



كلية العلوم
FACULTÉ DES SCIENCES



UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUE DE FES

Mémoire de fin d'études de Master

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Gestion et Conservation de la Biodiversité

ETUDE DE LA QUALITÉ BACTÉRIOLOGIQUE ET PHYSICOCHIMIQUE DES EAUX USÉES DE LA STATION MZAR ET IMPACT DE LEUR RÉUTILISATION EN IRRIGATION DES ESPACES VERTS DU GRAND AGADIR

Présenté par : BOUROUACHE Mohamed

Encadré par :

- MIMOUNI Rachida FS d'Agadir
- AIT ALLA Aicha FS d'Agadir
- EL GHACHTOULI Naima FST Fès

Soutenu Le 24 Juin 2015 devant le jury composé de :

- | | | |
|---------------------------|---------|--------------|
| • Pr. EL GHACHTOULI Naima | FST Fès | Présidente |
| • Pr. RACHIQ Saad | FST Fès | Examineur |
| • Pr. FADIL Fatima | FST Fès | Examinatrice |
| • Pr. MAAZOUZI Nadia | FST Fès | Examinatrice |

STAGE EFFECTUE AU SEIN DU LABORATOIRE BIOTECHNOLOGIES & VALORISATION DES RESSOURCES
NATURELLES A LA FACULTE DES SCIENCES D'AGADIR

Le présent travail a été effectué au sein du Laboratoire Biotechnologies & Valorisation des Ressources Naturelles à la Faculté des Sciences d'Agadir dans le cadre du stage de fin d'étude de Master Gestion et Conservation de la Biodiversité, de la FST de Fès.

Ce stage a été réalisé sous l'encadrement du Pr. Rachida MIMOUNI, Pr. Aicha AIT ALLA, Professeurs à la Faculté des sciences d'Agadir et Pr. Naima EL GACHTOULI Professeur à la Faculté des sciences et technique de Fès.

Ce modeste travail est une continuation des travaux scientifiques dirigés par l'équipe scientifique, qui depuis quinze ans, veillent à l'étude de la qualité des eaux du grand Agadir.

Les résultats obtenus durant cette étude font partie des travaux de thèse de monsieur Abdellah EL BOULANI, Doctorant à la FSA, encadré par le Pr. Rachida MIMOUNI et le Pr. Fatima HAMADI et qui s'intéresse à la recherche des salmonelles et Vibrios dans les eaux usées du grand Agadir.

Remerciements

Au préambule de ce modeste travail, je tiens à remercier mes encadrantes, Madame Rachida MIMOUNI et Madame Aicha AIT ALLA, Professeurs à la faculté des sciences d'Agadir. Je tiens à remercier vivement mon encadrante, Madame Naima ELGACHTOULI professeur à la faculté des sciences et techniques de Fès, sans leur soutien ce travail n'aurait pas abouti.

Je remercie également Madame Fatima HAMADI, Monsieur Mohamed HASSI membres de l'équipe scientifique du Laboratoire Biotechnologies & Valorisation des Ressources Naturelles pour leurs précieux conseils.

Je voudrais aussi remercier chaleureusement Monsieur Abdellah ELBOULANI Doctorant à la Faculté des sciences d'Agadir pour les efforts qu'il a déployé durant ma période de stage.

Mes remerciements, à mes chers collègues Mademoiselle Khadija AZELMAD, Mademoiselle Khaddouj AMZIL et Monsieur Brahim BIHADASSEN pour leur soutien et leur aide tout au long de mon stage.

Tous mes hommages vont aussi à nos chers professeurs de la faculté des sciences et technique de Fès pour les efforts qu'ils ont fournis durant notre formation de Master, mais aussi pour leurs conseils qui nous ont éclairé le chemin.

Qu'ils puissent trouver dans ce travail le témoignage de ma sincère gratitude et de mon profond respect.

Je tiens aussi à remercier Madame Naima EL GHACHTOULI, Monsieur Saad RACHIQ, Madame Fatima FADIL, Madame Nadia MAAZOUZI, pour avoir accepté d'être membre du jury, honoré de leur présence et leur participation à la soutenance de ce travail.

Je voudrais aussi témoigner ma gratitude à mon grand professeur Abdelaziz SOUFIAN qui m'a toujours inspiré et qui est toujours là pour donner un coup de main, un grand merci à vous cher professeur.

Mes remerciements, à Monsieur Lahcen EL GHADRAOUI notre responsable de Master qui a été toujours présent par ses précieux conseils.

Je voudrais remercier Monsieur Ayachi EL GHARRABI et Madame Fatima El Houdaifi, les deux préparateurs de TP à la FS-Agadir qui m'ont beaucoup aidé.

La réutilisation des eaux usées en agriculture est une pratique qui devient de plus en plus courante au Maroc, on compte 6.000 ha environ irrigués avec des eaux usées brutes ou épurées. Le problème majeur de l'irrigation à partir des eaux usées est l'impact bactériologique et physicochimique qu'elles auraient sur les cultures, les consommateurs et les travailleurs dans les champs irrigués avec ces eaux.

Ce travail consiste, d'une part, à évaluer la qualité bactériologique et physicochimique des eaux usées de la station de traitement des eaux usées de M'Zar (STEP), et d'autre part, à étudier l'impact de la réutilisation des eaux épurées dans l'irrigation des espaces verts du grand Agadir.

Pour ce faire, nous avons analysé quatre types d'eau : l'eau brute (**EB**), l'eau décantée (**ED**), l'eau épurée (**EE**) et l'eau épurée traitée par les Ultra-violetts (**EEUV**) en plus d'échantillons de matières végétales (**MV**) irriguées par les EE de la station. Les paramètres analysés sont : le pH, la conductivité, la salinité, la DCO, la DBO₅, les MES, les Sulfates, les Nitrates, ainsi que les paramètres bactériologiques (Coliformes thermotolérants et Streptocoques Fécaux).

La caractérisation physico-chimique des différents échantillons d'eau a révélé un pH proche de la neutralité et des teneurs en sels relativement importantes.

Les premiers résultats obtenus ont révélé une charge microbiologique élevée dans tous les types d'eau : Ainsi, les concentrations en coliformes thermotolérants sont $4,7 \cdot 10^6$ UFC/100 ml et $2,6 \cdot 10^5$ UFC/100 ml pour l'EB et l'ED, tandis qu'elles sont évaluées à $1,15 \cdot 10^4$ UFC/100 ml et $1,6 \cdot 10^3$ UFC/100 ml respectivement, pour l'EE et l'EEUV.

Mots clés : Maroc, Agadir, Eaux usées, M'Zar, Espaces verts, Impact, Réutilisation, Bactéries indicatrices de contamination fécale, physico-chimie.

Table des matières

Avant-propos	I
Remerciements.....	II
Résumé	IV
Table des matières.....	V
Liste des Abréviations	VIII
Liste des figures	IX
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
Liste des tableaux	X
Introduction générale.....	1
1. Situation hydrique du Maroc.....	2
2. Historique de la réutilisation des eaux usées en agriculture	2
3. La réutilisation des eaux usées dans le monde	4
4. Production d'eau usée au Maroc	5
5. Réutilisation des eaux usées traitée à des fins agricoles au Maroc	5
5.1. Les réglementations mondiales	6
5.2. Recommandations de l'OMS	6
5.3. Directives de la FAO.....	7
5.4. Réglementation Marocaine.....	8
6. Procédés d'épurations des eaux usées.....	9
6.1. Techniques intensives classiques	10
6.1.1. Lits bactériens.....	10
6.1.2. Boues activées	10
6.1.3. Disques biologiques.....	10
6.2. Techniques extensives.....	11
6.2.1. Infiltration-percolation sur sable :.....	11
6.2.2. Lagunage.....	11
6.3. Stations d'épurations au Maroc	11
6.4. Modes de réutilisation des eaux usées traitées	12
6.4.1. Usage en agriculture.....	13
6.4.2. Usage en aquaculture.....	13
6.4.3. Usage industriel	13
6.4.4. Usage urbain et périurbain.....	14
6.4.5. Recharge des nappes.....	14

7.	Impact de la réutilisation des EUE	15
7.1.	Sur l'environnement.....	15
7.1.1.	Sol et nappes phréatiques.....	15
7.1.2.	Sur les cultures	16
7.2.	Sur la population exposée	17
7.2.1.	Sur le personnel des STEP.....	17
7.2.2.	Sur le consommateur	17
7.2.3.	Sur les habitants des périmètres des SETP.....	18

Chapitre II : Matériel et méthodes

1.	Description de la station d'épuration des eaux usées l'Mzar	20
1.1.	Localisation.....	20
1.2.	Type de traitement de la station Mzar.....	20
1.2.1.	Description du mode de traitement primaire :	20
1.2.2.	Description du mode de traitement secondaire :	21
1.2.3.	Description du mode de traitement tertiaire :.....	22
2.	Prélèvements et suivi des paramètres physicochimiques et biologiques.....	23
2.1.	Rythme des prélèvements (Lieu et période de l'étude).....	23
2.1.1.	Echantillons d'eaux.....	23
2.1.2.	Echantillons de matière végétale	23
2.2.	Paramètres physico-chimiques	24
2.2.1.	Détermination du pH.....	24
2.2.2.	Détermination de la température	25
2.2.3.	Détermination de la conductivité.....	25
2.2.4.	Détermination des MES.....	25
2.2.5.	Détermination de la Demande chimique en oxygène (DCO)	25
2.2.6.	Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	26
2.3.	Paramètres bactériologiques	26
2.3.1.	Dénombrement des coliformes fécaux	26
2.3.2.	Dénombrement des entérocoques	27
2.4.	Abattement de la pollution au niveau de la station Mzar.....	27

Chapitre III : Résultats et discussion

1.	Résultats	28
1.1.	Caractéristiques physicochimique et microbiologiques des eaux du grand Agadir.....	28
1.1.1.	pH	29
1.1.2.	Température.....	29

1.1.3.	Conductivité électrique (CE)	30
1.1.4.	DBO ₅	30
1.1.5.	DCO.....	30
1.1.6.	MES.....	31
1.1.7.	Coliformes fécaux et entérocoques	32
1.2.	Impact de la réutilisation des eaux épurées de la station Mzar pour l'irrigation des espaces verts du grand Agadir	33
1.3.	Abattement des paramètres physicochimiques et bactériologiques	34
1.3.1.	Abattement des paramètres physicochimiques.....	34
1.3.2.	Abattement des bactéries fécales	34
1.4.	Typologie des eaux du grand Agadir	35
1.4.1.	Le ratio DCO/DBO ₅	36
1.4.2.	Le ratio DBO ₅ /DCO.....	36
1.4.3.	Le ratio MES/DBO ₅	36
1.4.4.	Matières Oxydables (MO) (mg/L)	36
2.	Discussion	38
2.1.	Paramètres physicochimiques des eaux du grand Agadir.....	38
2.2.	Paramètres biologiques des eaux du grand Agadir.....	39
2.3.	Impact bactériologique des eaux épurées de la station Mzar utilisées en irrigation des espaces verts	40
	Conclusion et Perspectives.....	43
	Références bibliographies	45
	Annexes	52

Liste des Abréviations

ABHSM	Agence du Bassin Hydraulique du Souss Massa
AFNOR	Association Française de Normalisation
CEAEQ	Centre D'expertise en Analyse Environnementale du Québec
CF	Coliformes Fécaux
CGDDE	Commissariat Général au Développement Durable
DBO5	Demande Biochimique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
EB	Eaux Brutes
ED	Eaux Décantées
EE	Eaux Epurées
EEUV	Eaux Epurées Traités a L'ultra-Violet
EUE	Eaux Usées Epurées
FAO	Organisation Des Nations Unies Pour L'alimentation Et L'agriculture
FODEP	Fonds de Dépollution Industrielle
INSPQ	Institut National de Santé Publique du Québec
MEMEE	Ministère de l'Energie des Mines de L'eau et de L'environnement
MES	Matières En Suspension
MO	Matières Oxydables
NMEDI	Normes Marocaines des Eaux Destinées à L'irrigation des Cultures
NMRID	Normes Marocaines De Rejet Indirect
OECD	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONEP	Office National de l'Eau Potable
PEHD	Polyéthylène Haute Densité
PNUE	Programme des Nations Unies pour L'environnement
RAMSA	Régie Autonome Multi-Services d'Agadir
REU	Réutilisation Des Eaux Epurées
SF	Streptocoques Fécaux
STEP	Stations d'Epuration des Eaux usées
TTC	Chlorure de Triphényl Tetrazolium
UFC	Unité Formant Colonie
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture
US EPA	Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis

Liste des figures

Figure 1: Volume moyen journalier des eaux recyclées pour l'irrigation de culture (en milliers de m ³ /j)(Jimenz B., Asano T., 2007).	4
Figure 2: Evolution du volume des eaux usées brutes urbaines au Maroc entre 1960 et 2020 (EL YOUSSEFI, 2013).	5
Figure 3 : Utilisation des eaux usées ou des excréta en aquaculture (PNUE, 2002).	13
Figure 4 : Recharge artificielle de la nappe de Souss Massa par des bassins d'infiltration (RMSA, 2008).....	15
Figure 5: Station d'épuration d'eaux usées M'Zar (Google Maps).	20
Figure 6 : <i>Carpobrotus edulis</i> plante utilisée dans la station M'Zar pour ornementation.	24
Figure 7: Caractéristiques physico-chimiques et biologiques recensés durant la période d'étude des eaux usées du grand Agadir.	28
Figure 8 : Variation des valeurs de pH dans les quatre types d'eaux.	29
Figure 9: Variation de la température en °C dans les quatre types d'eaux.	29
Figure 10: Variation de la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans les quatre types d'eaux.....	30
Figure 11: Variation des valeurs de la DBO ₅ dans les quatre types d'eaux.	31
Figure 12 : Variation des valeurs de la DCO dans les quatre types d'eaux.....	31
Figure 13: Variation des valeurs de la MES dans les quatre types d'eaux.....	32
Figure 14: Variation de valeurs moyennes des coliformes fécaux.	33
Figure 15 : Variation de valeurs moyennes des entérocoques.....	33
Figure 16 : Charges bactériennes trouvées chez les plants arrosés par les EE de la station M'Zar.	34
Figure 17: Abattement par la station M'Zar des différents indicateurs de contamination fécale en %	35
Figure 18: Abattement par la station M'Zar des différents indicateurs de contamination fécale en Ulog.....	35

Liste des tableaux

Tableau 1: Exemples de réutilisation des eaux usées du 20ème siècle (Adapté de l'UNEP, 2003 et Baumont et <i>al.</i> , 2004).	3
Tableau 2: Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisés en agriculture (OMS, 1989).	7
Tableau 3: Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation d'après la FAO AYERS et WESTCOT, 1994.	8
Tableau 4 : Distribution de l'utilisation de l'eau par type de fabrication (US EPA, 1996).	14
Tableau 5: Inventaire des espaces verts urbains et golfs (RAMSA, 2008).	14
Tableau 6 : Survie de divers organismes transportés par les eaux usées dans différents milieux.	16
Tableau 7 : Résumé des risques sanitaires associés à l'utilisation d'eaux usées pour l'irrigation.	19
Tableau 8 : Caractéristiques du traitement primaire.	21
Tableau 9 : Caractéristiques de traitement secondaire.	22
Tableau 10 : Caractéristiques de traitement tertiaire.	22
Tableau 11 : Typologique des eaux usées du grand Agadir.	37

Introduction générale

Le Maroc, pays en voie de développement, fait partie de l'Afrique du nord et souffre comme la plupart des pays de la région, de la pénurie d'eau et de la distribution inégale de cette ressource précieuse. Dans un tel contexte, une ressource alternative d'eaux serait très appréciable, surtout dans le domaine agricole qui s'octroie 80% à 90% de la consommation totale d'eau au Maroc (UNESCO, 2005).

Ce déficit, peut être comblé en grande partie par les eaux usées épurées (EUE), cette eau est disponible en abondance et en permanence, elle présente de nombreux avantages qui se résument en un coût raisonnable et une qualité acceptable, une économie en engrais, puisque ces eaux sont naturellement riches en phosphates et en nitrates et permettent donc de se passer ou de réduire l'utilisation des engrais industriels.

La réutilisation des EUE à un aspect environnemental très important, en effet ces eaux usées une fois épurées protègent les milieux où elles étaient rejetées sans traitement (Gillet et al, 2003).

À part la salinité élevée et la charge microbiologique des eaux usées traitées, celles-ci peuvent être utilisées sans souci dans le domaine agricole et peuvent donner des résultats très encourageants (OMS, 2004).

Le but du présent travail est d'évaluer la possibilité de réutiliser les eaux épurées de la station l'Mzar en irrigation des espaces verts et les golfs, en étudiant les différents paramètres qui régissent cette réutilisation et leurs comparaisons aux normes marocaines et internationales.

Ce rapport est réparti en trois grands chapitres, dont le premier représente une revue bibliographique de l'utilisation des eaux usées dans les différents secteurs.

Le deuxième chapitre a été consacré aux différents protocoles utilisés pour suivre les différents paramètres biologiques nécessaires à cette étude.

Un troisième chapitre est dédié pour l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus

Chapitre I :

Synthèse bibliographique

1. Situation hydrique du Maroc

D'après les données communiquées par le ministère délégué chargé de l'eau, la demande actuelle en eau est de 13 milliards de m³, tandis que les ressources disponibles s'élèvent à 22 milliards de m³/an environ. Si l'on rapporte la disponibilité des ressources à la population marocaine, cela donne un ratio national d'environ 700 m³/hab/an. Un ratio de moins de 1000 m³/hab/an illustre un équilibre fragile alors qu'en dessous de 500 m³/hab/an, on est en situation de stress hydrique (MEMEE, 2014).

Cette situation risque de se dégrader sous l'effet des changements climatiques et de l'aggravation des phénomènes extrêmes en particulier la réduction importante de la pluviométrie et des sécheresses généralisées (MEMEE, 2014). Aujourd'hui le Maroc détient l'un des taux d'accès à l'eau potable et à l'assainissement en milieu rural les plus bas de la région (ONEE, 2014). Ce qui a un impact négatif sur la santé des populations rurales. Selon l'OMS, 80% des maladies qui affectent la population de la planète sont liées à la pollution des eaux (OMS, 2004).

