

Higher National School of Hydraulic

The Library

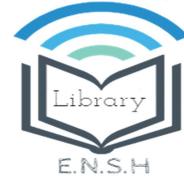
Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

**Possibilités de réutilisation des eaux épurées et valorisation
des boues de la station d'épuration de Boumerdes.**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0022-16

APA Citation (APA توثيق):

**Charabi, Mahfoud (2016). Possibilités de réutilisation des eaux épurées et valorisation
des boues de la station d'épuration de Boumerdes[Thèse de master, ENSH].**

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بنمّين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات، دوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



Département Hydraulique Urbaine

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

OPTION : ASSAINISSEMENT

THEME :

Possibilités de réutilisation des eaux épurées et valorisation des boues de la station d'épuration de BOUMERDES W.BOUMERDES

Présenté par :

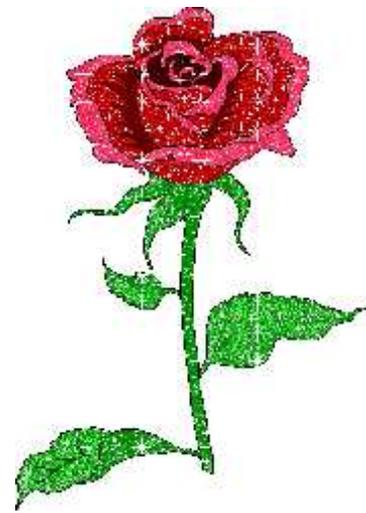
M^r : CHARABI Mahfoud

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M ^r SALAH Boualem	Professeur	Président
M ^r HACHEMI Abd elkader	M .A.A	Examineur
M ^{me} MOKRANE Wahiba	M.A .A	Examinatrice
M ^{me} TAFAT Leila	M.A .A	Examinatrice
M ^{me} CHENITI Naoual	M.A .A	Promotrice

MAI 2016

Dédicace



Je Dédie ce modeste travail :

Spécialement à ma très chère mère pour ces Sacrifices, son amour, son aide et son soutien.

Très chère maman, je ne vous remercierai jamais assez pour vos actes.

À mon très cher père qui a toujours été là pour moi et qui m'a donné un magnifique modèle du labeur et de persévérance;

À mon grand père et ma grand-mère maternelle que Dieu me les garde.

À mes frères : SAID, ALI et AHMED.

À mes sœurs : RAIKA et SAMIRA.

À mes neveux : AYMEN et NOUR ELHOUDA

À mes oncles maternels et paternels

*À mes meilleur amis BENLAIBIAD BEN AISSA,
ISKOUNNAN YACINE, MEGATELI AHMED, BAHRI
DIA ELHAK, HAGANI MOHMED. SOUAIKEUR
DJABER .*

À tous mes amis du primaire jusqu'au lycée

À tous mes amis de l'ENSH sans exception.

MAHFOUD



REMERCIEMENT

Au terme de ce modeste travail Je tiens à remercier tout d'abord Dieu le tout puissant de m'avoir donné la force et le courage pour mettre à terme ce travail.

Mes remerciements à ma mère et mon père pour leurs soutiens et leur aide et leurs encouragements durant toutes mes années d'études.

Je remercie également ma promotrice: Mme CHENITI de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.

Par la même occasion je remercie :

- ♣ les membres du jury qui ont bien accepté de juger mon travail, et qui ont pris le temps de rapporter ce mémoire.*
- ♣ Tous les enseignants de l'ENSH qui ont contribué à ma formation.*
- ♣ Je remercie également tous les personnes de DRE de BOUMERDES surtout les personnes de service assainissement et aussi les personnes de l'ONA de BOUMERDES pour leurs soutiens et leurs aides pour élaborées cette travail.*
- ♣ Mes pensées vont pareillement à tous mes enseignants de la première année primaire jusqu'à lycée.*
- ♣ Un remerciement particulier à tous mes amis qui m'ont aidé et soutenu Durant mes études.*
- ♣ Enfin, tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, que ce soit par leur amitié, leur conseils ou leurs soutien moral, qu'ils trouveront dans ces quelque lignes l'expression de mes remerciements les plus vifs et les plus sincères.*

MAHFOUD

ملخص:

إن اشكالية دراستنا هي البحث عن إمكانية إعادة استخدام المياه المعالجة و الحمأة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في مختلف المجالات وبصفة خاصة في المجال الزراعي ، دراستنا كانت مقتصرة على محطة معالجة مياه الصرف الصحي لولاية بومرداس

في اطار هذا العمل قمنا بإجراء عدد من الاختبارات على المياه المعالجة و الحمأة بهدف دراسة نوعيتها الفيزيوكيميائية و البيولوجية، و مدى مطابقتها للمعايير المعتمدة لإعادة الاستخدام في مختلف المجالات كما قمنا بدراسة قابلية تربة دائرة بومرداس لإعادة استخدام المياه المعالجة و الحمأة، ومدى تأثيرها عليها وقد اعتمدنا أيضا على مجموعة من الاختبارات التي نفذت في مخابر متخصصة

Résumé :

La problématique de notre étude est la recherche des possibilités de réutilisation des eaux usées traitées et des boues à partir d'une station d'épuration spécialement dans le domaine des terres agricoles ,Notre investigation est limitée à la station de traitement des eaux de la wilaya de BOUMERDES

Dans le cadre de ce travail, nous avons effectué sur place un certain nombre d'analyses sur les eaux traitées et sur la boue générée par le traitement dans le but de l'étude de leurs qualités physicochimiques et bactériologiques et on les compare avec les normes de la réutilisation dans les défèrent domaine, et nous avons étudiée l'aptitude des sols de daïra de boumerdes a la réutilisation des eaux épurées et leur impact.

Nous avons procédé également au recueil d'autres analyses effectuées par des laboratoires spécialisés.

Abstract:

The aim of this work is to set the possibilities of using purified water and mud from a water - treatment plant used for irrigation and for other different domains. Our investigation dealis wik the treatment station of the wilaya of boumerdes only.

Within our research, we have made number of analyses on water drafts and on the mud in generated by the treatment in the aim of study of the quality physicochimiques and bactériologiques and compared with specification of using purified water in different domains, and we have study the aptitude of soil of daïra of boumerdes for using purified water and her impact

We have also proceeded to the collection of other analyses made already by specialized laboratories.

SOMMAIRE

Chapitre I : Réutilisation des eaux épurées

I.1. Introduction :	1
I.2.Eau dans le monde :	1
I.2.1.Situation mondiale :	2
I.3.Domaine de la réutilisation des eaux épurées :	3
I.3.1.La réutilisation des eaux usées épurées en agriculture :	4
I.3.2.La réutilisation des eaux usées épurées en industrie :	4
I.3.3.La réutilisation des eaux usées épurées en zone urbaine :	4
I.3.4.La production d'eau potable.....	5
I.3.5.La recharge de nappe	5
I.4. Destination finale des boues :	7
I.4.1. La valorisation en agriculture des boues.....	7
I.4.2. Récupération d'énergie.....	7
I.4.3.Récupération de produits.....	8
I.4.4. La mise en décharge.....	8
I.5.la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie	9
I.5.1.Situation de l'assainissement en Algérie :	9
I.5.2.Potentiel actuelle de la réutilisation des eaux épurées Algérie :	9
I.5.3.cadre réglementaire d'usage des eaux usées épurées :	10
I.5.4.Potentiel de valorisations des boues en Algérie	10

Chapitre II : Bénéfices, contraintes, et risques de la réutilisation des eaux épurées

II.1.Intérêt, avantage et bénéfices de la réutilisation des eaux usées :	12
II.2.Défis et contraintes de la réutilisation des eaux épurées.....	13
II.3.Notion de risque :	14
II.3.1.Définition du risque :	14
II.3.2.Risque microbiologique :	15
II.3.3.Risque chimique :	16
II.3.4.Risque environnemental :	16
II.4.Paramètres d'intérêt en réutilisation des eaux épurées	17
II.4.1. paramètres microbiologiques :	17
II.4.2. Eléments traces :	22
II.4.3. Salinité :	24
II.4.4.Autres paramètres :	25

Chapitre III : Méthode et Matériel

III.1. ECHANTILLANAGE :	27
III.2. Analyses physico-chimiques :	27
III.2.1. Mesure électrométrie du pH :	27
III.2.2. Matières en suspension (M.E.S) :	28
III.2.3. Détermination de conductivité électrique:	29
III.2.4. La demande chimique en oxygène (D.C.O) :	30
III.2.5. La demande biologique en oxygène (DBO5) :	30
III.2.6. Éléments Nutritive	31
1. Détermination de l'azote totale (NTK)	31
2. Détermination de l'azote ammoniacal (NH ₄ ⁺)	32
3. Détermination des nitrates (NO ₃ ⁻) :	33
4. Détermination des nitrites (NO ₂ ⁻) :	34
5. Détermination des phosphates (PO ₄ ⁻³) :	35
II.3. Analyses bactériologiques	36
II.3.1. Recherche et dénombrement des germes totaux	36
II.3.2. Recherche et dénombrement des coliformes en milieux liquides (Méthode de NPP) ...	37
II.3.3. Recherche des Streptocoques fécaux en milieu liquide	39
II.3.4. Recherche et dénombrement des Clostridium Sulfito-Réducteurs	40

Chapitre IV : Étude de la STEP de Boumerdes (analyses et interprétations)

IV.1. Présentation de la station :	42
IV.1.1. Le principe de traitement :	42
IV.2. Résultats et interprétation:	46
IV.2.1. Analyse des eaux épurées :	46
a. résultats des analyses des paramètres physicochimique :	46
b. Les nutriments :	51
c. D'autres paramètres :	54
d. Métaux lourds :	55
f. Paramètre microbiologique :	56
IV.2.2. Analyse des boues :	58
a. Paramètre physico chimique :	58
b. Éléments traces métalliques (ETM) :	59
C. Paramètres microbiologiques :	59
IV.3. Conclusion sur les résultats d'analyse :	60

Chapitre V : possibilités de réutilisation

V. Domaine de réutilisation des eaux épurées de la step de BOUMERDES	61
V.1. Réutilisation à des fins agricoles :	61
V.1.1. Identification et localisation des zones pour la réutilisation des eaux épurées de la zone d'étude ainsi que les cultures existantes :	61
V.4. Analyse des sols de la zone d'étude :	61
1. Textures des sols de la région :	61
2. Paramètres chimiques des sols de la région :	63
3. Conclusion sur les analyses des sols :	63
V.1.2. Besoin en eau de l'irrigation pour la zone d'étude	64
V.1.3. TECHNIQUES D'IRRIGATION PROPOSÉES	65
V.1.4. Interprétation de la qualité des eaux pour l'utilisation agricole avant la mise en place d'un système de désinfection	66
V.1.5. l'effet de Premier réutilisation des eaux de la STEP de BOUMERDES :	66
a. Stockage des eaux épurées destinées à l'irrigation des champs des deux partenaires	67
b. L'effet de eaux épurées sur le système d'irrigation utilisé dans les deux sites d'irrigation :	68
c. Effet sur le sol	69
d. L'effet des eaux d'épuration sur le rendement des deux sites d'irrigation	69
f. Effet sur la santé des consommateurs	69
V.1.6. Recommandation pour l'amélioration de qualité des eaux épurées	69
V.3. Autre voie de réutilisation des eaux épurées de la step de BOUMERDES :	71
V.3.1. Réutilisation municipale : usage urbaine :	71
V.3.2. Réutilisation industriel	71
V.4. Valorisation des boues :	71
V.4.1. Epannage agricole :	71
V.4.2. Valorisation énergétique (méthanisation):	72

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II-1 : Principaux virus présents dans les eaux usées	18
Tableau II-2 : Principales bactéries pathogènes présentes dans les eaux usées.....	19
Tableau II-3 : Principaux protozoaires présents dans les eaux usées	20
Tableau II-4 : Principaux helminthes présents dans les eaux usées	21
Tableau II-5 : DMI moyennes des agents pathogènes présents dans les eaux usées.....	22
Tableau II-6 : les plus dangereux métaux lourd	23
Tableau II-7: Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation	24
Tableau IV.1. Objectif du traitement	42
Tableau IV.2. la pollution éliminée	42
Tableau IV.3 : analyses des paramètres physicochimiques mois de décembre 2015 (eau brute).	46
Tableau IV.3 : analyses des paramètres physicochimiques mois de décembre 2015(eau épurée).	47
Tableau IV.4 : bilan annuelle des analyses physicochimique année 2015 (Eau brute	47
Tableau IV.5 : bilan annuelle des analyse physicochimique année 2015 (Eau épurée).	48
Tableau IV.6 : Résultats de l'analyses de Chlorure Cl^- et Bicarbonate HCO_3^-	54
Tableau IV.7 : Résultats de l'analyse des métaux lourds.	55
Tableau IV.8 : Résultats de l'analyse parasitologie.....	56
Tableau IV.9 : Résultats d'analyse biologique années 2013	57
Tableau IV.10 : Résultats de l'analyse des boues.	58
Tableau IV.10 : résultats des analyses des éléments traces métalliques (ETM)	59
Tableau IV.11 : résultats des analyses microbiologique des boues.....	59
Tableaux V.1 : récapitulatif des potentielles agricoles de la zone de boumerdes	61
Tableau IV.12 : Récapitulatif des analyses granulométriques des sols de la zone d'étude	61
Tableau IV.13. Récapitulatif des analyses chimiques des sols de la zone d'étude.....	63
Tableau .V.2 : Récapitulatif de principales cultures pratiquées dans la zone d'étude.	64
Tableau V.3. : Besoin en eau d'irrigation de la zone d'étude.....	64
Tableau V.4 : techniques d'irrigation proposées	65
Tableau V.5 : réutilisation des eaux de la step de BOUMERDES	67
Tableau V.6 : comparaison entre les différents systèmes de désinfections	69

Liste des figures

Figure I.1 : Représentation du stress hydrique dans le monde	1
Figure I.2 : Schémas de réutilisation d'eaux usées municipales, selon le type d'applications..	2
Figure I.3 : Les usages de REUT	3
Figure I.4 : Schématisation d'un système de recharge artificielle d'un aquifère côtier protégeant ainsi les nappes de l'intrusion marine.....	6
Figure I.5 : Recharge artificielle d'un aquifère	6
Figure I .1 : Destination finale des boues en ALGERIE	10
Figure II.1 : Entérovirus vus au microscope électronique (pas d'échelle)	17
Figure II.2 : Escherichia coli vues au microscope électronique	19
Figure II.3 : Cryptosporidium parvum vu au microscope électronique.....	20
Figure II.4 : Helminthe vu au microscope électronique (pas d'échelle)	21
Figure III.1 : lieu de prélèvement	21
Figure III.2 : Echantillons eau brute et eau	27
Figure III.3 : PH mètre.	28
Figure III.4: pompe à vide.....	28
Figure III.5: filtre.....	29
Figure III.6: Conductimètre.....	29
Figure III.7 : Réactifs, spectrophotomètre, thermostats.	30
FigureIII.8: DBO mètre.....	31
Figure III.9: spectrophotomètre.....	32
Figure III .10 : Recherche et dénombrement des germes totaux dans l'eau.	37
Figure III. 11 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux dans l'eau.....	38
Figure III.12 : Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux dans l'eau	40
Figure III. 13 : Recherche et dénombrement des Clostridium sulfitoréducteurs.....	41
Figure IV1: ouvrages de traitement de l'eau dans la station d'épuration BOUMERDES	44
Figure IV.2 : épaisseur	45
Figure IV.3 : bande à presse	45
Figure IV.4 : Graphique de variation de PH durant l'année 2015.....	48
Figure IV.5 : Graphique de variation de température d'eaux épurées pendant l'année 2015 .	49
Figure IV.6 : Variation des valeurs de conductivité pour l'eau brute et épurée	50
Figure IV.7 : Variation des valeurs de DBO5 pour l'eau brute et épurée	50
Figure IV.8 : Variation des valeurs de DCO pour l'eau brute et épurée	51
Figure IV.9 : Variation des valeurs de MES pour l'eau brute et épurée	51
Figure IV.10 : Variation de l'azote ammoniacal	52
Figure IV.11 : Variation de nitrites pour les eaux brute et épurées	52
Figure IV.12 : Variation de nitrates pour les eaux brute et épurées	53
Figure IV.13 : Variation de l'azote NTK	53
Figure V .1 : profile pédologique du commune de tidjelabine	62
Figure V.2 : profile pédologique du commune de CORSO.....	62

Figure V.3 : profile pédologique du commune de BOMERDES	62
Figure V.4 : Irrigation localisée par goutte a goutte.	65
Figure V.5 : Micro-asperseur.	66
Figure V.6. Bassins de stockage des eaux épurées des deux agricultures	67
Figure V.7 : les deux cultures irriguées par les eaux épurées de la station d'épuration de BOUMERDES	68
Figure V.8.technique d'irrigation utilisée.....	68
Figure V.9 : vignes des sites irriguées par les eaux épurées.....	69
Figure V.10 lampes UV.....	70
Figure V.11 : épandage agricole des boues	71
Figure V.12: Equivalence énergétique de méthane.	73

Liste des abréviations

DBO5 : demande biologique en oxygène

DCO : demande chimique en oxygène

DRE: direction de ressource en eau.

FAO: food and agriculture organization.

LHCC : laboratoire de l'habitat et de construction du centre

MES : matière en suspension.

ONA: office national assainissement.

OMS : Organisation Mondiale de la santé.

STEP : station d'épuration.

REUT : Réutilisation des eaux traitées.

UAP : Unité d'appui au programme appui au secteur des ressources en eau en Algérie.



Introduction et problématique

Introduction et problématique

L'eau est une denrée de plus en plus rare en Algérie et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée.

Bien qu'apparemment inépuisable, l'eau est très inégalement répartie sur la planète. Tous les pays auront à court terme ou à long terme, à faire face au problème de sa raréfaction. La mobilisation des eaux superficielles a été de tous les temps une préoccupation majeure des pouvoirs publics (Devaux, 1999 ; Ecosse, 2001)

Les populations des pays hydro sensible comme l'Algérie ne cessent d'augmenter considérablement et leurs besoins en nourriture et en eau croient continuellement. Traditionnellement, cette situation a été solutionnée en développant l'agriculture extensive et/ou en augmentant simplement la mobilisation des ressources en eau conventionnelles disponibles qui, actuellement, s'approchant de leurs limites naturelles. De plus, ces dernières décennies ces mêmes ressources sont exposées à divers type de pollution qui limitent leur utilisation normale et leur vocation principale qui est l'alimentation en eau potable (Fazio, 2001)

Devant ces besoins en eau douce qui ne cessent de croître et vu l'impossibilité de se contenter seulement de ces ressources naturelles conventionnelles, la recherche de moyens d'épuration adéquats et l'analyse des différents paramètres d'intérêt pour une réutilisation des effluents d'eaux usées traitées sans risque vis à vis les différents normes exigées par les réglementations est devenue une option attrayante et une alternative incontournable afin de mobiliser de plus importants volumes d'eau et satisfaire ainsi la demande de plus en plus croissante, particulièrement, dans les pays arides et semi-arides.

Dans le cadre de ce travail nous nous proposons une étude sur la caractérisation et l'évaluation de qualité des eaux usées épurées c'est-à-dire examiner tous les paramètres physico-chimiques et biologiques ainsi que les parasites et les éléments tracés présents dans l'eau épurée et aussi dans les sous-produits d'épuration dans le but de la réutilisation sans risque dans divers domaines précisément dans le domaine d'irrigation car elle est le domaine le plus consommateur d'eau.

Ce travail comporte deux parties principales :

I. Une partie bibliographique sur :

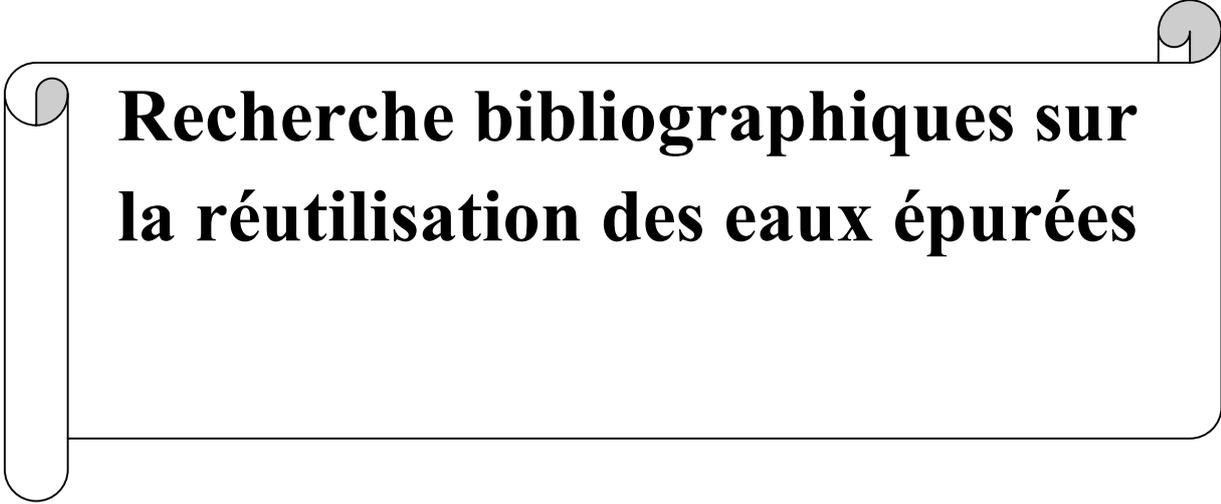
- Domaine de la réutilisation des eaux traitées et celle de la valorisation des boues issues de traitements des eaux épurées.
- Intérêt, avantage et bénéfices de la réutilisation des eaux usées et les différents risques liés au recyclage des eaux et des boues dans les différents domaines. Ainsi que les différents paramètres d'intérêt de la réutilisation et leur influence sur la santé humaine.

Introduction et problématique

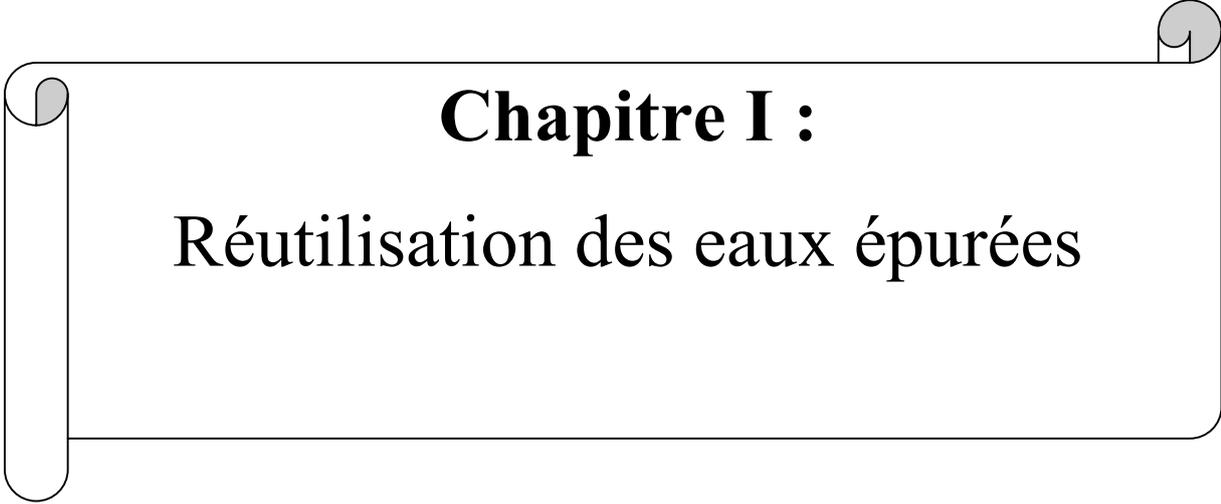
II. une partie expérimentale composé de :

- Présentation de station d'épuration de la ville de BOUMERDES.
- Quelques méthodes et matérielles utilisées dans les analyses des eaux épurées et des boues.
- Résultats d'analyses et interprétation des résultats.
- Recommandation proposées pour l'amélioration de qualité de l'effluent épuré une bonne pratique de réutilisation.

Nous terminons notre étude par une conclusion générale ou sont récapitulés les principaux résultats obtenus.



**Recherche bibliographiques sur
la réutilisation des eaux épurées**

A decorative graphic of a scroll, oriented horizontally. The scroll is white with a thin black border. At the top left and top right corners, the scroll is shown curling upwards, with a grey shadow underneath to give it a three-dimensional appearance. The text is centered within the scroll.

Chapitre I :

Réutilisation des eaux épurées

I.1. Introduction :

L'importance grandissante des coûts d'amener l'eau pour l'alimentation des villes pour les différents consommateurs, jointe à celle de leur évacuation qui va de pair avec la raréfaction des ressources en eau, conduit, un peu partout dans le monde, et pas seulement dans les zones arides et semi-arides, à se poser la question de **possibilité de réutilisation des eaux usées épurées**. Cette ressource de seconde main, qui s'accroît avec l'utilisation plus intensive des ressources naturelles, constituera demain une richesse réelle si on apprend à l'utiliser et à mettre en œuvre à temps les mesures de sauvegarde qui s'imposent.

I.2. Eau dans le monde :

La question de l'eau et de ses réserves est un problème qui anime les populations du monde entier depuis des décennies. Les poussées démographiques, l'agriculture extensive, le réchauffement climatique sont quelques-uns des nombreux exemples mettant en péril la pérennité des ressources.

La carte ci-dessous présente l'état actuel du stress hydrique dans le monde. On parle de stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse les ressources disponibles ou encore, lorsque la disponibilité en eau par an et par habitant est inférieure à 1700 m^3 .



Figure I.1: Représentation du stress hydrique dans le monde (www.solidarites.org)

Nous remarquons Une « ceinture » allant de l'Amérique du Nord jusqu'à l'Est de l'Asie semble regrouper la majeure partie des pays en situation de stress hydrique le plus important. A l'inverse, les pays situés aussi bien au Nord qu'au Sud de cette « ceinture » ne semblent pas souffrir d'un stress hydrique marqué, à quelques exceptions près. Toutefois, il ne faut pas exclure l'existence d'importantes variations au sein d'un même pays, ce qui est notamment le cas des

États-Unis ou même de la France et de l'Algérie. En effet, la figure indique une importante stratification du stress hydrique en Algérie et une demande plus importante au Nord qu'au Sud. Les auteurs qui ont élaboré cette carte ne donnent pas d'éléments pouvant justifier cette remarque mais un lien probable avec une forte demande agricole et/ou la géologie des sols pourrait l'expliquer.

