

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



*Ecole Nationale Supérieure Polytechnique*

*Département Hydraulique*



*Projet de fin d'études*  
*Pour l'obtention du diplôme*  
**D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE**

*Thème :*

*Etude des possibilités de réutilisation  
des eaux et des sous produits  
d'épuration dans l'agriculture : Cas  
des effluents de la station de  
Boumerdes*

*Proposé par: Mr M. NAKIB*

*Présenté par :*

*Mlle. LAMECHE EL-KHANSA*

*Dirigé par :*

*Promoteur: Mr M. NAKIB*

*Co-promoteur: Pr. A. KETTAB*

*Année universitaire : 2010/2011*

## تلخيص:

إن مشكلة دراستنا تبحث عن فرص لاستخدام المياه العادمة المعالجة والحماة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في منطقة من الأراضي الزراعية المروية كان محدودا تحقيقنا لمحطة معالجة المياه في ولاية بومرداس. وكجزء من العمل، ونفذنا من الموقع عددا من الإختبارات على المياه العادمة المعالجة والحماة الناتجة عن المعالجة وقد أجرينا أيضا مجموعة من تحقيقات أخرى نفذت في مختبرات متخصصة كلمات البحث: معالجة المياه، المياه المعالجة والحماة، معالجة المياه وإعادة استخدامها، الإنتعاش

## Résumé :

La problématique de notre étude a été la recherche des possibilités d'utilisation des eaux usées traitées et des boues à partir d'une station d'épuration dans le domaine de terres agricoles Notre investigation s'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 bous générée par le traitement, nous avons procédé également au recueil d'autres analyses effectuées par des laboratoires spécialisés.

**Mot clés :** Eau usées, Eau traitée, boues, station d'épuration, réutilisation, valorisation.

## Abstract :

The aim of this work is to set the possibilities of using purified water and treaten mud from a water-treatment plant used for irrigati.

Our investigation had to the treatment station of the wilaya boumerdes.

Within our research, we have made number of analyses on waters drafts and on the mud generated by the treatment, we have also proceeded to the collection of other analyses made already by specialized laboratories.

**Keywords:** waste waters, treated water, mud, water-treatment plant, va loration, reutilization.

# Remerciement

Cette thèse n'aurait jamais vu le jour sans l'aide de **DIEU**, le tout puissant, pour m'avoir donné la santé, le courage, la patience, la volonté et la force nécessaires, pour venir à bout de toutes les difficultés que j'ai dû croiser tout le long de mon chemin d'études.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements, en premier lieu, à mon promoteur **Mr. Maamar Nakib**, d'abord, pour avoir accepté à superviser mon projet de fin d'étude, ensuite pour m'avoir prodigué conseils durant toute la période qu'on a passée ensemble pour concevoir et élaborer ce document. Je le remercie surtout pour son entière disponibilité et sa patience. J'affirme ici que **M. Nakib** a été un promoteur exemplaire auquel je voue toute mon admiration et ma gratitude.

J'adresse également mes remerciements particuliers à mon co-promoteur **Mr Pr. Ahmed Kettaf** qui m'a bien aider dans la réalisation de mon PFE.

Je tiens à remercier **Mr. Pr. Ben Rrachedi Khaled** pour avoir accepté d'être Président de mon jury de Thèse. Je remercie **Mr Benziada Salim** d'avoir accepté d'examiner mon travail. Mes remerciements vont ensuite à **Mr Achour Mouloud** directeur de la station d'épuration des eaux usées de Boumerdes qui m'a autorisé à accéder à la station et les information qui m'ont permis d'accomplir mon travail dans des conditions optimales.

Je tiens à remercier chaleureusement, également, les laborantines de la station de Boumerdes et les gens de laboratoire de la station d'épuration de Beraki qui ont orienté mon travail, de leurs disponibilités durant ces trois derniers mois et leurs soutiens qui ont permis de mener à bien mon travail au sein de la STEP de Boumerdes.

Mes remerciements à tous les enseignants du département, pour la formation qu'ils nous ont donné durant les 3 années de spécialité. Merci à toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet . que ce soit par son amitié, ses conseils ou son soutien moral.

## *DEDICACES*

*Je dédie ce travail :*

*Je dédie ce modeste travail d'abord à mes très chers parents, que Dieu les protège, pour tout leurs sacrifices corps et âme afin de m'offrir le repos et le bonheur. Pour l'éducation qu'ils m'ont inculquée, pour leur soutien moral et matériel dont j'ai bénéficié à chaque fois que j'en ai en besoin, pour l'amour et la tendresse qu'ils m'ont réservé et la patience et le dévouement qu'ils m'ont insufflés.*

*A mon cher mari Chaker qui m'a toujours donné l'envie de continuer mon travail, de leur confiance, leur patience, leur générosité et leur disponibilité durant ces deux dernières années;*

*A mon frère El-tabari ainsi qu'à mes sœurs Soumia, Hadjer, Romaiïssa et khaoula;*

*A ma nièce Ferdousse;*

*A toute ma famille et ma belle famille Ahmed Malek;*

*A mes amies qui ont rendu mes journées à la city universitaire EL ALIA plus agréables : Djahida, Wafa et sa sœur Imene, la jéjélienne Iméne, Hanane, Djahida et sa sœur Houda de BBA, Fazia, Chafia, Radia, Amina...*

*A mes camarades de promo « les hydrauliciens 2011 » à qui je souhaite la réussite.*

*A toutes les personnes qui travail au niveau de la direction générale de la wilaya de Sétif qui m'ont soutenue dans ce projet.*

## Liste des tableaux

Tableau I. 1:pollution journalière par habitant pour 150 à 200 litres d'eau .....	14
Tableau II. 1 : Les principaux critères de qualité à respecter pour l'irrigation. ....	36
Tableau II. 2 : le risque dû la salinisation dans les eaux épurées.....	37
Tableau II. 3: La table de calcul de la minéralisation.....	37
Tableau II. 4: les Dommages dû à la salinisation. ....	38
Tableau II. 5: normes d'irrigation selon FAO et l'OMS.....	39
Tableau II. 6:Classification des métaux en fonction de leur dangerosité et de leur intérêt agronomique	41
Tableau II. 7:Recyclage des eaux usées des 4 régions de l'Algérie du Nord en 2020 .....	41
Tableau II. 8: les surfaces irriguées par les eaux usées épurées. ....	50
Tableau IV. 1 : Fiche technique des Huit (08) stations de relevage de Boumerdes.....	66
Tableau IV. 2 : Objectif du traitement de la STEP de BOUMERDES .....	68
Tableau IV. 3 : caractéristiques de l'eau a traité de la STEP de BOUMERDES .....	68
Tableau IV. 4 : Caractéristiques de l'épaississeur .....	74
Tableau IV.5 : Caractéristiques de super-press. ....	75
Tableau V. 1 : Fréquences des analyses effectuées au niveau de la station de Boumerdes .....	77
Tableau V. 2 : Biodégradabilités des effluents. ....	84
Tableau V. 3 : les différents paramètres du SAR mesurés.....	88
Tableau V. 4 : Les valeurs limites des métaux lourds dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation. ....	90
Tableau V. 5 : Représentation des résultats des analyses bactériologiques des eaux usées épurées de la STEP de Boumerdes.....	91
Tableau V. 6 : Représentation des résultats des analyses des parasites dans les eaux usées épurées de la STEP de Boumerdes .....	91
Tableau V. 7 : Le pourcentage des éléments fertilisants dans la boue de Boumerdes.....	93
Tableau V. 8 : Les valeurs limites des métaux lourds dans la boue .....	94

## Liste des figures

Figure I. 1: étapes du traitement .....	17
Figure I. 2: Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien .....	20
Figure I. 3: symoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique .....	22
Figure I. 4: Synoptique d'une boue activée - aération prolongée .....	23
Figure I. 5: Evaluation de la croissance des microorganismes. [11] .....	25
Figure I. 6: Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel. ....	26
Figure III. 1: L'épandage des boues liquides réalisé par le biais de lisier. ....	62
Figure IV.1 : L'arrivée de l'eau.....	70
Figure IV.2 : dègrilleur .....	71
Figure IV.3 : Dessableur-dégrilleur .....	72
Figure IV.4 : bassins d'aération .....	73
Figure IV.5 : Clarificateurs .....	74
Figure IV.6 : Epaississeur .....	75
Figure IV.7 : super-press .....	77
Figure V. 1: Représentation graphique de la variation mensuelle des débits entrants dans la station en 2010 et 2011 .....	79
Figure V. 2: Représentation graphique de la variation mensuelle des PH des eaux épurées. ....	80
Figure V. 3: Représentation graphique de la variation mensuelle de la température à la sortie de la station. ....	81
Figure V. 4: Représentation graphique de la variation de la conductivité électrique des eaux brutes et épurées dans la station en 2010 et 2011 .....	82
Figure V. 5: Représentation graphique de la variation mensuelle des MES à l'entrée et à la sortie dans la station en 2010 et 2011 .....	83
Figure V. 6: Représentation graphique de la variation mensuelle des DBO <sub>5</sub> à l'entrée et à la sortie dans la station en 2010 et 2011 .....	84
Figure V. 8: Représentation graphique de la variation mensuelle de NH <sub>4</sub> à l'entrée et à la sortie dans la station en 2010 et 2011 .....	87
Figure V. 9: Représentation graphique de la variation mensuelle de NO <sub>3</sub> à l'entrée et à la sortie dans la station en 2010 et 2011 .....	88
Figure V. 10: Représentation graphique de la variation mensuelle de PO <sub>4</sub> à l'entrée et à la sortie dans la station en 2010 et 2011 .....	89
Figure V. 11: Représentation graphique de la variation annuelle des métaux lourds dans les eaux épurées à partir de 2007 .....	90
Figure V. 12: Représentation graphique de la variation de l'indice de Mohlman dans le clarificateur de la station à partir de Janvier 2010. ....	94

Figure V. 13: Représentation graphique de la variation annuelle des métaux lourds dans les eaux épurées à partir de 2007 .....	95
--	----

### **Liste des schémas**

Schéma III. 1: Options et classification des procédés pour le traitement des boues.....	55
Schéma IV.1 : Les ouvrages de la STEP de Boumerdes.....	66
Schéma. IV.2 :Le schéma directeur d'assainissement de boumerdes.....	66

# Sommaire

## *Chapitre I : Pollution des Eaux et Mécanismes de Traitement de ces Eaux.*

INTRODUCTION.....	3
I.1.DEFINITION DE LA POLLUTION.....	3
I.2.QU'EST-CE QUE L'EAU USEE?.....	4
I.2.1.Nature et origine des eaux usées.....	4
I.2.1.1.Les eaux usées domestiques.....	4
I.2.1.2.Les effluents agricoles.....	5
I.2.1.3.Les eaux de ruissellement.....	5
I.3.LES PARAMETRES DE POLLUTION.....	5
I.3.1.Les paramètres physiques.....	5
I.3.1.1.La température.....	6
I.3.1.2.L'odeur.....	6
I.3.1.3.La couleur.....	6
I.3.1.4.La turbidité.....	6
I.3.1.5.Le débit.....	6
I.3.1.6.Les matières en suspension.....	6
I.3.2.Les paramètres chimiques.....	7
I.3.2.1.Le pH.....	7
I.3.2.2.La demande totale en oxygène (DTO).....	7
I.3.2.3.La demande biologique en oxygène DBO.....	7
I.3.2.4.La demande chimique en oxygène DCO.....	7
I.3.2.5.La notion de biodégradable est exprimée par un coefficient.....	7
I.3.2.6.Les autres éléments.....	8
I.4. LES EAUX USEES : UN RESERVOIR A POLLUANTS.....	9
I.4.1. Quatre « familles » de micro-organismes.....	10
I.4.1.1.Les virus.....	10
I.4.1.2.Les bactéries.....	10
I.4.1.3.Les protozoaires.....	11
I.4.1.4.Les métazoaires.....	11
I.4.2. Les matières en suspension (MES).....	12

I.4.3.Les micro-polluants organiques et non organiques .....	12
I.4.4.Les micro-polluants organiques .....	12
I.4.5.Les substances nutritives : potassium, phosphates et nitrates.....	13
I.5. LES CONSEQUENCES DE LA POLLUTION.....	13
I.5. 1.Conséquences sanitaires .....	13
I.5. 2.Conséquences écologiques .....	13
I.5.2.1.L'eutrophisation .....	13
I.5. 2.2.Les autres conséquences .....	14
I.5.3.Conséquences esthétique .....	14
I.5.4.Conséquences industrielles .....	14
I.5.5.Conséquences agricoles :.....	14
I.6.DEFINITION DE L'EQUIVALENT HABITANT.....	15
I.6.1.Valeurs de l'équivalent habitant. ....	15
I.6.2.Le système d'assainissement: Deux réseaux distincts sont mis en place .....	16
I.6.2.1.Le système séparatif. ....	15
I.6.2.2.Le système unitaire.....	15
I.6.2.3.L'impact du type de réseau sur la station d'épuration. ....	16
I.7.LES ETAPES DE TRAITEMENT DANS LES STATIONS D'EPURATION:.....	17
I.7.1.Prétraitements.....	17
I.7.2.Dégrillage. ....	17
I.7.3.Dessablage.....	18
I.7.4.Déshuilage – dégraissage .....	19
I.7.5.Traitement primaire. ....	20
I.7.5.1.Différents types de décantation:.....	20
I.7.6.Le traitement secondaire.....	20
I.7.6.1.Traitement biologique.....	20
I.7.6.2.Traitement physico-chimique. ....	26
I.7.6.3.Elimination du phosphore.....	27
I.7.6.4.Elimination de l'azote .....	28
I.7.7.Le traitement tertiaire. ....	29
I.7.7.1.Les procédés chimiques .....	29
I.7.7.2.Les procédés physiques.....	30
I.7.7.3.Le lagunage .....	31

## *Chapitre II : Réutilisation des Eaux Usées Epurées.*

INTRODUCTION .....	32
II.1.DEFINITION ET OBJECTIFS .....	32
II.2.LES DOMAINES D'APPLICATION. ....	32
II.2.1.Notion de risque.....	33
II.2.2.La réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. ....	33
II.2.2.1.Les principaux critères de qualité à respecter pour l'irrigation. ....	34
II.2.2.2.La teneur en sel dans l'eau d'irrigation: .....	37
II.2.2.3.Mesure de la salinité: .....	38
II.2.2.4.Les normes d'irrigation.....	39
II.2.2.5.Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées.....	40
II.2.3.La REUE industrielle .....	45
II.2.4.La REUE en zone urbaine.....	45
II.2.5.La production d'eau potable.....	46
II.2.6.La recharge de nappe.....	46
II.3.LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES EN ALGERIE .....	47
II.3.1.Les problèmes de la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie .....	47
II.3.2.Stratégie pour augmenter le stockage de l'eau.....	48
II.3.3.Réutilisation des eaux usées épurées.....	48
II.3.4.Ressources en eau en Algérie .....	49
II.3.4.1.Les eaux conventionnelles .....	50
II.3.4.2.Les eaux non conventionnelles: .....	50

## *Chapitre III : Traitement et valorisation des boues d'épuration.*

INTRODUCTION .....	51
III.1.QU'EST-CE QU'UNE BOUE ?.....	51
III.2.TYPOLOGIE DES BOUES .....	51
III.2.1.Les boues primaires .....	51
III.2.2.Les boues physico-chimiques .....	51
III.2.3.Les boues biologiques .....	51
III.2.4.Les boues mixtes .....	52
III.2.5.Les boues d'aération prolongée.....	52
III.3.CARACTERISTIQUES.....	52
III.3.1.La siccité d'une boue .....	52

III.3.2.Leur teneur en matière volatile ou matières organiques .....	52
III.3.3.Leur teneur en matière minérale .....	52
III.3.4.Le pouvoir calorifique .....	52
III.3.5.La consistance de boues.....	53
III.3.6.Les facteurs caractérisant la structure de la boue.....	53
III.3.6.1.la viscosité apparente .....	53
III.3.6.2. la nature de l'eau contenue dans la boue .....	53
III.3.6.3.la granulométrie .....	53
III.3.7.L'acidité des boues(PH).....	54
III.3.8.Le rapport C/N.....	54
III.4.LE TRAITEMENT DES BOUES .....	54
III.4.1.Réduction de la teneur en eau des boues.....	56
III.4.1.1.L'épaississement.....	56
III.4.1.2.La déshydratation.....	56
III.4.1.3.Le séchage.....	56
III.4.2.Stabilisation des boues.....	56
III.4.2.1.La stabilisation biologique aérobie .....	57
III.4.2.2.La stabilisation biologique anaérobie .....	57
III.4.2.3.La stabilisation chimique (le chaulage) .....	57
III.4.2.4.La stabilisation physique (séchage poussé) .....	57
III.4.3.Le traitement de stérilisation .....	57
III.5.LES BOUES D'EPURATION ENGRAIS OU DECHETS? .....	58
III.6.QUELS SONT LES ARGUMENTS EN FAVEUR DE L'EPANDAGE DES BOUES? .....	58
III.7.DESTINATION FINALE DES BOUES ET FINALITE DE LEUR TRAITEMENT .....	59
III.7.1.La valorisation en agriculture des boues.....	59
III.7.2.Récupération d'énergie.....	59
III.7.3.Récupération de produits .....	60
III.7.4.La mise en décharge .....	60
III.8.L'APPLICATION DES BOUES SUR LE SOL.....	60
III.8.1.Conditions d'utilisation des boues .....	60
III.8.2.la modalité d'application des boues .....	61
III.8.3.Contraintes limitant l'utilisation des boues en agriculture .....	62
III.8.3.1.Les pathogènes .....	62
III.8.3.2.La toxicité .....	63

III.8.3.3.Les micropolluants organiques .....	63
III.8.3.4.Les micropolluants minéraux .....	63
III.8.4.Localisation des métaux lourds dans les boues .....	63

### *Chapitre IV : Présentation de la station d'épuration de Boumerdes.*

INTRODUCTION .....	65
IV.1. PRESENTATION DE LA STATION D'EPURATION DE BOUMERDES (STEP) ..	65
IV.1.2.L'arrivée des eaux .....	66
IV.1.3.Collecteurs Inter-Stations .....	66
IV.2.OBJECTIF DU TRAITEMENT: Objectif ciblé et requis en sortie de station .....	68
IV.2.1.Définition de la pollution à traiter.....	69
IV.3.LES DIFFERENTES ETAPES DE TRAITEMENT.....	69
IV.3.1.Traitement des eaux .....	70
IV.3.1.1.Arrivée de l'eau.....	70
IV.3.1.2.Prétraitement .....	70
IV.3.1.3.Bassins d'aération .....	72
IV.3.1.4.Clarification .....	73
IV.3.2.Le traitement des boues .....	74
IV.3.2.1.l' épaisseur.....	74
IV.3.2.2.super-press.....	75

### *Chapitre V : Résultats et Interprétations.*

INTRODUCTION.....	78
V.1.FREQUENCES DES ANALYSES.....	78
V.2.FILIERES EAU.....	78
V.2.1.Variation de débit de la station .....	78
V.2.2.Le PH.....	79
V.2.3.La température.....	80
V.2.4.La conductivité électrique .....	81
V.2.4.1.Calcul de la minéralisation:.....	81
V.2.5.Le chlorure .....	81
V.2.6.La variation de MES.....	82
V.2.7.La variation de la DBO5 .....	82
V.2.8.La variation de DCO .....	83
V.2.9.Coefficient de biodégradabilité "K" .....	84

V.2.10.L'évolution de $\text{NH}_4$ .....	85
V.2.11.L'évolution de $\text{NO}_3$ .....	85
V.2.12.L'évolution de Phosphate .....	86
V.2.13.Calcul du coefficient d'adsorption su sodium : SAR .....	87
V.2.14.Les métaux lourds .....	87
V.2.15.Composition microbiologique des eaux usées.....	89
V.3.FILIÈRE BOUES .....	90
V.3.1. L'indice de Mohlman IM .....	90
V.3.2. La richesse des boues en éléments fertilisants .....	91
V.3.3.Métaux lourds .....	92
CONCLUSION GENEQLE ET RECOMMANDATIONS.....	94

# Introduction

## INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un bien naturel « don du ciel », d'exploitation facile, mais fragile et rare donc c'est notre capital le plus précieux, mais, utiliser l'eau c'est pratiquement accepter de la polluer. En effet toute activité humaine domestique, industrielle, agricole, engendre des rejets polluants pour le milieu naturel.

Il y a quelque dizaines d'années, les eaux usées domestiques ou industrielles étaient le plus souvent rejetées dans le milieu naturel sans aucun traitement préalable.

Entreprendre un projet de réutilisation des eaux usées épurées est une démarche longue et délicate. Les eaux usées brutes sont très concentrées en polluants et leur utilisation présente un risque sanitaire potentiel élevé. Mais il existe des traitements suffisamment fiables pour permettre d'abaisser les concentrations en polluants, et donc le risque sanitaire, à un niveau acceptable.

La qualité obtenue est même parfois meilleure que celle d'approvisionnements plus conventionnels (rivières, sources, etc.). Les eaux usées épurées permettraient de couvrir toute une gamme de besoins : agriculture, usages industriels, domestiques, etc.

Une opération de REUE peut être une réponse à deux types de situations critiques : **la rareté des ressources en eau** et **la mauvaise qualité des masses d'eau naturelles**.

En Algérie, la qualité des eaux superficielles se dégrade sous l'effet des rejets de déchets urbains et industriels, les barrages réservoirs s'ensavent et perdent de la capacité utile et le rejet de la vase dans les cours d'eau pose d'énormes problèmes écologiques et environnementaux. Les eaux souterraines sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline.

Malgré le pouvoir autoépuration de l'eau, le rejet en rivières a des limites.

Dans une grande agglomération, la quantité d'eaux usées déversées peut très vite dépasser le pouvoir auto-épurateur du milieu récepteur, et les micro-organismes de ce milieu ne peuvent donc dégrader toute la pollution, dans ce cas, il faut procéder à l'épuration de ces eaux avant leur déversement dans le milieu récepteur.

Le rôle de la station d'épuration est de diminuer suffisamment la quantité des substances polluantes contenues dans les eaux résiduaires urbaines. La finalité du traitement et essentiellement la protection du milieu naturel récepteur, c'est-à-dire l'obtention d'une eau épurée qui satisfait aux normes de rejet édictée par la législation, mais peut être aussi, dans le cadre des mesures nécessaires à une bonne gestion pour être réutiliser : en agriculture, en industrie, pour l'arrosage de certains espaces verts et les jardins en milieux urbains.

Dans le cadre de notre étude nous nous sommes intéressés aux eaux usées traitées ainsi qu'aux boues d'épuration produites par la station d'épuration de Boumerdes dans le but de leur valorisation agricole.

Pour ce faire, nous avons structuré notre travail comme suit:

Introduction générale.

***Chapitre I :***

Pollution des Eaux et Mécanismes de Traitement de ces Eaux.

***Chapitre II :***

Réutilisation des Eaux Usées Epurées.

***Chapitre III :***

Traitement et valorisation des boues d'épuration.

***Chapitre IV :***

Présentation de la station d'épuration de Boumerdes.

***Chapitre V :***

Résultats et Interprétations.

Conclusions générales et recommandations.

# Pollution des Eaux et Mécanismes de Traitement de ces Eaux

## INTRODUCTION

L'urbanisation a fait que l'homme pollue de plus en plus son environnement. Pour réparer ses méfaits, il a conçu des systèmes assez complexes dont le traitement des eaux usées.

Pour traiter l'eau, on a besoin de la connaître et donc de pouvoir la caractériser le plus précisément possible. Dans le vocabulaire du traitement d'eau, certains termes s'écartent sensiblement des termes scientifiques utilisés par ailleurs. Les paramètres répertoriés ci-dessous sont les plus courants.

### I.1.DEFINITION DE LA POLLUTION

La pollution de l'eau est une altération de sa qualité et de sa nature qui rend son utilisation dangereuse et (ou) perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et/ou les eaux souterraines. La pollution de l'eau a pour origines principales, l'activité humaine, les industries, l'agriculture et les décharges de déchets domestiques et industriels. [1]

La pollution de l'eau se manifeste principalement, dans les eaux de surface, par :

**-Une diminution de la teneur en oxygène dissous** : les matières organiques essentielles à la vie aquatique en tant que nourriture, peuvent devenir un élément perturbateur quand leur quantité est trop importante. Parmi les substances qui entraînent une importante consommation d'oxygène, notons en particulier les sous-produits rejetés par l'industrie laitière, le sang rejeté par l'industrie de la viande, les déchets contenus dans les eaux usées domestiques, etc. Cette diminution de l'O<sub>2</sub> dissous peut provoquer dans certains cas des mortalités importantes de poissons. [1]

**-La présence de produits toxiques** : ces substances provoquent des effets qui peuvent être de deux formes : effet immédiat ou à court terme conduisant à un effet toxique brutal et donc à la mort rapide de différents organismes et effet différé ou à long terme, par accumulation au cours du temps, des substances chez certains organismes. La plupart des produits toxiques proviennent de l'industrie chimique, de l'industrie des métaux, de l'activité agricole et des décharges de déchets domestiques ou industriels. [1]

#### **-Une prolifération d'algues**

Bien que la présence d'algues dans les milieux aquatiques soit bénéfique pour la production d'oxygène dissous, celles-ci peuvent proliférer de manière importante et devenir extrêmement gênantes en provoquant le processus d'eutrophisation.

#### **-Une modification physique du milieu récepteur**

Le milieu peut être perturbé par des apports aux effets divers : augmentation de la turbidité de l'eau (ex. lavage de matériaux de sablière ou de carrière), modification de la salinité (ex. eaux d'exhaure des mines de sel), augmentation de la température (ex. eaux de refroidissement des centrales nucléaires). [1]

#### **-La présence de bactéries ou virus dangereux**

Les foyers domestiques, les hôpitaux, les élevages et certaines industries agro-alimentaires rejettent des germes susceptibles de présenter un danger pour la santé.

L'ensemble des éléments perturbateurs décrits ci-dessus parviennent au milieu naturel de deux façons différentes : par rejets bien localisés (villes et industries) à l'extrémité d'un réseau d'égout ou par des rejets diffus (lessivage des sols agricoles, des aires d'infiltration dans les élevages, décharges, ...). L'introduction dans le sous-sol provoque une pollution des eaux souterraines qui est caractérisée par une propagation lente et durable (une nappe est contaminée pour plusieurs dizaines d'années) et une grande difficulté de résorption ou de traitement. [1]

### I.2.QU'EST-CE QUE L'EAU USEE?

L'eau usée est l'eau qui a été utilisée et qui doit être traité avant d'être réintroduite

vers d'autres sources d'eaux pour qu'elle ne cause pas de pollution.

Les eaux usées proviennent de plusieurs sources.

### **I.2.1.Nature et origine des eaux usées**

Suivant l'origine des substances polluantes; on peut distinguer:

#### **I.2.1.1.Les eaux usées domestiques**

Elles proviennent des habitations, elles sont généralement véhiculées par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration.

Ces eaux se caractérisent par leurs fortes teneurs en matière organique, en sels minéraux (azotes, phosphore), en détergent et en germes fécaux.

