

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



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE  
Laboratoire des recherche scientifique EAU



## Mémoire Projet de Fin d'Etude

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE

**Etude des possibilités d'utilisation des eaux usées épurées  
dans l'agriculture : Cas de la station d'épuration de la wilaya de  
Boumerdes**

**LAMRI Amine**

Sous la direction de

Mr M.NAKIB et Mr A.KETTAB

Présenté et soutenu publiquement le 18/06/2017

### Composition du Jury :

Président :	Mr S.BENZIADA,	MAA	ENP
Rapporteur/ Promoteur :	Mr M.NAKIB,	Docteur	ENP
Co promoteur:	Mr A.KETTAB,	Professeur	ENP
Examineur :	Mme H.BOUANANI,	Docteur	ENP
	Mr Y.DJILALI,	Docteur	ENSA

**ENP 2017**



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



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

Laboratoire des recherches scientifiques EAU



## Mémoire Projet de Fin d'Etude

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE

**Etude des possibilités d'utilisation des eaux usées épurées  
dans l'agriculture : Cas de la station d'épuration de la wilaya de  
Boumerdes**

**LAMRI Amine**

Sous la direction de

Mr A.KETTAB et Mr M.NAKIB

Présenté et soutenu publiquement le 18/06/2017

### Composition du Jury :

Président :	Mr S.BENZIADA,	MAA	ENP
Rapporteur/ Promoteur :	Mr A.KETTAB, Mr M.NAKIB,	professeur Docteur	ENP ENP
Examineur :	Mme H.BOUANANI, Mr Y.DJILALI,	Docteur Docteur	ENP ENSA

ENP 2017

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à :*

*Mes chers parents qui m'ont toujours soutenue tout au long de ma formation scolaire et universitaire à qui je serais éternellement reconnaissant. Que dieu puisse leur accorder longue vie afin qu'ils puissent trouver en moi toute gratitude et l'attention voulue.*

*Mes chères sœurs Faïza et Amina*

*Mes chers amis Yassin, Wedie et Kadou*

*Mon oncle Abderrahmane et sa femme Amel*

*Mes camarades de la promotion 2017*

## *Remerciements*

*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 au long de mon chemin d'étude.*

*Je souhaite exprimer mon plus profond remerciement à mes promoteurs Dr. M NAKIB et Pr. A Kettab pour le suivi au quotidien, pour les conseils, disponibilité, travail constructif et pour toute la confiance qu'ils ont su me témoigner à travers l'autonomie qu'ils m'ont accordée durant cette étude.*

*Enfin, cordialement, je remercie l'ensemble de mes enseignants du département hydraulique à l'école nationale polytechnique :*  
*Pr A.BERMAD, chef du département hydraulique,*  
*Mme S.BENMAMAR, Dr S.BENZIADA, Pr N.DECHEMI,*  
*Dr O.BELHADJ , Dr R.MESSAHLI, Dr BERKANI, Dr NEBBACH.*

## ملخص

ان مشكلة دراستنا تبحث عه فرص لاستخدام المياه العادمة المعالجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في منطقة من الاراضي الزراعية المروية كان محدودا تحقيقنا لمحطة معالجة المياه في ولاية بومرداس وكجزء من العمل، ونفذنا من الموقع عددا من الاختبارات على المياه العادمة المعالجة وقد أجرينا أيضا مجموعة مه تحقيقات أخرى نفذت في مختبرات متخصصة وظهرت النتائج المتحصل عليها ان قيم درجة الحرارة والموصلية الكهربائية لا تشكل أي عائق في المعالجة البيولوجية وتقي بمعايير التفريغ هذا العمل هو جزء من المشروع الأوروبي ERANETMED-IRRIGATIO

الكلمات المفتاحية: محطة معالجة الصرف الصحي، مياه الصرف، معالجة المياه وإعادة استخدامها، الري

## Abstract:

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

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

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

The results obtained show that the temperature values and the electrical conductivity do not constitute any gene for biological treatment and comply with the discharge standards

This work is part of the European project ERANETMED-IRRIGATIO.

Keywords: waste waters, treated water, mud, water-treatment plant, reutilization, irrigation.

## Résumé

La problématique de notre étude a été la recherche des possibilités d'utilisation des eaux usées traitées 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 en examinant et en interprétant les paramètres de pollution. Nous avons procédé également au recueil d'autres analyses effectuées par des laboratoires spécialisés.

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la température et la conductivité électrique ne constituent aucun gêne au traitement biologique et respectent les normes de rejets dans le milieu récepteur. Ce travail s'inscrit dans le projet européen ERANETMED-IRRIGATIO.

Mot clé : Eau usées, Eau traitée, station d'épuration, réutilisation, irrigation.

# Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

**Introduction Générale..... 15**

## **CHAPITRE I : POLLUTION DES EAUX**

Introduction

I.1 Définition de la pollution.....	17
I.2 Définition des eaux usées .....	17
I.3 Origine et quantité .....	17
I.3.1 Les eaux usées domestiques.....	17
I.3.2 Les eaux usées industrielles.....	18
I.3.3 Les eaux usées urbaines .....	18
I.4 Principaux paramètres de la pollution .....	19
I.4.1 Les paramètres physiques .....	19
I.4.1.1 Température .....	19
I.4.1.2 Couleur .....	19
I.4.1.3 La turbidité .....	19
I.4.1.4 La conductivité .....	19
I.4.1.5 La teneur en matières en suspension (MES) .....	19
I.4.1.6 Les matières volatiles en suspension (MVS) .....	19
I.4.2 Paramètres chimiques .....	20
I.4.2.1 La demande biochimique en oxygène (DBO) .....	20
I.4.2.2 La demande chimique en oxygène (DCO) .....	20
I.4.2.3 Matières oxydables (MO) .....	20
I.4.2.4 Azote total Kjeldahl (NTK) .....	20
I.4.2.5 Phosphor total (PT) .....	20
I.4.2.6 PH .....	20
I.4.3 Les paramètres de la pollution dissoute .....	21

I.4.3.1	Les différentes formes d'azote .....	21
I.4.3.2	Les composés phosphorés .....	22
I.4.4	Les paramètres toxiques.....	22
I.4.4.1	Les Métaux lourds .....	22
I.4.4.2	Les tensioactifs .....	23
I.4.4.3	Huiles et graisses.....	23
I.4.4.4	Les hydrocarbures .....	24
I.5	les paramètres bactériologiques .....	24
I.5.1.	Quatre « familles » de micro-organismes .....	25
I.5.1.1	Les virus .....	25
I.5.1.2	Les bactéries .....	25
I.5.1.3	Les protozoaires .....	26
I.5.1.4	Les métazoaires .....	26
I.5.2	Les matières en suspension (MES).....	27
I.5.3	Les micropolluants organiques et non organiques .....	27
I.5.4	Les micropolluants organiques.....	27
I.5.5	Les substances nutritives : potassium, phosphates et nitrates .....	28
I.6	Notion d'équivalent habitant .....	28

## **CHAPITRE II : LES FILIERES DU TRAITEMENT**

### Introduction

II.1	Prétraitements et élimination des sous-produits .....	31
II.1.1	Le dégrillage .....	31
II.1.2	Le dessablage .....	32
II.1.3	Le dégraissage-déshuilage .....	33
II.2	Le traitement primaire.....	34
II.2.1	Procédés de décantation physique .....	34



II.2.2 Procédés de décantation chimique.....	36
II.2.3 L'élimination de la pollution carbonée .....	37
II.3 Procédés physico-chimiques de l'épuration .....	38
II.3.1 Procédés biologiques naturels .....	38
II.3.2 Procédés biologiques artificiels.....	39
II.4 Les traitements tertiaires.....	41
II.4.1 Les mécanismes de l'élimination biologique des matières azotées.....	41
II.4.2 Elimination de la pollution phosphorée.....	42
II.5 Traitements complémentaires.....	43
II.5.1 Désinfection des effluents.....	43
II.5.2 Traitement des odeurs.....	43
II.5.3 Traitement des boues.....	44

## **CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA STATION D'EPURATION DE LA WILAYA DE BOUMERDES**

### Introduction

III.1 généralité sur la STEP .....	47
III.1.1 L'arrivée des eaux .....	48
III.1.2 Collecteurs Inter-Stations .....	48
III.2 objectif du traitement .....	51
III.2.1 Définition de la pollution à traiter .....	51
III.3 les différentes étapes de traitement .....	52
III.3.1 Traitement des eaux .....	52
III.3.1.1 Arrivée de l'eau .....	52
III.3.1.2 Prétraitement.....	53

III.3.1.3 Bassins d'aération .....	55
III.3.1.4 Clarification .....	55
III.3.2 Le traitement des boues .....	57
III.3.2.1 l'épaississeur .....	57
III.3.2.2 super-press .....	58