I.2.1. Situation mondiale :

Depuis 2000, la REUT a connu un développement très rapide avec une croissance des volumes d'eaux usées réutilisées de l'ordre de 10 à 29% par an, en Europe, aux États-Unis et en Chine, et jusqu'à 41% en Australie. Le volume journalier actuel des eaux réutilisées atteint le chiffre de 1,5-1,7 millions m³/jour (Mm³/jour) dans plusieurs pays et états, comme par exemple au Mexique, en Chine, en Floride et en Californie (Lazarova et Brissaud, 2007). L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2010) rapporte qu'actuellement il existe 3300 usines de récupération des eaux dans le monde présentant des degrés variables de traitement pour des applications diverses. La plupart de ces usines se trouvent au Japon (plus de 1800) et aux États-Unis (plus de 800), mais l'Australie et l'Union Européenne comptent, respectivement, 450 et 230 projets. La région méditerranéenne et du Moyen-Orient comptent environ 100 sites, l'Amérique latine 50 et l'Afrique Sub-Saharienne 20 (FAO, 2010). La Figure ci-dessous montre le type d'applications de REUT à travers le monde.

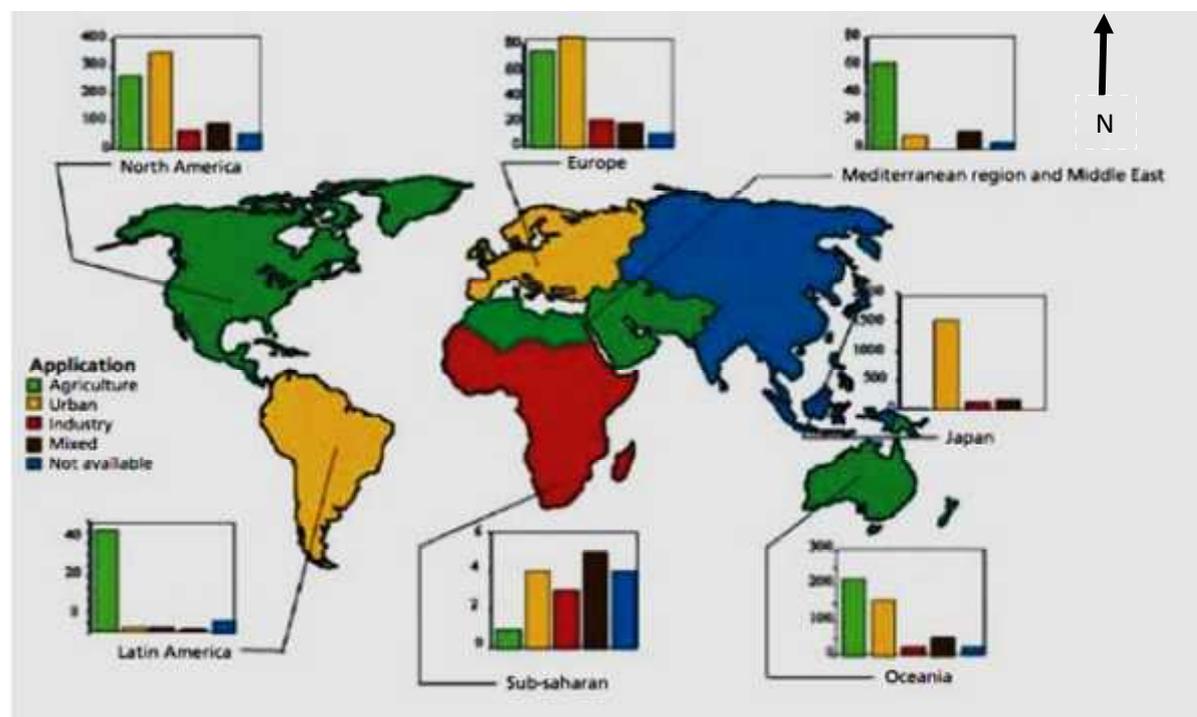


Figure I.2 : Schémas de réutilisation d'eaux usées municipales, selon le type d'applications (FAO, 2010)

I.3. Domaine de la réutilisation des eaux épurées :

La réutilisation des eaux usées épurées « REUE » est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages.

Aujourd'hui la stratégie nationale du développement durable en Algérie se matérialise particulièrement à travers un plan stratégique qui réunit trois dimensions à savoir : Sociale, Economique et Environnementale (ONA ,2015)

Les principales utilisations des eaux usées épurées sont :

- Utilisations agricoles : –irrigation- la plus répandue, permettant d'exploiter la matière fertilisante contenue dans ces eaux réalisant ainsi une économie d'engrais ;
- Utilisations Municipales en zone urbain : arrosage des espaces verts, lavage des rues, alimentation de plans d'eau, lutte contre les incendies, l'arrosage des terrains de golf, des chantiers de travaux publics, arrosage pour compactage des couches de base des routes et autoroutes.
- Utilisations industrielles : refroidissement, construction, papeteries, industries textiles, etc;
- Production d'eaux potable
- Amélioration des ressources : recharge des nappes pour la lutte contre les rabattements des nappes et la protection contre l'intrusion des biseaux salés en bord de mer. (ONA ,2015)

La figure suivante représente les différent usage de la réutilisation des eaux épurées

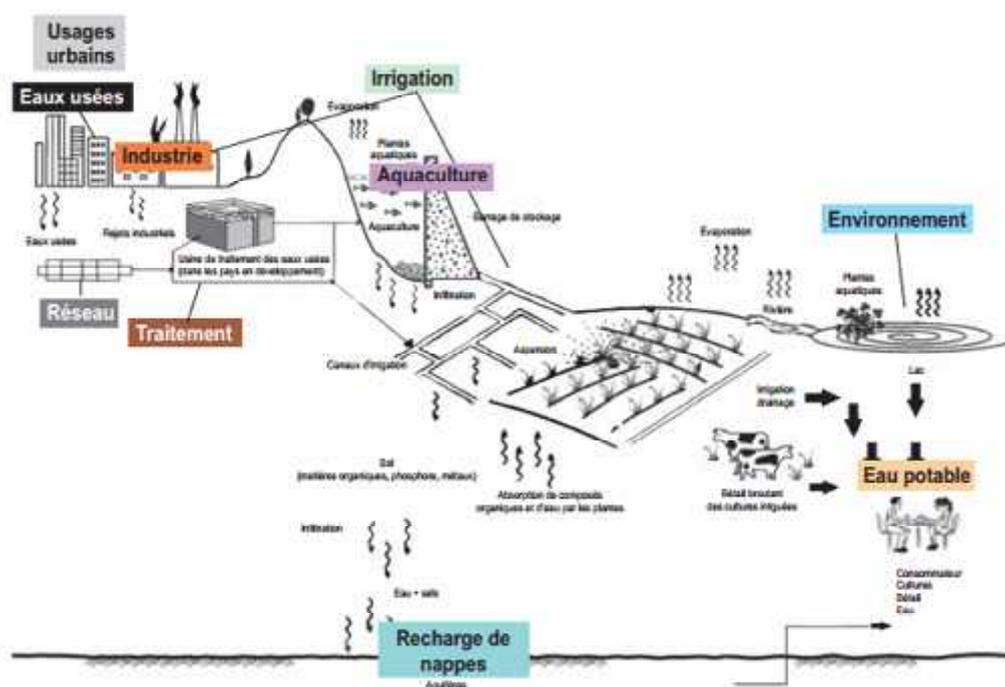


Figure I.3 : Les usages de REUT (adapté de WHO, 2006)

I.3.1.La réutilisation des eaux usées épurées en agriculture :

L'irrigation agricole est cruciale pour améliorer la qualité et la quantité de la production agricole. Dans le monde entier, l'agriculture est le secteur le plus consommateur d'eau (UNEP et Global Environment Centre Foundation, 2005). En effet, l'UNESCO (2000) a rapporté que le secteur de l'agriculture reçoit 67% des prélèvements totaux en eau et compte pour 86% de la consommation mondiale.

Pour la plupart des pays Arabes, la consommation en eau est essentiellement due au secteur de l'agriculture ; par exemple pour le Maghreb l'agriculture correspond à 81% des prélèvements en eau. Ainsi, les projets d'irrigation à grande échelle ont accéléré la disparition de plans d'eau, tels que la Mer d'Aral, les marécages irakiens et le Lac du Tchad (UNEP et Global Environment Centre Foundation, 2005) et favorisé l'intrusion marine des aquifères côtiers et la salinisation des sols (PNUE/PAM-Plan Bleu, 2009).

La REUT, lorsqu'elle est correctement utilisée, peut permettre une utilisation plus efficace de l'eau dans le domaine de l'agriculture en vue d'une gestion durable de l'eau. Les principaux bénéfices de la REUT pour l'agriculture sont (UNEP, 2003) :

- Une conservation des ressources en eau douce et leur allocation plus rationnelle, en particulier dans les pays en pénurie d'eau.
- Un moyen d'éviter la pollution des eaux de surface en évitant le déversement d'eaux usées dans les plans d'eau.
- Un apport naturel en nutriments (notamment azote, phosphore et potassium), donc des besoins en engrais artificiels réduits.
- Amélioration des caractéristiques physiques des sols grâce à l'apport de matières organiques : prévention de l'érosion.

I.3.2.La réutilisation des eaux usées épurées en industrie :

La REUE industrielle peut être intéressante dans le secteur de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts. Les autres applications possibles concernent les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques et de semi-conducteurs, etc.

La qualité requise est spécifique à chaque industrie parce que sa composition Chimique peut avoir des répercussions sur les processus industriels.

Les préoccupations concernent principalement les phénomènes d'entartrage, de corrosion, de développement de bactéries d'encrassement, de formation de mousse, et d'inhalation d'aérosols par les travailleurs. Il n'y a pas de problème sanitaire spécifique à l'industrie et on retrouve les mêmes contaminants que pour les autres usages. (Devaux I, 1999)

I.3.3.La réutilisation des eaux usées épurées en zone urbaine

Les utilisations possibles d'eaux épurées en zone urbaine sont extrêmement nombreuses, et il en existe de multiples exemples à travers le monde. Ces projets concernent:

- L'arrosage de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf, d'aires de jeux;
- les bassins d'agrément, piscines, bassins pour la pêche et la navigation de plaisance.

- les eaux des sanitaires d'un immeuble ou d'un groupe d'immeubles;
- Le lavage de voirie, réservoirs anti-incendie, etc.

La REUE en zone urbaine nécessite un réseau double qui permet de distribuer séparément les eaux épurées et l'eau potable. Il peut y avoir un réseau double à l'échelle de la ville entière ou à l'échelle de l'habitation. (Devaux I, 1999)

I.3.4. La production d'eau potable

La réutilisation est directe quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel. Les eaux épurées sont directement acheminées de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable. L'unique exemple dans le monde de réutilisation directe se trouve en Afrique, à Windhoek, capitale de la Namibie. Cependant, ce mode de REUE sans passer par le traitement supplémentaire offert par le milieu naturel est déconseillé, il doit être mis en œuvre uniquement quand aucune autre solution n'est possible.

La réutilisation est indirecte et non planifiée quand les eaux épurées sont rejetées dans un cours d'eau ou une réserve souterraine qui sert à l'alimentation d'une usine de traitement, sans que ce lien soit volontaire. Cette notion est à la limite de la définition d'une REUE.

La réutilisation est indirecte et planifiée quand elle consiste à rejeter des effluents de station volontairement en amont d'une usine de traitement, au niveau du plan d'eau ou de la nappe qui sert d'ultime réservoir naturel avant le pompage et le traitement.

La production d'eau potable est l'aboutissement le plus extrême de la réutilisation des eaux usées épurées. Elle a lieu essentiellement dans les zones arides ou semi-arides. (Devaux I, 1999)

I.3.5. La recharge de nappe

La principale motivation concernant la recharge de nappe est la dégradation de sa qualité environnementale et/ou la diminution de sa réserve en eau. Ce mode de réutilisation a lieu essentiellement dans des zones arides qui doivent faire face à des problèmes d'assèchement de nappes, ou dans des zones côtières où les nappes sont envahies par l'eau de mer. Il existe deux moyens de recharger une nappe phréatique :

- par percolation : Le principal problème rencontré est celui des algues, qui pullulent dans les bassins. Les solutions préconisées sont variées: introduction de poissons, d'algicides, teindre l'eau pour empêcher la photosynthèse, faire circuler l'eau pour empêcher la stagnation, éviter le stockage dans des lacs peu profonds, éviter de laisser l'eau stagner trop longtemps et couvrir les réservoirs. Un autre problème est la formation d'un microfilm de vase, d'argile et de micro-organismes au fond du bassin qui bloque la;

- par recharge directe : L'eau est injectée dans la nappe par plusieurs puits. (Devaux I, 1999)

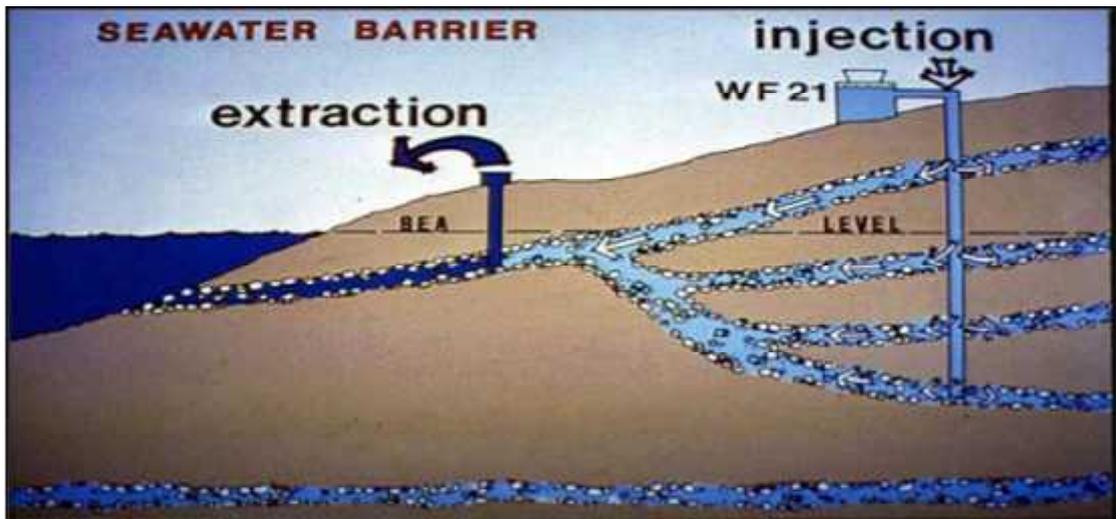


Figure I.4 : Schématisation d'un système de recharge artificielle d'un aquifère côtier protégeant ainsi les nappes de l'intrusion marine (Dahab, 2011)

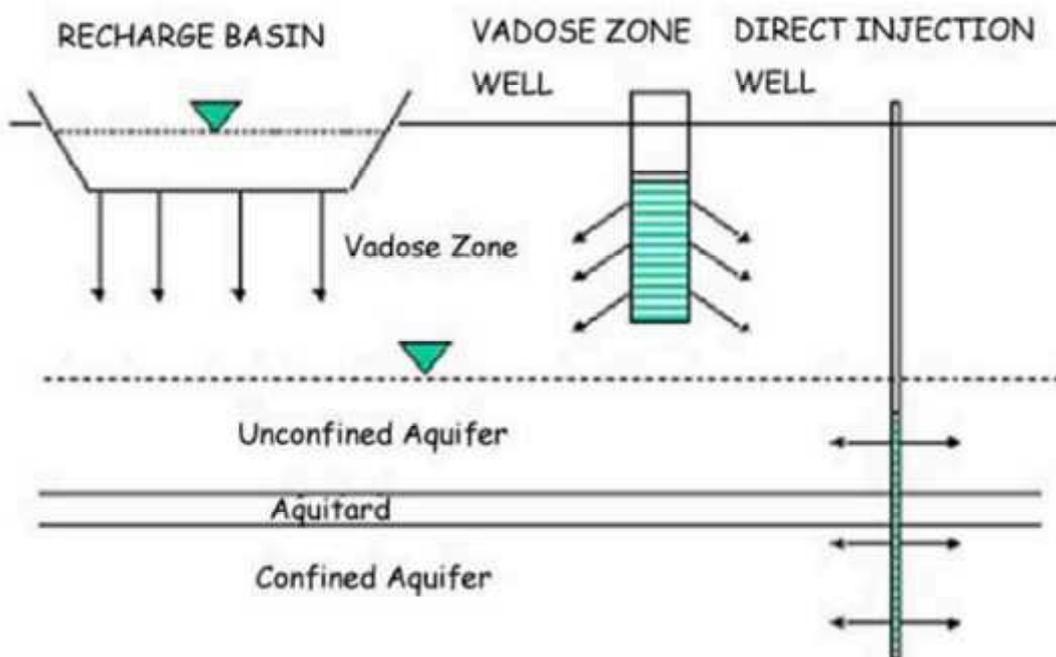


Figure I.5 : Recharge artificielle d'un aquifère (UNEP et Global Environment Centre Foundation, 2005)

I.4. Destination finale des boues :

La valorisation des boues est souvent aléatoire et leur évacuation constitue presque toujours une charge d'exploitation importante.

Sur le plan économique le but à atteindre est en réalité de limiter les frais de leur traitement et de leur transport. Cette optimisation dépend des conditions d'écoulement du produit, des besoins en énergie et du coût de celle-ci, du prix de la main d'œuvre, des réactifs de conditionnement, etc. Parallèlement, l'hygiène du travail et la protection de l'environnement imposent le développement de solutions provoquant le minimum de nuisances tout en restant économiquement supportables. (DEGREMONT, 1989)

Les principales destinations des boues et sous-produits issus de leur traitement sont les suivantes:

I.4.1. La valorisation en agriculture des boues

L'épandage de la boue est la voie la plus répandue en agriculture. Elle existe depuis plus de 30 ans et offre la possibilité d'augmenter la fertilisation des sols.

Cette pratique courante ne concerne pas que les boues d'épuration, mais plusieurs centaines de millions de tonnes ou de mètres cubes de matières diverses. Ces matières entretiennent la fertilité des sols quand elles sont correctement appliquées, diminuant alors les besoins d'engrais commerciaux. En agriculture, les boues sont utilisées comme fertilisants, c'est-à-dire comme produit capable de fournir aux cultures des éléments nutritifs nécessaires à leur croissance et à leur développement. Compte tenu des multiples procédés épuratoires utilisés dans les différentes stations, les boues sont susceptibles de présenter une diversité de composition selon le type de traitement utilisé, le type d'effluent entrant ou encore la taille de la station.

I.4.2. Récupération d'énergie

La récupération d'énergie n'est pas normalement le but premier du traitement des boues. L'emploi des boues comme combustible exportable en dehors de l'usine d'épuration est rare. La récupération d'énergie se réalise essentiellement sous deux formes principales:

- production de gaz méthane par fermentation. Le gaz est utilisé pour le chauffage, l'alimentation des groupes électrogènes et le conditionnement thermique des boues elles-mêmes;
- production calorifique dans les fours d'incinération. L'énergie ainsi produite sert essentiellement, sinon totalement, à sécher préalablement les boues. Lorsque la siccité initiale des boues le permet, l'énergie thermique excédentaire peut être transformée en énergie électrique.

Toute récupération d'énergie s'accompagne de la réduction partielle ou totale des germes pathogènes dans les boues. (DEGREMONT, 1989)

I.4.3. Récupération de produits

La récupération n'est envisageable que sur certains éléments contenus dans les boues. En particulier:

- récupération de fibres dans les industries du papier-carton et du bois;
- récupération de produits coagulants dans les boues provenant de la clarification d'eaux de rivière (par exemple acidification de boues d'hydroxydes d'Al),
- récupération de Zn, Cu, Cr, dans les boues provenant d'une épuration d'eaux de traitement de surfaces métalliques,
- réutilisation de boues minérales après séchage thermique ou de cendres d'incinération dans la construction de revêtements routiers, de produits stabilisateurs de sol ou de béton (mais, une telle réutilisation n'a jusqu'à ce jour reçu que des applications limitées)...etc.(DEGREMONT, 1989)

I.4.4. La mise en décharge

C'est encore sans doute la destination finale la plus fréquente des boues produites. Le résidu peut être plus ou moins important mais même dans le cas d'incinération il demeure un sous-produit de volume non négligeable et rassemblant normalement tous les métaux lourds contenus dans les boues.

Cette méthode n'est en rien écologique, car il est responsable de dégagement gazeux toxiques et à effet de serre. Les « jus » peuvent percoler dans les nappes phréatiques et ce mode de traitement présente l'inconvénient de condamner définitivement des surfaces au sol importantes.

Enfin, la mise en décharge commune des boues avec les ordures ménagères est une pratique encore fréquente. Les législations en la matière varient suivant les pays. (DEGREMONT, 1989)

I.5.la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie

I.5.1.Situation de l'assainissement en Algérie :

Le volume d'eaux usées rejetées à l'échelle nationale est estimé actuellement à près de 1062 millions de m³ et dépassera 1,5 milliards de m³ à l'horizon 2020 Seul 365 millions de m³ est épurées .

Donc il faut prendre en charge l'épuration de ce potentiel d'eaux usées, le secteur des ressources en eau a engagé un programme ambitieux en matière de réalisation d'installations d'épuration. (ONA, 2015)

Situation actuelle (exploitation) :

Nombre de station d'épuration : 102 (52 STEP+ 50 lagunes)

Situation du programme en cours de réalisation :

Nombre de station d'épuration: 176 (87 STEP+ 89 lagunes)

La capacité totale installée après l'achèvement de ce programme est de 925 millions de m³/an, c'est-à-dire l'équivalent de 10 barrages de moyenne capacité.

I.5.2.Potentiel actuelle de la réutilisation des eaux épurées en Algérie :

Réutilisation agricole :

Sur les 107 stations d'épuration (STEP) en exploitation à travers le pays, 17 STEP sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture 12 000 ha de superficie agricole, il s'agit des STEP suivantes :

- Kouinine (El Oued), Ouargla, Guelma, Boumerdès, Souk Ahras, Ghriss, Tlemcen, Mascara, Bouhnia, Hacine, Oued Taria, Hachem, Sehaouria, Tizi, Mohammadia, Ain Hadjar et Bordj Bou Arreridj.

A la fin 2014, le volume réutilisé est estimé à 20 Millions m³ /an, A la fin de mois d'octobre 2015 le volume réutilisé est de 1 558 849 m³

Perspectives :

Le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles évoluera d'une manière significative d'environ 20 million m³ en 2014 à environ 40 million m³ en 2019, et le nombre de stations concernées par la REUE sera de 26 STEP à l'horizon 2019, pour l'irrigation de plus de 13 000 hectares de terres agricoles, parmi ces projets : Chelghoum Laïd, Ouargla, Saïda, Tiaret, Chlef, Sétif, Médéa, Sidi Bel Abbès et Ain Defla. (ONA, 2015).

Un plan d'action ONA/ONID est en cours d'études, pour définir les possibilités réelles d'une éventuelle réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des

grands périmètres d'irrigation -GPI- au niveau des cinq (05) bassins hydrographiques à l'échelle nationale. (ONA, 2015)

Réutilisation municipale :

Station d'épuration de TIPAZA : La protection civile récupère un volume de 18 763 m³/mois d'eau usée épurée pour la lutte contre les incendies (ONA, 2015).

Réutilisation industriel :

La STEP de Jijel cède un volume de 15 000 m³/mois d'eau usée épurée au profit de la tannerie de Jijel. (ONA, 2015).

I.5.3.cadre réglementaire d'usage des eaux usées épurées :

- La loi n° 05 - 12 du 04 août 2005, relative à l'eau, a institué, à travers ses articles 76 et 78, la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (JO n°60- année 2005).
- Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 fixe les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges y afférent (JO n°35 année 2007).
- Arrêté interministériel portant spécifications des eaux usées épurées,
- Arrêté interministériel portant liste des cultures à pratiquer avec les eaux usées épurées,
- Arrêté interministériel portant laboratoires des analyses des eaux usées épurées.

I.5.4.Potentiel de valorisations des boues en Algérie

La quantité des boues produits à l'échelle nationale est de 550 T/j

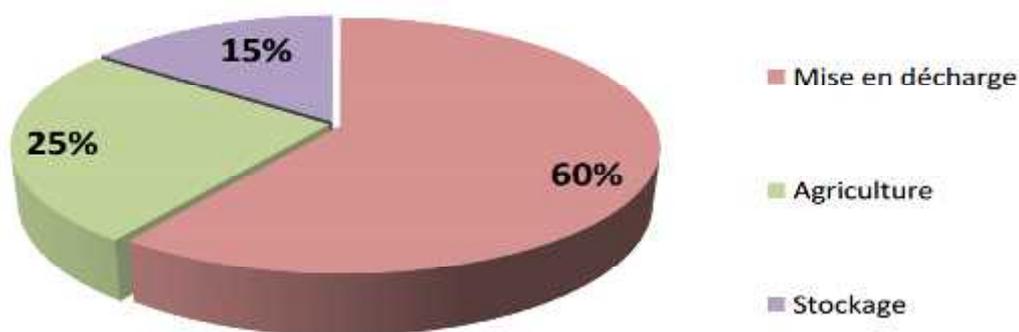


Figure I .6 : Destination finale des boues en ALGERIE

La principale destination des boues en Algérie actuellement est la mise en décharge mais il existe quelque exemple de valorisation de ces boues comme le cas de la station d'Oron et aussi d'ANNABA (ONA, 2015)

Exemple de valorisation des boues en algerie :**Cas de la STEP d'ANNABA**

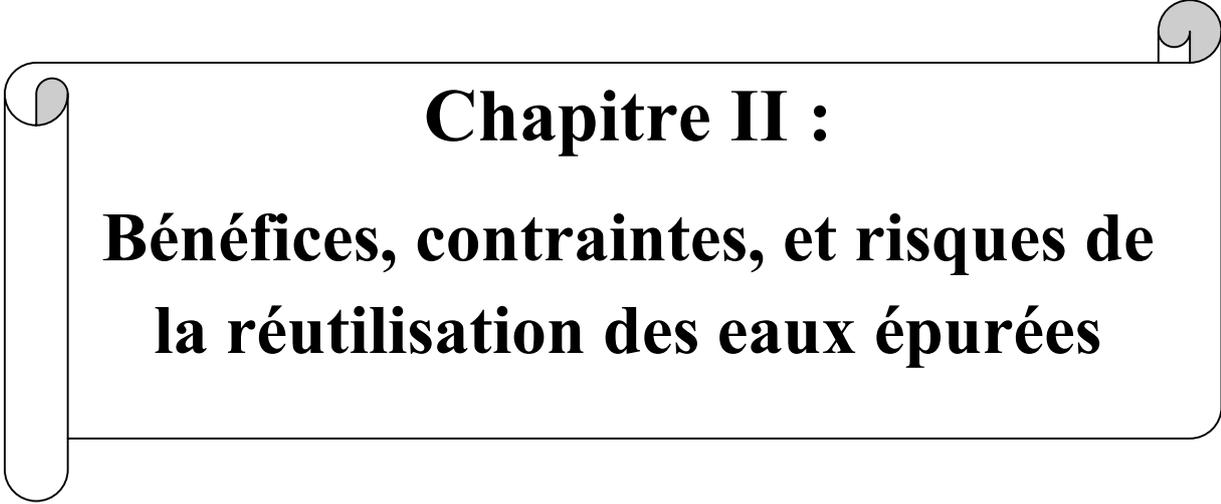
Le type de valorisation des boues est la production de biogaz (ONA, 2015)

Production journalière de gaz (Nm ³ /j)	Débit horaire (Nm ³ /h)	Pouvoir calorifique de gaz KJ/Nm ³
7503	312	22 818

Exemple de la STEP d'ORAN :

Le type de valorisation est la production du gaz de méthane. (ONA, 2015)

	BILAN DE GAZ	
	Production nominale	Production actuelle
Boue (t ms/mois)	1950	650
Gaz (méthane) (Nm ³ /mois)	1296000	216000



Chapitre II :
**Bénéfices, contraintes, et risques de
la réutilisation des eaux épurées**

II.1. Intérêt, avantage et bénéfices de la réutilisation des eaux usées :

La réutilisation des eaux épurées peut être un atout important dans la politique d'aménagement du territoire des collectivités locales. Les avantages et les bénéfices les plus importants de la réutilisation de l'eau, ainsi que les contraintes les plus fréquemment rencontrées dans l'exécution et l'exploitation de tels projets sont les suivants. (Lazarova et Brissaud, 2007)

1. ressource alternative :

- ✓ Augmenter la ressource en eau et la flexibilité d'approvisionnement tout en diminuant la demande globale.
- ✓ Différer le besoin de mobilisation d'autres ressources en eau
- ✓ Assurer une ressource fiable, disponible et indépendante des sécheresses pour l'irrigation et les usages industriels.
- ✓ Dans certain cas, une exécution rapide et plus facile que la mobilisation de nouvelles ressources en eau de première main.
- ✓ Garantir une indépendance vis à vis du fournisseur d'eau potable (par exemple pour des raisons politiques)

2. conservation et préservation des ressources :

- ✓ Economiser l'eau potable pour la réserver aux usages domestiques.
- ✓ Contrôler la surexploitation des ressources souterraines.

