit facilement avec plusieurs substances organiques et inorganiques trouvées dans les eaux usées, il est particulièrement efficace pour détruire les bactéries, mais moins efficace contre les virus. Le chlore est utilisé sous les formes suivantes : chlore gazeux, hypochlorite de sodium (eau de javel) ou bioxyde de chlore.

Au plan économique, il s'agit d'une technologie dont les coûts sont les plus faibles parmi toutes les techniques éprouvées, au plan de la sécurité, la manipulation du chlore, notamment sous forme gazeuse, nécessite d'importantes mesures de protection pour le personnel de la station d'épuration et représente un risque pour la sécurité publique lors du transport.

Enfin, au plan environnemental, le traitement tertiaire des eaux usées au chlore peut avoir un impact significatif sur la vie aquatique à cause de la toxicité, aiguë et chronique du chlore résiduel, de plus, il réagit avec certaines matières organiques contenues dans les eaux usées, même traitées, pour former des sous-produits organochlorés, dont certains sont cancérogènes.

#### **IV.2. Ozonation**

L'ozone est un gaz instable que l'on doit générer sur place, dans les stations d'épuration au moyen d'une décharge électrique produite dans de l'air ou de l'oxygène, l'opération consiste à transformer l'oxygène sous forme  $O_2$  en oxygène sous forme  $O_3$ .

Parmi les avantages de l'ozone, citons son action très rapide et efficace sur les bactéries et les virus, ainsi que sa faible propension à générer des produits secondaires indésirables.

L'ozonation ne nécessite aucun transport de produits chimiques et est plus sécuritaire pour le personnel de la station d'épuration, ces inconvénients sont essentiellement d'ordre économique, le procédé entraîne des coûts élevés d'investissement et d'exploitation, l'ozonation est donc une solution de traitement tertiaire des eaux usées intéressante, mais ses coûts la rendent généralement peu attrayante.

### **IV.3. Désinfection par le rayonnement UV**

La désinfection des eaux par le rayonnement UV a été abordée dès 1910, ce n'est qu'à partir des années 70 qu'elle s'est effectivement développée, actuellement elle est répandue en Amérique du Nord, on y compte plus de 1000 installations, depuis des petites ( $30\text{m}^3/\text{j}$ ) jusqu'à de grandes stations ( $300\ 000\ \text{m}^3/\text{j}$ ), elle est considérée comme la meilleure alternative.

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

#### **IV.3.1. Principe de fonctionnement**

La lumière ultraviolette (UV) est un rayonnement électromagnétique qui se déplace par ondes dans toutes les directions à partir de la source émettrice (lampe), le spectre lumineux de rayonnement UV est situé entre celui de rayons X et la lumière visible; sa longueur d'onde varie de 200 à 390 nanomètres (nm).

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

- spectre UV-A : de 315 à 400 nm
- spectre UV-B : de 280 à 315 nm
- spectre UV-C : de 180 à 280 nm

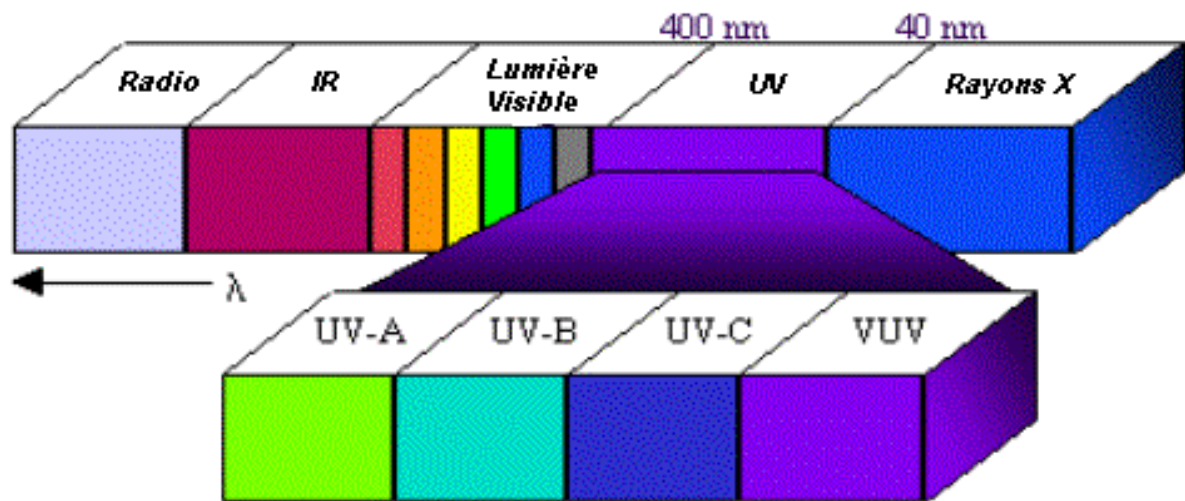


Figure 2 : spectre d'absorption du rayonnement ultra-violet

### IV.3.2. Réacteurs BIO-UV

On peut rencontrer deux types des réacteurs, les réacteurs fermés sous pression : ils sont utilisés essentiellement pour la potabilisation des eaux, les réacteurs ouverts appelés aussi canaux ouverts, ils sont utilisés pour la désinfection des eaux usées : les lampes y sont regroupées par modules avec un alignement vertical, dans toutes ces configurations

La source d'émission UV utilisée en désinfection est les lampes à vapeur de mercure, il s'agit de lampes à arc électrique qui provoque l'excitation des atomes de mercure, puis l'émission de radiations par retour à leur état fondamental, le spectre d'émission des lampes dépend de la pression de mercure dans les lampes

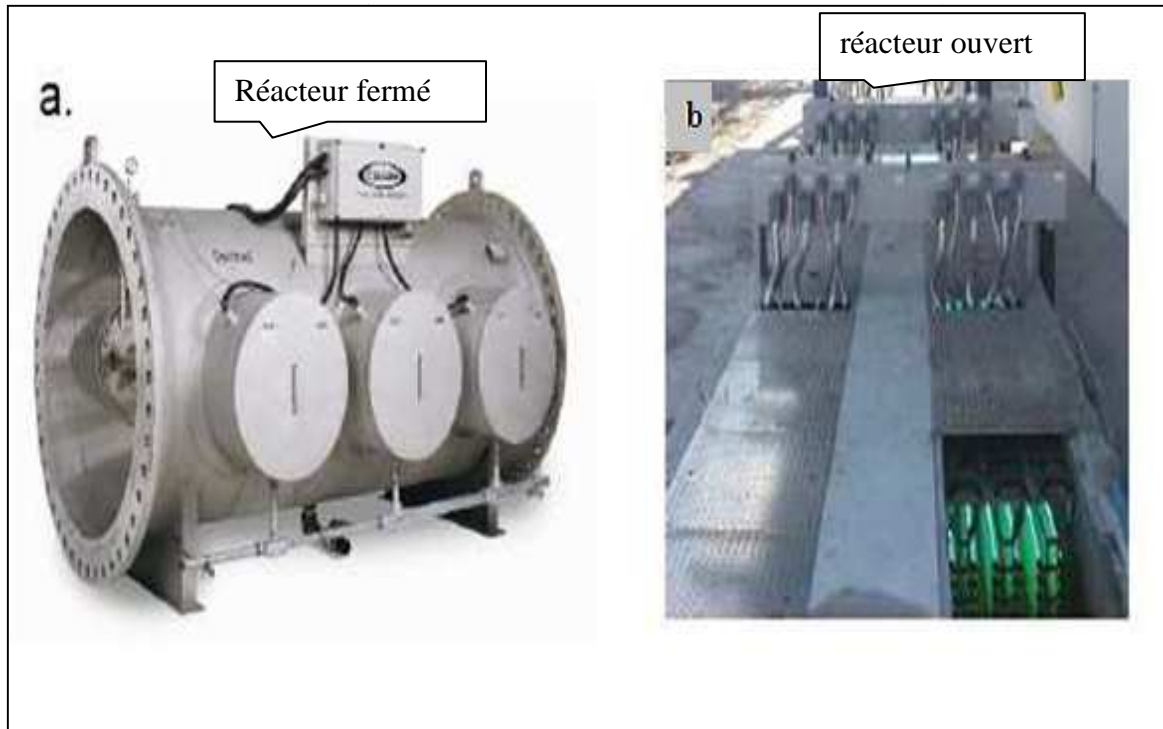


Figure 3 : Types des réacteurs UV

## V. Station d'épuration M'zar

### V.1. Caractéristiques de la station d'épuration M'zar

La station de M'zar construite en 2002 sur le site des dunes de M'zar dans l'enceinte du parc national Souss Massa. La totalité des eaux usées des villes d'Inezgane, de Dcheira, d'Aït Melloul et de Tikiouine et 70% de celles de la ville d'Agadir (32 000 m<sup>3</sup>/j) sont acheminées vers la station de relevage Souss, puis refoulées vers le site de la station M'zar où elles subissent une épuration primaire par décantation anaérobie, et une épuration secondaire par infiltration-percolation sur sable, 44 000 m<sup>3</sup>/j de ces eaux seront rejetés après une épuration primaire sur la plage de M'zar, débarrassées de 50 à 60 % de la pollution, le reste de ces eaux est récupéré vers la salle de désinfection, cette station fonctionne selon le procédé infiltration-percolation et dispose actuellement de 13 bassins de décantation et 10 autres sont en cours de la construction. Ce projet permettra d'améliorer l'usage rationnel des ressources hydriques et la préservation des eaux de surface et des eaux souterraines, et en même temps l'irrigation des espaces verts, des golfs et des jardins de la ville d'Agadir, le Golf de l'Océan est actuellement desservi par les eaux épurées désinfectées par UV avec une moyenne de 4 000 m<sup>3</sup> / jour.



## V.2. Localisation de la station d'épuration M'zar

Le site de la station d'épuration de M'zar est situé à 4 km environ au sud de la ville d'Agadir en rive gauche de l'Oued Souss sur les dunes côtières de M'zar, La limite ouest du site est à environ 1500m de la mer et le nord de celui-ci est à une distance équivalente du lit du Souss.