En effet, la plupart des microorganismes qui sont à l'origine des grandes épidémies historiques d'origine hydrique, ont pour habitat normal les intestins de l'homme et certains animaux à sang chaud. C'est pourquoi, le contrôle et la surveillance de la qualité de l'eau notamment les eaux usées paraissent de plus en plus indispensables (El Ouali Lalami et *al.*, 2014).

2. Historique de la réutilisation des eaux usées en agriculture

Depuis des milliers d'années, la réutilisation des eaux usées est pratiquée dans plusieurs coins du monde (Abu-Madi et Al-Sa'ed, 2009). En effet, Mechebbek (1993) et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 1989) ont rapporté qu'à la fin du 19^{ème} siècle, les effluents urbains, sans traitement préalable, ont été utilisés pour la production agricole, en particulier en Angleterre, en Allemagne, en Australie, aux États-Unis, en Inde et en France, et en 1904 au Mexique.

À partir de 1910, sous l'influence de l'extension urbaine et des nuisances générées par l'épandage d'eaux brutes, cette pratique est entrée en régression, sans que ce déclin ne soit dû à des considérations sanitaires, objectives et précises (Mechebbek, 1993).

Actuellement, les eaux usées ont repris leurs places, vu l'évolution de la science et la conscience de leur importance comme ressource hydrique potentielle, que ça soit dans le domaine agricole ou industriel voir même comme une eau potable (MEMEE, 2011).

Tableau 1: Exemples de réutilisation des eaux usées du 20^{ème} siècle (Adapté de l'UNEP, 2003 et Baumont et *al.*, 2004).

Année	Lieu	Type de réutilisation
1912-85	Golden Gate Park, San Francisco, CA, USA	Arrosage des pelouses et alimentation des lacs d'agrément
1926	Parc national du Grand Canyon, AZ, USA	Chasses d'eau, arrosage rotatif, eau de refroidissement, alimentation des chauffe-eaux
1929	Pomona, CA, USA	Irrigation des pelouses et jardins
1942	Baltimore, MD, USA	Refroidissement des métaux et procédés sidérurgiques à Bethlehem Steel Company
1960	Colorado Springs, CO, USA	Irrigation de terrains de golf, cimetières et autoroutes
1961	Districts d'assainissement de Los Angeles County, CA, USA	Recharge des eaux souterraines au moyen de bassins d'étalement à Montebello Forebay
1962	Soukra, Tunisie	Irrigation des cultures d'agrumes et réduction de l'intrusion d'eau salée dans les eaux souterraines
1968	Windhoek, Namibie	Récupération directe des eaux usées pour augmenter les approvisionnements en eau potable
1969	Wagga Wagga, Australie	Irrigation de terrains de sport, pelouses et cimetières
1970	Groupe de pâte à papier et papier Sappi, Enstra, Afrique du Sud	Utilisation industrielle d'eaux usées municipales pour les procédés de fabrication de pâte à papier et papier
1976	District des eaux d'Orange County, CA, USA	Recharge des eaux souterraines par injection directe à la Water Factory 21
1977	Projet de la région de Dan, Tel-Aviv, Israël	Recharge des nappes aquifères par des bassins pour une irrigation sans restriction des cultures
1977	St Petersburg, FL, USA	Irrigation de parcs, terrains de golf, terrains scolaires, pelouses de résidences et eau d'alimentation de tours de refroidissement
1984	Agglomération de Tokyo, Japon	Chasses d'eau de 19 tours d'habitation
1985	El Paso, TX, USA	Recharge des nappes aquifères par injection directe à Hueco Bolson, et eau de refroidissement de centrales
1987	Monterey, CA, USA	Irrigation de cultures vivrières susceptibles d'être consommées sans cuisson
1989	Shoalhaven Heads, Australie	Irrigation de jardins et chasses d'eau
1989	Girona, Espagne	Irrigation de terrains de golf
1998	Clermont-Ferrand, France	Irrigation agricole de 580 ha par l'utilisation de 150 000 m ³ d'effluents industriels et 440 000 m ³ d'effluents domestiques traités

3. La réutilisation des eaux usées dans le monde

La réutilisation des eaux usées est l'une des mesures inscrites dans la feuille de route issue de la conférence environnementale de 2013. Cette mesure vise la sécurisation à court et long terme des ressources en eau dans un contexte local et saisonnier (printemps/été), de hausse de la demande en eau, tirée par le développement de la population et de la production agricole, conjuguées à une baisse de la disponibilité en eau, due notamment au changement climatique (CGDDE, 2014).

Dans le monde, il y aurait 20 millions d'hectares de cultures irriguées avec des eaux usées traitées, ce qui représente près de 10 % des surfaces irriguées, mais seulement 1,7 % des surfaces agricoles mondiales (Jimenez et Asano., 2007). C'est une pratique répandue dans les régions du monde affectées par des pénuries de ressources en eau. Dans certains pays, cette pratique est encadrée réglementairement. Pour ces pays, des estimations de volumes concernés sont disponibles, la figure 1 donne une idée sur les volumes d'eaux usées traitées utilisés en agriculture dans différents pays du monde.

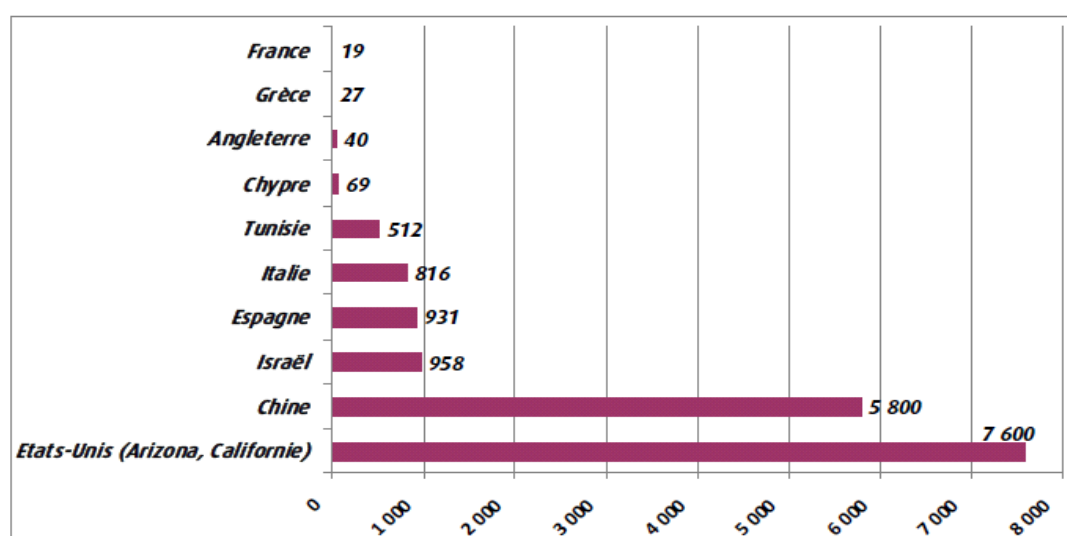


Figure 1: Volume moyen journalier des eaux recyclées pour l'irrigation des végétaux (En milliers de m³/j) (Jimenez et Asano, 2007).

Une réutilisation des eaux usées simple et non programmée (non géré par la loi) peut exister dans d'autres pays, notamment les pays en voie de développement. Dans ces cas-là, des estimations des volumes utilisés ne sont pas disponibles.

Les eaux usées sont également utilisées pour l'irrigation des espaces verts (jardins publics, terrains de sport ou golfs), principalement dans les pays soumis à un fort stress hydrique : jardins

publics et golfs d'Abu Dhabi aux Émirats Arabes Unis, parc olympique, parc zoologique, jardins publics en Australie, golfs d'Agadir (ONEE, 2014).

4. Production d'eau usée au Maroc

Selon le Secrétariat d'État Chargé de l'Eau, Le volume annuel des eaux usées a presque triplé au cours des trois dernières décennies. Il est passé de 48 à 500 millions de m³ de 1960 à 1999. Le volume est estimé actuellement à 500 millions de m³ et il est prévu atteindre près de 900 millions de m³ en l'an 2020 (Fig.2) (El Youssfi, 2013).

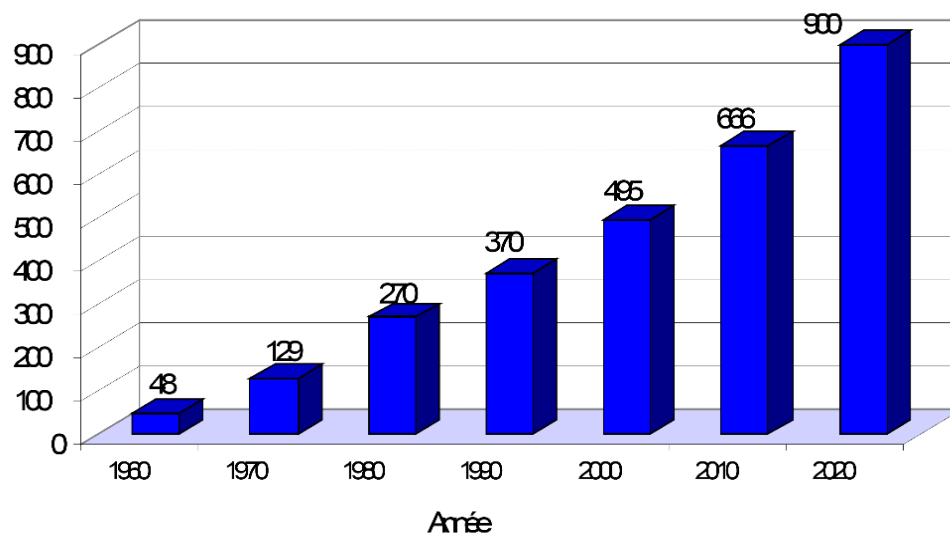


Figure 2: Evolution du volume des eaux usées brutes urbaines au Maroc entre 1960 et 2020 (El Youssfi, 2013).

5. Réutilisation des eaux usées traitées à des fins agricoles au Maroc

Concernant la réutilisation des eaux usées épurées au Maroc, seuls 12% sont réutilisées actuellement. Ce taux passera à 22% en 2020 si on collecte les eaux usées déversées en mer. Il atteindra environ 100% à l'horizon 2030 (objectif fixé par la stratégie du développement du secteur de l'eau).

L'usage de ces eaux usées traitées touche le secteur agricole (couvrant actuellement une superficie d'environ 550 hectares et atteindra 4000 hectares à l'horizon 2020), l'arrosage des golfs et des espaces verts, la recharge des nappes et le recyclage en industrie (MEMEE, 2011).

La réutilisation des eaux usées traitées en agriculture présente un double avantage, d'une part, elle aidera à atténuer la pression sur les ressources en eau conventionnelles. D'autre part, elle contribuera à la protection de l'environnement et la lutte contre la pollution de l'eau en réduisant

le volume des eaux usées déversées dans les fleuves, les lacs et le littoral (Choukr-Allah et *al.*, 2003 ; Ait Alla et *al.*, 2006).

5.1. Les réglementations mondiales

Afin de garantir la protection de la santé publique, il est indispensable de mettre en place des normes et des réglementations strictes et adaptées à la spécificité des différentes cultures (FAO, 2007). Cette réglementation est la responsabilité des différents organismes nationaux et internationaux (l'OMS, la FAO, l'USPEA ...).

Chaque pays possède des directives et/ou règlements auxquels les agriculteurs doivent obligatoirement se conformer. Les agriculteurs doivent cependant être informés de ces directives comme de la qualité de l'eau usée qui leur est fournie, de façon à appliquer une gestion appropriée dans des limites de risques acceptables pour la santé et l'environnement. Les pays qui n'ont pas encore développé leurs directives nationales sont encouragés pour adopter celles de l'OMS (FAO, 2007).

5.2. Recommandations de l'OMS

L'utilisation d'eaux usées en agriculture peut aider les communautés à produire davantage de cultures alimentaires et à tirer parti des ressources précieuses en eau et en nutriments. Cette utilisation doit cependant s'effectuer sans risque afin que ses bénéfices pour la santé publique et l'environnement soient les plus importants possibles (Gadda, 2013). L'OMS a publié en 2006 de nouvelles lignes directrices sur l'utilisation des eaux usées (l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères), 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. 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 EUE ainsi que le lavage (Gadda, 2013).

Ces recommandations ont eu une grande influence et de nombreux pays les ont adoptées pour les appliquer ou les adapter à leurs pratiques en matière d'utilisation des eaux usées et des excréta (OMS, 2006).

Tableau 2 : Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en agriculture (OMS, 1989).

Catégorie	Condition de réutilisation	Groupe exposé	Nombre d'œufs de nématodes dans un litre d'eau	Nombre de coliformes dans 100 ml d'eau
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, terrains de sport, jardins publics	Ouvriers agricoles, consommateurs publics	≤ 1	≤ 1000
B	Irrigation de cultures céréalières, fourragères, industrielles, de pâturages et des plantations	Ouvriers agricoles	≤ 1	Aucune norme n'est recommandée
C	Irrigation de cultures de la catégorie B, sans exposition des ouvriers agricoles	Néant	Sans objet	Sans objet

5.3. Directives de la FAO

La FAO fournit aux utilisateurs des eaux usées, en particulier les agriculteurs, des recommandations, des directives et des procédures de gestion afin d'optimiser la production végétale dans une approche respectueuse de l'environnement. À cet égard, elle a publiée des manuels fournissant des mesures préventives intégrées d'une gestion des problèmes potentiels (FAO, 2003).

Tableau 3 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation d'après la FAO (AYERS et WESTCOT, 1994).

		Restriction pour l'irrigation		
		Aucune	Légère à modérée	Forte
Salinité (influe sur l'eau disponible pour la plante)				
CEi	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TDS	mg/l	<450	450-2000	>2000
Infiltration (influe sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol : utiliser à la fois CEi et SAR)				
SAR = 0-3 et CEi =		>0.7	0.7-0.2	<0.2
SAR = 3-6 et CEi =		>1.2	1.3-0.3	<0.3
SAR = 6-12 et CEi =		>1.9	1.9-0.5	<0.5
SAR = 12-20 et CEi =		>2.9	2.9-1.3	<1.3
SAR = 20-40 et CEi =		>5.0	5.0-2.9	<2.9
Toxicité de certains ions (affectent les cultures sensibles)				
Sodium :				
Irrigation de surface	SAR	<3	3-9	>9
Irrigation par aspersion	még/l	<3	>3	□
Chlore :				
Irrigation de surface	még/l	<4	4-10	>10
Irrigation par aspersion	még/l	<3	>3	
Bore	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Effets divers (affecte les cultures sensibles)				
Azote (NO ₃ -N)	mg/l	<5	5-30	>30
Bicarbonate (HCO ₃) (pour aspersion sur frondaison)	még/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH		Zone normale : 6.5-8.4		

5.4. Réglementation Marocaine

Dans le but de protéger la santé des ouvriers agricoles qui sont en contact permanent avec ces eaux et les consommateurs des produits irrigués par ces eaux usées, le Maroc a établi des lois visant le bon usage de cette ressource et la création des normes qui régissent la réutilisation des

eaux usées épurées au Maroc (MEMEE/ FAO, 2011). Ces normes ont été créées sur la base de la législation qui vise la protection et la gestion intégrée des ressources en eau. Les principaux articles relatifs à la REU sont :

- Article (51) : relatif à l'établissement des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation et d'autres usages. Ces normes sont élaborées par le Comité Normes et Standards, fixées par arrêté et révisées tous les dix ans ou chaque fois que le besoin s'en fait sentir. Les ABHs sont tenues par la loi sur l'eau de prendre les mesures nécessaires pour que la qualité des eaux respecte ces normes.
- Article (52) : Impose une autorisation préalable aux rejets d'eaux usées dans le milieu récepteur, délivrée par l'Agence de Bassin après enquête.
- Article (54) : Interdit le rejet d'eaux usées dans le milieu récepteur.
- Article (57) : relatif aux conditions d'utilisation des eaux usées. Il impose une autorisation à toute REU et stipule que tout utilisateur peut bénéficier du concours financier de l'Etat et d'une assistance technique si l'utilisation qu'il en fait est conforme aux conditions fixées par l'administration et a pour effet de réaliser des économies d'eau et de préserver les ressources en eau contre la pollution.
- Article (84) : Interdit la REU en agriculture chaque fois que la qualité de ces eaux usées ne correspond pas aux normes fixées par voie réglementaire.

D'autres décrets et arrêtés d'application de la Loi sur l'Eau ont été promulgués et concernent directement ou indirectement la REUE (MEMEE, 2011).

6. Procédés d'épurations des eaux usées

Il existe plusieurs filières avec différents types de traitement, mais le choix des procédés de traitement doit être adéquat du point de vue climatique, des applications attendues et du coût d'investissement (ADEME, 1996 ; Werther et Ogada, 2013). Ces procédés nécessitent un ensemble cohérent de traitements effectués après des prétraitements tels que le dégrillage, le dessablage et le dégraissage. On distingue les procédés intensifs dont les boues activées, les disques biologiques et les lits bactériens et les procédés extensifs dont le lagunage et l'infiltration-percolation (Eddabra, 2011).

6.1. Techniques intensives classiques

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs. Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de dégradation des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel, trois grands types de procédés sont utilisés :

6.1.1. Lits bactériens

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs. Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre-courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux (Belmi, 1999).

6.1.2. Boues activées

Le principe consiste à favoriser le développement des bactéries épuratrices dans un bassin brassé et aéré, alimenté en eau à épurer. La qualité microbiologique du rejet et les rendements épuratoires peuvent atteindre des niveaux très élevés. Il est habituel d'obtenir des rendements d'élimination de la matière organique supérieurs à 95% (Duchène et Vanier, 2002).

6.1.3. Disques biologiques

Une autre technique, faisant appel aux cultures fixées, elle est constituée par les disques biologiques tournants, les micro-organismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi-immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée (Boutin, 2003).

6.2. Techniques extensives

Les techniques dites extensives réalisent l'épuration à l'aide de cultures fixées sur support fin ou encore à l'aide de cultures libres mais utilisant l'énergie solaire pour produire de l'oxygène par photosynthèse. Le fonctionnement de ce type d'installation sans électricité est possible, excepté pour le lagunage aéré pour lequel un apport d'énergie est nécessaire pour alimenter les aérateurs ou les matériels d'insufflation d'air.