Les eaux usées domestiques peuvent provenir de trois origines possibles:

#### ✓ ***Eaux de cuisine***

Ce sont les eaux correspondant à la préparation des aliments, aux vaisselles. Elles sont riches en graisses plus ou moins émulsionnées par les détergents.[2]

#### ✓ ***Eaux de buanderie***

Ce sont les eaux de lavage des locaux, elles contiennent des détergents des savons plus ou moins émulsionnés par les détergents. [2]

#### ✓ ***Eaux de vannes***

Ces eaux très riches en matière hydrocarbonées, en azote, en phosphore, représentent un substrat adapté aux procédés des traitements biologiques, mais elles peuvent contenir des éléments pathogènes (bactéries, virus et parasites divers). [2]

Prévenant des usines, elles sont caractérisées par une grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau. Tous les produits ou sous-produits de l'activité industrielle se retrouvent concentrés dans l'eau:

- matières organiques graisses (industrie agroalimentaire.....);
- sels métalliques (traitement de surface, métallurgie);
- acides, bases, produits chimiques divers (industrie chimique, tanneries...);
- eau chaude (circuits de refroidissement des centrales thermiques);
- matières radioactives (centrales nucléaires, traitements des déchets radioactifs). [2]

#### **I.2.1.2.Les effluents agricoles**

Les effluents agricoles renferment divers substances, d'origines agricoles ou animales. Il s'agit de solutions d'engrais lessivées par les sols fortement fertilisés, des produits phytosanitaires (pesticides) et des déjections animales (purins et lisier de bétail). [2]

#### **I.2.1.3.Les eaux de ruissellement**

-Ce sont essentiellement les eaux de pluie et de lavage des chaussées. Les eaux de pluie sont caractérisées par un débit fortement variable, présentant des valeurs moyennes à fortes variations saisonnières à l'intérieur desquelles la répartition des débits est aléatoire.

-La pollution entraînée est maximale en début de précipitation. Elle correspond au lavage des toits et chaussées. Elle décroît ensuite fortement en cas des débits persistante.

-Les polluants sont en majorité des matières en suspension d'origine minérale. On y trouve aussi des polluants de l'atmosphère (poussières, oxyde d'azote NO<sub>x</sub>, oxyde de soufre SO<sub>x</sub>, du plomb....). [2]

## **I.3.LES PARAMETRES DE POLLUTION**

### **I.3.1.Les paramètres physiques**

**I.3.1.1.La température :** La température de l'eau est un facteur important dans la vie d'un cours d'eau. Elle favorise la fermentation qui agit comme pollution additionnelle et qui diminue la teneur en oxygène dissous

Ce paramètre physique peut influencer de différentes manières :

- la solubilité des sels et des gaz (plus l'eau est chaude et plus la concentration de saturation de l'oxygène diminue).
- la multiplication des micro-organismes (telle que les algues). [3]

#### **I.3.1.2.L'odeur**

L'eau d'égout fraîche a une odeur fade qui n'est pas désagréable, par contre en état de fermentation elle dégage une odeur nauséabonde. [3]

#### **I.3.1.3.La couleur**

La couleur de l'eau d'égout d'origine domestique est normalement grisâtre ; une couleur noire indique une décomposition partielle ; les autres teintes indiquent un apport d'eau résiduaire industrielle. [3]

#### **I.3.1.4.La turbidité**

Elle est en relation avec la mesure des matières en suspension, elle nous donne une première indication sur la teneur en matière colloïdale d'origine minérale ou organique. [3]

#### **I.3.1.5.Le débit**

Le principal intérêt de la mesure du débit est qu'il permet de quantifier la pollution rejetée par l'intermédiaire de « l'habitant équivalent » qui exprime le volume d'eau usée moyen déversée par habitant et par jour. En effet, le débit constitue un élément de base pour la détermination de l'habitant équivalent. [3]

#### **I.3.1.6.Les matières en suspension**

Théoriquement, ce sont les matières qui ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdal, les matières en suspension comportent des matières organiques et des matières minérales.

Les MES constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel; ces derniers se subdivisent en 2 groupes. [3]

##### ***I.3.1.6.1.les matières volatiles en suspension MVS***

Elles représentent la fraction organique des MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2h. [3]

##### ***I.3.1.6.2.les matières minérales (MM)***

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, il s'agit de l'extrait sec qui est constitué à la fois par les matières minérales en suspension et les matières solubles (chlorures, phosphores...etc.). [3]

#### **I.3.2.Les paramètres chimiques**

##### **I.3.2.1.Le pH**

Le PH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité dont le facteur le plus important est habituellement la concentration en anhydrique de carbone liée à la minéralisation totale.

Le PH des eaux usées urbaines seules est généralement près de la neutralité, entre 7 et 7,5 environ un PH 6,5 et PH 8,5. [4]

##### **I.3.2.2.La demande totale en oxygène (DTO)**

Elle permet de déterminer l'apport d'oxygène nécessaire pour amener les composants d'une eau usée à leur stade final d'oxydation ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) c'est-à-dire dans les conditions supercritiques. [4]

##### **I.3.2.3.La demande biologique en oxygène DBO**

Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour la dégradation et la métabolisation des matières organiques dans l'eau usée après incubation à 20<sup>0</sup> C et à l'obscurité. Il semble donc intéressant d'évaluer la pollution par la quantité d'oxygène demandé dans des conditions données et sur une période donnée, cette période est généralement de cinq (5) jours mais pour être complète l'oxydation biologique demande un

temps de 21 jours. [4]

#### **I.3.2.4. La demande chimique en oxygène DCO**

La DCO représente la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation de toute matière contenue dans les eaux qu'elle soit biodégradable ou non, aussi elle représente la quantité d'oxygène qu'il faut fournir par des réactifs chimiques puissants pour oxyder ces matières dans l'effluent. [4]

#### **I.3.2.5. La notion de biodégradable est exprimée par un coefficient**

$$K = \text{DCO}/\text{DBO}$$

- Si :
- $k < 1,5$  l'effluent est biodégradable.
  - $1,5 < k < 2,5$  l'effluent est moyennement biodégradable.
  - $2,5 < k$  l'effluent est difficilement biodégradable.

Un coefficient  $k$  élevé peut traduire la présence dans l'eau, d'éléments inhibiteurs de croissance bactérienne, tels que les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures... ; la valeur  $k$  détermine le choix de la filière de traitement à adopter. [4]

#### **I.3.2.6. Les autres éléments**

##### ***I.3.2.6.1. L'azote (N)***

C'est un élément qui se trouve sous forme ammoniacale ou organique plus la partie oxydée ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ).

La concentration de l'azote dans l'eau usée urbaine après traitement secondaire varie de 20 à 60 mg/l. [3]

$$N_T = N\text{-org} + N\text{-NH}_4 + N\text{-NO}_2 + N\text{-NO}_3$$

**Azote réduit**      **Azote oxydé**

Il convient donc de surveiller attentivement le déversement de différentes formes azotées pour diverses raisons :

- limiter le développement de la flore aquatique.
- préparer une désinfection, par chloration notamment (influence de la présence de  $\text{NH}_4^+$ ).
- limiter les risques pour la santé publique (méthémoglobinémie du nourrisson dû à un excès de nitrates. [3])

##### ***I.3.2.6.2. Le phosphore***

La concentration du phosphore dans l'eau usée après traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l à moins qu'un traitement tertiaire ne l'élimine dans le traitement biologique, les polyphosphates (phosphore organique) sont rapidement transformés par les micro-organismes en orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Une partie de ceux-ci (10% environ) est utilisée pour les synthèses de nouvelles cellules, tandis que l'autre est évacuée avec l'effluent de sortie. [4]

##### ***I.3.2.6.3. Les micro-éléments***

Les éléments nocifs les plus importants sont les métaux lourds, leur principale origine est industrielle. Le cuivre, le zinc, le cadmium, le chrome, le plomb, le mercure, le nickel sont les polluants les plus fréquemment rencontrés. Les concentrations de ces éléments sont généralement inférieures au mg/l [3]

##### ***I.3.2.6.4. Les agents pathogènes***

Les eaux résiduaires urbaines transportent de nombreux micro-organismes dont certains sont pathogènes (bactérie, virus, protozoaires, helminthes).

Les bactéries pathogènes les plus fréquemment utilisées sont les coliformes totaux ainsi que les coliformes fécaux formés essentiellement des Escherchiacoli et parfois des streptocoques fécaux. [3]

##### ***I.3.2.6.5. La conductivité***

La mesure de la conductivité permet d'évaluer approximativement la minéralisation globale de l'eau, elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre et les résultats obtenus sont exprimés en micro-siemens/cm. [4]

## **I.4. LES EAUX USEES : UN RESERVOIR A POLLUANTS**

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc.). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives. [5]

Dans cette partie, nous traiterons de manière plus détaillée :

- les micro-organismes car ils constituent le principal danger sanitaire pour la réutilisation des eaux usées épurées; [5]
- les éléments traces dont les effets sanitaires à long terme sont moins connus , notamment leur implication dans certains cancers. [5]

Pour chacune des substances présentes dans les eaux usées, nous allons considérer les modalités de la contamination chez l'homme. Les trois voies de contamination que l'on retrouve classiquement sont :

- La contamination par ingestion :** d'une part, il y a l'ingestion directe, lorsqu'il y a consommation d'eau. Celle-ci peut être volontaire lors de la consommation d'eau potable, ou involontaire. D'autre part, il y a l'ingestion indirecte, par exemple quand les eaux épurées sont utilisées pour irriguer des cultures dont les produits sont en suite consommés,
- la contamination par inhalation :** elle est moins importante et n'est pas possible pour tous les polluants. Elle se produit lors de la formation d'aérosols, dans le cas de l'irrigation par aspersion ou de l'utilisation d'un karcher,
- la contamination par voie cutanée :** un simple contact peut entraîner une contamination; souvent grâce à des microcoupures sur la peau. Seule la bactérie *Leptospira* est vraiment concernée par ce mode de transmission. [5]

### **I.4.1. Quatre « familles » de micro-organismes**

Lors d'un traitement biologique, les impuretés contenues dans les eaux usées sont transformées et concentrées à l'aide des microorganismes vivants. Au point de vue pratique ce sont seulement ces microorganismes qui sont importants. Ces microorganismes sont vivants et si petits qu'ils ne peuvent pas être décelés à l'œil nu. Parmi ceux-ci on peut compter les bactéries, les protozoaires, les métazoaires ainsi que les algues. [6]

#### **I.4.1.1. Les virus**

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries. L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le Coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation. [6]

#### **I.4. 1. 2. Les bactéries**

##### ***I.4.1.2.1. Pourquoi utiliser des bactéries pour épurer?***

- ce sont des organismes microscopiques. Leur taille est en rapport avec celle de la pollution;
- elles s'adaptent facilement à la nourriture disponible. Ceci est essentiel puisque la qualité des eaux usées change constamment;
- elles se reproduisent très rapidement. Donc si la quantité de pollution varie rapidement, leur nombre évolue en fonction de cette quantité.

L'épuration biologique utilise des microorganismes monocellulaires capables d'assimiler la pollution dissoute :

\*Taille des bactéries = 1  $\mu\text{m}$ .

Certaines conditions doivent être respectées, notamment :

- L'assimilation de la pollution se déroule dans le bassin d'aération ;
- La séparation ou la phase de clarification séparation boues produites et eau traitée (liqueur mixte obtenue en sortie du bassin d'aération s'effectue dans le clarificateur).

Mais ce qui est fondamental, c'est l'aptitude des bactéries à la floculation. En effet, lorsque les bactéries sont dans des conditions favorables, elles s'agglomèrent pour former des flocons de boue que l'on pourra séparer de l'eau par simple décantation au niveau du clarificateur. La floculation des bactéries est un phénomène complexe qu'on explique ainsi :

- Les bactéries lors de leur croissance libèrent des polymères (floculant) qui favorisent leur agglomération entre elles et sur les particules en suspension.
- Au cours de l'épuration, on maintient volontairement un équilibre entre la quantité de boue et la quantité de pollution à éliminer, si bien que les bactéries ont juste la quantité de nourriture nécessaire à leur vie et leur reproduction. Elles n'ont donc pas d'énergie à dépenser pour se déplacer, et de ce fait, elles ont tendance à se regrouper.
- Les bactéries sont les premiers organismes à se développer et à assimiler la pollution, mais rapidement, il apparaît au sein de la boue des protozoaires. Ces organismes sont les prédateurs des bactéries. Ils participent à l'épuration en éliminant une partie de la pollution mais surtout en éliminant les bactéries qui ne veulent pas floculer et qui restent en suspension. [2]

#### **I.4.1.3. Les protozoaires**

Les protozoaires sont des organismes un peu plus évolués que les bactéries. Ils sont donc plus gros. Leur taille est de 10 à 100 fois plus importante que celle des bactéries. Par conséquent, on pourra facilement les observer au microscope. Cela est très intéressant puisqu'il existe un couple protozoaire/bactérie, qui est en rapport avec la qualité de l'eau entrante. De plus, les protozoaires présents dans la boue dépendent de la qualité de l'exploitation et de la conception de la station d'épuration.

Ils représentent donc une bonne aide pour juger de la qualité de la boue.

Pour cela, il est indispensable d'avoir un microscope qui peut grossir 100, 200 et 400 fois, ainsi qu'un petit lexique qui permet d'identifier les organismes les plus courants. [2]

#### **I.4.1.4. Les métazoaires**

Ce sont des organismes encore plus évolués que les protozoaires. Ils se reproduisent plus lentement. Leur présence indique que la boue biologique est âgée.

L'observation microscopique des boues permet :

- de juger l'aspect du floc ;
- de définir la qualité de l'eau interstitielle ;
- de compter les espèces présentes sous un grossissement fois 200.

Il est important de faire plusieurs observations sur la même boue. En effet, une goutte ne représente absolument pas la réalité et de plus ; les organismes présents dans cette goutte meurent rapidement car ils sont en absence totale d'oxygène.

Cette observation permet de mettre en évidence la présence ou non de bactéries filamenteuses. Ces bactéries sont très gênantes pour l'épuration ; car elles décantent très difficilement.

Elles se présentent sous forme les longs cheveux très fins et agissent comme un parachute au niveau de la décantation du floc.

Il est donc primordial de détecter leur présence, afin de pouvoir rapidement lutter

contre leur développement et surtout d'assurer une traitée de bonne qualité. [2]

#### **I.4.2. Les matières en suspension (MES)**

Ce sont des matières biodégradables pour la plupart. Les micro-organismes sont le plus souvent adsorbés à leur surface et sont ainsi « transportés » par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble et une mauvaise odeur. Cependant elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures. [6]

#### **I.4.3. Les micro-polluants organiques et non organiques : une pollution multiple et complexe**

Les micro-polluants sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées. La voie de contamination principale, dans le cas d'une réutilisation agricole des eaux usées épurées, est l'ingestion. C'est la contamination par voie indirecte qui est généralement préoccupante. Ainsi, certains micro-polluants, comme les métaux lourds ou les pesticides, peuvent s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, et notamment dans les plantes cultivées. Il peut donc y avoir une contamination de la chaîne alimentaire et une concentration de ces polluants dans les organismes. [6]

#### **I.4.4. Les micro-polluants organiques**

Les micro-polluants d'origine organique sont extrêmement nombreux et variés, ce qui rend difficile l'appréciation de leur dangerosité. Ils proviennent de l'utilisation domestique de détergents, pesticide, solvants, et également des eaux pluviales : eaux de ruissellement sur les terres agricoles, sur le réseau routier, etc. Ils peuvent aussi provenir de rejets industriels quand ceux-ci sont déversés dans les égouts ou même des traitements de désinfections des effluents par le chlore (haloformes). La concentration totale moyenne des micro-polluants d'origine organique dans les eaux usées est de 1 à 10 µg/l. [6]

#### **I.4.5. Les substances nutritives : potassium, phosphates et nitrates**

Leur présence dans les eaux usées peut avoir un impact négatif sur la santé humaine et la qualité des eaux superficielles et dans une moindre mesure un impact bénéfique sur les cultures dans le cas d'une réutilisation agricole. [6]

### **I.5. LES CONSEQUENCES DE LA POLLUTION**

Les conséquences de la pollution des eaux sont multiples, que se soit sur l'homme directement ou sur le milieu où il vit, elles peuvent être classées en 05 catégories.

#### **I.5. 1. Conséquences sanitaires**

Elles ont trait à la santé des populations, les conséquences sanitaires sont donc celles à prendre en compte en priorité.

Ce n'est pas le cas partout : les maladies provenant de l'eau polluée tuent encore aujourd'hui des millions de personnes chaque année dans les pays pauvres. Il s'agit de maladies provoquées par le fait de boire cette eau polluée et des maladies dues à un simple contact de la peau avec cette eau. [3]

#### **I.5. 2. Conséquences écologique**

##### **I.5.2.1. L'eutrophisation**

L'eutrophisation (du grec "EU" : bien et "TROPHOS" : nourri) est le phénomène lent d'asphyxie des écosystèmes aquatiques résultant de la prolifération d'algues, qui consomment tout l'oxygène indispensable à la survie de l'écosystème. Il résulte d'un apport trop riche de substances nutritives et a plutôt lieu dans des milieux aquatiques où l'eau est stagnante comme les rivières ou lacs. Les inconvénients principaux de l'eutrophisation sont la diminution de la biodiversité et de la qualité de l'eau en tant que ressource. [7]

Cette pollution de l'eau est principalement due au phosphore d'origine agricole et

industrielle (contenu dans les phosphates, présents dans les lessives, les détergents, les engrais et les déjections notamment) et à l'azote d'origine agricole (contenu dans l'ammonium et les nitrates présents dans les engrais). [7]

Les algues qui se développent grâce à ces substances nutritives absorbent de grandes quantités d'oxygène lorsqu'elles meurent et se décomposent. Leur prolifération provoque alors l'appauvrissement, puis la mort de l'écosystème aquatique présent qui ne bénéficie plus de l'oxygène nécessaire pour vivre. [7]

Ce phénomène s'intensifie avec la profondeur du lac ou de la rivière, notamment des lacs profonds qui sont naturellement peu oxygénés. La propagation des bactéries anaérobies (elles se développent en l'absence d'oxygène), qui se nourrissent des algues en décomposition, provoque la disparition de l'oxygène, ainsi que la production de méthane et de sulfure d'hydrogène. Le phénomène s'intensifie également quand la température augmente, ce qui amène à une solubilité de l'oxygène qui diminue. [7]

### **I.5. 2.2.Les autres conséquences**

- Empoisonnement et dégradation de la flore et de la faune par les toxiques (ex : par les hydrocarbures en plus des nitrates et des phosphates, [7])
- Radioactivité des eaux du fait du développement du déversement des résidus radioactifs dangereux. [7]

### **I.5.3.Conséquences esthétique**

Il s'agit de pollution n'ayant pas de conséquences sanitaires ou écologique importantes, mais perturbant l'image d'un milieu (par exemple, des bouteilles plastique ou du goudron rejeté sur une plage).

Les conséquences esthétiques sont, par définition, les plus perceptibles, et c'est donc celles dont les riverains et les grands publics auront, en premier lieu conscience. [3]

### **I.5.4.Conséquences industrielles**

L'industrie est un gros consommateur d'eau, il faut par exemple 1m<sup>3</sup> d'eau pour produire 1kg d'aluminium.

La quantité requise pour les utilisations industrielles est souvent très élevée, tant sur le plan chimique (minéralisation, entartrage, corrosion), que biologique (problèmes d'encrassement des canalisations par des organismes). Le développement industriel peut donc être stoppé par la pollution (c'est une des raisons pour laquelle la préoccupation pour la pollution est apparue d'abord dans les pays industrialisés). [3]

### **I.5.5.Conséquences agricoles**

La texture du sol (complexe argilo humique), sa flore bactérienne, les cultures et de bétail, sont sensibles à la qualité de l'eau.

- du même, les boues issues de traitement des eaux usées pourront, si elles contiennent des toxiques (métaux lourds) être à l'origine de la pollution des sols. [3]

## **I.6.DEFINITION DE L'EQUIVALENT HABITANT**

L'équivalent habitant se définit comme étant la pollution produite par habitant et par jour, exprimé en g d'O<sub>2</sub> nécessaire à la dégradation. On exprime en équivalent habitant non seulement le pouvoir polluant des eaux usées domestique mais aussi ceux des rejets industriels et agricoles.

### **I.6.1.Valeurs de l'équivalent habitant**

Pour l'Algérie, la valeur de l'équivalent habitant n'est pas encore déterminée, de ce fait, pour concevoir une station d'épuration des eaux usées, on se base sur les normes européennes.

[8]

Tableau I. 1 : pollution journalière par habitant pour 150 à 200 litres d'eau

<b>MES</b>	70 à 90 gr
<b>Matières organiques</b>	60 à 70 gr
<b>Matières azotées</b>	15 à 17 gr
<b>Phosphore</b>	4 gr
<b>Germes</b>	plusieurs milliards par 100 ml

[8]

**I.6.2. Le système d'assainissement:** Deux réseaux distincts sont mis en place :

**I.6.2.1. Le système séparatif**

\*l'un pour évacuer les eaux pluviales,

\*l'autre pour évacuer les eaux usées.

Nous retenons donc que dans ce système, et en principe seules les eaux usées arriveront à la station d'épuration pour traitement.

La station d'épuration devrait donc recevoir, à l'aval du réseau d'E.U. (Eaux Usées), un effluent brut de qualité relativement "régulière" et de débit relativement "bien déterminé". [9]

**I.6.2.2. Le système unitaire**

Ce système correspond véritablement au vocabulaire trop souvent employé de manière inexacte.

Dans ce système d'évacuation, un seul collecteur assure à la fois le transport des eaux usées et des eaux pluviales

En principe, toutes les eaux devraient arriver à la station d'épuration qui aurait alors un effluent en tête de quantité et de qualité très variable

Pour éviter cet écueil, des déversoirs d'orage seront répartis sur le réseau pour permettre à la station de ne pas recevoir un débit supérieur à un débit maximal préfixé.

Cependant, malgré l'option précédente, nous n'oublierons pas que, lors d'un orage, l'effluent "eaux usées" sera dilué par le débit pluvial et d'autre part, lors des premières pluies après une longue période sèche, c'est toute la ville qui va se "nettoyer", ceci pouvant amener sur la station un flot de pollution assez important. [9]

**I.6.2.3. L'impact du type de réseau sur la station d'épuration**

**I.6.2.3.1. Le réseau séparatif**

Il offre un régime en débit et en charge polluante plus stable que le réseau unitaire. Toutefois l'évolution réglementaire et les contraintes de protection du milieu récepteur imposeront à terme le traitement des eaux pluviales strictes. Deux stations de traitement de nature et de localisation différentes seront à terme nécessaires. [9]

Le réseau séparatif permet:

- \* une conception et une exploitation plus simple,
- \* de garantir, à priori, une meilleure exploitation de la station d'épuration, \* de limiter certains coûts d'exploitation, en particulier l'énergie de relevage des effluents,
- \* de limiter les volumes, les charges et les pointes à traiter,
- \* d'autoriser des ouvrages de traitement plus petits. [9]

**I.6.2.3.2. Le réseau unitaire**

Permet de traiter davantage de flux polluant sur une seule station.

Par contre, la variation des débits et des charges imposera des contraintes en conception et en exploitation.

Construction d'un bassin d'orage\*

Conception en respectant les contraintes de temps sec et de temps de pluie,\*

\*Difficultés d'exploitation (surcharges, vitesse ascensionnelle, temps de séjour, etc.).

\*surconsommation énergétique. [9]

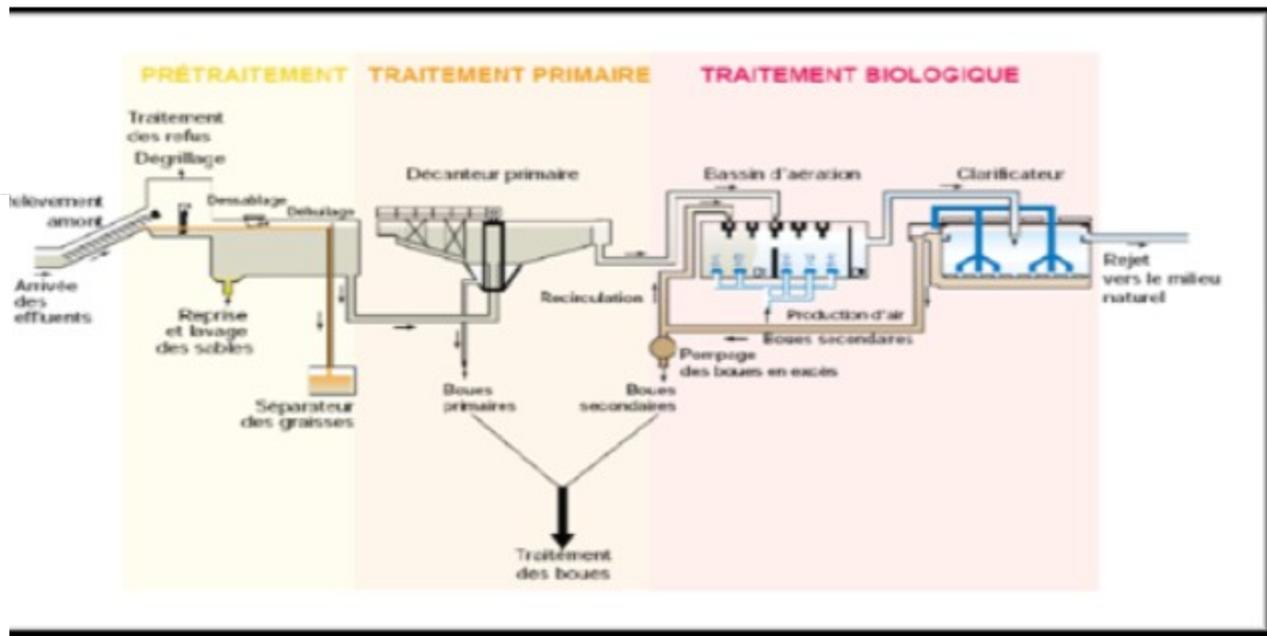
## I.7.LES ETAPES DE TRAITEMENT DANS LES STATIONS D'EPURATION

### I.7.1.Prétraitements

Les dispositifs de prétraitement sont présents dans toutes les stations d'épuration, quels que soient les procédés mis en œuvre à l'aval.

Ils ont pour but d'éliminer les éléments solides ou particulaires les plus grossiers, susceptibles de gêner les traitements ultérieurs ou d'endommager les équipements : déchets volumineux (dégrillage), sables (dessablage) et corps gras (dégraissage – déshuilage). [10]

Figure I. 1 : étapes du traitement



### I.7.2.Dégrillage

Le dégrillage, premier poste de traitement, il permet:

- de protéger les ouvrages aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation,
- de séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants, ou en compliquer l'exécution.[10]

L'opération est plus ou moins efficace, en fonction de l'écartement entre barreaux de grille; on peut distinguer

Dégrillage fin, pour écartement inférieur à 10mm,-

-Dégrillage moyen, pour écartement de 10 à 40mm. [10]

-Prédégrillage, pour écartement supérieur à 40 m

Un dégrillage fin est généralement précédé d'un prédégrillage de protection.

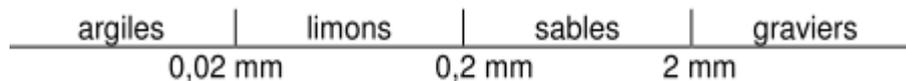
Le dégrillage est assuré, soit par une grille à nettoyage manuel (largement dimensionnée pour réduire la fréquence des opérations de collecte des résidus), soit, de préférence, par une grille à nettoyage automatique(mécanisation obligatoire pour les gros débits ou pour des eaux très chargées). Une grille automatique est souvent protégée par une prégrille robuste devant être également mécanisée dans les installations importantes ou pour des eaux brutes très chargées en matières grossières.

[10]

Les déchets recueillis sont stockés dans un réceptacle de capacité calculée en fonction de la fréquence acceptable des interventions d'évacuation. [10]

### **1.7.3.Dessablage**

Les eaux usées urbaines contiennent des particules minérales dont la densité est bien supérieure à celle de l'eau et des matières organiques. Ce sont des débris de verre ou de métaux mais surtout des graviers et des sables que l'on peut classer de la façon suivante:



est

II  
nécessaire

d'extraire ces matières quel que soit le type de réseau : unitaire ou séparatif. La concentration en sable peut atteindre 200 mg.l-1 en séparatif, voire 500 mg.l-1 en unitaire.