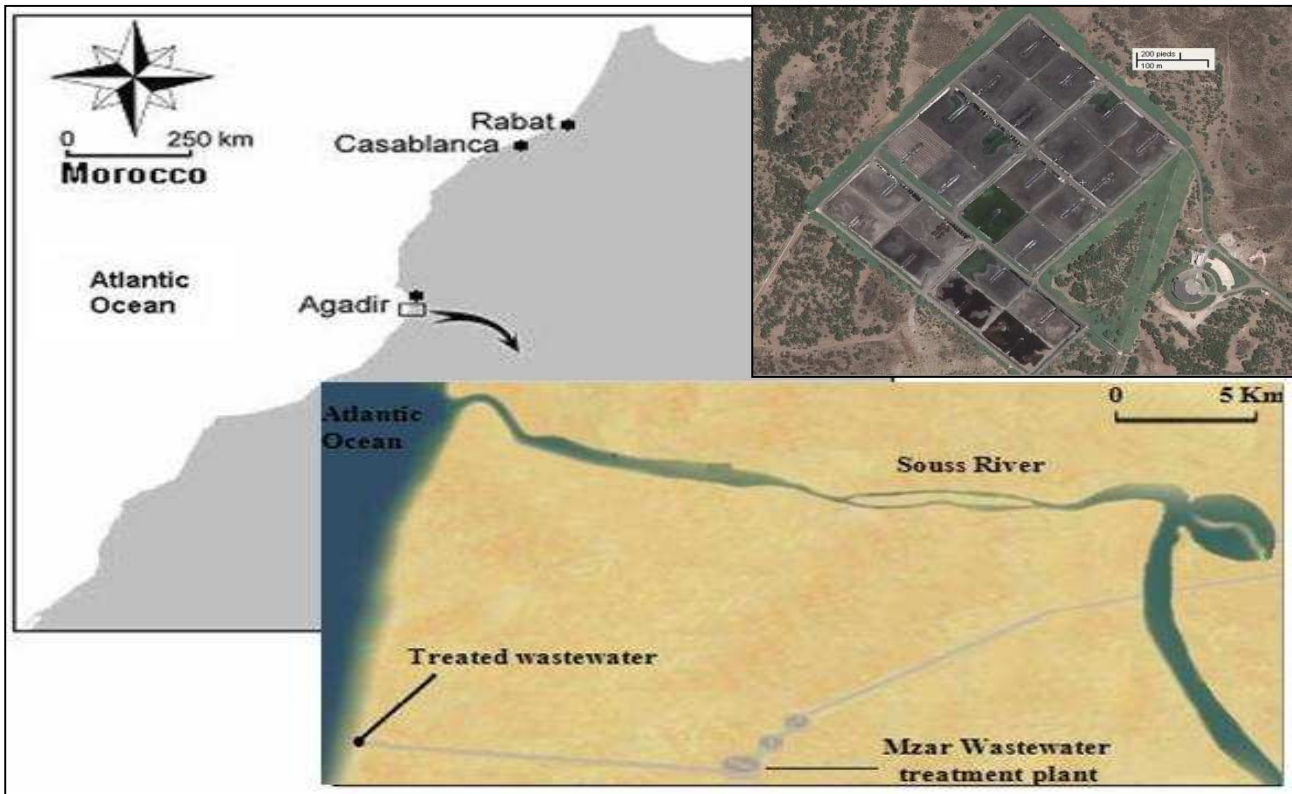


Figure 4 : Localisation de la station d'épuration M'zar

## V.2. Etapes de traitement des eaux usées à la station M'zar

### V.2.1. Prétraitement

Les eaux usées sont collectées et transportées vers la filière de prétraitement situé à Oued Souss, Cette étape permet de supprimer de l'eau les éléments qui gêneraient les phases suivantes de traitement, cette procédure consiste en trois étapes principales :

**Dégrillage :** Le dégrillage permet de retirer mécaniquement de l'eau les déchets insolubles tels que les branches, les plastiques, serviettes hygiéniques etc. Pour ce faire, l'eau usée passe à travers une ou plusieurs grilles dont les mailles sont de plus en plus serrées, c'est le cas dans la station de Souss, où on trouve deux types de dégrillages : Celles-ci sont en général équipées de systèmes automatiques de nettoyage pour éviter leur colmatage, la matière retenue par les dégrillages ainsi que les produits flottants sont pressés pour éliminer l'eau avant de les envoyer à la décharge.



Dégrillage grossier

Dégrillage fin

**Dessablage** : La réduction de vitesse d'écoulement dans le bassin permet la décantation des matières lourdes essentiellement non putrescible (graviers, sable, éléments métalliques), ces derniers seront récupérés par pompage.

**Déshuilage** : Il se base également sur la réduction de vitesse d'écoulement des eaux afin de faire flotter les graisses, cette flottation est accélérée par l'injection de microbulles d'air dans le fond, Les graisses sont ensuite raclées en surface, cette technique permet d'éliminer 80 à 90% des graisses et matières flottantes (soit 30 à 40 % des graisses totales).



Figure 5 : Déshuilage-dessablage

### V.2.2. Traitement primaire

La décantation consiste uniquement à séparer la phase solide (matières en suspension) de la phase liquide par différence de masse volumique avec un temps de rétention hydraulique des effluents de l'ordre de 2,5 jours. Les bassins décanteurs sont suffisamment profonds pour présenter un volume important réservé au stockage des boues qui subissent une digestion anaérobie au sein même de l'ouvrage, ce système d'épuration partielle des eaux usées est un

système qui ne nécessitent aucun équipement électromécanique, l'entretien étant simple et les coûts de fonctionnement sont réduits. La seule force qui intervient est la force de gravité.



Figure 6 : Traitement primaire : décanteur

### **Caractéristiques**

- Capacité de traitement : 75 000m<sup>3</sup>/j
- Nombre des décanteurs : 13
- Longueur du décanteur : 115 m
- Largeur du décanteur : 35 m
- Profondeur du décanteur à la zone de dépose : 6,59 m
- Profondeur du décanteur à la zone de lagunage : 4,24 m
- Volume total des décanteurs : 210,000 m<sup>3</sup>
- Abattement de 40 à 60 % de MES, DCO et DBO5

### **IV.2.3. Traitement secondaire**

L'épuration des eaux par ce procédé consiste à faire percoler lentement les eaux à travers un milieu granulaire dans lequel on maintient un écoulement non saturé d'eau et selon un mode d'apport séquentiel qui fait alterner les périodes d'alimentation (3 jours de fonctionnement successifs) et les périodes de chômage (2 jours de repos) ce procédé d'épuration repose sur deux mécanismes :

- Mécanismes physiques : rétention à la surface du filtre de la quasi-totalité des matières en suspension de l'effluent et des plus gros micro-organismes pathogènes (parasites) ; les particules sont soit bloquées au niveau des pores du sable, soit fixées par adsorption.
- Mécanismes biologiques : Oxydation des substances organiques et de l'azote oxydable dissous dans l'effluent au cours de sa percolation lente et en présence de l'oxygène de phase gazeuse du filtre ; la dégradation des micro-organismes (germes) bloqués dans les pores ou adsorbés à la surface des grains.



Figure 7 : Traitement secondaire : filtre à sable

### **Caractéristiques**

- Débit à traiter :  $10\,000\text{m}^3/\text{j}$
- Nombre de filtres : 24
- Surface de chaque filtre :  $5000\text{ m}^2$  environ
- Epaisseur du filtre : 2 m de sable
- Epaisseur du gravier : 0,5m
- Vitesse d'infiltration :  $1\text{m}/\text{j}$

### **IV.2.4. Traitement des boues**

La station d'épuration M'zar produit un volume important des boues extraites du



décanteur primaire et des filtres à sable, les boues ont une teneur en eau voisine de 85%, le traitement des boues comprend toutes les opérations nécessaires à modifier les boues fraîches en vue de leur réutilisation en agriculture ou pour le cas de la STEP M'zar qui consiste à leur évacuation vers la décharge public d'une manière économique, ces boues produites sont acheminées vers les Lits de Séchage des Boues mécaniquement où ils se déshydratent.

Le temps de séchage est en fonction des conditions climatiques et la siccité obtenue après trois semaines à un mois de séchage peut être de l'ordre de 40 voire 60 % dans le cas d'un ensoleillement optimum comme cela peut être à Agadir.



Figure 8: Les boues après séchage

### **V.2.5. Traitement tertiaire**

Le traitement tertiaire adopté à la STEP M'zar est la désinfection par les rayons ultraviolets, cette technique consiste à reproduire dans un réacteur adapté des rayons ultraviolets semblables à ceux émis par le soleil, mais à plus forte intensité, ces rayons ultraviolets émettent une longueur d'onde spécifique, attaquent les cellules des micro-organismes et stoppent la duplication de leur ADN, les micro-organismes sont alors inactivés, sans modifications de la qualité physico-chimique de l'eau traitée et réalisé dans des réacteurs fermés, où l'eau à traiter transite entre des lampes qui irradiant en quelques secondes le fluide.

# **Partie II :**

# **Traitement des**

# **eaux usées par le**

# **rayonnement UV**

## **I. Traitement des eaux usées par le rayonnement UV**

La désinfection : c'est l'étape ultime de traitement de l'eau de consommation avant la distribution, elle permet d'éliminer tous les micro-organismes pathogènes dans l'eau, il peut subsister dans l'eau quelques germes banals.

La désinfection des eaux dans la station M'zar se fait au rayons UV. 10000 m<sup>3</sup>/jour des eaux qui a subi un traitement primaire et secondaire sera dirigé vers un traitement tertiaire.

### **I.1. But et principe de fonctionnement de rayon UV**

Les rayons ultras- violets sont une onde électromagnétique et regroupent des fréquences oscillants entre 10et 400 nm.

Ces radiation UV ont une action photochimique sur les corps, action qui se manifeste par des réactions très divers telles que :

- pigmentation de la peau.
- Vitamination des produits alimentaires.
- Destruction des micro-organismes.
- Formation d'ozones.

L'action stérilisante est due à la perturbation apporté par les radiation ultra-violettes dans la structure chimique des constituants de la cellule vivante et par suite de leur fonctionnement suivant la quantité d'énergie UV reçue ,la cellule vivante sera stérilisée (effet bactériostatique) soit détruite (effet bactéricide).

L'effet bactériostatique dans le cas d'une absorption modérée d'énergie UV, permet à la cellule de continuer à vivre mais sans avoir la possibilité de se reproduire .cette cellule est donc condamnée à disparaître.

L'effet bactéricide, dans le cas d'une absorption d'énergie supérieure à une certaine dose, permet la direction générale de la santé est de 2500 micro watt seconde par cm<sup>3</sup>.

### **I.2. Appareillage :**

L'appareil de traitement UV adopté dans la station M'zar se compose d'une ou plusieurs lampes placées dans des gaines de quartz pour être isolées thermiquement de l'eau. Ces lampes peuvent être assemblées dans un tube cylindrique ( appareil de type fermés ) ou dans un canal ( appareil de type ouvert ), dans les deux cas l'eau circule, au voisinage des lampes de gaines de quartz se trouvent confinées dans un réacteur qui, suivant la pression de

fonctionnement est construit en acier inoxydable ,acier zingué à chaud ou polyéthylène à haute densité.

L'ensemble est recommandé par une armoire électrique assurant l'allumage des lampes, leur fonctionnement, le comptage des heures de fonctionnement et d'une alarme indiquant un éventuel dysfonctionnement.

Le bon fonctionnement de l'appareil nécessite une eau de bonne transmittance , c'est-à-dire une turbidité inférieure à 1NTU.



Figure 9 : Installation de désinfection par UV –traitement tertiaire

### **I.3. Dose efficace :**

L'énergie consommée par la désinfection varie en fonction de l'adsorption du rayonnement par l'eau à traiter (turbidité, présence de métaux, matières organique ...) cette énergie se situe généralement entre 15 et 40 Wh par mètre cube d'eau traitée.