6.2.1. Infiltration-percolation sur sable :

L'infiltration-percolation sur sable est un traitement biologique par fixation naturelle des bactéries sur les grains du sable. Ce système a été adopté pour le traitement des eaux usées de la ville d'Agadir (Mimouni, 2004). Après une décantation anaérobie des eaux usées, celles-ci sont déversées et étalées sur les lits du sable, les eaux sont d'abord débarrassées des matières en suspension par filtration superficielle, puis leur matière organique est dégradée et leurs composés azotés sont oxydés sous forme de nitrates par les bactéries qui colonisent le sable (Eddabra, 2011).

6.2.2. Lagunage

L'utilisation d'étangs naturels ou artificiels comme milieux récepteurs d'effluents bruts ou traités remonte à des temps anciens. On trouve des lagunes naturelles et aérées. Dans les lagunes naturelles, l'eau à épurer est stockée dans un bassin de faible profondeur. Des bactéries aérobies se développent et utilisent la matière organique comme source de nourriture et aboutissent à la formation d'une boue activée dispersée. L'oxygène est fourni par l'activité photosynthétique des algues. Le fond de la lagune est anaérobie. Les lagunes aérées sont un dispositif très proche des procédés à boues activées, où l'oxygène est apporté avec des aérateurs artificiels pour le maintien des conditions aérobies des bactéries épuratrices (Boeglin, 1998).

6.3. Stations d'épurations au Maroc

Depuis 1958, des dizaines de stations d'épuration des eaux usées (STEP) ont été construites au Maroc, mais en 1994 la grande majorité est hors service ou n'a pas été raccordée au réseau pour des raisons diverses : inadaptation de la filière de traitement aux conditions locales, défaut de conception des ouvrages, manque d'entretien, problèmes de gestion (absence de budget, manque de cadres techniques compétents, absence de planification à court et long terme). Seuls

8 % des eaux usées sont épurées, le reste est déversé directement dans la mer (52 %), dans le réseau hydrographique (32 %) et les fosses septiques, ce qui entraîne une pollution importante du littoral, des cours d'eau (Oued Sebou) et des nappes phréatiques (Mountadar et *al.* 2006). L'annexe 2 résume l'état des STEP au Maroc.

En 2009, plus de 100 STEP sont principalement installées dans des petites et moyennes villes de l'intérieur du pays marocain. Elles ont eu recours à des technologies diverses telles que les boues activées, les étangs, les filtres d'écoulement et les bassins de stabilisation et d'infiltration. La plus grande STEP du pays est celle de la ville de Tanger avec une capacité de 218 000 m³/jour. Cependant, seul 13% des eaux usées collectées sont traitées.

Les principales STEP par ordre de grandeur, sont les suivantes :

- Tanger avec une capacité de 218 000 m³/jour,
- Marrakech, 118 000 m³/jour, traitement primaire par boues activées,
- Meknès, 96 000 m³/jour, traitement primaire par lagunage,
- Agadir, 51 000 m³/jour, traitement secondaire par décantation anaérobie, infiltration-percolation, traitement tertiaire par UV d'une partie des eaux épurées pour la réutilisation,
- Settat, 17 000 m³/jour, traitement tertiaire par lagunage,
- Beni Mellal, 11 000 m³/jour, traitement secondaire par boues activées,
- Deroua, 2 000 m³/jour, traitement primaire par lagunage.

6.4. Modes de réutilisation des eaux usées traitées

La réutilisation des eaux usées est répandue dans le monde entier avec plusieurs types de valorisations. Il existe des milliers de projets utilisant des eaux usées (Boxio et *al.* 2008), 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 (OMS, 1989). Les différents types de réutilisation des EUE sont :

6.4.1. Usage en agriculture

Selon (Lazarova et *al.*, 1998) et (Choukr-Allah, 2005) la plupart des projets de réutilisation des eaux usées que ça soit brutes ou traitées visent principalement le domaine agricole, puisque ce domaine consomme la quasi-totalité des ressources hydriques disponible surtout dans les pays agricoles.

6.4.2. Usage en aquaculture

L'aquaculture alimentée par des rejets se pratique depuis très longtemps dans plusieurs pays de l'est, du sud et du sud-est de l'Asie, et notamment en Chine, où cette activité remonte à plusieurs siècles (Edwards, 1992, 2000).

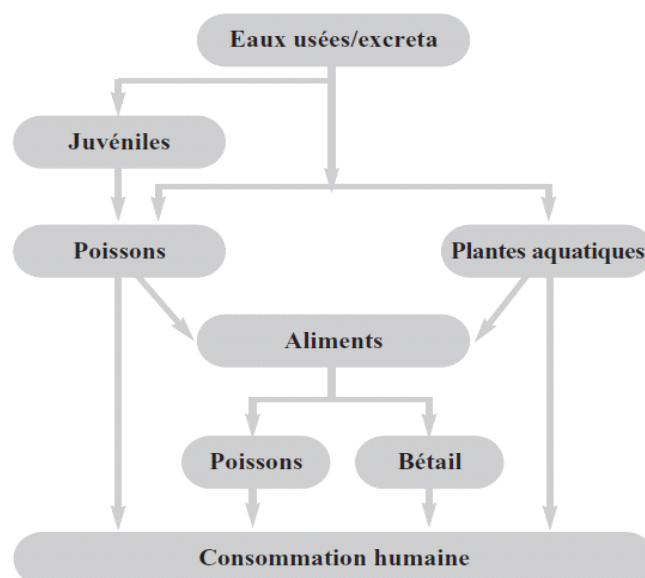


Figure 3 : Utilisation des eaux usées ou des excréta en aquaculture (PNUE, 2002).

6.4.3. Usage industriel

En industrie l'utilisation des EUE est très variée, elles peuvent servir d'eau de lavage et/ou de refroidissement pour les chaudières en industries agroalimentaire, centrales nucléaires et géothermiques (Jimenez et Asano., 2007), mais aussi peuvent être utilisées dans les industries de papier et de textile (tableau 4). L'industrie textile utilise des quantités importantes d'eau, elles sont utilisées pour nettoyer la matière première et pour de nombreuses étapes de nettoyage pendant la production (Rossi, 1999).

Tableau 4 : Distribution de l'utilisation de l'eau par type de fabrication (US EPA, 1996).

Fabric type	Besoin en eau l/kg production		
	Minimum	Average	Maximum
Laine	111.0	285.0	658.0
Tissé	5.0	113.0	508.0
Tricot	20.0	83.0	377.0
Tapis	8.3	47.0	163.0
Fil	3.3	100.0	558.0
Non-tissé	2.5	40.0	83.0
Feutrine	33.0	213.0	933.0

6.4.4. Usage urbain et périurbain

Selon la RAMSA (2008), l'irrigation des espaces verts et des golfs de la ville d'Agadir (tableau 5) par les EUE peut contribuer à la diminution de la demande en eau et donc réduire le pompage excessif de la nappe du bassin de Souss Massa et la protection des milieux récepteurs (Ait Alla et *al.*, 2006), d'autres utilisations comme l'épandage optionnel d'Arganneraie (4Mm³/an 400 ha) pouvant être utile.

Tableau 5: Inventaire des espaces verts urbains et golfs (RAMSA, 2008).

localisation	Aire des espaces verts et des golfs en hectare			Débit de pointe m ³ /j
	Aire existante	Aire projetée	total	
Espaces verts Grand Agadir	104	333	437	17 149
Golfs	412	165	577	31 906
TOTAL GENERAL	516	498	1014	49 055

6.4.5. Recharge des nappes

Selon la RAMSA (2008), La recharge artificielle de la nappe de Souss Massa est indispensable pour réduire la dégradation de sa qualité physico-chimique et la restauration de sa capacité surexploitée par excès de pompage, mais aussi sa protection contre l'invasion des eaux salées de mer.

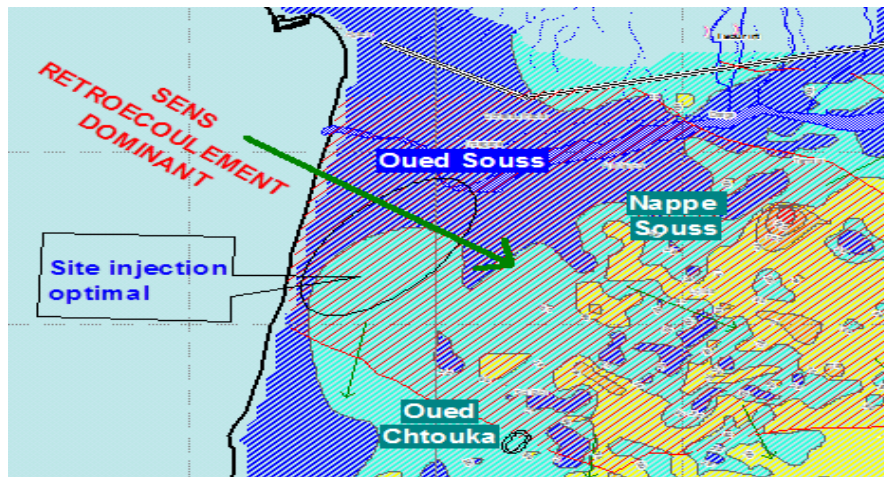


Figure 4 : Recharge artificielle de la nappe de Souss Massa par des bassins d'infiltration (RMSA, 2008).

7. Impact de la réutilisation des EUE

L'utilisation des EUE malgré tous ces avantages n'est pas sans risques, une utilisation sans respect des règles d'hygiène et des directives de l'OMS peuvent induire un risque sur l'environnement et sur la santé des usagers (Dssouli et, 2006). Ce risque est attribué à la présence dans les eaux usées d'un grand nombre d'agents pathogènes tels que les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (Shuval et al, 1986), mais L'OMS qualifie la présence des helminthes parasites, en particulier les nématodes intestinaux comme principale contrainte pour la réutilisation des eaux usées en agriculture. Le tableau 6 représente les divers organismes transportés par les eaux usées et leurs durées de vie dans la nature et dans différents biotopes.

7.1. Sur l'environnement

7.1.1. Sol et nappes phréatiques

La salinisation des sols et la pollution nitrique des eaux souterraines constituent les principaux problèmes environnementaux liés à l'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. En effet, la teneur des eaux usées en sels présente une contrainte à leur utilisation en agriculture en raison du risque de salinisation et d'alcalinisation du sol (Berdai et *al.*, 2004). Ces valeurs (salinisation et d'alcalinisation) dépendent des activités industrielles (usines de conserves de poisson) et domestiques en amont de la station d'épuration (Mimouni et *al.*, 2011).

Les nappes libres sont les plus exposées à la contamination, non seulement parce qu'elles ne bénéficient pas d'une protection naturelle vers la surface, mais encore parce qu'elles sont en général peu profondes (Lazarova et Brissaud, 2007).

Tableau 6 : Survie de divers organismes transportés par les eaux usées dans différents milieux.

Organisme	Durée de la survie (jours)		
	Eau douce et eau usée	Cultures	Sol
Virus			
Entérovirus ^a	<120, habituellement <50	<60, habituellement <15	<100, habituellement <20
Bactéries			
Coliformes thermotolérants	<60, habituellement <30	<30, habituellement <15	<70, habituellement <20
<i>Salmonella</i> spp.	<60, habituellement <30	<30, habituellement <15	<70, habituellement <20
<i>Shigella</i> spp.	<30, habituellement <10	<10, habituellement <5	N. D.
<i>V. cholerae</i>	N. D.	<5, habituellement <2	<20, habituellement <10
Protozoaires			
Spores d' <i>E. histolytica</i>	<30, habituellement <15	<10, habituellement <2	<20, habituellement <10
Oocystes de <i>Cryptosporidium</i>	<180, habituellement <70	<3, habituellement <2	<150, habituellement <75
Helminthes			
Œufs d' <i>Ascaris</i>	Années	<60, habituellement <30	Années
Œufs de vers plats	Plusieurs mois	<60, habituellement <30	Plusieurs mois

Sources: Feachem et al. (1983); Strauss (1985); Robertson, Campbell & Smith (1992); Jenkins et al. (2002); Warnes & Keevil (2003).

7.1.2. Sur les cultures

Au-delà de l'effet global de certains constituants de l'eau usée épurée sur les cultures irriguées comme la salinité, cette eau peut potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds (FAO, 2003). D'autre part les eaux usées contiennent une multitude d'organismes pathogènes pour l'humain tels que

des bactéries, (ex. : *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Pseudomonas*, *Campylobacter*), des virus (ex. entérovirus, adénovirus, coronavirus, rotavirus, virus de l'hépatite A et E) ainsi que des parasites (ex. : *Giardia* et *Cryptosporidium*) (US EPA, 2004). Ces micro-organismes pathogènes peuvent survivre quelques jours, semaines ou mois dans le sol ou sur des terres en culture sur lesquels des eaux usées auraient été déversées, Certains agents microbiens peuvent causer des infections respiratoires, cutanées, oculaires ou encore plus sévèrement, occasionner une hépatite. (OECD, 2005).

7.2. Sur la population exposée

7.2.1. Sur le personnel des STEP

Le personnel des stations d'épurations des eaux usées est le plus confronté aux risques des eaux usées, car il est en contact permanent avec ces dernières, La qualité de l'effluent et la boue (charge microbienne) peut compromettre la santé des travailleurs et des riverains. L'utilisation ou non des moyens de protection par les travailleurs de la station a des répercussions sur leur santé (Makoutode et *al.*, 1999). Blumenthal et Peasey (2002) ont réalisé une revue de l'ensemble des preuves épidémiologiques d'effets sur la santé résultant de l'utilisation d'eaux usées et d'excreta en agriculture. Un récapitulatif des principales preuves épidémiologiques est présenté dans le tableau 7.

7.2.2. Sur le consommateur

Shuval et al. (1986) ont procédé à une revue des preuves épidémiologiques disponibles dans les études sur l'utilisation d'eaux usées en agriculture. Les éléments réunis à cette époque laissaient à penser que l'utilisation d'eaux usées non traitées en agriculture présentait un risque élevé de transmission des nématodes intestinaux et d'infections bactériennes, en particulier pour les consommateurs de produits de culture et les travailleurs agricoles (Annexe1).

Les consommateurs des produits agricoles irrigués par des EUE, sont confrontés aux risques liés à la charge microbiologique (bactéries, virus et parasites) et aux produits chimiques et métaux lourds transportés par les eaux d'irrigations, et qui subiront un phénomène d'accumulations par les plantes et les animaux destinés à la consommation humaine (cas des parasites) (Berdai, 2004). Le Tableau 8 récapitule les études examinées concernant les risques d'infection par des helminthes, des bactéries ou des virus pour les consommateurs de produits

de culture crus. Les résultats des comparaisons entre groupes exposés et non exposés sont donnés sous forme de risques relatifs et d'odds ratios dans le tableau 8 (rapport exposés/non exposés).

Les produits agricoles ne sont pas les seuls à présenter un risque sur la santé du consommateur, les produits de la mer sont aussi exposés aux eaux usées qui sont rejetées dans le littoral, ces produits, poissons et mollusques sont des organismes filtreurs (moules) qui concentrent métaux lourds et produit chimiques toxiques (chrome, bore...) issu des eaux usées (Ait alla, 2006) (Tahri Joutey et al., 2011).

7.2.3. Sur les habitants des périmètres des SETP

Plusieurs études épidémiologiques ont démontré que le taux d'infection parasitologique est plus élevé dans les régions agricoles irriguées par les eaux usées épurées ou brutes (Moubarrad et al., 2006) (El Ouali Lalami et al., 2014) (Dssouli et al., 2001) (El Guamri et Belriti, 2007). Il était 3 à 4 fois plus probable qu'une personne ayant utilisé les eaux usées brutes pendant plusieurs années, contracte une helminthiase comparativement à une personne ayant utilisé une eau conventionnelle (Berdai et al., 2004). Ceci est plus accentué chez Certaines personnes vulnérables qui sont particulièrement exposées aux infections soit : les enfants de moins de 5 ans, les personnes âgées et les personnes immunodéprimées. En plus d'être plus sensibles aux infections par les micro-organismes pathogènes, ces personnes vulnérables peuvent développer des maladies suite à l'exposition à des organismes qui ne représentent habituellement pas de risque pour les individus en bonne santé (INSPQ, 2003).

Tableau 7 : Résumé des risques sanitaires associés à l'utilisation d'eaux usées pour l'irrigation.

Groupe exposé	Risques sanitaires		
	Infections par des helminthes	Infections bactériennes/virales	Infections par des protozoaires
Consommateurs	Risque important d'infection par des helminthes pour les adultes comme pour les enfants exposés à des eaux usées non traitées	Flambées de choléra, de fièvre typhoïde et de shigellose signalées comme résultant de l'utilisation d'eaux usées non traitées; réponses séropositives pour <i>Helicobacter pylori</i> (eaux non traitées); augmentation du nombre de cas de diarrhée non spécifique lorsque la contamination de l'eau dépasse 10^4 coliformes thermotolérants/100 ml	Preuves de la présence de protozoaires parasitiques à la surface des légumes irrigués par des eaux usées, mais pas de preuve directe de la transmission de maladies
Travailleurs agricoles et leurs familles	Risque important d'infection par des helminthes pour les adultes comme pour les enfants en contact avec des eaux usées non traitées; risque accru d'ankylostomiase pour les travailleurs ne portant pas de chaussures; le risque d'infection par des helminthes persiste, en particulier pour les enfants, même lorsque les eaux usées sont traitées jusqu'à obtenir moins de 1 œuf d'helminthe par litre; le risque pour les adultes n'augmente pas pour cette concentration d'helminthes	Risque accru de maladie diarrhéique pour les jeunes enfants en contact avec des eaux usées si la contamination de l'eau dépasse 10^4 coliformes thermotolérants/100 ml; risque élevé d'infection par <i>Salmonella</i> chez les enfants exposés à des eaux usées non traitées; séropositivité élevée pour les norovirus chez les adultes exposés à des eaux partiellement traitées	Risque d'infection à <i>Giardia intestinalis</i> signalé comme insignifiant en cas de contact avec des eaux usées traitées, comme avec des eaux usées non traitées; toutefois, une autre étude réalisée au Pakistan a estimé que les agriculteurs utilisant des eaux usées brutes étaient exposés à un risque trois fois plus élevé que ceux employant de l'eau douce pour l'irrigation; observation d'une augmentation du risque d'amibiase en cas de contact avec des eaux usées non traitées
Communautés voisines	La transmission des helminthes n'a pas été étudiée pour l'irrigation par aspersion, mais même chose que précédemment pour l'irrigation par submersion ou par rigoles d'infiltration en cas de contact important	L'irrigation par aspersion avec de l'eau de qualité médiocre (10^6 à 10^8 coliformes totaux/100 ml) et une forte exposition aux aérosols sont associées à une augmentation des taux d'infection; l'utilisation d'eau partiellement traitée (10^4 à 10^5 coliformes thermotolérants/100 ml ou moins) pour l'irrigation par aspersion n'est pas associée à une élévation des taux d'infection virale	Aucune donnée sur la transmission d'infections à protozoaires dans le cadre de l'irrigation par aspersion avec des eaux usées

Sources : Shuval, Yekutieli & Fattal (1984); Fattal et al. (1986); Shuval et al. (1989); Blumenthal et al. (2000a); Armon et al. (2002); Blumenthal & Peasey (2002); J. H. J. Ensink; W. van der Hoek & F. P. Amerasinghe (données non publiées, 2005).