## **CHAPITRE IV : REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES**

### Introduction

IV.1 définition et objectifs .....	61
IV.2 Domaines d'application .....	61
IV.2.1 La réutilisation des eaux usées épurées en agriculture .....	62
IV.2.1.1 Les risques liés à la réutilisation agricole.....	63
IV.2.1.2 Protection des ressources en eau.....	66
IV.2.2 La REUE industrielle.....	67
IV.2.3 La REUE en zone urbaine.....	67
IV.2.4 La production d'eau potable .....	67
IV.2.5 La recharge de nappe.....	68
IV.3 Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation .....	68
IV.3.1 Salinité.....	70
IV.3.1.1 Salinisation.....	70
IV.3.1.2 Sodisation.....	71
IV.3.1.3 Alcalinité et dureté.....	72
IV.3.2 Les fertilisants dans les eaux usées traitées .....	73
IV.3.2.1 Azote (N).....	74
IV.3.2.2 Phosphore (P).....	75
IV.3.2.3 Potassium (K).....	75
IV.3.2.4 Autres nutriments.....	75
IV.3.3 Eléments traces et métaux lourds .....	75

IV.3.4	Le pH de l'eau d'irrigation.....	76
IV.3.5	Matières en suspension et matière organique.....	76
IV.3.6	Qualité microbiologique des eaux usées pour l'irrigation.....	77
IV.4	la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie .....	77
IV.4.1	Situation des stations d'épurations .....	78
IV.4.2	Perspectives de réutilisation des EUE en agriculture .....	79
IV.4.3	Normes actuellement en usage.....	81

## **CHAPITRE V : INDICATEUR DE PERFORMANCE**

### Introduction

V.1	Intérêts des indicateurs de performances.....	84
V.2	Indicateurs de performance (Ration de diagnostic).....	84
V.2.1	Rapport DCO/DBO5.....	84
V.2.2	Rapport MES/DBO5.....	85
V.2.3	Rapport MVS/MES.....	85
V.2.4	Rapport DCO/PT et DBO5/PT.....	85
V.2.5	Rapport NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NTK.....	86
V.2.6	Rapport DBO5/ NTK.....	86
V.2.7	Rapport DCO/NTK.....	86
V.2.8	Rapport DBO5 / N à dénitrifier.....	86
V.2.9	Production des boues primaires /production des boues primaires théoriques...	86
V.2.10	Rapport MS (extraites)/DCO.....	87
V.2.11	Rapport Polymère /MS (déshydratées).....	87
V.3	Conclusion.....	87

## **CHAPITRE VI : RESULTATS ET INERPRETATIONS**

### Introduction

VI.1	Les débits entrants et sortants.....	92
VI.2	les paramètres physico-chimiques .....	92
VI.2.1	PH .....	92
VI.2.2	La température .....	93
VI.2.3	la conductivité électrique .....	94

VI.2.4	Le chlorure.....	95
VI.2.5	Les matières organiques .....	95
VI.2.5.1	La DBO <sub>5</sub> .....	95
VI.2.5.2	LA DCO .....	96
VI.2.5.3	Coefficient de biodégradabilité “K”.....	97
VI.2.6	La variation de MES .....	98
VI.2.7	La variation de NTK .....	98
VI.2.8	L'évolution de NH <sub>4</sub> .....	99
VI.2.9	L'évolution de NO <sub>3</sub> .....	100
VI.2.10	L'évolution de Phosphate .....	100
VI.3	Calcul et interprétation des ratios .....	102
VI.3.1	Rapport DCO/DBO <sub>5</sub> (Ration de biodégradabilité).....	102
VI.3.2	Rapport MES/DBO <sub>5</sub> .....	103
VI.3.3	Degré d'ammonification (rapport NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NTK) .....	104
VI.3.4	Cinétique de la nitrification (Rapport DCO/NTK) .....	105
VI.3.5	Etude du traitement du phosphore (Rapport DCO/PT).....	106
<b>Chapitre VII : CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....</b>		<b>107</b>
<b>Références Bibliographique.....</b>		<b>110</b>

## Liste des tableaux

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

**Tableau III.2** : objectif du traitement de la STEP de Boumerdes

**Tableau III. 3** : caractéristiques de l'eau a traité de la STEP de Boumerdes

**Tableau III.4** : Caractéristiques de super-press.

**Tableau IV.1** : Classification des métaux

**Tableau IV.2** : Les paramètres utilisés pour l'évaluation des eaux usées en agriculture

**Tableau IV.3** : Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation

**Tableau IV.4** : Influence de la salinité et du RAS sur le taux d'infiltration

**Tableau IV.5** : Degré relatif de dureté de l'eau selon la quantité de carbonate de calcium

**Tableau IV.6** : Taux d'élimination des pathogènes en fonction du procédé d'épuration.

**Tableau IV.7** : Perspectives de traitement et de réutilisation des EE en irrigation

**Tableau IV.8** : Normes de réutilisation des eaux usées épurées

**Tableau IV.9** : Les normes microbiologiques révisées de l'OMS

**Tableau V.1** - Quelques ratios : limites de variation et signification

**Tableau VI.1** : volumes d'eau brute et épurée de la station d'épuration de Boumerdes

**Tableau VI.2** : La méthode de calcul de la minéralisation

## Liste des figures

**Figure II.1** : Schéma de fonctionnement d'une STEP à boues activées

**Figure II.2** : Le dégrillage

**Figure II.3** : Dégrilleur courbe

**Figure II.4** : Rétention mécanique des déchets qui sont ensuite pressés et évacués

**Figure II.5** : Dessableur - dégraisseur

**Figure II.6** : Décantation primaire et flottation

**Figure II.7** : Décanteur primaire avec pont racleur à entraînement périphérique

**Figure II.8** : Décanteur lamellaire à recirculation de boues : le RPS

**Figure II.9** : Schéma de principe de l'épuration par boues activées

**Figure II.10** : Table d'égouttage

**Figure II.11** : Déshydratation des boues par centrifugat

**Figure III.1** : Les ouvrages de la STEP de Boumerdes

**Figure III.2** : Schéma directeur d'assainissement de Boumerdes

**Figure III.3** : Dègrilleur de la STEP de Boumerdes

**Figure III.4** : Dessableur-dégrilleur de la STEP de Boumerdes

**Figure III.5** : bassins d'aération de la STEP de Boumerdes

**Figure III.6** : Clarificateurs de la STEP de Boumerdes

**Figure III.7** : Epaisseur de la STEP de Boumerdes

**Figure III.8** : super-press de la STEP de Boumerdes

**Figure VI.1** : représentation graphique de la Variation des débits entrant et sortant de juin 2016 à avril 2017 pour la STEP de Boumerdes.

**Figure VI.2**: Représentation graphique de la variation des PH des eaux usées brutes et épurées de la station de boumerdes de juin 2016 à avril 2017

**Figure VI.3**: Représentation graphique de la variation de la température des eaux usées brutes et épurées de la station de boumerdes de juin 2016 à avril 2017

**Figure VI.4** : Représentation graphique de la variation de la conductivité électrique des eaux brutes et épurées dans la station de boumerdes de juin 2016 à avril 2017

**Figure VI.5** : Représentation graphique de la variation des DBO5 à l'entrée et à la sortie dans la station de boumerdes de juin 2016 à avril 2017

**Figure VI.6** : Représentation graphique de la variation des DCO à l'entrée et à la sortie dans la station de boumerdes de juin 2016 à avril 2017

**Figure VI.7** : Représentation graphique de la variation des MES à l'entrée et à la sortie dans la station de boumerdes de juin 2016 à avril 2017

**Figure VI.8** : Représentation graphique de la variation de NTK à l'entrée et à la sortie dans la station de boumerdes de juin 2016 à avril 2017

**Figure VI.9** : Représentation graphique de la variation de N-NH4 à l'entrée et à la sortie dans la station de boumerdes de juin 2016 à avril 2017

**Figure VI.10** : Représentation graphique de la variation de N-NO3 à l'entrée et à la sortie dans la station de boumerdes de juin 2016 à avril 2017

**Figure VI.11** : Représentation graphique de la variation de PO4 à l'entrée et à la sortie dans la station de boumerdes de juin 2016 à avril 2017

**Figure VI.12** : Evolution du rapport DCO/DBO5 à l'entrée de la STEP de Boumerdes de juin 2016 jusqu'à avril 2017

**Figure VI.13** : Evolution du rapport MES/DBO5 à l'entrée de la STEP de Boumerdes de juin 2016 jusqu'à avril 2017

**Figure VI.14** : Evolution du rapport  $NH_4^+$ /NTK à l'entrée de la STEP de Boumerdes de juin 2016 jusqu'à avril 2017