Les réacteurs à ultraviolet sont dimensionnés en fonction du débit des pompes, car c'est la combinaison du temps de contact dans le réacteur et de la puissance de la (ou des) lampe(s) qui permettra de garantir une dose (exprimée en milli joules par centimètre carré - mJ/cm<sup>2</sup>) nécessaire et suffisante pour l'éradication 90 à 99,9% des micro-organismes (bactéries, virus, algues en suspension,...).



## I.4. Avantages et inconvénients de rayonnement UV :

### Avantage :

- Traitement continu et efficacité immédiate de la désinfection : l'abattement bactériologique est réalisé dans le réacteur. Il n'y a donc pas besoin de prévoir des temps de contact après le poste de désinfection
- Pas de création de sous-produits de désinfection qui peuvent polluer l'environnement ou limiter la réutilisation de l'eau (cas du chlore ou de l'ozone)
- Technologie simple et économique en investissement et exploitation, notamment par rapport aux systèmes membranaires
- Maintenance et nettoyage des gaines quartz automatisés pour garantir l'efficacité de l'équipement du réacteur
- Contrôle continu de l'efficacité de la désinfection avec télégestion

### Inconvénients :

- Il n'y a pas de possibilité d'apprécier de façon immédiate l'efficacité du traitement par la mesure d'un résiduel comme dans le cas d'un oxydant chimique.
- Il n'y a pas d'effet rémanent

## II. Mécanismes de traitement des eaux usées par le rayonnement UV

Du point de vue de la désinfection microbienne, la longueur d'onde la plus efficace est 254 nm, car il s'agit de celle pour laquelle l'intensité énergétique est optimale, cette relation entre l'efficacité de désinfection microbiologique et la longueur d'onde de rayonnement UV est illustrée à la figure 3 :

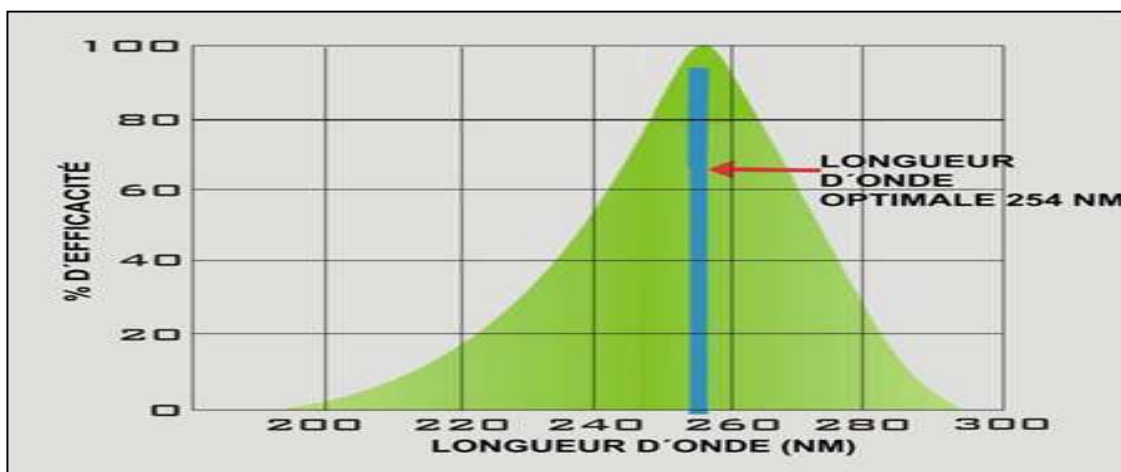


Figure 10 : Portion d'efficacité en fonction de la longueur d'onde émise par la lampe UV

L'action stérilisante est due à la perturbation apportée par le rayonnement ultraviolet dans la structure chimique des constituants de la cellule vivante, et par suite, de leur fonctionnement. Suivant la quantité d'énergie UV reçue, la cellule vivante sera soit stérilisée (**effet bactériostatique**) soit détruite (**effet bactéricide**), l'effet bactériostatique dans le cas d'une absorption modérée d'énergie UV, permet à la cellule de continuer à vivre, mais sans avoir la possibilité de se reproduire et de muter, cette cellule est donc condamnée à disparaître, l'effet bactéricide, dans le cas d'une absorption d'énergie supérieure à une certaine dose, permet la destruction de la cellule. Ce sont les UV-C, compris entre 200 et 280 nm, qui sont les plus germicides, on a trouvé que l'effet maximal a été obtenu avec des ondes de 260 nm .

Pour qu'il y ait désinfection, les lampes doivent fournir une radiation lumineuse dont le spectre d'émission se situe dans la région de l'UV-C laquelle est la plus efficace à produire un effet germicide. Lorsque l'énergie de la radiation est absorbée au niveau du matériel génétique (ARN et ADN), ce dernier contient l'information qui est transmise d'une génération à l'autre et qui permet de perpétuer les caractères propres à l'espèce, plus particulièrement, ce sont les nucléotides, éléments constitutifs des acides nucléiques qui absorbent le rayonnement, soit les bases puriques (adénosine (A) et guanine (G)) et les bases pyrimidiques (thymine (T) et cytosine (C)).

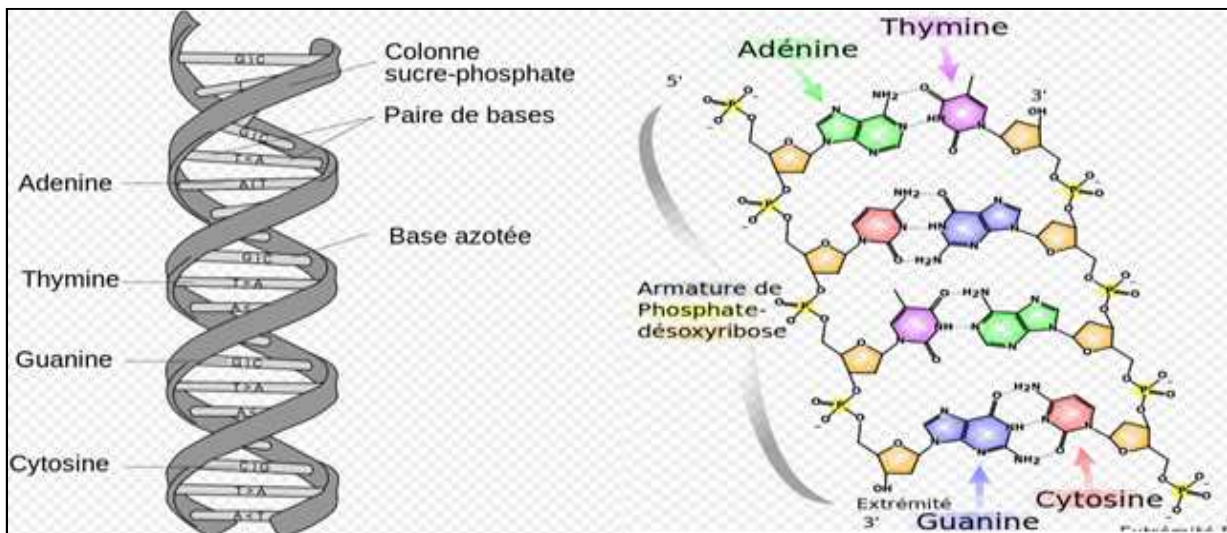


Figure 11 : Double hélice de l'ADN et les deux paires de ses bases

Le spectre d'absorption des acides nucléiques se situe dans un logeur d'onde entre 210 et 310nm avec un maximum à 260 nm :

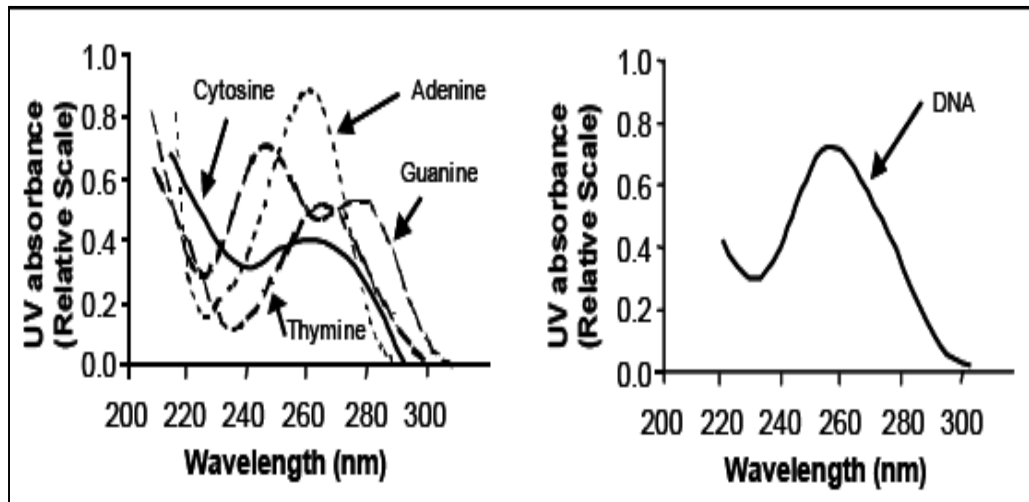


Figure 12: Spectre d'absorption relatif des bases de l'ADN et l'ARN

Suivant l'exposition aux UV, il y a une variété de photoproduits formés au niveau de l'ADN, dont le plus important est le dimère de pyrimidines adjacentes sur un des brins d'ADN, et dont les 3 types répertoriés sont : T-T (appelé le dimère de thymine et le plus fréquent), T-C et C-C (figure7 ), le dimère crée une distorsion au niveau de l'ADN, rendant inefficace voire impossible la réplication du micro-organisme ; il en résulte la mort cellulaire ou l'apparition d'une génération de mutants non viables ou incapables de se reproduire .

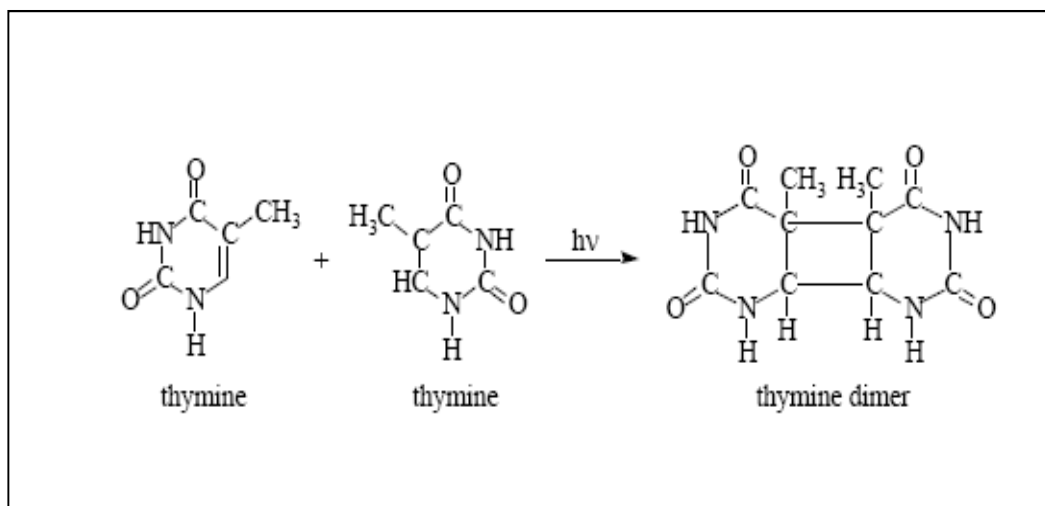


Figure 13 : Dimérisation photochimique de deux bases de thymine

### III. Inactivation des Virus et des bactéries

Les bases pyrimidiques de l'ARN, des virus sont constituées de cytosine et d'uracile, au lieu de thymine et de cytosine pour l'ADN, des bactéries, la dimérisation de la thymine est

plus facilement induite par les UV que celle de l'uracile, ceci peut expliquer la plus grande résistance des virus.