La séparation des sables met à profit la différence de densité entre les solides minéraux ( $d = 2,65$ ) et les matières organiques ( $d = 1,2$ ) qui doivent rester en suspension. C'est la toute la différence entre les décanteurs et les dessableurs.

Le rôle du dessableur est de retenir les matières minérales lourdes ( $\varnothing > 200 \mu\text{m}$ ), sables et graviers  $d = 2,65$ .

L'élimination des sables permet d'éviter l'usure des pompes, l'engorgement des canalisations, les dépôts dans les bassins et dans le digesteur, ainsi que l'usure des centrifugeuses.

La technique classique du dessablage consiste à faire circuler l'eau dans une chambre de tranquillisation ou il est tenté d'obtenir une vitesse constante quel que soit le débit (une vitesse de 0,3m/s permet le dépôt de la majeure partie des sables).

Cependant la condition rechercher est très difficile à réaliser en raison de la variation du débit et les sables recueillis contiennent souvent des boues, d'où un problème de lavage de ceux-ci. [10]

### **1.7.4.Déshuilage – dégraissage**

Les opérations de déshuilage et de dégraissage, bien que réalisées ensemble correspondent à deux phénomènes physiques différents : le déshuilage est une opération de séparation liquide - liquide, tandis que le dégraissage correspond à une séparation solide - liquide (à condition que la température de l'eau soit suffisamment basse pour figer des graisses).

L'objectif du dégraissage est de séparer de l'eau : les huiles, les graisses (animales et végétales).

Ce traitement supplémentaire est utilisé en vue d'éviter l'encrassement des ouvrages :

- Les flottants en surface,
- Les perturbations de l'aération
- Le départ avec l'eau traitée
- les difficultés de traitement des boues : filtration, digestion, incinération.

Dans un ouvrage aéré, il y a deux zones: l'une pour l'aération, c.-à-d., flottation des graisses, et l'autre pour la tranquillisation: agglomération des graisses en surface.

Les graisses peuvent être extraites du dégraisseur:

\*Par raclage sur un plan incliné : ce système permet d'égoutter les graisses et les écumes sur un plan incliné et de les évacuer vers un puits. Pour de grosses quantités à évacuer, le raclage peut être assuré par des chaînes sans fin avec racleur. Sur les dégraisseurs circulaires, les graisses sont emmenées par un mouvement circulaire vers une goulotte d'évacuation.

\*Par surverse

\*Par goulotte rotative. [10]

### Remarque

En général, le dégraissage est effectué avec le dessablage. L'ouvrage comporte une zone d'aération (où l'air est insufflé à la partie inférieure) et une zone tranquilisée destinée à la remontée des graisses en surface). L'évacuation des graisses est réalisée à l'aide d'un raclage de la surface. Le temps de séjour dans l'ouvrage est court (une dizaine de minutes environ). [10]

### I.7.5. Traitement primaire

Après les prétraitements, il reste dans l'eau une charge polluante dissoute et des matières en suspension. La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente de MES et des colloïdes. [9]

#### I.7.5.1. Différents types de décantation

Divers types de matières décantables sont à distinguer:

-les **particules grenues**: décantent indépendamment les unes des autres avec chacune une vitesse de chute constante.

-les **particules plus ou moins floculées**: ont des tailles et des vitesses de décantation variables.

Lorsque la concentration est faible, la vitesse de chute augmente au fur et à mesure que les dimensions du floc s'accroissent par suite de rencontres avec d'autres particules, c'est la **décantation diffuse**; et pour des concentrations plus élevées, l'abondance des floes crée une décantation d'ensemble freinée, le plus souvent caractérisée par une interface nettement marquée entre la masse boueuse et le liquide surnageant: c'est la **décantation en piston**. [9]

### I.7.6. Le traitement secondaire

#### I.7.6.1. Traitement biologique: appliqué aux matières organiques (biodégradables)

L'utilisation des procédés biologiques découle de l'observation et de l'intensification du processus d'autoépuration des sols et cours d'eau, et fait généralement appel aux procédés aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau.

Les installations de traitement secondaires biologiques se présentent donc comme de très vastes cultures bactériennes où l'on met en contact une population bactérienne et l'effluent à traiter en présence d'oxygène. Deux familles de procédés sont utilisés pour ce type de traitement : les procédés biologiques à culture fixées et ceux à cultures libres. [10]

##### I.7.6.1.1. L'épuration à cultures fixes

##### 1-L'épuration biologique par lits bactériens

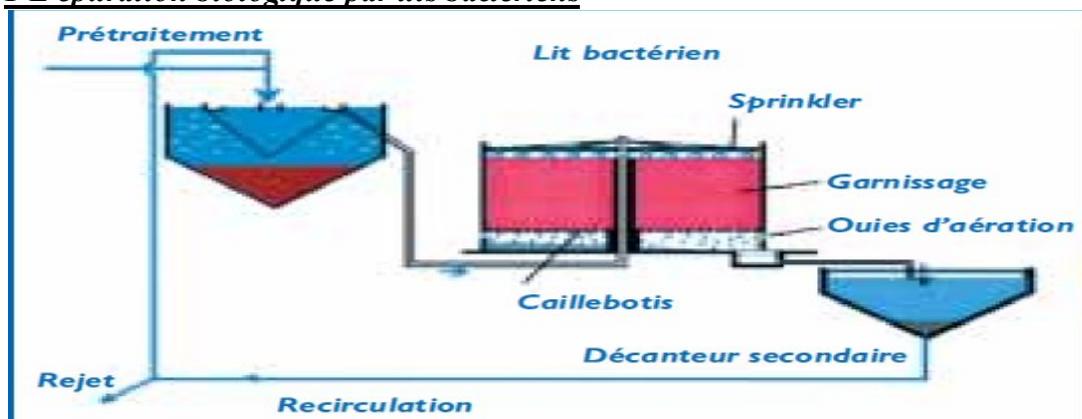


Figure I. 2: Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien

Le principe d'épuration utilisé s'inspire des méthodes mises à l'épreuve dans

l'épuration par le sol. Toutefois, afin de diminuer les surfaces nécessaires, l'aération a été améliorée en utilisant des matériaux de dimension supérieure; de ce fait elle a lieu dans la masse des lits et non simplement en surface.

Les lits bactériens sont constitués par accumulation, sur hauteur convenable, de matériaux poreux tels que scories, pouzzolanes, cokes, mâchefers (des matériaux plastiques sont également mis en œuvre depuis quelque années).

Ces matériaux, arrosés d'eau décantée, se recouvrent après quelques semaines de maturation de pellicules membraneuses, très riches en colonies microbiennes, qui assurent l'épuration des eaux usées.

L'action des matériaux s'exerce donc par leur surface qui doit être la plus grande possible pour un volume désiré, ce qui explique le choix sus-indiqué.

Pour augmenter cette surface il y a d'ailleurs intérêt à choisir des matériaux de faibles dimensions; toutefois il faut maintenir des vides suffisants pour le passage de l'eau et de l'air, aussi une dimension de 4cm à 8 cm paraît convenir. Une couche de matériaux plus grossiers peut être disposée à la partie inférieure pour favoriser l'évacuation de l'effluent épuré.

La hauteur des matériaux constituant le lit doit être, au minimum de 1.5m et au maximum de 4 à 5 m. le radier sur lequel les matériaux reposent doit être établi de façon que l'eau s'écoule aisément et que l'air circule librement. A cet effet, il est souvent prévu un double radier; la partie supérieure qui supporte les matériaux est perforée tandis que la partie inférieure, qui recueille et canalise l'eau, est étanche.

Les parois latérales du lit sont constituées par les murettes légères en maçonnerie pleine et plus rarement par un bardage en bois.

Le système de distribution de l'effluent revêt une très grande importance pour la qualité de l'épuration. Il doit être à l'abri de la gelée et des vents. [10]

## 2-Disque biologique

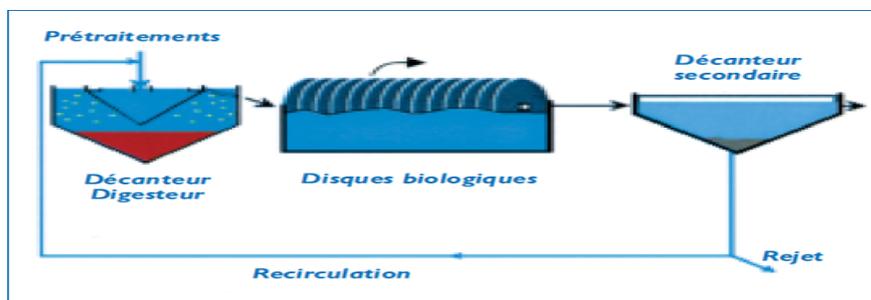


Figure I. 3 :  
symptomatique d'une  
station

d'épuration comportant un disque biologique

Les stations d'épuration à disques biologiques sont une variante des stations d'épuration à lits bactériens.

Les percolateurs rotatifs se composent de disques circulaires de 2m de diamètre, en matière plastique. A partir de ces disques, rangés côte à côte sur un axe horizontal, avec espacement de 20mm, il est constitué des cylindres variant de 1 m à 6m de longueur, cette dernière étant déterminée en fonction de la charge organique de la station.

Les cylindres sont suspendus dans les cuvettes semi-circulaires et mis en rotation lente (1à3 tours par minute).

Les eaux sont admises dans lesdites cuvettes après décantation et il se forme une culture biologique, riche en bactéries aérobies sur les disques.

Lors de l'immersion les bactéries absorbent les matières organiques, alors que lors de l'émersion elles se saturent d'oxygène.

Les eaux sont dirigées vers un décanteur secondaire, les boues déposées sont recerclées en tête de la station.

La recirculation peut s'effectuer au moyen d'une vanne automatique , assujetti à une

horloge et à une pompe, commandée en fonction du niveau de l'eau dans la bache de respiration; elle peut, également, s'effectuer par des bras à godets, montés sur l'un des axes de disques, qui prélèvent des boues dans le décanteur secondaire et les déversent dans une goutte qui les dirige en tête de la station.

Il faut compter sur 1 à 2 m<sup>2</sup> par équivalent habitant. Il semble à priori que ce dispositif qui constitue une espèce de filtre bactérien mobile est destiné à des stations de faible importance : plusieurs centaines à un millier d'usager, ou, à la limite, quelques milliers.

Un des avantages du procédé tel qu'il est présenté par ses promoteurs serait la très faible consommation spécifique d'énergie au niveau de la biodégradation: 0.4 à 0.5 KWh par kg de DBO<sub>5</sub> dégradée, soit moins de la moitié des exigences énergétiques des procédés par boues activées. Par contre, on manque de données sur l'importance relative des investissements ramenés à l'équivalent habitant. [10]

#### ***1.7.6.1.2. Les procédés à cultures libre***

##### ***1-Les stations d'épuration à boues activées***

###### ***a-Principe de fonctionnement:***

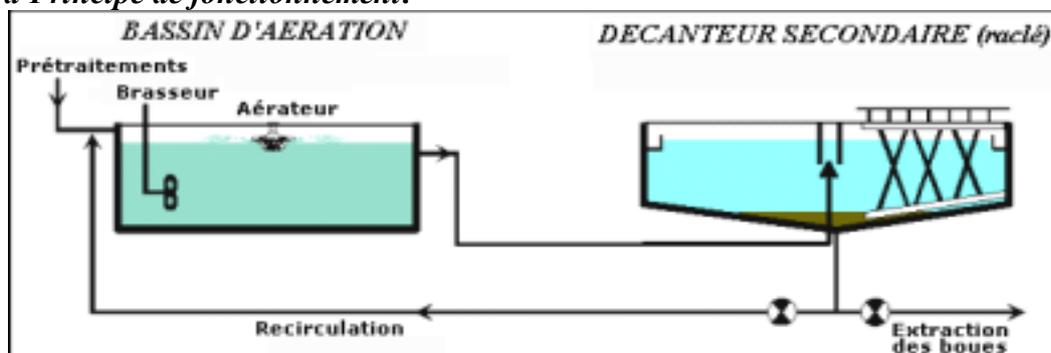


Figure I. 4: Synoptique d'une boue activée - aération prolongée

La méthode naturelle la plus efficace de la réduction des teneurs en matière organiques des eaux usées et leur dégradation biologique.

La transformation s'effectue par le truchement des bactéries qui sont:

- aérobies si elles provoquent une oxydation directe à partir de l'oxygène dissous dans l'eau;
- anaérobies si l'oxydation obtenue est indirecte, c'est-à-dire caractérisée par une perte d'hydrogène fixée par un accepteur autre que l'oxygène moléculaire.

Les processus anaérobies sont mis en œuvre dans le traitement des boues (digestion); dans le traitement biologique des effluents on fait généralement appel aux processus aérobies.

La dégradation est un phénomène complexe générateur de l'énergie nécessaire à la vie des microorganismes et à ses manifestations: reproduction, croissance, déplacement, etc. les microorganismes n'agissent pas directement sur les matières dégradées mais par le canal d'enzymes qui sont les corps protéiniques, produits par les microorganismes et qui jouent le rôle des catalyseurs. La caractéristique principale des enzymes est leur multiplicité et l'aspect très spécifique de leur action, ce qui fait que, même dans une opération élémentaire partielle de dégradation, il peut être constaté la mise en jeu successive d'un grand nombre d'enzymes différents.

L'action des enzymes est soumise à l'influence de très nombreux facteurs: température, PH, présence ou l'absence de certains éléments en quantité très faible. Des facteurs physiques comme une agitation extrêmement violente peuvent freiner l'activité enzymatique.

De même tous les corps qui réagissent avec les protéines sont des inactivants enzymatiques puissants à de faibles doses : mercure, argent, cyanure, etc. les composés chlorés qui forment avec les protéines des produits d'addition sont néfastes.

Les traitements primaires sont généralement insuffisants pour ramener l'effluent au

taux d'épuration demandé.

Un recours à l'épuration biologique est alors nécessaire par mise en contact de celui-ci avec un milieu biologique actif très dispersé de façon à présenter une très grande surface d'action.

Avant d'examiner les caractéristiques de ces différents procédés il est utile de préciser quelques aspects des phénomènes biologiques et physiques qui interviennent. [10]

### ***b-Devenir d'une colonie en milieu fermé, oxygéné***

Il est bon pour éclairer l'ensemble des phénomènes complexes et multiples se produisant au cours des traitements biologiques d'avoir bien présent à l'esprit les différentes phases de devenir d'une colonie isolée mise en contact d'éléments nutritifs en milieu oxygéné. [10]

On observe les phases ci-après:

- phase de latence*, dont la durée dépend de l'état initial de la colonie des microorganismes et des conditions régnant dans le milieuensemencé;
- phase de croissance exponentielle* pendant laquelle on observe un accroissement géométrique de la masse des microorganismes, l'établissement de cette phase présuppose un milieu riche en éléments nutritifs dont l'abatement suit une loi de croissance exponentielle;
- phase de transition* correspond à un affaiblissement de la concentration en éléments nutritifs et à un ralentissement de la multiplication qui suit une loi linéaire;
- phase d'amortissement* de la croissance ou la quantité des microorganismes tend vers une limite de la teneur en matières nutritives tend elle-même vers une valeur résiduelle faible;
- phase d'auto-oxydation* (respiration endogène, désassimilation) ou l'activité vitale des microorganismes se poursuit dans une espèce d'autophagie, la quantité des microorganismes diminuant dans le temps; les microorganismes prélevés au cours de cette phase sont bas d'état et après remise en contact en milieu nutritif aéré on constate une phase de latence considérable. [11]

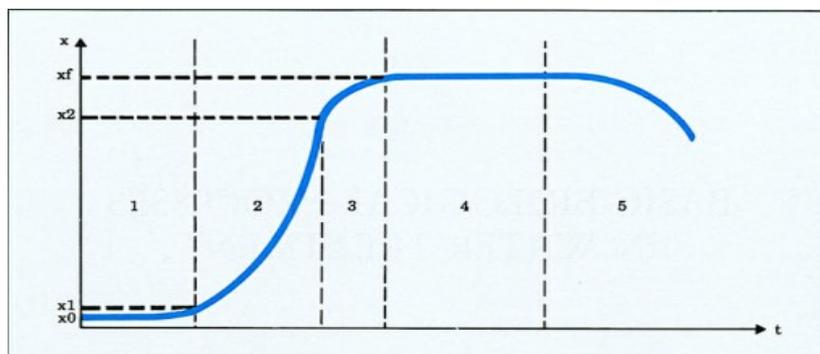


Figure I. 5: Evaluation de la croissance des microorganismes.

[11]

Il a été supposé que la quantité d'oxygène présente était suffisante pour assurer les besoins des microorganismes aérobies pendant toutes ces phases.

Si on exprime par exemple, la quantité de matières nutritives présentes par la  $DBO_5$  et la quantité des microorganismes présents par leur poids de matières sèches total, les différentes phases apparaissent clairement sur la figure ci-dessus. [11]

Trois points importants doivent être retenus:

- la vitesse d'oxydation des matières nutritives (autrement dits des polluants organiques des eaux usées) est d'autant plus élevée que la masse globale de microorganismes en contact est élevée;
- quand la teneur en matières nutritives s'abaisse, les microorganismes continuent leur activité au détriment de leur propre matière;
- les microorganismes ayant subi une phase d'auto-oxydation, ne reprennent qu'avec une

certaines difficultés leur activité, et avec d'autant plus d'efficacité si cette phase s'est déroulée en milieu peu oxygéné. [11]

## 2-le lagunage

Le lagunage est un procédé d'épuration naturelle qui a pour principe d'utiliser la végétation aquatique comme agent épurateur des eaux polluées. Les plantes aquatiques sont ici utilisées comme support aux colonies bactériennes, assurant l'épuration efficace de l'eau qui traverse lentement les colonies végétales installées.

Les éléments polluants comme le nitrate sont ainsi absorbés par les plantes pour restituer, en sortie de lagunage, une eau de bonne qualité. [12]

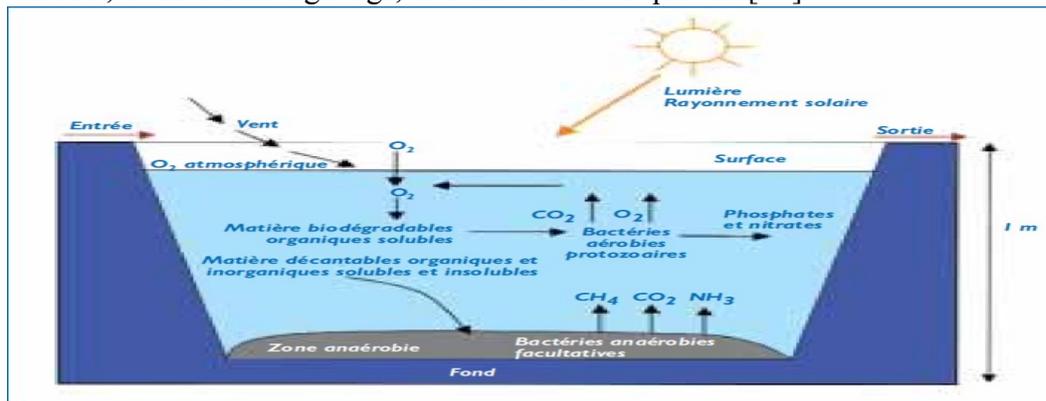


Figure I. 6: Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel.

### **Principe**

Une station de lagunage, c'est d'abord une succession de bassins (de 3 à 5) de 0,40 m à 1,20 de profondeur dans lesquels l'eau s'écoule par gravité. Il peut s'avérer nécessaire (pour les grosses installations) d'utiliser des bassins de prétraitement : dégraisseurs, déshuileurs, dessableurs... qui, comme leurs noms l'indiquent, sont chargés d'éliminer les particules solides et les graisses.

Les bactéries pathogènes sont éliminées de 90 à 99 %. L'élimination des virus est un peu moins efficace.

Le lagunage est donc un moyen peu coûteux et efficace de traiter les eaux usées. Il nécessite peu de moyens financiers, techniques et humains. Cependant, il requiert une surface importante. On retiendra que l'efficacité du traitement dépend surtout de la durée de rétention et des conditions climatiques. Ainsi, il est moins efficace en hiver qu'en été. [12]

**1.7.6.2. Traitement physico-chimique :** appliqué aux matières non organiques (non Biodégradables).

Ils utilisent des moyens physiques (décantation, flottation, filtres et membranes) et/ou des produits chimiques, notamment des coagulants (Chlorure ferrique, Sulfate d'aluminium...) et des floculants. On les utilise pour certains effluents industriels (toxiques) ou lorsque l'on doit gérer des variations rapides des flux à traiter.

Ils consistent à transformer chimiquement les éléments polluants non touchés par le traitement biologique

Parmi les plus courants :

**-la floculation :** précipitation des matières en suspension, sous l'effet de réactifs chimiques permet d'accélérer et de compléter leur décantation.

**-l'oxydation et la réduction chimique :** transforment certains polluants en substances non toxiques.

**-l'osmose inverse :** est une filtration qui permet de concentrer les matières polluantes.

[9]

### **I.7.6.3.Élimination du phosphore**

#### **❖ Problème du phosphore dans les effluents urbains**

La présence du phosphore dans les effluents urbains est due à l'utilisation des produits de lessives et de nettoyages et du métabolisme humain. En théorie, on considère que le rejet en phosphore par équivalent habitant (eq/hab) est de 4 g de phosphore total par jour. En rapportant cette quantité au volume journalier de rejet par eq/hab, on obtient une concentration d'environ 25mg/l pour le phosphore totale (Pt).

La présence de phosphore dans les cours d'eau et les lacs contribue à l'eutrophisation, provoquant la prolifération anarchique d'algues et une surconsommation de l'oxygène dissous dans l'eau. Celui-ci est alors moins disponible pour les autres espèces vivantes, et notamment pour les poissons.

Il est donc nécessaire de limiter l'apport de phosphore dans les eaux, et les stations d'épuration sont donc concernées au premier chef, car les effluents urbains contribuent à hauteur de 50-70% de l'apport total, le solde étant d'origine agricole. [13]

#### **❖ L'élimination biologique du phosphore**

La déphosphatation biologique repose sur l'accumulation du phosphore à l'intérieur des bactéries, qui sont évacuées avec les boues en excès.

La biomasse est exposée à une alternance de conditions anaérobies et aérobie.

En condition anaérobie, les bactéries déphosphatantes synthétisent un produit de réserve, les poly- $\beta$ -alcanoates (PHA), à partir du substrat facilement biodégradable des eaux usées et de l'énergie libéré par l'hydrolyse intracellulaire de polyphosphate. Il en résulte un relargage de phosphate dans le milieu externe.

En condition aérobie, les PHA et la matière organique contenue dans les eaux usées sont oxydés par les bactéries. La respiration produit l'énergie nécessaire aux bactéries qui régénèrent leur stock de polyphosphate et croissent. [13]

### **I.7.6.4.Élimination de l'azote**

#### **❖ Problème de l'azote dans les effluents urbains**

L'azote présent dans les eaux résiduaires urbaines provient essentiellement de l'urine : on considère un rejet moyen de 13 à 15 g d'azote par jour et par EH sous forme d'urée et d'acide urique. Lors du transport des effluents jusqu'à la station d'épuration, des réactions d'ammonification ont lieu, transformant cet azote organique en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), forme particulièrement nuisible pour les ressources d'eau de surface. En effet, la demande en oxygène exercée par l'ammonium est très élevée et peut conduire à l'eutrophie des ressources ; en outre, il y a dégradation de la qualité de l'eau pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Pour ces raisons, les stations d'épuration doivent prévoir l'élimination de la pollution azotée, qui consiste en la transformation de l'ammonium en nitrites, puis en nitrates. [13]

#### **❖ processus d'élimination de l'azote**

L'élimination de l'azote repose sur la nitrification de  $\text{NH}_4^+$ , qui est transformé en  $\text{NO}_3^-$  cependant, en fonction de la qualité voulue de l'effluent à rejeter, et/ou de la présence d'un traitement du phosphore, il peut être nécessaire de procéder à une dénitrification, correspondant à la transformation de  $\text{NO}_3^-$  en azote gazeux.

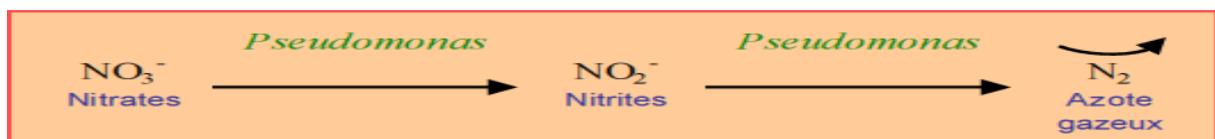
#### **La nitrification biologique:**

Nitrosomonas et Nitrobacter sont des bactéries autotrophes aérobies strictes : elles tirent leur énergie de l'oxydation du carbone présent dans le dioxyde de carbone ; par contre, elles ont besoin d'oxygène ne pour leur respiration.



### La dénitrification biologique

Il existe trois modes de réduction des nitrates : la réduction assimilative, la réduction disassimilative incidente et la réduction disassimilative véritable. C'est cette dernière qui nous intéresse plus particulièrement et que l'on appelle abusivement « la respiration des nitrates », car ces derniers jouent, en anoxie, le rôle tenu par l'oxygène en aérobie. Même si beaucoup de bactéries sont dénitrifiantes, les plus actives dans ce procédé sont essentiellement les Pseudomonas. [13]



### **I.7.7. Le traitement tertiaire**

A l'issue des procédés décrits précédemment, les eaux sont normalement rejetées dans le milieu naturel. Dans le cadre d'une réutilisation des eaux usées épurées, les eaux usées nécessitent des traitements supplémentaires, en particulier, pour éliminer les micro-organismes qui pourraient poser des problèmes sanitaires.

Actuellement, il existe de nombreuses techniques de désinfection visant à améliorer la qualité bactériologique des rejets afin de protéger les milieux récepteurs sensibles comme notamment les zones de baignades et conchylicoles. [14]

#### **I.7.7.1. Les procédés chimiques**

##### **I.7.7.1.1 La chloration**

Ce procédé, qui a été le plus utilisé, n'est plus considéré aujourd'hui comme la solution la plus adaptée pour trois raisons essentielles :

- Dans les eaux résiduaires, le chlore introduit se combine très rapidement avec les ions ammonium et d'une façon générale des groupements NH des composés organiques pour donner des chloramines dont le pouvoir bactéricide réduit doit être compensé par des temps de contact prolongé. Les chloramines sont de très médiocres virucides alors que l'accent a été mis sur le rôle des virus dans les pathogénies de la baignade et surtout dans les affections gastro intestinales résultant de la consommation de coquillages pollués. Il en résulte que les critères de salubrité bactériologique (E. coli - streptocoques fécaux) perdent toute représentativité lorsque le rejet est chloré.

-Le déversement d'effluents chlorés est susceptible de présenter des inconvénients résultant de la toxicité de nombre de sous-produits formés par l'action du réactif sur l'ammonium, les dérivés aminés et les composés organiques en général. La déchloration au bisulfite est peu efficace sur les plus stables de ces sous-produits.

-Plusieurs études ont montré que la chloration, appliquée sur des eaux usées, était suivie d'une reviviscence bactérienne, après traitement.

Si les techniques de chloration sont maintenant mieux maîtrisées, leur mise en oeuvre reste délicate, surtout, lorsque le débit et la qualité de l'effluent présentent des variations rapides (réseau unitaire, eaux parasites...). L'inertie des dispositifs d'asservissement peut temporairement provoquer une perte d'efficacité par sous-dosage ou des effets dommageables pour la vie aquatique par sur-dosage.