**Figure VI.15** : Evolution du rapport  $NH_4^+$ /NTK à l'entrée de la STEP de Boumerdes de juin 2016 jusqu'à avril 2017

**Figure VI.16** : Evolution du rapport DCO/PT à l'entrée de la STEP de Boumerdes de juin 2016 jusqu'à avril 2017

## Liste des abréviations

**STEP** : Station d'épuration

**BA** : Boues Actives

**MVS** : Matières Volatiles Sèches

**MES** : Matières En Suspension

**MS** : Matières Sèches

**MM** : Matières Minérales

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène

**DBO** : demande biochimique en oxygène

**OMS** : Organisation Mondiale de la Sante

**FAO** : Food Agriculture Organisation (Organisation Mondiale de l'Alimentation et de l'Agriculture).

**MRE** : Ministère des Ressources en Eau

**Cm** : la Charge Massique

**SAU** : Surface Agricole Utile

**EB** : Eau Brute

**EUE** : Eau usée Epurée

**EE** : Eau Epurée

**MO** : Matière Organique

**CE** : Conductivité Electrique

**ETM** : Les Eléments Traces Métalliques

**CTO** : Les Composés-traces organiques

**HAP** : les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

**EH** : Equivalent habitant

**ONA** : L'Office National de l'Assainissement

**MS** : Matière sèche

**IM** : Indice de Mohlmann

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : Ammonium

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Nitrate

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>** : Nitrite

**NTK** : Azote Kjeldahl

**μS** : Micro siemens

**PH** : Potentiel d'Hydrogène



## INTRODUCTION GENERALE

L'eau est l'une des plus importantes ressources naturelles, indispensable à la vie, celle des hommes, des animaux et des plantes, et à la plupart des activités de la société.

Facteur de la vie économique, l'eau a été apprivoisée par l'homme et sa maîtrise a permis l'irrigation des surfaces agricoles, la fabrication de produits industriels, la production de l'électricité...

Cependant son exploitation effrénée et sa pollution expose l'humanité au danger. Si l'augmentation des prélèvements en eau se poursuit au taux actuel, entre la moitié et les deux tiers de l'humanité devraient être en situation de stress hydrique en 2025. Ce seuil d'alerte correspondant à moins de 1000 m<sup>3</sup>/hab/an d'eau douce.

Le rejet des eaux usées ménagères et industrielles sans traitement dans le milieu naturel aggrave davantage sa pénurie. Il dégrade les écosystèmes aquatiques de façon parfois impressionnante et permanente. Cette pollution pose un grave problème car elle pourrait à terme rendre les réserves progressivement inexploitable et condamner à mort la faune comme la flore qui en vit.

La raréfaction de l'eau et la dégradation alarmante de sa qualité ont commencé à se faire sentir déjà depuis des décennies. La sonnette d'alarme est alors déclenchée pour attirer l'attention des usagers de cette ressource et les appeler à être vigilants et à en faire la bonne utilisation. Les spécialités s'accordent à affirmer que sa gestion constituera un des principaux enjeux internationaux du XXI<sup>e</sup> siècle

Diverses solutions existent pour mettre en place une gestion cohérente de cette ressource, parmi lesquelles figurent en bonne place les actions d'assainissement des zones polluées et le recyclage de l'eau ...

Sur ce plan, les pays développés, notamment en Europe, les Etats unis et même la chine ont opté pour cette voie.

Actuellement la capacité de production des eaux traités par la vingtaine de stations en fonction est de 130 000 m<sup>3</sup> / an. Le volume aurait pu être plus important si on ne dénombre pas quelques 20 stations inutilisées pour des problèmes techniques dus à une mauvaise gestion de ces infrastructures. Le gouvernement s'est penché sur cette situation anachronique mais compte poursuivre son programme de dotation du pays de ces stations mais avec une autre approche de gestion. Il prévoit de réaliser à moyen terme, 52 autres stations. Les perspectives dans ce domaine sont en 2020 à 972 hm<sup>3</sup>/ et l'horizon 2030, 1.271 hm<sup>3</sup>/an.

# **Chapitre I**

## **Pollution des 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.

### I.1 Définition 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]

### I.2 Définition des eaux usées :

Les eaux usées comme sont des eaux ayant été utilisées pour des usages domestiques, industriels ou même agricole, constituant donc un effluent pollué et qui sont rejetées dans un émissaire d'égout. [2]

Les eaux usées regroupent les eaux usées domestiques (les eaux vannes et les eaux ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels (eaux usées des usines) [3]

### I.3 Origine et quantité :

Les eaux usées proviennent de trois sources principales :

#### I.3.1 Les eaux usées domestiques :

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de lessive, de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales), dans le système dit « tout-à-l'égout » [3]

Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales et des matières organiques. Les matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) et les matières organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de carbone, oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote et, dans certains cas, d'autres corps tels que soufre, phosphore, [4]

### **I.3.2 Les eaux usées industrielles :**

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc.

La variété des eaux usées industrielles est très grande. Certains de ces eaux sont toxiques pour la flore et la faune aquatiques, ou pour l'homme. Il faut bien distinguer les eaux résiduaires et les liquides résiduaires de certaines industries. Les liquides résiduaires sont des liquides résultant des fabrications ; c'est le cas des solutions de produits chimiques, des solutions de sous-produits, c'est le cas des liquides acides provenant de la vidange des cuves de décapage des métaux [5]

Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement :

- ils sont directement rejetés dans le réseau domestique ;
- ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique ;
- ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel. [3]

### **I.3.3 Les eaux usées urbaines :**

Les eaux usées urbaines comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours)

Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des boues, des silts, des sables, des déchets végétaux (herbes, pailles, feuilles, graines, etc.) et toutes sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides venant des jardins, détergents utilisés pour le lavage des cours, des voies publiques, des automobiles, débris microscopiques de caoutchouc venant de l'usure des pneumatiques des véhicules.

Plomb venant du plomb tétra éthyle contenu dans l'essence, retombées diverses de l'atmosphère, provenant notamment des cheminées domestiques et des cheminées d'usines [6]

## I.4 Principaux paramètres de la pollution :

### I.4.1 Les paramètres physiques :

#### I.4.1.1 Température :

Varie avec l'altitude et les saisons. Il est primordial de la mesurer car elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz, et dans la détermination du pH. [7]

#### I.4.1.2 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. [6]

#### I.4.1.3 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. [7]

#### I.4.1.4 La conductivité :

La mesure de la conductivité de l'eau permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité d'une eau usée dépend essentiellement de la qualité de l'eau potable utilisée et des activités industrielles de la population. La mesure de la conductivité est plus utilisée dans l'optique de détection d'une éventuelle pollution, que les autres paramètres n'auraient pas mise en lumière (cas de métaux lourds dissous dans l'eau par exemple). [7]

#### I.4.1.5 La teneur en matières en suspension (MES) :

Mesurée en mg/L, elle est déterminée au laboratoire par filtration ou centrifugation. [7]

#### I.4.1.6 Les matières volatiles en suspension (MVS) :

C'est la partie des matières en suspension susceptibles d'être volatilisées à 550° C. Les MVS sont généralement assimilées aux matières organiques en suspension. Ils s'expriment en mg/L. [7]

## I.4.2 Paramètres chimiques :

### I.4.2.1 La demande biochimique en oxygène (DBO) :

Mesurée en mgO<sub>2</sub>/litre, c'est la quantité de dioxygène qu'il faut fournir à un échantillon d'eau pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques biodégradables. L'oxydation biologique complète demande un temps de 21 à 28 jours, on a donc la DBO<sub>21</sub> ou DBO<sub>28</sub>, ces dernières trop longue à obtenir elles ont été remplacées par la DBO<sub>5</sub> c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommé au bout de 5 jours d'incubation. [8]

### I.4.2.2 La demande chimique en oxygène (DCO) :

Mesurée en mgO<sub>2</sub>/L. La DCO représente l'enveloppe de tout ce qui est susceptible de demander de l'oxygène, en particulier les sels minéraux oxydables et la majeure partie des composés organiques. [8]

### I.4.2.3 Matières oxydables (MO) :

Ce paramètre est utilisé pour caractériser la pollution organique de l'eau. Il se définit à partir de la DBO<sub>5</sub> et de la DCO selon la formule suivante :

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

### I.4.2.4 Azote total Kjeldahl (NTK):

Représente les formes réduites de l'azote (organique et ammoniacal) dans l'eau. Mesuré en mg N/l. [8]

### I.4.2.5 Phosphore total (PT) :

C'est la somme des trois formes du phosphore (ortho phosphates, poly phosphates et le phosphore organique). A la sortie de la station d'épuration, le phosphore est à 90% sous forme d'ortho phosphates. [8]

### I.4.2.6 PH :

Le pH mesure la concentration des ions H<sup>+</sup> dans l'eau. Il caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimiques. La valeur du pH influe la croissance des micro-organismes présents dans l'eau, la plupart des bactéries par exemple peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9, l'optimum étant situé entre 6,5 et 8,5. Des valeurs inférieures à 5 ou supérieures à 9 affectent la survie des microorganismes aquatiques selon l'OMS.