Les réovirus ont un double brin d'ARN, sur lequel davantage de dommages seraient nécessaires à l'inactivation ou qui permettrait la redondance des informations, ce qui est impossible sur un ARN, monobrin tel que celui du poliovirus. Les réovirus sont 3 fois plus grands que les poliovirus et possèdent une double membrane protéinique, qui absorberait mieux les UV.

## **IV. Phénomène de photoréactivation**

### **IV.1. Définition de photoréactivation**

La photoréactivation est un processus par lequel certaines bactéries réparent les dommages subis par leur ADN dus à leur irradiation par les ultra-violets, cette réactivation peut se produire lorsque les bactéries dont l'ADN a été endommagé par les UV sont exposées à la lumière, en particulier les longueurs d'onde comprises entre 300 et 500 nm. Même si cette propriété de certaines bactéries est connue depuis longtemps, elle n'a été démontrée que plus tard, la réparation de l'ADN peut également avoir lieu dans l'obscurité par un processus particulier, c'est le système de réparation par excision du segment lésé, en fait, le segment touché est excisé de l'ADN et remplacé par un segment nouvellement synthétisé, identique au segment originel.

### **IV.2. Etapes de la photoréactivation**

Le mécanisme de photoréparation de l'ADN ayant subi la formation de dimère de pyrimidine, ces dimères de pyrimidines sont formés entre des molécules de pyrimidine adjacentes du même brin d'ADN, ils peuvent perturber la transcription et la réplication de l'ADN. Cependant la formation de ces dimères peut être réversible, la réaction réalise en deux grandes étapes

La première étape consiste en la formation d'un PRE-dimère complexe, c'est-à-dire un complexe formé par le dimère et l'enzyme de photoréactivation (PRE), cette liaison est réversible et n'est pas dépendante de la lumière solaire, la cinétique de la formation du complexe favorise son accumulation au sein du micro-organisme, la quantité d'enzyme présente varie d'un micro-organisme à l'autre et la proportion de complexe formé en dépendra, ainsi que d'autres facteurs tels que le ( pH, la température, ...).

La seconde étape consiste en la séparation de l'enzyme de l'ADN réparé, le dimère se monomérise, il revient à son état originel, cette réaction est dépendante de la lumière, elle est très rapide ( $<10^{-3}$  s) et la réparation est parfaite, l'enzyme peut se décrocher.

## **V. Paramètres influençant l'efficacité de la désinfection**

L'efficacité de la désinfection sur une installation UV dépend des paramètres de fonctionnement qui sont essentiellement le débit de l'écoulement et donc le temps d'exposition et l'intensité du rayonnement UV émis par les lampes, et des paramètres de la qualité de l'effluent

### **V.1. Temps d'exposition**

C'est le rapport de volume du réacteur sur le débit d'effluent ou la vitesse de passage de l'effluent dans l'installation de la désinfection, il faut considérer le temps d'exposition moyen aux rayonnements UV qui est fonction de la conception hydraulique du réacteur, celle-ci doit remplir 3 conditions fondamentales :

- Le volume du réacteur doit être utilisé au maximum, et ce en évitant les courts-circuits hydrauliques et les zones mortes pour profiter au mieux de l'énergie UV fournie par les lampes et d'éviter que l'effluent ne passe sans avoir reçu la dose suffisante.
- Le flux doit être le plus proche possible du flux piston, sans dispersion axiale pour assurer une distribution uniforme des temps de séjour dans le réacteur.
- Le flux doit permettre une dispersion radiale afin que chaque élément de volume se déplace dans des champs d'intensité lumineuse non uniforme.

### **V.2. Intensité UV émise par les lampes**

L'intensité UV nominale est fonction du nombre de lampes allumées, L'intensité reçue par l'effluent diminue avec la distance par rapport à la lampe, notamment par dissipation de l'énergie dans un volume plus grand, ainsi, l'épaisseur de la lame d'eau entre deux lampes est un paramètre de dimensionnement.

Le principe de base de toutes les mesures de l'intensité UV est l'interaction entre le rayonnement UV et la matière par des phénomènes reposants sur la physique quantique, dans notre travail la mesure de l'intensité est enregistré par un capteur d'intensité installé avec le réacteur, à chaque instant l'appareil affiche une valeur bien déterminée .

### V.3. Dose UV

Lorsque la désinfection par rayonnement UV, l'absence d'une dose résiduelle pose un sérieux problème pour la détermination de la dose délivrée par le procédé et donc pour sa fiabilité, des expériences réalisées en utilisant des intensités différentes ont montré que l'effet sur les micro-organismes est indépendant de l'intensité et ne dépend que de la dose d'énergie reçue par les micro-organismes. Elle est définie par la relation suivante :

$$\text{Dose UV} = I \cdot t_{\text{exp}}$$

I : intensité du rayonnement UV, W/m<sup>2</sup>

t<sub>exp</sub> : temps d'exposition à l'intensité I, en secondes

# Partie III :Méthodes expérimentales

## **I. Paramètres analysés :**

### **I.1. Paramètres physico-chimiques**

Les paramètres étudiés sont : le pH, la conductivité, la turbidité et la température, la demande chimique en oxygène DCO, la demande biologique en oxygène DBO5.

La température, Ph et la conductivité sont mesurés directement à la STEP, les autres paramètres sont mesurés au laboratoire de la RAMSA situé à la ville BENSERGAW .

#### **I.1.1. pH**

Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples dont la température et l'origine de l'eau, en milieu côtier et estuarien, certains rejets industriels ou les apports d'eaux de ruissellement sont la cause de variation du pH qui s'avère être, dans ce cas, un indice de pollution. Le pH et la température ont été mesurés à l'aide d'un pH mètre.

- Mode opératoire

Sortir l'électrode de sa solution de conservation. Rincer l'électrode avec de l'eau distillée et l'éponger doucement avec un papier joseph.

Plonger l'électrode dans les solutions de contrôles et dans les échantillons. Le temps de stabilisation peut varier de 1 à 3 minutes dépendant de la nature de l'échantillon; s'assurer que le signal est stable avant de noter la mesure.

Note: Entre chaque échantillon ou étalon, rincer l'électrode avec de l'eau distillée et l'éponger doucement avec un papier joseph.





Figure 14 : pH mètre

### I.1.2. Température

La température est un facteur écologique important du milieu, elle permet de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment), de plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau, il est important de connaître la température de l'eau avec précision, en effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels.

### I.1.3. Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique entre deux électrodes, .La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement .La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, la conductivité est également fonction de la température de l'eau ; elle est plus importante lorsque la température est élevée, les résultats doivent donc être présentés pour une conductivité équivalente à 20 ou 25°C. Les appareils de mesure utilisés sur le terrain font généralement la conversion automatiquement. La conductivité et la salinité de l'eau ont été mesurées à l'aide d'un conductimètre .



Figure 15 : Conductimètre

#### I.1.4. Matières en suspension

On appelle matières en suspension les très fines particules en suspension (sable, argile, produits organiques, particules de produits polluants, micro-organismes,...) qui donnent un aspect trouble à l'eau, (turbidité) et s'opposent à la pénétration de la lumière nécessaire à la vie aquatique. En trop grande quantité elles constituent donc une pollution solide des eaux.

La quantité de matière en suspension totale (MEST) se mesure par filtration d'un litre d'eau et pesage des résidus séchés. Le résultat s'exprime en mg/l. (On estime qu'un habitant rejette environ 90 grammes par jour de MES dans ses eaux usées).

#### I.1.5. Turbidité

La turbidité est un paramètre organoleptique, elle permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau, elle correspond également à la propriété optique de l'eau qui fait que la lumière incidente est diffusée ou absorbée.

La turbidité est causée par les particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Cependant une turbidité forte peut permettre des micro-organismes de se fixer sur les particules en suspension, la qualité bactériologique d'une eau turbide est donc suspecte.

- Principe

La turbidité est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau. Elle est déterminée à l'aide d'un turbidimètre (étalonné avec une solution appropriée (comme l'eau

distillée)). Cet appareil mesure la lumière dispersée par les particules en suspension avec un angle de 90° par rapport au faisceau de lumière incident. (la longueur d'onde utilisée égale à 546 nm)

- Mode opératoire

1. Les cuvettes doivent être propres et exemptes de dépôt, de tache, de buée ou de marque susceptibles d'affecter le faisceau lumineux. Après usage, les cuvettes sont rincées à plusieurs reprises avec de l'eau distillé (Elles sont ensuite placées dans un support de façon à permettre à l'eau de s'écouler et au tube de sécher)

2. Pour démarrer l'appareil:

-Fermer le capot.

-Mettre appareil sous tension.

-Le voyant lumineux PRINT doit clignoter.

-Agiter l'échantillon et remplir dans une cuvette jusqu'au trait (environ 30ml) en prenant soin de manipuler la cuvette par la partie supérieure.

Note : – Afin d'éviter que les cuvettes ne s'embuent, s'assurer que les échantillons et les matériaux de référence sont à la température ambiante avant de procéder aux mesures.

-Placer la cuvette dans le puit de mesure et fermer le capot.

-Lire lorsque le signal est stable et noter le résultat.

N.B : La mesure de la turbidité dont l'unité est : Unité de Turbidité Néphélométrique (NTU) doit se faire rapidement après le prélèvement de l'échantillon pour avoir des résultats fiables.



Figure 16 : Turbidimètre

#### I.1.6. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) se définit comme la quantité d'un composé chimique oxydant, exprimée en milligrammes d'oxygène, nécessaire pour oxyder dans des conditions définies, les matières réductrices dissoutes et en suspension contenues dans l'eau en particulier les matières organiques.

#### I.1.7. Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)

La DBO5 exprime la quantité d'oxygène consommé en mg /l par voie biologique lors de la dégradation de la matière organique contenues dans un échantillon d'eau, en incubation à 20°C pendant 5 jours, la DBO5 permet l'étude des phénomènes naturels de destruction des matières organiques, permet d'apprécier la charge de milieu en substances putrescible, son pouvoir auto-épuration et de déduire la charge maximale acceptable au niveau des traitements des stations d'épuration. Le principe de mesure est manométrique, la quantité d'oxygène consommée par les substances biodégradables de l'échantillon est mesurée grâce à un détecteur de pression.