Chapitre II :

Matériel et méthodes

1. Description de la station d'épuration des eaux usées l'Mzar

1.1. Localisation

La station de L'Mzar, est construite en 2002 sur les dunes de L'Mzar dans l'enceinte du parc national Souss Massa, à environ 15km du centre-ville d'Agadir en rive gauche de l'Oued Souss.



Figure 5: Station d'épuration d'eaux usées Mzar (Google Maps).

1.2. Type de traitement de la station Mzar

Le mode d'épuration dans la station Mzar consiste en trois stades successifs de traitement : la décantation anaérobique (traitement primaire) puis l'infiltration percolation sur sable (traitement secondaire) suivi d'une épuration tertiaire par Ultra-violets (U.V).

1.2.1. Description du mode de traitement primaire :

Ce procédé consiste, d'une part en une décantation avec un temps de rétention hydraulique des effluents de l'ordre de 2,5 jours et d'autre part, 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.

Tableau 8 : Caractéristiques du traitement primaire de la station L'Mzar.

Capacité de traitement	75 000m ³ /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 ³
Abattement	40 à 60 % de MES, DCO et DBO ₅ .

1.2.2. Description du mode de 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).

Différents processus opèrent dans le milieu granulaire :

- **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).
- **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
 - Dégradation des micro-organismes (germes) bloqués dans les pores ou adsorbés à la surface des grains.

Tableau 9 : Caractéristiques de traitement secondaire.

Débit à traiter	10 000m ³ /j.
Nombre de filtres	24
Surface de chaque filtre	5000 m ² environ
Epaisseur du filtre	2 m de sable
Epaisseur du gravier	0,5m
Vitesse d'infiltration	1m/j
Matériau d'étanchéité des fonds des filtres	Géomembrane en PEHD d'épaisseur 1mm
Abattement	96 à 99 % de MES, DCO et DBO ₅ .

1.2.3. Description du mode de traitement tertiaire :

Le traitement tertiaire adopté à la station Mzar est la désinfection par 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 (254 nm), 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.

Le traitement est réalisé dans des réacteurs fermés, où l'eau à traiter transite entre des lampes qui irradiant en quelques secondes le fluide.

Tableau 10 : Caractéristiques de traitement tertiaire.

Capacité de traitement		30000m ³ /j.
Pompes (nombre, capacité unitaire)		6+1 pompes de 270m ³ /h
Réacteurs (nombre, capacité unitaire)		6 réacteurs de 5000m ³ /j
Lampes	Nombre par réacteur	14 lampes Amalgame basse pression.
	Longueur d'onde	254 nm.
	Dose d'exposition	50 mJ/cm ² .
	Durée de vie	16000 h.
	Temps de contact	4 secondes.
Abattement		1000 CF par 100ml à la sortie.

2. Prélèvements et suivi des paramètres physicochimiques et biologiques

2.1. Rythme des prélèvements (Lieu et période de l'étude)

Des prélèvements mensuels d'eau et de matière végétale ont été régulièrement effectués au niveau de la station Mzar durant la période d'étude (de Février à Juin) dans 4 sites qui correspondent à 4 types d'eaux ;

A l'entrée de la station : Eaux usées brutes (**EB**), après les bassins de dénitrifications (eau décantée) (**ED**) et après la filtration sur sable (**EE**), à la sortie des réacteurs UV (**EEUV**).

2.1.1. Echantillons d'eaux

Des prélèvements ponctuels destinés à l'étude bactériologique et physicochimiques sont effectués à la surface au niveau des canaux reliant les différents bassins, dans une zone assez agitée par le courant de l'effluent où le risque de sédimentation est très faible, (El Ouali Lalami et *al.*, 2014). Le prélèvement est effectué dans des conditions d'asepsie rigoureuse pour éviter toute contamination accidentelle durant la manipulation, il est réalisé dans des flacons stériles qui sont soigneusement étiquetés et rincés avec l'eau à échantillonner avant le prélèvement de l'échantillon final, puis conservés dans une glacière maintenue à basse température (4°C) et transportés au laboratoire dans la même journée pour les analyses (Azizi, 1990).

2.1.2. Echantillons de matière végétale

Carpobrotus (*Carpobrotus edulis*) (figure 6) est une plante utilisée dans la station Mzar comme plante ornementale elle est irriguée par l'eau épurée de la station, elle nous offre la possibilité d'étudier l'impact bactériologique de l'irrigation par les EUE de la station Mzar.

100 g du poids frais de *Carpobrotus* ont été prélevés des espaces verts de la station, puis lavés dans 100 ml d'eau physiologique stérile. L'eau du rinçage ainsi obtenue est soumise immédiatement à l'analyse bactériologique (Dssouli et *al.*, 2001).



Figure 6 : *Carpobrotus edulis* plante utilisée dans la station Mzar pour ornementation.

2.2. Paramètres physico-chimiques

Toutes les analyses et les mesures nécessaires pour quantifier les polluants organiques sont normalisées suivant les normes marocaines, similaires aux normes françaises AFNOR selon les techniques préconisées par Rodier (2005). Les paramètres physico-chimiques étudiés sont : la DBO₅, la DCO, la conductivité, la température, le pH, les sulfates et les nitrates.

Les paramètres mesurés sur place sont le pH, la température, la conductivité et la DCO. Les autres paramètres sont étudiés au laboratoire dans les heures qui suivent la sortie sur terrain.

2.2.1. Détermination du pH

Le pH des eaux usées est habituellement légèrement alcalin. Si l'on épand ces eaux usées sur des sols présentant une alcalinité appropriée, l'équilibre acide/base du sol n'est pas perturbé. L'épandage d'effluents très acides (certains effluents industriels, par exemple) sur des sols faiblement alcalins sur de longues périodes peut modifier leur pH. Une valeur faible du pH influe sur la mobilité des métaux lourds dans le sol. Certaines cultures exigent des plages de pH spécifiques pour croître de manière optimale (OMS, 2006).

Le pH, la température, la conductivité et la DCO ont été déterminés par un pH-mètre muni par une sonde multi-paramètres type CONSORT C831.

2.2.2. Détermination de la température

La température est un facteur primordial dans le phénomène d'adsorption. La viscosité de l'eau diminue avec la température ; augmenter la température peut donc apparaître favorable à la filtration et l'amélioration de la qualité de l'eau épurée (Jeison et Van Lier, 2008).

2.2.3. Détermination de la 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 en 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 (Eddabra, 2011).

2.2.4. Détermination des MES

Les matières en suspension dans les eaux usées peuvent boucher les infrastructures d'irrigation, en particulier si l'on utilise des buses d'aspersion ou si l'on irrigue par goutte-à-goutte. De plus, si ces matières ne sont pas biodégradables, elles peuvent aussi diminuer la percolation. Quoique que les matières en suspension puissent inclure des particules algales, qui enrichissent les sols en matières organiques et en nutriments après leur biodégradation (OMS, 2006). Les MES ont été quantifiées par filtration (filtres Whatman circulaire de 47 mm de diamètre et de porosité 0.45 µm est déterminée selon la norme AFNOR (T90-105).

2.2.5. Détermination de la Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène requise pour oxyder la matière organique et inorganique oxydable contenue dans un échantillon d'eau. Les substances organiques et inorganiques présentes dans les effluents proviennent principalement des usines de conserves de poissons de et des fabriques de papiers. Les eaux dont la DCO est élevée peuvent ne pas convenir à l'irrigation. Elles peuvent également avoir des répercussions néfastes pour certains sols (OMS, 2004).

La DCO a été déterminé par un pH-mètre multi-paramètres type CONSORT C831.

2.2.6. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène est la quantité en oxygène nécessaires aux micro-organismes pour la dégradation de la matière organique en 5 jours, elle est exprimée en milligramme d'oxygène consommé.

La détermination de la demande biochimique en oxygène vise à reconstituer en laboratoire les phénomènes de dégradation qui ont lieu dans le milieu naturel. Le principe de cette méthode repose sur la préparation d'une solution obtenue par dilution apportant un ensemencement puis incubation pendant cinq jours à l'obscurité dans une enceinte réglée à (20 °C ±1) °C, ensuite on procède à la mesure de la quantité d'oxygène consommée.

Pour la détermination de la DBO₅, on a utilisé l'OxiTop, DCO (DCO-mètre type WTW) selon la norme AFNOR (NF T90-101).

2.3. Paramètres bactériologiques

Les échantillons d'eau et de matières végétales sont soumis à l'analyse bactériologique selon la méthode de filtration sur membrane qui consiste à filtrer un volume d'eau connu sur une membrane poreuse, calibrée pour retenir les bactéries (0,45µm). Cette membrane est ensuite mise dans des conditions (Température, temps d'incubation et milieu de culture) qui autorisent le développement des coliformes thermotolérants et les entérocoques mais pas les autres bactéries :

- Pour les coliformes thermotolérants 24 h à 44°C dans le Milieu Tergitol au TTC, car les autres coliformes ne se développent en principe pas au-dessus de 37°C. Après 24 heures, les bactéries présentes ont formé des colonies de bactéries identifiables à l'œil nu.
- Pour les entérocoques 48 h à 37 °C dans le milieu Slanetz.

Les résultats sont exprimés en nombres d'unité formant colonie (UFC) par 100 ml d'eau filtrée.

2.3.1. Dénombrement des coliformes fécaux

Les coliformes thermotolérants sont des microorganismes en bâtonnets, ne formant pas de spores, à Gram négatif, oxydase négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs, capables de croître en présence de sels biliaires, ou autres agents de surface ayant des propriétés inhibitrices de croissance analogues et capables de fermenter le lactose avec production d'acide (ou d'aldéhyde) et de gaz en 48 heures à la température de 44 °C (Gourmelon et *al.*, 2002).

Le dénombrement des coliformes fécaux dans les différents échantillons a été apprécié par le dénombrement des colonies jaune-orange sur le milieu gélosé au Tergitol et au Chlorure de Triphényl Tetrazolium (TTC ± Tergitol 7) selon le protocole expérimental (annexe 3). (NF EN ISO 9308-1).

2.3.2. Dénombrement des entérocoques

Les entérocoques sont des bactéries à gram positif qui se présentent sous forme de coques en courtes chaînes. Ils peuvent notamment hydrolyser l'esculine en présence de 40 % de bile et ont la capacité de croître à une température entre 10 et 45 °C, à un pH alcalin de 9,6, dans une solution contenant 6,5 % de Na Cl (CEAEQ, 2000 ; Facklam et *al.*, 1999; Hancock et Gilmore, 2000); ces caractéristiques sont utilisées pour leur identification. Les entérocoques peuvent être détectés en milieu liquide (dilution en tubes multiples – méthode du nombre le plus probable) ou sur gélose lors d'une filtration sur membrane (FM). Il n'existe pas de norme pour les entérocoques, mais Ils sont néanmoins considérés comme indicateurs d'une pollution fécale, et leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils soient résistants à la dessiccation et persistent plus longtemps dans l'eau (Gleeson et Gray, 1997). Ils apportent donc une information supplémentaire sur une pollution.

Le dénombrement d'entérocoques est fait après filtration sur membrane d'un volume donné et dénombrement des colonies rosées sur le milieu Slanetz, après incubation à 37°C pendant 48h selon le protocole expérimentale (annexe 3) (NF EN ISO 7899-1).

2.4. Abatement de la pollution au niveau de la station Mzar

Les performances épuratoires ont été appréciées sur la base du taux d'abattement enregistrées, pour les paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'affluent et de l'effluent de la STEP Mzar (Tableau IX). Les abattements ont été calculés pour chaque paramètre selon la formule suivante (El Haité et Fonkou, 2010):

$$\text{Abatement (\%)} = ((C_e - C_s) / C_e) \times 100$$

C_s : Concentration à la sortie

C_e : Concentration à l'entrée

Chapitre III :

Résultats et discussion

1. Résultats

1.1. Caractéristiques physicochimique et microbiologiques des eaux du grand Agadir

L'évaluation de la pollution d'une eau usée brute ou épurée se fait par détermination d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques et biologiques caractérisant cette eau. Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques recensés durant la période d'étude des eaux usées du grand Agadir sont regroupées dans le Tableau 7.

Figure 7: Caractéristiques physico-chimiques et biologique des eaux usées du grand Agadir recensés durant la période d'étude.

Paramètres	Unité	Type d'eau	Minimum	Maximum	Moyenne n=5	Ecart type
pH	–	EB	7,4	7,67	7,54	0,12
		ED	7,31	7,42	7,37	0,06
		EU	7,85	8	7,92	0,07
		EUUV	7,93	7,99	7,95	0,03
Température	°C	EB	19,5	20,90	20,15	0,57
		ED	19,3	20,40	19,75	0,54
		EU	19,10	19,50	19,23	0,19
		EUUV	19,20	19,80	19,53	0,32
Conductivité	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	EB	2170,00	3010,00	2520,00	352,42
		ED	2780,00	3110,00	3002,50	155,64
		EU	3240,00	3340,00	3302,50	45,00
		EUUV	3120,00	3314,00	3261,50	94,47
DCO	$\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$	EB	1412,00	2045,00	1821,50	280,06
		ED	528,00	834,00	716,75	133,90
		EU	36,00	56,00	44,50	7,55
		EUUV	34,00	57,00	43,00	7,79
DBO ⁵	$\text{mg O}_2.\text{L}^{-2}$	EB	983,78	1720,14	1389,44	313,17
		ED	321,00	422,25	385,16	44,89
		EU	7,00	20,15	11,52	5,84
		EUUV	7,00	22,04	11,34	5,48
MES	$\text{mg}.\text{L}^{-3}$	EB	593,00	785,00	697,81	81,51
		ED	245,00	420,00	321,98	86,78
		EU	4,00	11,00	6,84	3,03
		EUUV	4,00	11,00	6,50	3,11
CF	UFC/100	EB	2,69E+05	4,70E+06	2,71E+06	1,58E+06
		ED	1,10E+05	3,10E+06	1,19E+06	1,22E+06
		EU	1,00E+03	1,44E+04	1,01E+04	5,33E+03
		EUUV	1,70E+02	5,50E+03	2,45E+03	1,95E+03
SF	UFC/101	EB	1,67E+03	5,32E+05	2,62E+05	1,96E+05
		ED	1,33E+03	3,78E+05	1,44E+05	1,55E+05
		EU	0,00E+00	1,73E+01	1,24E+01	7,21E+00
		EUUV	0,00E+00	2,07E+01	7,92E+00	7,74E+00

1.1.1. pH

Les valeurs du pH sont en général voisines de la neutralité dans les quatre types d'eaux. Les valeurs moyennes, maximales et minimales (Figure 8) sont conformes avec les normes marocaines des eaux destinées à l'irrigation des cultures (NMEDI) et sont comprises entre 6,5 et 8,5.

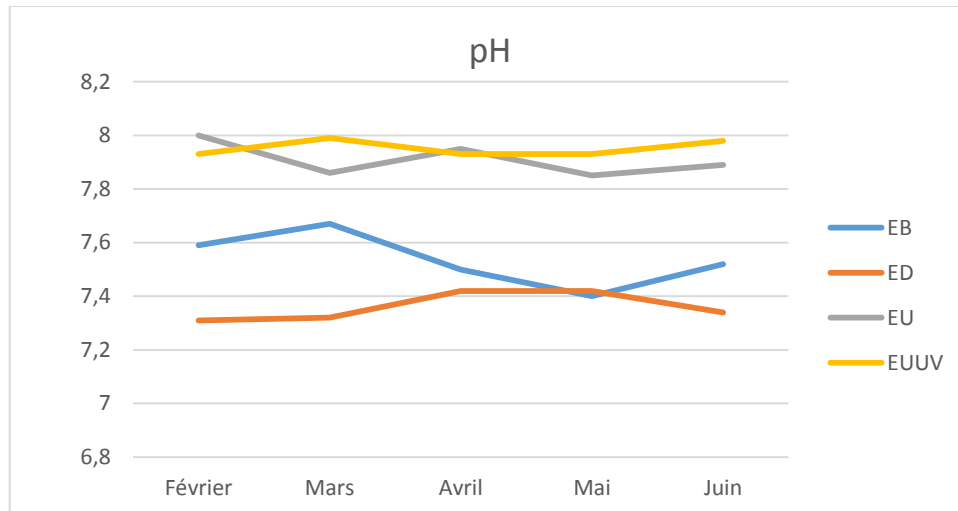


Figure 8 : Variation des valeurs de pH dans les quatre types d'eaux.