### I.4.3 Les paramètres de la pollution dissoute :

#### I.4.3.1 Les différentes formes d'azote :

##### ❖ Azote global ou total

Dans un effluent, on distingue au besoin les différentes formes suivantes de l'azote, dont la somme constitue l'azote global (NGL) ou azote total ( $N_{\text{total}}$ )

##### ❖ Formes réduites

###### ◆ Azote Kjeldahl (NK)

L'azote Kjeldahl mesure l'azote organique (protéines, polypeptides, acides aminés, urée, hydrazine, etc.) et l'azote ammoniacal ( $N-NH_4^+$ )

C'est une valeur importante pour la protection du milieu aquatique car sa transformation détruit l'équilibre biologique à l'aval du rejet.

###### ◆ L'ammonium ( $NH_4^+$ )

L'ammonium constitue le produit de la réduction finale des substances organiques azotées et de la matière inorganique dans les eaux et les sols. Il provient également de l'excrétion des organismes vivants et de la réduction et la biodégradation des déchets, sans négliger les apports d'origine domestique, industrielle et agricole. Cet élément existe en faible proportion inférieure à 0,1 mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles. Dans les eaux superficielles, il provient de la matière organique azotée, et des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère. Il constitue ainsi un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains.

##### ❖ Formes oxydées

Constituées d'azote nitreux ( $N-NO_2$ ) et d'azote nitrique ( $N-NO_3^-$ ) :

###### ◆ Les nitrates ( $NO_3^-$ )

Les nitrates constituent la forme azotée la plus dominante dans les cours d'eau et dans les nappes d'eau souterraine. Ils proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi l'ultime produit de la nitrification. En milieu naturel, sa concentration dépasse rarement 0,45 mg/l. Des valeurs supérieures indiquent des rejets d'eaux usées dans les milieux aquatiques superficielles et souterraines, et surtout une utilisation excessive de fertilisants utilisés en agriculture.

### **I.4.3.2 Les composés phosphorés**

Les composés phosphorés peuvent être d'origine naturelle mais leur présence dans les eaux sont plus souvent d'origine artificielle (engrais, détergents, lessives, produits chimiques, etc.).

Les composés phosphorés existent dans les eaux naturelles et les eaux usées sous différentes formes à savoir :

- ✓ Les ortho phosphates :  $\text{PO}_4^{3-}$
- ✓ Les poly phosphates :  $(\text{PO}_3^-)_n$  - ont tendance à s'hydrolyser en ortho phosphates
- ✓ Les organophosphorés : ATP, ADP, AMP, phospholipides

La somme de ces diverses formes constitue le phosphore total ( $\text{P}_T$ )

Les composés phosphorés favorisent la croissance des végétaux dans l'eau et la prolifération des algues, étouffant les autres organismes vivant dans l'eau, générant des odeurs et contribuant au phénomène d'eutrophisation.

## **I.4.4 Les paramètres toxiques**

### **I.4.4.1 Les Métaux lourds :**

Le suivi des concentrations des métaux lourds est particulièrement important vu leur toxicité et leur capacité de bioaccumulation le long de la chaîne alimentaire. Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement. Cependant, leur précipitation engendrerait leur mélange avec les boues décantées.

Les concentrations en cuivre, nickel, chrome, plomb cadmium, mercure, zinc caractérisent certains types de pollution :

- ✓ La présence de cuivre et de nickel indiquent l'existence de rejets provenant d'industries de traitement de surface des métaux
- ✓ Le chrome indique l'existence de rejets provenant d'une tannerie
- ✓ Le plomb est lié à des pollutions diffuses.
- ✓ Le zinc est évacué par des industries qui pratiquent la galvanisation ou la préparation d'alliages tels que le laiton et le bronze, il peut provenir également du contact entre les eaux de ruissellement et les matériaux galvanisés



- ✓ Le cadmium peut notamment être rejeté par des usines de galvanoplastie et d'industries chimiques, de textiles et de teintures.

Les métaux lourds se dissolvent très bien dans une eau acide (pH faible). Dans des eaux neutres ou basiques, ils précipitent et s'accumulent principalement dans la phase solide (boues). L'analyse de ces boues permet ainsi d'obtenir une vue de l'ensemble des déversements en métaux lourds qui ont eu lieu, tant en nature qu'en quantité.

#### ***1.4.4.2 Les tensioactifs***

Ils ont la propriété d'abaisser la tension superficielle de l'eau et sont employés à cause de leur pouvoir mouillant et moussant. Si les tensio-actifs sont eux-mêmes relativement peu toxiques, leur impact environnemental est lié au fait que leur présence dans les eaux usées se caractérise principalement par des mousses abondantes qui peuvent perturber le fonctionnement des stations d'épuration, en effet La maîtrise du transfert d'oxygène dans les procédés d'épuration biologiques aérobies est déterminante pour la qualité et la fiabilité du traitement des eaux usées. Les stations d'épuration renferment des cultures bactériennes concentrées en suspension (boues activées) qui dégradent à grande échelle les substrats contenus dans les eaux usées en présence d'oxygène, apporté par des aérateurs. Or, les tensioactifs et les graisses limitent le transfert de l'oxygène dans les boues activées. Car en présence des tensioactifs les capacités d'oxygénation des systèmes d'aération sont réduites de 40 à 70 % par rapport à l'eau claire.

Même à très faible concentration, les tensioactifs peuvent influencer le transfert de l'oxygène dans l'eau. Néanmoins, des travaux réalisés ont montré que certains tensioactifs anioniques n'ont pas d'effet sur le transfert d'oxygène. En effet, ces composés chargés s'adsorbent très rapidement à la surface des bulles et empêchent leur coalescence (Rassemblement de petites bulles en bulles de plus grand diamètre). Il en résulte des petites bulles donc une surface d'échange plus grande qu'en eau claire, qui compense la limitation du transfert d'oxygène liée à l'adsorption du tensioactif. En revanche en présence de tensioactifs non ioniques, les tensioactifs n'étant pas chargés, les bulles peuvent coalescer.

#### ***1.4.4.3 Huiles et graisses***

Quelle que soit leur origine, biologique ou industrielle, elles affectent les propriétés organoleptiques et en s'étalant à la surface de l'eau, créent un film superficiel souvent irisé, diminuant la capacité de ré-oxygénation du milieu. De ce fait, elles risquent de perturber le fonctionnement des stations d'épuration.

#### **I.4.4.4 Les hydrocarbures**

Ce terme fait la plupart du temps référence aux huiles minérales qui comportent des substances telles que les alcanes, les alcènes, etc. Outre leur toxicité, ces substances peuvent limiter l'apport d'oxygène dans les eaux de surface lorsqu'elles sont présentes en concentrations élevées. Ces polluants incluent également les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ainsi que les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM). Les HAP sont des combinaisons organiques résultant de l'assemblage de plusieurs noyaux benzéniques. Ces composés sont relativement stables et peu solubles dans l'eau. Ils s'adsorbent fortement aux sols et aux matières en suspension et sont, en outre, très solubles dans les graisses ce qui favorise leur bioaccumulation dans les tissus humains et animaux. Plusieurs HAP sont classés comme agents cancérigènes possibles par l'OMS. Les HAM incluent des polluants comme le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène dont les impacts sur la santé peuvent être très importants (diminution de la réponse immunitaire, effet neurotoxique, irritation des voies respiratoires...). Leur présence dans les rejets est liée principalement à l'activité humaine par voie atmosphérique à partir de fumées industrielles, gaz d'échappement, rabattues par les pluies ou volontairement par des rejets dans le réseau (station, service, processus de combustion ...).