### I.2. Paramètres bactériologiques

Evaluer la qualité bactériologique d'une eau par recherche de Coliformes. Il existe en effet une corrélation entre la présence de bactéries coliformes, témoins de la contamination fécale, et la présence de bactéries pathogènes. Les bactéries coliformes sont présentes dans l'intestin des animaux à sang chaud, mais elles sont aussi présentes dans les sols, sur les débris végétaux, etc. Les bactéries coliformes qui peuplent l'intestin peuvent être identifiées par leur

tolérance à une température de 44-45 °C. La présence de ces coliformes thermotolérants est une preuve indiscutable d'une contamination par matières fécales. Dans les eaux brutes, le nombre de coliformes est un indicateur de probabilité de la présence de bactéries pathogènes. Dans les eaux traitées, la présence de ces coliformes est un indicateur d'inefficacité du mode de stérilisation de l'eau.

Les analyses bactériologiques des différents échantillons d'eaux usées ont consisté en un dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale, à savoir les coliformes fécaux, les coliformes totaux, les streptocoques fécaux.

Les méthodes classiques utilisées sont :

- La filtration sur membrane : basée sur la filtration des échantillons sur une membrane (0,45 µm) et la mise en culture du filtre sur un milieu gélosé dans des conditions (durée, température) adaptées au micro-organisme recherché.
- La dilution en milieu liquide ou le nombre le plus probable : consiste en l'ensemencement de prises d'essai de l'échantillon et/ou de dilutions, dans un milieu de culture liquide.

Dans le cadre de notre travail, les numérations bactériennes ont été réalisées par la filtration sur membrane, dans certains cas il est nécessaire d'utiliser les deux méthodes en même temps pour la vérification des résultats.

Notion de taux d'abattement : Le taux abattement considéré par cette étude est la différence des concentrations entre l'entrée et la sortie du réacteur BIO-UV, il est exprimé en pourcentage, on le calcule selon la formule suivante :

E : Concentration à l'entrée du réacteur

S : Concentration à la sortie du réacteur

$$\text{T'aux d'abattement} = ((E - S) / E) \times 100$$

### I.2.1. Méthode filtration sur membrane

Les méthodes d'analyse par filtration se prêtent très bien à l'analyse de l'eau, en particulier quand sa charge microbienne est très faible. Ses avantages sont les suivants :

rapidité, peu coûteuse, l'échantillon peut être traité sur place, les microorganismes peuvent être revivifiés facilement, de grandes quantités d'eau sont analysables, les antimicrobiens éventuellement présents sont éliminés. Ses inconvénients sont liés à la non mise en évidence de la production de gaz pour les coliformes, le non utilisabilité avec les eaux "troubles" qui colmatent la membrane, et la présence d'interférences de cultures sur le filtre.

- Préparation des échantillons et culture microbienne

Matériels

une balance des récipients stérilisés (flacons ou erlenmeyers...) et Un agitateur magnétique chauffant pour la préparation des milieux.

Un bain-marie (sont nécessaires pour régénérer les milieux de culture (100°C) et les maintenir en surfusion (45 à 47 °C)).

Des Pipettes Graduées Stériles (1 Et 10 Ml)

Des tubes à essai (en préférable qu'ils soient bouchés pour éviter la contamination aérienne on les utilise au moment des dilutions).

Un vortex (pour homogénéiser les suspensions bactériennes présentes dans les tubes, en particulier au moment des dilutions).

Des boîtes de pétri.

Un étuve bactériologique (pour l'incubation, et qui doit pouvoir être réglé avec précision entre 25 et 55°C).

Milieux de culture

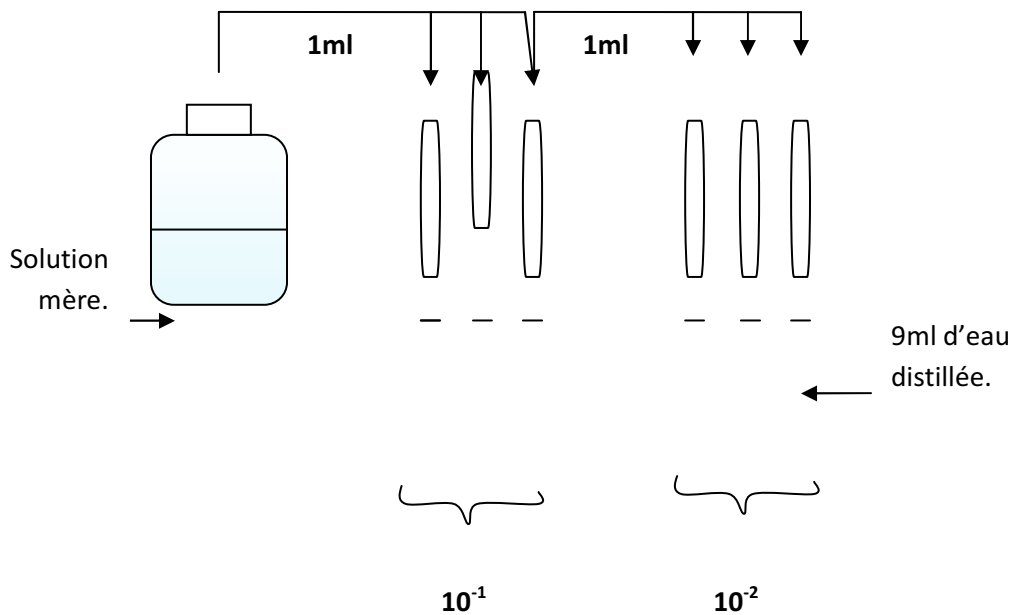
Gélose de Slanetz et Bartley ( sélectif pour les streptocoque) .

Gélose lactosé au TCC et au Tergitol 7 « Tergitol -7- TTC » ( selectfe pour les coliforme) .

- Préparation des échantillons

Lorsque l'échantillon est très chargé des germes, il sera préférable de faire des dilutions

comme suit :



- Mode opératoire

La méthode de filtration sur membrane consiste à faire passer un certain volume d'échantillon ou de ses dilutions au travers d'une membrane filtrante (dont la porosité est de  $0,45 \mu\text{m}$ ) sur laquelle sont retenus les microorganismes recherchés. Après filtration, on rince l'entonnoir supérieur avec de l'eau distillée stérile ou avec une solution tamponnée stérile afin de récupérer la totalité des germes. Le filtre est alors posé sur la surface d'un milieu gélosé spécifique du germe à rechercher, face portant les micro-organismes vers le haut. Après incubation, on compte les colonies formées à la surface du filtre.

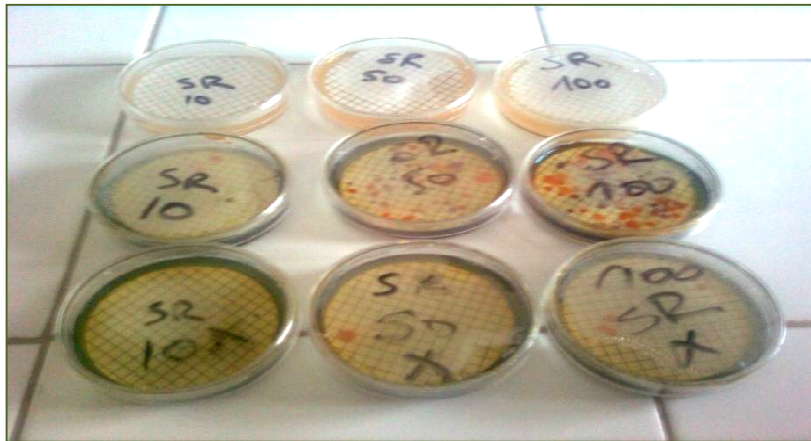


Figure 17 : Résultats après incubation

## I.2.2. Méthode nombre plus probable

- Principe

Cette méthode est une estimation statistique du nombre de micro-organisme supposés distribués dans l'eau de manière parfaitement aléatoire. L'estimation de la densité bactérienne est obtenue par application du principe de vraisemblance, à partir de réponses positives observées pour une ou plusieurs dilution successives de la suspension bactérienne originelle. Il s'agit d'une méthode quantitative et non pas énumératif.

- Mode opératoire

On ensemence des dilutions successives de l'eau à analyser (par exemple 1, 0.1, 0.01) à raison de 3 à 5 tubes de milieu de culture liquide par dilution (jusqu'à 96 puits en cas de manipulation en micro plaque).

On notera le nombre de tubes inoculés présentant une culture visible indiquant la présence d'au moins d'un micro-organisme.

Il doit être tenu compte que si l'absence de culture correspond à l'absence de micro-organisme, plus d'un micro-organisme peut être responsable d'une culture positive.

Les tables, en fonction du nombre caractéristique (nombre de puits positifs pour chaque dilution) indiquent la valeur statistiquement la plus probable et son intervalle de confiance).



## ***II. Résultats et discussion***

Pour faire une lecture générale, nous avons procédé au tracé de l'évolution des paramètres physico-chimiques en fonction du temps et dans les différentes étapes du procédé de traitement.

- **La température**

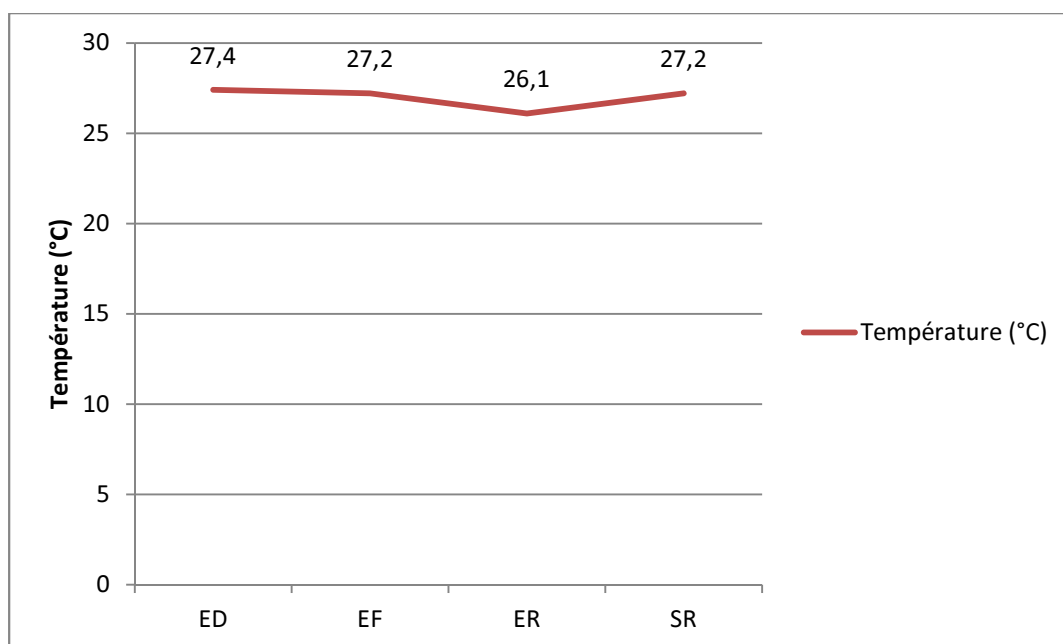


Figure 18 : Evolution de la température durant les étapes de traitement

La température des eaux usées traitées à la STEP M'zar, durant ce travail, est comprise entre 26.1 et 27.4°C. elles ne dépassent pas 35°C ; la valeur limite pour le rejet dans la nature.