La chloration d'effluents bruts chargés de matières en suspension n'apporte qu'une

sécurité apparente et illusoire car elle ne touche que partiellement les germes les plus dangereux. [14]

#### ***1.7.7.1.2. Ozonation***

L'ozone est un oxydant puissant réputé pour ses performances bactéricides et virucides. De plus, il ne semble pas générer des sous-produits toxiques pour le milieu récepteur et aucune reviviscence de germes après traitement n'a été décrite.

Son efficacité est reconnue mais elle dépend évidemment de la qualité du traitement d'épuration en amont : une attention particulière doit être portée à l'élimination des matières organiques oxydables, des matières en suspension et des nitrites.

Malgré son efficacité, ce procédé est peu utilisé en France, principalement pour des raisons économiques. Son champ d'application paraît limité à des installations de grande capacité. [14]

#### **1.7.7.2. Les procédés physiques**

Les procédés de désinfection physique mettent en oeuvre deux processus : une destruction et/ou une rétention des microorganismes sur un support de filtration. Dans le premier cas, il est fait appel au rayonnement ultra-violet ; dans le second, à une filtration sur sable ou sur membrane en traitement tertiaire. [14]

##### ***1.7.7.2.1. Les rayonnements UV***

La désinfection des eaux résiduaires par rayonnement ultra-violet à 254 nm présente l'avantage de ne pas laisser de sous-produits nocifs pour les écosystèmes. La technique est aujourd'hui mieux maîtrisée et il existe une large gamme de possibilités de mise en œuvre : réacteur ouvert ou fermé, lampes basse pression ou haute pression installées horizontalement ou verticalement. Il semble que les canaux ouverts soient plus adaptés aux débits importants que les appareils fermés. Il est aussi admis que les lampes basse pression sont les plus performantes.

L'efficacité de la désinfection UV est liée à la qualité de l'effluent à traiter : les microorganismes sont protégés par les matières en suspension sur lesquelles ils sont absorbés. De plus, les composés chimiques dissous dans l'eau abaissent la valeur de la transmission et limitent les doses reçues par les microorganismes. [14]

##### ***1.7.7.2.2. La filtration***

La filtration est un procédé physique qui permet de retenir les microorganismes par rétention à l'aide d'un filtre. Qu'elle soit réalisée sur sable (L'infiltration-percolation : cette technique consiste à infiltrer l'effluent épuré dans le sol, à vitesse lente, au travers d'un massif sableux, naturel ou rapporté, réparti en plusieurs bassins.) ou sur membrane (La filtration sur membrane : les membranes d'ultra-filtration n'ont aucun pouvoir destructeur, mais assurent la rétention des micro-organismes sur le filtre, en créant une barrière physique.), cette technique exige une épuration secondaire préalable garantissant une élimination assez poussée des matières en suspension. [14]

##### **1.7.7.3. Le lagunage**

Le lagunage ne sera évoqué que pour mémoire. En effet, il doit être regardé comme un procédé, non pas de désinfection, mais d'épuration et/ou d'affinage qui peut assurer une réduction importante du niveau de contamination bactériologique d'une eau usée, dans certaines conditions de climat et d'usage du milieu.

Son efficacité est étroitement liée aux situations climatiques, au temps de séjour, à la conception du système et à sa gestion. Elle est sensiblement réduite en période hivernale lorsque la température et l'éclairement deviennent faibles.

Cette solution, qui constitue une voie alternative à un traitement de désinfection, apparaît donc adaptée lorsque le rejet est susceptible d'affecter la qualité d'une zone de baignade. Elle l'est beaucoup moins lorsqu'une zone conchylicole ou de pêche à pied est concernée, particulièrement dans les régions les moins ensoleillées. [14]

# Réutilisation des Eaux Usées Epurées

## INTRODUCTION

L'importance grandissante des coûts d'amener l'eau pour l'alimentation des villes, 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 **la réutilisation des eaux usées**. 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.

### II.1.DEFINITION ET OBJECTIFS

**La réutilisation des eaux usées épurées** est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques. [16]

L'objectif de la **REUE** porte sur deux aspects :

**L'aspect productif** : qui est de fournir des quantités supplémentaire d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturel de l'eau. [16]

**L'aspect préventif** : il se manifeste dans le fait d'assurer l'équilibre du cycle hydrologique et protéger le milieu environnant. [16]

### II.2.LES DOMAINES D'APPLICATION

On peut distinguer cinq catégories de réutilisation :

- réutilisation pour l'irrigation : cultures fourragères ou maraîchères, céréales, prairies, etc;
- réutilisation industrielle : circuit de refroidissement, construction, papeteries, industries textiles, etc;
- réutilisation en zone urbaine : lutte contre l'incendie, lavage de voirie, recyclage des eaux usées d'un immeuble, arrosage de parcs, etc;
- la production d'eau potable;
- la recharge de nappe phréatique.

Dans les parties suivantes sont présentées les différentes catégories de réutilisation, avec leurs caractéristiques propres et des projets correspondants existant dans le monde. Une partie est spécifiquement consacrée aux risques concernant la réutilisation agricole. Le lien entre le niveau de traitement, les autres usages et le risque est exposé dans le paragraphe suivant. [5]

#### II.2.1.Notion de risque

Les études d'estimation du risque distinguent deux types de risque : le risque potentiel et le risque réel. [6]

Le risque potentiel comprend lui-même le risque théorique et le risque expérimental. [6]

Le risque théorique, également appelé danger, est défini par le critère d'absence ou de présence d'un contaminant (micro-organisme, métal lourd, etc.). Il dépend de la population qui produit les eaux usées et d'autres facteurs (présence de rejet industriel, réseau unitaire, etc.). [6]

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 micro-organismes) ou de rétention (pour les micropolluants), et de la dose minimale nécessaire pour contaminer un individu (i.e. dose infectante pour les micro-organismes et seuil de toxicité pour les micropolluants). [6]

Le risque réel (correspond à la probabilité [d'être contaminé] dans une population exposée). 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).

Nous pouvons alors conclure sur les risques sanitaires d'une REUE, en fonction de l'usage, du niveau de traitement et de la nature du contaminant. [6]

### **II.2.2. La réutilisation des eaux usées épurées en agriculture**

L'irrigation est l'activité humaine qui consomme le plus d'eau. La réutilisation agricole des eaux épurées comme moyen d'économiser la ressource a donc été une des premières voies de développement des projets de la réutilisation des eaux usées épurées. Certains pays devant faire face à des graves pénuries d'eau ont développé en ce sens une politique à l'échelle nationale. En effet, la réutilisation évite que les stations d'épuration rejettent leurs effluents polluants dans le milieu récepteur.

Dans le cas spécifique de l'irrigation, les bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource, mais aussi dans la nature des eaux usées. En effet, elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) ainsi que des oligoéléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) qui sont bénéfiques pour les cultures, et qui peuvent augmenter significativement le rendement. Les MES contribuent également à la fertilisation des sols car elles sont riches en matière organique. L'utilisation d'eaux usées à la place des engrais chimiques est économiquement intéressante pour les agriculteurs.

Le bénéfice d'une réutilisation des eaux usées épurées peut donc être double:

**-au niveau économique**, car en plus d'une préservation quantitative de la ressource, les agriculteurs font des économies d'engrais;

**-au niveau écologique**, car en plus de la diminution des rejets d'eaux usées dans le milieu, la pollution agricole diminue.

Mais il faut faire attention à ne pas apporter ces éléments fertilisants en excès. Il y a en effet un triple risque:

**-un risque sanitaire**: les MES protègent les micro-organismes de beaucoup de traitements, comme les traitements au chlore ou aux ultraviolets. Il existe donc une compétition entre l'élimination des micro-organismes et la préservation de MES en vue d'une utilisation agricole.

**-un risque technique**: si la concentration des MES sont importantes, elles peuvent entraîner le bouchage des canalisations et systèmes d'irrigation;

**-un risque agronomique et environnemental**: il est possible que les éléments soient apportés en excès. Dans ce cas, il y a un risque de pollution des sols et de diminution du rendement. Les taux en éléments nutritifs (nitrate essentiellement) et la salinité de l'eau utilisée (cause de la dégradation des sols) sont de première importance. Il faut donc trouver le bon équilibre entre le niveau de traitement, les besoins des cultures et la nature du sol. [5]

L'utilisation d'eaux épurées pour l'irrigation doit donc se faire avec précaution.

#### **II.2.2.1. Les principaux critères de qualité à respecter pour l'irrigation**

Constituent	Paramètres Mesurés	Raison de l'intérêt
<b>Matières en Suspension</b>	Matière en suspension, y compris matières volatiles et fixes	Les solides en suspension peuvent mener au développement des dépôts de boues et de conditions anaérobies lorsque l'eau usée non traitée est rejetée dans l'environnement aquatique. Les quantités excessives de matières en suspension causent le colmatage des systèmes d'irrigation. [17]
<b>Matières organiques</b>	Demande Biochimique en	Composé principalement de protéines, d'hydrates de carbone, et de graisses. Si elles sont rejetées dans

<b>es bio-dégradables</b>	Oxygène, Demande Chimique en Oxygène	l'environnement, leur décomposition biologique peut mener à l'épuisement de l'oxygène dissous des eaux réceptrices et au développement de conditions septiques. [17]
<b>Pathogènes</b>	Organismes indicateurs, coliformes totaux et fécaux	Les maladies contagieuses peuvent être transmises par les microbes pathogènes dans l'eau usée: bactéries, virus, parasites. [17] Les problèmes posés par l'utilisation d'une eau de mauvaise qualité bactériologique et virologique ainsi que les précautions à prendre pour limiter les risques d'une contamination humaine soit directe, soit indirecte (par les plantes). [18]
<b>Nutriments</b>	Azote, Phosphore, Potassium	L'azote, le phosphore et le potassium sont les nutriments essentiels à la croissance des plantes et leur présence augmente normalement la valeur de l'eau pour l'irrigation. Une fois déchargés dans l'environnement aquatique, l'azote et le phosphore peuvent mener à la croissance d'une vie aquatique indésirable. Une fois déchargé en quantités excessives sur les sols, l'azote peut également mener à la pollution des eaux souterraines. [17]
<b>Matières organiques stables (réfractaires)</b>	Composés spécifiques (par exemple, phénols, pesticides, hydrocarbures chlorés)	Ces produits organiques résistent à des méthodes conventionnelles de traitement des eaux résiduaires. Quelques composés organiques sont toxiques dans l'environnement et leur présence peut limiter la convenance de l'eau usée pour l'irrigation. [17]
<b>L'activité de l'ion hydrogène</b>	pH	Le pH de l'eau usée affecte la solubilité des métaux ainsi que l'alcalinité des sols. La gamme normale dans l'eau usée municipale est pH = 6.5 à 8.5 mais les eaux usées industrielles peuvent modifier le pH de manière significative. [17]
<b>Métaux Lourds</b>	Eléments spécifiques (par exemple: Cd, Zn, Ni, Hg...)	Quelques métaux lourds s'accumulent dans l'environnement et sont toxiques pour les plantes et les animaux. Leur présence peut limiter la convenance de l'eau usagée pour l'irrigation. [17]
<b>Matières minérales Dissoutes</b>	Matières totales dissoutes, conductivité électrique, éléments spécifiques (par exemple: Na, Ca, Mg, Cl, B)	<b>La salinité</b> : elle est représentée par la concentration des ions calciums $Ca^{2+}$ , magnésiums $Mg^{2+}$ , sodiums $Na^+$ , chlorures $Cl^-$ , sulfates $SO_4^{2-}$ et bicarbonates $HCO_3^-$ . Une salinité élevée traduit la présence d'une grande quantité d'ions en solution ce qui amènerait à causer des dégâts irréversibles vis-à-vis des plantes comme les brûlures racinaires. La salinité étant mesurée par le taux des matières dissoutes totales (MDT) en mg/L. Elle est mesurée également par la conductivité électrique en mS/cm où $1dS/m = 640 ppm$ de sel. [19]  <b>Sodicité</b> : Pour maintenir les conditions d'infiltration adéquates dans les sols irrigués, il faut veiller à

empêcher les complexes d'échange du sol de se charger en Na. [18]

On exprime le danger de sodicité d'une eau d'irrigation par le S.A.R. (Sodium Absorption Ratio)

Calcul du SAR :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Où  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$  sont exprimés en meq/l.

Eau de  $SAR > 9$  : pas utilisable

(provoque une déstructuration du sol).

Eau de  $0 < RAS < 6$  : utilisable sur tous les types de sols

Quand le SAR se situe entre 6 et 9, les risques de problèmes liés à la perméabilité du sol augmentent. Dans ce cas, le sol devrait être analysé tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol.

Eau de  $6 < RAS < 9$  : risque d'imperméabilité élevé

Le sodium échangeable a une incidence marquée sur les propriétés chimiques et physiques des sols. A mesure que la teneur en sodium échangeable augmente, le sol a tendance à se disperser, il devient moins perméable à l'eau et ne se prête guère aux façons culturales. L'eau d'irrigation stagne alors à la surface du sol et ne parvient plus jusqu'aux racines. Suivre ce paramètre au cours des campagnes va permettre d'apprécier la dégradation éventuelle de la structure du sol et l'altération. [19]

***l'alcalinité:*** est la mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides, c'est un peu comme le pouvoir tampon de l'eau. Elle correspond aussi à la mesure de la résistance à tout changement de pH.

Le pouvoir neutralisant de l'eau est attribué à la présence des bicarbonates de calcium et de magnésium ou également mais en moindre mesure aux hydroxydes, bases organiques, borates ou ions ammonium. L'alcalinité est exprimée en ppm (mg/L) de carbonates de calcium  $CaCO_3$ . Pour corriger l'alcalinité, il est nécessaire de rajouter de l'acide, qui va abaisser le pH et ainsi libération des ions  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  et les rendre disponible pour les plantes. [18]

***La dureté:*** de l'eau fait référence à la quantité de calcium et magnésium contenu dans l'eau. Ces deux éléments proviennent de l'altération de la roche mère.

Une eau dure n'est pas souhaitable pour une utilisation domestique car elle réduit de beaucoup l'efficacité du

		savon par contre en agriculture une eau dure aide le sol à conserver une bonne structure par les ponts calciques. La dureté est exprimée sous forme d'équivalent de carbonates de calcium en CaCO <sub>3</sub> ppm ou mg/L. [19]
<b>Chlore Résiduel</b>	Chlore libre et combiné	Des quantités excessives de chlore disponible libre (>5 mg/l de Cl <sub>2</sub> ) peuvent causer des nécroses foliaires et endommager certaines cultures sensibles. Cependant, la plupart du chlore dans l'eau usée épurée est sous une forme combinée, qui n'endommage pas les cultures. Quelques inquiétudes existent quant aux effets toxiques des matières organiques chlorées en regard de la contamination des eaux souterraines. [17]

Tableau II. 1 : Les principaux critères de qualité à respecter pour l'irrigation.

### II.2.2.2. La teneur en sel dans l'eau d'irrigation

L'excès de la teneur en sel est l'un des sources principales avec l'eau utilisé pour l'irrigation.

Une concentration élevée en sel dans l'eau ou dans le sol affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation des sols est pollution des eaux souterraines.

L'utilisation d'une eau salée pour l'irrigation dépendre de plusieurs facteurs:

- la tolérance en sel de la récolte;
- les caractéristiques du sol sous irrigation;
- les conditions climatiques, la qualité de l'eau d'irrigation joue un rôle essentiel dans les secteurs arides affectés par des taux d'évaporation élevés entraînant une accumulation importante des sels dans le sol.
- les procédures de gestion des sols et de l'eau.

En général, l'eau réutilisée pour l'irrigation doit avoir un degré faible ou moyen de salinité (conductivité électrique de 0.6 à 1.7 millimho/cm).

Une grande attention doit être prise pour les zones côtières où l'infiltration d'eau de mer pose un risque important de salinité de l'eau d'irrigation qu'est alors pompée depuis les puits.

Risque	Ppm ou mg/l	ds/m ou millimho/cm
<b>Nul</b>	<b>&lt;500</b>	<b>&lt;0.75</b>
<b>Légers</b>	<b>500-1000</b>	<b>0.75-1.5</b>
<b>Modéré</b>	<b>1000-2000</b>	<b>1.5-3</b>
<b>Sévère</b>	<b>&gt;2000</b>	<b>&gt;3</b>

Tableau II. 2 : le risque dû la salinisation dans les eaux épurées. [20]

Une eau avec un taux modéré de salinité peut être utilisée si une filtration modéré est effectuée.

Une eau contenant un haut degré de salinité (CE>1.5) et une grande quantité de sodium (SAR>6) ne doivent pas être utilisées pour l'irrigation.

Néanmoins dans certains endroit en manque d'eau, l'eau très saline être utilisée en tant que supplément pour d'autre sources. Un bon contrôle est une bonne gestion deviennent alors essentiels. [20]

### II.2.2.3. Mesure de la salinité

La salinité est difficilement estimable par analyse chimique directe, c'est-à-dire par séchage et pesée du résidu solide, car certains corps présents (chlorures) s'évaporent en fin de séchage.

La salinité est depuis 1978 officiellement mesurée à partir de la conductivité électrique de l'eau à une certaine température et pression. [20]

### **II.2.2.3.1. Calcul de la minéralisation**

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous de l'eau et sa conductivité électrique :

La table de calcul de la minéralisation nous permet de calculer la minéralisation à partir de la conductivité électrique.

Tableau II. 3: La table de calcul de la minéralisation

conductivité $\mu\text{S/cm}$	minéralisation mg/l
conductivité < 50 $\mu\text{S/cm}$	1,365079 x conductivité
conductivité [50 à 166] $\mu\text{S/cm}$	0,947658 x conductivité
conductivité [166 – 333] $\mu\text{S/cm}$	0,769574 x conductivité
conductivité [333 – 833] $\mu\text{S/cm}$	0,715920 x conductivité
conductivité [833 – 10000] $\mu\text{S/cm}$	0,758544 x conductivité
conductivité > 10000 $\mu\text{S/cm}$	0,850432 x conductivité

Source : [21]

Si l'eau avec un très haut degré de salinité est utilisée (circonstances extrêmes de manque d'eau), le sol doit être perméable, le drainage doit être suffisant, l'eau doit être en excès pour fournir une meilleure lixiviation et les récoltes doivent être bien choisies (relativement résistants à la salinité).

On estime qu'environ 21% de la totalité des terres irriguées sont endommagées par le sel (voir le tableau ci-dessous). [21]

### **II.2.2.3.2. Dommages dû à la salinisation**

Pays	Terres irriguées endommagées par le sel (millions ha)	Total des terres irriguées endommagées par le sel%
<b>Inde</b>	7	<b>17</b>
<b>Chine</b>	6.7	<b>15</b>
<b>Pakistan</b>	4.2	<b>26</b>
<b>USA</b>	4.2	<b>23</b>
<b>Ouzbékistan</b>	2.4	<b>60</b>
<b>Iran</b>	1.7	<b>30</b>
<b>Turkménistan</b>	1.0	<b>80</b>
<b>Egypte</b>	0.9	<b>33</b>
<b>Estimation dans le monde</b>	47.7	<b>21</b>

[20]

Tableau II. 4: les Dommages dû à la salinisation.

Si un agriculteur applique annuellement 1000 tonnes d'eau d'irrigation par hectare de récolte, entre 2 et 5 tonnes de sels seront ajoutés à cette terre chaque année. A moins que ces

sels soient rincés, d'énormes quantités peuvent s'accumuler durant des années ou des décennies. [20]

#### **II.2.2.4. Les normes d'irrigation**

Les normes internationales liées aux paramètres de surveillance de la qualité de l'eau d'irrigation sont pour la plupart dictés par l'OMS ou la FAO :

Paramètres	Unité	Normes	
		FAO	OMS
PH			6,5-8,4 *
Turbidité	NTU		/
CE	dS/m	<0,7 * 0,7 - 3,0 * >3.0 *	Aucune restriction restriction légère à modérée Forte restriction
MES	mg/l		< 70**
DCO	mg O2 /l		< 40 **
DBO5	mg O2/ l		<10 **
NO <sup>3-</sup>	mg/l		50 **
NO <sup>2-</sup>	mg/l		< 1 **
NH4 +	mg/l		< 2 **
PO4 <sup>-3</sup>	mg/l		< 0,94 **
HCO3 -	mg/l		500 *
Cl	mg/l		1065 *
Ca <sup>2+</sup>	mg/l		400*
Mg <sup>2+</sup>	mg/l		60,75 *
K+	mg/l		50 *
Na <sup>+</sup>	mg/l		920 *
Chlore résiduel	mg/l		/
SAR	meq/l	<3* - 3 - 9 * >9*	Aucune restriction restriction légère à modérée Forte restriction
Coliformes	UFC/100ml		/
Streptocoque fécaux	UFC/100ml		1000 **
Salmonelles	UFC/ 1L		Absence **

[20]

Tableau II. 5: normes d'irrigation selon FAO et l'OMS.

#### **II.2.2.5. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées**

L'utilisation des eaux usées épurées représente un risque important même si on considère qu'elle est bien épurée et répondant à des normes sévères, le risque reste présent et majeur.

Les risques liés à une utilisation agricole sont:

- le risque microbiologique;
- le risque chimique;
- le risque environnemental. [5]

#### ***II.2.2.5.1. Le risque microbiologique***

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

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

Afin de limiter l'impact sanitaire et psychologique de la réutilisation d'eaux usées pour irriguer des plantes destinées à la consommation humaine, les modes d'arrosage dits « localisés » sont recommandés.

L'irrigation localisée consiste à arroser les plantes une par une, à leur pied, par un système de goutte-à-goutte, micro-jet, etc. Elle permet de réduire considérablement les risques de contamination microbiologique. C'est une gestion intégrée des risques sanitaires pour laquelle le traitement de désinfection n'est pas le seul facteur permettant de diminuer les risques, mais un des facteurs. [5]

#### ***II.2.2.5.2. Les risques liés aux éléments traces : le risque chimique***

La seule voie de contamination vraiment préoccupante pour les éléments traces est la consommation de plantes cultivées, dans lesquelles ils s'accumulent. Les modes de réutilisation autre que l'agriculture ne semblent pas dangereux et ceci pour deux raisons : premièrement, les quantités d'eau potentiellement ingérables par les utilisateurs sont extrêmement faibles (« boire la tasse » en natation par exemple) et deuxièmement les concentrations en micro-polluants sont infinitésimales dans les eaux épurées.

Le danger réside donc dans la consommation de végétaux contaminés, et exceptionnellement dans une consommation d'eau directe.

Dans le cas d'une réutilisation agricole, par contre, l'accumulation des micro-polluants dans les plantes peut sembler plus problématique. Mais certains de ces micro-polluants peuvent être intéressants en tant que facteurs de croissance des végétaux ; il faut donc trouver un équilibre entre le risque sanitaire et l'intérêt agronomique. [5]

#### ***❖ Les métaux lourds***

On peut séparer les métaux lourds en quatre classes, selon qu'ils sont ou non indispensables au développement des végétaux, et selon qu'ils posent ou non des problèmes sanitaires.

Tableau II. 6: Classification des métaux en fonction de leur dangerosité et de leur intérêt agronomique

Métaux	intéressants pour les plantes	inutiles ou mauvais pour les plantes
ne posant pas de problème sanitaire	Mn Fe	Pb, Hg, Sn Cr, Se, Al

**posant un problème sanitaire**      **Cu, Mo**  
**Zn**

**As, Ni**  
**Cd**

[5]

Le manganèse (Mn) et le Fer (Fe) sont tous deux indispensables au bon développement des végétaux, et leur utilisation en agriculture ne pose pas de problème pour la santé. En effet, ils sont déjà naturellement présents en forte proportion dans les sols.

Les métaux suivants ne sont pas indispensables pour les végétaux, mais ne présentent pas non plus de danger pour l'utilisation agricole. En effet:

- le plomb (Pb) reste fixé au sol et par conséquent ne pénètre pas dans les plantes;
- le sélénium (Se), l'étain (Sn) et le mercure (Hg) sont présents à des teneurs trop faibles dans les eaux épurées pour poser des problèmes sanitaires;
- le chrome (Cr) est sous forme ionique (Cr<sup>3+</sup>), qui est peu toxique et qui ne pénètre pas dans les végétaux;
- enfin, l'aluminium (Al) est déjà présent naturellement dans les sols, en forte proportion.

Il existe des métaux lourds indispensables pour les végétaux, mais dont l'utilisation en agriculture peut poser des problèmes. Il s'agit:

- du cuivre (Cu), qui présente une certaine toxicité pour les animaux d'élevage; cependant le seuil de phytotoxicité est atteint avant celui de zootoxicité, c'est-à-dire que l'on va pouvoir détecter la contamination chez les plantes en premier et par là éviter de les donner à manger aux animaux;
- du molybdène (Mo), qui n'est pas phytotoxique, mais qui peut poser un problème sanitaire pour le bétail;
- du zinc (Zn) qui est peu toxique, mais qui s'accumule très facilement dans les tissus végétaux.

Cette classification a été réalisée à partir des recommandations du Conseil supérieur de l'hygiène publique de France (CSHPF) de 1991.

Enfin, il existe trois métaux lourds qui ne sont pas indispensables au développement des végétaux, et qui, de plus, sont dangereux d'un point de vue sanitaire. Il s'agit:

- de l'arsenic (As) : une nouvelle valeur limite a été recommandée en 1993 par l'OMS, et adoptée par l'Union Européenne (1998) et la France (2001). Le niveau d'arsenic toléré pour la potabilité a ainsi été abaissé de 50 µg/l à 10 µg/l;
- du nickel (Ni) : il est peu toxique, mais s'accumule facilement dans les tissus végétaux;
- du cadmium (Cd) : c'est de loin le micro-polluant non organique le plus préoccupant.

En effet, il est parfois présent à des concentrations importantes dans les eaux usées, il est très mobile dans le sol, il peut s'accumuler dans les plantes et atteindre des concentrations sanitaires préoccupantes avant la manifestation d'effets phytotoxiques. Il peut s'accumuler dans l'organisme et provoquer une intoxication grave. [5]

En conclusion, remarquons que le risque posé par les métaux lourds dépend de leur toxicité potentielle et du niveau d'exposition (concentration, durée); par ailleurs, certains sont bons pour la croissance des végétaux. Ils s'éliminent facilement par des traitements physiques(décantation) et se retrouvent généralement dans les boues. On notera donc qu'avec un bon traitement, et sauf exception (rejets industriels, accidents), les concentrations de la majorité des métaux lourds dans les eaux épurées domestiques sont trop faibles pour poser un réel problème sanitaire, quelle que soit la réutilisation envisagée, même agricole. [5]

#### ❖ Les micropolluants organiques

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. Cependant, l'existence de ce risque potentiel ne conduit pas à une interdiction de l'utilisation d'eaux épurées pour l'irrigation (car il faudrait alors également interdire l'utilisation d'eaux superficielles et de certains produits phytosanitaires selon le même principe). Toutefois, il faut rester prudent, surtout vis-à-vis d'eaux épurées urbaines qui, dans certains cas particuliers, pourraient avoir des caractéristiques chimiques différentes et des concentrations en substances toxiques importantes.

La plupart de ces éléments traces sont peu solubles, et les traitements des eaux usées par décantation sont efficaces pour les éliminer. On les retrouve donc plutôt dans les boues que dans les eaux épurées. Les concentrations infimes dans les effluents d'origine urbaine et leur transfert limité vers les végétaux rendent très faible le risque sanitaire dans le cas d'une réutilisation agricole. [5]

### **II.2.5.3. Protection des ressources en eau : le risque environnemental**

#### ***II.2.5.3.1. Les eaux souterraines***

La contamination des eaux souterraines dépend de trois paramètres : le sol, les roches sous-jacentes et la nappe.