### **I.5 les paramètres bactériologiques :**

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 microorganismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives. [9]

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; [9]
- les éléments traces dont les effets sanitaires à long terme sont moins connus, notamment leur implication dans certains cancers. [9]

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 ensuite 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 *Leptospire* est vraiment concernée par ce mode de transmission. [9]

### **I.5.1 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. [10]

#### ***1.5.1.1 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. [10]

#### ***1.5.1.2 Les bactéries :***

##### ***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 respectés, 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 flocculer et qui restent en suspension. [11]

#### ***1.5.1.3 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. [11]

#### ***1.5.1.4 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 [11]

### **I.5.2 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. [10]

### **I.5.3 Les micropolluants organiques et non organiques : une pollution multiple et complexe**

Les micropolluants 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 micropolluants, 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. [10]

### **I.5.4 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. [10]

### **I.5.5 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. [10]

### **I.6 Notion d'équivalent habitant :**

Les charges domestiques spécifiques, plus classiquement connues sous le terme d'équivalent-habitant expriment la charge polluante moyenne engendrée par un habitant et par jour (soit la charge polluante contenue dans 150 litres d'eaux usées). On les mesure généralement en sortie de réseau d'assainissement, c'est-à-dire à l'entrée de la station d'épuration, elles présentent malheureusement une forte variabilité. Cette variabilité résulte vraisemblablement des effets cumulés d'une transformation biochimique plus ou moins poussée des eaux usées au cours de leur acheminement dans les réseaux (différant par leur pente, leur taille, température, etc....), et d'apport non domestiques plus ou moins bien contrôlés.

Son utilisation se justifie par le fait qu'il est extrêmement difficile d'évaluer la pollution produite car elle dépend de nombreux paramètres liés aux activités diverses et variées qui peuvent exister. C'est pourquoi, face à ce manque d'homogénéité, on travaille sur des valeurs unitaires de production correspondant à un rejet standard d'un équivalent habitant.

La capacité nominale de la station d'épuration de Boumerdes est de 75 000 équivalents habitant. [11]

# **Chapitre II**

## Les filières du traitement

## Introduction :

Une station d'épuration rassemble une succession de dispositifs, empruntés tour à tour par les eaux usées. Chacun de ces dispositifs est conçu pour extraire un ou plusieurs polluants contenus dans ces eaux usées.



**Figure II.1** - Schéma de fonctionnement d'une STEP à boues activées

Dans le langage courant, l'appellation des stations d'épuration est basée sur la spécificité dominante ou l'originalité des procédés épuratoires mis en œuvre. On en dénombre cinq familles :

- Les stations primaires
- Les stations physico-chimiques
- Les stations boues activées
- Les stations lits bactériens
- Le lagunage naturel



## II.1 Prétraitements et élimination des sous-produits

Le prétraitement a pour objectif de séparer les matières les plus grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement.

Il comprend quatre principaux modes de traitement des eaux usées : le dégrillage, pour retenir les déchets volumineux, le dessablage, pour obtenir une meilleure décantation et éviter l'abrasion des équipements, le dégraissage et le déshuilage, pour éviter l'encrassement de la station par des corps gras. [12]

### II.2 Le dégrillage :

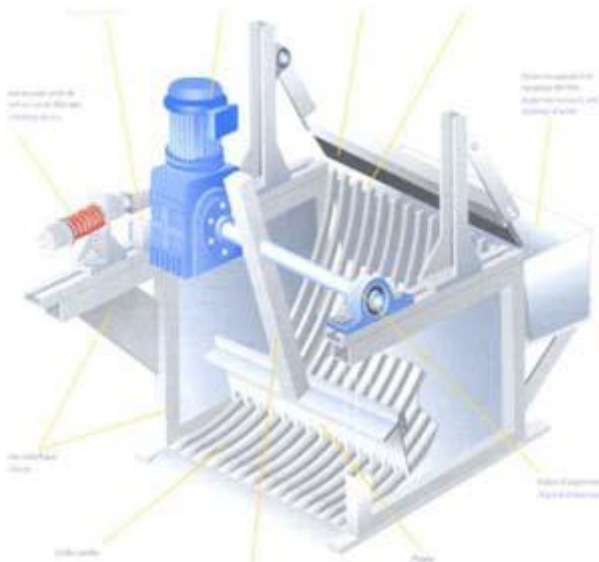


Figure II.3 : Dégrilleur courbe

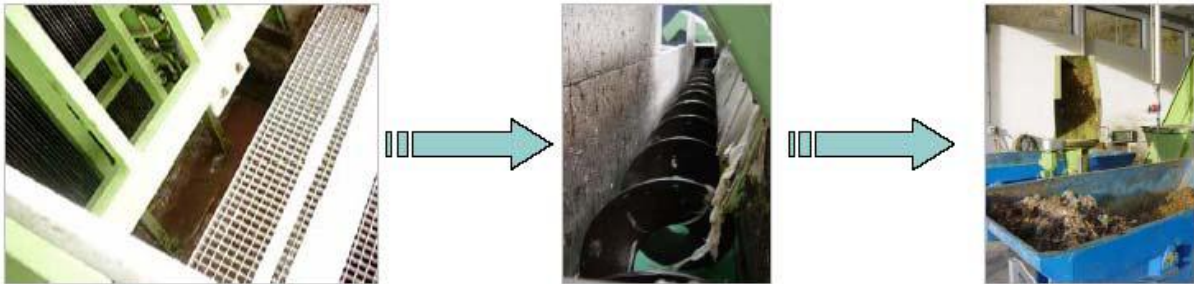
A l'entrée de la station d'épuration, les effluents doivent subir un dégrillage (voire un tamisage). Ainsi, les matières volumineuses (flottants, etc.) sont retenues au travers de grilles.

Cette opération est en général réalisée avant la station de relevage, afin de protéger les pompes ou les vis d'Archimède.

Ce prétraitement se décline en trois sous-catégories : le pré dégrillage (de 30 à 100 mm), le dégrillage moyen (de 10 à 30 mm) et enfin le dégrillage fin (les barreaux sont espacés de moins de 10 mm). Les grilles peuvent être verticales, mais elles sont le plus souvent inclinées de 60° à 80° sur l'horizontale. Les vitesses moyennes de passage admises sont de l'ordre de 0,6 m/s à 1,40 m/s au débit de pointe. [12]

Il existe plusieurs types de grilles :

- *Les grilles manuelles* nécessitant un nettoyage manuel à l'aide d'un râteau
- *Les grilles automatiques*
- *Le tamisage* permettant quant à lui la récupération de particules plus fines en suspension.



**Figure II.4** – Rétention mécanique des déchets qui sont ensuite pressés et évacués

### II.1.2 Le dessablage :

Le dessableur est un ouvrage dans lequel les particules denses, dont la vitesse est supérieure à 0,3 m/s, vont pouvoir se déposer. Il s'agit principalement des sables. L'élimination des sables présents dans les effluents bruts est une opération indispensable pour

- Éviter les dépôts dans les canalisations conduisant à leur bouchage;
- Protéger les pompes et autres organes mécaniques contre l'abrasion;
- Éviter de perturber les autres stades du traitement
- Réduire la production des boues.

Le dessablage concerne les particules minérales de granulométrie supérieure à 100  $\mu\text{m}$ . Ce type d'ouvrage est dimensionné à partir des vitesses de sédimentation des particules. Des abaques fournissent ces vitesses. On distingue deux types de dessableurs suivant la géométrie des bassins ou la circulation du fluide :

- Les dessableurs à canaux gravitaires;
- les hydro cyclones. [12]

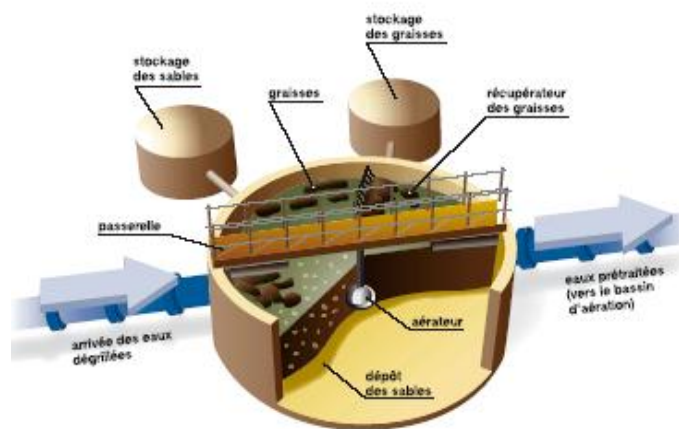
### II.1.3 Le dégraissage-déshuilage :

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent en une séparation des huiles et graisses, produits de densité légèrement inférieure à celle de l'eau, de l'effluent brut.

Les graisses sont des produits solides d'origine animale ou végétale. Elles sont présentes dans les eaux résiduaires urbaines et dans certaines eaux résiduaires industrielles, essentiellement agroalimentaires. Elles sont difficilement biodégradables en l'état et peuvent poser divers problèmes au cours du traitement : boules graisseuses, diminution des transferts d'oxygène, apparition de bactéries filamenteuses. Ces graisses sont également très dommageables pour les équipements et notamment pour les pompes, elles font donc l'objet d'un prétraitement.