1.1.2. Température

Les températures des différents types d'eaux étudiées varient en moyenne entre 19°C et 20,9°C. Les valeurs maximales enregistrées au niveau de la station (surtout pour les EEUV destinées à l'irrigation des espaces verts du grand Agadir), restent inférieures à 35°C, considérée comme valeur limite préconisée par les NMEDI (MEM, 2002)

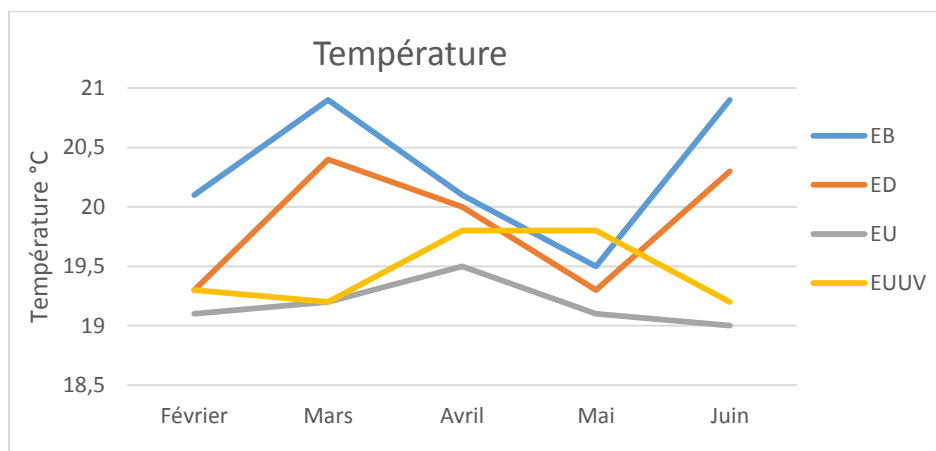


Figure 9: Variation de la température en °C dans les quatre types d'eaux.

1.1.3. Conductivité électrique (CE)

L'amplitude de variation de la conductivité est très importante (2170 à 3340 $\mu\text{S}/\text{cm}$), elle diffère de chaque type d'eaux, les valeurs les plus basses sont enregistrées par EB et les plus importantes dans en EU. Les valeurs enregistrées pour L'EEUV sont tous supérieurs à la valeur maximale 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ des eaux destinées à l'irrigation selon la NMEDI (MEN, 2002).

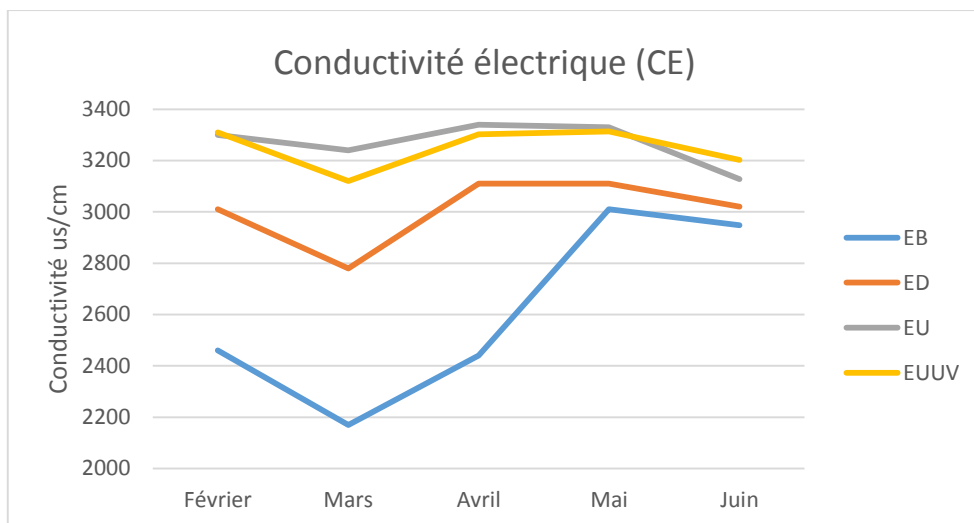


Figure 10: Variation de la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans les quatre types d'eaux.

1.1.4. DBO_5

Les valeurs moyennes de la DBO_5 passent de 1389 mg/L en amont de la station à 12 mg/L et 11 mg/L en aval de la STEP (Figure 11). Les valeurs maximales sont comprises entre 1720 mg/L notées en amont et 7 mg/L enregistrées en l'aval de la station. Les valeurs enregistrées pour l'EE et l'EEUV restent inférieures à 500 mgO_2/L considérée comme valeur limite des rejets indirects (NMRID).

1.1.5. DCO

La valeur moyenne de la DCO à l'entrée de la station (EB) est 1822 mgO_2/L et à la sortie de la station 45 mgO_2/L pour l'EE et 44 mgO_2/L pour EEUV (Figure 12), cette réduction de la DCO témoigne d'un abattement très poussé et qui augmente après chaque traitement. Les valeurs obtenues à la sortie de la station sont toutes conformes aux normes marocaines (<1000 mg/L) considérée comme valeur limite des NMRID dans les milieux récepteurs.

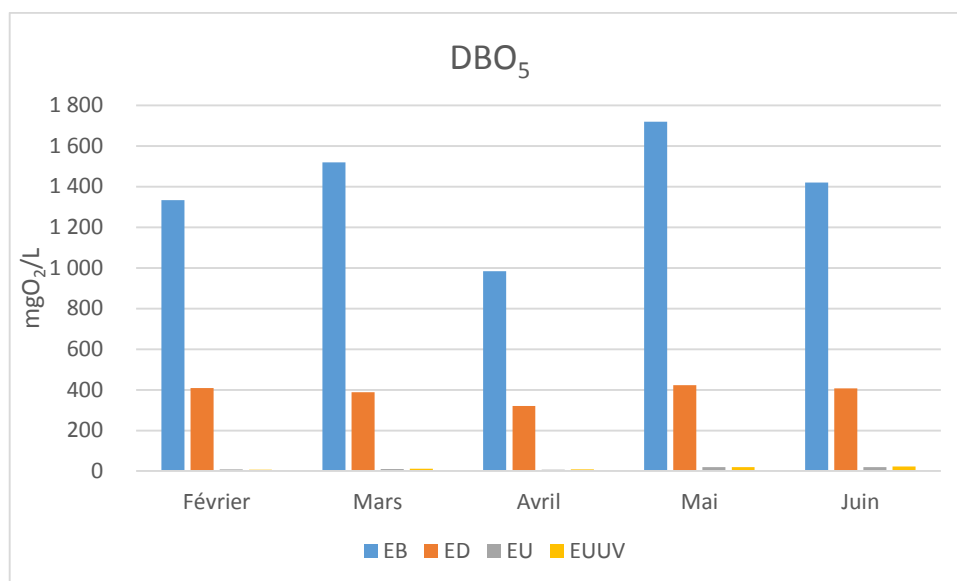


Figure 11: Variation des valeurs de la DBO₅ dans les quatre types d'eaux.

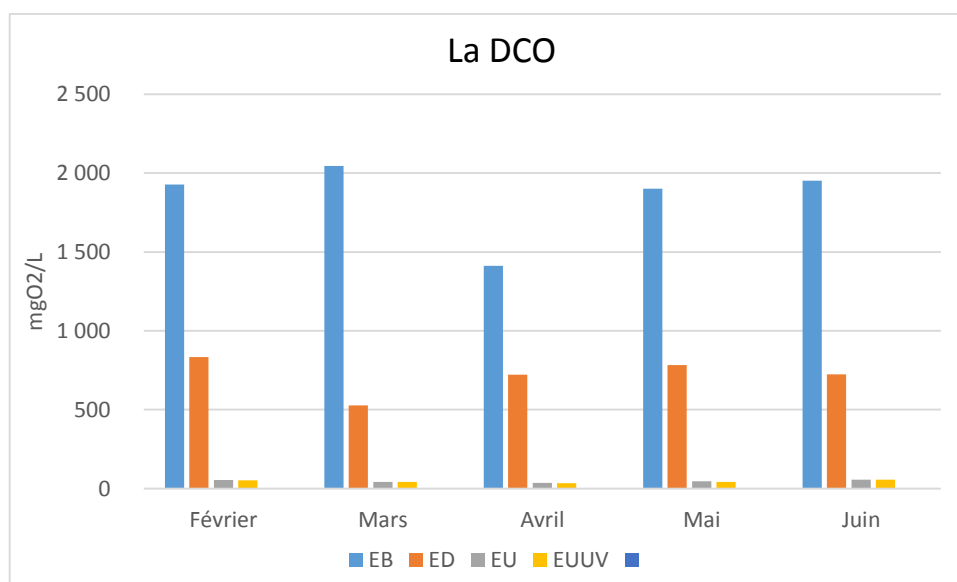


Figure 12 : Variation des valeurs de la DCO dans les quatre types d'eaux.

1.1.6. MES

Pour les matières en suspensions comme pour la DBO₅ et la DCO, les valeurs à l'entrée de la station sont très importantes, après traitement ces valeurs baissent jusqu'à atteindre des valeurs très faibles.

Le graphique ci-dessous (tableau 13) montre les valeurs obtenues lors de la période d'étude avec la valeur maximale (785 mg/L) enregistrée dans le mois Mars dans les eaux brutes et une valeur minimale (4 mg/L) enregistrée dans les mois Avril et Juin dans l'EE et l'EEUV. Ces valeurs restent inférieures à 2000 mg/L considérée comme valeur limite par la NMEDI.

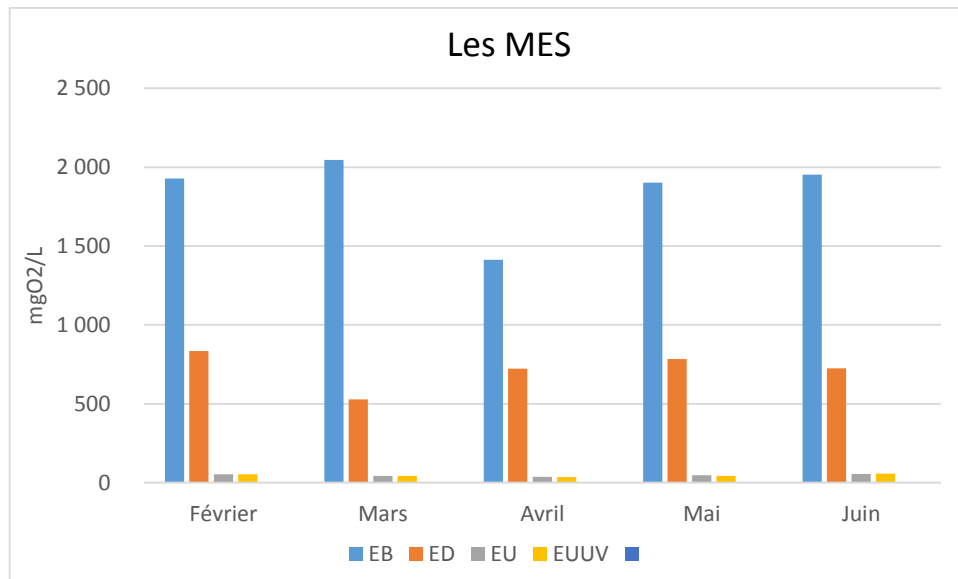


Figure 13: Variation des valeurs de la MES dans les quatre types d'eaux.

1.1.7. Coliformes fécaux et entérocoques

La charge bactérienne moyenne de coliforme fécaux et des entérocoques (SF) est très importante (figure 14 et 15) avec en moyenne $2,67 \cdot 10^6$ UFC/100mL CF et $2,62 \cdot 10^5$ UFC/100mL SF pour l'EB, $2,45 \cdot 10^3$ UFC/100mL CF et 7,92 UFC/100mL SF pour l'EEUV, ce qui est largement supérieur aux valeurs limites (1000 UFC/100mL CF) préconisées par les NMEDI. Ce qui nous permet de déduire que les traitements déployés ne sont pas suffisantes pour abattre les charges bactériennes acheminées vers la SETP Mzar.

Le rapport CF/SF est toujours supérieur à 3, ce qui témoigne d'une contamination fécale d'origine humaine dans tous les types d'eaux étudiés et pendant toute la période d'étude.

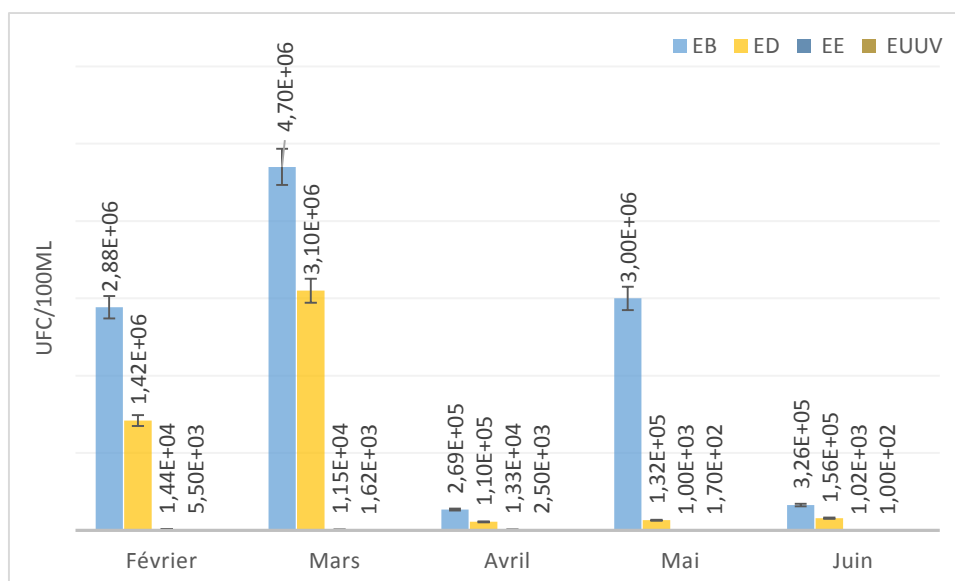


Figure 14: Variation de la concentration moyenne des coliformes fécaux.

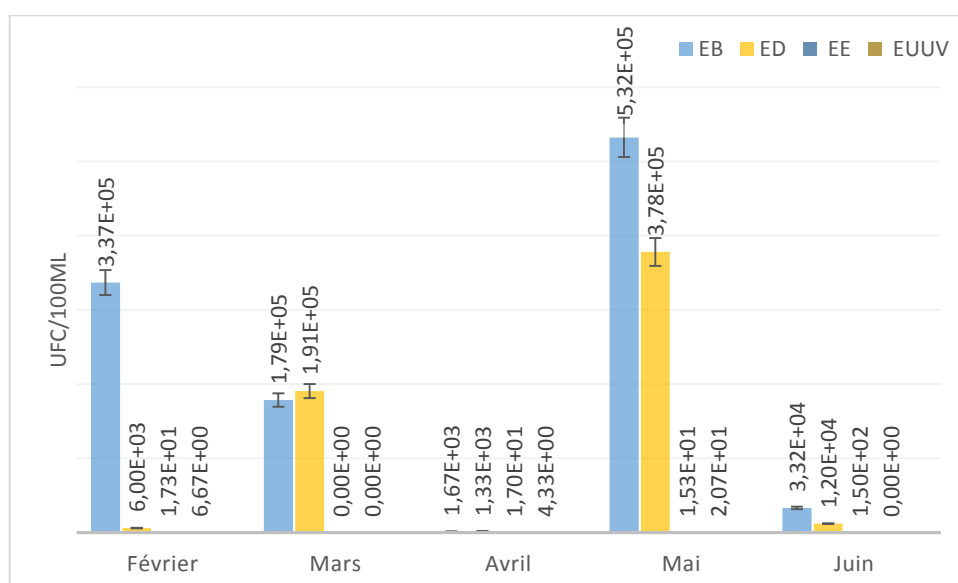


Figure 15 : Variation de la concentration moyenne des entérocoques.

1.2. Impact de la réutilisation des eaux épurées de la station Mzar pour l'irrigation des espaces verts du grand Agadir

La plante utilisée dans cette expérience, *Carpobrotus* a montré des charges bactériennes assez élevées avec une moyenne de $16,50 \pm 3,70$ CF/100g et $38,50 \pm 7,42$ SF/100g comparée à un témoin (des plantes de la même espèce arrosés par les eaux conventionnelles) $5 \pm 2,16$ CF et $6,25 \pm 2,87$ SF, les résultats obtenus sont représentés dans les graphiques ci-dessous.

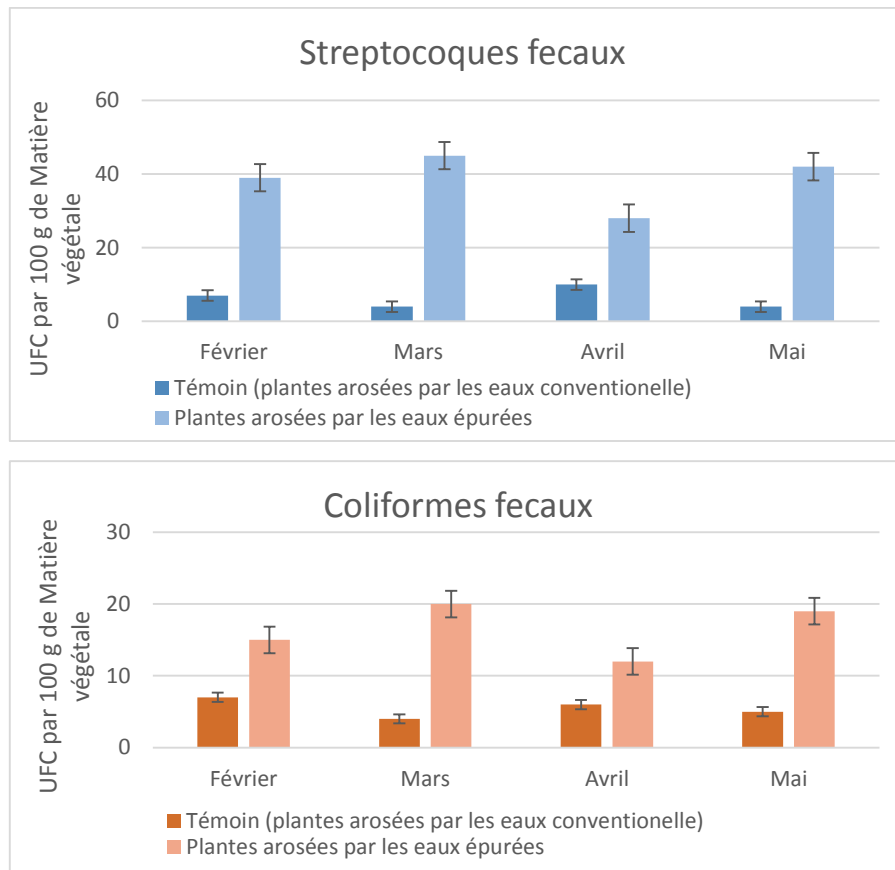


Figure 16 : Charges bactériennes trouvées chez les plants arrosés par les EE de la station Mzar.