3. valeur économique ajoutée :

- ✓ Eviter les coûts de développement, de transfert et de pompage de nouvelles ressources en eau fraîche.
- ✓ Dans certain cas, éviter les coûts de l'élimination des nutriments des eaux usées.
- ✓ Réduire la quantité des eaux potables destinées à la lutte contre l'incendie et à certain type d'industrie par la réutilisation des eaux épurées dans ces domaines .
- ✓ Réduire ou éliminer l'utilisation des engrais chimiques en irrigation.
- ✓ Assurer des revenus complémentaires grâce à la vente de l'eau recyclée et des produits dérivés.
- ✓ Assurer des bénéfices économiques pour les usagers grâce à la disponibilité de l'eau recyclée en cas de sécheresse.
- ✓ Favoriser le tourisme dans les régions arides.
- ✓ Augmenter la valeur foncière des terrains irrigués.

4. Valeur environnementale :

- ✓ Réduire les rejets de nutriments et de polluants dans le milieu récepteur.
- ✓ Améliorer et maintenir les plans d'eau en cas de sécheresse.
- ✓ Eviter les impacts négatifs liés à la construction de nouveaux barrages, réservoirs, etc.....

- ✓ Améliorer le cadre de vie et l'environnement (espaces verts, etc...)
- ✓ Proposer une alternative fiable aux rejets d'eaux usées dans les milieux sensibles (zones de baignade ou conchylicoles, réserves naturelles, etc...)
- ✓ Profiter des nutriments apportés par l'eau de l'irrigation pour augmenter la productivité de la culture agricoles et la qualité des espaces verts.

5. Développement durable :

- ✓ Réduire les couts énergétiques et environnementaux par rapport à ceux de l'exploitation des aquifères profonds, du transport d'eau à longues distances, du dessalement.
- ✓ Assurer une ressource alternative à faible cout pour les régions arides, la protection des milieux sensibles et la restauration des zones humides.
- ✓ Augmenter la production alimentaire en cas d'irrigation.

II.2. Défis et contraintes de la réutilisation des eaux épurées : (Lazarova et Brissaud, 2007)

1. Aspects législatifs et sanitaires :

- ✓ Problèmes de santé publique liés aux pathogènes éventuels dans les eaux usées non traitées.
- ✓ Absence de réglementation et des incitations à la réutilisation.
- ✓ Droit sur l'eau : qui possède l'eau recyclée et qui récupère les revenus.
- ✓ Exploitation inappropriée et/ou non conforme

2. Aspects sociaux :

- ✓ Malgré les réticences psychologiques à utiliser les eaux épurées, la rareté de l'eau et les réalités économiques poussent les agriculteurs de certaines régions à la réutilisation des eaux épurées.
- ✓ Il faut établir un système de surveillance de la qualité des eaux épurées pour instaurer une confiance entre le distributeur et les différents utilisateurs.
- ✓ En vertu de l'incertitude des risques liés à la réutilisation des eaux épurées, des stratégies nationales de la réutilisation des eaux usées épurées pourraient s'orienter uniquement vers les espaces verts et l'agroforesterie.

3. Aspects économique :

- ✓ Considérer la réutilisation comme faisant partie de la trilogie : assainissement, épuration et réutilisation .cette trilogie devrait s'insérer dans des stratégies nationales.
- ✓ Le cout de la réutilisation doit être comparé au cout de l'inaction qui a des impacts environnementaux, sanitaires et qui augmente le cout de traitement de l'eau potable à la source.
- ✓ Le cout de la réutilisation doit aussi comparé d'autres alternatives comme le dessalement.

- ✓ La réutilisation est devenue une nécessité et peut contribuer au développement de certains secteurs économiques (tourisme et loisirs).
- ✓ Le cout de la réutilisation varie d'un bassin hydrologique à un autre et en fonction de l'usage final souhaité.

4. Aspects environnementaux et agronomiques :

- ✓ La présence de beaucoup des sels, bore, sodium et autres micropolluants peut avoir des effets négatifs sur certaines cultures et les sols.

5. Aspects technologiques :

- ✓ Une grande fiabilité d'exploitation est requise.
- ✓ Importance du choix de la filière de traitement.

6. Aspects financières :

- ✓ Il y a deux systèmes de tarification nécessaire :
Celui pour l'eau réutilisée.
Celui pour couvrir l'assainissement et le traitement.
- ✓ Dans les systèmes de traitement il a deux taxes de branchement, de consommation et de charges polluantes.
- ✓ Pour la réutilisation, dans l'expérience de la Jordanie et de la Tunisie, seules les frais d'opération et d'entretien sont couverts dans le prix des eaux usées épurées. ce sont des mesures incitatives pour pousser les agriculteurs a adapter la réutilisation
- ✓ Le prix des eaux épurées doit rester inférieur à celui des eaux conventionnelles, l'état doit intervenir pour subventionner une.

II.3. Notion de risque :

II.3.1. Définition du risque :

Les études d'estimation du risque distinguent deux types de risque : le risque potentiel et le risque réel (Devaux (1999) cité dans Baumont (2004)). Le risque potentiel comprend lui-même le risque théorique et le risque expérimental.

Le risque théorique, également appelé danger, est défini par le critère d'absence ou de présence d'un contaminant (microorganisme, micropolluant métallique, ...). Il dépend de la population qui produit les eaux usées et d'autres facteurs (présence de rejet industriel, réseau unitaire, ...). Son calcul, réalisé à partir de la probabilité d'infection en fonction de la dose, est une approche de haute technicité, coûteuse et permettant d'estimer des risques pour la santé publique très faibles (Monchalin (1999) repris et complété par Aviron-Violet, 2002).

Le risque expérimental est le risque que le contaminant soit transmis à un individu. Il dépend de la dose de départ, de l'efficacité du traitement, de la capacité de survie (pour les microorganismes) ou de rétention (pour les micropolluants) et de la dose minimale nécessaire pour contaminer un individu (i.e. dose infectante pour les microorganismes et seuil de toxicité pour les micropolluants).

Le risque réel « correspond à la probabilité d'être contaminé dans une population exposée » (Devaux (1999) cité dans Baumont (2004)). Il dépend des facteurs liés au risque potentiel, et dépend également des « capacités immunitaires de l'individu (naturelles ou acquises), ainsi que d'autres facteurs comme l'âge, le sexe, l'état de santé, la nutrition, l'hygiène et la capacité diagnostique (clinique, sérologique et portage) des acteurs de santé ». Sa détermination, réalisée à partir d'études épidémiologiques, est une approche de technicité relativement simple, d'un coût réduit et permettant de maîtriser le risque (Monchalain (1999) repris et complété par Aviron-Violet, 2002).

Après ces brèves définitions de la notion de risque dans sa globalité, il convient de s'intéresser aux risques intrinsèquement liés à une réutilisation des eaux comme les risques microbiologique, chimique et environnemental.

II.3.2. Risque microbiologique :

Dans le cas de l'agriculture, les microorganismes se retrouvent à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un endroit frais, humide (évapotranspiration) et à l'abri du soleil. Une contamination peut donc avoir lieu au moment de la croissance des végétaux ou même de la récolte.

Le mode d'irrigation joue également un rôle non négligeable dans la définition du risque microbiologique : en effet, l'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface. L'irrigation par aspersion crée des aérosols pouvant être gênants pour la santé humaine. De plus, des contaminations directes peuvent également avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation.

D'après Commission «assainissement» de l'AGHTM (1996) cité dans Baumont (2004), les populations humaines telles que les consommateurs de légumes crus, les consommateurs de viande bovine insuffisamment cuite, les travailleurs agricoles et les populations avoisinantes, sont exposées à une pathologie associée de manière certaine à une utilisation agricole d'effluents bruts ou traités.

La Commission «assainissement» de l'AGHTM (1996) cité dans Baumont (2004) estime que les helminthes (ascaris, trichocéphales, ankylostomes,...) représentent le risque microbiologique principal, suivi par les affections bactériennes (choléra et shigellose dans les pays en cours de développement) à moindre échelle et enfin, de façon très limitée, les virus.

II.3.3.Risque chimique :

Les faibles concentrations en micropolluants dans les eaux usées traitées peuvent être un frein à la recharge d'aquifère. Même en faibles quantités, ces éléments présentent des risques de toxicité humaine à court terme et de maladies à plus long terme.

En cas d'usage agricole, la seule voie de contamination réellement préoccupante par les éléments traces est la consommation de plantes cultivées, dans lesquelles ils s'accumulent. Le danger réside donc dans la consommation de végétaux contaminés. Toutefois, certains de ces éléments peuvent être intéressants pour la croissance végétale et il convient de trouver un équilibre entre le risque sanitaire et l'intérêt agronomique.

Le risque posé par les effets à long terme de ces produits, pour lesquels il n'existe souvent aucune étude, est encore inconnu. De même, l'apparition de nouvelles substances toxiques n'est pas à exclure et il faut rester prudent, surtout vis-à-vis d'eaux usées traitées urbaines qui, dans certains cas, pourraient avoir des caractéristiques chimiques différentes et des concentrations plus importantes. Enfin, il ne faut pas oublier que les éléments traces ont tendance à s'accumuler dans les boues de STEP plutôt que dans l'eau traitée ; le risque chimique semble alors moindre.

Pour une réutilisation à des fins industrielles, la concentration admissible en sels, les molécules organiques et les éléments traces métalliques doivent faire l'objet d'une attention particulière (**Monchaline (1999) repris et complété par Aviron-Violet, 2002**).

II.3.4.Risque environnemental :

Le risque environnemental s'inscrit à la fois dans une optique de protection des ressources en eau et de préservation du sol. De plus, ce risque est intimement lié aux deux précédents.

Dans un contexte agricole, l'influence d'un excès de bore et d'autres éléments traces éventuels, l'affectation du rendement par la salinité, le risque d'alcalinisation des sols par excès de sodium, un résiduel en chlore trop important, un excès de nutriments (azote, phosphore, potassium) ou les brûlures de feuille par le sel en cas d'aspersion, doivent être pris en considération (**Monchaline (1999) repris et complété par Aviron-Violet, 2002**). Cependant, pour le sol, il ne faut pas perdre de vue qu'il existe une capacité de rétention (adsorption pour les molécules ou ions, compétition trophique pour les microorganismes) et une capacité d'épuration (valable également pour les cours d'eau dans une moindre mesure).

Les paramètres devant être pris en compte dans tout projet de réutilisation des eaux viennent d'être décrits. Certains doivent faire l'objet de plus d'attention que d'autres, notamment par rapport aux risques qu'ils présentent pour l'Homme et l'Environnement.

II.4. Paramètres d'intérêt en réutilisation des eaux épurées

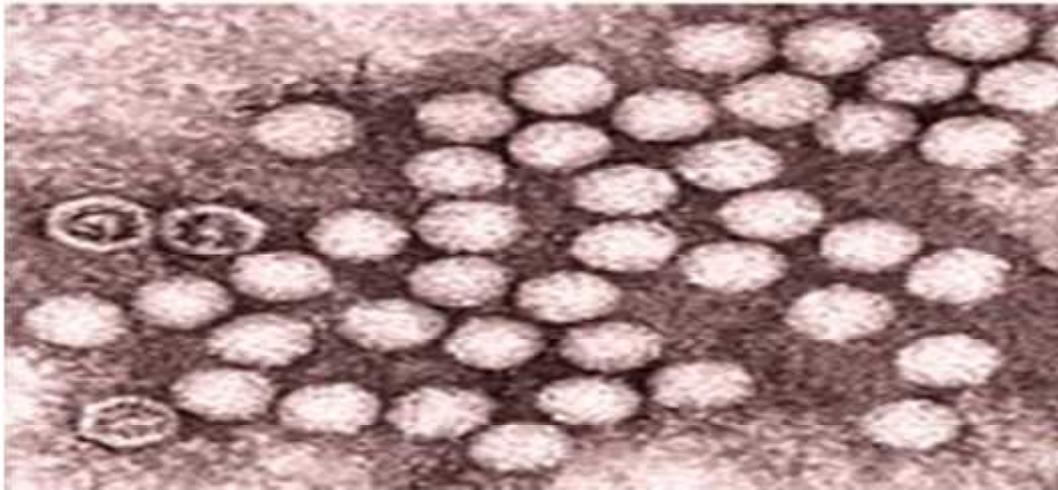
II.4.1. paramètres microbiologiques :

1. Virus :

Les virus sont des parasites intracellulaires de très petite taille (10 à 350 nm) qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. Leur concentration dans les eaux usées urbaines est comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel.

Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries. Ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination intramusculaire contre la poliomyélite par exemple), soit chez un individu infecté accidentellement. Le mode d'infection est, dans la majorité des cas, l'ingestion mais il peut également exister des cas d'inhalation (Coronavirus par exemple).

Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement que les bactéries et que leurs faibles dimensions soient à l'origine de leurs possibilités de dissémination (Faby, 1997).



Source : www.worsleyschool.net

Figure II-1 : Entérovirus vus au microscope électronique (pas d'échelle)

Tableau II-1 : Principaux virus présents dans les eaux usées

<i>Agent pathogène</i>	<i>Symptômes, maladie</i>	<i>Mode(s) de contamination</i>
Virus de l'hépatite A	Hépatite A	Ingestion
Virus de l'hépatite E	Hépatite E	Ingestion
Parvovirus	Vomissement, diarrhée	Ingestion
Reovirus	Affection respiratoire bénigne et diarrhée	Ingestion
Rotavirus	Vomissement, diarrhée	Ingestion
Calicivirus	Vomissement, diarrhée	Ingestion
Coronavirus	Vomissement, diarrhée	Ingestion/Inhalation
Astrovirus	Vomissement, diarrhée	Ingestion
Virus de Norwalk	Vomissement, diarrhée	Ingestion
Coxsackie	Méningite, maladie respiratoire, ...	Ingestion
Echovirus	Méningite, diarrhée, ...	Ingestion
Adenovirus	Maladie respiratoire, conjonctivite, diarrhée, ...	Ingestion

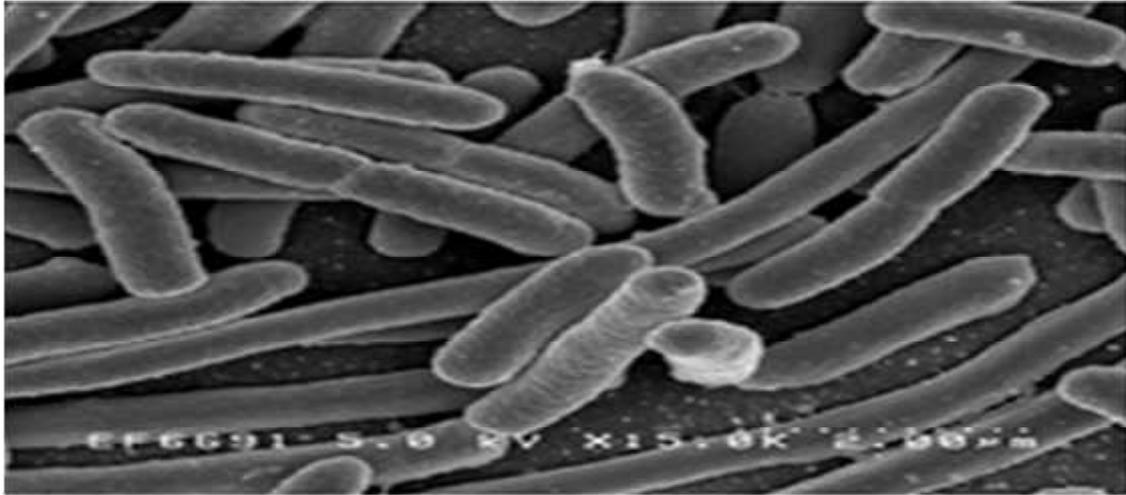
Source : adapté de l'US-EPA (1992) ; Asano (1998) et www.hc-sc.gc.ca cité dans Baumont (2004)

2. Bactéries :

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 µm. Les eaux usées urbaines contiennent environ 10⁷ à 10⁸ bactéries/L dont 10⁶ entérocoques et entérobactéries, 10⁴ à 10⁵ streptocoques fécaux et 10³ à 10⁴ Clostridium. La majorité de ces organismes ne présentent pas un danger pour la santé et la concentration en bactéries pathogènes peut atteindre de l'ordre de 10⁴/L.

Toutefois, chez un hôte infecté, le nombre de bactéries pathogènes peut être très important. Les bactéries entériques sont adaptées aux conditions de vie dans l'intestin, c'est-à-dire une grande quantité de matière carbonée et de nutriments, et une température relativement élevée (37°C.). Leur temps de survie dans le milieu extérieur, où les conditions sont totalement différentes, est donc limité. Par ailleurs, les bactéries pathogènes vont se trouver en compétition avec les bactéries indigènes d'origine environnementale, ce qui limitera leur développement.

La voie de contamination majoritaire est l'ingestion. Les bactéries pathogènes d'origine hydrique (quelques noms sont cités dans le tableau I-2) sont responsables de la mort de 3 à 10 millions de personnes par an dans le monde et les pays industrialisés ne sont pas épargnés.



Source : www.niaid.nih.gov

Figure II-2 : Escherichia coli vues au microscope électronique

Tableau II-2 : Principales bactéries pathogènes présentes dans les eaux usées

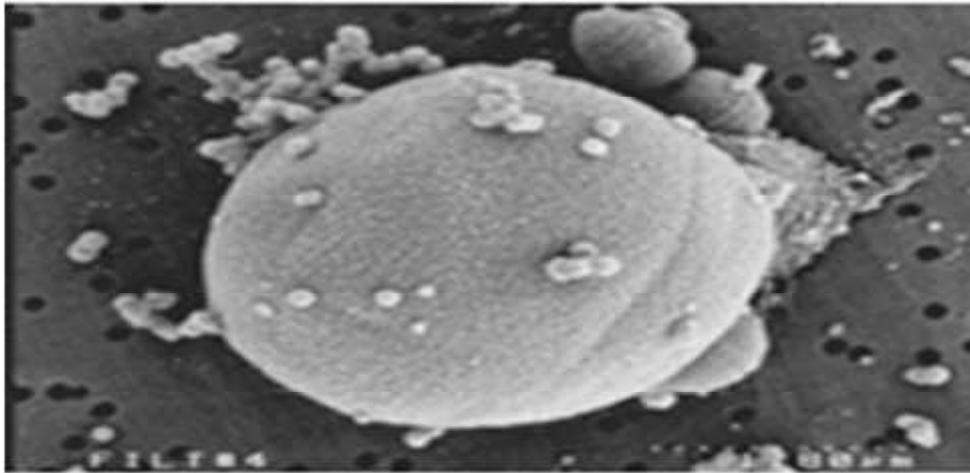
Agent pathogène	Symptômes, maladie	Mode(s) de contamination
<i>Salmonella</i> (différents sérotypes ⁴)	Salmonellose	Ingestion
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastro-entérite	Ingestion
<i>Leptospira spp.</i>	Leptospirose	Cutanée/Ingestion/Inhalation
<i>Legionella</i>	Légionellose	Inhalation
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastro-entérite	Ingestion
<i>Listeria monocytogènes</i>	Listériose	Ingestion
<i>Escherichia coli</i> (certains sérotypes dont O157:H7) ⁵	Syndrome Hémolytique et Urémique ⁶ (SHU)	Ingestion
<i>Shigella</i> '	Dysenterie bacillaire	Ingestion
<i>Salmonella Typhi</i> '	Fièvre typhoïde	Ingestion
<i>Vibrio cholerae</i> '	Choléra	Ingestion
<i>Mycobacterium</i> '	Tuberculose	Inhalation

Source : adapté de l'US-EPA (1992) ; Asano (1998) et www.hc-sc.gc.ca cité dans Baumont (2004)

3. Protozoaires :

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries (taille comprise entre 1 et 200 μm). La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire, qu'ils se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées. Parmi les protozoaires les

plus « connus » on peut citer *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne ou encore *Cryptosporidium parvum*



source : www.esemag.com

Figure II-3 : *Cryptosporidium parvum* vu au microscope électronique

Tableau II-3 : Principaux protozoaires présents dans les eaux usées

<i>Agent pathogène</i>	<i>Symptômes, maladie</i>	<i>Mode(s) de contamination</i>
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne	Ingestion
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiase	Ingestion
<i>Balantidium coli</i>	Dysenterie balantidienne	Ingestion
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Diarrhée, fièvre	Ingestion
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose	Ingestion / Inhalation
<i>Cyclospora</i>	Diarrhée, légère fièvre	Ingestion
<i>Microsporidium</i>	Diarrhée	Ingestion
<i>Naegleria</i>	Méningite	Inhalation
<i>Enterocytozoon spp.</i>	Diarrhée chronique, problèmes rénaux, musculaires, pulmonaires et oculaires	Ingestion

Source : adapté de l'US-EPA (1992) ; Asano (1998) et www.hc-sc.gc.ca cité dans Baumont (2004)

4. Helminthes :

Les helminthes sont des vers multicellulaires fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et 103/L (Asano, 1998). Beaucoup d'helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire. Le stade

infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs. Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires.



Source : www.cnrs.fr

Figure II-4 : Helminthe vu au microscope électronique (pas d'échelle)

Tableau II-4 : Principaux helminthes présents dans les eaux usées

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Mode(s) de contamination
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariadiase	Ingestion
<i>Ancylostoma duodenale</i>	Ancylostomiase	Ingestion/Cutanée
<i>Ancylostoma spp.</i>	Anémie	Ingestion/Cutanée
<i>Necator americanus</i>	Necatoriase	Cutanée
<i>Strongyloides stercoralis</i>	Strongyloïdase	Cutanée
<i>Trichuris trichuria</i>	Trichuriase	Ingestion
<i>Taenia spp.</i>	Diarrhée, douleurs musculaires	Ingestion
<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobiase	Ingestion
<i>Hymenolepis</i>	Nervosité, troubles digestifs, ...	Ingestion
<i>Toxocara</i>	Fièvre, douleur abdominale	Ingestion
<i>Echinococcus granulosus</i>	Hydatidose	Ingestion

Source : adapté de l'US-EPA (1992) ; Asano (1998) et www.hc-sc.gc.ca cité dans Baumont (2004)

5. Facteurs de la pathogénicité chez les microorganismes :

Les microorganismes présents dans l'environnement ou dans l'eau ne vont pas déclencher systématiquement une maladie s'ils sont absorbés. La pathogénicité dépend de plusieurs facteurs qui peuvent être regroupés sous deux catégories : la physiologie du microorganisme et celle de l'hôte infecté.

6. Physiologie du microorganisme

La latence est la durée nécessaire pour qu'un pathogène devienne infectieux. Elle diffère selon les microorganismes. Ainsi, elle est faible (de nulle à 48 h) pour la majorité des virus, des bactéries et des protozoaires qui sont immédiatement infectieux dès qu'ils pénètrent dans l'hôte. En revanche, elle peut atteindre plusieurs semaines pour les helminthes en raison de la nécessaire maturité des œufs ou de leur passage imposé dans un hôte intermédiaire non humain.

Par ailleurs, dans des conditions favorables (pH, température, ensoleillement, ...) et suivant la nature du microorganisme, les pathogènes peuvent survivre plusieurs semaines, voire plusieurs mois sur le sol, sur les plantes ou dans l'eau, ce qui présente un risque pour la santé publique non négligeable (OMS, 1989).

7. Physiologie de l'hôte infecté : notion de Dose Minimale Infectieuse (DMI) :

La DMI correspond à la quantité de pathogènes qui doit être absorbée pour que des symptômes de la maladie se manifestent chez quelques sujets au moins. Les DMI sont très variables selon le type biologique de l'agent.

Tableau II-5 : DMI moyennes des agents pathogènes présents dans les eaux usées

<i>Microorganisme</i>	<i>Dose Minimale Infectieuse (unité)</i>
Bactéries	10^2 - 10^6
Virus	10^2
Protozoaires	10^1 - 10^2
Helminthes	1 - 10^1

Source : Commission «assainissement» de l'AGHTM (1996) cité dans Baumont (2004)

La DMI est différente aussi en fonction des individus et de leur réaction physiologique face à la contamination. La réponse de l'hôte est extrêmement variable, elle dépend des caractéristiques des individus exposés aux pathogènes, comme l'âge, le sexe, voire l'activité : c'est la variabilité interindividuelle. Enfin, il peut y avoir une contamination entre individus. La contamination peut avoir lieu à cause d'individus malades, mais les pathogènes peuvent également être transportés par des porteurs sains, c'est-à-dire, des sujets infectés mais non malades, qui excrètent l'agent pathogène autour d'eux sans que des signes d'alerte en permettent le diagnostic.

II.4.2. Eléments traces :

Parmi les éléments traces, on distingue ceux dit minéraux (ou inorganiques) tels que les éléments traces métalliques et ceux dit organiques tels que les pesticides par exemple.

1. micropolluants inorganique (minérale) :

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux, les plus abondants (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/L}$) sont le fer, le zinc, le

civre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc....) sont présents à l'état de traces, leur origine est multiple ils proviennent :

- des produits consommés par la population ;
- la corrosion des matériaux utilisés dans les réseaux de distribution et d'assainissement.
- des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire.
- d'activités de service (santé, automobile, ...) et de rejets industriels raccordés au réseau.