Le dégraissage est une opération de séparation liquide-solide réalisant un compromis entre une rétention maximale de graisses et un dépôt minimal de boues. On peut noter qu'une injection d'air au fond de la bache de séparation permet de récupérer les graisses par flottation. Cette préparation des effluents facilite l'épuration des effluents en aval, en réduisant le colmatage et en évitant une certaine inhibition des processus biologiques. [12]

**Figure II.5** – Dessableur - dégraisseur



Les huiles sont des produits liquides leur séparation se fait par absorption ou filtration ; l'élimination des huiles et des graisses s'effectue par écumage manuel ou mécanisé. Bien souvent, on regroupe les opérations de dégraissage-dessablage en tête de station (prétraitement).

Les caractéristiques de l'ouvrage sont dimensionnées en conséquence pour un temps de séjour de 15 à 20 minutes sur le débit de pointe. L'évacuation des graisses s'effectue à l'aide d'un système de raclage de surface poussant les flottants vers une trémie. Les graisses sont ainsi envoyées, gravitairement ou à l'aide d'une pompe, soit vers les bacs à graisses, soit vers le réacteur de traitement biologique des graisses. [12]

## II.2 Le traitement primaire

Après les prétraitements, les effluents conservent une charge polluante dissoute et des matières en suspension. Les procédés de traitement primaire sont physiques, comme la décantation, ou physico-chimique. [13]



**Figure II.6** – Décantation primaire et flottation

### II.2.1 Procédés de décantation physique :

La base de ces procédés de séparation solide-liquide est la pesanteur. On utilise le terme de décantation lorsque l'on désire clarifier une eau brute ; si l'on veut obtenir une boue concentrée on parle alors de sédimentation.

Ces procédés permettent d'éliminer, d'une part 50% à 60% des matières en suspension et, d'autre part, de réduire leurs caractéristiques dimensionnelles (élimination des matières présentant une taille supérieure à 50 $\mu$ m).

Le dimensionnement des décanteurs est essentiellement fondé sur la vitesse de sédimentation des matières en suspension. Des prélèvements et des mesures sur ces matières permettent de déterminer cette vitesse, qui correspond au rendement d'élimination recherché. [13]

On raisonne sur :

- La charge hydraulique à traiter ( $Q$  en  $m^3$ ) ;
- La charge de pollution (en kg de MES).

Il existe différents types de décanteurs primaires :

- *Les décanteurs longitudinaux*, très peu répandus car très peu économiques (usure rapide, coût de construction élevé...) ;
- *Les décanteurs circulaires*, largement répandus du fait de leur faible coût de réalisation par rapport à un décanteur rectangulaire (plus faible épaisseur des parois de béton armé et densité d'armatures inférieure). L'arrivée de l'effluent brut se fait par un fût central creux.

L'eau brute est ensuite répartie dans le bassin. Un dispositif de raclage, aidé par une légère pente en fond d'ouvrage, permet d'amener les boues déposées sur toute la surface du fond vers une fosse centrale d'où partent des canalisations d'extraction. Les boues sont épaissies pendant leur long cheminement. En effet, la vitesse de raclage doit être suffisamment faible pour ne pas perturber la décantation (de l'ordre de 3 à 6 m/s en périphérie). Par ailleurs, un pont raclleur (en surface) pousse les corps flottants vers une trémie à écumes située en périphérie de l'ouvrage ;



**Figure II.7** – Décanteur primaire avec pont racleur à entraînement périphérique

- *Les décanteurs lamellaires* qui sont de plus en plus utilisés, notamment dans les procédés d'épuration physico-chimiques. La décantation lamellaire consiste à multiplier la surface de décantation à l'intérieur d'un ouvrage ; il en résulte un rendement épuratoire excellent. [13]



**Figure II.8** – Décanteur lamellaire à recirculation de boues : le RPS

Le poste le plus coûteux est l'amortissement de la construction des décanteurs : le Génie civil représente une part importante des dépenses de l'installation d'épuration, surtout pour les décanteurs de grande taille. Par contre, les équipements sont mécaniques donc assez rustiques.

Néanmoins, des précautions sont nécessaires notamment contre l'abrasion des parties motrices fragiles en contact avec le sable et les boues. Seules les pompes d'extraction ont une durée de vie courte et nécessitent un remplacement régulier. [13]

### II.2.2 Procédés de décantation chimique

Les procédés physico-chimiques de décantation consistent à alourdir les particules en suspension. Ils font appel aux techniques de coagulation ou de floculation-clarification.

Les processus de coagulation et de floculation sont employés pour séparer les solides en suspension de l'eau lorsque la vitesse de décantation naturelle est trop lente pour obtenir une clarification efficace.

La turbidité et la coloration de l'eau sont dues à la présence de particules colloïdales de taille trop faible pour sédimenter. La première phase du traitement consiste donc à faire croître ces particules pour les amener à un niveau de taille où elles pourront facilement être séparées par décantation ou filtration. Cette phase de croissance est appelée « coagulation-floculation ».

Les réactifs introduits dans les eaux usées ont un pouvoir adsorbant : autrement dit, ils ont pour effet de neutraliser les charges électriques portées par les substances colloïdales, charges qui, par répulsion électrostatique, maintiennent les particules à l'état dispersé. En outre, ils favorisent leur coagulation, accroissant ainsi la taille et la densité de gros amas ; désignés sous le nom de floes.

La vitesse de chute des particules étant proportionnelle au carré de leur diamètre, on conçoit qu'il est intéressant de réunir les plus petites d'entre elles pour en former une grosse. Le processus par lequel ces substances coagulent s'appelle la « coalescence ».

Les réactifs employés sont d'origine minérale (sulfate d'alumine, chlorure ferrique, chaux) ou organique et libèrent des ions positifs qui neutralisent le colloïde et précipitent en formant des flocons : c'est la floculation.

Les procédés physico-chimiques présentent l'avantage d'une mise en route rapide (10 heures environ) et d'une adaptation immédiate aux variations de débit de la charge des effluents à traiter. [13]

### **II.2.3 L'élimination de la pollution carbonée :**

Généralement le taux d'épuration exigé pour le rejet des effluents dans le milieu naturel n'est pas atteint par une simple épuration préliminaire et primaire.

Les traitements secondaires, conçus à l'origine essentiellement pour l'élimination de la pollution carbonée et des matières en suspension, ont pour objet de poursuivre l'épuration de l'effluent provenant du décanteur primaire ou issu d'un prétraitement. Il s'agit de transformer, par voie biologique le plus souvent, ces eaux décantées en amont, dans des limites permettant d'assurer l'imputrescibilité de l'effluent grâce à la stabilisation des matières organiques. A ce stade de stabilisation définitive, on évacue tous les déchets, les boues et les gaz.

Les procédés les plus couramment utilisés aujourd'hui mettent en œuvre des installations biologiques, tant pour l'épuration des eaux usées urbaines que pour celles de certaines eaux résiduaires industrielles. On les classe généralement en :

- Procédés biologiques naturels;
- Procédés biologiques artificiels.

En dehors de ces procédés d'épuration par la voie biologique on peut aussi avoir recours aux moyens chimiques et aux procédés physico-chimiques [13]

### **II.3 Procédés physico-chimiques de l'épuration**

L'épuration chimique, coûteuse et difficile à réaliser, s'applique plutôt aux eaux résiduaires industrielles ou aux eaux usées contenant des résidus d'usine susceptibles d'entraver des processus biologiques.

Les rendements épuratoires sont excellents, car l'élimination des MES se situe entre 80% et 95%, celle des matières organiques entre 65% et 75%. Par ailleurs, ce type d'installation possède un temps de réponse extrêmement court (1 heure contre 12 à 14 heures pour une installation biologique). Néanmoins, ce type de procédé entraîne une surproduction de boues, de 15 à 25% en plus, ainsi qu'une mauvaise élimination des matières organiques, en particulier de la pollution soluble. [12]

#### **II.3.1 Procédés biologiques naturels**

Les procédés biologiques naturels réalisent l'épuration par le sol, où grâce à l'énergie solaire, les matières organiques polluantes (biomasse du milieu « eau ») sont dégradées. En pratique, ils se présentent sous trois aspects et peuvent servir de traitements complémentaires des effluents d'une station d'épuration biologique artificielle, afin de parfaire l'élimination de substances indésirables comme l'azote et le phosphore. Ils comprennent l'épandage sur le sol, le bassin de lagunage et la filtration par le sol.