1.3. Abattement des paramètres physicochimiques et bactériologiques

1.3.1. Abattement des paramètres physicochimiques

Pour la DBO₅, la DCO et les MES, l'abattement est de plus en plus poussés au fur et à mesure qu'on avance dans les étapes de traitement. Toutes les étapes de traitement influencent les concentrations en DBO₅, DCO et en MES et permettent des réductions non négligeables entre une étape et une autre (figure 18).

1.3.2. Abattement des bactéries fécales

L'abattement moyen des deux types d'indicateurs de contamination fécale (CF et SF) par les trois types de traitements (primaire, secondaire et tertiaire) est généralement faible, pour le traitement primaire, l'abattement est très faible (inferieur à une unité logarithmique), pour le traitement secondaire, on a enregistré des valeurs d'abattement plus importantes, (de l'ordre de

2,40 unités logarithmiques), tandis que pour le traitement tertiaire on a également enregistré des valeurs très faibles (figure 17).

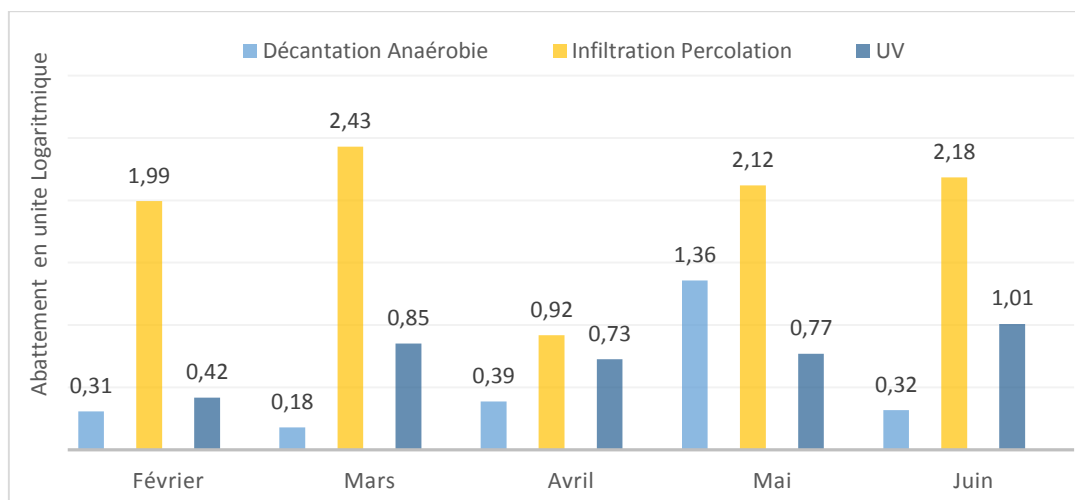


Figure 17: Abattement moyen des différents indicateurs de contamination fécale exprimé en u log au niveau de la station Mzar.

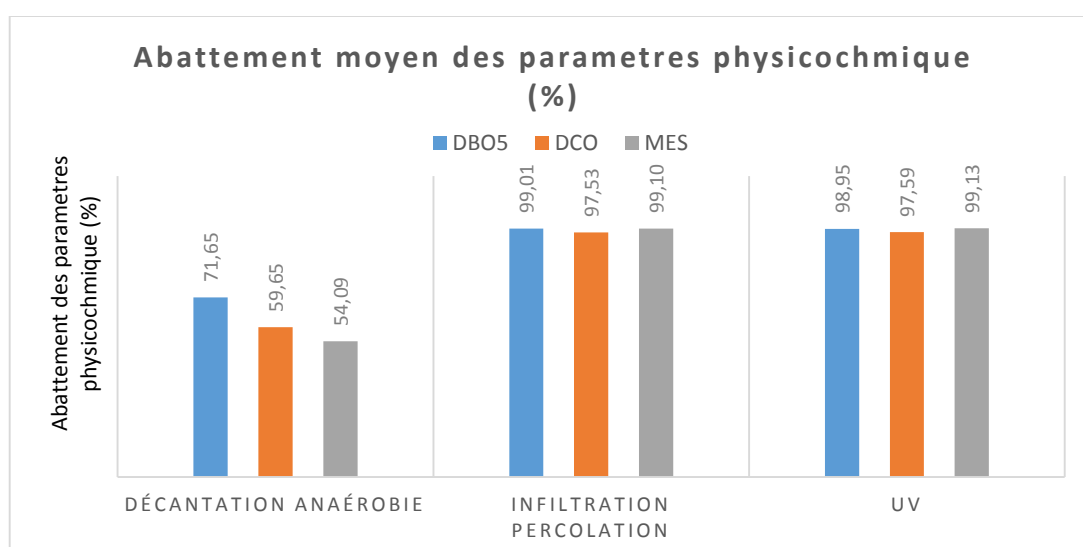


Figure 18: Abattement des différents paramètres physicochimique au niveau de la station Mzar.

1.4. Typologie des eaux du grand Agadir

La détermination des rapports entre DCO, DBO₅, MES et l'estimation de la Matière Oxydable (MO) présente des intérêts très importants pour une meilleure appréciation de l'origine des effluents étudiés.

1.4.1. Le ratio DCO/DBO₅

les valeurs du rapport DCO/DBO₅ sont très importantes pour juger la biodégradabilités des effluents qui arrivent à la station, avec un minimum de 1,11 et un maximum de 1,45, une moyenne de $1,34 \pm 0,14$ (<2 l'effluent est facilement biodégradable) : le caractère dominant est celui d'eaux domestiques (Bechac et *al.*, 1987).

1.4.2. Le ratio DBO₅/DCO

Pour caractériser une pollution industrielle, on considère souvent le rapport DBO₅/DCO, qui donne des indications très intéressantes sur l'origine d'une pollution des eaux usées et ses possibilités de traitement (Belghyti et *al.*, 2009).

Les valeurs enregistrées durant la période d'étude varient dans un intervalle de 0,4 à 0,9 et une moyenne de $0,75 \pm 0,09$ (tableau 11), elles témoignent d'une charge organique très importante et permettent de confirmer que les eaux du grand Agadir sont facilement biodégradable par un traitement biologique, étant supérieur à 0,3 le rapport DBO₅/DCO témoigne d'une dominance de matières organiques.

1.4.3. Le ratio MES/DBO₅

Les eaux du grand Agadir sont très chargées en matières organiques, (DBO₅/DCO = $0,75 \pm 0,09$ supérieur à 0,3), le rapport MES/DBO₅ (tableau 11) est relativement faible (moyenne $0,50 \pm 0,06$), en comparaison avec celle du rapport habituel et qui sont comprises entre 1,2 à 1,5 (ONEP, 1999). Ce rapport donne une information supplémentaire sur les quantités de matières organiques dans les effluents à l'entrée de la station, mais renseigne aussi sur la production des boues (Mouhani, 2010).

1.4.4. Matières Oxydables (MO) (mg/L)

Cette mesure est particulièrement utilisée pour établir les quantités de matières organiques présentes dans un effluent, la plupart des matières organiques ne deviennent polluantes que lorsqu'elles se retrouvent en excès dans le milieu (matières organiques biodégradables, matières organiques non biodégradables) ce rapport est calculer par la relation suivante :

Matières oxydables = $(2\text{DBO}_5 + \text{DCO})/3$.

Les valeurs obtenues durant la période d'étude sont représentées dans le tableau 11, la valeur moyenne obtenue est : $1546,23 \pm 253$ mg/L, c'est une valeur très élevée elle rejoint les rapports MES/DBO5 et DBO5/DCO.

Tableau 11 : Typologique des eaux usées du grand Agadir

	<i>Février</i>	<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Moy</i>	<i>Ecart type</i>
<i>DCO/DBO5</i>	1,45	1,35	1,44	1,11	1,37	1,11	1,45	1,34	0,14
<i>DBO5/DCO</i>	0,69	0,74	0,70	0,90	0,73	0,69	0,90	0,75	0,09
<i>MES/DBO5</i>	0,51	0,52	0,60	0,42	0,49	0,42	0,60	0,51	0,06
<i>MO (mg/L)</i>	1531,61	1695,28	1126,52	1780,43	1597,33	1126,52	1780,43	1546,23	253,00

2. Discussion

La réutilisation des eaux usées épurées est d'une importance cruciale pour le Maroc, surtout pour les régions où les ressources en eaux sont faibles, notamment la région du Souss.

Beaucoup d'études ont été menées dans ce sens (Mimouni, 2004 ; Benyakhlef et *al.*, 2007 ; Eddaoudi et *al.*, 2014 ; Et-taleb et *al.*, 2014 ; Abali et *al.*, 2014 ; MOR 86/018), mais les études doivent continuer pour optimiser la réutilisation des eaux usées traitées, pour une meilleure utilisation et pour réduire le risque liée à cette pratique. Cette étude a pour objectif de suivre les différents paramètres biologiques et physicochimiques pour évaluer leurs impacts sur l'environnement, surtout sur les espaces verts du grand Agadir (terrains de golfs, jardins publiques), leurs visiteurs et le personnel qui y travaillent.

2.1. Paramètres physicochimiques des eaux du grand Agadir

Les valeurs du pH obtenues lors de cette étude dans les différents types d'eaux sont proches de la neutralité et acceptables pour l'irrigation. Ces résultats sont en accord avec ceux qui sont rapportés par Mimouni et *al.*, 2011 ; Hajji et *al.*, 2013 ; et El Halouani, 1995. Toutefois, il est à signaler que des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et la survie des micro-organismes (Mara, 1980).

Comme pour le pH, la température toute au long de cette étude et dans les différents types d'eaux a présenté des valeurs inférieures à 35°C (Valeur limite préconisée par les NMEDI), la température, facteur écologique important du milieu, est importante pour le bon fonctionnement de la digestion anaérobie des boues et l'activité de la faune épuratrice du sable (Touyer, 1997). En effet, la viscosité de l'eau diminue avec la température. Augmenter la température peut donc apparaître favorable à la filtration (Jeison et Van Lier, 2008). Contrairement à la conductivité, qui est légèrement élevée et qui dépasse largement la norme marocaine, la conductivité électrique est fortement corrélée à la salinité. Qui constitue la principale contrainte de la réutilisation des eaux épurées, les effets néfastes de la salinité ont été rapportés par plusieurs auteurs (OMS, 2012), les taux élevés de salinité causent l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol ce qui empêche l'imbibition des graines et par la suite des ports médiocres et des diminutions du rendement (Gros, 1967 ; Moujahid, 1993). Etant donné que la région d'Agadir est un pool économique et industriel très actif, surtout dans le secteur des produits de la mer et la production de poisson de conserve précisément, cette industrie rejette annuellement des tonnes de saumures et de matières organiques dans le réseau d'assainissement

de la ville (Mouhani et *al.*, 2011; Hajji et *al.*, 2013), sans traitement préalable. Ces eaux peuvent nuire à la qualité des sols et des cultures arrosées par ces eaux.

Pour la DCO, la DBO₅ et les MES, les valeurs obtenues dans les eaux brutes témoignent des quantités énormes de matières organiques et inorganiques rejetées par les unités industrielles (Annexe 5), surchargées en MES qui contiennent en majorité les écailles des poissons qui ont une biodégradabilité très lente. Ceci mis en cause le fonctionnement des filtres à sables par l'augmentation du risque du colmatage (Mouhani et *al.*, 2011), malgré cette charge énorme en matière organique les eaux du grand Agadir restent dans la catégorie des eaux facilement biodégradables (Le ratio DCO/DBO₅ <2). Les valeurs obtenues (DCO, DBO₅, MES) sont en accord avec les travaux de Mimouni, (2004) ; Benyakhlef et *al.*, (2007) ; Mimouni et *al.*, (2011) ; Mouhani et *al.*, (2013).

Afin de réduire le taux de salinité et des matières organiques dans les effluents du grand Agadir, des mesures sérieuses doivent être prises, d'une part la sensibilisation des différents acteurs dans le domaine industriel de l'importance du traitement des déchets industriels et d'autre part veiller à l'application des normes marocaines des rejets indirects. C'est vrai que la Régie Autonome Multi-Services d'Agadir (RAMSA), l'office national de l'eau et de l'électricité (ONEE) et d'autres organismes nationaux et internationaux font des efforts importants pour sensibiliser les industriels de l'intérêt que présente le recyclage des eaux pour le pays. Des exemples réussies ont vu le jour grâce à ces efforts, citons, la réalisation de deux stations de prétraitement dans deux unités industrielles (DOHA, BELMA) en tant que projets pilotes en partenariat avec la RAMSA, l'Agence du Bassin Hydraulique du Souss Massa (ABHSM) et le Fonds de Dépollution industrielle (FODEP).

2.2. Paramètres biologiques des eaux du grand Agadir

Les eaux usées sont un vrai réservoir d'agents pathogènes (virus, bactéries, parasites) (Annexe 6) même après traitement elles constituent un risque potentiel d'où la nécessité d'un suivi permanent. Il est rare que l'on quantifie directement les agents pathogènes dans les eaux usées car leurs concentrations sont variables et les méthodes analytiques souvent difficiles et coûteuses à mettre en œuvre. On utilise à la place des indicateurs de contamination fécale tels qu'*E. coli* ou des coliformes thermotolérants comme indicateurs indirects d'agents pathogènes ayant des caractéristiques similaires et susceptibles d'être présents dans les eaux usées (OMS, 2012).

Les indicateurs de contamination fécale suivis durant cette étude (Coliformes fécaux et entérocoques) ont démontré la mauvaise qualité des eaux épurées de la STEP Mzar.

En effet, les analyses bactériologiques ont montré des charges bactériennes importantes pour les coliformes fécaux et les entérocoques pendant toute la période de l'étude, ce qui nous mène à se demander sur l'efficacité de ce type de traitement dans le contexte socioéconomique dans la région. La croissance démographique qu'a connu la région du Souss ces dernières années et l'expansion industrielle dans la région, surtout les unités de conserves de poissons sont toutes des contraintes qui rendent la gestion de la qualité des eaux de la station une chose très difficile. Si on se base seulement sur les taux d'abattements des indicateurs de contamination fécale (en pourcentage) de la station, on pourrait dire que c'est très satisfaisant (99,74% pour les CF et 97,73 % pour les SF) voir même très réussi mais ce n'est pas le cas (en unité logarithmique), même les faibles pourcentages qui restent convertis en chiffres vont donner des charges assez élevées qui dépassent largement les normes de réutilisations en irrigation.

L'utilisation de ces eaux en arrosage des espaces verts peut entraver la qualité et la salubrité de ces espaces et menacer la population exposée.

Les charges dénombrées durant toute la période de l'étude et dans les différents types d'eaux (EB, ED, EE, EEUV) étaient supérieures aux normes marocaines des eaux destinées à l'irrigation. Ces résultats sont en accord avec les travaux (Eddabra, 2011 ; Mouhani et *al.*, 2013 ; Chaouay et *al.*, 2014).

2.3. Impact bactériologique des eaux épurées de la station Mzar utilisées en irrigation des espaces verts

La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation est toujours associée à un risque biologique (virus, bactéries, protozoaires pathogènes), par voie orale (légumes contaminés par ascaris) ou par la peau (en cas d'ankylostomes et de schistosomes) (OMS, 2003).

Ce risque est d'autant plus important quand la qualité bactériologique de l'eau est mauvaise.

La compréhension de ce risque, doit d'abord passer par la compréhension du mode de transmission et de survie (Annexe 6) de ces agents pathogènes dans les différents compartiments du biotope.

Il est prouvé depuis longtemps que les microorganismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes (Sheikh et *al.*, 2001). Ils vivent donc à la surface

des plantes et sur le sol. D'où le choix de la méthode utilisée pour évaluer la contamination des plantes arrosées par l'EE de la station.

Les résultats des analyses bactériologiques ont révélé des charges assez importantes même si ces valeurs sont très faibles par rapport à la bibliographie (Mouhani, 2013), ceci est dû à l'effet antimicrobien du genre *Carpobrotus* (Van der Watt, E., & Pretorius, J. C. 2001). Malheureusement le choix de cette espèce n'a pas été précédé par une recherche bibliographique, il s'est avéré durant l'étude que les charges trouvées sur cette plante ne correspondent pas aux résultats attendus, par la suite les résultats ont confirmées le pouvoir antimicrobien de cette plante, ce qui rend l'interprétation des résultats très difficile. S'ajoute à cela la difficulté de séparer l'effet des contaminations environnemental (contamination naturelle) des autres types de contamination puisque la station d'épuration est installée dans la réserve de Souss, et les espaces verts sont installés dans la station à côté des filtres à sable et du stock des boues (contamination accidentelle). Donc on ne peut pas s'éloigner d'une contamination accidentelle par le mouvement du vent, de l'activité animale qui pénètre la station ou suite au piétinement des ouvriers.

Le mode d'irrigation a une influence directe sur ce risque. Ainsi, l'irrigation gravitaire affecte la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes ont lieu lors de la maintenance du système d'irrigation. L'irrigation par aspersion crée des aérosols contaminants (le système utilisé dans la station et dans les terrains de golfs et la plupart des espaces verts). Afin de limiter l'impact sanitaire de la réutilisation d'eaux usées, les modes d'arrosage localisés sont recommandés (Masséna, 2001 ; FAO, 2003). L'irrigation localisée consiste à arroser les plantes une par une, avec le système goutte à goutte. Elle réduit les risques de contamination microbiologique (Masséna, 2001). Le système goutte à goutte expose moins les professionnels et les consommateurs. Les risques sont possibles pendant la maintenance des goutteurs qui se bouchent fréquemment à cause des matières en suspension dans l'eau (Asano, 1998). Cauchi (1996) mais malheureusement sa mise en œuvre dans les terrains de golfs est impossible.

Le temps et la durée d'arrosage joue un rôle important dans la gestion du risque surtout dans les espace où il y a contact directe avec les plantes et l'eau d'arrosage (terrain de golf, gazon dans les jardins publiques), rappelons que les normes françaises (Brissaud, 2003) et de l'OMS (Blumenthal et al., 2000) appliquées à l'irrigation des terrains de Golf et des parcs publics par les eaux usées épurées, exigent une concentration de coliformes fécaux inférieure à 200 unités

/100mL. Les normes Israéliennes exigent ce même taux ainsi que la fermeture du parc pendant 24 heures après l'irrigation (El Haité, 2010).