Deux caractéristiques sont essentielles pour les sols : la capacité de rétention et la capacité d'épuration. Les sols qui ont une bonne capacité de rétention sont les sols argilo-sableux, ceux ayant une mauvaise qualité sont les roches fissurées. Une bonne capacité de rétention assure une bonne assimilation par les plantes et un étalement de la pollution dans le temps. La capacité d'épuration est assurée par la fixation des substances polluantes (adsorption, précipitation), la transformation des molécules organiques par des micro-organismes et l'exportation par les végétaux.

Les réservoirs ayant une perméabilité d'interstices (gravier, sable) permettent une bonne épuration à l'inverse des sols avec une perméabilité de fissures (calcaire, dolomies, granit, etc.).

Les nappes libres sont les plus exposées à la contamination, non seulement parce qu'elles ne bénéficient pas d'une protection naturelle vers la surface, mais encore parce qu'elles sont en général peu profondes. [17]

Les nappes captives : sont plus protégées mais peuvent être éventuellement contaminées par des forages ou une autre mise en communication avec la surface ou un autre aquifère pollué.

La réutilisation des eaux usées épurées peut donc être remise en cause dans des zones qui cumulent ces facteurs de risque, c'est-à-dire des nappes libres proches de la surface du sol dans des réservoirs avec une perméabilité de fissures. L'utilisation de ces ressources pour l'alimentation en eau des collectivités constitue un facteur aggravant le risque.

Pour ce qui est de la survie des micro-organismes, lors de l'infiltration et des risques de contamination du sol, les bactéries, les protozoaires et les helminthes sont très rapidement éliminés, par les phénomènes d'adsorption et de compétition trophiques selon les mêmes phénomènes que les traitements par percolation/infiltration.

De manière générale, le risque semble faible, même si chaque cas particulier doit être soigneusement étudié pour déterminer des facteurs de risques propres à chaque terrain. Il existe des cas où l'utilisation d'eaux épurées en agriculture est toujours préférable à un rejet direct dans la nappe, comme cela se fait dans certaines régions où les rejets sont impossibles à faire vers les cours d'eau. [17]

#### ***II.2.5.3.2. Les eaux superficielles***

Les rejets directs d'eaux épurées posent des problèmes d'eutrophisation des cours d'eau, de qualité de l'eau destinée à la production d'eau potable (norme d'un

maximum de 50 mg/l pour l'azote) et de contamination microbiologique des zones de conchyliculture.

### **II.2.3.La REUE industrielle**

Il s'agit bien ici de la réutilisation, pour l'industrie, d'eaux usées domestiques d'origine urbaine, et non de la réutilisation d'eaux usées industrielles. Les entreprises possèdent souvent leur propre station d'épuration afin de traiter les effluents spéciaux issus des processus industriels. Il arrive parfois qu'elles réinsèrent les effluents épurés dans leur processus, mais ce n'est pas ce qui est traité dans cette partie.

La REUE industrielle peut donc 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. [5]

### **II.2.4.La REUE 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. [5]

### **II.2.5.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. [5]

### **II.2.6.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. [5]

### **II.3.LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES EN ALGERIE**

La pénurie de l'eau dans le monde, et la gestion des ressources en eau constituent l'un des problèmes les plus cruciaux du 21ème siècle. Les changements climatiques et la sécheresse qui sévissent depuis plusieurs décennies dans différentes régions du monde, ont touché particulièrement les pays d'Afrique du Nord, et ont eu un impact négatif sur les ressources en eau de ces pays.

Cette sécheresse, qui risque de s'accroître durant le siècle à venir, pourrait entraîner dans ces pays une véritable crise de l'eau.

La situation actuelle en Algérie, se caractérise par un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles. La croissance démographique et le développement économique et social du pays ont induit durant les deux dernières décennies écoulées, un accroissement considérable des besoins en eau potable, industrielle et agricole.

Les besoins exprimés par les différents utilisateurs sont nettement supérieurs aux ressources en eau mobilisées.

En outre, les pollutions des nappes et des ressources superficielles par les rejets domestiques, industriels et agricoles dépassent de loin les capacités de traitement des systèmes d'épuration. Ces dégradations réduisent les volumes d'eau susceptibles d'être utilisés.

Les différentes causes de déséquilibre et de rupture d'un développement durable liées aux problèmes de l'eau apparaissent aussi dans les prélèvements effectués dans les nappes souterraines, qui dépassent les limites de renouvellement des ressources naturelles et nécessitent de puiser dans les réserves non renouvelables. Comme de nombreux pays, l'Algérie considère actuellement la résolution des problèmes de l'eau comme une de ses priorités et un défi majeur à relever. [22]

#### **II.3.1.Les problèmes de la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie**

La réutilisation des eaux épurées dans l'irrigation doit être menée par un personnel qualifié.

La réglementation doit être respectée, chose indispensable pour la réussite de la REUE en Algérie.

La question de l'acceptabilité de la réutilisation des eaux usées épurées par la population.

Le déficit hydrique en Algérie est une dure réalité en face de laquelle on doit trouver et choisir des solutions adéquates pour le maîtriser.

Ainsi la REUE se présente comme une solution indispensable vues les avantages environnementaux et économiques qu'elle présente.

La REUE doit devenir une politique d'état en Algérie. Ce qui est le cas dans plusieurs pays comme la Tunisie à titre d'exemple. [16]

#### **II.3.2.Stratégie pour augmenter le stockage de l'eau**

Pour éviter de répercuter fatalement le déficit en eau d'ici l'an 2025, il faut mobiliser le maximum des ressources superficielles et souterraines, cherchant de nouvelles ressources, lutter contre les pertes et améliorer la qualité des eaux disponibles. C'est la

qualité de l'eau qui est devenue un problème crucial, car depuis une trentaine d'années, cette qualité est menacée par les activités humaines.

L'augmentation des besoins d'une région dans les trois grandes catégories (industrie, agriculture, particuliers) demande une planification innovatrice des ressources hydriques. Il est clair que l'Algérie enregistre d'un côté un manque énorme en ressources, au même moment où les besoins augmentent, et de l'autre côté le volume d'eau mobilisable est en diminution, ceci est dû aux différents problèmes naturels ou humains qui touchent les sites susceptibles de capter les eaux. Partant de ce constat, nous proposons une série de suggestions dans le but de sauvegarder nos ressources mobilisées actuellement, tout en tentant de les augmenter au maximum, dans la mesure du possible.

Afin de réduire ce déficit hydrique, la réutilisation des eaux usées épurées dans l'agriculture est une solution incontournable dans le cas de notre pays. [22]

### II.3.3. Réutilisation des eaux usées épurées

Actuellement, l'eau usée traitée provenant des stations d'épuration existantes, lorsque celles-ci sont opérationnelles, est rejetée dans les oueds.

Actuellement le parc d'installation d'épuration se compose de 77 stations (secteur urbain 35, secteur industriel 34, secteur du tourisme 8). Les capacités de traitement installées sont estimées à la fin 1987 à près de 140 millions de m<sup>3</sup>/an. Actuellement, la plupart des stations d'épuration sont à l'arrêt généralement pour des raisons de maintenance.

Etant donnée la situation critique que vit l'Algérie en matière de ressources en eau, nous sommes amenés à trouver des solutions rapides à ces stations, car, si dans un passé non lointain, la ressource en eau non conventionnelle en Algérie était évoquée très timidement, aujourd'hui elle devient une solution alternative aux ressources conventionnelles qui se font de plus en plus rares.

En considérant les rejets en milieu urbain, de l'ordre de 75% des débits consommés, les volumes d'eaux usées rejetées à travers les réseaux d'assainissement ont été évalués à 350 millions de m<sup>3</sup> en 1979 et 660 millions de m<sup>3</sup> en 1985. Les prévisions de rejet d'eaux usées des agglomérations urbaines sont évaluées à près de 1300 millions de m<sup>3</sup> en 2020. [22]

Les eaux recyclées en 2020 pour les quatre régions suivantes se répartissent comme suit:

Régions Désignations	Oranie C. Chergui	Chélif Zahras	Algérois S. Hodna	Constantinois Sey.Mellègue	Total Algérie du Nord
Eaux usées Epurées (millions m <sup>3</sup> / an) Horizon 2020	en 90	90	230	140	550

Tableau II. 7: Recyclage des eaux usées des 4 régions de l'Algérie du Nord en 2020. [22]

### II.3.4. Ressources en eau en Algérie

Depuis un certain nombre d'années, on a observé le développement de plusieurs phénomènes de dégradation qui affectent gravement l'écosystème en général et le potentiel agricole en particulier, risquant par-là d'entraver l'activité et la production agricole.

En Algérie la plupart des périmètres irrigués sont confrontés aux problèmes de la rareté de l'eau d'irrigation qui diffèrent selon les régions bioclimatiques et agro-pédologiques: la dégradation avancée du sol suite à l'action conjuguée de l'irrigation non maîtrisée, la salinité des eaux, l'insuffisance et/ou l'absence de drainage et la rareté des amendements organiques est remarquable.

La dimension de ce problème qui touche pratiquement une grande partie des terres agricoles constitue une contrainte majeure au développement agricole; qui tend par ailleurs, à

prendre plus d'importance avec les diverses extensions. Le problème de salinité est rencontré pratiquement au niveau de la quasi-totalité des terres agricoles.

Cette situation a conduit à un appauvrissement des sols qui se traduit par une régression de la productivité et limite très sérieusement la pratique des cultures. [23]

#### **II.3.4.1. Les eaux conventionnelles**

Les potentialités en eau de l'Algérie sont estimées à 19 milliards de m<sup>3</sup> répartis comme suit:

- Dans les régions de Nord: 14.2 milliards de m<sup>3</sup>
- Dans les régions sahariennes (aquifères profonds): 5 milliards de m<sup>3</sup>. [23]
- Mobilisation de la ressource:
  - Les volumes mobilisables sont évalués à 12 milliards de m<sup>3</sup>:
  - 7 milliards de m<sup>3</sup> au Nord,
  - 5 milliards de m<sup>3</sup> au sud. [23]

L'agriculture vient en tête dans l'usage d'eau utilisée en moyenne 70% des ressources disponibles, la consommation humaine représente 23% et l'usage industriel 7%. [23]

#### **II.3.4.2. Les eaux non conventionnelles**

Le volume global des eaux usées rejetées au niveau national: 660 millions de m<sup>3</sup>.

L'utilisation de 50% seulement de cette eau épurée permettra l'irrigation d'une superficie de près de 40000 ha/an.

Le volume global des eaux usées traitées ne dépasse pas 75 millions de m<sup>3</sup> par an. [23]

Une réutilisation de cette eau est initiée au niveau des wilayas suivantes:

Sétif	<i>1592 ha.</i>
Constantine	<i>300 ha.</i>
Souk Ahras	<i>1500 ha.</i>
Mila	<i>150 ha.</i>
boumerdes	<i>50 ha.</i>

[23]

Tableau II. 8: les surfaces irriguées par les eaux usées épurées.

# Traitement et valorisation des boues d'épuration

## INTRODUCTION

Les stations d'épuration urbaines assurent le traitement des eaux usées urbaines et/ou industrielles acheminées par les réseaux d'assainissement. Ce traitement, s'il a pour objet le rejet d'une eau épurée acceptable par le milieu récepteur, produit également un résidu polluant, désigné sous le terme de boues d'épuration.

Le devenir des boues provenant des stations d'épuration des eaux usées urbaines étant un sujet d'actualité, leurs différentes voies d'élimination sont passées en revue : rejet à la mer, mise en décharge, incinération, épandage sur les sols en agriculture. La dernière solution est pratiquement la plus utilisée et devrait encore se généraliser dans le futur.

Il faut noter que les boues d'épuration peuvent constituer un apport non négligeable en matière organique pour le sol.

### III.1. QU'EST-CE QU'UNE BOUE ?

Les boues d'épuration sont les sous-produits d'une station d'épuration des eaux usées. Considérés comme des déchets, ces boues représentent une menace pour l'environnement du fait de leur composition ; cadavres de bactéries pour l'épuration biologique et produits chimiques (floculant, coagulant) pour les procédés physico-chimiques, qui ne convient pas à n'importe quel environnement. [8]

### III.2. TYPOLOGIE DES BOUES

On distingue différents types de boues selon les traitements appliqués pour épurer l'eau dans un milieu boueux.

#### III.2.1. Les boues primaires

Ce sont les dépôts récupérés par une simple décantation des eaux usées (dans les décanteurs-digesteurs par exemple). Elles présentent des concentrations élevées en matières minérales (sable, terre...) mais aussi en matière organique pouvant évoluer. [2]

#### III.2.2. Les boues physico-chimiques

elles ressemblent aux boues primaires sauf que durant le traitement de l'eau usée, il a été rajouté un réactif (sels de fer, d'aluminium, et autres agents floculants) pour agglomérer les fines particules et améliorer la décantation. [2]

#### III.2.3. Les boues biologiques

elles sont aussi appelées boues secondaires, elles proviennent d'une épuration biologique des eaux (boues activées, disques biologiques, lits bactériens...). Ces boues sont très organiques car elles sont principalement constituées de corps bactériens et de leurs sécrétions. [2]

On distingue aussi:

#### III.2.4. Les boues mixtes

Constituées d'un mélange de boues primaires et biologiques, elles proviennent de la plupart des stations de traitement. [2]

#### III.2.5. Les boues d'aération prolongée

obtenues sans décantation primaire avec des matières polluantes intensivement aérées. Les boues sont peu concentrées, moins organiques et donc moins susceptibles de produire des nuisances. [2]

### III.3. CARACTERISTIQUES

Les boues sont caractérisées par la concentration en matières sèches (ou siccité), leur teneur en matières volatiles (pouvoir fermentescible et calorifique), leur concentration en azote et phosphore (possibilité d'amendement agricole).

La répartition de l'eau contenue (eau libre ou eau liée), la viscosité (facilité de déshydratation) et la granulométrie caractérisent la structure des boues. [2]

#### III.3.1. La siccité d'une boue

La boue est essentiellement constituée d'eau et de matières sèches. Cette dernière

s'exprime en g/l ou en pourcentage. Elle détermine par séchage à 105°C ou par infrarouge.

Le pourcentage d'eau représente l'humidité, le pourcentage de matière sèche la siccité. Ainsi, une boue à 10% de siccité présente une humidité de 90%. [2]

### **III.3.2. Leur teneur en matière volatile ou matières organiques**

par opposition aux matières minérales. La teneur en matière volatile s'exprime en pourcentage du poids des matières sèches. Elle permet d'évaluer le degré de stabilisation des boues et leur aptitude à subir divers traitements (digestion, incinération, ...); [2]

### **III.3.3. Leur teneur en matière minérale**

c'est la différence entre matière sèche et matière volatile ;

### **III.3.4. Le pouvoir calorifique**

la teneur en matière organique des boues leur confère une aptitude à la combustion, ce qui permet de les incinérer. [2]

### **III.3.5. La consistance de boues**

La consistance de boue est critère essentiel pour le stockage, l'homogénéisation, la manutention et enfouissement, etc. cette consistance est liée à l'état physique de la boue.

Cependant quatre états physiques sont généralement définis en tenant compte de la siccité:

- boue liquide dont la siccité est de 0 à 10%,
- boue pâteuse dont la siccité est de 12 à 25%.
- la boue solide pour une supérieure à 25%,
- boue sèche pour une siccité supérieure à 85%. [2]

### **III.3.6. Les facteurs caractérisant la structure de la boue**

Les boues urbaines sont considérées comme des véritables systèmes colloïdaux, dont la forte stabilité est déterminée par la nature des propriétés de surface des colloïdes et par les interactions entre les particules.

#### **III.3.6.1. la viscosité apparente**

Une viscosité est considérée comme une mesure de l'intensité des forces inter particulières.

#### **III.3.6.2. la nature de l'eau contenue dans la boue**

L'eau présente 95% de la masse de la boue. Dans une boue urbaine elle est sous deux états:

- l'eau libre*, assez facilement éliminable par filtration ou décantation,
- l'eau liée ou combinée* comprenant: l'eau d'hydratation colloïdale, l'eau capillaire et enfin l'eau chimique liée. Cette eau ne peut être éliminée que par la chaleur (conditionnement thermique, séchage ou incinération).

#### **III.3.6.3. la granulométrie**

La granulométrie, mesure la taille et étudie la répartition statique, selon leur grosseur, des éléments d'une substance pulvérulente.

L'analyse granulométrie s'effectue jusqu'à 80 µm par tamisage du matériau. [2]

### **III.3.7. L'acidité des boues (PH)**

Le PH est un paramètre important pour l'utilisation ultérieure des boues en agriculture. Il détermine partiellement la charge électrique des particules solides et, par conséquent, influe sur leur stabilité colloïdale.

Dans le cas de boues digérées par voie anaérobie la fermentation étant alcaline, le PH doit être proche de la neutralité. Une chute en dessous de 6.5 indique un déséquilibre de la digestion. En cas de stabilisation aérobie, le PH sera acide. [2]

### **III.3.8. Le rapport C/N**

Le rapport C/N ou rapport carbone sur azote est un indicateur qui permet de juger du

degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol:

-C/N < 15 : production d'azote, la vitesse de décomposition s'accroît ; elle est à son maximum pour un rapport C/N = 10

-15 < C/N < 30 : besoin en azote couvert pour permettre une bonne décomposition de la matière carbonée,

-C/N > 30 : Pas assez d'azote pour permettre la décomposition du carbone (phénomène de "faim d'azote"). L'azote est alors prélevé dans les réserves du sol. La minéralisation est lente et ne restitue au sol qu'une faible quantité d'azote minéral.

Il est couramment admis que, plus le rapport C/N d'un produit est élevé, plus il se décompose lentement dans le sol mais plus l'humus obtenu est stable. [24]

### **III.4.LE TRAITEMENT DES BOUES**

La quasi-totalité des procédés d'épuration appliqués aux eaux usées domestiques, qu'ils soient biologiques ou physico-chimiques, conduisent à la concentration des polluants sous la forme de suspensions aqueuses ou de boues représentant des déchets volumineux. Il s'avère de plus en plus difficile de trouver une solution au problème des boues. Ces derniers représentent une phase difficile et très délicate en raison de la raréfaction des terrains ou cavités disponibles pour l'épandage ou le dépôt des boues, les nécessités et exigences de l'environnement et de l'hygiène publique, et l'importance économique compte tenu aussi bien des coûts d'investissement que d'exploitation d'une installation de traitement de boues.

Les objectifs principaux d'une filière boue sont la réduction des volumes et des nuisances.

En effet, telles qu'elles ont été évacuées de la filière eau, les boues sont constituées à 99% d'eau, ce qui engendre des volumes de stockage conséquents. De plus, elles sont très fermentescibles donc dégagent rapidement des odeurs désagréables, en partie, responsables du refus psychologique de les utiliser en agriculture.

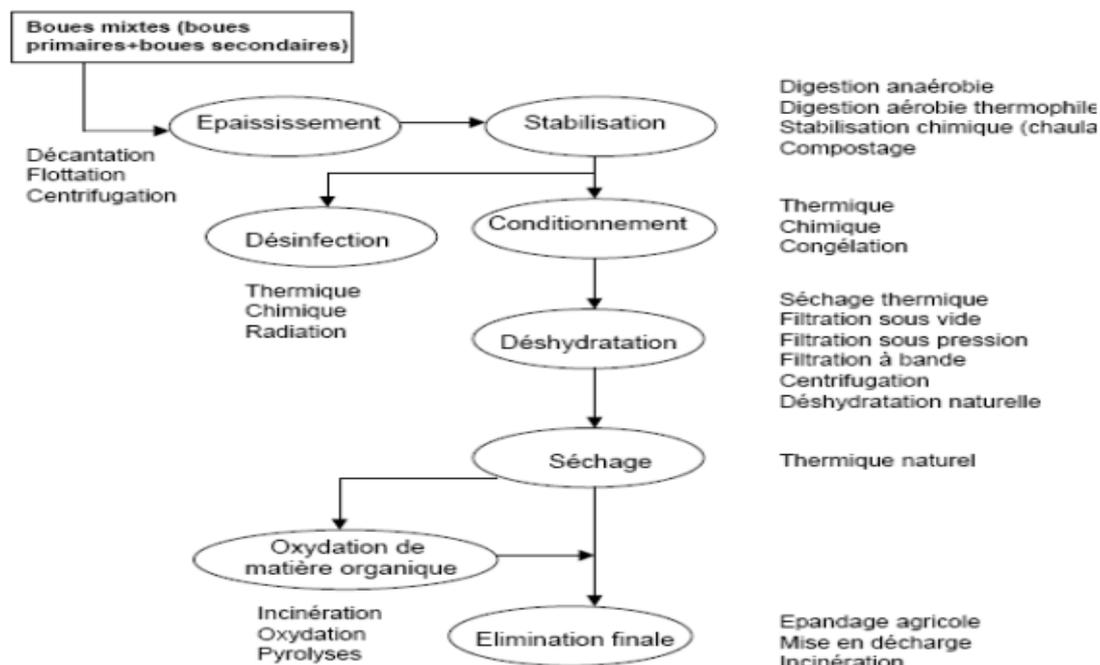
Les procédés de traitement des boues peuvent varier suivant leurs natures et la taille de la station d'épuration. Trois grands types de traitement sont à distinguer:

-Des traitements de réduction de la teneur en eau des boues (l'épaississement, déshydratation, séchage), visant à diminuer le volume de boues à stocker ou à épandre et/ou à améliorer leurs caractéristiques physiques (tenue en tas notamment);

-Des traitements de stabilisation, dont l'objectif est de réduire le pouvoir fermentescible des boues afin de limiter ou d'annuler les nuisances olfactives;

-Des traitements de stérilisation qui visent à éliminer la charge en microorganismes pathogènes. [24]

Schéma III. 1: Options et classification des procédés pour le traitement des boues



### III.4.1. Réduction de la teneur en eau des boues

P

pour réduire le volume des boues, différents procédés sont mis

en œuvre, comprenant par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épaississement, la déshydratation et le séchage.

#### III.4.1.1. L'épaississement

C'est la première étape du traitement. A l'entrée de la filière, la boue étant extrêmement liquide, pour réduire les volumes à traiter, on élimine l'eau libre. L'épaississement peut être statique, gravitaire ou dynamique par flottation, selon le type de boue à traiter. Ainsi, pour une boue activée, on préfère l'épaississement dynamique par flottation car les particules en suspension sont de gros diamètre et de faible densité.

Par contre, pour les boues primaires, l'épaississement gravitaire permet de concentrer la boue de deux à huit fois, en l'amenant de quelques grammes par litre à quelques dizaines de grammes par litre. IL existe une troisième méthode, plus performante, mais qui nécessite l'emploi de polymères. C'est l'épaississement dynamique sur table d'égouttage: la boue est floculée avec le polymère, puis circule sur une toile filtrante où l'eau est éliminée. [24]

#### III.4.1.2. La déshydratation

La déshydratation est la deuxième étape de la réduction de volume des boues. Elle conduit à l'élimination d'environ 40-50% de la phase liquide. Elle est réalisée:

- par centrifugation,
- par filtration (filtre à plateaux, sacs filtrants, tamis d'égouttage),
- par séchage (lits de séchage naturel, séchoirs thermiques directs ou indirects). [24]

#### III.4.1.3. Le séchage

Le séchage élimine l'eau en grande partie ou en totalité par évaporation, soit par voie naturelle (lits de séchage), soit par voie thermique. La technique des lits de

séchage se réalise à l'air libre sur des boues liquides et combine évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable et de graviers. Le séchage thermique permet une élimination de la quasi-totalité de l'eau (siccité d'environ 95%). [24]

### **III.4.2. Stabilisation des boues**

Cette étape permet de réduire le pouvoir fermentescible des boues, ainsi que les nuisances olfactives. Il existe trois grands types de stabilisation: la stabilisation biologique (digestion aérobie ou anaérobie, compostage), la stabilisation chimique (chaulage) et la stabilisation physique (séchage poussé). Les procédés biologiques permettent de dégrader les matières organiques, et conduisent à une réduction de la matière. En revanche, les procédés chimiques et physiques bloquent l'action des microorganismes par inhibition de leur métabolisme, la quantité de matière reste la même ou augmente suite à l'ajout de produits chimiques (ajout de chaux, par exemple). Certains de ces traitements permettent aussi de réduire les risques sanitaires. [24]

#### **III.4.2.1. La stabilisation biologique aérobie**

Tous les procédés biologiques sont basés sur les activités métaboliques naturelles des organismes impliqués. Lorsqu'un substrat métabolisable est disponible dans le milieu, substrat exogène, les cellules l'utilisent comme source de matière organique pour leurs activités cataboliques et anaboliques. C'est ce processus qui prédomine dans les procédés où le milieu à traiter est riche en matière organique, comme par exemple les processus de boues activées ou de digestion aérobie.

Le principe de la stabilisation aérobie est identique à celui évoqué pour les boues activées, exception faite du temps de séjour des solides biologiques qui est plus long. C'est une transformation de la matière organique par oxydation en milieu aérobie, avec dégagement de chaleur et production de dioxyde de carbone. [24]

#### **III.4.2.2. La stabilisation biologique anaérobie**

La stabilisation anaérobie des boues permet de fermenter une partie des matières organiques en dioxyde de carbone et méthane, avec une production relativement faible de biomasse cellulaire. Le processus implique plusieurs populations microbiennes distinctes qui sont continuellement en interactions, et dont la majorité ne produit pas directement du méthane. [24]

#### **III.4.2.3. La stabilisation chimique (le chaulage)**

Cette technique ne modifie donc pas la quantité de la matière organique biodégradable contenue dans la boue; une reprise de la fermentation est possible si l'évolution ultérieure des conditions du milieu le permet. La chaux, du fait de son coût réduit, de son alcalinité et de son effet favorable à un renforcement de la structure physique de la boue, est le réactif le plus utilisé. [24]

#### **III.4.2.4. La stabilisation physique (séchage poussé)**

Le séchage est une opération du traitement des boues consistant à évaporer l'eau libre et liée. [24]

### **III.4.3. Le traitement de stérilisation**

Il n'est pas, à proprement parler, un procédé de stabilisation. Il a pour but d'obtenir une désinfection de la boue. L'inactivation totale des agents pathogènes peut être recherchée, par exemple, dans le cas d'épandage des boues sur des pâturages en exploitation. Il est sûrement atteint si toutes les particules de la suspension boueuse sont maintenues à 70 °C pendant 30 min. Certains traitements déjà évoqués, détruisent les germes pathogènes contenus dans les boues : le chaulage en élevant le pH au-dessus de 12.

Le compostage peut détruire les germes pathogènes par les températures élevées. [24]

## **III.5. LES BOUES D'EPURATION ENGRAIS OU DECHETS?**

L'avantage principal de la fertilisation avec des boues, c'est qu'elle permet de restituer

de précieuses substances nutritives de la consommation à l'agriculture. Elle présente par contre le risque de libérer dans l'environnement les polluants contenus dans les boues. Il est donc important de bien peser le pour et le contre des boues. A court terme, il faudra mettre au point des systèmes et des méthodes qui concilient durabilité (recyclage des nutriments) et précaution (protection de l'environnement). [25]

### **III.6.QUELS SONT LES ARGUMENTS EN FAVEUR DE L'EPANDAGE DES BOUES?**

Les boues, qui contiennent de l'azote, du phosphore et parfois de la chaux, ont des effets bénéfiques pour l'agriculture. Les boues compostées présentent en effet un double intérêt : agronomique grâce à leur pouvoir nutritif et comme amendement organique, et leur pouvoir structurant, en effet ces boues contribuent à l'amélioration du potentiel de matière organique de sol.