Le sol doit être peu perméable ; il faudra recourir à l'emploi de géomembranes si coefficient de Darcy est supérieur à  $10^{-6}$  m/s. [12]



Les digues entourant les bassins doivent être suffisamment larges (4m minimum) pour autoriser la circulation d'engins lourds (tonne à lisier, camion hydrocureur). Une largeur plus importante doit être prévue pour les zones de manœuvre d'engins. Les canalisations de liaison doivent résister au passage d'engins roulants et être ancrées. Une pente de 2,5/1 à 3/1 est requise pour la mise en place des matériaux et l'obtention d'une étanchéité par compactage de terrains ; une pente plus forte (de 1,5/1 à 2/1) est acceptable si l'étanchéité est obtenue avec une géomembrane. La revanche, toujours supérieure, à 30 cm est en général fixée à 50 cm. Un fossé de drainage des eaux de ruissellement sur le pourtour des bassins doit être prévu. Le risque de modification du parcours du lit de la rivière doit être intégré. [12]

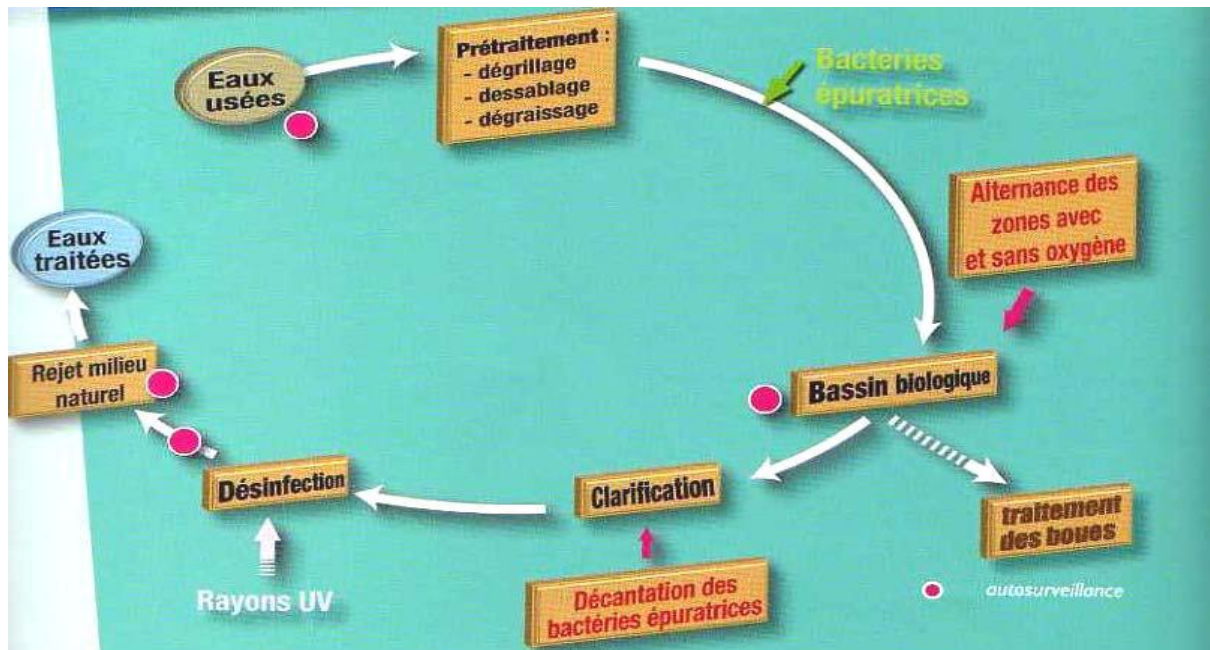
### II.3.2 Procédés biologiques artificiels

Les procédés biologiques artificiels comprennent des dispositifs qui permettent de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques, tels qu'ils se produisent en milieu naturel.

On utilise trois grands types de procédés : les lits bactériens, un procédé mettant en œuvre le principe des boues activées, et la biofiltration ou filtration biologique accélérée.

- *Lits bactériens*: le principe de fonctionnement d'un lit bactérien, quelquefois appelé « filtre bactérien » ou « filtre percolateur », consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées, sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs. Pour ce type de procédé on définit sa biomasse, c'est-à-dire la quantité de matière vivante par unité de surface ou de volume.

- *Boues activées (culture libre)* : les boues activées sont des systèmes qui fonctionnent biologiquement, avec une aération artificielle. L'épuration par boues activées consiste à mettre en contact les eaux usées avec un mélange riche en bactéries par brassage pour dégrader la matière organique en suspension ou dissoute. Il y a une aération importante pour permettre l'activité des bactéries et la dégradation de ces matières, suivie d'une décantation à partir de laquelle on renvoie les boues riches en bactéries vers le bassin d'aération. [12]



**Figure II.9** - Schéma de principe de l'épuration par boues activées

- *Biofiltration (cultures fixées)*: les biofiltres sont une innovation pour le traitement des eaux usées domestiques destinées à répondre à des exigences croissantes en matière de qualité. Ces procédés biologiques modernes ont été inspirés des lits bactériens. Ils reposent sur l'action de micro-organismes aérobies fixés sur un support granulaire immergé dans un bassin. C'est une technique qui consiste à réaliser simultanément, dans le même ouvrage, la réaction biologique aérobie de dégradation de la pollution par la biomasse épuratrice et la clarification par filtration de l'effluent traité. L'avantage des biofiltres est de pouvoir traiter les matières polluantes carbonées et éventuellement azotées, dans un volume beaucoup plus faible que dans le cas de procédés à cultures libres, avec des rendements similaires. Mais les biofiltres sont plus coûteux en investissement et plus délicats en fonctionnement.

## II.4 Les traitements tertiaires

Ces traitements complémentaires constituent un complément d'épuration des eaux usées pour adapter ces eaux à l'usage que l'on veut en faire et à la protection du milieu, les usages sont de trois types :

- Irrigation agricole;
- Restitution au milieu récepteur pour la recharge des nappes d'eau souterraines destinées à l'alimentation;
- Rejet dans la Courante en cas de nappes hautes.

Les différents types de traitements sont :

- Les traitements physiques: décantation, filtration, tamisage ou microfiltration;
- Les traitements chimiques: à base de chaux, la floculation ou l'extraction de l'azote et du phosphore;
- Les traitements biologiques: lagunage, boues activées, rejet dans le sol, etc;
- Les traitements bactériologiques: à base de chlore ou d'ozone, par adsorption au moyen de charbon actif ou par rayonnement ultraviolet.

Les mécanismes relatifs à ces différents traitements étant parfois complexes. [14]

### II.4.1 Les mécanismes de l'élimination biologique des matières azotées

Dans les eaux usées urbaines l'azote se présente essentiellement sous la forme d'azote organique  $N_{org}$  (urines, protéines) et d'azote ammoniacal  $NH_4^+$ .

Il est rejeté 13 à 15g d'azote par habitant et par jour, dont deux tiers sous la forme ammoniacale et un tiers sous forme organique. Dans les stations d'épuration conventionnelles ne visant que l'élimination de la pollution carbonée, seule une fraction de l'azote (environ 20%) est éliminée. Une élimination plus poussée nécessite la mise en place d'une filière de traitement spécifique dite « de nitrification-dénitrification ». [14]

L'azote est l'un des facteurs de dégradation de l'environnement à plusieurs titres :

- L'azote réduit consomme de l'oxygène pour se transformer en azote oxydé;
- L'ammoniaque libre  $\text{NH}_3$  est l'un des principaux toxiques inhibiteurs de la vie aquatique;
- L'ion  $\text{NH}_4$  gêne la production d'eau potable (réaction avec le chlore).

#### II.4.2 Elimination de la pollution phosphorée

L'élimination du phosphore, contenu dans les eaux usées urbaines, est très insuffisante à la suite d'une épuration secondaire classique (environ 10% du phosphore est éliminé au cours du traitement primaire et 20% au cours du secondaire). Les quantités de rejet dans le milieu récepteur imposent d'améliorer cette élimination. En effet, dans l'eau, le phosphore se retrouve naturellement à l'état minéral mais à faible concentration (0,01 mg/l). Mais l'utilisation " massive " de phosphates dans la fabrication des produits d'entretien et en agriculture pose des problèmes d'équilibre au milieu aquatique. Si les phosphates ne sont pas directement nocifs, leur action est cependant néfaste de par la prolifération des algues qu'ils génèrent à la surface de l'eau limitant considérablement les échanges avec l'air et l'énergie solaire. Il contribue ainsi à l'eutrophisation des eaux.

La quantité de phosphore rejeté dans les eaux urbaines est de l'ordre de 3 à 4g par habitant et par jour (soit une concentration de l'ordre de 25mg/l pour le phosphore total).