Tableau II-6 : les plus dangereux métaux lourd

métaux lourd	Symptômes, maladie	Mode(s) de contamination
Plomb Pb	Anémie, trouble neuropsychiques, douleurs abdominales, hypertension artérielle	Inhalation, Ingestion Cutané
Arsenic As	Cancers, une neuropathie	Inhalation, Ingestion Contact avec la peau
Mercure Hg	Malformation, congénitales, trouble de l'équilibre et de langage etc....	Inhalation, Ingestion Cutané
Cadmium Cd	Cancer (poumon, reins prostate), perte de réflexe, paralysie respiratoire etc ...	Inhalation, Ingestion Cutané
Nickel Ni	Cancer (nez, poumon, estomac)	Inhalation

2. micropolluants organique :

Les micropolluants organiques identifiés dans les eaux usées proviennent, essentiellement de :

- l'utilisation domestique de détergents, pesticides, solvants.
- des eaux pluviales : ruissellement sur les toitures, les terres agricoles, le réseau routier.
- de rejets industriels lorsque ceux-ci ont lieu dans le réseau d'assainissement
- ou se former lors des traitements de désinfection par le chlore (haloforme).

Parmi les micropolluants organiques les plus connus, on peut citer lesPCB (PolyChloroBiphényles), les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), les OHV (Organo Halogénés Volatils) ou les produits phytosanitaires (pesticides par exemple).De nos jours, de nouvelles substances font l'objet de recherches poussées. Ceci est notamment le cas des produits pharmaceutiques, des produits de soins corporels ou même des hormones. .

II.4.3. Salinité :

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles. La concentration en sels totaux de l'eau usée excède celle de l'eau potable d'environ 200 mg/L, sauf dans le cas de pénétration d'eaux saumâtres dans les réseaux d'assainissement (principe du biseau salé¹³) ou lors de collecte d'eaux industrielles. Les conséquences d'une salinité excessive de l'eau d'irrigation se présentent sous 2 catégories :

- les dommages vis-à-vis des sols et donc, indirectement, vis-à-vis des rendements culturaux ;
- les dommages causés aux cultures.

Parmi les éléments entrants en jeu dans la salinité des eaux usées réutilisées, on peut citer le sodium et le chlore qui sont responsables, en grande partie, de la salinisation des sols et le bore dans une moindre mesure (abordé précédemment). Le sodium étant sujet à une accumulation significative sur les sols (sodisation), il fera l'objet d'une attention toute particulière dans cette partie. (Catherine Boutin et al, 2009)

1. Salinisation :

Les plantes prélèvent l'eau du sol en y abandonnant une large part des sels apportés par l'eau d'arrosage ce qui conduit à augmenter la salinité de l'eau du sol. Les conséquences de l'évaporation sont les mêmes. La pression osmotique de l'eau du sol augmentant avec sa concentration en sels dissous, la plante consacre alors l'essentiel de son énergie non pas à se développer, mais à ajuster la concentration en sels de son tissu végétal de manière à pouvoir extraire du sol l'eau qui lui est nécessaire. Richards cité dans Faby (1997) a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité évaluée par leur conductivité électrique.

Tableau II-7: Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation (d'après Faby, 1997)

<i>Qualité de l'eau</i>	<i>Conductivité de l'eau (µS/cm)</i>	<i>Sels solubles correspondants estimés en NaCl (mg/L)</i>
I. Excellente	250	<160
II. Faible salinité	250- 750	160 -500
III. Forte salinité	750 – 2 250	500 – 1500
IV. Très forte salinité	2 250 – 5 000	1 500 – 3 600

Sodisation

Une grande quantité d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Le phénomène d'accumulation de sodium dans les sols s'appelle la sodisation. Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace les ions calcium et magnésium adsorbés sur les argiles de sol et cause la dispersion des particules dans le sol. Cette dispersion a comme conséquence

l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure. Ce problème est également relié à plusieurs facteurs tels que le taux de salinité et le type de sol. (Catherine Boutin et al , 2009)

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Na^{2+})/2}} \quad (me/l)$$

Effet de Salinité

Contenu total en sel soluble. Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca²⁺), de magnésium (Mg²⁺), de sodium (Na⁺), les chlorures (Cl⁻), les sulfates (SO₄²⁻) et les bicarbonates (HCO₃⁻). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires. La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimé en mg/L ou, plus couramment, par la conductivité électrique. (Catherine Boutin et al , 2009)

La conductivité électrique est exprimée en milli siemens/centimètre (mS/cm). 1 desiemens par mètre (dS/m) égale en moyenne, à 640 ppm de sel.

II.4.4. Autres paramètres :

Substances nutritives :

L'azote, le phosphore, le potassium et les oligo-éléments indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées traitées ou non.

Dans certaines circonstances, ces éléments peuvent être en excès par rapport aux besoins de la plante et provoquer des effets négatifs, aussi bien au niveau de la culture que des sols. Un contrôle périodique de la quantité de nutriments présents dans l'effluent est nécessaire afin d'en tenir compte lors du calcul des besoins en fertilisants des cultures irriguées.

Matières en suspension et matière organique :

Les matières en suspension (MES) sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Les particules en suspension, plus lourdes que l'eau, sont éliminées par décantation. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire face aux risques sanitaires.

Une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que le bouchage des systèmes d'irrigation et aussi le système de refroidissement.

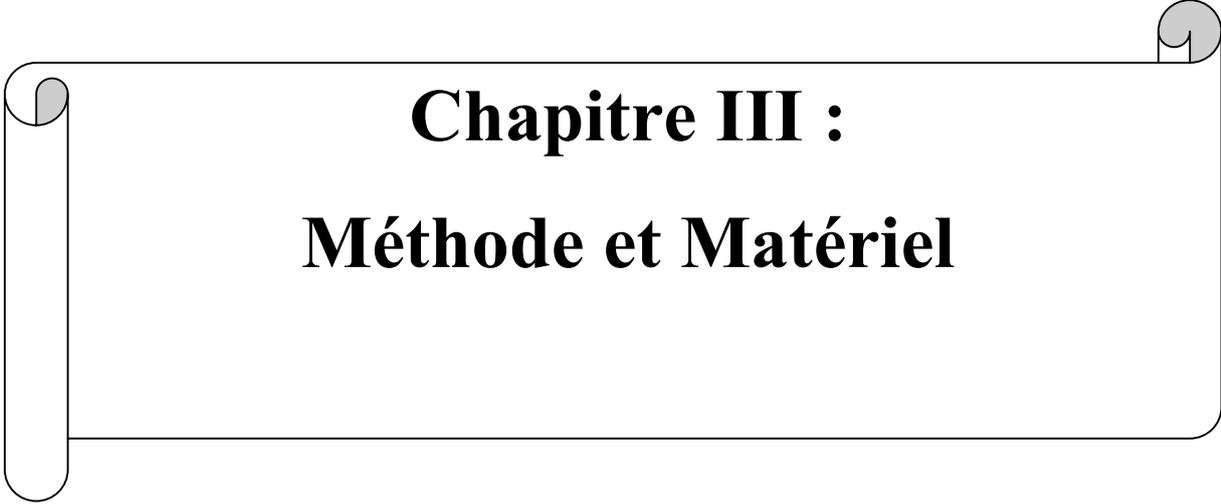
La présence de matière organique dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols. Cependant, l'expérience montre que le maintien d'une concentration importante en matière organique dans les eaux usées gêne considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes. Enfin, les concentrations significatives en matière organique peuvent aussi entraîner des odeurs désagréables, notamment si les eaux stagnent à la surface du sol. (Catherine Boutin et al , 2009)

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents paramètres d'intérêt et les avantages et les contraintes limitant une telle réutilisation ainsi que les risques liés à la réutilisation des eaux épurées dans des divers domaines.



Partie expérimental



Chapitre III :
Méthode et Matériel

III.1. ECHANTILLANAGE :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération assez délicate, car la moindre erreur peut fausser plusieurs résultats d'analyse ainsi que leur interprétation. Pour cela on doit respecter les critères suivants :

- Le prélèvement doit être réalisé à un endroit où l'effluent est homogène et représentatif.
- On doit être positionné le plus proche possible du point de prélèvement.
- Utiliser des bouteilles en verre que l'on rince avant chaque remplissage avec l'eau à analyser
- Noter les données de base tel que : le nom, la date, l'endroit, le temps et d'autres.
- Le stockage des échantillons sera réfrigéré et thermostat. La température de l'enceinte sera comprise entre 2 et 5°C. Donc transporté l'échantillon dans une glacière.
- Ramener le prélèvement au laboratoire le plutôt possible.



Figure III.1 : lieu de prélèvement



Figure III.2 : Echantillons eau brute et eau
Épurées d'eau brute

III.2. Analyses physico-chimiques :

III.2.1. Mesure électrométrie du pH :

Principe :

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogènes $[H^+]$ présentes dans l'eau ou les solutions. La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel-KCL saturé) plongeant dans une même

solution et une fonction linéaire du PH de celle-ci le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H⁺.

Appareillage :

- PH meter (Réf : pH/OXI 340i/SET).
- Electrode de pH combines.

Dosage de l'échantillon :

- Prendre environ \approx 100ml d'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec une faible agitation.
- Tremper l'électrode dans le bécher.
- Appuyer sur le bouton (AR).
- Laisser stabiliser un moment avec une faible agitation (stabilisation du signe AR dans l'encrant).
- Puis noter le pH et la température.



Figure III.3 : PH mètre.

III.2.2.Matières en suspension (M.E.S) :

But d'analyse :

Est de déterminer la teneur de matières en suspensions d'une eau usée

Principe

L'eau est filtrée et le poids des matières retenues est déterminé par différence de pesée. On calcule de la teneur en MES selon l'expression :

$$\text{MES} = 1000(M1-M0)/V$$

MES : La teneur en MES en (mg/l). M1 : La masse en (mg) de la capsule contenant l'échantillon après étuvage à 150°C

M0 : La masse en (mg) de la capsule vide.

V : Volume de la prise d'essai en (ml)



Figure III.4: pompe à vide.

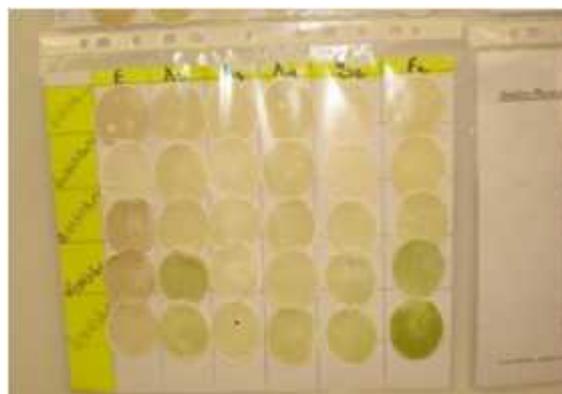


Figure III.5: filtre.

III.2.3.Détermination de conductivité électrique:

Principe :

La valeur de la conductivité est un paramètre cumulé pour la concentration en ions d'une solution mesurée. Plus une solution contient de sel, d'acide ou de base, plus sa conductivité est élevée. L'unité de conductivité est $\mu\text{S}/\text{cm}$, Pour sa mesure, nous avons eu recours à la méthode électrochimique de résistance à l'aide du Conductimètre de poche

Appareillage :

- Conductimètre de poche
- Pissette eau déminéralisé.
- Solution KCl (3 mol/L) pour calibrage



Figure III.6: Conductimètre

III.2.4. La demande chimique en oxygène (D.C.O) :

But d'analyse :

Mesure de la demande chimique en oxygène nous renseigne sur la bonne marche des bassins d'aération et nous permettant d'estimer le volume de prise d'essai de DBO5.

Principe :

Il s'agit d'une oxydation chimique des matières réductrices contenues dans l'eau par excès de bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu acidifié par acide sulfurique (H_2SO_4), en présence de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) et de sulfate de mercure ($HgSO_4$).

Réactif :

- Réactifs DCO (LCK 314) gamme (15 à 150 mg/l) pour les faibles concentrations.
- Réactifs DCO (LCK 114) gamme (150 à 1000 mg/l) pour les fortes concentrations.

Expression des résultats :

La teneur en DCO est donnée en mg/l.



Figure III.7 : Réactifs, spectrophotomètre, thermostats.

III.2.5. La demande biologique en oxygène (DBO5) :

D- Principe :

L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermostatée est mis sous incubation. On fait la lecture de la masse d'oxygène dissous, nécessaire aux microorganismes pour la dégradation de la matière organique biodégradable en présence d'air pendant cinq (5) jours. Les microorganismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par l'oxygène de l'air, contenu dans le flacon provoquant une diminution de la pression au-dessus de l'échantillon. Cette dépression sera enregistrée par une OXI TOP.

E- Procédure :

La détermination de la DCO est primordiale pour connaître les volumes à analyser pour la DBO5.

Volume de la prise d'essai

$(DBO_5) = DCO \text{ (mg/l)} \times 0.80\dots$, pour les eaux urbaine.

F- Expression des résultats :

$DBO_5 \text{ (mg/l)} = \text{Lecteur} \times \text{Facteur}$



Figure III.8: DBO mètre.

III.2.6.Éléments Nutritive

1. Détermination de l'azote totale (NTK) : ISO 5663 / 1984

Principe :

La minéralisation des matières organiques en milieu acide et en présence de catalyseur.

Après la minéralisation, le minéralisant contient que les NH_4^+ ensuite c'est le dosage de l'ammonium par distillation.

Appareillage :

- Digesteur
- Distillateur
- Titracteur.

2. Détermination de l'azote ammoniacal (NH_4^+) : ISO 7150 / 1984 (F)

Principe :

Mesurage spectrométrique du composé Bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

Domaine d'application :

Cette méthode est applicable aussi bien aux eaux potables, qu'aux eaux brutes, elle nécessite une dilution pour les eaux très salées et colorées.

Appareillage :

- UV visible spectrophotométrie (ultraspec amersham biosciences 3100 pro).
- Mesure l'absorbance dans la région UV sensible à $\lambda = 655 \text{ nm}$.



Figure III.9: spectrophotomètre

Réactifs :

Réactif I :

- Acide dichloroisocyanurique.....2g.
- Hydroxyde de sodium.....32g.
- L'eau distillée.....q.s.p 1000ml.

Réactif II (coloré) :

- Trictrate de sodium..... 130g.
- Salicylate de sodium.....130g.
- Nitroprussiate de sodium.....0.97g.
- L'eau distillée.....q.s.p 1000ml.

Mode opératoire :

- Prendre 40 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 4 ml de réactif coloré.
- Ajouter 4 ml de sel dichloroisocynurate de sodium.

Compléter jusqu'au 50 ml d'eau distillé.

- Attendre une heure et demi (1 h 30)
- L'apparition de la couleur vert montre la présence des NH_4^+ dans l'échantillon.
- Effectuer la lecture à 665 nm

Expression des résultats :

La valeur de la concentration en NH_4^+ s'exprime comme suit :

$$[\text{NH}_4^+] = \text{la valeur lue sur l'appareille} \times \text{le facteur de dilution} \dots \text{mg/l}$$

3. Détermination des nitrates (NO_3^-) :**ISO 7890 – 3 / 1988**

Principe :

En présence de salicylate de sodium et après traitement en milieu alcalin, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium coloré en jaune.

Appareillage :

- Etuve universelle MEMMERT (incertitude $\pm 5.79^\circ\text{C}$).
- Fiole 25 ml.
- Bécher 25 ml.
- Spectrophotomètre UV visible.



Réactifs :

- Azoture de sodium..... 0.5 g/l.
- Salicylate de sodium10 g/l.
- Acide acétique.
- Solution alcalin.
- Acide sulfurique.

Mode opératoire :

- Prendre 25 ml d'échantillon dans un bécher.
- Ajouter 2 réactifs (0.5 ml d'azoture de sodium et 0.2 ml d'acide acétique).
- Le mettre dans une étuve à 70° et 80°C pour séchage.
- Après séchage, on ajoute 1 ml de salicylate de sodium.
- On le met dans une étuve pour un autre séchage.
- Après le séchage, on ajoute 1 ml d'acide sulfurique et laisser 5 min.
- Ajouter 10ml de solution alcalin et 10 ml d'eau distillé et compléter à 25 ml.
- L'apparition de la coloration jaune indique la présence de NO_3^- .
- La lecture au spectre à 415 nm.

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415nm

4. Détermination des nitrites (NO₂⁻) :**ISO 5667**

Principe :

Les nitrites réagissent avec les sulfanilamides pour former un composé diazoïque qui après copulation avec le N-1-Naphtyle et éthylène diamine dichloride donne naissance à une coloration rose mesurée à 543nm.

Appareillage :

- UV visible spectrophotométrie (ultrospec amersham biosciences 3100 pro).
- Mesure l'absorbance dans la région UV sensible à $\lambda = 543\text{nm}$.

Réactif mixte :

- Sulfanilamide..... 40g.
- Acide phosphorique100 ml
- N – 1 – Naphtyle éthylène diamine dichloride....2 g.
- L'eau distillée.....q.s.p 1000 ml.

Mode opératoire :

Dans une fiole de jauge de 50ml :

- On prend 40ml de l'échantillon à analyser (le surnagent obtenu à partir de la centrifugation de l'échantillon).
- Ajouter 1ml de réactif mixte (bien agiter).
- Puis, on ajuste à 50ml avec de l'eau distillé (trait repère de la fiole) et on le laisse reposer pendant 20 minutes (20min). L'apparition de la coloration rose indique la présence des N – NO₂⁻.
- Enfin ; on fait passer l'échantillon dans le spectrophotomètre pour obtenir la concentration en N – NO₂⁻ à $\lambda = 543\text{nm}$.

Expression des résultats :

La valeur de la concentration en NO₂⁻ s'exprime comme suit : $[N - NO_2^-] = \text{la valeur lue sur l'appareille} \times \text{le facteur de dilution} \dots \text{mg/l}$.**5. Détermination des phosphates (PO₄⁻³) :****ISO N° 6878**

Principe :

Formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium.

Réduction par l'acide ascorbique qu'en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption vers 700nm, l'autre plus importante à 880nm.

Domaine d'application :

Cette méthode est utilisée pour toutes les eaux, la teneur en phosphates entre (0.005 et 0.8 mg/l) peut être déterminée sans dilution, et un processus d'extraction permet de déterminer des concentrations allant jusqu'à 0.0005 mg/l.

Appareillage :

- UV visible spectrophotométrie (ultraspec amersham biosciences 3100 pro).
- Mesure l'absorbance dans la région UV sensible à $\lambda = 880\text{NM}$.

Réactifs :

- Héptamolybdate d'ammonium.....3g.
- Eau distillée.....10ml. A
- Tartrate d'antimoine.....0.35g.
- Eau distillée.....100ml. B
- Acide sulfurique pur.....150ml.
- Eau distillée.....150ml. C

(A + B) + C 500ml d'eau distillée.

- Acide ascorbique à 10 %.
- Acide ascorbique.....10g.
- Eau distillée.....100ml.

Mode opératoire :

Dans une fiole de jaugee de 50ml :

- On prend 50ml de l'échantillon à analyser (le surnagent obtenu à partir de la Centrifugation de l'échantillon). Puis, on enlève 10 ml.
- Ajouter 1ml d'acide ascorbique (bien agiter).
- Ajouter 2ml de molybdate d'acide (bien agiter).
- Puis, on ajuste à 50ml avec de l'eau distillé (trait repère de la fiole) et on le laisse repose pendant une demi heure (30min).
- L'apparition de la coloration bleue indique la présence des $\text{P} - \text{PO}_4^{3-}$.
- Enfin ; on fait passer l'échantillon dans le spectrophotomètre pour obtenir la concentration en $\text{P} - \text{PO}_4^{3-}$ à $\lambda = 880\text{nm}$.

Expression des résultats :

La valeur de la concentration en PO_4^{3-} s'exprime comme suit :

$[\text{P} - \text{PO}_4^{3-}] = \text{la valeur lue sur l'appareille} \times \text{le facteur de dilution} \dots \text{mg/l}$.

II.3. Analyses bactériologiques : (TFYECHE LYES ,2014)

L'analyse bactériologique a pour but la recherche et le dénombrement des germes existant dans les échantillons d'eau à analyser.

En raison de la diversité des espèces bactériennes, virales et parasitaire, des germes test vont être analysés qui représenteront par la suite l'aspect microbiologique de ces eaux. Une analyse complète de l'eau brute a été effectuée en se basant sur la recherche et le dénombrement des paramètres suivants :

- Germes totaux.
- Coliformes totaux et fécaux.
- Streptocoques fécaux.
- Clostridium sulfito-réducteurs.

II.3.1. Recherche et dénombrement des germes totaux :

Selon les normes internationales, les micro-organismes reviviscibles se définissent comme étant la totalité des bactéries, levures et moisissures capables de former des colonies dans ou sur le milieu de culture spécifié dans les conditions d'essai décrites.

Mode opératoire :

A partir de l'eau à analyser, on met 2 fois 1 ml dans deux boites de Pétri vides préparées à cet usage et numérotées.

Compléter ensuite chacune des boites avec environ 15ml de gélose PCA et mélanger avec précaution en mouvement rotatoire puis laisser solidifier.

Incubation et lecture

Retourner les boites et incuber à une température de 37 °C pendant 24 h à 48 h, l'autre à 22 °C pendant 72 h. La lecture se fait après chaque 24h. On calcule le nombre de colonies formées présentes dans un millilitre d'échantillon.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en nombre de germes par 1 ml (Germe/1ml).

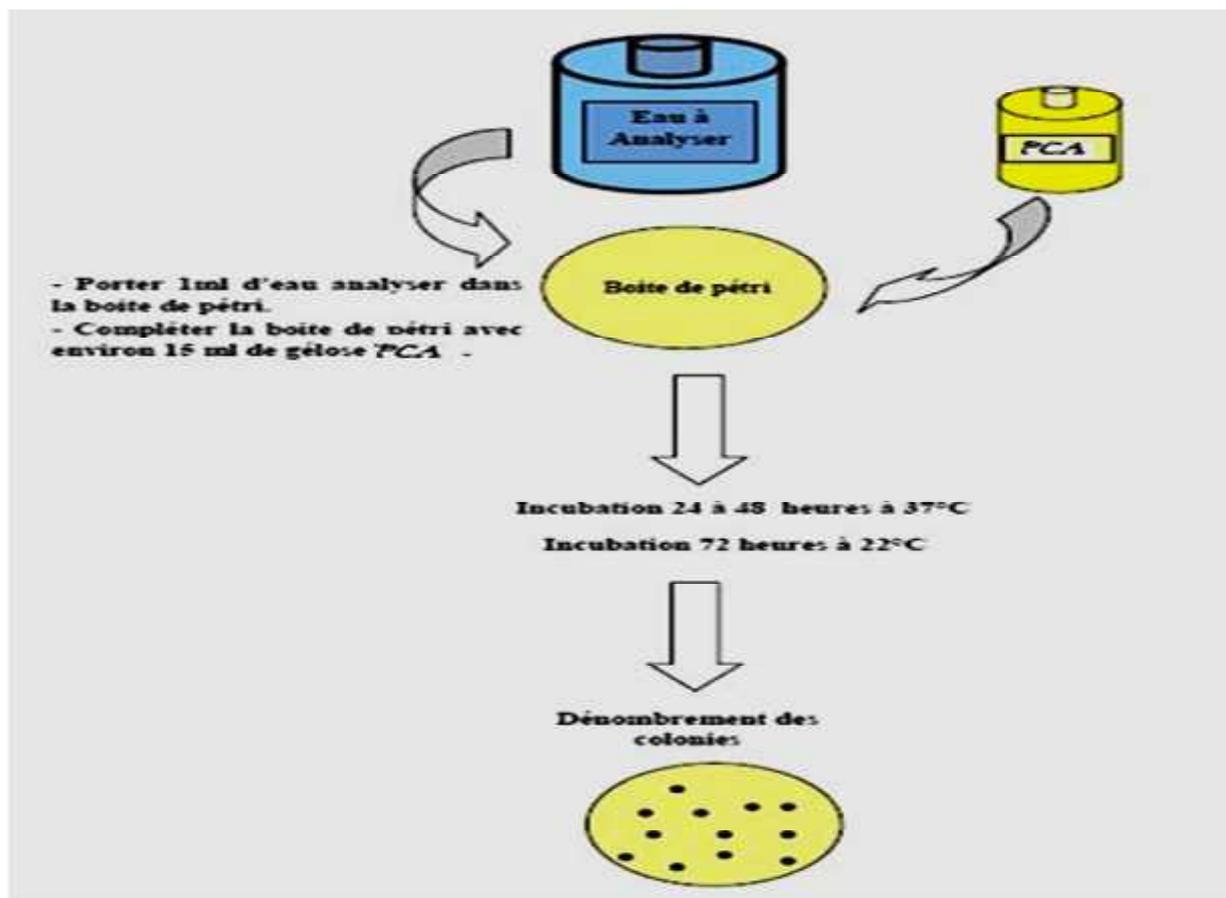


Figure III .10 : Recherche et dénombrement des germes totaux dans l'eau.

II.3.2.Recherche et dénombrement des coliformes en milieux liquides (Méthode de NPP)

Test de présomption :

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :

- 3 fois 10 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham.
- 3 fois 1ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.
- 3 fois 0,1ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham

Chassez le gaz présent éventuellement dans les cloche et bien mélanger le milieu, l'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 heures. (TFYECHE LYES ,2014)

Seront considérés comme positif + ; les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement du gaz (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche).
- Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).

- La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady NPP
ANNEXE VII.

Test de confirmation

Le test de confirmation ou test de Marc Kenzie est basé sur la recherche de coliformes fécaux, parmi lesquels on redoute surtout la présence d'Escherichia Coli.

Les tubes de BCPL positifs, après l'agitation, prélever de chacun d'eux quelques gouttes à l'aide d'une pipette Pasteur pour faire le repiquage dans un tube contenant le milieu Schubert muni d'une cloche. Chassez le gaz présent éventuellement dans les cloche et bien mélanger le milieu. L'incubation se fait à 44 °C pendant 24 h.

Lecture Seront considérés comme positif ; les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement du gaz (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche).
- Un anneau rouge ou rose en surface, témoin de la production d'Indole par Escherichia Coli après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs.
- La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady NPP.
- en tenant compte du fait qu'Escherichia Coli est à la fois producteur de gaz et d'indole à 44 °C.
- Utilisation d'un seul tube confirmatif (Dénombrement d'E. Coli).