Conclusion et Perspectives

Conclusion et Perspectives

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un stage de fin d'étude de Master, il a pour objectif d'étudier la qualité bactériologique et physicochimique des eaux épurées de la station de traitement des eaux usées Mzar située au sud d'Agadir et l'impact de leur réutilisation en arrosage des espaces verts du grand Agadir.

La technologie de traitement des eaux usées utilisées pour la ville d'Agadir comporte en plus des bassins de décantation anaérobie, des bassins de filtration sur sable, une fois sortie des bassins de sable, une fraction de ces eaux (celle destinées à l'arrosage des espaces verts) subit un traitement tertiaire dans des réacteurs à UV, le reste est rejeté directement dans la mer.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la qualité bactériologique et physicochimique des effluents de la ville à l'entrée et à la sortie de la station de traitement ce qui permettra d'estimer la dynamique épuratoire de cette dernière après treize ans de service.

Les résultats obtenus témoignent de l'effet néfaste des unités industrielles qui rejettent leurs eaux usées directement dans le réseau d'assainissement de la ville, ces eaux très chargées en matières organiques, saumures et divers produits chimiques, contribuent fortement au problème de salinité comme cela a été observé dans plusieurs études. Malgré les énormes quantités de produits chimiques et de matières organiques d'origines industrielles rejetés, les effluents du grand Agadir préservent leurs caractères domestiques et facilement biodégradables par traitement biologique ($DCO/DBO_5 < 2$).

La salinité n'est pas le seul problème rencontré dans la station. En effet les charges bactériologiques rencontrées dans les effluents de la ville restent très importantes ($EB 1,58.10^6$ UFC/100mL pour les CF) même après traitements ($EE 5,33.10^3$ UFC/100Ml ; $EEUV 1,95.10^3$ UFC/100mL pour les CF), ce qui les rend non conformes aux normes marocaines des eaux destinées à l'irrigation (< 1000 UFC/100 CF). En plus le rapport CF/SF est toujours supérieur à 3, ce qui témoigne d'une contamination fécale d'origine humaine dans tous les types d'eaux étudiés et pendant toute la période de notre étude, ce qui augmente le risque de propagation des maladies gastro-entériques chez les utilisateurs.

Le présent travail met aussi le point sur les risques de contamination bactériologique liés à la réutilisation des EEUV de la STEP Mzar en irrigation des espaces verts. Ces derniers peuvent

être soit au contact direct avec les plantes arrosées par les EEUV, soit par contact directe avec l'EEUV ou indirect par les aérosols générés par les systèmes d'arrosages utilisés.

Ce travail a par ailleurs, clairement mis en évidence la complexité de l'évaluation des risques liés à la réutilisation des eaux usées épurées, il met aussi le point sur plusieurs facteurs qui sont impliqués dans le processus de transmission et survie des bactéries dans l'eau et sur les végétaux. Il serait nécessaire de mener des études expérimentales en laboratoire ou au champ, afin de mieux maîtriser certains de ces facteurs et d'affiner les pratiques culturales et les modes d'irrigation.

Pour une meilleure réutilisation des eaux usées en agriculture et une irrigation des espaces verts d'autres études doivent être entreprises, surtout dans les domaines de modélisation et de prévention contre les risques liés à cette pratique. Les bactéries ne sont pas les seuls agents pathogènes dans les eaux usées, selon l'OMS qui qualifie la présence des nématodes intestinaux comme principale contrainte pour la réutilisation des eaux usées en agriculture, d'où la nécessité de pousser les recherches dans ce sens-là.

En perspective, nous envisageons compléter ce travail par une étude parasitologique des eaux de la station Mzar et également les eaux des stations Drarga et Bensergao et étudier leurs impacts en irrigation sur la qualité des sols et des végétaux des terrains de golfs et des espaces verts du grand Agadir arrosés avec les eaux épurées de ces stations.

Références bibliographiques

Abouelouafa M., El Halouani H., Kharboua M., & Berrichi A, 2011. Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes de la ville d'Oujda : canal principal et Oued Bounaïm. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 22(3), 143-15.

Abu-Madi M., Al-Sa'ed R, 2009. Towards Sustainable Wastewater Reuse in the Middle East and North Africa. p20.

Ait Alla A., Gillet P., Deutsch B., Moukrim A., & Bergayou H, 2006. Response of *Nereis diversicolor* (Polychaeta, Nereidae) populations to reduced wastewater discharge in the polluted estuary of Oued Souss, Bay of Agadir, Morocco. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 70(4), 633-642.

Ait Alla A., Mouneyrac C., Durou C., Moukrim A., & Pellerin J, 2006. Tolerance and biomarkers as useful tools for assessing environmental quality in the Oued Souss estuary (Bay of Agadir, Morocco). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C : Toxicology & Pharmacology*, 143(1), 23-29.

Attab S, 2013. Amélioration de La Qualité Microbiologique Des Eaux Epurées Par Boues Activées de La Station D'épuration Haoud Berkaoui par L'utilisation d'un Filtre A Sable Local (Doctoral dissertation).

Azizi A., Lamgaddam M., and Jad M, 1990. Guide pour les activités d'hygiène du milieu en zone rurale. Fonds des nations unies pour l'UNICEF, Rabat (1990) 89.

Bechac JP, Boutin P, Mercier B & Nuer P, 1987. Traitement des eaux usées, Ed. Eyrolles,(Paris). 280 p.

Belghyti D., El Guamri Y., Ztit G., Ouahidi M., Joti M., Harchrass A., ... & Bounouira H, 2009. Caractérisation physico-chimique des eaux usées d'abattoir en vue de la mise en œuvre d'un traitement adéquat : cas de Kénitra au Maroc. *Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 5(2).

Benyakhlef M., Naji S., & Belghyti D, 2007. Caractérisation des rejets liquides d'une conserverie de poissons. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 146, 225-234.

Berdai H., Benchokroun T & El Hamouri B, 2004. Epuration et réutilisation des eaux usées à des fins agricoles (expérience Ouarzazate) *Revue H.T.E.* N° 129.30 p.

Blumenthal U. J., & Peasey A, 2002. Critical review of epidemiological evidence of the health effects of wastewater and excreta use in agriculture. unpublished document prepared for World Health Organization, Geneva, www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/whocriticalrev.pdf.

Boeglin J.C, 1998. Traitements biologiques des eaux résiduaires. Techniques de l'ingénieur, 28p. Référence J3942.

Boutin C, 2003. Éléments de comparaison techniques et économiques des filières d'épuration adaptées aux petites collectivités. Ingénieries-EAT, (34), p-47.

Brissaud M, 1998. Réglementation de la réutilisation des eaux usées épurées.

CEAEQ, 2000. Recherche et dénombrement des entérocoques : méthode par filtration sur membrane. Centre d'expertise en analyse environnemental du Québec, gouvernement du Québec, 27 p.

Chaouay A., Bazzi L., Hilali M., Ait Alla A., & El Mouaden K, 2014. Etude de la contamination bactériologique de la Baie d'Agadir Impact sur la résistance à la corrosion du cuivre (Study of bacterial contamination of the Bay of Agadir Impact on the resistance of copper's corrosion).

Choukr-Allah R., Hamdy A, 2005. Best management practices for sustainable reuse of treated waste water. Non-conventional water use : WASAMED project.2005. Bari : CIHEAM / EU DG Research. p.191 -200 (Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches ; n. 53)

Choukr-Allah R., Hamdy A. ET Young T, 2003. Wastewater treatment technology adapted to small and medium community in the Mediterranean region. In: Hamdy A. (edt). Water resources management and water saving in irrigated agriculture (Wasla project).Options méditerranéennes, ser. B 44: pp. 103-111.

Commissariat général au développement durable (CGDD), 2014. La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation : une solution locale pour des situations critiques à l'avenir. France.

Dadi E, 2010. L'évaluation de la possibilité de réutiliser en agriculture l'effluent traité de la commune de Drarga. Thèse de doctorat, Essai (M.Env.) - Université de Sherbrooke. P99.

Dssouli, K., Kharboua, M., Khallaayoune, K., El Halouani, H., & Haloui, B, 2011. Caractérisation parasitologique des eaux usées réutilisées en agriculture dans le Maroc Oriental (Oujda). Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 21(3), 139-146.

Dssouli, K., Kharboua, M., Khallaayoune, K., Haloui, B., & El Halouani, H, 2001. Etude de la contamination parasitologique des cultures irriguées par les eaux usées dans le Maroc Oriental. Actes Inst. Agron. Vet, 21(4), 215-225.

Duchène P., & Vanier C, 2002. Réflexion sur les paramètres de qualité exigés pour les rejets de stations d'épuration. Ingénieries-EAT, (29), p-3.

Eddaoudi R., Chafik A., Cheggour A., & Moukrim A, 2014. Contribution to reassess the health of Agadir Bay after the installation of the wastewater treatment plant: evaluation of metallic contamination.

Edwards P, 1990. An alternative excreta-reuse strategy for aquaculture: the production of high-protein animal feed. In: Edwards P, Pullin RSV, eds. Wastewater-fed aquaculture, proceedings of the international seminar on wastewater reclamation and reuse for aquaculture, Calcutta. Bangkok, Asian Institute of Technology, Environmental Sanitation Information Center, pp. 209–221.

Edwards P, 2000. Wastewater-fed aquaculture: state-of-the-art. In: Jana BB et *al.*, eds. Waste recycling and resource management in the developing world: ecological engineering approach. Kalyani, University of Kalyani, and Wolhusen, International Ecological Engineering Society, pp. 37–49.

El Guamri Y, Belghyti D, 2007. Charge parasitaire des eaux usées brutes de la ville de Kénitra (Maroc), Afrique SCIENCE 03(1) (2007) 123 – 145.

El Guamri Y., & Belghyti D, 2010. Charge parasitaire des eaux usées brutes de la ville de Kénitra (Maroc). Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie, 3(1).

El Haité H, 2010. Traitement des eaux usées par les réservoirs opérationnels et réutilisation pour l'irrigation (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne).

El Halouani H, 1995. Réutilisation des eaux usées en agriculture et leur impact sur l'environnement : cas de la ville d'Oujda.

El Ouali Lalami A, Zanibou A, Bekhti K, Zerrouq F, Merzouk M, 2014. Contrôle de la qualité microbiologique des eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Fès au Maroc (Microbiological Control wastewater domestic and industrial city of Fes Morocco). J. Mater. Environ. Sci. 2325-2332.

El Youssfi L, 2013. Durabilité d'un système de cultures non conventionnel irrigué par les eaux usées traitées dans la région d'Agadir, p 33.

Et-taleb S., Elhaouti R., Abbaz M., Lhanafi S., Ez-zahery M., Aba-aaki R., & El Alem N, 2014. Comparaison du phénomène de colmatage des eaux usées à travers deux types de sables: l'un vierge et l'autre utilisé lors de traitement par infiltration (Comparison of the clogging phenomenon wastewater through two types of sand: one virgin and one used during treatment with infiltration).

Facklam R, Sahm D et Teixeira L, 1999. Enterococcus. Dans Murray, PR, EJ Baron, MA Pfaller, FC Tenover et RH Tenover, eds. (1999) Manual of clinical microbiology, American Society for Microbiology, pp.:297-305.

Gadda N, 2013. Impacts des eaux usées épurées sur les propriétés physicochimiques des sols dans la région de Ouargla. P110.

Gillet P., Gorman E., Tallet P., Moukrim, A., Mouloud, M., Ait Alla, A., & Bergayou, H, 2003. Impacts des rejets urbains sur les communautés benthiques de l'embouchure de l'oued Souss, baie d'Agadir, Maroc. J. Rech. Oceanogr, 20, 39-44.

Gleeson C & Gray N, 1997. The coliform index and waterborne disease. E & FN Spoon, 194 p.

Gourmelon M., Derrien A., Crenn L., Loaec S, 2002. Dénombrement des coliformes thermotolérants ou des *Escherichia coli* dans des sédiments côtiers vaseux. Direction de l'environnement et de l'aménagement littoral Département Microbiologie et Phycotoxines (DELIMP) .p75.

Groupe scientifique sur l'eau, 2002, Entérocoques et streptocoques fécaux, Dans Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de santé publique du Québec, 5 p.

Hajji C, Bendou A, Hassou M, 2013. Caractérisation des rejets liquides d'une unité de réparation navale à Agadir. (2013). Agadir, N. A. Revue Internationale D'héliotechnique N 45 (2013) 29-36.

Hancock L et Gilmore M, 2000. Pathogenicity of enterococci. Dans : Fischetti, VA, RP Novick, JJ Ferretti, DA Portnoy et JI Rood, édit., Gram positive pathogens. American Society for Microbiology, pp.:251-258.

Heikh B., Cooper R.C., Israel K.E, 1999. Hygienic evaluation of reclaimed water used to irrigate food crops – a case study. Water Science and Technology, 40 (4-5): 261-267.

Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), 2003. Personnes vulnérables aux infections microbiennes. Groupe scientifique sur l'eau, 11 p.

Jeison D., Kremer B., & van Lier J. B, 2008. Application of membrane enhanced biomass retention to the anaerobic treatment of acidified wastewaters under extreme saline conditions. Separation and Purification Technology, 64(2), 198-205.

Jimenez B., Asano T., 2007, International survey of wastewater reclamation and reuse practices and needs. IWA Publishing, London UK.

Lamghari Moubarrad F, Assobhei O, 2007. Health risks of raw sewage with particular reference to *Ascaris* in the discharge zone of El Jadida (Morocco). 215 (2007) 120–126.

Lazarova V. Et Brissaud F, 2007. Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France, L'eau, l'industrie, les nuisances N° 299.

Lazarova V., & Brissaud F, 2007. Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France. L'eau, l'industrie, les nuisances, (299), 29-39.

Lazarova V., Janex M. L., Fiksdal L., Oberg C., Barcina I., & Pommeupuy M, 1998. Advanced wastewater disinfection technologies : short and long term efficiency. *Water Science and Technology*, 38(12), 109-117.

Makoutode M, Tossou J.P, Oendou E-M, Agueh V.D, Massougbojji A, Diallo P.M, 1999. Etat de santé des travailleurs et des riveraines d'une station de traitement des eaux vannes : Expérience en cours à Ekpè dans la sous-préfecture de Seme Kpodji (Bénin), *Médecine d'Afrique Noire* : 1999, 46 (10).

Makoutode M., Assani A. K., Ouendo E. M., Agueh V. D., & Diallo P. 1999. Qualité et mode de gestion de l'eau de puits en milieu rural au Bénin : cas de la sous-préfecture de Grand-Popo. *Médecine d'Afrique noire*, 46(11), 528-534.

Mara D, 1980. *Sewage treatment in hotclimate*. Ed. John Willey & sons.

Massena, P. A, 2001. Valorisation des eaux usées en irrigation localisée. *Eau & irrigation*.

Mechebbek M.A, 1993. La réutilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture. Dans « Etat de l'agriculture en Méditerranée : Ressources en eau : développement et gestion dans les pays méditerranéens. » CIHEAM-IAMB, 75-84.

Mimouni R, Yakoubi B & Eddaabra R, 2011. Physicochemical quality of wastewater purified by infiltration-percolation: case of the plant of Ben Sergao (South-western Morocco) After ten years of running. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* Vol 5, N°1, p : 101-114.

Mimouni R., Ait Alla A., Anajjar E. M., Finance C., & Moukrim A, 2002. Impact du rejet des eaux usées sur la qualité microbiologique des plages de la baie d'Agadir (Maroc). *Journal européen d'hydrologie*, 33(1), 115-123.

Ministère de L'Aménagement du Territoire, de l'eau et de l'environnement (MATEE), 2002. Normes marocaines de qualité des eaux destinées à l'irrigation. 1276-01 (17/10/2002).

Ministère de L'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement (MATEE), 2005. Projet de normes marocaines des rejets directs. 2-04-553 (24/08/2005).

Ministère de l'Energie des mines de l'eau et de l'environnement (MEMEE) 2014. La gouvernance par la gestion intégrée des ressources en eau au Maroc : Levier fondamental de développement durable, pp12.

Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement 2011. *Projet de Renforcement des Capacités sur l'Utilisation sans danger des Eaux Usées en Agriculture*, 2011. p21.

Ministère de l'Environnement du Maroc (MEM), 2002. « Normes marocaines, Bulletin officiel du Maroc », N° 5062 du 30 ramadan 1423. Rabat.

Mottier V, Brissaud F, Nieto P and Alamy Z, 2000. Wastewater treatment by infiltration percolation: a case study, in *Water Science and Technology*, Vol. 41, P.P. 77-84.

Moubarrad, F. Z. L., & Assobhei, O, 2007. Health risks of raw sewage with particular reference to Ascaris in the discharge zone of El Jadida (Morocco). *Desalination*, 215(1), 120-126.

Mouhanni H., Bendou A., & Er-Raki, S, 2011. Disinfection of treated wastewater and its reuse in the irrigation of golf grass: The case of plant M'zar Agadir-Morocco. *Water*, 3(4), 1128-1138.

Mouhanni H., Bendou A., & Houari M, 2013. Study of the wastewater purifying performance in the M'Zar plant of Agadir, Morocco. *Environment and pollution*, 2(3), p20.

Moujahid Y, 2007. Physico-chimie, minéralogie et dynamique du phosphore et du potassium dans quelques sols marocains. Thèse de doctorat d'état. Univ Mohammed v –AGDAL.

Nishisaka M., & Asano T, 1998. Reduction of the floating body effect in SOI MOSFETs by using Schottky source/drain contacts. *Japanese journal of applied physics*, 37(3S), 1295.

Office national de l'électricité et de l'eau potable (ONEE) 2014. *Projet d'alimentation en eau potable rurale*, p99.

Office of Research and Development, Cincinnati, OH. US Agency for International Development, 2002. Transfer and Support Division, National Risk Management Research Laboratory Washington, DC.

ONEP, 1999. *Caractérisation quantitative et qualitative des eaux usées (Maroc)*.

ONEP-GTZ, 1998. *Approche de la typologie des eaux usées urbaines au Maroc*.

Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), 2003. *Irrigation avec des eaux usées traitées – Manuel d'utilisation*.

Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), 2007. *Agriculture et rareté de l'eau : une approche programmatique pour l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la productivité agricole*. COAG/2007/7, Rome, p 15.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2005. *Emerging risks to water supplies. Best practice for improved management and preparedness to protect public health – Report of an OECD expert meeting*, 37 pages.

Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 2004. *Guidelines for drinking-water quality. Vol.1. Recommandations*, 3rd, Ed. World Health Organization. Geneva.

Rossi A, Malpei F, Bonomo L, Bianchi R, 1999. *Textile wastewater reuse in northern Italy*. Milan, Italy.

Satin Belmin, 1999. *Guide Technique de l'assainissement*. 2^{ème} Edition. Paris, Le Moniteur. 680p

Sheikh J., Hicks S., Dall'Agnol M., Phillips A. D., & Nataro J. P, 2001. Roles for Fis and YafK in biofilm formation by enteroaggregative *Escherichia coli*. *Molecular microbiology*, 41(5), 983-997.

Shuval H.I., Adin A., Fattal B., Rawitz E., Yekutieli P, 1986. Wastewater irrigation in developing countries. World Bank Publ. Technical paper series n°51.

Tahri Joutey N, Bahafid W, Sayel H, El Abed S & El Ghachtouli N, 2011. Remediation of hexavalent chromium by consortia of indigenous bacteria from tannery waste-contaminated biotopes in Fez, Morocco, *International Journal of Environmental Studies*, 68:6, 901-912, DOI: 10.1080/00207233.2011.623855.

Touyer A, 1997. Thèse de troisième cycle, Université Ibn Zohr Agadir.

UNESCO, 2005. Water resources in the arid countries ; evaluation, use and management. International hydrological programme, 80p.

US Environmental Protection Agency (US EPA), 2004. Guidelines for water reuse. Municipal Support Division, Office of Wastewater Management, Office of Water, Washington, DC and Technology

Van der Watt, E., & Pretorius, J. C, 2001. Purification and identification of active antibacterial components in *Carpobrotus edulis* L. *Journal of ethnopharmacology*, 76(1), 87-91.

Werther J., & Ogada T, 1999. Sewage sludge combustion. *Progress in energy and combustion science*, 25(1), 55-116.

Xanthoulis, D., & Strauss, M. (1991). Reuse of Wastewater in Agriculture at Ouarzazate, Morocco (Project UNDP/FAO/WHO MOR 86/018).

Les Annexes

Annexe 1

Tableau 1: Études des risques pour le consommateur : prévalence des infections et risques relatifs ou odds ratios dans des populations consommant ou ne consommant pas de légumes irrigués par des eaux usées à l'état cru (.

Événement sanitaire et mesure de cet événement	Qualité des eaux usées	Tranche d'âge (ans)	Prévalence d'une mesure de l'événement (%)	Risque relatif ou odds ratio (IC à 95%)	Groupe étudié et comparaison	Référence
Ascariose (prévalence)	Non traitées	Adultes	70 contre 10	7.0 ^b	Population carcérale consommant des légumes irrigués avec des eaux usées contre population villageoise n'utilisant pas d'eaux usées ou d'excréments humains en agriculture	Khalil (1931) ^a
Ascariose (prévalence – données de routine)	Non traitées	Tous âges	50 contre 6	8.3 ^b	Ville dans laquelle on utilise des eaux usées pour irriguer les cultures de légumes contre moyenne pour cinq villes ne pratiquant pas l'irrigation par des eaux usées	Baumhogger (1949); Krey (1949) ^a
Ascariose (prévalence – données de routine)	Non traitées	Tous âges	i) 35 contre 1 ii) 13 contre 1	(i) 35.0 (32.56–37.62) ^b (ii) 13.0 ^b	Population générale consommant des légumes irrigués par des eaux usées contre population générale ne consommant pas de tels légumes	Shuval, Yekutieli & Fattal (1984)
Ascariose (prévalence)	Traitées et non traitées (réservoirs de stockage)	5+	4,9 contre 2,9	1.43 (1.07–1.92)**	i) 1935–1947 contre 1948–1966 ii) 1968–1970 contre 1975–1982	Cifuentes (1998)
Ascariose (prévalence)	i) Traitées et non traitées ii) Non traitées iii) Traitées <1 œuf de nématode par litre	<15	i) 41,1 contre 16,4 ii) 46,5 contre 17,3 iii) 36,5 contre 13,3	(i) 2.41 (1.07–5.44)* (ii) 4.15 (1.89–9.41) ^{***} (iii) 3.74 (0.80–17.38)	Consommation de légumes locaux (champs irrigués par des eaux usées) contre légumes cultivés en dehors des villages	Peasey (2000)
		>15, sexe masculin	i) 22,4 contre 8,8 ii) 22,4 contre 9,5 iii) 8,0 contre 12,5	(i) 3.93 (1.01–15.24) (ii) 2.74 (0.84–8.81) (iii) 0.61 (0.06–5.81)	Consommation de légumes crus provenant de champs ou de jardins locaux (irrigués avec des eaux usées) contre absence de consommation de tels légumes	

Annexe 1 (Suite)

Tableau 1: Études des risques pour le consommateur : prévalence des infections et risques relatifs ou odds ratios dans des populations consommant ou ne consommant pas de légumes irrigués par des eaux usées à l'état cru (suite).

Événement sanitaire et mesure de cet événement	Qualité des eaux usées	Tranche d'âge (ans)	Prévalence d'une mesure de l'événement (%)	Risque relatif ou odds ratio (IC à 95 %)	Groupe étudié et comparaison	Référence
Ascariose (prévalence)	Traitées (par sédimentation et oxydation biologique)	Tous âges	2,2 contre 6,1	0.36 ^b	Ville où l'on utilise des eaux usées pour irriguer les légumes contre valeurs moyennes pour cinq villes ne pratiquant pas l'irrigation avec des eaux usées	Baumbogger (1949); Krey (1949) ^a
Infection à <i>Helicobacter pylori</i> (séroprévalence)	Non traitées	<35	38 contre 9	3.25 (1.94–5.71)***	Consommation de légumes crus contre consommation de légumes cuits	Hopkins et al. (1993)
Maladie diarrhéique (prévalence bimensuelle auto-rapportée)	Traitées et non traitées	5+	19,0 contre 10,0	2.00 (1.37–2.93)***	Famille cultivant des salades (irriguées par des eaux usées) contre famille ne cultivant pas de salades	Cifuentes (1998)
Maladie diarrhéique (prévalence hebdomadaire auto-rapportée)	Traitées (réservoirs de stockage); 10 ⁴ coliformes fécaux/100 ml	1–4	<1 fois/semaine, 2,6 1 fois/semaine, 9,5 >1 fois/semaine, 5,8	1.00 3.80 (1.24–11.68) 2.19 (0.54–8.89) <i>P</i> = 0.05	Fréquence moyenne à élevée de la consommation d'oignons crus contre faible fréquence de cette consommation	Blumenthal et al. (2003)
		15+	<1 fois/mois, 2,4 1–3 fois/mois, 8,7 1 fois/semaine, 6,0 >1 fois/semaine, 5,5	1.00 3.99 (1.62–9.82) 2.58 (1.05–6.39) 2.24 (0.88–5.71) <i>P</i> < 0.01		
Infection à norovirus (souche mexicaine) (réponse sérologique)	Traitées (réservoirs de stockage); 10 ⁴ coliformes fécaux/100 ml	5–14	0/2 fois/semaine, 13,6 1/2 fois/semaine, 20,6 2–14/2 fois/semaine, 29,6	1.00 1.44 (0.76–2.75) 2.52 (1.03–6.13)	Différentes fréquences de consommation de tomates vertes crues	Blumenthal et al. (2003)

Niveaux de significativité: *, *p* < 0,05; **, *p* < 0,01; ***, *p* < 0,001.

^a Décrit dans Shuval et al. (1986).

^b Risque relatif pour la consommation à l'état cru, calculé à partir des données de prévalence rapportées.

^c Odds ratios et intervalles de confiance à 95 % pour la consommation à l'état cru, calculés pour les données de prévalence rapportées : i) odds ratios ajustés; ii) et iii) odds ratios pour la consommation à l'état cru.

ANNEXE 2

Tableau 2 : L'état des différentes stations d'épuration des eaux usées au Maroc.

STEP	Province ou Préfecture	Type de Collectivité Locale	Année de démarrage	En fonction	Hors service
Aïn Jemaâ	Al Ismailia	C	1984		+
Aït Ourir	Al Haouz	CR	1958		+
Aïn Sebaâ	Ain Sbaâ	CR			+
Béni Bouayach	Al Hoceima	M	1982		+
Ait Youssef OuAli	Al Hoceima	CR	1977		+
Oukaïmeden	Al Haouz	CR			
Amizmiz	Al Haouz	C	1965		+
Lamzar	Agadir	M			
Drarga	Agadir Ida Outanane	CR			+
Ben Sergao- DHR	Agadir	M	1989	+	
Ouaouizerth	Azilal	C	1976		+
Demnate	Azilal	M	1984	+	
Nouacer-ONDA	Ain Chok Hay Hassani	M		+	
Bouznika-ONEP	BenSlimane	M	1981	+	
Ben Slimane	Ben Slimane	M	1950		+
Béni Mellal	Beni Mellal	M	1992		
El Aïoun Sidi Mellouk	Berkane Taourirt	M	1982	+	
Missour	Boulmane	M	1983		+
Outat El Haj	Boulmane	M			+
Boulmane	Boulmane	M	1984		
Imin Tanout	Chichaoua	CR			+
Chefchaouen	Chefchaouen	M	1981		
El Jadida-NESTLE (I)	El Jadida	M		+	
El Jadida-Golf (T)	El Jadida	CR			+
Zemamra	El Jadida	M			+

Annexe 2 (Suite)

Tableau 2 : L'état des différentes stations d'épuration des eaux usées au Maroc (suite)

STEP	Province ou Préfecture	Type de Collectivité Locale	Année de démarrage	En fonction	Hors service
Benguérir-OCP	El Kalaa Sraghna	M		+	
El Attaouia	El Kalaa Sraghna	M			+
El Kelaa (T)	El Kalaa Sraghna	M	1990	+	
Sidi Rahal	El Kalaa Sraghna	M			+
Tamelelt	El Kalaâ Sraghna	M	1989		+
Sidi Harazem	Fès Medina	CR	1987		+
Sidi Allal El Bahraoui	Khemisset	C	1985		+
Boujaâd-DHR	Khouribga	M	1992	+	
Boujniba	Khouribga	M	1961	+	
Bir Mezoui	Khouribga	CR	1991	+	
Hattane	Khouribga	M		+	
Khouribga	Khouribga	M	1984	+	
Boufekrane	Meknès	M	1987	+	
Marrakech	Marrakech	M			
Marrakech (T)	Marrakech	M	1991	+	
Driouch	Nador	C			+
Nador	Nador	M	1978-1991	+	
Zaïo	Nador	M			+
ouarzazate 1	Ouarzazate	M		+	
ouarzazate 2	Ouarzazate	M		+	
Sidi Boulanouar	Oujda Angad	CR		+	
Béni Drar	Oujda Angad	M	1976		+
Rissani-ONEP	Rachidia	CR	1993	+	
Jorf	Rachidia	M			+
IAV-Hassan II	Rabat	m	1985	+	

Annexe 3

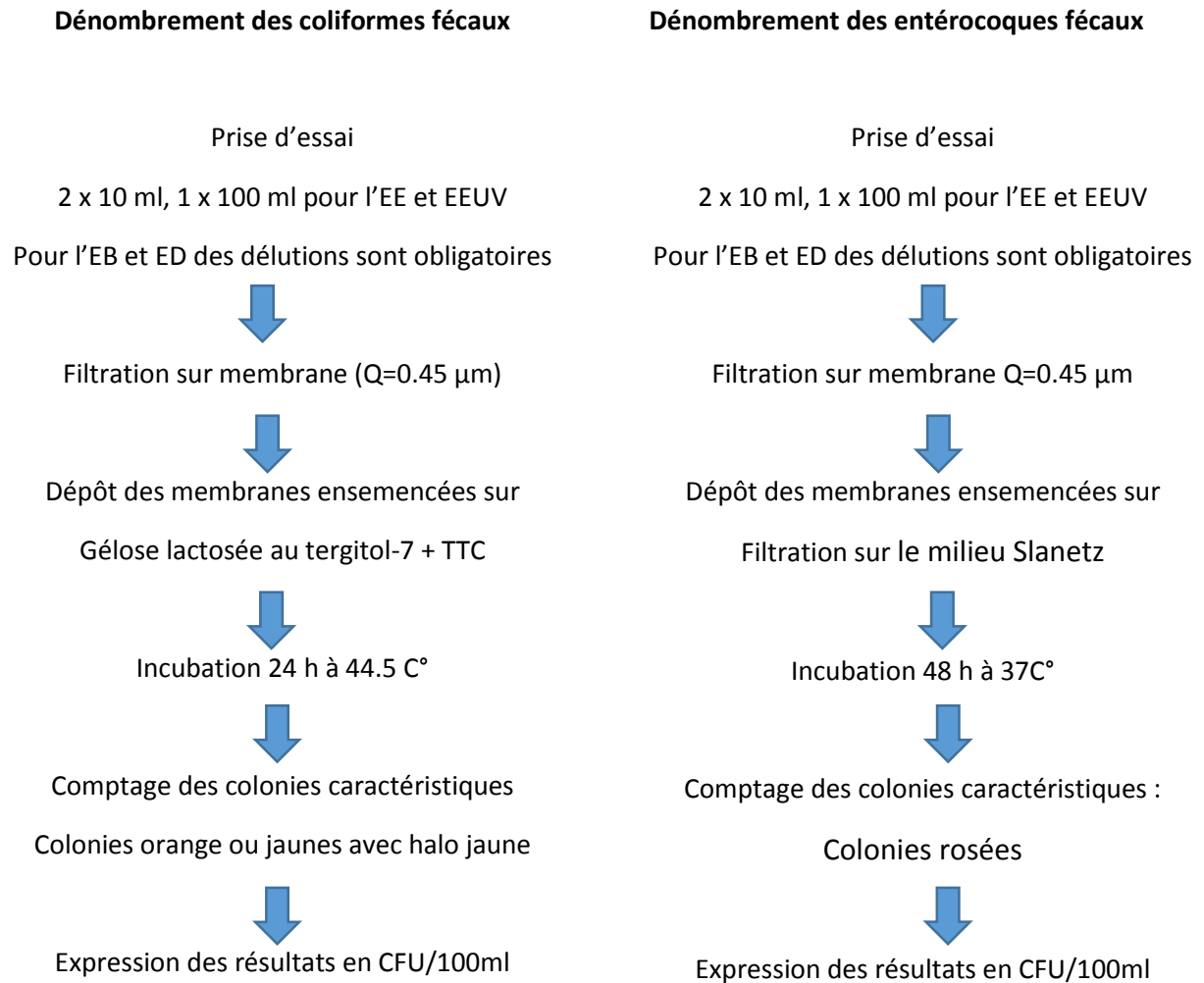


Figure 1 : Protocoles expérimentaux utilisé pour dénombrement des coliformes fécaux et des entérocoques fécaux Selon la norme AFNOR (NF EN ISO 9308-1 et NF EN ISO 7899-1).

Annexe 4

Tableau 3 : Valeur limites pour les différents rejets directs (eaux pluviales), indirects (Eaux usées) ou les eaux destinées à l'irrigation des cultures.

Paramètres	VLR rejet direct	VLR rejet indirect	Eaux destinées à l'irrigation
Température	30 °C	35 °C	35 °C
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5 – 8,5
DBO ₅	100 mg/l	500 mg/l	--
DCO	500 mg/l	1000 mg/l	--
MES	50 mg/l	600 mg/l	2000 mg/l
Conductivité	2700 µs/cm		8,7 ms/cm
Bicarbonate (HCO ₃) Irrigation par aspersion	--	--	518 mg/l
Sulfates	--	400	250 mg/l
Azote Kjeldahl	30 mgN/l		
Phosphore total	10 mgP/l	10 mgP/l	
Chlorure (Cl)	Chlore actif Cl ₂ (0,2 mg/l)	--	Irrigation de surface (350 mg/l) Irrigation par aspersion (105 mg/l)
N-NO ₃			50 mg/l

Annexe 5

Tableau 4 : Résultats des paramètres de la pollution oxydable et particulaire des rejets industriels (RAMSA, 2006)

Paramètres	pH	CE	MES	DCO	DBO5	DCO/DBO5
Unités		dS/m	mg/l	mg O2/l	mg O2/l	
Aveiro Maroc	7,52	2,38	518	7 872	6 511	1,2
Vanelli Maroc	6.10	44,1	703	8 685	6 051	1,44
Atlantic conserve	7.12	5,790	850	9 984	7 551	1,4
Siallco Tikiouine	6,38	146	1 744	24 346	15 176	1,6
Douha QI Ait Melloul	6,05	11,48	592	46 080	25 201	1,8
Limite de rejet indirect	6,5 à 9	2,7	600	1000	500	1 à 3

Annexe 6

Tableau 5 : Temps de survie des pathogènes excrétés à 20-30° C (FAO)

Type of Pathogen	Temps de survie en jours			
	Dans les fèces, les matières de vidange et les boues	Dans les eaux claires et les eaux usées	Sur le sol	Sur les plantes
Virus <i>Enteroviruses</i>	< 100 (< 20)	< 120 (< 50)	< 100 (<20)	< 60 (<15)
Bacteries				
Coliformes fécaux	< 90 (<50)	< 60(< 30)	< 70 (< 20)	< 30 (< 15)
<i>Salmonella</i> spp.	< 60 (< 30)	< 60 (< 30)	< 70 (< 20)	< 30 (<15)
<i>Shigella</i> spp.	< 30 (<10)	< 30 (< 10)	-	< 10 (< 5)
<i>Vibrio cholerae</i>	< 30 (< 5)	< 30 (< 10)	< 20 (< 10)	< 5 (< 2)
Protozoaires	< 30 (< 15)	< 30 (< 15)	< 20 (< 10)	< 10 (< 2)
<i>Entamoeba histolytica</i> cysts	< 30 (< 15)	< 30 (< 15)	< 20 (< 10)	< 10 (< 2)
Helminthes				
<i>Ascaris lumbricoides</i> oeufs	Plusieurs mois	Plusieurs mois	Plusieurs mois	< 60 (< 30)

Les valeurs entre parenthèses montrent le temps de survie habituel