Ce graphique laisse voir que l'évolution de la température a de faibles amplitudes de variation. Les différentes étapes de traitement ne semblent pas impacter ce paramètre. Celui-ci varie plutôt en fonction des saisons et du climat.

- Le pH

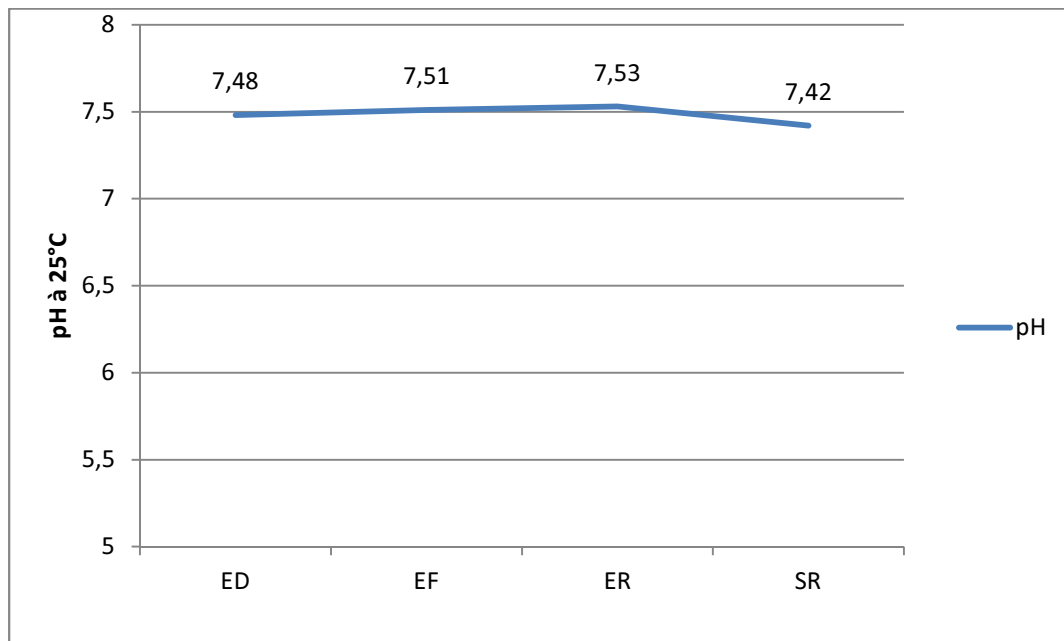


Figure 19 : Evolution du pH selon les étapes de traitement

Ce facteur aussi, comme la température, ne connaît pas de variations notables durant les étapes du traitement. Ses valeurs oscillent entre 7.42 et 7.53. Elles avoisinent la neutralité, et ne dépassent pas l'intervalle commandé pour les eaux destinées à l'irrigation.

- **La conductivité**

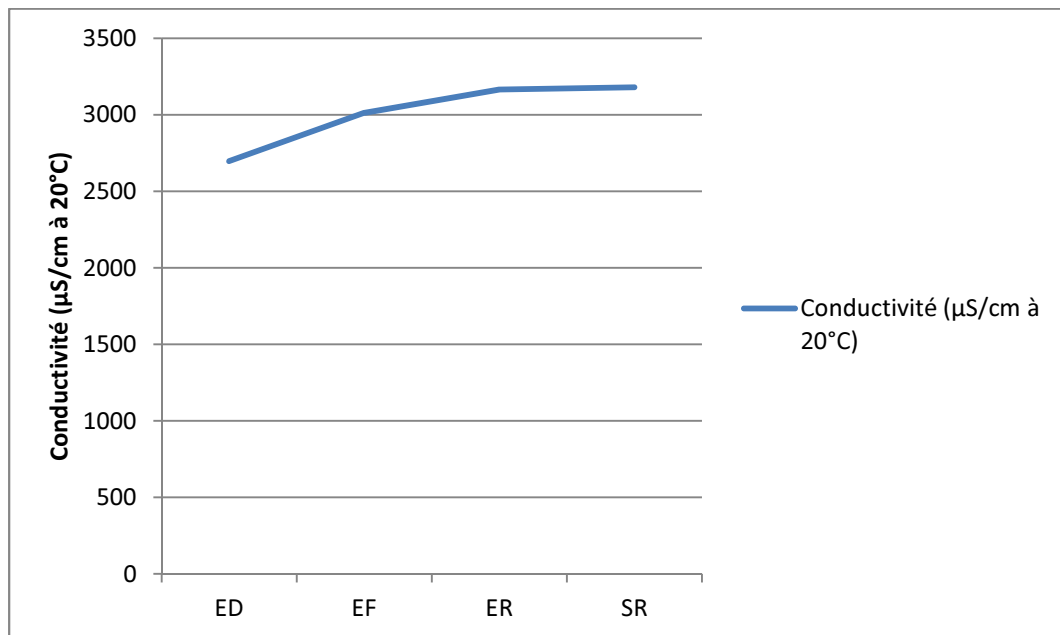


Figure 20 : Evolution de la conductivité électrique durant les étapes de traitement

La conductivité, non plus, n'enregistre pas de diminution, ce qui est normal puisqu'il n'y a pas d'abattement des composées ioniques solubles au cours des différentes étapes de traitement. Sa valeur dépasse légèrement 3000  $\mu\text{S/cm}$ , la valeur limite pour l'eau utilisée en irrigation.

Cette eau est caractérisée par une minéralisation forte, due aux rejets industriels. Ce qui donnerait des résultats peu satisfaisants en irrigation.

Justement, certains terrains gazonés irrigués avec cette eau, voit apparaître des couches de sol résiduel après arrosage de ces terrains

- Les matières en suspension

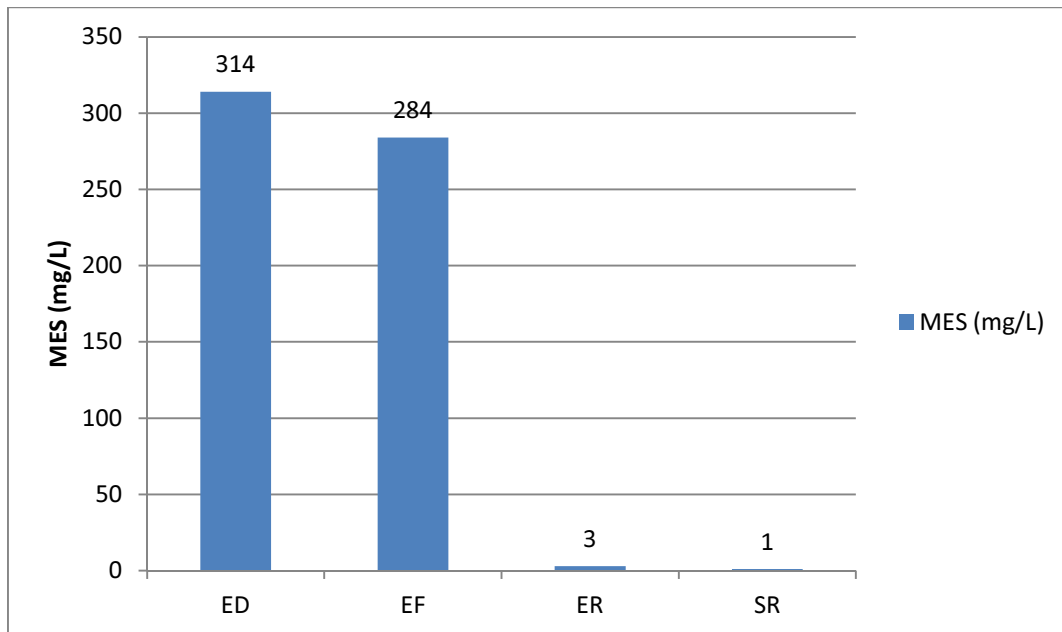


Figure 21 : Evolution de la MES durant les étapes de traitement

Les concentrations des MES varient d'une manière importante et surtout au niveau du traitement secondaire et atteint un abattement de 98.94% au niveau des filtres à sable.

Sa valeur après le traitement est inférieure à la valeur limite pour les eaux destinées à l'irrigation qui est de 200mg/L.

L'eau est très limpide et ne présente aucun risque de colmatage pour le système d'irrigation et du sol.

- **La turbidité**

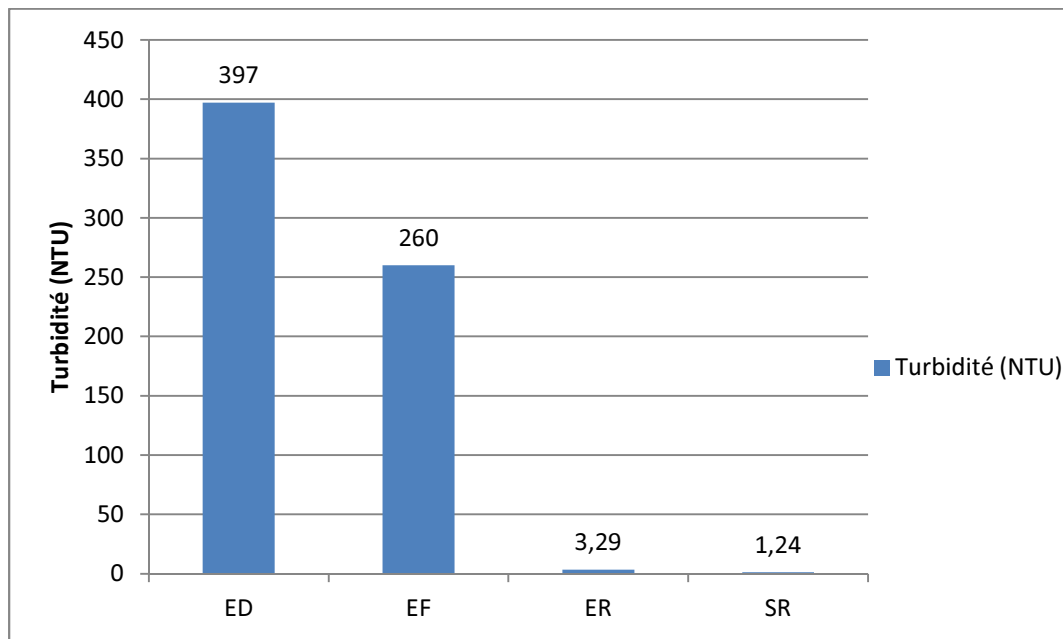


Figure 22 : Evolution de la turbidité durant les étapes de traitement

Au fur et à mesure qu'on avance dans les étapes de traitement, la turbidité diminue de 397 jusqu'à 1.24 NTU.