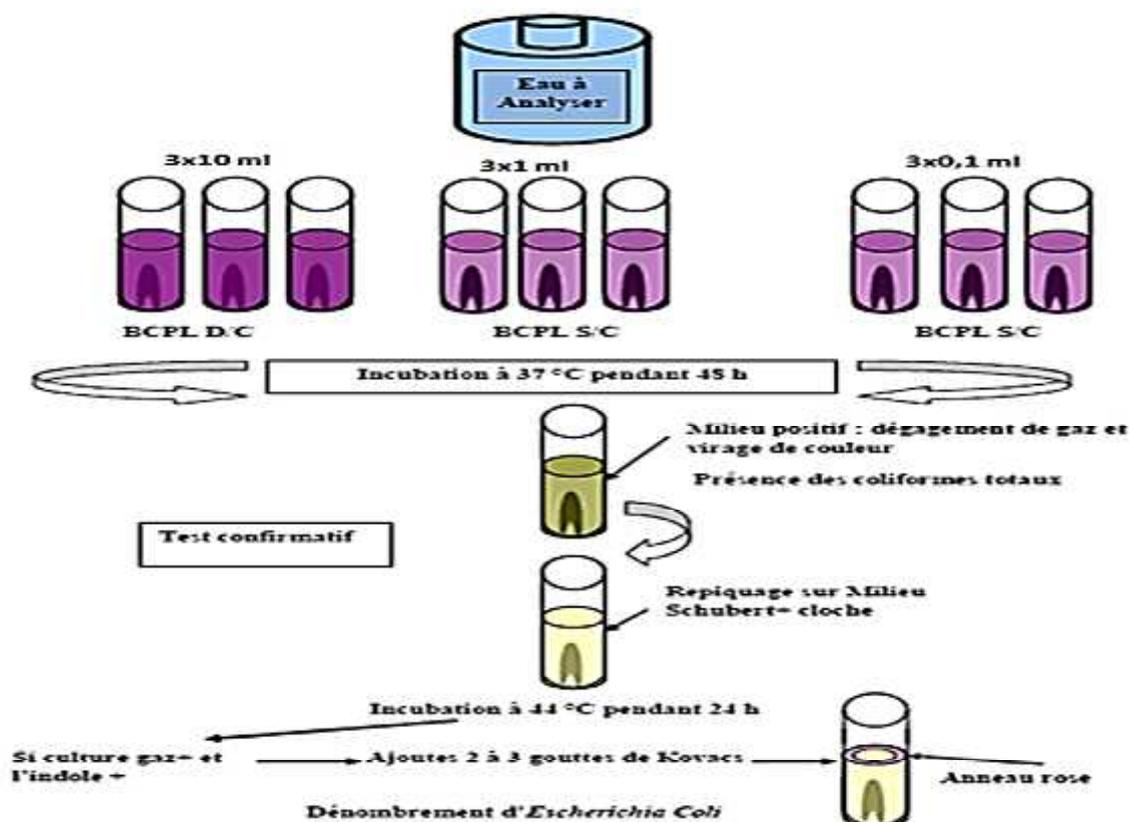


Figure III. 11 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux dans l'eau. (TFYECHE LYES ,2014)

II.3.3. Recherche des Streptocoques fécaux en milieu liquide

Test de présomption :

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :

- 3 fois 10 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE D/C(double concentration).
- 3 fois 1 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE S/C (simple concentration).
- 3 fois 0.1ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE S/C :
 - Bien mélanger le milieu et l'inoculum.
 - L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Lecture

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :

- Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu pendant cette période est présumé contenir un streptocoque fécal.
- La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP annexe **ANNEXE VII.**

Test de confirmation

Le test de confirmation est basé sur la confirmation des Streptocoque fécaux éventuellement présents dans le test de présomption. Les tubes de ROTHE positifs, après l'agitation, prélevée de chacun d'eux quelques gouttes à l'aide d'une pipette Pasteur donc faire l'objet d'un repiquage dans un tube contenant le milieu LITSKY EVA. Bien mélanger le milieu et l'inoculum et l'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures (TFYECHE LYES ,2014) .

Lecture

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :

- Un trouble microbien.
- Une pastille violette (blanchâtre) au fond des tubes.
- La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP, le nombre de streptocoque fécaux sont par 100 ml de l'eau analysé.

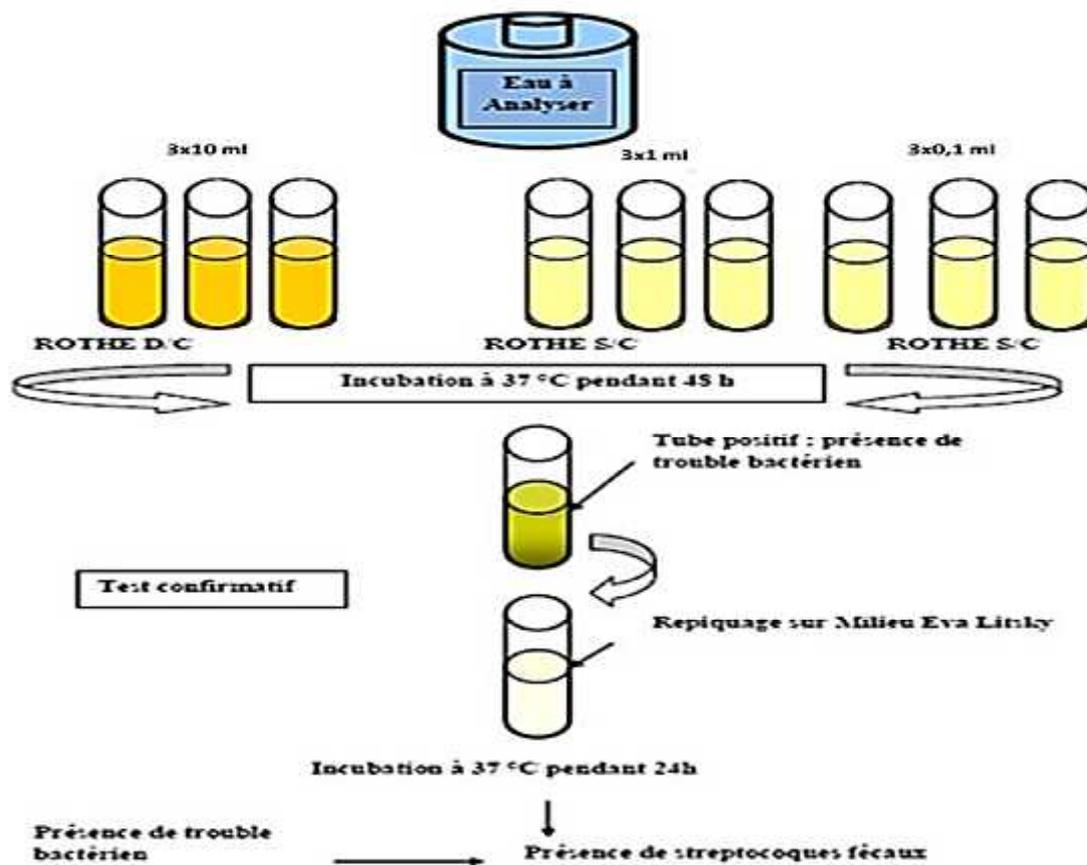


Figure III.12 : Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux dans l'eau (TFYECHE LYES ,2014)

II.3.4. Recherche et dénombrement des Clostridium Sulfito-Réducteurs

- Porter dans deux tubes de 1 ml de l'échantillon à analyser
- Elaborer pour les deux tubes un chauffage à 80°C, pendant 10 minutes, puis un refroidissement brutal sous l'eau de robinet (choc thermique qui a pour but d'éliminer la forme végétative et reste seulement la forme sporulée des bactéries Sulfito- Réducteurs).
- Compléter ensuite chacune des tubes avec environ 15 ml de gélose TSN (TSN+ alun de fer et sulfite de sodium) et mélanger avec précaution.
- Laisser solidifier, puis incuber à 37°C pendant 48 heures avec une première lecture après 16 heures d'incubation. (TFYECHE LYES ,2014)

Lecture :

Après la période d'incubation sera considéré comme positif, les tubes contenant de grosses colonies noires, qui correspondent au *Clostridium sulfito-réducteur*. Le résultat est exprimé par le nombre des *Clostridium sulfito-réducteurs* par 1 ml de l'échantillon à analyser.

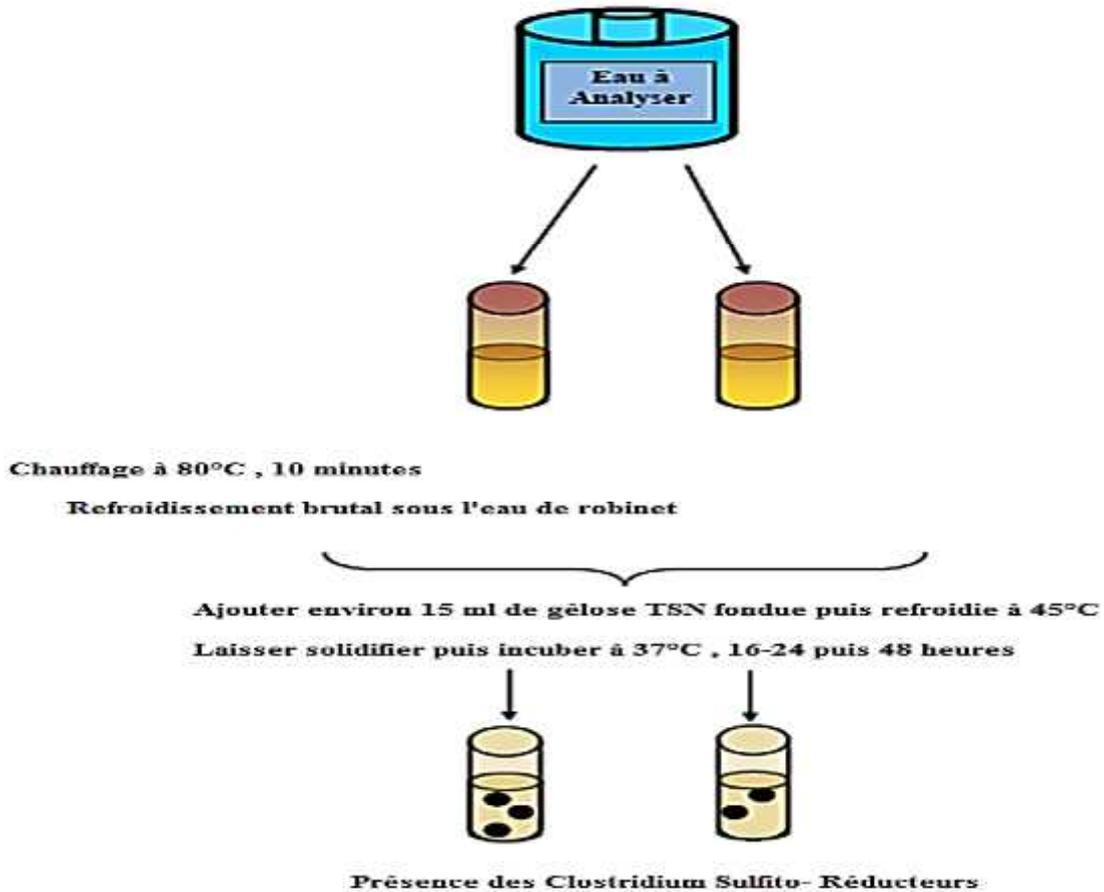
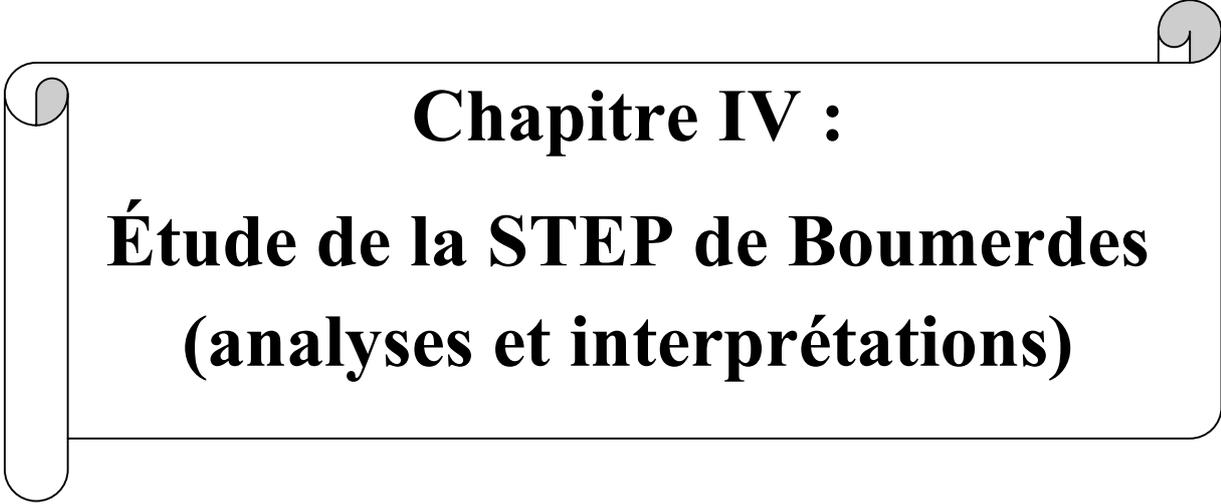


Figure III. 13 : Recherche et dénombrement des *Clostridium sulfitoréducteurs* (TFYECHÉ LYES ,2014)

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté quelques méthodes d'analyse de quelque paramètre d'intérêt de la réutilisation faite dans le laboratoire de la station d'épuration de BOUMERDES

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the top and bottom edges, containing the chapter title.

Chapitre IV :
Étude de la STEP de Boumerdes
(analyses et interprétations)

IV.1.Présentation de la station :

La ville de BOUMERDES est située à cheval entre les villes d'ALGER et TIZI-OUZO, elle a été créée pour être une ville universitaire après l'indépendance de l'ALGERIE. Elle représente en elle seule 10% littoral algérien soit '120km' de côtes.

La station d'épuration de BOUMERDES ainsi est conçue pour traiter les eaux usées domestique de la ville de BOUMERDES ainsi que d'autre communes telles que CORCO et TIJALABINE, elle s'étend une surface de '3.11 hectares' et peut traiter jusqu'à 75000 Eqh. l'eau épurée issue de la station est acheminée directement vers la mer par oued TATAREG.

IV.1.1.Le principe de traitement :

a. Principe du traitement de l'eau :

Le traitement au fil de l'eau comporte les étapes suivantes :

1. Arrivée des eaux, BAY-PASS et bassin d'orage.
2. Prétraitement (dégrillage, dessablage, déshuilage)
3. Traitement secondaire (Aération biologique, clarification)

Tableau IV.1. Objectif du traitement :

DBO5	30mg/l
MES	30mg/l
DCO	90mg/l
NTK	40mg/l

Tableau IV.2. la pollution éliminée :

Volume journalier	15000 m3/j
Débit moyen 24h	625 m3/h
Débit de pointe temps sec	1063 m3/h
Débit de pointe temps de pluie	1944 m3/h
DBO5 journalière	4050 kg/j
MES journalières	5250 kg /j

Arrivée des eaux, comptage et bassin d'orage :

Les effluents sont envoyés par pompage, par 3 pompes directement dans le canal d'alimentation du prétraitement d'une part et par gravité dans la bêche de relèvement, ce ci par deux conduites de diamètre 60 mm.

A- Ce poste de relèvement permet :

- ❖ L'alimentation du prétraitement en aval.
- ❖ Le by pas total des installations par manœuvre d'un batardeau contrôlant l'entrée générale de la station.

Un déversoir alimente un bassin d'orage de tout débit supérieur au nombre le débit accepté par l'installation suivant le bassin d'aération en service. Deux pompes submersibles permettent de relever ces eaux vers le prétraitement, sur la base de la vidange du bassin plein, laissant ainsi rapidement le volume disponible pour réguler le débit entrant, sans toutefois sur charger le traitement ultérieur.

B-Caractéristique de la station de pompage :

- Un panier de dégrillage.
- 3 groupes électro-pompages spécialement conçues pour eau chargée :

Débit	150m ³ /h
HMT	6m
Puissance réelle	4.7kw
Interrupteurs à flotteurs	4
Type de pompe	Centrifuge radial

Prétraitements :

Le prétraitement des eaux usées constitue une série d'opérations physiques et mécaniques reposent sur le principe de la séparation des éléments solides de la phase liquide. Cette séparation selon la taille, déchet volumineux (dégrillage), sable (dessablage) et corps gras (dégraissage-déshuilage) ou de décantation par sédimentation ou flottation.

Traitement secondaire :

Bassin d'aération :

Trois bassins d'aération de volume unitaire 3600 m³ et d'une profondeur de 4.5 m menaient de turbine type « ACTI-ROTOR » permettant l'aération prolongée et la culture bactérienne à l'origine du traitement.

Clarification finale et ouvrage de recirculation :

Les eaux sortantes des ouvrages d'aération sont dirigées vers 3 clarificateurs de diamètre 24 m la base de dimensionnement étant de 0,8 m/h par pointe de temps sec, la surface requise est de 1330m² les boues décantées au fond de chaque ouvrage sont dirigées à l'aide d'un racleur vers un puit central de collecte, elles sont reprises par une tuyauterie les acheminant vers la bache de recirculation attenante aux bassins d'aération, une partie des boues est recerclée en tête d'aération sous le nom de liqueur mixte et une partie est extraite pour être envoyé vers l'épaississeur.(voir traitement ; boues)

Remarque : Actuellement la station d'épuration de BOUMERDES n'est pas dotées d'un système de désinfection, l'eau sorte directement après clarification.

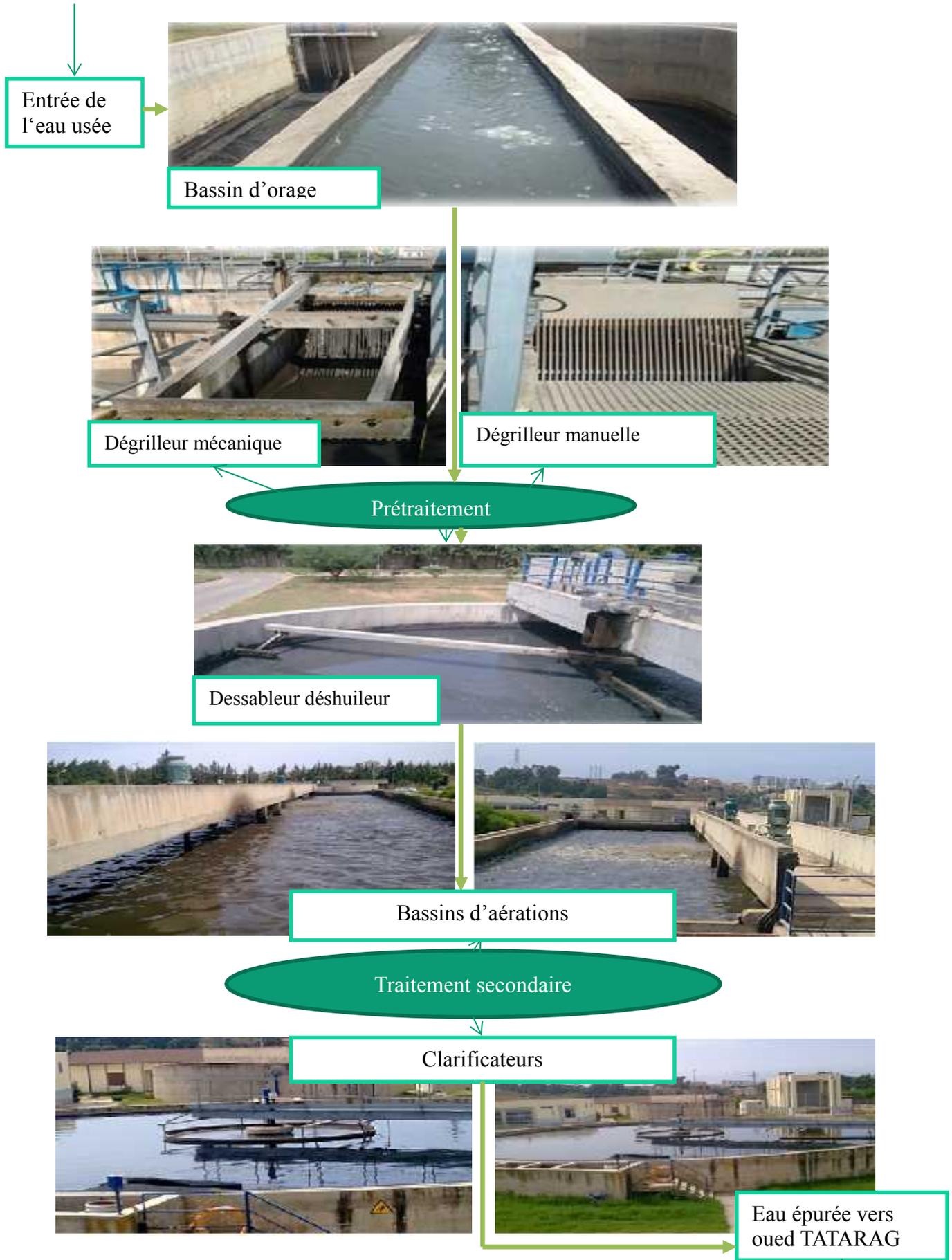


Figure IV1: ouvrages de traitement de l'eau dans la station d'épuration BOUMERDES**b. Le principe de traitement des boues :**

Le traitement des boues issues de la décantation clarification comporte deux étapes :

- Un épaissement statique pour la réduction de volume des boues.
- Une déshydratation mécanique pour le séchage des boues.



Figure IV.2 : épaisseur



Figure 3 : bande à presse

IV.2.Résultats et interprétation:**IV.2.1.Analyse des eaux épurées :****a. Résultats des analyses des paramètres physicochimiques :****Tableau IV.3 :** analyses des paramètres physicochimiques mois de décembre 2015 (eau brute).

Eau brute												
jour	ph	T mg /l	Cond mg /l	MES mg /l	DBO5 mg /l	DCO mg /l	N- NH4 mg /l	N- NO2 mg /l	N- NO3 mg /l	NTK mg /l	PO4 mg /l	PT mg /l
1 dec	7.3	17.87	1451	300	600	640	-	-	-	-	-	-
2 dec	7.21	17.84	1434	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 dec	7.37	17.08	1481	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6 dec	7.26	16.96	1521	140	130	367	20	0.024	0.6	36	2.22	4
7 dec	7.2	17.8	1564	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 dec	7.17	17.42	1561	110	220	415	-	-	-	-	-	-
9 dec	7.38	17.01	1453	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10 dec	7.07	17.7	1337	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13 dec	7.25	16.4	1434	250	440	535	-	-	-	-	-	-
14 dec	7.21	17.03	1343	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15 dec	7.27	16.8	1451	190	270	351	-	-	-	-	-	-
16 dec	7.31	17.1	1280	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 dec	7.23	17.14	1432	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 dec	7.21	16.95	1451	220	200	284	-	-	-	-	-	-
21 dec	7.3	15.35	1534	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22 dec	7.1	14.81	1620	130	180	426	-	-	-	-	-	-
23 dec	7.29	16.47	1264	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27 dec	7.32	17.08	1341	100	188	459	22.5	0.042	9.1	37	1.91	3
28 dec	7.18	16.3	1536	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29 dec	7.11	16.8	1381	190	310	500	-	-	-	-	-	-
30 dec	7.19	15.84	1303	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31 dec	7.09	16.97	1346	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MOY	7.23	16.85	1432.64	181.11	281.11	441.89	21.25	0.033	4.85	36.5	2.065	3.5

Tableau IV.3 : analyses des paramètres physicochimiques mois de décembre 2015(eau épurée).

Eau épurées												
jour	ph	T mg /l	Cond mg /l	MES mg /l	DBO5 mg /l	DCO mg /l	N- NH4 mg /l	N- NO2 mg /l	N- NO3 mg /l	NTK mg /l	PO4 mg /l	PT mg /l
1 dec	7.09	17.59	1159	10	9	17	-	-	-	-	-	-
2 dec	7.07	16.77	1237	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 dec	7.13	16.33	1234	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6 dec	7.11	17	1234	20	19	28	1.04	0.08	7.3	4	0.58	3
7 dec	7.16	17.8	1234	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 dec	7.07	17.36	1234	10	12	20	-	-	-	-	-	-
9 dec	7.12	15.97	1237	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10 dec	6.94	17.2	1157	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13 dec	7.12	16.08	1241	18	18	21	-	-	-	-	-	-
14 dec	7.21	16.34	1122	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15 dec	7.11	16.7	1237	10	20	25	-	-	-	-	-	-
16 dec	7.1	17.1	1035	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 dec	7.09	16.6	1266	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 dec	7.02	16.37	1234	10	19	23	-	-	-	-	-	-
21 dec	7.15	15.28	1236	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22 dec	7.02	14.73	1240	10	20	29	-	-	-	-	-	-
23 dec	7.13	16.33	1148	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27 dec	7.08	17.32	1264	20	14	28	1.25	0.076	8.5	2	0.71	2.6
28 dec	7.11	15.7	1241	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29 dec	7.03	16.3	1153	20	16	22	-	-	-	-	-	-
30 dec	7.12	15.54	1128	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31 dec	7.05	17.03	1134	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MOY	7.09	16.56	1200.33	13.33	16.23	23.67	1.145	0.078	7.9	3	0.645	2.8

Tableau IV.4 : bilan annuel des analyses physicochimiques année 2015 (eau brute).

mois	ph	T mg /l	Cond mg /l	MES mg /l	DBO5 mg /l	DCO mg /l	N- NH4 mg /l	N- NO2 mg /l	N- NO3 mg /l	NTK mg /l	PO4 mg /l	PT mg /l
Jan	7.34	16.85	-	165.5	216.25	266.75	18.75	0.18	3.85	34	2.32	-
Fev	7.32	14.40	1342.13	173.75	198.75	311.75	23.44	0.21	6.7	33	2.91	-
Mars	7.29	16.17	1448.59	158.89	185	362.75	15.63	0.10	8.25	34.50	13.07	-
Avril	7.29	18.77	1463.23	243.33	317.77	416.33	17.49	0.073	1.80	44.50	6.59	-
Mais	7.26	19.64	1468.28	192.50	281.25	449.38	17.79	0.08	2.15	53	2.22	-
Juin	7.27	20.49	1424.09	191.11	262.22	384.56	21.88	0.17	6.15	43.5	4.57	7.5
Juillet	7.24	22.7	1346.05	207.78	193.33	430.83	28.38	0.11	4.65	50.5	6.65	7
Aout	7.31	23.19	1378.36	196.88	283.75	578.25	29.5	0.05	1.05	64	6	11
sep	7.28	23.68	1379.29	300.5	236	505.10	32.5	0.05	0.6	2.5	5	6.5
oct	7.34	21.13	1427.56	156.25	135	305.38	25	0.05	0.55	37.5	2.7	5
nov	7.37	19.26	1328.28	190	227.78	338.78	29.88	0.09	1.25	50	3.61	4.15
dec	7.23	16.85	1432.64	181.11	281.11	441.89	21.25	0.033	4.85	36.5	2.065	3.5

Tableau IV.5 : bilan annuel des analyses physicochimiques année 2015 (eau épurée).