L'amélioration physique d'un sol s'apprécie au travers de la disponibilité de la réserve en eau, de la stabilité structurale (perméabilité, aération, biologie) et de l'autoprotection des matières organiques (création d'agrégats stables). L'apport de boues s'accompagne de l'oxydation de composés carbonés, ce qui produit une action énergétique au niveau de la biomasse du sol.

L'intérêt des boues n'est pas uniquement agronomique, l'utilisation des boues peut prévenir l'érosion et limiter le ruissellement par temps de pluie (impact sur l'urbanisme et sur l'assainissement).

En résumé, le recyclage des résidus organiques s'inscrit dans une stratégie de développement durable par ses aspects sociaux (relations ville/agriculture, emplois locaux induits...), économiques (maîtrise des coûts de l'assainissement, économies d'engrais...) et environnementaux (retour au sol de la matière organique...). [25]

### **III.7.DESTINATION FINALE DES BOUES ET FINALITE DE LEUR TRAITEMENT**

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. [11]

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

#### **III.7.1.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. [26]

### **III.7.2.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.[11]

### **III.7.3.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.[11]

### **III.7.4.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. [11]

## **III.8.L'APPLICATION DES BOUES SUR LE SOL**

### **III.8.1.Conditions d'utilisation des boues**

Selon le traitement appliqué aux boues on distingue : des boues liquides, pelletables, ou en poudre. La dose ou la quantité des MS de boues à apporter par hectare et par an pour une boue normalisée est déterminée presque toujours par la satisfaction des besoins en azote des plantes. Il est donc nécessaire de connaître la composition en azote de la boue qui sera épandue pour fixer cette dose.

Pour déterminer la période d'apport des boues, il faut tenir compte du fait que les éléments fertilisants qu'elles contiennent ne sont pas immédiatement disponibles pour les plantes.

A l'état actuel, on considère que la quantité d'azote utilisable correspond à la quantité d'azote organique susceptible d'être minéralisée pendant la période de végétation de la compagne qui suit l'épandage, à laquelle s'ajoute la quantité d'azote minéral

initialement présente dans le produit brut. On estime que la quantité d'azote utilisable pendant l'année qui suit l'épandage correspond à environ 30 à 50% de l'azote total pour les boues liquides et 20 à 45% pour les boues déshydratées.

Il faut cependant tenir compte de l'éventualité des pertes de nitrates résultant d'apport des boues avant une période de lessivage. [26]

### **III.8.2. la modalité d'application des boues**

Les boues liquides dont l'humidité est comprise entre 95% et 99% peuvent être répandues par aspersion ou par labourage.

Ce mode d'épandage évite les opérations coûteuses de déshydratation et permet de disposer d'un produit riche en azote rapidement utilisable; il présente cependant un inconvénient: celui des transports des masses importantes d'eau. Ces boues fraîches liquides, susceptibles de présenter des problèmes d'odeurs, doivent être mélangées au sol immédiatement après l'application.

La pulvérisation peut être utilisée pour la plupart des sols, même s'ils sont en pente, pourvu que la qualité de boues soit contrôlée de manière à empêcher le ruissellement.

Les boues pâteuses, contenant 75 à 95% d'humidité sont par contre d'une utilisation agricole très difficile, car elles ont tendance à coller aux instruments utilisés pour les épandre.

Les boues séchées reprennent difficilement l'humidité ce qui représente un inconvénient pour le sol.

Un autre problème, plus complexe à résoudre, est l'irrégularité des besoins; en effet l'épandage des boues liquides ne peut pas être effectué pendant toute l'année, mais seulement pendant la période végétative des cultures, alors que la production des boues est régulière. Ceci suppose une mise en réserve de celle-ci dans les fosses à purin ou des lagunes à boues. [26]



Figure III. 1: L'épandage des boues liquides réalisé par le biais de lisier.

### **III.8.3. Contraintes limitant l'utilisation des boues en agriculture**

L'application des boues d'épuration, même traitées, sur des terres agricoles représente un risque de contamination du sol. Appliquée pendant des années et inadéquatement, la fertilisation peut conduire à une pollution de eaux de surfaces (par drainage ou par érosion) ainsi que des eaux souterraines et de source. D'autre part, les polluants s'accumulent dans le sol, ce qui entraîne à long terme une diminution de la fertilité du sol (réduction de la diversité et de l'activité microbienne), de la qualité des plantes cultivées ainsi que du rendement de culture. De plus, les polluants peuvent atteindre la chaîne alimentaire et avoir des répercussions négatives sur les êtres humains et les animaux d'élevage. [26]

#### **III.8.3.1. Les pathogènes**

La plupart des traitements que subissent les boues provoquent simplement une chute des populations pathogènes mais très rarement leur disparition complète. Il résulte de ceci que les boues, même après digestion, ne doivent pas être remises en contact direct avec les végétaux susceptibles d'être consommés crus.

Les micro-organismes pathogènes qui ont résisté à l'épuration n'ont pas toute la faculté de survivre sur ou dans le sol. Dans le sol, les germes pathogènes sont dans un milieu qui leur est très défavorable (car froid et sec); de plus, ils y sont exposés aux radiations solaires.

En outre, ils sont en compétition avec les micro-organismes qui s'adaptent bien au milieu et se développent rapidement. Le problème des pathogènes est en effet difficile à résoudre. Certains parasites par exemple restent plusieurs années dans le sol. Ils sont d'autant plus difficiles à éliminer qu'ils prennent une forme enkystée dans les conditions défavorables alors qu'ils se développent lorsqu'ils se retrouvent dans les animaux à sang chaud ou chez l'homme. [26]

### **III.8.3.2.La toxicité**

La toxicité se manifeste dans le végétal lui-même comme résultat de l'absorption et de l'accumulation de certaines substances contenues dans la boue. La présence de métaux lourds dans la boue peut également constituer un danger qui pourrait provenir de l'accumulation de ces derniers dans les cultures (effet de concentration) et leur transmission aux consommateurs. [26]

### **III.8.3.3.Les micropolluants organiques**

Ce sont des substances qui peuvent avoir une action néfaste pour le traitement des boues, ou pour leur utilisation en agriculture. Il s'agit généralement, de produits organiques de synthèse qui sont utilisés dans la vie courante et qui se retrouvent dans les eaux usées domestiques.

Les détergents, largement utilisés dans les ménages, présentent plusieurs inconvénients pour la boue:

\*la présence de tensio-actifs perturbe la digestion anaérobie des boues;

\* ils influent sur les propriétés d'échange d'ions du sol;

\*ils ont enfin une action néfaste sur les micro-organismes et sur les plantes;

Les poly électrolytes, fréquemment utilisés pour la déshydratation des boues, présentent des propriétés électrochimiques qui pourraient influencer sur la physico-chimie du sol et des plantes. [26]

### **III.8.3.4.Les micropolluants minéraux**

Il s'agit essentiellement des métaux lourds et certains métalloïdes qui ont été très largement étudiés en laboratoire et sur le terrain.

Certains de ces éléments, les oligo-éléments, sont nécessaires à la production végétale et leur présence dans les boues est favorable dans la mesure où leur teneur reste inférieure au seuil de toxicité. Il s'agit du zinc, du cuivre, du manganèse, du bore, du molybdène, du cobalt et du fer.

D'autres éléments tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le chrome, l'aluminium, le nickel et l'arsenic ne sont pas utiles dans le sol, et leur concentration ne doit pas dépasser certaines limites, car ils contamineraient les plantes. Le cadmium, le plomb et le mercure sont également tous toxiques pour les organismes animaux qu'ils affectent à travers la chaîne alimentaire. [26]

### **III.8.4.Localisation des métaux lourds dans les boues**

Les métaux lourds peuvent être présents dans les boues sous différentes formes: soluble, précipitée ou liée aux particules solides.

La mobilité et la toxicité des métaux lourds dépendront essentiellement des formes sous lesquelles ils se trouvent dans les boues.

Dans le cas d'une station biologique, il se produit certains phénomènes intervenant au niveau de l'élimination des métaux. Dans le décanteur primaire, la

séparation des métaux lourds et de l'eau s'effectue essentiellement par sédimentation des métaux sous forme insoluble ou adsorbés sur les particules.

Au niveau du traitement biologique, l'intégration des M.L dans les boues activées s'effectue selon trois principaux mécanismes:

- \* rétention mécanique des métaux insolubles dans les floes de boues;
- \* complexité des métaux initialement solubles avec des polymères extracellulaires;
- \* accumulation des métaux solubles à l'intérieur des cellules. [26]

# Présentation de la station d'épuration de Boumerdes

## **INTRODUCTION**

L'extension de la ville de Boumerdes a nécessité la réalisation de nouveaux collecteurs qui ont permis de ceinturer la ville actuelle et son développement futur. [3]

Tous ces collecteurs déversaient les eaux usées sur la plage, sans aucun traitement, par l'intermédiaire de l'Oued TATAREG.

En 1996 la direction de l'Hydraulique de Boumerdes a engagé des travaux de réalisation d'un système d'épuration capable de prendre en charge les rejets urbains des villes de Tidjelabine, Corso en plus de Boumerdes. [3]

Ce système est composé de trois stations de relevage et d'une station d'épuration en mesure de traiter les eaux usées d'une population équivalente à 75 .000 équivalents habitants.

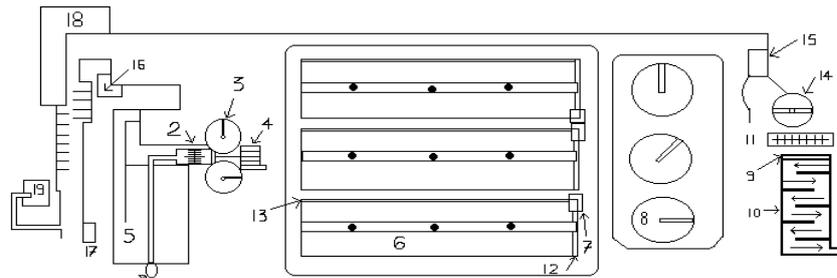
Ce système a été mis en service au mois de janvier 2001, Depuis cette date les problèmes engendrés par la pollution des rejets urbains ont pratiquement disparus notamment sur les plages de Boumerdes.

### **IV.1. PRESENTATION DE LA STATION D'EPURATION DE BOUMERDES (STEP)**

La station d'épuration de Boumerdes occupe une superficie de 3,11 hectares et une capacité de traitement de 75000 eq-hab (Coût de l'opération : S'élève à 820 millions de dinars). Elle est destinée à épurer les eaux usées domestiques de la ville de Boumerdes et des communes voisines telle que Tidjelabine et Corso. [3]

Dès que l'effluent a atteint son niveau d'entrée du prétraitement, il est acheminé de manière gravitaire vers le dégrilleur en passant sur un canal d'écrtage, qui permet d'évacuer le surplus de pointe quotidienne et des périodes d'orage pour être vidé pendant les périodes creuses.

Le schéma ci-dessous représente les différents ouvrages de la STEP de Boumerdes par lesquels passent les eaux usées pour le traitement.



- |                           |                                    |                                |
|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| 1- Pompe de relèvement    | 8- Clarificateur                   | 15- Batiment de déshydratation |
| 2- Dégrillage automatique | 9- Comptage de l'effluent traité   | 16- salle de controle          |
| 3- Dessableur-dégraisseur | 10- Bassin de chloration           | 17- Poste d'entrée             |
| 4- Ouvrage de répartition | 11- Batiment de chloration         | 18- Batiment administratif     |
| 5- Bassin d'orage         | 12- Bache de dégazage              | 19- Logement des gardiens      |
| 6- Bassin d'aération      | 13- Comptage des boues recirculées |                                |
| 7- Poste de recirculation | 14- Epaisseur des boues            |                                |

Schéma IV.1 : Les ouvrages de la STEP de Boumerdes

#### IV.1.2.L'arrivée des eaux

La station de relevage principale est la SR3, cette dernière reçoit l'eau usée de plusieurs stations de relevage (8 stations) dispersées entre la ville de Boumerdes et ses environs tel que Corso et Ben Rahmoune. La SR3 envoie l'eau usée vers la STEP de Boumerdes par pompage, remarquant qu'au niveau des SR, on a un dégrilleur pour gros déchets solides, L'autre arrivée est de Tidjelebine est dotée d'un panier dégrilleur. [27]

#### IV.1.3.Collecteurs Inter-Stations

Le réseau d'assainissement est de type unitaire. Les collecteurs principaux s'orientent vers la station d'épuration en régime gravitaire et forcé dans le cas morphologique défavorable ou des stations de relevage sont réalisées.

Schéma.2 : Schéma directeur d'assainissement de Boumerdes



Le réseau principal développe une distance d'environ 12 km et se compose de :

\*Collecteurs principaux :

- Conduite gravitaire: commune de Tidjelabine-station de relevage l=4360 ml en DN 600 BA.
- Conduite gravitaire : commune de Tidjelabine-STEP l= 2354 ml en DN500 BA.
- Conduite de refoulement : station de relevage 1 –regard de dissipation l= 180 ml en DN 300A/C.
- Conduite gravitaire : regard de dissipation – SR3 l=744 ml en DN 600BA.
- Conduite de refoulement : station de relevage 2- regard de dissipation l = 963 ml en DN 400A/C
- Conduite gravitaire : regard de dissipation – SR3 l=350 ml en DN 600BA.
- Conduite de refoulement : station de relevage 3- Step l= 2180 ml en DN 600A/C. [28]

Tableau IV. 1 : Fiche technique des Huit (08) stations de relevage de Boumerdes

Désignation	Caractéristiques
SR1	<p>Débit unitaire :37 l/s</p> <p>HMT : 10 m</p> <p>Nombre de pompes : 04</p>
SR2	<p>Débit unitaire :45 l/s</p> <p>HMT : 31 m</p> <p>Nombre de pompes : 04</p>
SR3	<p>Débit unitaire :151 l/s</p> <p>HMT : 41 m</p> <p>Nombre de pompes : 04</p>
SR4	<p>Débit unitaire :86 l/s</p> <p>HMT : 22 m</p> <p>Nombre de pompes : 02</p>

Désignation	Caractéristiques
-------------	------------------

<b>SR5</b>	<b>Débit unitaire :26 l/s</b> <b>HMT : 47 m</b> <b>Nombre de pompes : 02</b>
<b>SR6</b>	<b>Débit unitaire :15.2 l/s</b> <b>HMT : 39 m</b> <b>Nombre de pompes : 02</b>
<b>SR7</b>	<b>Débit unitaire :15.2 l/s</b> <b>HMT : 39 m</b> <b>Nombre de pompes : 02</b>
<b>SR8</b>	<b>Débit unitaire :15.2 l/s</b> <b>HMT : 39 m</b> <b>Nombre de pompes : 02</b>

[28]

## IV.2.OBJECTIF DU TRAITEMENT

Objectif ciblé et requis en sortie de station :

<b>DBO5</b>	<b>30mg/l</b>
<b>DCO</b>	<b>90mg/l</b>
<b>MES</b>	<b>30mg/l</b>
<b>NTK</b>	<b>40mg/l</b>

[27]

Tableau IV. 2 : Objectif du traitement de la STEP de BOUMERDES

### IV.2.1. Définition de la pollution à traiter

L'eau à traiter a les caractéristiques suivantes:

<b>Volume journalier</b>	<b>15 000 m<sup>3</sup></b>
Débit moyen 24 h	625 m <sup>3</sup> /h
Débit de pointe temps sec	1 063 m <sup>3</sup> /h
Débit de pointe temps de pluie	1 944 m <sup>3</sup> /h
DBO5 journalière	4 050 kg
MES journalière	5 250 kg

[27]

Tableau IV. 3 : caractéristiques de l'eau a traité de la STEP de BOUMERDES

## IV.3. LES DIFFERENTES ETAPES DE TRAITEMENT

### Traitement des eaux

#### *Phase 1 : Prétraitement ou traitement préliminaires*

- ✓ Arrivée des eaux .By-pass en cas d'orage vers l'oued, à partir du regard amont au poste de relevage de la station.
- ✓ Dégrillage grossier, relevage, dégrillage fin.
- ✓ Dessablage et dégraissage déshuilage.

#### *Phase 2 : traitement secondaire ou traitement biologique*

- ✓ Traitement biologique
- ✓ Décantation clarification

### Traitement des boues

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

- ✓ Un épaissement statique
- ✓ Une déshydratation mécanique puis la mise en décharge

### **IV.3.1.Traitement des eaux**

#### **IV.3.1.1.Arrivée de l'eau**

L'eau brute arrive d'une part par pompage, d'autre part par gravité. Un déversoir alimente un bassin d'orage de tout débit supérieur au débit accepté par l'installation. Un by-pass contrôle l'entrée générale de la station. [27]



Figure IV.1 : L'arrivée de l'eau

#### **IV.3.1.2.Prétraitement**

##### ***IV.3.1.2.1.Dégrillage***

Un dégrilleur automatique de type champ courbe, avec espacement entre barreaux de 20mm sert à enlever les petits déchets solides, Les refus sont évacués par convoyeur à vis vers une benne, et jetés à la décharge publique.

En cas d'avarie ou d'entretien sur le dégrilleur automatique, il est prévu un canal de by-pass équipé d'un dégrilleur de secours à champ droit à nettoyage manuel et espacement entre barreaux de 20mm ;il est isolé par des batardeaux en aluminium à commande manuelle

Le dégrilleur est monté dans un canal de 1 mètre de large.il est composé d'une grille courbe en acier galvanisé. [27]



Figure IV.2 : dègrilleur

#### ***IV.3.1.2.2.dessablage-dégraissage***

Les ouvrage de dessablage-dégraissage sont alimentés par une entrée centrale, parcourt tout l'ouvrage et sort à l'autre extrémité à travers un orifice immergé, puis passe sur un déversoir aval de maintien d'eau.

Les ouvrages circulaires de dessablage-dégraissage ont pour but :  
1-l'élimination par décantation de la plus grande partie des sables de dimensions supérieur à 150-200 $\mu$ m.

La rétention des particules sableuses contenues dans l'eau résiduaire urbaine est indispensable, car elle permet :

- d'éviter l'abrasion des engins mécaniques.
- D'éviter les surcharges dans les étapes suivantes du traitement, notamment en cas de pluie, ou la quantité journalière de sable arrivant sur la station peut être multipliée de 3 à 7 fois.
- D'éviter l'accumulation de sables dans les étapes ultérieurs du traitement.
- La quantité de sable piégé est de l'ordre de 15 à 40 mg/l
- l'élimination d'une grande partie des matières flottantes (graisses, écumes.....) en partie supérieur des ouvrages.

L'élimination des graisses permet :

- D'améliorer la quantité visuelle de la surface des ouvrages ultérieurs.
- De limiter la quantité de flottants et graisses susceptibles de se coller, de s'agglutiner ou de flotter dans les ouvrages situés en aval et qui peuvent créer des problèmes de colmatage et de fermentation.

- La quantité de graisses piégées est de l'ordre de 5 à 15 mg /l. [27]



Figure IV.3 : Désableur-dégrilleur

### **IV.3.1.3. Bassins d'aération**

L'eau provenant du prétraitement est dirigée vers 1,2 ou 3 bassins d'aération suivant le débit (500,1000 ou 1500 m<sup>3</sup> /jour).

Elle subit un traitement biologique par aération. L'air est fourni par 3 aérateurs de surface qui peuvent être réglés en cadence durée et en régulation O<sub>2</sub>.

Les bassins reçoivent d'autre part la « liqueur mixte » constituée par la recirculation des boues provenant des clarificateurs secondaires. [27]



Figure IV.4 : bassins d'aération

#### **IV.3.1.4. Clarification**

Les eaux issues des bassins d'aération sont dirigées vers 3 clarificateurs ou décanteurs secondaires qui sont constitués de trois ouvrages en béton de diamètre 24m de hauteur latérale d'eau de 2.6 m.

La boue est décantée et l'eau épurée est envoyée à travers les chicanes vers oued TATAREG, puis vers la mer et une partie est utilisée en irrigation sous certaines conditions.

Une partie des boues décantées est recirculées vers les bassins d'aération et une l'autre partie est extraite pour être envoyée vers l'épaississeur c'est l'excès de boue.

Les clarificateurs sont équipés chacune d'un pont racleur radial à entraînement périphérique comprenant :

- une passerelle avec garde-corps.
- Une roue à bandage en caoutchouc.
- Un pivot central avec couronne à bagues.
- Un motoréducteur muni d'un limiteur de couple pour la sécurité de fonctionnement.
- Un raclage de fond.
- Un dispositif de récupération des flottants.

Les racleurs de fond sont fixés sous la passerelle pivotant sur la colonne centrale de l'ouvrage et récupèrent les boues qui sont dirigées vers l'ouvrage de recirculation.

Les flottants sont repris par une lame de surface qui les guide progressivement vers des puits de reprise des flottants situé en un point de la périphérie de l'ouvrage.

Les eaux clarifiées sont recueillies par surverse sur un déversoir circulaire constitué de lames crénelées en acier galvanisé. [27]



Figure IV.5 : Clarificateurs

### **IV.3.2. Le traitement des boues**

Principe du traitement : le traitement des boues issues de la décantation comporte deux étapes :

- 1) un épaissement statique.
- 2) une déshydratation mécanique : les boues épaissies sont d'abord floculées avant d'être envoyées sur une bande presseuse.

L'ajout de polymère (poly électrolyte) en faible quantité est nécessaire afin d'améliorer la filtrabilité des boues avant de passer à la déshydratation mécanique. [27]

#### **IV.3.2.1.1' épaisseur**

L'épaisseur est constitué d'un ouvrage en béton de diamètre intérieur de 13m et est équipé d'un pont racleur diamétral à entraînement central supporté par une colonne centrale en béton armé. L'accès au centre se fait par une passerelle elle-même construite en béton armé. Les boues sont admises dans la partie centrale de l'ouvrage et guidée vers le fond à l'aide d'un déflecteur.

Le pont racleur est équipé :

- d'un ensemble de raclage de fond et lames d'épaissement en acier galvanisé.
- D'un Motoréducteur menu d'un réducteur de vitesse.
- De déversoirs en tôle galvanisée pour retour en tête du surnageant.

Les boues épaissies sont reprises au fond de l'ouvrage à l'aide d'une pompe à rotor excentré pour être refoulées vers la déshydratation.

---

**Caractéristique dimensionnelles****Diamètre intérieur****13m****Caractéristiques fonctionnelles****Charge massique****30kg/m<sup>2</sup>/j****Concentration de sortie moyenne****20g/l minimum****Volume journalier à transférer en déshydratation****792m<sup>3</sup>**

[27]

Tableau IV. 4 : Caractéristiques de l'épaisseur



Figure IV.6 : Epaisseur

**IV.3.2.2.super-press**

La boue est introduite avec un poly électrolyte dans un flocculateur équipé d'un agitateur vertical à vitesse réglable et se déverse sur la première toile dans une zone d'égouttage.

Après l'égouttage, la boue est prise entre les deux toiles et soumise à une compression progressive dans une entrée en forme de coin suivie d'un enroulement sur un tambour perforé de grand diamètre jusqu'au serrage dû à la mise sous tension des toiles.

Les deux toiles passent ensuite sur une série de rouleaux de renvoi de petit diamètre qui augmentent la pression d'essorage en même temps qu'un effort de cisaillement qui rompt la structure de la boue, ouvre des canaux d'essorage de gâteau et améliore de déshydratation finale.

En sortie les deux toiles se séparent après le rouleau entraînement et le gâteau est dégagé par deux racloirs pour évacuation sur une bande transporteuse. [25]

#### **IV.3.2.2.1. Caractéristiques générales SUPERPRESS**

<b>Largeur de bande</b>	<b>2m</b>
<b>Capacité unitaire</b>	<b>150kg MS/m/h</b>
<b>Temps de fonctionnement</b>	<b>13.6h</b>
<b>Avec 1 SUPERPRESS en service</b>	
<b>Consommation de polymère moyenne</b>	<b>20kg/j</b>
<b>Siccité des boues déshydratées</b>	<b>15+-1%</b>

[27]

Tableau IV.5 : Caractéristiques de super-press.



Figure IV.7 : super-press

# Résultats et Interprétations

## INTRODUCTION

Le but du traitement des eaux usées est d'obtenir une eau conforme aux normes des eaux de surface, de façon à ce que leur rejet ne crée aucune nuisance ni vis-à-vis de la faune ni la flore du milieu récepteur.

La réglementation sanitaire fixe, dans chaque pays, la limite de la pollution tolérée pour les rejets en rivière.

Le laboratoire de la station de Boumerdes a pour mission principale, le contrôle de la qualité des eaux à l'entrée et à la sortie de la station. Il effectue l'ensemble des analyses nécessaires au contrôle du bon fonctionnement du processus d'épuration par boues activées.

Afin de bien exprimer nos résultats il a été procédé à une comportant le calcul de la moyenne mensuelle de chaque paramètre avec une représentation graphiques.

### V.1.FREQUENCES DES ANALYSES

Les analyses des différents paramètres de pollution au niveau de la STEP de Boumerdes sont menées comme suit :

MES	6 fois/semaine
DCO	1 fois/semaine
DBO5	1 fois/semaine
N-NH4	1 fois/semaine
NTK	1 fois/semaine
N-NO2	1 fois/semaine
N-NO3	1 fois/semaine
Température	6 fois/semaine
pH, conductivité	6 fois/semaine
PO <sub>4</sub>	1 fois/semaine

Tableau V. 1 : Fréquences des analyses effectuées au niveau de la station de Boumerdes

## V.2.FILIERES EAU

**V.2.1.Variation de débit de la station:** Une des caractéristiques principales de la station d'épuration.

### V.2.1.1.Calcul de coefficient de pointe Cp

$$Cp = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Q}}$$

Sachant que Q représente le débit journalier moyen en l/s; [11]

### *Application numérique*

Q= 12049.07313 m<sup>3</sup> /j (139.4568649 l/s),

Donc: Cp=1.711699611

Donc la variation de débit de la station d'épuration est peu importante. A titre indicatif, le graphique suivant met en évidence la fluctuation du débit entrant à la station au cours des 2 dernières années.

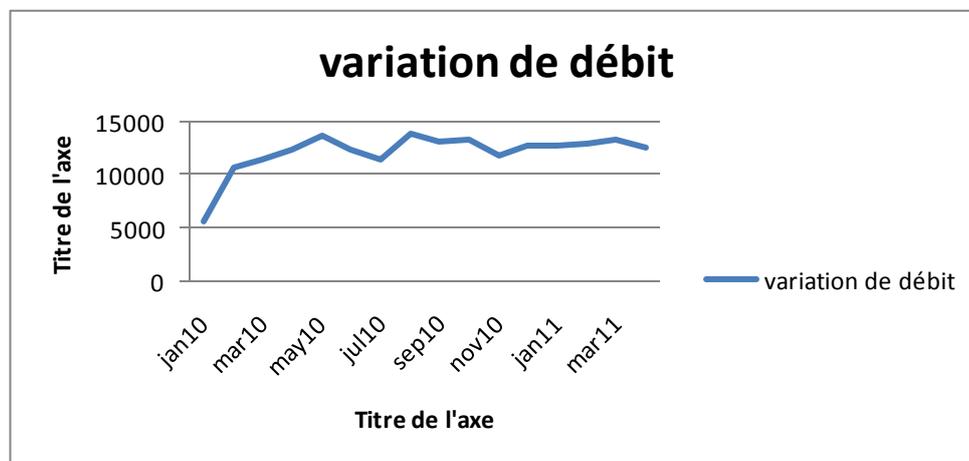


Figure V. 1: Représentation graphique de la variation mensuelle des débits entrants dans la station en 2010 et 2011

Ce graphe présente une valeur moyenne de 12049.07 m<sup>3</sup> /j comprise entre un minimum de 5544.19 m<sup>3</sup> /j et un pic de 13708.39 m<sup>3</sup> /j pour ces deux années.