Elle est inférieure à 5, donc c'est une eau assez claire et qui permet une bonne transmission des rayons ultra-violettes et donc un bon rendement du traitement tertiaire

- **La DCO et la DBO5**

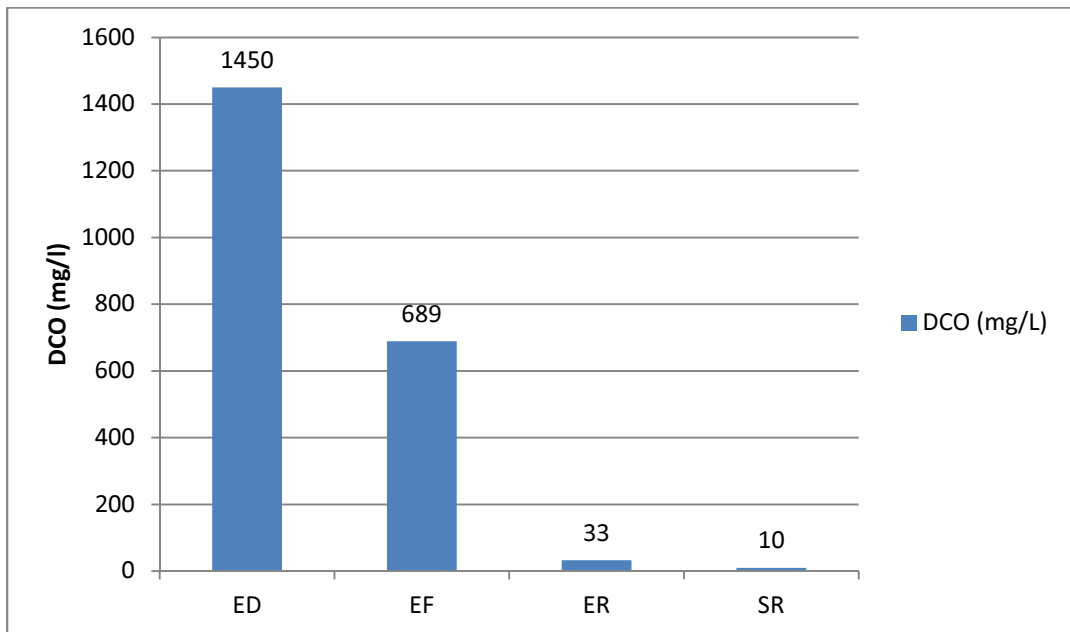


Figure 23 : Evolution de la DCO au cours du traitement

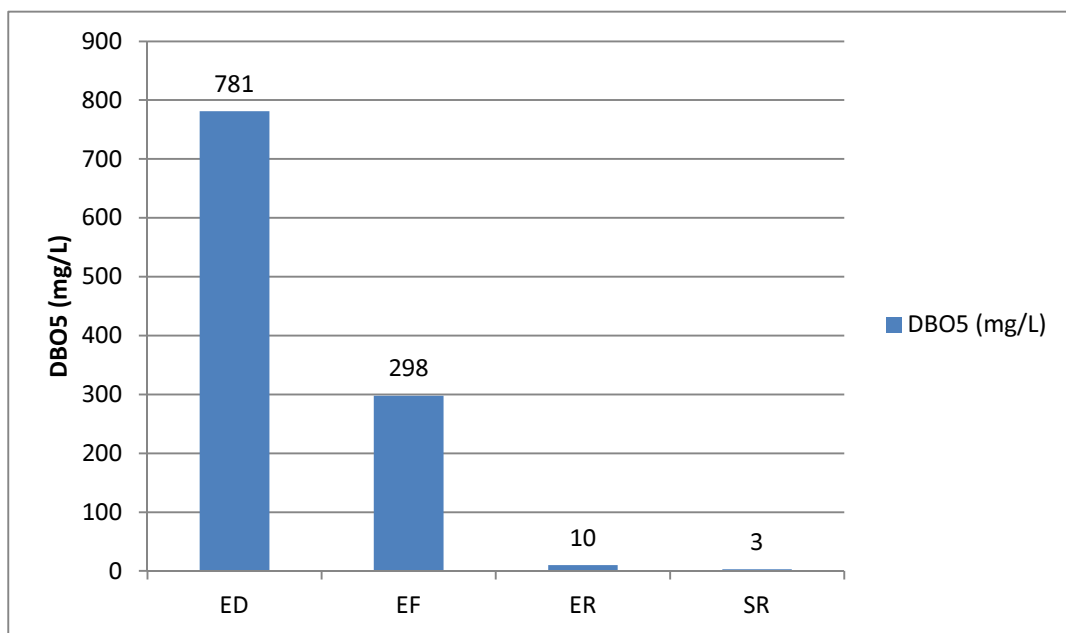


Figure 24 : Evolution de la DBO5 au cours du traitement

Pour ce qui est de la DCO et de la DBO5, ils subissent des abatements très nettes dans toutes les étapes de la filière, chose qui est évidente tant que après le traitement, les bactéries

ayant épuisé les matières organiques présentes dans l'eau meurent, et entraînent de ce fait la baisse de la DCO et la DBO5.

- **La teneur en bactéries**

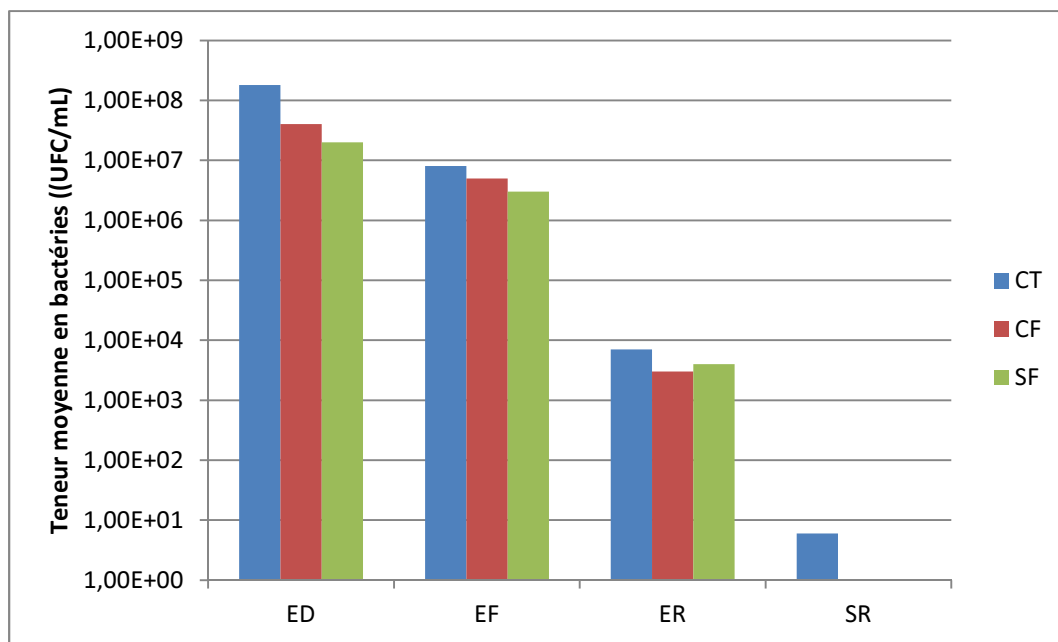


Figure 25 : Evolution de la teneur en bactérie au cours du traitement

Des réductions des teneurs en bactéries de plus en plus poussées au fur et à mesure qu'on avance dans les étapes de la filière de traitement. A l'entrée de la station leurs nombres sont de  $18 \cdot 10^7$  UFC/mL pour les coliformes totaux,  $4 \cdot 10^7$  UFC/mL pour les coliformes fécaux et de  $2 \cdot 10^7$  UFC/mL pour les streptocoques fécaux. A la sortie de la station, leurs nombres tendent vers 0.

En comparant ces résultats avec ceux recommandés à l'échelle marocaine, on déduit que les valeurs trouvées sont acceptables ( pour les bactéries analysées) pour l'irrigation et les rejets au milieu naturel.

- **Le rendement du réacteur BIO-UV**

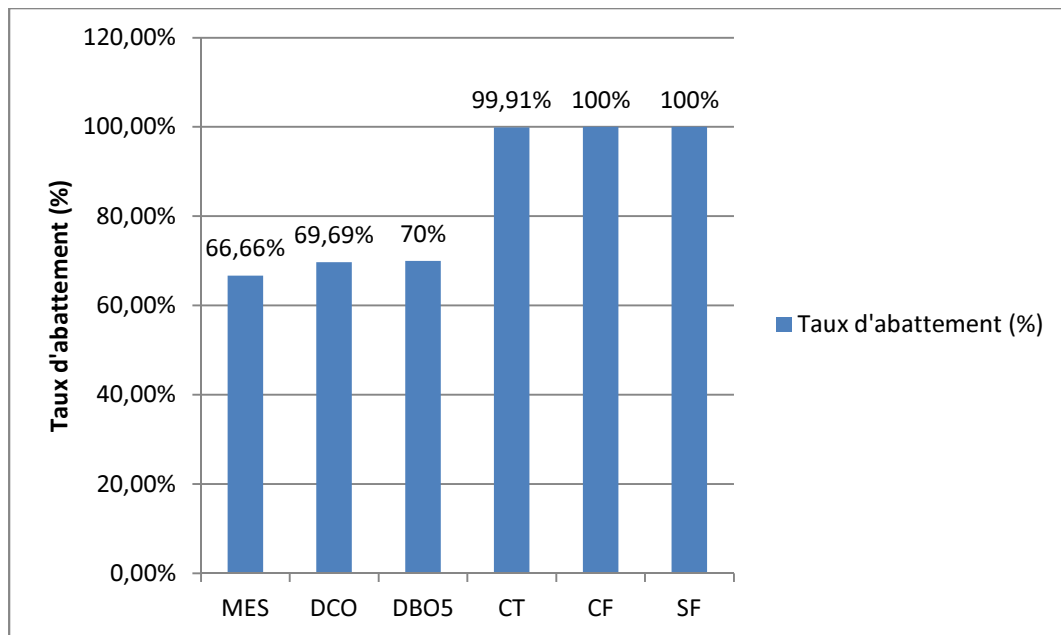


Figure 26 : Taux d'abattement au niveau du réacteur

Ce graphe montre des taux d'abattement spectaculaires au niveau du traitement tertiaire, surtout pour les bactéries qui atteignent 100% , et des abattements supplémentaires notables des MES, de la DCO et de la DBO5.



## ***Conclusion***

Face à la surexploitation et la pénurie des ressources en eau, plusieurs solutions sont envisagées afin de les préserver, à savoir la valorisation des eaux usées en irrigation des cultures et des espaces verts.

Il est reconnu et accepté que l'irrigation des plantes par les eaux usées donne des résultats mieux que ceux obtenus par une irrigation par les eaux de la nappe, et ne nécessite pas l'ajout d'engrais, vu que ces eaux contiennent ce dont la plante à besoin en élément fertilisants. Cependant, l'utilisation des eaux usées peuvent causer de grave problèmes pour l'environnement et pour la santé publique, c'est dans ce cadre que les scientifiques et les chercheurs ont mené des expériences pour produire une eau pure qui répond aux normes de l'irrigation des cultures où tout simplement aux normes de rejets dans la nature.

Pour traiter l'eau il y a plusieurs types de procédés d'épuration. Le rendement diffère d'un procédé à un autre. A la station d'épuration M'zar, le traitement des eaux se fait selon un traitement primaire qui consiste en une décantation des matières solides selon la gravité, ensuite ces eaux sont infiltrées dans des bassins de sable et enfin elles subissent un traitement tertiaire par des rayons ultra-violet qui éradient les microorganismes.