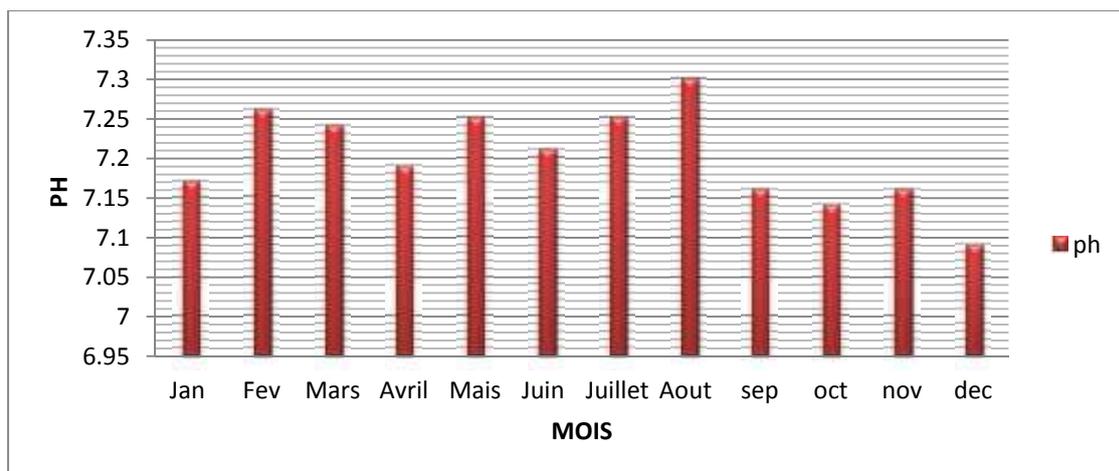
mois	ph	T mg /l	Cond mg /l	MES mg /l	DBO5 mg /l	DCO mg /l	N- NH4 mg /l	N- NO2 mg /l	N- NO3 mg /l	NTK mg /l	PO4 mg /l	PT mg /l
Jan	7.17	15.38	-	11.25	4.25	31.75	0.62	0.01	13.13	1	2.32	-
Fev	7.26	14.4	1206.38	10	3	20	0.62	0.003	9.78	1.25	1.57	-
Mars	7.24	16.32	1278.32	11.11	3.75	15.50	0.62	0.10	23.58	1	3.59	-
Avril	7.19	18.88	1263.57	10	6.55	24.22	0.62	0.081	4.60	1	3.52	-
Mais	7.25	20.04	1174.08	11.25	10.13	23.75	0.93	0.04	7.65	2.5	0.88	
Juin	7.21	20.46	1238.13	13.33	12.44	24.22	2.19	0.03	12.45	5	0.98	1
Juillet	7.25	23.23	1190.43	14.49	9.56	34.78	6	0.03	1.25	10.5	0.7	1
Aout	7.3	23.55	1219.41	13.13	16.25	80.75	8.35	0.07	2.45	10.20	0.85	1.1
sep	7.16	22.98	1145.95	13	8.5	30	1.3	0.1	10.5	2.5	2.45	3.15
oct	7.14	20.82	1172.39	12.5	21.75	30	0.35	0.07	20	2	1.85	3
nov	7.16	19.17	1119.44	11.11	20	27.44	0.57	0.12	9.85	1.5	2.52	3
dec	7.09	16.56	1200.33	13.33	16.23	23.67	1.145	0.078	7.9	3	0.645	2.8

Interprétation :**PH :**

Le ph de l'eau est un indice exprimant l'acidité ou l'alcalinité dont l'intérêt de la mesure réside dans la détermination de l'agressivité de l'eau vis-à-vis du ciment et des métaux, ainsi que pour la désinfection de l'eau par le chlore.

D'après les résultats d'analyse de mois de décembre et les résultats moyenne mensuelle de l'année 2015, nous avons des valeurs de PH mensuelle variée entre 7.09 à 7.3 avec une moyenne de 7.2 ce qui donne le caractère neutre à notre eau épurée.

Nous constatons que cette moyenne est conforme aux normes algériennes et aussi pour la norme selon UAP qui est entre (6.5-8.5) pour une telle valorisation.

**Figure IV.4** : Graphique de variation de PH des eaux épurées durant l'année 2015.

Température :

La température moyenne de l'effluent épuré situé au tour de 20°C. Cela indique que notre eau à la sortie de la STEP et dans les conditions optimales de température (inférieur à 30°C)

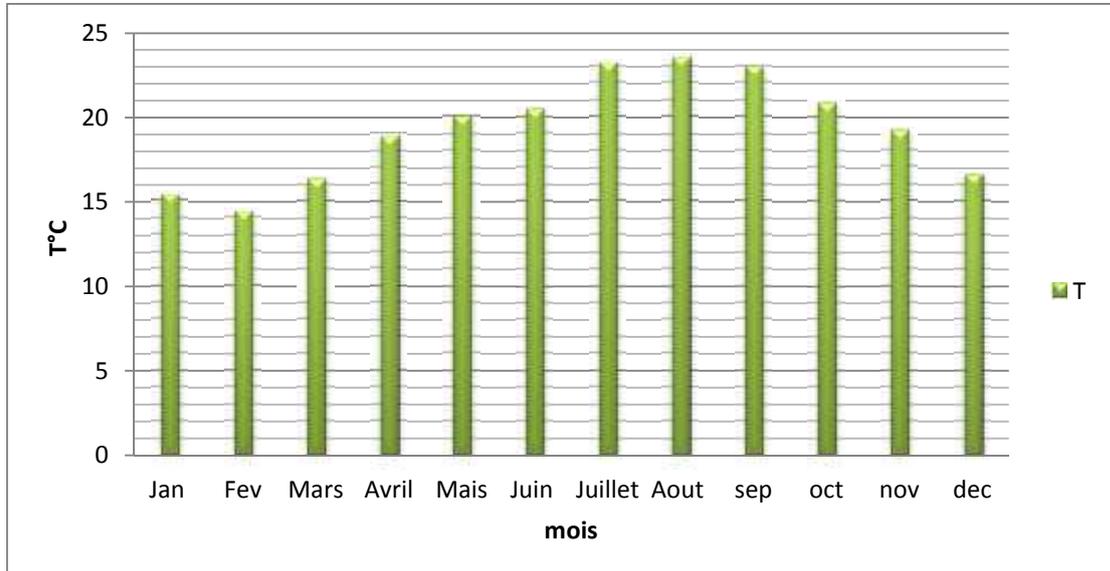


Figure IV.5 : Graphique de variation de température d'eau épurée pendant l'année 2015.

Conductivité :

La présence des ions confère à l'eau une certaine conductivité électrique, due aux déplacements de ces charges dans l'eau. Donc la conductivité permet de connaître le degré de minéralisation des eaux, elle mesure la concentration des sels ioniques et nous informe sur le degré de salinité de l'eau.

La conductivité d'une eau varie en fonction de degré d'impureté de l'eau ainsi que de la concentration ionique des sels dissous.

La conductivité de nos eaux épurées varie entre 1119.44 à 1278.32 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne de 1200.81 $\mu\text{S}/\text{cm}$, nous constatons que cette valeur est conforme à la norme algérienne qui est 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la réutilisation agricole et aussi conforme à la norme selon UAP qui est de 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la réutilisation municipale.

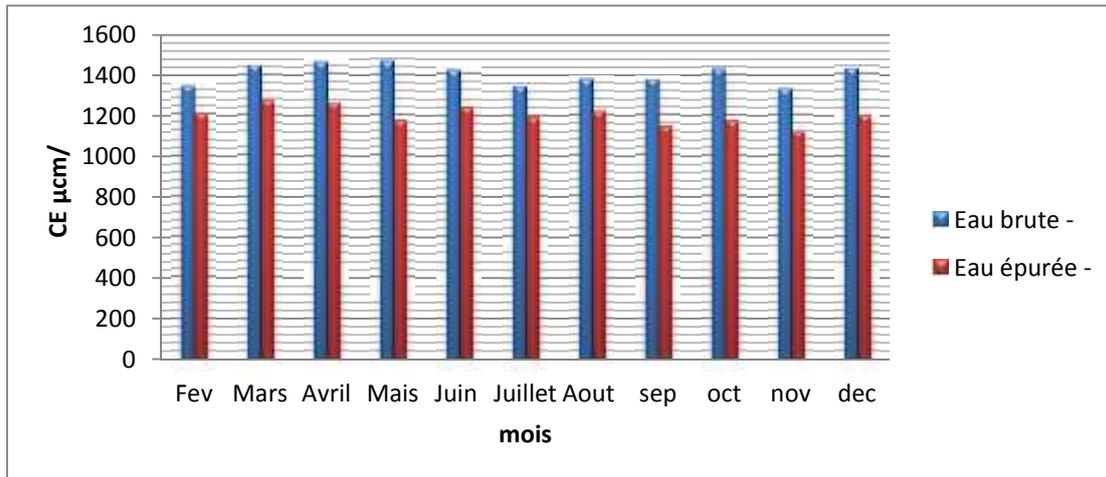


Figure IV.6 : Variation des valeurs de conductivité pour l'eau brute et épurée

DBO5 :

La mesure de DBO5 donne une indication de l'importance de matières polluantes biodégradables. L'effet principal des matières biodégradables sur le milieu récepteur est l'appauvrissement en oxygène dissous de ce milieu après leur dégradation.

La valeur moyenne de DBO5 des échantillons examinée est de 11.04 mg/l ce qui est largement inférieur à la norme algériennes pour la REUE qui est de 30mg /l.

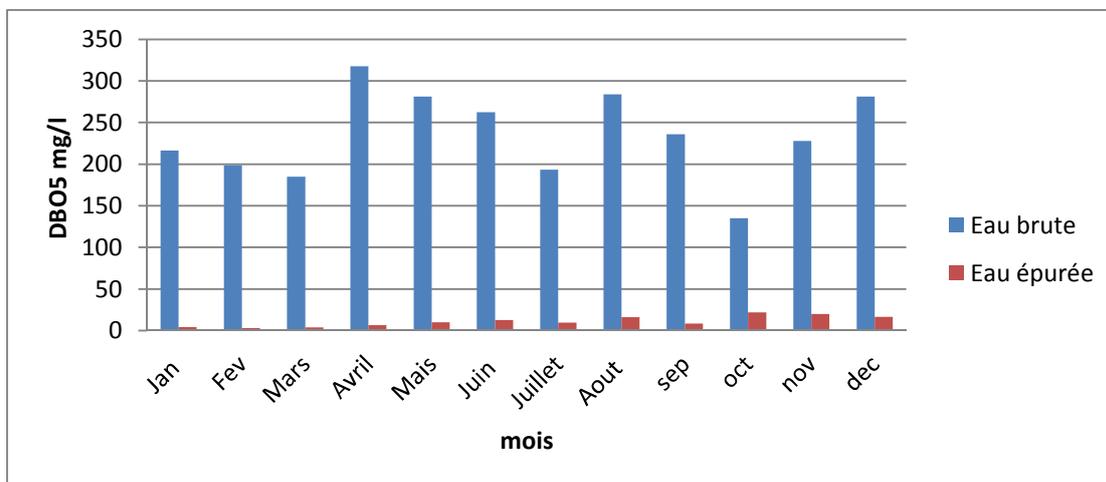


Figure IV.7 : Variation des valeurs de DBO5 pour l'eau brute et épurée

DCO :

La demande chimique en oxygène représente la quantité d'oxygène nécessaire pour obtenir une bonne oxydation des matières organiques et minérales présents dans l'eau. La mesure de DCO donne une indication de l'importance de matière non biodégradable. D'après les résultats obtenus de nos échantillons analysés les valeurs de DCO oscillent entre 15.5 et 35 mg/l, nous constatons que notre eau épurée est conforme à la norme algérienne qui limite la concentration de DCO à 90 g/l.

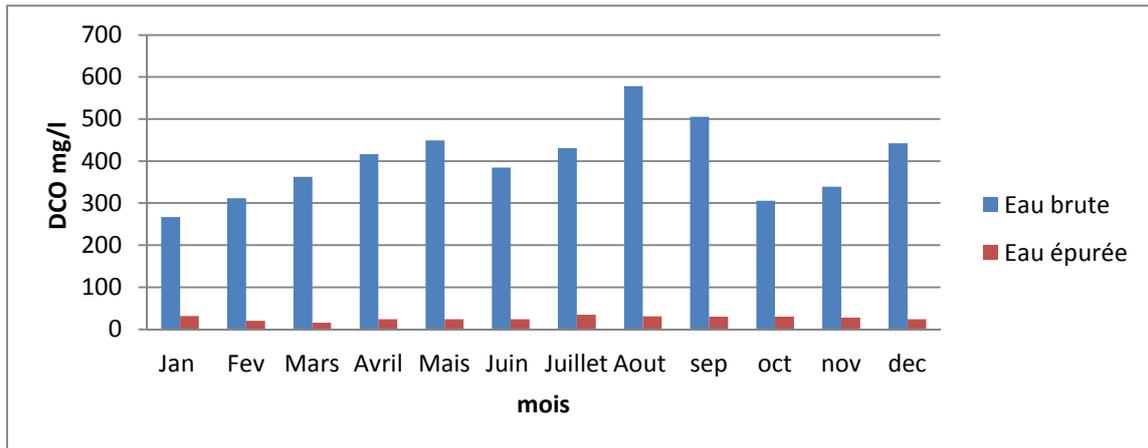


Figure IV.8 : Variation des valeurs de DCO pour l'eau brute et épurée

MES :

La perméabilité du sol peut être affectée par la présence de MES dans l'eau d'irrigation qui peuvent colmater en surface les pores du sol.

Les résultats d'analyses des différents échantillons montre une variations des valeurs de MES entre 10 et 14.5 mg/l. ce qui est conforme à la norme algérienne. Notre eau est peu chargée en matière en suspension.

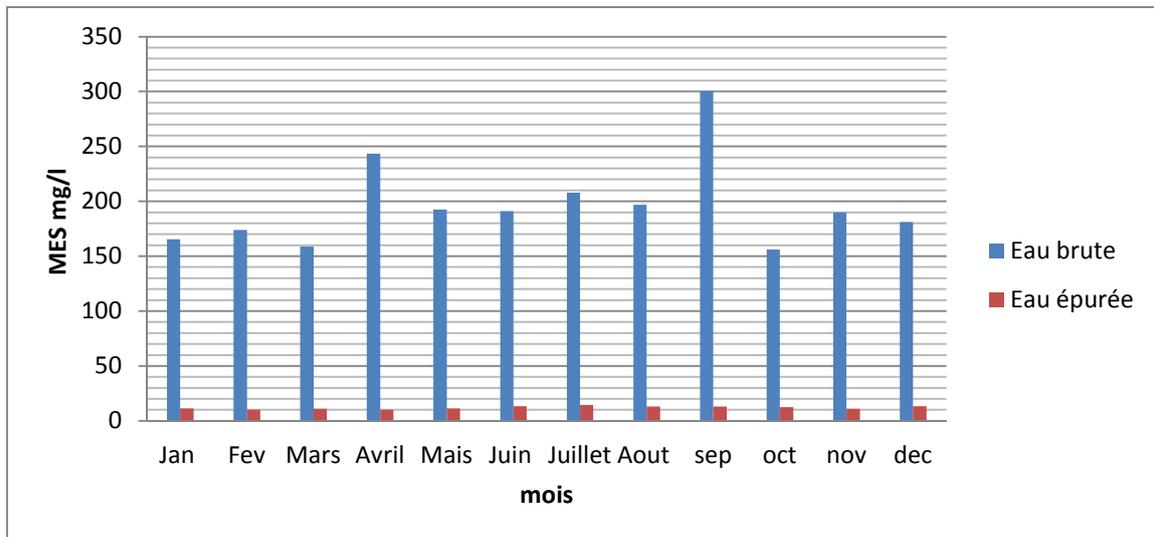


Figure IV.9 : Variation des valeurs de MES pour l'eau brute et épurée.

b. Résultats des analyses des nutriments :

Azote ammoniacal NH₄ :

Tous les êtres vivants sont composés de molécules qui combinent le carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, etc. Dans les conditions naturelles, sans influence de l'homme, il y a à peu près un équilibre entre l'utilisation de l'azote de l'air par les organismes vivants et son retour à l'atmosphère (cycle de l'azote).

Aujourd'hui, la croissance démographique, économiques, technique, le développement de l'agriculture et de l'industrie ont largement modifié ce cycle naturel. L'intervention accrue de l'homme conduit à un excès d'azote entraînant des fuites vers le milieu naturel (rivières, lacs, eaux marines et nappes). Dans les rivières, l'azote organique et ammoniacal se transforme en nitrites puis en nitrates en présence de bactéries nitrifiantes et de l'oxygène.

Les valeurs de NH_4 de l'eau épurée varient de 0.35 à 8.35 mg/l .

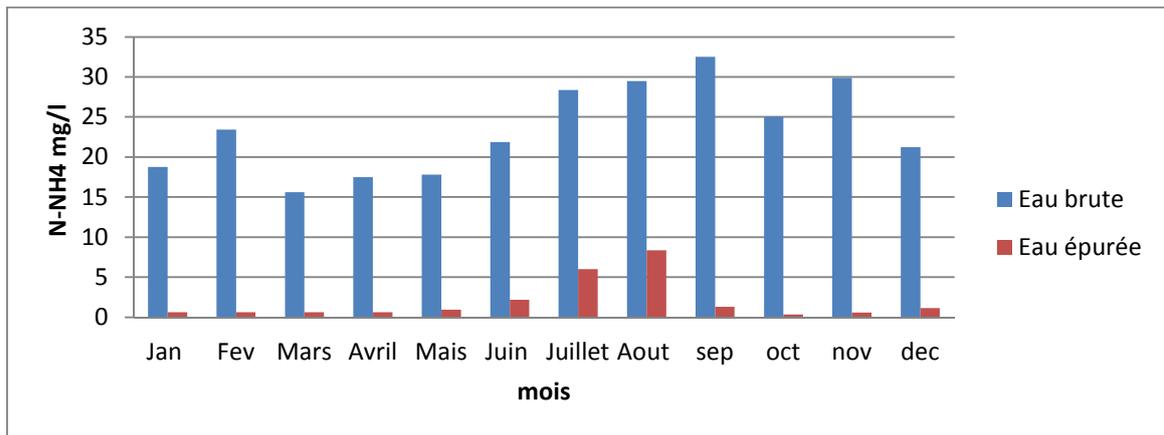


Figure IV.10 : Variation de l'azote ammoniacal.

Nitrites NO_2^- :

Les nitrites constituent le stade intermédiaire entre les ions ammonium et les nitrates peu stable on ne les rencontres que lorsqu'il existe un déséquilibre au niveau de l'oxygénation ou de la flore bactérienne dans la phase d'aération pendant le traitement.

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant. Les résultats d'analyses des différents échantillons montrent que le nitrite se trouve sous forme de traces, avec des valeurs oscillent de 0.003 à 0.1 de mg/l ce qui largement inférieur à la norme de l'OMS qui est de 1 mg/l

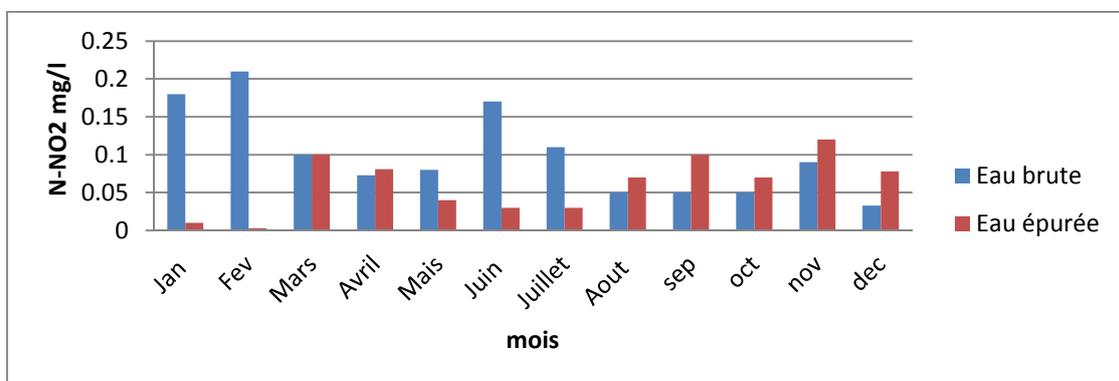


Figure IV.11 : Variation de nitrites pour les eaux brutes et épurées.

Nitrates NO_3^- :

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacale, nitrites, etc....) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique, dans les eaux naturelles non polluées, le taux de nitrates est très variable suivant la saison et l'origine des eaux, il peut varier de 1 à 15 mg/l.

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, ils sont l'un des éléments majeurs des végétaux.

Les résultats d'analyses des différents échantillons montrent que les valeurs de nitrates varient de 1.25 à 23 mg/l ce qui conforme à la norme exigé par la réglementation algérienne qui est de 30mg/l

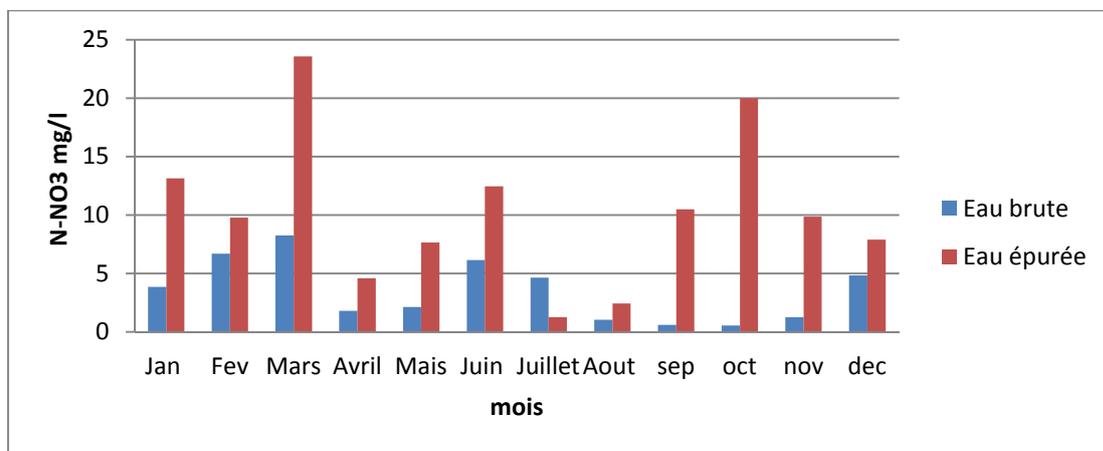


Figure IV.12 : Variation des nitrates pour les eaux brutes et épurées.

Azote NTK :

L'azote total dans les eaux usées urbaines ne présente pas la totalité de l'azote, mais seulement ses formes réduites organiques et ammoniacales ($\text{NTK} = \text{N organique} + \text{N} - \text{NH}_4$). L'azote en générale dans les eaux usées urbaines provient principalement des métabolismes humains, les sels représentent environ 1/10 de la quantité totale libérée.

La connaissance de la concentration en N dans l'eau usée et la gestion appropriée de la charge en NTK sont essentielles pour surmonter les problèmes associés à une éventuelle concentration élevée en N.

La valeur moyenne retenue en azote NTK est de 3.5 mg/l. On peut constater que cette moyenne est inférieure à la valeur exigé par la **FAO(1992)** qui est de 40 mg/l.

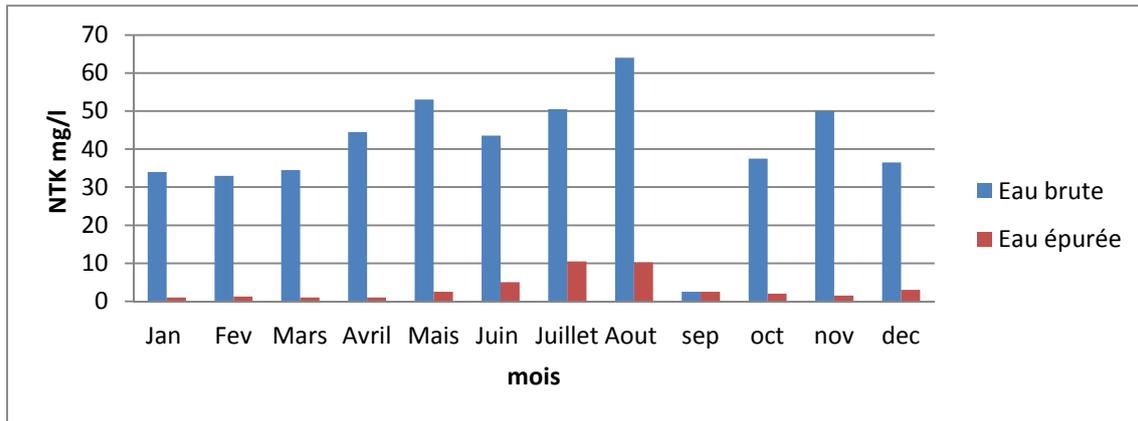


Figure IV.13 : Variation de l'azote NTK.

Phosphore total :

Le phosphore intervient dans la formation de la biomasse bactérienne. Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol, leur présence naturelle dans les eaux est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Des teneurs supérieures à 0.5 mg/l doivent constituer un indice de pollution de l'eau.

L'évolution de P dans les eaux épurées devrait être réalisée en concomitance avec les analyses de sol pour les conseils de fumure.

Les valeurs obtenues après l'analyse des différents échantillons varient de 1 à 3.15 mg/l ce qui est inférieure à la valeur préconisée par **FAO (1992)** qui est de 10 mg/l en matière de réutilisation des eaux épurées.

c. Résultats des analyses d'autres paramètres :

Tableau IV.6 : Résultats de l'analyse de Chlorure Cl^- et Bicarbonate HCO_3^- .

	Lieu d'analyse	Date de prélèvement d'échantillon	Date d'analyse	Résultats	Norme algérienne 2 janvier 2012 (meq/l)	Obs C/NC
Chlorure Cl^-	Laboratoire Central de la direction générale ONA Baraki ALGER	21/07/2015	23/07/2015	184 mg /l =2.59 meq /l	10	C
Bicarbonate HCO_3^-	SEAAL kouba-Alger	21/07/2015	04/08/2015	290 mg/l < 4.75meq	8.5	C

Chlorure :

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la teneur des terrains traversés. Les Chlorures sont susceptibles d'amener une corrosion dans les canalisations et les réservoirs, en particulier pour les éléments inoxydables, pour

lesquels les risques s'accroissent à partir de 50 mg/l. Pour l'usage agricole une forte concentration de chlorure limite certaines cultures.

La concentration moyenne de nos échantillons est de 184 mg/l (2.59 meq/l). Cette valeur est inférieure à la norme imposée par la réglementation algérienne qui est de 10 meq/l pour la réutilisation à des fins agricoles et aussi conforme à la norme établie par UAP pour la réutilisation municipale et industrielle qui de l'ordre de 2000 mg/l.

Alcalinité :

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes. La connaissance de la valeur moyenne de l'alcalinité TAC 24.6°F dans nos échantillons analysés nous conduit à déduire la teneur en HCO₃ qui égale à 4.75meq/l. Cette valeur est conforme à la valeur maximale imposée par la réglementation algérienne qui de 8.5meq/l pour une réutilisation à des fins agricoles.

d. Résultats des analyses des Métaux lourds :

Les métaux lourds sont toxiques, d'une part pour le milieu naturel ou ils peuvent d'être accumulés le long de la chaîne alimentaire et d'autre part pour les processus d'épuration biologique. C'est ainsi qu'il est nécessaire de procéder aux analyses de ces métaux provenant essentiellement des rejets industrielles.

Dans notre cas les concentrations enregistrées sur les métaux lourds de l'effluent examiné sont inférieure à la norme exigée par la réglementation algérienne.