### **V.2.2.Le PH**

Le pH mesure la concentration des ions H<sup>+</sup> dans l'eau. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. La valeur du pH altère la croissance et la reproduction des micro-organismes existants dans une eau, la plupart des bactéries peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9, l'optimum est situé entre 6,5 et 8,5, des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et la survie des micro-organismes aquatiques.

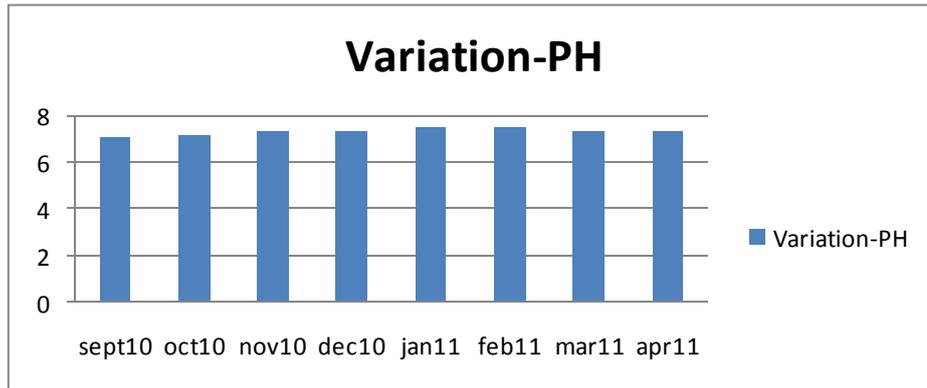


Figure V. 2: Représentation graphique de la variation mensuelle des PH des eaux épurées.

Dans le cas de la STEP de Boumerdes le PH de l'eau épurée varie entre 7 et 7.5, ces valeurs ne dépassent pas les normes de rejet recommandées par L'OMS, et ne présentent donc aucun risque pour la réutilisation de ces eaux usées épurées dans l'irrigation.

### V.2.3.La température

Elle représente l'élément météorologique qui influe sur la concentration de l'oxygène dissout dans l'eau ; qui diminue avec l'augmentation de la température et l'activité des micro-organismes épurateurs.

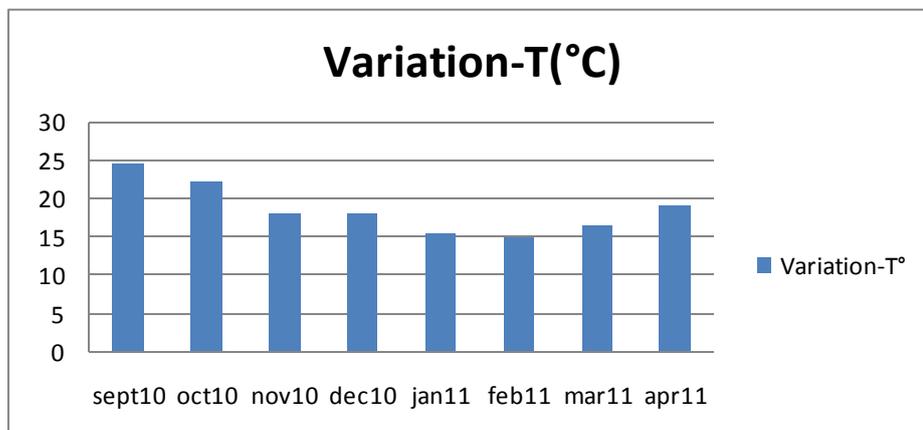
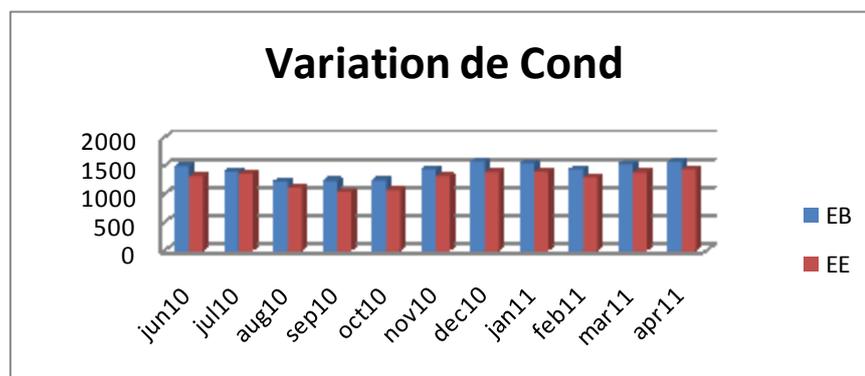


Figure V. 3: Représentation graphique de la variation mensuelle de la température à la sortie de la station.

Ces valeurs ne dépassent pas les normes de rejets recommandées par l'OMS (30°C) et permettent donc la réutilisation agricole des eaux usées épurées avec aisance.

## V.2.4. La conductivité électrique



Figure

V. 4:

Représentation graphique de la variation de la conductivité électrique des eaux brutes et épurées dans la station en 2010 et 2011

La salinité est un paramètre essentiel pour juger la qualité de l'eau d'irrigation. Le problème de salinité ne se pose pas si la CE de l'eau est inférieure à 700 µS /cm, entre 700 et 3000 µS /cm. Il faut choisir des cultures tolérantes aux sels.

La conductivité des eaux usées brutes (CE= 1420.17µS/cm) est supérieure à celle des eaux épurées (CE = 1277.17µS/cm), cette valeur lui confère une forte salinité qui peut provoquer des phénomènes de salinisation au niveau de sol.

La valeur usuelle de la conductivité des eaux usées domestiques normalement concentrées est de 1100 µS/cm. Les résultats des prélèvements de la station de Boumerdes montrent des valeurs de CE très élevées, cela nous renseigne sur la qualité de l'eau potable utilisée, et sur des activités industrielles qui contribuent à l'élévation de CE des eaux usées.

### V.2.4.1. Calcul de la minéralisation: [23]

La minéralisation EB =  $0.758544 \times 1420.17 = 1077.26$  mg/l

La minéralisation EE =  $0.758544 \times 1277.17 = 968.79$  mg/l.

Ces résultats montrent la minéralisation importante de ces eaux épurées.

### V.2.5. Le chlorure:

	ech-1-EE	ech-2-EE
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	147.32	140.44

On constate que la concentration en chlorure des eaux épurées est en dessous de la limite recommandée par la FAO(1985), donc la quantité du chlorure ne pose pas de problème pour l'utilisation des eaux de Boumerdes en irrigation.

### V.2.6. La variation de MES

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

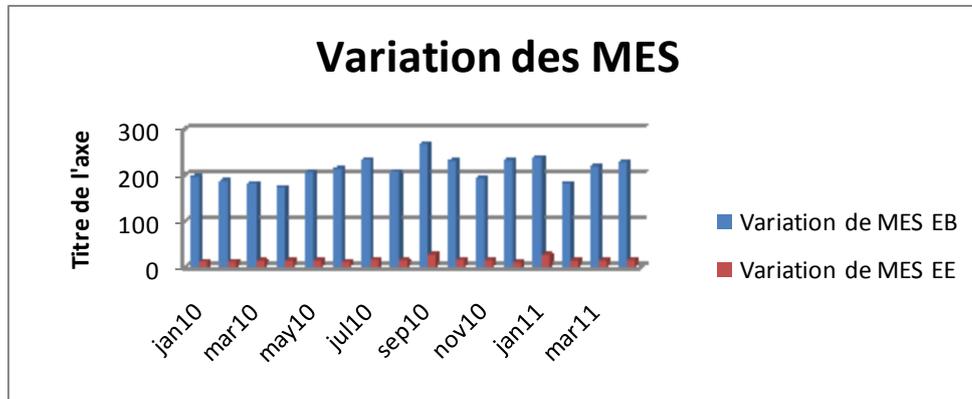


Figure V. 5: Représentation graphique de la variation mensuelle des MES à l'entrée et à la sortie dans la station en 2010 et 2011

D'après les résultats obtenus, il apparaît clairement que selon les périodes de prélèvement, les moyennes des MES des eaux usées brutes sont très élevées (moyenne 210.93 mg/l les valeurs oscillent entre 171.9 et 266.15 mg/l) donc supérieures aux normes requises fixées à 30 mg/l par rapport aux eaux traitées dont la valeur moyenne ne dépasse pas 14.80 mg/l les valeurs enregistrées oscillent entre 10.11 à 26.15 mg/l).

### V.2.7. La variation de la DBO5

La détermination de la Demande Biologique en Oxygène est une façon indirecte d'évaluer la quantité de matières biodégradables essentiellement organiques contenues dans l'eau.

Ces substances biodégradables sont les mêmes sources que les matières organiques : métabolisme des organismes vivants, activité humaine, lessivage des sols, ...

L'effet principal des matières biodégradables sur le milieu récepteur est l'appauvrissement en oxygène dissous de ce milieu après leur dégradation.

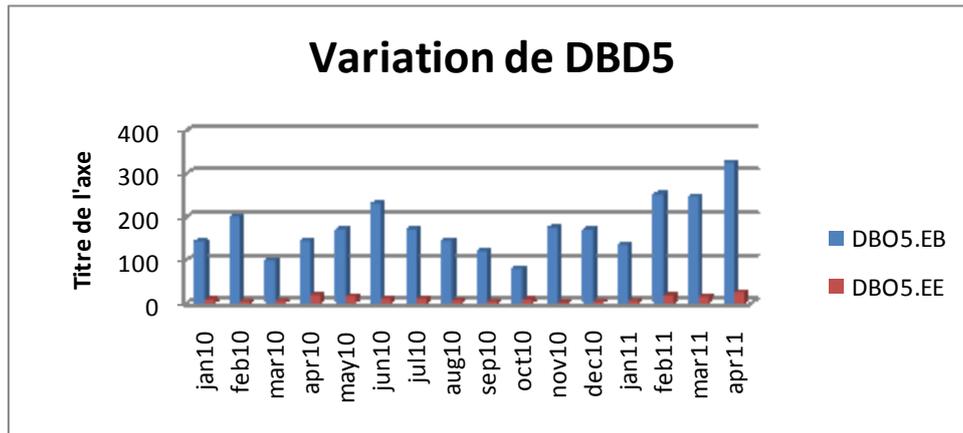


Figure V. 6: Représentation graphique de la variation mensuelle des DBO<sub>5</sub> à l'entrée et à la sortie dans la station en 2010 et 2011

L'OMS(1989) limite la DBO<sub>5</sub> à moins 10 mg O<sub>2</sub>/l pour la réutilisation des eaux épurées en irrigation; la valeur moyenne de 9.49 mg O<sub>2</sub>/l pour les eaux à la sortie de la station répond à cette recommandation.

#### V.2.8.La variation de DCO

L'évaluation de cette DCO dure permet de déterminer l'efficacité prévisible d'un traitement biologique ou la pertinence de sa mise en place.

De plus, cette fraction réfractaire laisse présager la quantité de matière organique que l'on retrouvera dans l'eau traitée.

En effet, le raccordement de certains effluents industriels peut empêcher le respect d'une norme de rejet classique pour un effluent urbain.

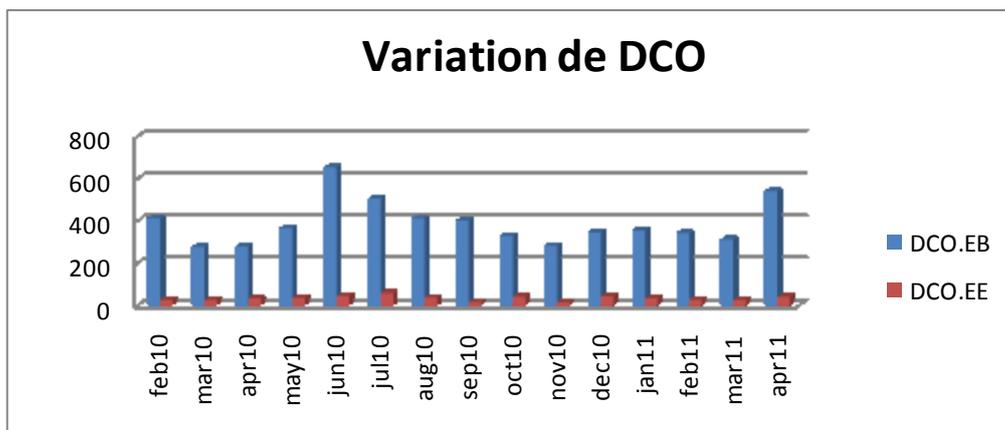


Figure V. 7: Représentation graphique de la variation mensuelle de LA DCO à l'entrée et à la sortie dans la station en 2010 et 2011

La DCO moyenne des eaux après traitement est de 32.06 mg O<sub>2</sub>/l, inférieur à la norme (<40 mg O<sub>2</sub>/l) fixée par la OMS(1989), ce paramètre ne présente donc pas de contre-indication quant à l'utilisation de ces eaux en agriculture.

D'après les résultats obtenus concernant la DCO et la DBO<sub>5</sub>, et au même titre que les MES, nous remarquons que les valeurs des eaux brutes sont très élevées, ce qui explique une charge organique très importantes des eaux brutes. Par contre, les résultats montrent qu'après traitement, ces valeurs diminuent considérablement et sont conformes aux normes, ce qui prouve l'efficacité du traitement biologique à boues activées.

### V.2.9.Coefficient de biodégradabilité "K"

Le rapport  $k = \frac{DCO}{DBO5}$  : plus ce rapport est élevé, plus l'effluent contient des molécules non biodégradables, l'inverse est vrai. [11]

- 1,7 < K < 2 → Effluent très biodégradable;
- 2,2 < K < 2,5 → Effluent biodégradable;
- K > 5 à 10 → Effluent peu biodégradable. [11]

mois	feb10	mar10	apr10	may10	jun10	jul10	aug10	sep10
<b>A=DCO</b>	411.85	273.96	277	365.4	651.15	502.6	411.53	400.1
<b>B=DBO5</b>	200	98.75	144	170	230	170	144	120
<b>A/B</b>	2.05	2.77	1.92	2.14	2.83	2.95	2.85	3.33
mois	oct10	nov10	dec10	jan11	feb11	mar11	apr11	moy
<b>A=DCO</b>	326.66	280.75	343.6	353.3	341	310.4	538.25	411.7
<b>B=DBO5</b>	78.75	173.75	169	134	251.67	246	325	159.59
<b>A/B</b>	4.14	1.61	2.03	2.63	1.35	1.26	1.65	2.57

Tableau V. 2 : Biodégradabilités des effluents.

Le rapport K au niveau des eaux brutes nous permet de caractériser la biodégradabilité le l'effluent de la station, donc:

$$\text{Le rapport : } \frac{DCO}{DBO5} = \frac{411.69}{159.59} = 2.57 \rightarrow \text{Effluent est biodégradable.}$$

On rencontre aussi des valeurs un peu élevées en mois de septembre 2010 (K=3.33) et octobre 2010 (K=4.14), ces valeurs sont dues principalement à des rejets industriels ( rejets accidentels).

### V.2.10.L'évolution de NH<sub>4</sub>

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 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.

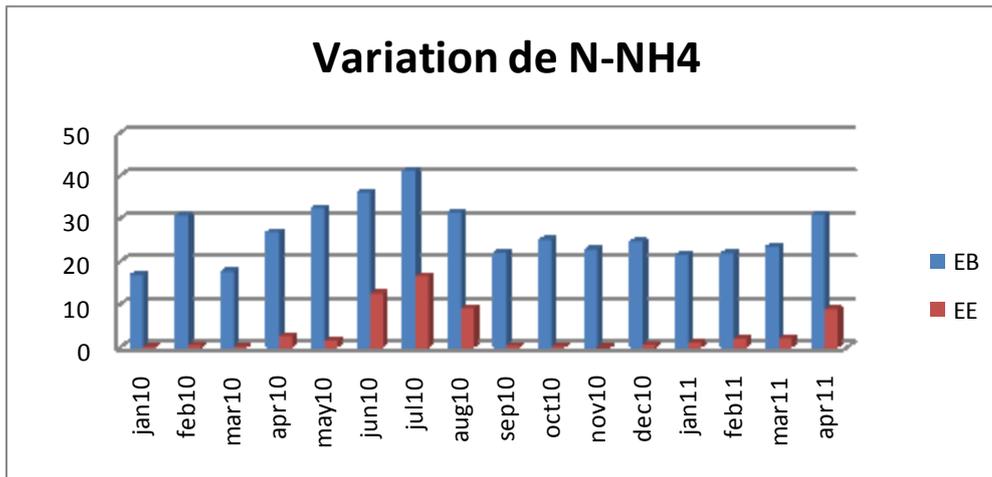


Figure V. 8: Représentation graphique de la variation mensuelle de  $\text{NH}_4$  à l'entrée et à la sortie dans la station en 2010 et 2011

Ce graphe montre que la quantité d'azote ammoniacal éliminée lors du traitement est très importante.

### V.2.11.L'évolution de $\text{NO}_3$

On remarque d'après ce graphe que la concentration d'Azote nitrique a augmenté à cause de la nitrification de l'azote ammoniacal sauf les mois de mars et avril 2011 où la valeur a diminué, ceci est attribué aux conditions anoxiques qui a régné pendant ces périodes à l'intérieur du bassin d'aération après panne des aérateurs de surface.

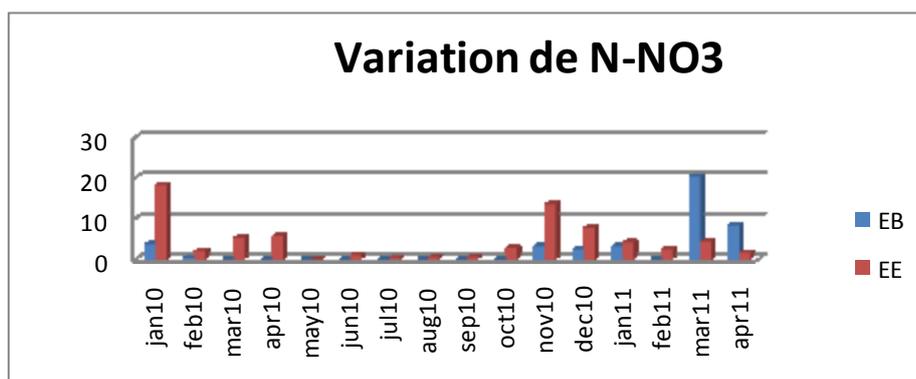


Figure V. 9: Représentation graphique de la variation mensuelle de  $\text{NO}_3$  à l'entrée et à la sortie dans la station en 2010 et 2011

On remarque aussi que la quantité de nitrate après traitement oscille entre 0.06 et 18.12 mg/l qui sont en dessous des normes d'irrigation. Ces valeurs ne constituent donc pas une restriction par rapport à l'utilisation de ces eaux épurées dans l'irrigation.

D'une manière générale, l'eau usée contient 20 à 100 mg/l de nitrates. [29]

Les eaux épurées de la STEP de Boumerdes présentent de faibles concentration d'azote sous toute ses formes (ammoniacal: 3.62 mg/l, nitrique: 4.32 mg/l). De telle teneurs ne peuvent en aucun cas répondre aux besoins de la culture, un apport supplémentaire sous forme d'engrais est donc indispensable.

### V.2.12.L'évolution de Phosphate

Le phosphore est l'un des composants essentiels de la matière vivante. Les composés phosphorés ont deux origines, le métabolisme humain et les détergents.

Le phosphore est l'un des éléments essentiels à la croissance des plantes et des algues.

On dit qu'il est parmi les nutriments limitant, c'est-à-dire que la croissance des plantes et des algues est limitée par la disponibilité du phosphore.

Dans les eaux usées, le phosphore se trouve soit sous forme d'ions orthophosphates isolés, soit sous forme d'ions phosphates condensés avec des molécules organiques.

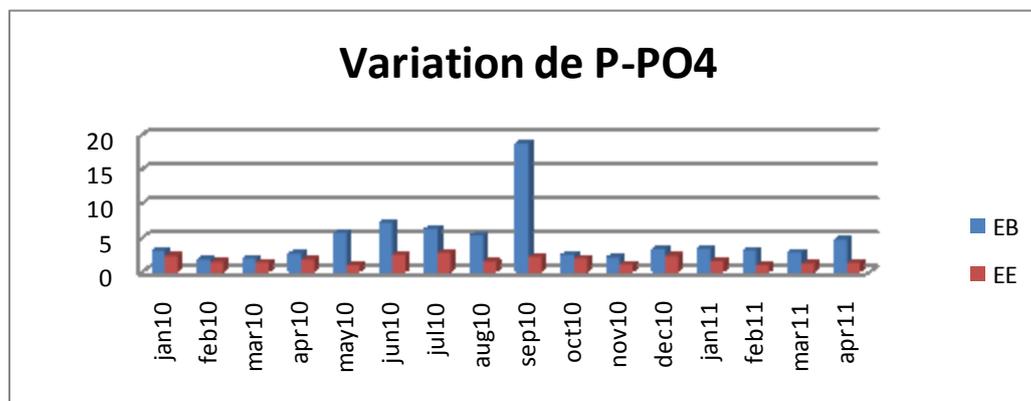


Figure V. 10: Représentation graphique de la variation mensuelle de  $\text{PO}_4$  à l'entrée et à la sortie dans la station en 2010 et 2011

la concentration moyenne des orthophosphates dans l'eau traitée atteint la valeur de 1.7 mg/l qui est un peu supérieure à la norme (<0,94mg/l recommandées par l'OMS(1989), cela peut causer l'eutrophisation du milieu récepteur mais ne pose pas de problème pour la réutilisation des eaux épurées en agriculture (permettant de réduire les apports des produits phosphatés).

### V.2.13.Calcul du coefficient d'adsorption su sodium : SAR

L'index utilisé est le rapport d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium.

Le SAR est défini par l'équation suivante : [11]

$$\text{SAR} = [\text{Na}] / (\sqrt{([\text{Ca}] + [\text{Mg}])/2})$$

Sachent que la concentration en ion en meq/l.

Na: Sodium

Ca: Calcium

Mg: Magnesium

	ech"1" (mg/l)	ech"1" (meq/l)	ech"2" (mg/l)	ech"2" (meq/l)
<b>Ca</b>	2.66	0.13	2.64	0.13
<b>Na</b>	16	0.69	15	0.65
<b>Mg</b>	0.34	0.02	0.48	0.03
<b>SAR</b>		<b>2.45</b>		<b>2.22</b>

Donc:

Tableau V. 3 : les différents paramètres du SAR mesurés

D'après les recommandations de la FAO (1985), la valeur indiquée n'impose aucune restriction dans l'utilisation de cette eau en irrigation.

#### V.2.14. Les métaux lourds

Ce sont les oligo-éléments non indispensables à la plante tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome et le sélénium.

Ces éléments sont en général immobilisés dans les couches supérieures du sol par adsorption et échanges d'ions. Cette accumulation peut avoir pour conséquence, à terme, des risques pour le développement des plantes, la santé des hommes et des animaux. Les métaux lourds qui présentent les risques les plus notables sont le cadmium, le molybdène, le cuivre, le nickel, et le zinc. Les trois derniers sont d'abord phytotoxiques. Au contraire, le molybdène et, surtout, le cadmium, peuvent être toxiques pour les animaux et l'homme, à des concentrations bien inférieures aux seuils de phytotoxicité.

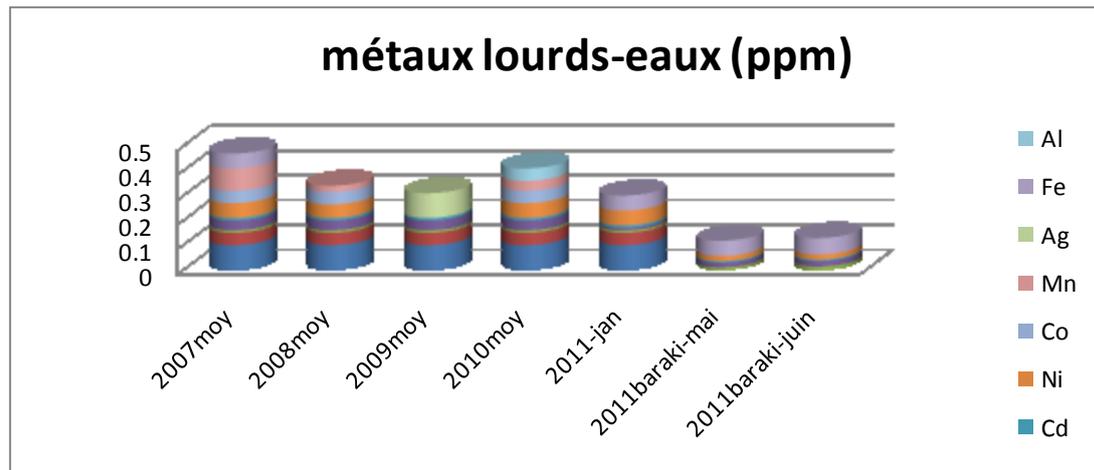


Figure V. 11: Représentation graphique de la variation annuelle des métaux lourds dans les eaux épurées à partir de 2007

La teneur moyenne des eaux usées traitées étudiées en éléments traces est très faible comparée aux concentrations maximales recommandées pour les eaux d'irrigation.

Ces teneurs constantes dans le temps et très négligeables, n'auront aucun effet de toxicité ni sur le sol ni sur la plante. D'autant plus que ces éléments métalliques seront adsorber sur le complexe argilo-humique et leur mobilité dans le sol est très difficile suite au PH légèrement alcalin, car la capacité de rétention de sol vis-à-vis des métaux lourds atteint son maximum pour le PH neutre ou alcalin.

Les concentrations des métaux lourds dans les eaux résiduares sont généralement faibles et ne constituent pas un facteur limitant la réutilisation des eaux usées en irrigation. L'essentiel de ces métaux est retenu dans les boues des stations d'épuration. Cependant, afin d'éviter tout risque, il est nécessaire de suivre la qualité des eaux recyclées.

ELEMENT (SYMBOLE)	EAUX UTILISEES EN PERMANENCE(tous types de sol (mg/l))
Aluminium (Al)	5
Arsenic (As)	0.1
Béryllium (Be)	0.1
Bore (B)	1
Cadmium (Cd)	0.01
Chrome (Cr)	0.1
Cobalt (Co)	0.05
Cuivre (Cu)	0.2
Fluorure (F)	1
Fer (Fe)	5
Plomb (Pb)	5

<b>Lithium (Li)</b>	2.5
<b>Manganèse (Mn)</b>	0.2
<b>Molybdène (Mo)</b>	0.01
<b>Nickel (Ni)</b>	0.2
<b>Sélénium (Se)</b>	0.02
<b>Vanadium (V)</b>	0.2
<b>Zinc (Zn)</b>	2

[29]

Tableau V. 4 : Les valeurs limites des métaux lourds dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation.