Le traitement par les rayons ultra-violet est sûr et inoffensif ni pour l'homme, ni pour l'environnement et la faune, et garantit des résultats satisfaisants, sans sous-produits chimiques. elle permet d'obtenir des taux d'abattement qu'on a le droit d'attendre pour un usage sécuritaire.

Après avoir analysé quelques paramètres bactériologiques et physico-chimique de la station, nous avons remarqué que la température et le potentiel hydrogène ne sont pas impacté par ce traitement, pourtant ces deux facteurs ne dépassent pas les normes fixées pour le rejet dans la nature. Pour ce qui est de la DBO5, la DCO, Les MES et la turbidité, ils diminuent au fur et à mesure qu'on avance dans les étapes de traitement et ils sont inférieurs aux valeurs limites fixées pour l'irrigation. Quand aux bactéries, à la sortie de la station, leurs valeurs tendent vers zéro.

La seule anomalie qu'on suspecte dans les eaux produites par l'usine M'zar est la conductivité qui dépasse un peu la valeur limite fixée pour les eaux d'irrigation. Et pour remédier à ce problème, on a recommandé de séparer les eaux de saumures au sein des unités industrielles avant de rejoindre la station M'zar. La RAMSA traitera ces eaux séparément des autres effluents.

## Références bibliographiques

Alain Rotbardt (2011) :Réutilisation des eaux usées traitées-perspectives opérationnelles et Recommandation pour l'action. Rapport interne. 85p. France

Anis BEN MESSAOUD (2009) : Etude expérimentale et modélisation d'un procédé de Désinfection par rayonnement UV. Thèse. 211p. Tunisie.

Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (1995) Section des eaux, Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaine. Rapport interne. France

Hayet MILOUS. Modélisation par la méthode numérique des fluides du procédé de désinfection des eaux par les rayonnements ultraviolets UV. Mémoire. 108p. Algérie

Marion RABIET (2006) Contamination de la Ressource en eau par les eaux usées dans un bassin versant méditerranéen Apport des éléments Majeurs, traces et terres Rares. Thèse. 310p. France.

Samuel BAUMONT (2005) : Réutilisation des eaux usées épurées risque sanitaires et faisabilité en Ile-de-France. Rapport d'étude de l'Observation Régionale de Santé de Paris. 222p.

## **Liste des annexes**

**Annexe 1 : Normes marocaines de qualité des eaux épurées destinées à l'irrigation et  
et normes de rejet dans la nature.**

**Annexe 2 : dénombrement des bactéries fécaux par la méthode NPP**

**Annexe 3 : Dénombrement des bactéries streptocoques fécaux par la méthode NPP**

**Annexe 4 : dénombrement des bactéries par la méthode filtration sur membrane**

**Annexe 1 : Normes marocaines de qualité des eaux épurées destinées à l'irrigation et normes de rejet dans le milieu naturel**

**(Décret d'application de la loi 10-95 du 4 février A1 (N° 2-97-787), (Tirée de SEEE (2007))**

<b>Paramètres</b>	<b>Valeurs limites</b>
<b>PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES</b>	
<b>1</b> Coliformes fécaux	1000/100 ml*
<b>2</b> Salmonelle	Absence dans 5 l
<b>3</b> Vibriion Cholérique	Absence dans 450 ml
<b>PARAMETRES PARASITOLOGIQUES</b>	
<b>4</b> Parasites pathogènes	Absence
<b>5</b> Œufs, Kystes de parasites	Absence
<b>6</b> Larves d'Ankylostomide	Absence
<b>7</b> Fluococercaires de Schistosoma hoematobium	Absence
<b>PARAMETRES TOXIQUES <sup>(1)</sup></b>	
<b>8</b> Mercure (Hg) en mg/l	0,001
<b>9</b> Cadmium (Cd) en mg/l	0,01
<b>10</b> Arsenic (As) en mg/l	0,1
<b>11</b> Chrome total (Cr) en mg/l	0,1
<b>12</b> Plomb (Pb) en mg/l	5
<b>13</b> Cuivre (Cu) en mg/l	0,2
<b>14</b> Zinc (Zn) en mg/l	2
<b>15</b> Sélénium (Se) en mg/l	0,02
<b>16</b> Fluor (F) en mg/l	1
<b>17</b> Cyanures (Cn) en mg/l	1
<b>18</b> Phénols en mg/l	3
<b>19</b> Aluminium (Al) en mg/l	5
<b>20</b> Beryllium (Be) en mg/l	0,1

<b>Paramètres</b>	<b>Valeurs limites</b>
<b>PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES</b>	
<b>28</b> Salinité totale (STD) mg/l*	7680
Conductivité électrique (CE) mS/cm à 25°C*	12
<b>29</b> Infiltration Le SAR**	<0,2
3 - 6 et CE =	<0,3
6 - 12 et CE =	<0,5
12 - 20 et CE =	<1,3
20 - 40 et CE =	<3
<b>IONS TOXIQUES (affectant les cultures sensibles)</b>	
<b>30</b> Sodium (Na)	
Irrigation en surface (SAR*)	9
Irrigation par aspersion (mg/l)	69
<b>31</b> Chlorure (Cl)	
.Irrigation de surface (mg/l)	350
.Irrigation par aspersion (mg/l)	105
<b>32</b> Bore (B) (mg/l)	3
<b>EFFETS DIVERS (affectant les cultures sensibles)</b>	
<b>33</b> Température (°C)	35
<b>34</b> Ph	6,5-8,4
<b>35</b> Matières en suspension en mg/l Irrigation gravitaire Irrigation par aspersion et localisée	2.000 100

## Annexe 2 : Dénombrement des bactéries coliformes par la méthode NPP

*Recherche et dénombrement des Bactéries coliformes dans les eaux traitées*

*(NM ISO 9308-1 année 2006)*

TEST PRESOMPTIF

Echantillon  
de 500 mL

Filtrer 100mL

Membrane 0.45µm

Tergitol - 7 - TTC

36°C ± 2°C / 21H ± 3H jusqu'à 44H ± 4H

Dénombrer les colonies typiques  
(Jaunes avec halo jaune) et les colonies

Isoler

TEST CONFIRMATIF

TSA

36°C ± 2°C / 21H ± 3H

Verser sur papier filtre 2 à 3 gouttes du réactif à l'Oxydase

Etaler une partie de la culture sur le papier filtre préparé

Apparition d'une coloration bleue / violet foncée dans les  
30 secondes → réaction positive

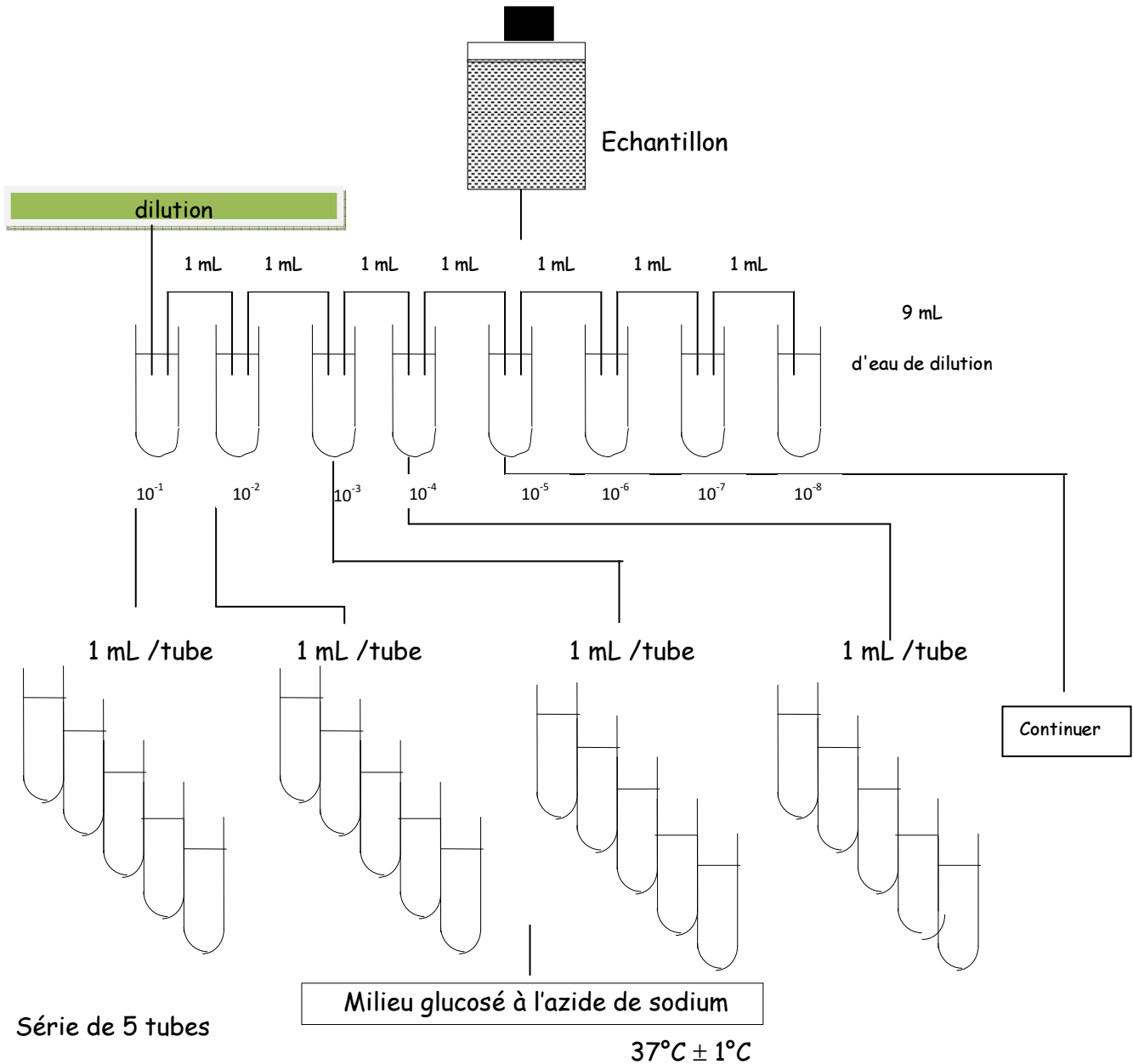
Considérer toutes les colonies ayant une réaction négative à  
l'oxydase comme étant des bactéries coliformes

Nombre de colonies confirmées

### Annexe 3 : Dénombrement des bactéries streptocoques fécaux par la méthode NPP

Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux dans les eaux usées

Méthode par la méthode NPP – série de 5 tubes



Dénombrer les tubes positifs : trouble et/ ou dépôt

Repiquer les tubes positifs sur le milieu confirmatif : Litsky

Dénombrer les tubes positifs : trouble + pastille violette éventuellement

Choix du triplet

Lecture - table de Mac Craddy (5 tubes)

$37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$

Nombre le plus probable (NPP) /100 mL

#### Annexe 4 : dénombrement des bactéries par la méthode filtration sur membrane