Tableau IV.7 : Résultats de l'analyse des métaux lourds.

Paramètres analysés	Lieu d'analyse	Date de prélèvement d'échantillons	Date d'analyse	Résultats	Unités	Norme algérienne 2 janvier 2012 (mg/l)	Observation C/NC		
Chrome	Laboratoire Central de la direction générale ONA Baraki Alger	21/07/2015	23/07/2015	-	mg /l	1	C		
Nickel				$7 * 10^{-3}$	mg /l	2	C		
Cuivre				$< 10^{-3}$	mg /l	5	C		
Cadmium				0.01	mg /l	0.05	C		
Cobalt				$4 * 10^{-3}$	mg /l	5	C		
Zinc				< 0.04	mg /l	10	C		
Fer				0.1	mg /l	20	C		
Selenium	Centre national de la technologie et des consulting	21/07/2015	04/08/2015	0.0032	mg /l	0.02	C		
Vanadium				0.0020	mg /l	1	C		
Arsenic				0.0058	mg /l	2	C		
Béryllium				0.013	mg /l	0.5	C		
Bore				0.0975	mg /l	2	C		
Cyanure				0.0509	mg /l	0.5	C		
Fluor				0.385	mg /l	15	C		
Phénol				0.0017	mg /l	0.002	C		
Plomb				0.101	mg /l	10	C		
Lithium				0.0807	mg /l	2.5	C		
Manganèse				0.00171	mg /l	10	C		
Aluminium				21/07/2015	10/08/2015	0.0645	mg /l	20	C
Mercure						0.0014	mg /l	0.01	C
Molybdène	0.049	mg /l	0.05			C			

f. Paramètre microbiologique :

L'analyse microbiologique des eaux s'inscrit dans un cadre général de protection de la santé humaine et de l'environnement afin de rendre les eaux polluées compatibles avec les diverses formes de vie aquatique et des microorganismes pouvant être en contact.

En cas de risque jugé inacceptable pour une situation donnée. L'utilisation surtout agricole devrait être interdite.

L'analyse microbiologique se limite le plus couramment à la recherche des microorganismes pathogènes ou inducteur d'un risque sanitaire.

Ainsi pour la détermination de la qualité générale des eaux et donc des eaux usées épurées l'analyse microbiologique est indispensable et complémentaire de l'analyse physicochimique. Elle apporte en effet une dimension supplémentaire par l'intégralité par les organismes, des variations temporelles de composition des eaux usées en liaison avec leur spécificité biologique (durée de vue, présence de parois)

Dans divers textes réglementaires, il existe des interdictions qui exige que l'eau réutilisée ne doit pas contenir de microorganismes pathogènes, la norme algérienne se borne à la spécification des critères microbiologique, une eau destinée à l'irrigation doit contenir 0 œuf d'helminthe par litre, et un nombre de coliformes fécaux inférieure à 100/100ml.

Les résultats d'analyses sur nos effluents montrent :

Tableau IV.8 : Résultats de l'analyse parasitologie.

	Lieu d'analyse	Date de prélèvement des échantillons	Lieu de prélèvement			Observation
	Recherche des œufs d'helminthe	Laboratoire de parasitologie et mycologie (Hopital Mustapha Bacha Alger)	22/07/2015	STEP	Bassin Rahmoun	
			négatif	négatif	négatif	

Suites aux absences des analyses microbiologiques de l'année 2015 nous utilisons les résultats d'analyse biologique effectué par le **Laboratoire Guerffa et associé (Borj el kiffan)**.

Tableau IV.9 : Résultats d'analyse biologique année 2013

Paramètres analysés	Unités	E1 29/07/13 11h05	E3 30/07/13 11h38	E5 31/07/13 10h00	E7 09/09/13 11h25	E9 10/09/13 9h15	E11 11/09/13 8h45	Les moyennes
Coliformes totaux	UFC /100ml	2.10^3	4.10^3	10^3	10^4	10^4	10^3	$4,6.10^3$
Coliformes fécaux	UFC /100ml	2.10^2	2.10^2	3.10^2	10^2	2.10^2	10^2	$1,66.10^2$
Streptocoques D	UFC /100ml	3.10^2	5.10^2	6.10^2	10^2	10^2	10^2	$2,83.10^2$
Salmonella	UFC /ml	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Chlostridium .S.R.	UFC /ml	53	60	40	70	30	40	48

- L'absence de salmonelles
- la présence des coliformes totaux avec un nombre de 4,6 UFC/100 ml.
- La présence des coliformes fécaux dont le nombre de 10^2 à 10^3 UFC /100 ml avec une moyenne de 166 UFC /100 ml, cette valeur est inférieure à 250 UFC /100 ml (*qui limite l'utilisation des EUE uniquement pour les groupes de cultures suivants : légumes qui ne sont consommés que cuits, légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire*).
- La présence de clostridium sulfito-réducteurs dont le nombre varie de 30 à 70 UFC /100 ml, ainsi que la présence de streptocoques D dont le nombre oscille entre 10^2 à 6.10^2 UFC /100ml.
- les analyses de l'année 2015 ont montré une absence des œufs d'helminthe.

Ce qui classe notre station d'épuration dans la catégorie 3 pour la réutilisation municipale (voir annexe n° V).

Il faut savoir que la survie des microorganismes est très variable suivant les conditions du milieu récepteur, retenons simplement que la présence des particules en suspension favorise la survie des bactéries et des virus, ainsi que la présence des matières organiques comme source de nutriments (N, C, P, etc.).

IV.2.2. Analyse des boues :**Tableau IV.10 :** Résultats de l'analyse des boues.

Mois	Quantité des boues produits m ³	MVS des boues produites	Siccité moyenne à la sortie de la déshydratation (%)	Poids en matières sèches (Kg Ms)	Quantité de boues produites estimées Kg Ms
Jan 2015	444	-	13.04	57203	139090
Fev 2015	228	53.02	13.52	30826	143884
Mars 2015	204	52.15	14.98	30559	197201
Avril 2015	660	59.77	13.83	91278	191817
Mais 2015	576	66.04	13.01	74938	189281
Juin 2015	756	64.33	13.31	100624	194279
Juillet2015	600	65	12.93	77520	194.268
Aout 2015	1014	64.41	13.75	139425	210250
Sep 2015	750	60.84	13.88	104100	200550
Oct 2015	708	56.61	15.16	107333	173379
Nov 2015	372	60.63	15.80	58776	161943
Dec 2015	-	62.23	14.83	-	-

a. Paramètres physicochimiques :Matière organique :

La valeur mesurée de la matière organique de notre boue analysée varie entre 52.15 et 66.04 % .c'est la valeur habituellement rencontrée dans une boue secondaire « 50 à 70% ».

PH :

La valeur moyenne mesurée du PH pour notre boue est de 6.45. Cette dernière est conforme aux valeurs habituelles rencontrées dans une boue secondaire « 6.5 à 7.5 ».

b. Eléments traces métalliques (ETM) :**Tableau IV.10 :** résultats des analyses des éléments traces métalliques (ETM) :

	Lieu d'analyse	Date de prélèvement d'échantillon	Résultats Mg/kg	Norme NA 17671
Chrome	Laboratoire Central de la direction générale ONA Baraki Alger	Echantillon moyenne de 27/07/2015 au 09/08/2015	24	1000
Nickel			27	200
Cuivre			109	1000
Cadmium			1	20
Plomb			71	800
Zinc			525	3000
Cu + Zn+Ni+Cr			757	4000

Les valeurs de nos échantillons analysés ne dépassent pas les valeurs limites admises par la norme Algérienne NA 17671 pour les éléments traces métalliques.

C. Paramètres microbiologiques :**Tableau IV.11 :** résultats des analyses microbiologiques des boues

Paramètres analysés	Unités	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Les moyennes	Norme AFNOR NFU 44.041
Escherichia coli	/g.MB	$2 \cdot 10^5$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^4	10^4	10^4	$7,5 \cdot 10^3$	10^3 à 10^4
Entérocoques	/g.MB	10^4	$2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	10^4	$1,6 \cdot 10^4$	10^4 à 10^5
Clostridium perfringens	/g.MB	80	10^2	10^2	10^2	$2 \cdot 10^2$	10^2	$1,1 \cdot 10^2$	10^2 à 10^3
Œufs d'helminthes	Dans un g.MB	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	-	Abs
Listeria monocytogenes	/g.MB	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	-	Abs
Coliformes fécaux	/g.MB	-	-	-	$2 \cdot 10^4$	10^4	10^4	$1,3 \cdot 10^4$	-
Salmonella	Dans un g.MB	-	-	-	1	2	2	1,666	Abs
Shigelles	/g.MB	-	-	-	3	5	5	4,333	-
Kystes de giardia	/g.MB	-	-	-	2	2	2	2	-

Laboratoire Guerffa et associé (Borj el kiffan).

L'analyse microbiologique de nos échantillons montre :

- L'absence des agents pathogènes (listeria monocytogenes), ce qui est conforme à la norme qui exige l'absence de ces agents pathogène dans 1 g de matière brute.
- L'absence des œufs d'helminthes.
- La présence de la bactérie Escherichia coli avec des valeurs conformes à la norme.
- La présence de clostridium perfringens avec des valeurs conformes à la norme.
- La présence d'Entérocoques avec une valeur conforme à la norme.

- La présence de coliformes fécaux dont le nombre varie de 10^4 à 2.10^4 dans 1g de matière brute. Ainsi que la présence de kystes de giardia avec le nombre de 2 dans 1g de matière brute.
- La présence des salmonelles dont le nombre varie entre 1 et 2 dans 1g de matière brute, ces valeurs sont supérieures à la norme préconisée qui exige l'absence des salmonelles dans 1g de matière brute.

La STEP de Boumerdes produit donc des boues conformes pour les paramètres bactériologiques, sauf la présence des salmonelles.

IV.3.Conclusion sur les résultats d'analyse :

Eau :

Les valeurs obtenues pour les eaux usées épurées de la STEP de BOUMERDES, Montrent :

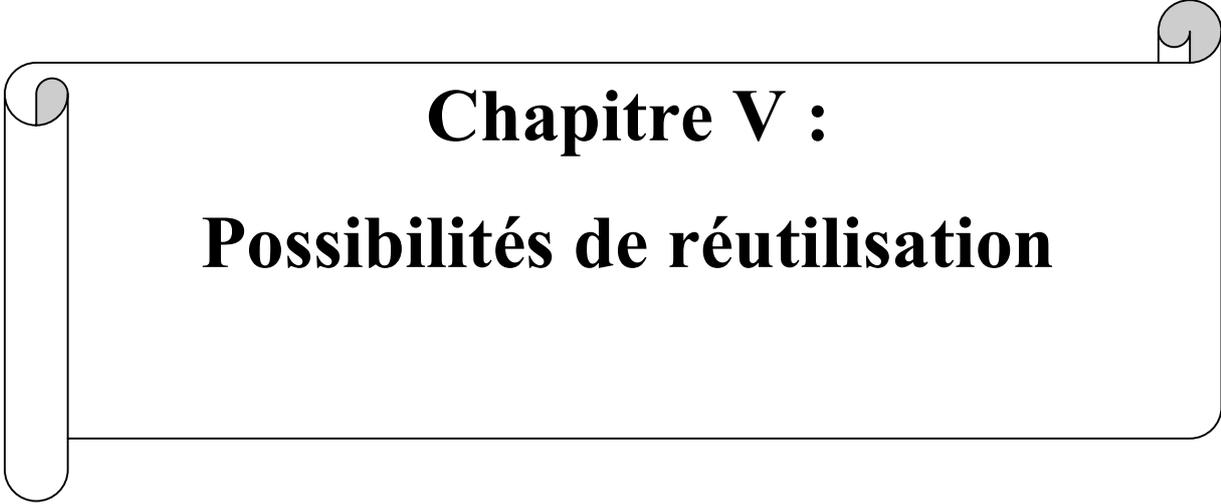
- Une conformité aux normes de tous les paramètres physicochimiques.
- Pour les analyses microbiologiques, les valeurs obtenues montrent la présence des germes pathogènes et des valeurs conformes pour les coliformes fécaux.
- Pour ce qui est de la parasitologie, les œufs d'helminthes n'ont pas été retrouvés, les œufs d'helminthes peuvent avoir des conséquences néfastes sur la santé publique et de ce fait un traitement tertiaire s'impose.
- Pour ce qui est de la qualité physicochimique des eaux épurées, les normes algériennes sont respectées.

La station d'épuration de BOUMERDES n'est pas dotée d'un système de désinfection des eaux usées épurées prévu en cas d'éventuelle REUE donc les eaux épurées sont rejetées dans le milieu naturel (oued TARTAG par conséquent la mer) à la fin du traitement secondaire (clarificateur), toutefois elles doivent faire l'objet d'un traitement complémentaire ou tertiaire dans le but de réutilisation.

Boues :

Concernant les résultats obtenus, montrent que les boues ne sont pas contaminées en éléments tracés métalliques (ETM) ni en éléments microbiologique.

Nous pouvons dire que notre boue ne présente aucune contrainte quant à son utilisation agricole donc elle est prête à être épandu en agriculture.



Chapitre V :
Possibilités de réutilisation

V. Domaine de réutilisation des eaux épurées de la STEP de Boumerdes

V.1. Réutilisation à des fins agricoles :

V.1.1. Identification et localisation des zones pour la réutilisation des eaux épurées de la zone d'étude ainsi que les cultures existantes :

Les terres concernées par la réutilisation des eaux épurées sont les terres à exploitation agricole collective et les exploitations agricoles individuelles : les terres agricoles des 3 communes (BOUMERDES, CORSO, TIDJELABINE)

Tableaux V.1 : Récapitulatif des potentiels agricoles de la zone de Boumerdes

Commune	Surface agricole non irrigué Ha	Surface agricoles irriguées Ha	Surface agricole utile (SAU) Ha	Surface agricole total (SAT) Ha
BOUMERDES	568	127	695	1356
CORSO	728	502	1230	1652
TIDJELEBINE	1004	363	1367	1876
Total	2300	992	3292	4884

Source : Direction des services agricoles

D'après les données obtenues nous avons trouvées que les surfaces irriguées représentent 30 % de la SAU, ce qui montre un besoin significatif d'eau d'irrigation, alors que la surface en déficit d'eau d'irrigation est à l'ordre de 2300 Ha

Ce qui encourage la réutilisation des eaux épurées de la station d'épuration de BOUMERDES à des fins agricoles mais après la mise en place de systèmes de désinfection.

V.1.2. Analyse des sols de la zone d'étude :

1. Textures des sols de la région :

Les analyses granulométriques ont pour but de déterminer la texture des sols agricoles de la région de Boumerdes.

Tableau V.2 : Récapitulatif des analyses granulométriques des sols de la zone d'étude

Commune	Profil 1			Profil2	Profil 3		Profil 4		Profil 5		Profil6
	H1	H2	H3	H1	H2	H1	H1	H2	H1	H2	H1
Boumerdes	LS	LS	LS								
Corso				LS	LS	E	LS				
Tedjelabine								E	-	S	LS

(DRE DE BOUMERDES 2015 Extraie de document de LHCC unité de Oued smar, 2013)

LS : Limono-sablo ; SL : sablo-limono ; S : sableuse ; E : équilibré ; H : horizon

On remarque la dominance de la structure limono sablo sur l'ensemble des horizons examinés, cela est dû à l'emplacement de ces terres agricoles qui sont proche de littoral.



Profile pédologique du domaine MAHSSAS
Commune de Tidjelabine



Profile pédologique du domaine Malek
Commune de Tidjelabine

Figure V.1 : profiles pédologiques de la commune de Tidjelabine.



Profile pédologique du domaine GUEDOUIRI Commune de

Figure V.2 : profile pédologique de la commune de CORSO.



Profile pédologique du domaine KONTAR Commune de BOMERDES

Figure V.3 : profile pédologique de la commune de BOMERDES.

2. Paramètres chimiques des sols de la région :

Tableau V.3. Récapitulatif des analyses chimiques des sols de la zone d'étude.

	Valeurs	Observation
Matières organiques	varie entre 0.14 et 2.03 %	sols très pauvres à moyennement pourvus en matière organique.
PH	varie entre 6.71 et 7.80	Sols neutre
Calcaire CaCO₃	0 % et 3,44 %	Sols non calcaire à peu calcaire
Phosphore Pt	varie entre 1.17 et 4.35‰	Sols très pauvres a pauvres en phosphore
Potassium total	varie entre 0.85 et 2.66 ‰	Sols très pauvres en potassium
Azote	varie entre 0,50 et 1.76 ‰	Sols pauvres en azote

(DRE de Boumerdes 2015 Extrait de document de LHCC unité de Oued smar, 2013)

3. Conclusion sur les analyses des sols :

A travers les données obtenues des résultats d'analyse des sols des différents horizons de la région de Boumerdes :

- Les sols sont pauvres en éléments nitrique.
- Le type des sols dominants est limon-sablo.

Nous pouvons dire que les sols de la région d'étude sont en majorité apte pour l'agriculture et qui ne présente pas des contraintes pour les propriétés suivant :

- Capacité de rétention de l'eau.
- Erosion
- Drainage

4. Culture pratiquées dans la zone d'étude

Tableau .V.4 : Récapitulatif de principales cultures pratiquées dans la zone d'étude.

désignations	Cultures	Sec Ha	Irrigue Ha	Total Ha
Cultures assolées	Céréales	220.5	-	220.5
	Légumes sec	12	-	12
	Cultures maraichère	1107.5	449	1556.50
	Plasticulture	-	12.72	12.72
	Fourrages	1141	-	1141
	Total	2481	461.72	2942.72
Cultures pérennes	Vigne	279	-	279
	Agrumes	-	193.25	193.25
	Oliviers	115.5	-	115.50
	Rustiques	37	-	37
	Pepins	4.5	44.25	48.75
	Noyaux	99.25	-	99.25
	CPM	12	-	12
	Total	547.25	237.50	784.75

Source : Direction des services agricoles

V.1.2. Besoin en eau de l'irrigation pour la zone d'étude :

Tableau V.5. : Besoin en eau d'irrigation de la zone d'étude

Besoin en eau de la commune	Horion 2040
Besoin en eau de <i>Boumerdes</i> pour l'irrigation Hm ³ /an	2.60
Besoin en eau de <i>Corso</i> pour l'irrigation Hm ³ /an	3.30
Besoin en eau de <i>Tedjelabine</i> pour l'irrigation Hm ³ /an	4.52

Source : DRE de BOUMERDES, 2015

La STEP de Boumerdes produit actuellement 4.85 Hm³/an, et 5.84 Hm³/an après la remise à niveau (STEP + extension) ; cela permet la couverture de la majorité des terres agricoles des communes BOUMERDES et CORSO, l'intégration des terres agricoles de la commune de TEDJELABINE et la partie sud de corso se fera progressivement à partir de la STEP projetée de BOUDOUAOU.

V.1.3. Techniques d'irrigation proposées

Tableau V.6 : Techniques d'irrigation proposées

Méthode d'irrigation	Relief	Cultures	Remarques
Irrigation par Goutte à goutte (localisée par goutteurs)	Toutes les formes de relief convient aux cultures en lignes	Cultures en lignes	Un apport d'eau au pied de chaque plante Bonne technique pour terres grossières ou très sableuse.
Irrigation par Aspersion	Terrain ondulé de pente comprise entre 1 – >35 %	Toutes cultures	

Ce sont des systèmes qui consistent à répartir l'eau d'irrigation sur la parcelle par un réseau de conduites à faible pression et à localiser l'apport d'eau au voisinage des plantes cultivées.

Seule une certaine fraction du volume du sol, exploitable par les racines, sera humidifiée.

Les débits apportés à chaque zone humidifiée sont faibles (quelques litres à quelques dizaines de litres par heure).

Ces deux techniques d'irrigation sont les mieux adaptées à la réutilisation des EUE en irrigation, cela pour limiter le contact Homme/ EUE et plante/ EUE



Figure V.4 : Irrigation localisée par goutte à goutte.

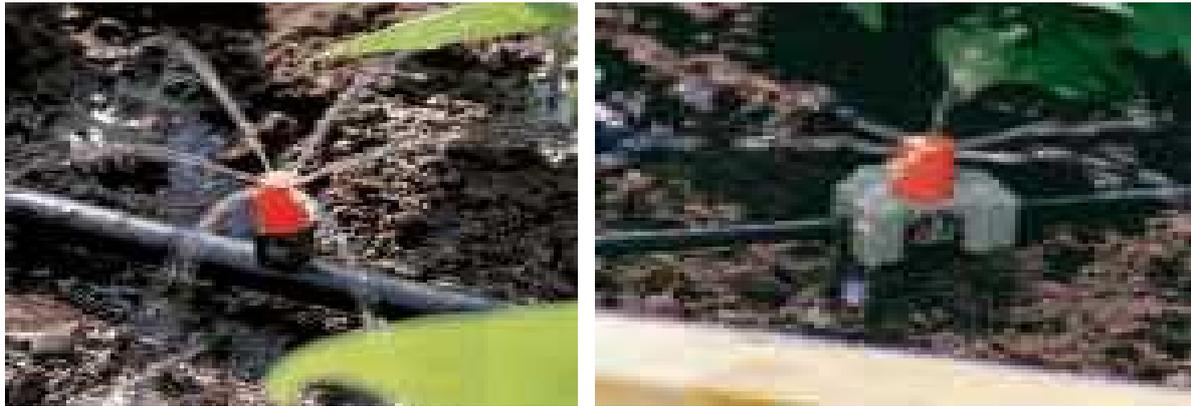


Figure V.5 : Micro-asperseur.

V.1.4. Interprétation de la qualité des eaux pour l'utilisation agricole avant la mise en place d'un système de désinfection :

Après l'analyse des différents paramètres d'intérêt de la réutilisation agricole des eaux épurées de la station d'épuration de BOUMERDES, on sort par les conclusions suivantes :

- Notre eau épurée est conforme à la norme algérienne pour la réutilisation donc on peut réutiliser mais sous certaines conditions.
- Notre eau épurée a une forte conductivité ce qui donne le caractère d'une eau à une forte salinité donc on ne peut pas utiliser pour tous type de sol et tous type de culture.

Donc notre eau épurée doit être utilisée pour des cultures tolérantes au sel.

Actuellement la station de BOUMERDES n'est pas dotée d'un système de désinfection pour éviter le risque biologique. L'irrigation des cultures consommées crues est interdite jusqu'à l'installation d'un système de désinfection.

Pour cela nous proposons de réutiliser les eaux épurées pour l'irrigation des arbres fruitiers (vigne, orange, ...) et des cultures qui ne sont consommées que cuites.

V.1.5. Première réutilisation des eaux de la STEP de Boumerdes :

L'irrigation avant la mise en place d'un système de désinfection est limitée pour 2 agriculteurs de la commune de Corso dans le domaine de GUEDOUARI sur une surface de 59 Ha, pour l'irrigation de deux cultures seulement (vigne, oranges) durant les 3 mois d'été (juillet, août, septembre).

Tableau V.7 : Réutilisation des eaux de la STEP de BOUMERDES

Mois	Volume d'eaux épurées m ³	Volume d'eaux réutilisées m ³	Site	Type de culture	Surface ha
Juillet 2015	528620	85053.60	ELFLICI	Vignes	25
				Oranges	9
			RAHMMOUN	Vignes	25
Aout 2015	572110	75247.2	EFLICI	Vignes	25
				Oranges	9
			RAHMMOUN	Vignes	25
Sep 2015	544351	27298.40	ELFLICI	Vignes	25
				Oranges	9
			STEP	Arrosage des espaces verts de la STEP	-

a. Stockage des eaux épurées destinées à l'irrigation des champs des deux partenaires :

Le stockage des eaux épurées destinées à l'irrigation des deux champs d'agriculture se fait dans deux bassins de stockage différents comme le montre la figure suivante :

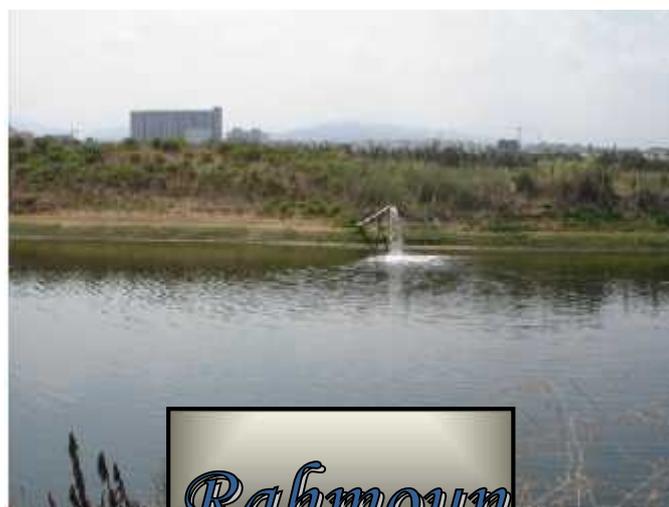


Figure V.6. Bassins de stockage des eaux épurées des deux agricultures.



VIGNES



ORANGES

Figure V.7 : les deux cultures irriguées par les eaux épurées de la station d'épuration de BOUMERDES

b. L'effet d'eaux épurées sur le système d'irrigation utilisé dans les deux sites d'irrigation :

La technique d'irrigation utilisée par les deux fellahs Elflici et Rahmoun est l'irrigation localisée (goutte à goutte).

D'après notre investigation les eaux épurées non pas d'influence sur la technique d'irrigation utilisé dans les deux champs cela est dit à la faible concentration de MES.



Figure V.8. Technique d'irrigation utilisée.

c. Effet sur le sol :

L'effet de l'irrigation par des eaux épurées est le risque d'augmentation à long terme (10 ans Au minimum) la salinité des sols ainsi que le bouchage des vides dans la couche supérieur de sol ce qui produit une mal aération de sol.

Pour notre cas l'irrigation ce fait seulement en trois mois à des fréquences faibles ce qui rend le risque de salinisation des sols faible. Et pour éviter le risque de colmatage des sols nous recommandons l'opération de labourage périodique pour l'aération des sols et la dégradation des matières organiques dans le sol.

d. L'effet des eaux d'épuration sur le rendement des deux sites d'irrigation :

D'après les services concernés il y a une amélioration de rendement des deux sites d'irrigation.



Figure V.9 : vignes des sites irrigués par les eaux épurées.

f. Effet sur la santé des consommateurs :

D'après les services concernés aucun problème sanitaire n'a été enregistré.

V.1.6.Recommandation pour l'amélioration de la qualité des eaux épurées:**Etude technique de système de désinfection :**

Systèmes de désinfection :

- Chloration-déchloration.
- Radiation par ultraviolets UV.
- Lagunes de désinfection.

Tous ces systèmes de désinfection doivent être prévus par une filtration à sable.

Dans le but de rétention des matières en suspension et en particulier des floccs qui s'échappent de la décantation et aussi pour diminuer la turbidité et la salinité des eaux épurées.