### V.2.15.Composition microbiologique des eaux usées

Les micro-organismes comprennent, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Ils proviennent dans leur immense majorité des matières fécales ; on distingue alors la flore entérique (i.e. intestinale) normale et les micro-organismes pathogènes. On ne parlera ici que de ces derniers. Ils ont des effets divers sur la santé : ils sont la cause d'infections bénignes (gastro-entérite par exemple) comme de maladies mortelles (choléra). C'est pour cela, on est obligé de faire les analyses suivant:

	<b>Paramètres</b>	<b>Résultats</b>	<b>Normes (selon l'OMS)</b>
<b>Dénombrement des bactéries</b>	Germe Totaux	>160/100ml	Absence
	Coliforme Totaux	> 160/100ml	Absence
	Coliforme Fécaux	> 600/100ml	< 1000
	Streptocoques Fécaux	> 200/100ml	Absence

Tableau V. 5 : Représentation des résultats des analyses bactériologiques des eaux usées épurées de la STEP de Boumerdes

	<b>Paramètres</b>	<b>Résultats</b>	<b>Normes (selon l'OMS)</b>
<b>Dénombrement des parasites</b>	Flagellés	Négative	Absence
	Nématodes	Négative	Absence
	Cryptosporidium	Négative	Absence
	Œufs d'helminthe	Négative	Absence

Tableau V. 6 : Représentation des résultats des analyses des parasites dans les eaux usées épurées de la STEP de Boumerdes

Les résultats obtenus ont révélé la présence d'une charge bactérienne importante dans l'eau usée traitée, il faut donc les stériliser dans le but de leur valorisation agricole.

Ces résultats montrent aussi l'absence totale des parasites dans les eaux usées épurées. Ce qui permet leur utilisation sans contrainte dans l'agriculture.

### V.3.FILIERE BOUES

#### V.3.1. L'indice de Mohlman IM

L'indice de Mohlman est le rapport entre le volume de boues décantées en 30 min et la masse de matières en suspension contenue dans ce volume.

$$I_M = \frac{\text{volume de boues décantées après } \frac{1}{2} \text{ heure}}{\text{concentration en MES de boues}} \quad [11]$$

Il permet d'une part de traduire la bonne ou la mauvaise disponibilité des boues à la décantation, et d'autre part de fixer un taux des MES à maintenir dans le bassin d'aération.

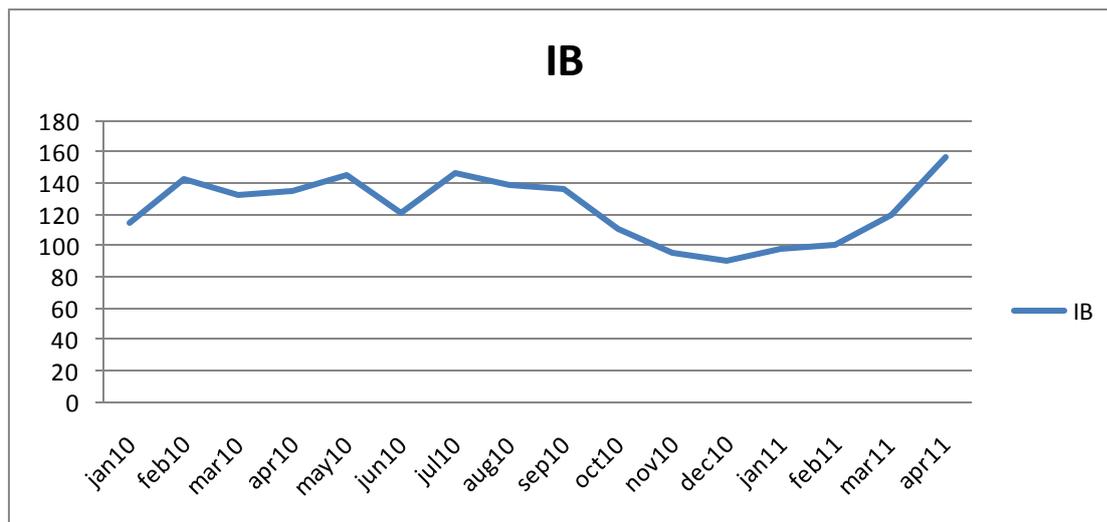


Figure V. 12: Représentation graphique de la variation de l'indice de Mohlman dans le clarificateur de la station à partir de Janvier 2010.

Donc, il y a une bonne décantation lorsque IM est compris entre 50 ml•g-1 et 150 ml•g-1.

### V.3.2. La richesse des boues en éléments fertilisants

L'épandage des boues s'accompagne d'un apport non négligeable de fertilisants.

Element	Résultat%
CaO	5.07
MgO	1.66
P2O5	2.60
K2O	1.68
siccité	17,46
MO	53.5
C	31.10
N	3,07

Tableau V. 7 : Le pourcentage des éléments fertilisants dans la boue de Boumerdes

En plus de leurs richesses en matières organiques, les boues contiennent des quantités non négligeables de matières nutritives indispensables à la croissance des végétaux

Les résultats obtenus nous renseignent sur la quantité importante de fertilisants que contiennent les boues de la STEP de Boumerdes.

Le rapport C/N est de 10.13, cette valeur nous renseigne sur une bonne stabilisation des boues.

### V.3.3.Métaux lourds

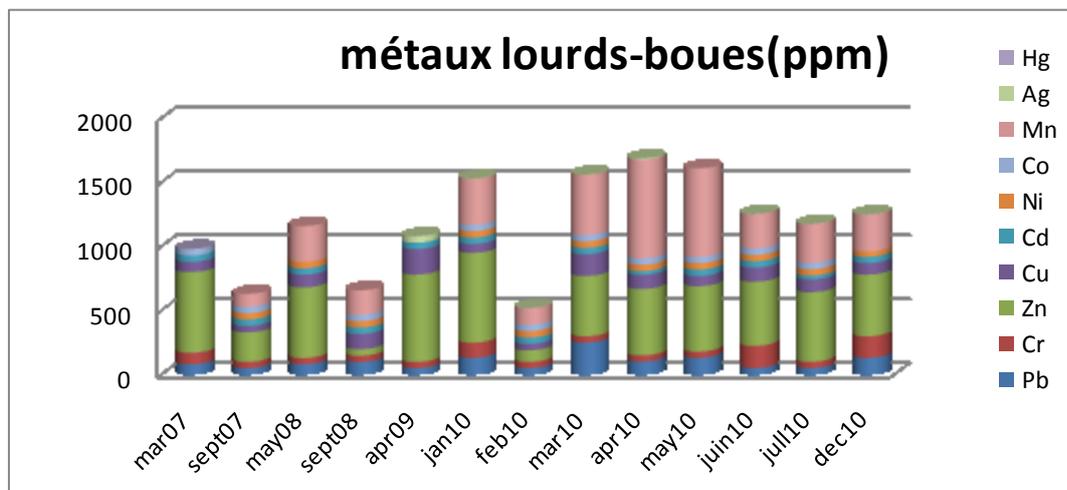


Figure V. 13: Représentation graphique de la variation annuelle des métaux lourds dans les eaux épurées à partir de 2007

Le tableau suivant présente la concentration maximale des métaux dans les boues déshydratées.

Métaux	Intervalle (norme NFU 44-041)
<b>Arsenic</b>	1.1-230
<b>Cadmium</b>	1-35
<b>Chrome</b>	10-99000
<b>Cobalt</b>	1.3-2490
<b>Cuivre</b>	84-17000
<b>Fer</b>	1000-154000
<b>Plomb</b>	13-26000
<b>Manganèse</b>	32-9870
<b>Mercure</b>	0.6-56
<b>Molybdène</b>	0.1-214
<b>Nickel</b>	2-5300
<b>Sélénium</b>	1.7-17.2
<b>Zinc</b>	101-49000

[29]

Tableau V. 8 : Les valeurs limites des métaux lourds dans la boue

Les résultats consignés dans le tableau ci-dessous montrent que les teneurs en éléments traces métalliques dans la boue sont suffisamment faibles et ne constituent donc pas un facteur limitant son utilisation en agriculture.

# Conclusions

## CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS

Notre travail a pour objectif d'étudier la possibilité de réutilisation des eaux usées épurées ainsi que les boues d'épuration dans l'agriculture.

Dans ce cadre, nous avons établis un bilan quantitatif et qualitatif des analyses caractérisant les sous produits de la station d'épuration de Boumerdes.

### Eaux

Les risques de salinité des eaux épurées dépendent des caractéristiques climatiques, des modalités d'apport d'eau, et de la tolérance des cultures.

La valeur moyenne du coefficient d'adsorption du sodium (SAR) est de 2.45. Cette valeur autorise l'utilisation de ces eaux en agriculture mais l'eau ne peut donc être utiliser que pour des plantes tolérantes à la salinité puisque les résultats des prélèvements de la station de Boumerdes montrent des valeurs de conductivité électrique très élevées ( $CE = 1277.17\mu S/cm$ ) par rapport aux normes

Nous remarquons que la concentration moyenne des orthophosphates dans l'eau traitée dépasse la norme (1.7 mg/l), cela peut causer l'eutrophisation du milieu récepteur mais ne pose pas de problème pour la réutilisation des eaux épurées en agriculture et permettent au contraire de réduire les apports des engrais phosphatés; on a rencontré aussi le problème de diminution de nitrate en mars, avril à cause des conditions d'anoxies provoquées par des pannes au niveau des réacteurs.

Les analyses effectuées ont montré des concentrations non négligeables en éléments nutritifs (Ca, Mg, k.....), mais ces derniers sont très faibles devant les besoins des plantes et ne dispensent donc pas l'apport d'un engrais minéral.

Les quantités des métaux lourds sont négligeables par rapport aux normes.

Le problème posé par les bactéries ne semblent pas être majeurs, car l'action microbienne du sol est importante (dans le sol, il y a compétition entre les bactéries banale et les bactéries pathogènes.

Après examen des paramètres analytiques nous pouvons considérer que les eaux épurées de la station d'épuration de Boumerdes peuvent être utiliser sous certaines restrictions.

### Boues

Les boues de la station d'épuration de Boumerdes peuvent fournir une fraction appréciable de matière organique.

La fourniture d'éléments minéraux par la décomposition de la matière organique est un facteur important pour la production végétale ainsi que l'entretien de la qualité du sol.

L'examen des analyses concernant les métaux lourds effectuées sur les échantillons de boues de la station d'épuration de Boumerdes, ne révèlent aucune contre indication par rapport aux normes.

L'utilisation de ces boues sur le sol serait très avantageuse, car elle permet non seulement d'apporter des quantités non négligeables de matières organiques ( $\approx 30\%$ ) et minérales (Ca, Mg, K, P, ..... ) au sol mais également de préserver la fragilité écologique des sols et la reconstitution du complexe argilo-humique indispensable à la fertilité du sol.

Nos recommandations sont les suivantes;

- ✓ Planification et exécution des projets de réutilisation des eaux usées traitées;
- ✓ Sensibilisation des citoyens et l'agriculteur sur ce projet;
- ✓ Education sur l'hygiène;
- ✓ Compléter le traitement classique par un traitement de désinfection;
- ✓ Il faut respecter les conditions d'irrigation (l'utilisation des eaux épurées sur les produits consommables crus à consommer crus est inacceptable, quel que soit le stade de traitement.);
- ✓ Les autorités compétentes doivent promulguer une réglementation algérienne sur l'utilisation des sous produits d'épuration en agriculture.
- ✓ La réalisation des stations d'épuration dans chaque agglomération pour assurer la protection de l'environnement et afin d'élargir le projet de valorisation des eaux usées épurées sur le territoire national.

## Bibliographie:

- [2]:M. LADJEL FARID: exploitation d'une station d'épuration à boues activées (ONA) - centre de formation au métier de l'assainissement- CFMA de Boumerdes, en Algérie.
- [3]: Etude des paramètres physico-chimique de la station de Boumerdes/ PFE: université Boumerdes,
- [4]: Contribution à l'étude des paramètres physico-chimique des eaux usées urbaines au niveau de la station d'épuration de la ville de Sétif/ PFE: université FERHAT ABBAS.
- [5]: 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
- [6]: Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France (Cette étude a été réalisée par École Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse (ENSAT)
- [9]: Office National de l'Eau; caractéristiques-formes-eaux usées; "Développer les compétences pour mieux gérer l'eau"; chapitre: caractérisation des eaux usées;2005
- [10]: Cyril Gomella ; Henri Guerrée : les eaux usées dans les agglomérations urbaine ou rurales / Ed : Eyrolles, 1982.
- [11]: LE DEGREMONT- MEMENTO –génie biologie des eaux usées-;chapitre4: processus élémentaire du génie biologie de traitement de l'eau. Ed lavoisier, 1989;
- [14]: Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines- Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France- Section des eaux (Octobre 1995)
- [15]: Différents filières de traitements des eaux /université IBN ZOHR
- [16]: Exposé sur la réutilisation des eaux usées épurées –réalisé par les étudiants de 5ème année avec professeur Dechmi –département d'hydraulique-, 2011
- [17]: REUE, deliverable for: United States Agency for international development, (Annex 1: caractéristiques des eaux domestiques), Environmental Alternative United-EAU-.
- [18]: F.Valiron: la réutilisation des eaux usées, maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie, état de l'art. ed Lavoisier, 1992.
- [19]: ANALYSE D'EAU POUR FIN D'IRRIGATION : Par Isabelle Couture MAPAQ Montérégie-Est/ AGRI-VISION 2003-2004
- [20]: F.Ghassmi, AJ. Jakeman, and HA. Nix, salinisation of land and water resources (Sudney: University of New South wales Press, 1995.
- [21]: Abdellatif Hakmi : traitement des eaux « traitement de l'eau de source bousfer Oran »
- [22]: REMINI.B: LA PROBLEMATIQUE DE L'EAU EN ALGERIE DU NORD, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, pp. 27-46 © 2010 Tous droits réservés
- [23]: M.Kessira: Gestion de d'irrigation par les eaux non conventionnelles,
- [24]: Les boues d'épuration et leurs perspectives de gestion en Île-de-France, Rapport préparé par M. Guy Atlan, Au nom de la commission Agriculture, environnement, Ruralité ,Adopté par le CESR.
- [26]: Mr M .Nakib : contribution à l'étude des possibilités d'utilisation des eaux et des boues d'épuration dans l'agriculture : cas des effluents urbains et de laitières ;
- [27]: Manuel d'exploitation de la station d'épuration de Boumerdes.
- [28]: Exposé de monsieur LADJEL sur la station d'épuration de Boumerdes.
- [29]: recherche agronomique (INA), ISSN-1111- 1992, revue semetrielle n°9-December-2001.

Webiographie:

[1]: [www.wiképédia.com](http://www.wiképédia.com)

[7]: [www.concéquences de la pollution .com](http://www.concéquences de la pollution .com)

[8]: [www.cieau.com](http://www.cieau.com)

[12]: [www.ékopedia.com](http://www.ékopedia.com)

[13]: [www.gls.fr](http://www.gls.fr)

[25]: Le maire et les boues d'épuration, Rédigé par Emmanuel ADLER ACONSULT,  
email : [aconsult@wanadoo.fr](mailto:aconsult@wanadoo.fr)

# Annexe

## *Choix de site de mise en place du périmètre de la réutilisation des eaux usées épurées*

✓ **Topographie:**

- ❖ Risques d'inondation et d'engorgement (carte des pentes etc.),
- ❖ STEP - périmètre de REUE (Pente < 15%).[1]

✓ **Sols:**

✓ **Identification et cartographie des sols** (Echelle d'au moins 1:20 000)

- répartition spatiale des types de sols. [1]

✓ **Caractérisation des sols :**

Les caractéristiques physiques (texture, structure et profondeur du sol);

Les caractéristiques hydrauliques du sol ;

Les caractéristiques chimiques et physico-chimiques du sol. [1]

- **Les caractéristiques physiques**

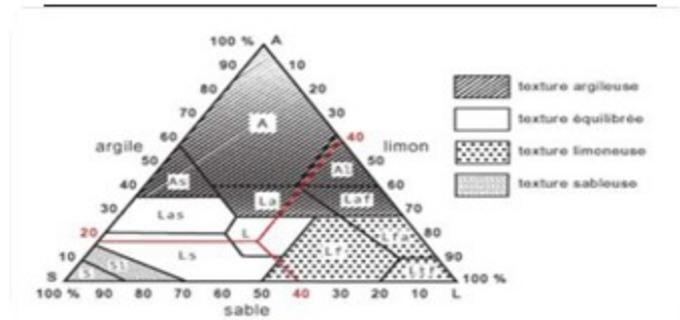
- ❖ **Texture du sol:**

- Réserve en eau du sol;

-Infiltration de l'eau ;

- Choix du système d'irrigation;

-Pilotage de l'irrigation.



### Classes texturales

**A : argileux**

**As : argilo-sableux**

**Al : argilo-limoneux**

**La : limono-argileux**

**Laf : limono-argileux fins**

**Las : Limono-argileux sableux**

**L : limoneux**

**Ls : limono-sableux**

**Lfa :limoneux fins argileux**

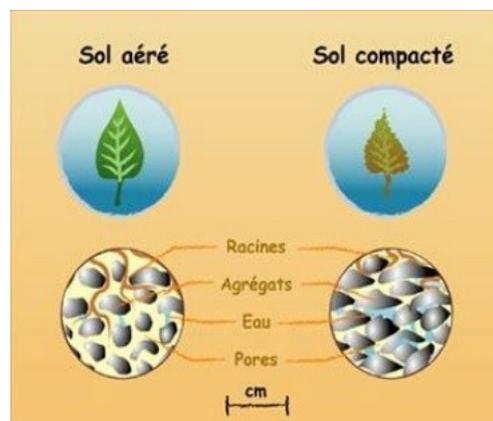
**Lf : limoneux fins**

**Ltf :limoneux très fins**

**Sl : sablo-limoneux**

**S : sableux**

- ❖ **Structure du sol:** aération, pénétration racinaire, activité biologique, circulation de l'eau. [1]



- **Caractéristiques hydrauliques**

- ❖ **Profondeur du sol:**

- Rétention des composants de l'eau usée épurée,
    - Développement racinaire (valorisation de l'eau traitée et des éléments nutritifs),
    - Profondeur optimale: 50 à 100 cm (en zones méditerranéennes). [1]

- ❖ **Vitesse d'infiltration**

La vitesse d'infiltration (également appelé taux d'infiltration) est liée à la conductivité hydraulique par la relation (loi de Darcy) :

$$V = K.I$$

Avec :

**V** = Vitesse d'infiltration (cm/h)

**K** = conductivité hydraulique (cm/h)

**I** = gradient hydraulique (m/m)

Symbole	Appellation	V en cm/h
V1	Très élevée	> 20
V2	Elevée	10 à 20
V3	Moyenne	2 à 10
V4	Faible	0.5 à 2
V5	Très faible	< 0.5

- *Caractéristiques chimiques et physico-chimiques*

- ❖ **PH:**

- Biodisponibilité / Solubilité des ETM et oligoéléments Rétention des composants de l'eau usée épurée;

- Volatilisation de l'ammonium (si pH basique) ;

- PH des sols marocains entre 6.5 et 8.5;

- ❖ **CEC:** capacité d'Echange Cationique: rétention des cations ;

- ❖ **Sodicité** :  $ESP = [(Na) \text{ échangeable} / CEC] \times 100$ . [1]

Niveaux de paramètres de choix de site favorable à la réutilisation des eaux usées en agriculture				
Paramètre	Niveau favorable	Niveau modéré	Niveau sévère	Observations
<b>Sol</b>				
Texture	Texture équilibrée	Sols sablo-argileux	Sols très argileux en surface	Tous les sols peuvent être irrigués avec les eaux usées épurées à condition de gérer les paramètres suivants : Drainage, colmatage en cas des valeurs élevées en MES
Profondeur	> 50 cm	25-50 cm	< 20 cm	
Conductivité hydraulique	> 5 cm/h	-	-	La plupart de sols marocains ne posent pas de problèmes d'infiltration. Il est clair qu'une conductivité hydraulique élevée favorise la circulation de l'eau et permet d'éviter la stagnation d'eau mais elle favorise aussi la lixiviation des éléments nutritifs si les doses et les fréquences d'irrigation ne sont pas maîtrisées.
Salinité	< 4 mS/cm	4-8 mS/cm	> 8 mS/cm	Le drainage et la pratique de lessivage peuvent atténuer ce problème
Sodicité (ESP)	< 10%	10-15%	> 15%	Les amendements chimiques et organiques peuvent atténuer ce problème
<b>Nappe</b>	> 10 m	5-10 m	< 5 m	Une surveillance de la remontée de la nappe est obligatoire en adoptant un système de drainage.
<b>Topographie (pente)</b>	5-10%	15-20%	> 20%	

✓ **Caractéristiques du sous-sol**

• **Nature géologique du sous-sol:**

-Inter - relations avec les ressources en eau souterraines et avec la vulnérabilité de l'aquifère;

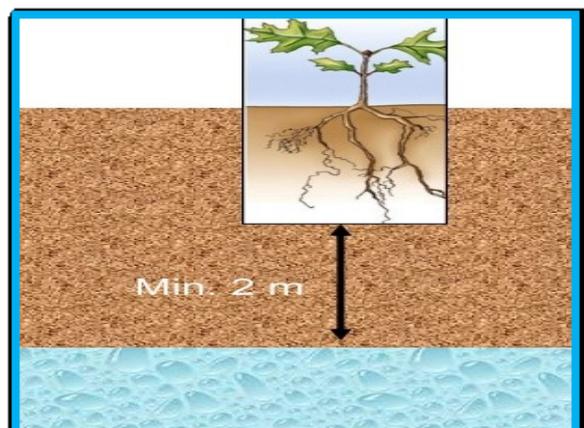
-Indications sur le risque de transfert de solutés vers la nappe (pollution nitrique des eaux souterraines);

✓ **Nappe souterraine**

Deux aspects importants:

– La profondeur:  $P > 2\text{m}$  au delà de la zone racinaire (un réseau de drainage peut s'avérer nécessaire);

– La qualité: Situation initiale avant REUE (situation de référence). [1]



## ✓ **Le climat**

Les données climatiques conditionnent un ensemble de paramètres:

- Le déficit ou la demande climatique (évaporation – précipitations).
- Les besoins en eau des cultures à promouvoir dans le périmètre de réutilisation.
- La vitesse et la direction des vents.
- Les paramètres (température, ensoleillement). [1]

## ✓ **Occupation du sol**

Occupation agricole et autres occupations (habitations, points de pollution ponctuelle, aménagements, etc.). [1]

### ❖ *Les points de pollution ponctuelle*

- habitations;
- décharge d'ordures ménagères;
- cimetière;
- points de rejets d'eaux usées. [1]

### ❖ *Infrastructure*

- routes et différents types de voirie;
- forages;

## ✓ **Enquête agricole**

- Superficie agricole cultivée;
- Acceptation des eaux usées épurées par les agriculteurs;
- Superficie cultivable autour de la STEP;
- Types de sols;
- Pratiques agricoles actuelles;
- Cultures pratiquées et mode d'assolement ;
- Rendements des cultures;
- Destination des produits agricoles;
- Cultures irriguées et cultures non irriguées ;
- Cultures en plein champ et cultures sous serres ;
- Apports d'engrais minéraux et organiques (forme, doses pour les différentes cultures, coûts);
- Irrigation : type de ressource en eau (eau de barrage ou eau souterraine), système de pompage, système d'irrigation, doses d'irrigation, qualité de l'eau d'irrigation, méthode de gestion de la distribution d'eau, prix de l'eau, coût de pompage;
- Contenu de la grille d'enquête à effectuer avant le projet de REUE.



Qualité de l'eau traitée et risque de colmatage physique et biologique du système d'irrigation localisée					
Problème potentiel	Unités	Degré de restriction de l'usage			
		Aucun	Faible à modéré	Sévère	
<b>Colmatage Physique</b>					
	MES	mg/l	< 50	50- 100	> 100
<b>Colmatage Chimique</b>					
	pH		< 7.0	7.0 - 8.0	> 8.0
	Solides dissous	mg/l	< 500	500-2000	> 2000
	Manganèse	mg/l	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
	Fer	mg/l	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
	Sulfure d'hydrogène	mg/l	< 0.5	0.5 - 2.0	> 2.0
<b>Colmatage Biologique</b>					
	Populations bactériennes	nombre/ml	< 10000	10 000 - 50 000	> 50000

### ✓ Qualité des EUE

- Salinité ;
- Alcalinité sodique (SAR);
- Concentration en éléments nutritifs;
- Concentration en éléments phytotoxiques : (ETM, Bore et Chlore);
- Paramètres de qualité en relation avec le colmatage des goutteurs dans le cas de l'irrigation localisée;
- Parasites et bactéries (helminthes, CF, SF, Salmonelles, etc.);
- Autres substances. [1]

✓ **Classement des cultures (FAO, 1989): risque de transmission de pathogènes**

- 1) Légumes consommés crus,
- 2) Légumes consommés cuits,
- 3) Plantes ornementales produites pour être vendues dans les serres,
- 4) Arbres produisant des fruits, mangés crus sans être pelés,
- 5) Pelouses dans des endroits d'agrément avec accès libre au public,
- 6) Arbres produisant des fruits que l'on mange crus après les avoir pelés,
- 7) Pelouses et autres arbres dans des zones d'agrément d'accès limité,
- 8) Cultures fourragères,
- 9) Arbres produisant des noix et d'autres arbres similaires,
- 10) Cultures industrielles ou grandes cultures. [1]

✓ ***Système d'irrigation***

-Le système d'irrigation est en relation avec les risques sanitaires et de phytotoxicité.

-Le choix de système d'irrigation lui-même dépend de certains paramètres de la qualité de l'eau (carbonates, bicarbonates, MES etc.) [1]

- **Les principaux systèmes:**

- ***Irrigation à la raie***

L'irrigation par submersion et l'irrigation à la raie sont les deux techniques traditionnelles d'irrigation. L'irrigation par submersion, très grosse consommatrice d'eau. L'irrigation à la raie est beaucoup plus pratiquée. Elle a fait l'objet tout récemment d'effort de modernisation [2].



### ❖ *L'aspersion*

L'eau est fournie aux plantes sous forme de pluies artificielles issues d'appareils d'aspersion alimentés en eau sous pression. Cette technique ne nécessite aucun nivellement de la surface irriguée et assure l'aération du sol. Ce mode d'irrigation permet un dosage précis des apports, d'où une économie d'eau. Il a le gros avantage d'assurer une bonne homogénéité de la répartition des apports.

C'est une des méthodes permettant d'arroser convenablement des sols très perméables.

Elle exige une adaptation de la qualité microbiologique de l'eau recyclée à la nature des cultures arrosées [2].



### ❖ *L'irrigation localisée*

L'eau est distribuée à faible débit dans un réseau sous pression qui est à même le sol ou suspendu ou encore partiellement souterrain. Le réseau est constitué de rampes souples ou demi dures, perforées ou munies, à intervalles variables selon les cultures, de dispositifs distributeurs, tels que ajutages, goutteurs, mini-diffuseurs.

La distribution est fréquente ou contenue, ce qui permet de maintenir humide la zone entourant les racines, sans pertes entre les plantes.

Cette technique permet de :

1. limiter les percolations profondes.
2. réduire la levée et la croissance des mauvaises herbes
3. limiter les risques de contamination par les maladies. [2]



#### ❖ *L'irrigation souterraine*

L'irrigation souterraine fonctionne à l'inverse du drainage : l'eau est envoyée sous légère pression dans des drains enterrés et remonte par capillarité. Cette technique permet de :

1. Garder la partie supérieure du sol sèche.
2. Diminuer les risques d'accumulation des sels.

L'irrigation souterraine semble prometteuse pour l'utilisation d'eaux usées en irrigation, ces eaux doivent être filtrés ou décantés afin d'éviter le colmatage des tuyaux enterrés.

Ces derniers devront d'autre part être purgés périodiquement. [2]

## **Bibliographies:**

[1]: Présentation du Guide Technique de la Réutilisation des Eaux Usées Epurées - Etude ONEP / FAO -Atelier sur l'assainissement, l'épuration et la réutilisation des eaux uséesAgadir du 07 au 11 Décembre 2009Soudi Brahim, Fadila Benosmane, Dimitri Xanthoulis, M. Mahi.

[2]: [www.oieau.fr/eaudoc/integral/reuinter.htm](http://www.oieau.fr/eaudoc/integral/reuinter.htm)