Tableau V.8 : comparaison entre les différents systèmes de désinfections

Paramètres	Chloration-déchloration	Radiation par ultraviolets	Lagunes de désinfection
Inactivation bactérienne	bonne	bonne	bonne
Inactivation virale	faible	bonne	faible
Toxicité pour la vie aquatique	faible	absence	absence
Formation de produits secondaires nuisibles	oui	absence	absence
Risque pour la sécurité publique et le personnel exploitant	oui	absence	absence
Fiabilité des équipements	bonne	bonne	pas d'équipement
Transport et approvisionnement	important	absence	absence

Après comparaison entre les différents systèmes de désinfection nous avons choisi le système de désinfection par UV car l'UV est meilleur que la Chloration-déchloration pour la sécurité de personnel et mieux que la lagune de désinfection parce que la lagune de désinfection est sensible à la variation de température.



Figure V.10 : Lampes UV

V.3. Autre voie de réutilisation des eaux épurées de la STEP de BOUMERDES :

V.3.1. Réutilisation municipale : usage urbain

D'après la qualité de notre eau épurée on peut l'utiliser pour tous types d'usage urbain, notre station d'épuration est classée dans la catégorie III voir ANNEXE V, dans notre cas nous proposons les types d'usage municipale suivants :

- L'irrigation des espaces verts en milieu urbain de la ville de BOUMERDES.
- Lavage des voiries de la ville de BOUMERDES.
- La protection contre l'incendie.
- L'utilisation par le service d'exploitation des réseaux d'assainissement de la ville de BOUMERDES dans le curage hydromécanique qui nécessite l'utilisation d'eau avec pression pour le débouchage des réseaux d'assainissement.

V.3.2. Réutilisation industrielle :

La ville de BOUMERDES est une ville qui ne comporte pas une zone industrielle. Mais on peut utiliser les eaux de la STEP de BOUMERDES dans les travaux des constructions.

V.4. Valorisation des boues :

V.4.1. Epandage agricole :

Concernant les résultats obtenus, montrent que les boues ne sont pas contaminées en éléments traces métalliques (ETM) ni en éléments microbiologiques.

Les analyses des sols montrent un approvisionnement de sols d'élément nutritif, ce qui encourage ce type de valorisation et la rend la voie principale de la valorisation des boues de la station d'épuration de BOUMERDES.

Nous pouvons dire que notre boue ne présente aucune contrainte quant à son utilisation agricole donc elle est prête à être épandue en agriculture.



Figure V.11 : épandage agricole des boues

V.4.2. Valorisation énergétique (méthanisation):(amélioration des qualités des boues)

Nous proposons l'ajout de l'ouvrage de stabilisation (digesteur) des boues pour récupérer le biogaz.

Alimentation des digesteurs par:

- Un Mélange de Boues Primaires et /ou de Boues Secondaires.

Avec des concentrations suffisantes :

- Moyenne : 40 à 50 g/l.
- Optimum : 55 à 65 g/l.

Définition de la méthanisation :

La méthanisation (ou fermentation anaérobie) est un procédé biologique permettant de valoriser des matières organiques qui sont dégradées partiellement en l'absence de l'oxygène (digestion anaérobie), par l'action combinée de plusieurs types de micro-organismes qui conduit à la formation du biogaz qui est source d'énergie renouvelable et d'un digeste utilisé comme fertilisant.

Composition de biogaz :

Le biogaz est principalement constitué de méthane combustible et de gaz carbonique inerte. D'autres gaz peuvent venir s'ajouter de façon minoritaire dans la composition du biogaz : hydrogène, sulfure d'hydrogène (H₂S). La teneur de ces gaz dépend étroitement du déchet traité et du degré d'avancement de la méthanisation

Tableau V.9: composition de biogaz

Nature du gaz	Proportion (en %)
Méthane (CH ₄)	50 – 80
Dioxyde de carbone (CO ₂)	20 – 50
Hydrogène sulfuré (H ₂ S)	0 - 0,5

(ONA ,2015)

Propriétés de biogaz :

- Sensiblement plus léger que l'air, il produit deux fois moins de calories par combustion à volume égal que le gaz naturel.
- A masse égale, le méthane est un combustible plus efficace que le pétrole.

Le PCI est le pouvoir calorifique inférieur lorsque l'eau produite par cette combustion reste à l'état de vapeur: C'est la quantité de chaleur dégagée par la combustion totale de l'unité de quantité de combustible.

- Le PCI du méthane (à 0°C à pression atm) = 9,94 kWh/m³.
- Pour le biogaz, le PCI sera proportionnel à sa teneur en méthane.

Ex, pour un biogaz contenant 70% de méthane, le PCI sera de:

$$9,94 \times 0,7 = 6,96 \text{ kWh/m}^3$$

Equivalence énergétique de méthane :



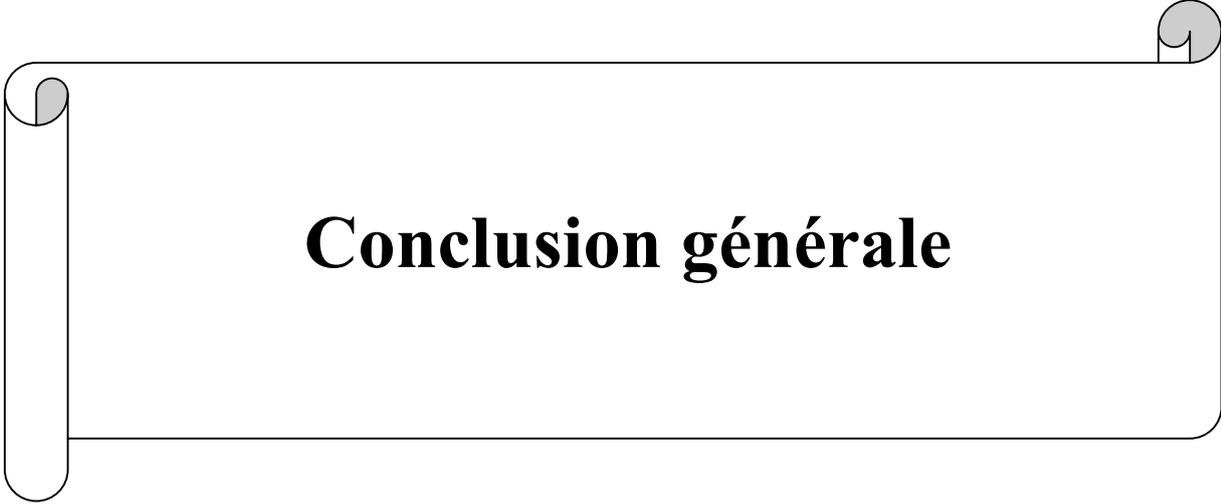
Figure V.12: Equivalence énergétique de méthane.

ATOUTS DE LA DIGESTION :

- Production d'un amendement organique;
- Diminution de la concentration en germes pathogènes

(10 à 100 fois inférieure) : technique d'hygiénisation.

- Un économiseur:
 1. Les coûts de transport des boues;
 2. Le dimensionnement des équipements (centrifugeuses, filtres, etc.);
 3. Le conditionnement des boues (réactifs, électricité).



Conclusion générale

Conclusion générale

Les résultats expérimentaux des analyses physicochimique et bactériologique des eaux épurées et des boues gênées par le traitement obtenus lors de cette étude montrent que les eaux épurées de la station d'épuration de la ville de BOUMERDES sont des effluents urbains à dominance domestique et sont d'une qualité favorable permettant de les réutiliser dans les différents domaines et beaucoup plus dans le domaine agricole sous certaines facteurs. (Type de sol, technique d'irrigation, culture pratiquée)

L'utilisation des eaux épurées dans l'irrigation des cultures contribue à augmenter les réserves d'eau destinées à l'agriculture et permettant ainsi d'augmenter le rendement.

Nous avons recommandé l'installation d'un système de désinfection combiné entre la filtration à sable et l'ultraviolet UV pour améliorer la qualité de l'effluent épurés, et pour permettre la réutilisation des eaux épurées dans les différents domaines sans risque.

Avant la mise en place d'un système de désinfection la réutilisation des eaux épurées est limitée aux cultures suivant : légumes qui ne sont consommés que cuits, Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire, Arbres fruitiers, Arbres forestiers, cultures et arbustes fourragers, cultures industrielles Cultures céréalières,

Après la mise en place de système de désinfection la réutilisation regroupe tous type de culture

Actuellement le volume réutilisée de la step de BOUMERDES est de 187599,2 m³/ an dans le domaine de GUEDOUIRI pour les deux agriculteurs (RAHMOUN et ELFLICI) pour l'irrigation seulement de 59 ha des vignes et oranges alors que le volume annuelle des eaux épurées est de 5.4 Hm³/an ce qui donne un pourcentage de réutilisation très faible de l'ordre de 3,47 % alors que la surface non irriguée de la daïra de BOUMERDES est de 2300 Ha ce qui représente 69 % de surface agricole utile (3292 Ha) .ce qui encourage la réutilisation des eaux épurées pour répondre aux besoins de l'irrigation .

L'étude de l'impact de cette faible réutilisation a montré que :

- Aucune influence sur l'appareillage de l'irrigation.
- Aucun problème sanitaire n'a été détecté.
- Pas d'effet remarquable sur les paramètres de sol.

Pour une approche plus globale, les analyses des sols de la région de BOUMERDES ont montré l'aptitude à recevoir des quantités assez importantes d'éléments chimiques nutritives car ils sont pauvres en éléments nutritive.

Conclusion générale

Sur une étude technico-économique nous avons recommandé les systèmes d'irrigation par goutte à goutte ou la micro asperseur pour économiser l'eau et aussi pour diminuer le contact eau épurée –homme et aussi eau épurée- plant

Pour la valorisation des boues nous avons proposé l'épandage agricole des boues pour diminuer l'utilisation des engrais chimique pour augmenter la valeur financière des terrains irrigués en assurant des bénéfices économiques importants aux agriculteurs. Et dans ce cadre nous avons proposées une amélioration de qualités des boues par la méthanisation qui permet de récupérer une quantité de biogaz en plus de ça elle contribué à la Diminution de la concentration en germes pathogènes (10 à 100 fois inférieure) : technique d'hygiénisation et la production amendement organique.

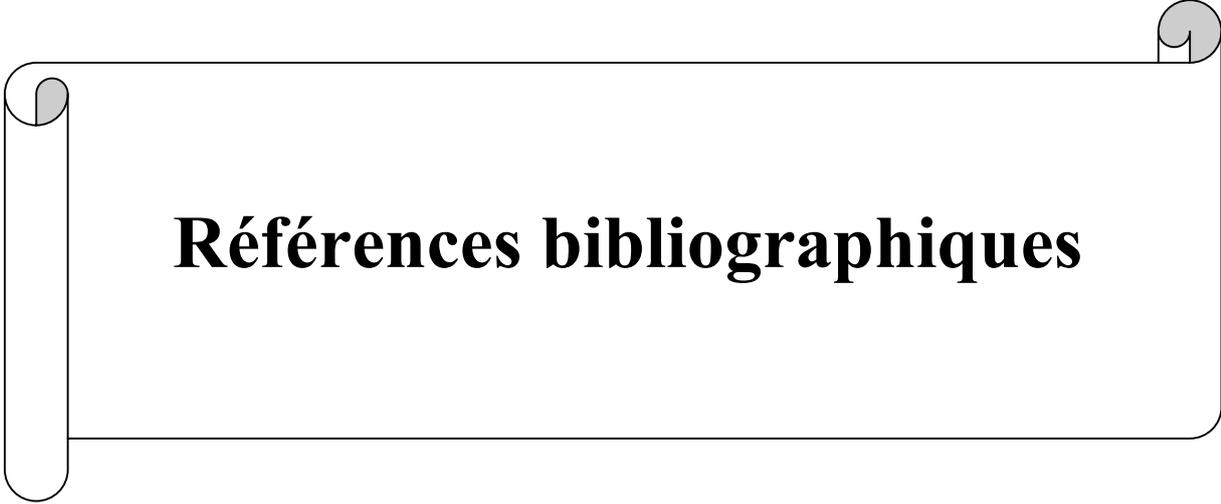
Un suivi de sols s'avère nécessaire pour évaluer l'évolution des éléments nutritives ainsi que les éléments tracés dans le sol et aussi les paramètres physicochimiques des sols.

La réutilisation municipale des eaux épurées est possible pour le lavage des voiries de BOUMERDES 12 m3 par mois pour lavage des voiries de la ville.

On proposé de réutilisée les eaux épurées pour le curage préventif des réseaux d'assainissement de la ville de BOUMERDES

En fin nous recommandons :

- Une rotation de l'utilisation des eaux épurées au niveau des parcelles pour éviter le colmatage du sol.
- Le choix de système d'irrigation adéquat.
- Valorisation des boues comme engrais.
- Le contrôle permanent de qualité des eaux épurées ainsi que les boues.
- Le contrôle permanent des personnes exposées aux eaux épurées.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

Asano, T. (1998). Wastewater reclamation and reuse, 1528 pp. Water quality management library, 10. 11 vols. CRC Press.

Baumont, S. (2004). Réutilisation des eaux usées épurées : risques et faisabilité en Ile de France. Rapport de stage, ENSAT (Toulouse).

Catherine Boutin, Alain Héduit, Jean-Michel Helmer (Novembre 2009) Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT).

Dahab M.F. (2011) Wastewater Reuse: International Regulations and Trends. Water Arabia 2011, Manama, Bahreïn, 31 janvier-2 février 2011.

Devaux I. Intérêts et limites de la mise en place d'un suivi sanitaire dans le cadre de la réutilisation agricole des eaux usées traitées de l'agglomération clermontoise. Thèse « Sciences de la Vie et de la Santé », univ. Joseph Fourier, Grenoble, 1999, 257 pages.

Ecosse D, (2001). Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. Qualité et gestion de l'eau .fac.sciences.amiens.62 p.

Fazio A,(2001). Principe et performances de la filière de traitement et de la réutilisation des eaux résiduaires urbaines .colloque de Noirmoutier ,10p.

Faby, J.A. (1997). L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation, Document technique, FNDAE, Hors série n°1180 pp

FAO (2010) The wealth of waste - The economics of wastewater use in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Water Report 35, Rome, Italie, ISBN 978-92-5-106578-5, 142 p.

Lazarova V., Brissaud F. (2007) Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des Eaux usées en France. L'Eau, l'Industrie, les Nuisances, N° 299, 43-53

Le maire et les boues d'épuration, Rédigé par Emmanuel ADLER ACONSULT,

LE DEGREMONT- MEMENTO génie biologie des eaux usées- ;chapitre4: processus élémentaire du génie biologie de traitement de l'eau. Ed lavoisier, 1989;

Monchalain, G.(1999) repris par Aviron-Violet, J. (2002). La réutilisation des eaux usées après traitement, 39 pp, édité par le CGGREF, 22

OMS (1989). L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquiculture : recommandations à visées sanitaires, 84 pp, 778 (série de rapports techniques), Genève

PNUE/PAM-Plan Bleu (2009) Etat de l'environnement et du développement en Méditerranée. Programme des Nations Unies pour l'environnement / Plan d'action pour la Méditerranée (PNUE/PAM)-Plan Bleu, Athènes, ISBN 978-92-807-3061-6, 208 p.

TFYECHE LYES, Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées d'Ouargla au cours de leur traitement, MFE 2014 (UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA)

UNEP ET Global Environment Centre Foundation (2005) Water and wastewater reuse – An environmentally sound approach for sustainable urban water management. 48 p.

UNEP (2003) Récupération et réutilisation des eaux usées dans la région Méditerranéenne. UNEP(DEC)/MED WG.231/Inf.5, 77 p.

WHO, W.H.O., Who guidelines for the safe use of wastewater excreta and greywater. 2006

René Thomas, Unité d'Appui au PROGRAMME Appui au Secteur des Ressources en Eau en Algérie EUROPEAID/122241/C/SER/DZ, Élaboration de normes et de guides techniques pour l'utilisation des eaux usées épurées à des fins industrielles et dans des municipalités, de mission, Rapport de mission 5.2 Du 19 au 30 septembre 2010

Sites web:

www.ona.dz

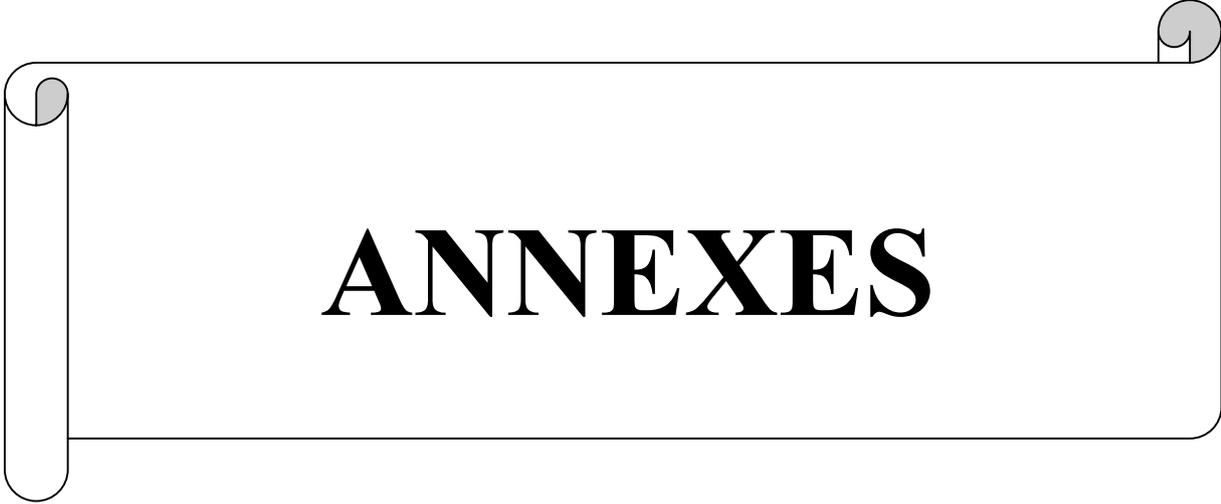
www.solidarites.org

www.worsleyschool.net

www.niaid.nih.gov

www.esemag.com

www.cnrs.fr



ANNEXES

ANNEXE I : Recommandations physico-chimiques pour la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture pour l'Algérie (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE, 2012).

Problème potentiel en irrigation	Unité	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à Modéré	Sévère
Salinité Conductivité électrique ou TDS	dS/m	< 0,7 < 450	0,7-3,0 450-2 000	> 3,0 > 2 000
Infiltration SAR=0-3 et CE = 3 - 6 = 6 - 12 = 12 - 20 = 20 - 40	dS/m	> 0,7 > 1,2 > 1,9 > 2,9 > 5,0	0,7-0,2 1,2-0,3 1,9-0,5 2,9-1,3 5,0-2,9	< 0,2 < 0,3 < 0,5 < 1,3 < 2,9
Toxicité spécifique des ions Sodium (Na) Irrigation de surface Irrigation par aspersion Chlorure (Cl) Irrigation de surface Irrigation par aspersion Bore (B)	SAR méq/L méq/L méq/L mg/L	< 3 < 3 < 4 < 3 < 0,7	3-9 > 3 4-10 > 3 0,7-3,0	> 9 > 10 >3,0
Effets divers Azote (NO ₃ -N) Bicarbonate (HCO ₃)	mg/L méq/L	< 5 < 1,5	5-30 1,5-8,5	> 30 > 8,5
pH	Gamme normale 6,5 - 8,4			

(a) sur moyenne de 24 heures.

(b) sauf dérogation particulière.

ANNEXE II : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE, 2012).

Paramètre	long terme (mg/L)	Court terme ^b (mg/L)
Aluminium	5.0	20.0
Arsenic	0.1	2.0
Béryllium	0.1	0.5
Bore	0.75	2.0
Cadmium	0.01	0.05
Chrome	0.1	1.0
Cobalt	0.05	5.0
Cuivre	0.2	5.0
Cyanures	0.05	0.5
Fluor	1.0	15.0
Fer	5.0	20.0
Phénols	0.005	0.002
Plomb	5.0	10.0
Lithium	2.5	2.5
Manganèse	0.2	10.0
Mercure	0.01	0.01
Molybdène	0.01	0.05
Nickel	0.2	2.0
Sélénium	0.02	0.02
Vanadium	0.1	1.0
Zinc	2.0	10.0

a : pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols.

b : pour l'eau utilisé pendant une période de 20ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalins.

ANNEXE III : paramètres microbiologiques dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE, 2012).

GROUPES DE CULTURES	PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES	
	Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs/1) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant être consommés crus	<100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits. Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	<250	<0,1
Arbres fruitiers (1). Cultures et arbustes fourragers (2). Cultures céréalières. Cultures industrielles (3). Arbres forestiers. Plantes florales et ornementales (4).	Seuil recommandé <1000	<1
Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).	pas de norme recommandée	pas de norme recommandée

(1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est à éviter.

(2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.

(3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.

(4) Une directive plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.

(6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées. Aucune population alentour.

ANNEXE IV : Spécifications physico-chimiques des eaux usées épurées destinées à réutilisation municipale selon l'UAP

Paramètre (a)	Symbole	Unité	Concentration maximale*
Ph			6,5 ≤ pH ≤ 8,5
Conductivité électrique	CE	dS/m	5
Demande chimique en oxygène	DCO	mg O ₂ /l	120
Matière en suspension	MES	mg/l	30
Chlorures	Cl	mg/l	2000
Sodium	Na	mg/l	1000
Pourcentage de Sodium adsorbé	SAR		10
Phénols		mg/l	0,002
Aluminium	Al	mg/l	5
Arsenic	As	mg/l	0,1
Béryllium	Be	mg/l	0,1
Bore	B	mg/l	2
Cadmium	Cd	mg/l	0,01
Cobalt	Co	mg/l	0,05
Chrome	Cr	mg/l	0,1
Cuivre	Cu	mg/l	0,2
Cyanures		mg/l	0,05
Fer	Fe	mg/l	5
Fluor	F	mg/l	1
Lithium	Li	mg/l	2,5
Manganèse	Mn	mg/l	0,2
Mercuré	Hg	mg/l	0,001
Molybdène	Mo	mg/l	0,01
Nickel	Ni	mg/l	0,2
Plomb	Pb	mg/l	5
Sélénium	Sé	mg/l	0,02
Vanadium	V	mg/l	0,1
Zinc	Zn	mg/l	2

* Une tolérance de 10 % maximum est acceptable pour une mesure à condition que ce dépassement ne se représente pas plus de trois fois pour des campagnes d'analyses consécutives

ANNEXE V- Spécifications biologiques des eaux usées épurées destinées à des usages municipaux selon l’UAP

Catégorie	Description	Groupe exposé	Paramètres microbiologiques		Traitement susceptible d’assurer la qualité microbiologique exigée
			Coliformes fécaux ⁽¹⁾ (CFU/100ml)	Nématodes intestinaux ⁽²⁾ (œufs/l)	
A	<ul style="list-style-type: none"> - Irrigation⁽³⁾ des espaces à accès non restrictif au public : Parcs et jardins⁽⁴⁾, golfs, ceintures vertes, arbres d’alignement des routes ou de zones médianes des autoroutes, dans le périmètre urbain, pépinières de plans ornementaux commercialisées pour le public (plantes d’appartement) - Utilisation des eaux épurées pour le nettoyage des voiries et lutte contre les incendies au niveau urbain en milieu naturel à l’extérieur du périmètre urbain 	Population Ouvriers et opérateurs (manutention)	<200	Absence	Catégorie III
B	<ul style="list-style-type: none"> - Les espaces à accès restrictif au public : irrigation⁽³⁾ des espaces verts urbains, espaces verts de zone médianes des autoroutes, ou espaces similaires 	Population Ouvriers et opérateurs (manutention)	<250	< 0,1	Catégorie III
C	<ul style="list-style-type: none"> - L’irrigation⁽⁵⁾ des pépinières ornementales⁽⁶⁾ dont les plants sont destinées aux espaces verts publics et forêts ou bois périurbains 	Population Ouvriers agricoles ou forestiers, pépiniéristes, personnel chargé de transport des plants, et opérateurs (manutention)	Seuil recommandé <1000	Seuil recommandé <1	Catégories II et III
D	<ul style="list-style-type: none"> - Certaines eaux de nettoyage, les eaux utilisées dans les travaux publics, et les eaux sanitaires de toilettes (chasses) 	Population Opérateurs	-	-	Catégories I et II

⁽¹⁾ La valeur limite pour les coliformes fécaux représente une moyenne géométrique

⁽²⁾ La valeur limite pour les œufs de nématodes représente une moyenne arithmétique

⁽²⁾ Irrigation mobile par camions – citernes pour plantes dispersées et irrigation selon un système localisé ou par aspersion pour les jardins et parcs. En cas de système par aspersion, l’irrigation doit s’opérer pendant le moment d’absence de public et en période non venteuse. Pour les golfs, adopter une irrigation souterraine (Sub-surface irrigation).

⁽³⁾ : sont exclus les jardins des établissements maternels, scolaires et hospitaliers

⁽⁴⁾: Irrigation par système localisé

⁽⁵⁾ : pour les plantes ornementales, bien distinguer cette catégorie avec celle citée dans la catégorie A

Précautions associées aux spécifications de qualité

Il est obligatoire de procéder à: (i) l’indication des Eaux Usées Epurées, en dehors de réseau de distribution non recommandé au contexte algérien, sur tous les autres ouvrages, équipements (citernes, bassins de stockage, etc.) ou canalisations avec une mention claire et visible et en adoptant une couleur différente et (ii) prévoir des panneaux de signalisation dans des jardins ou parcs indiquant que l’arrosage se fait par les eaux usées épurées

ANNEXE VI :Spécifications physico-chimiques pour les eaux usées épurées destinées à réutilisation industriel selon l'UAP

Paramètre (a)		Unité	Concentration maximale*
pH			$6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$
Demande chimique en oxygène	DCO	mg O ₂ /l	120
Matière en suspension	MES	mg/l	30
Chlorures	Cl	mg/l	2000
Phénols		mg/l	0,002
Aluminium	Al	mg/l	5
Arsenic	As	mg/l	0,1
Béryllium	Be	mg/l	0,1
Bore	B	mg/l	2
Cadmium	Cd	mg/l	0,01
Cobalt	Co	mg/l	0,05
Chrome	Cr	mg/l	0,1
Cuivre	Cu	mg/l	0,2
Cyanures		mg/l	0,05
Fer	Fe	mg/l	5
Fluor	F	mg/l	1
Lithium	Li	mg/l	2,5
Manganèse	Mn	mg/l	0,2
Mercuré	Hg	mg/l	0,001
Molybdène	Mo	mg/l	0,01
Nickel	Ni	mg/l	0,2
Plomb	Pb	mg/l	5
Sélénium	Sé	mg/l	0,02
Vanadium	V	mg/l	0,1
Zinc	Zn	mg/l	2

** Une tolérance de 10 % maximum est acceptable pour une mesure à condition que ce dépassement ne se représente pas plus de trois fois pour des campagnes d'analyses consécutives*

ANNEXE VII : table de MAC-GRADY.

Nombre de tubes positifs			NPP par 100 ml
3 de 10 ml	3 de 1 ml	3 de 0,1 ml	
0	0	1	3
0	1	0	3
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
2	2	1	28
3	0	0	23
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	48
3	1	1	75
3	1	2	120
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1100
3	3	3	1400