Cette élimination peut se faire par voie biologique (décantation primaire et traitement secondaire) puis en co-précipitation par ajout, dans le bassin d'aération, de chlorure ferrique. Ce traitement physico-chimique est basé sur la capacité qu'a le chlorure ferrique

$\text{FeCl}_3$  de se combiner avec les ions phosphates pour former un précipité de phosphate de fer

$\text{FePO}_4$ , sel très peu soluble dans l'eau et qui précipite à l'état colloïdal. Ce procédé, très employé aujourd'hui pour ses nombreux avantages économiques et techniques, a néanmoins l'inconvénient d'engendrer une surproduction de boues allant de 40% à 60%. [14]

## II.5 Traitements complémentaires

### II.5.1 Désinfection des effluents

Ce traitement a pour objectif principal d'améliorer la qualité bactériologique de l'effluent épuré. Il existe différentes techniques (désinfection au chlore, au brome, par l'ozone, par rayonnement UV ou par lagunage). [14]

### II.5.2 Traitement des odeurs

Les eaux usées, chargées en matières organiques particulières et dissoutes, peuvent induire directement ou indirectement, par l'intermédiaire de leurs sous-produits d'épuration (graisses, boues), la formation d'odeurs désagréables suivant un processus de fermentation.

Les odeurs provenant des STEP sont dues aux gaz, aérosols ou vapeurs émises par certains produits contenus dans les eaux usées ou dans les composés se formant au cours des différentes phases de traitement.

Les sources les plus importantes d'odeurs sont :

- Les prétraitements
- Les puits à boues
- Les épaisseurs gravitaires
- Le conditionnement des boues

Pour éviter ces nuisances, les ouvrages sensibles seront couverts et munis d'un système de ventilation ainsi que d'une unité de traitement biologique des odeurs.

On distingue généralement deux types de traitement biologique des odeurs : les biofiltres et les biolaveurs. Dans les premiers, la biomasse est supportée par un plancher spécifique et l'air traverse le massif (souvent de la tourbe). Les seconds réalisent un deuxième filtre grâce à une suspension. La biomasse est libre, et l'épuration se produit dans un réacteur. [14]

### II.5.3 Traitement des boues

La production de boues par équivalent habitant et par jour est de 30 à 60 g de matière sèche par jour, soit 1 à 3 litres de boues non épaissies. Devant la quantité croissante de boues produites, et face à la difficulté que rencontrent les concepteurs et exploitants des stations d'épuration pour l'évacuation de ces boues, il devient nécessaire d'améliorer les traitements de réduction de la matière organique (taux en matières organiques d'environ 60% avant traitement).

Le traitement des boues a pour objectifs de :

- Réduire la fraction organique afin de diminuer leur pouvoir fermentescible et les risques de contamination (stabilisation);
- Diminuer leur volume total afin de réduire leur coût d'évacuation (déshydratation).

Le but principal est de traiter ces boues produites de façon à les valoriser en agriculture pour l'amendement des sols et comme engrais, d'autant plus que leur mise en décharge est interdite pour les grandes agglomérations.

L'extraction des boues se fait depuis le clarificateur, trois fois par semaine. En fonctionnement dégradé, il est prévu de pouvoir extraire en direct depuis le bassin d'aération.

L'épaississement est réalisé par égouttage sur tables d'égouttage. Il s'agit d'un système sommaire de pressage permettant d'obtenir des siccités de l'ordre de 6% à 7% sur des boues en excès préalablement conditionnées par des polymères. [14]



**Figure II .10** – Table d'égouttage

La déshydratation des boues constitue la deuxième étape de réduction de leur volume. Elle s'opère sur des boues épaissies et conditionnées par des polymères et emploie un procédé de centrifugation. Les boues sont ensuite évacuées dans des bennes, enlevées par des camions.



**Figure II.11** – Déshydratation des boues par centrifuge

# **Chapitre III**

## **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. [7]

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. [7]

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.

### **III.1 généralités sur la 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. [7]

Dès que l'effluent a atteint la station d'épuration, 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.

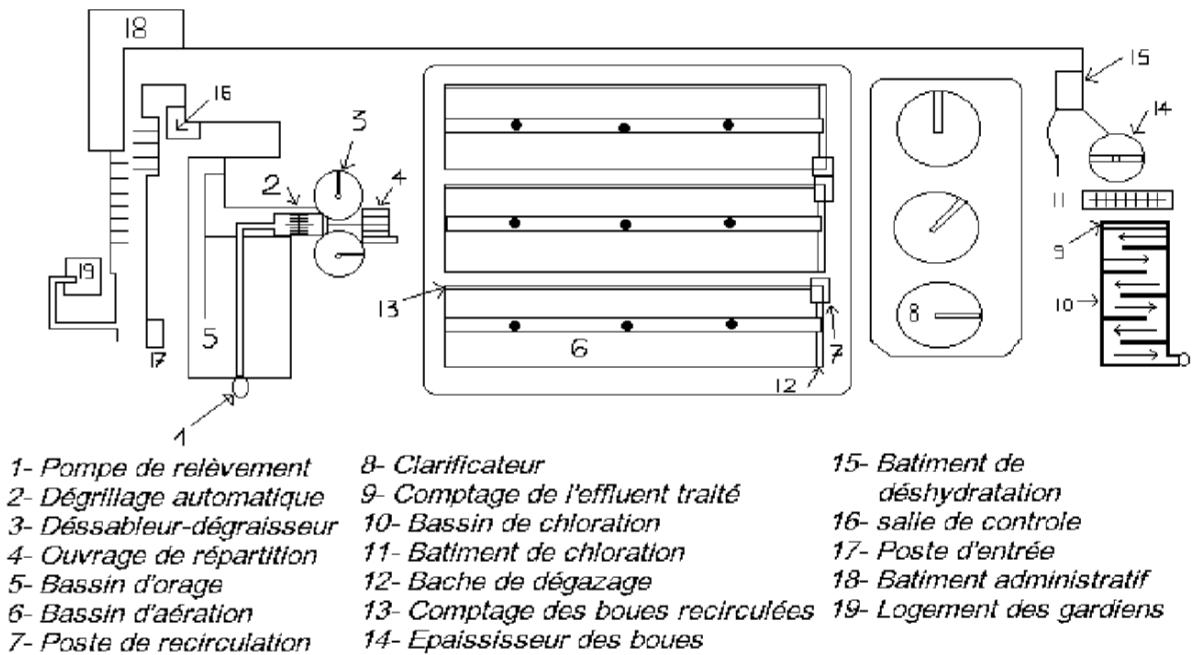


Figure III.1 : Les ouvrages de la STEP de Boumerdes

### III.1.1 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. [15]

### III.1.2 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.

Figure III.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 Rêgard de dissipation l = 180 ml en DN 300A/C.
- Conduite gravitaire : regard de dissipation R 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 R SR3 l=350 ml en DN 600BA.
- Conduite de refoulement : station de relevage 3- Step l = 2180 ml en DN 600A/C. [16]

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

<b>Désignation</b>	<b>Caractéristiques</b>
SR1	Débit unitaire : 37l/s HMT : 10 Nombre de pompes : 04
SR2	Débit unitaire : 45 l/s HMT : 31 m Nombre de pompes : 04
SR3	Débit unitaire : 15 l/s HMT : 41 m Nombre de pompes : 04
SR4	Débit unitaire : 86 l/s HMT : 22 m Nombre de pompes : 02
SR5	Débit unitaire : 26 l/s HMT : 47 m Nombre de pompes : 02
SR6	Débit unitaire : 15,2 l/s HMT : 39 m Nombre de pompes : 02
SR7	Débit unitaire : 15,2 l/s HMT : 39 m Nombre de pompes : 02
SR8	Débit unitaire : 15,2 l/s HMT : 39 m Nombre de pompes : 02

### III.2 OBJECTIF DU TRAITEMENT :

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

DBO5	30 mg/l
DCO	90 mg/l
MES	40 mg/l
NTK	30 mg/l
pH	6,5 < pH < 7,5
T	30°C

[15]

#### III.2.1 Définition de la pollution à traiter :

L'eau à traiter a les caractéristiques suivantes:

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

Volume journalier	15 000 m <sup>3</sup>
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 journalières	5 250 kg

[15]

### III.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

#### III.3.1 Traitement des eaux

##### III.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 bypass contrôle l'entrée générale de la station. [15]



### ***III.3.1.2 Prétraitement :***

#### ***III.3.1.2.1 Dégrillage :***

Un dègrilleur 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 dègrilleur automatique, il est prévu un canal de bypass équipé d'un dègrilleur 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 dègrilleur est monté dans un canal de 1 mètre de large.il est composé d'une grille courbe en acier galvanisé. [15]



Figure III.3 : dègrilleur de la STEP de Boumerdes

#### ***III.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 150-200µm.

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 ultérieures 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 supérieure 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. [15]



Figure III.4 :Désableur-dégrilleur de la STEP de Boumerdes



### **III.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. [15]



Figure III.5 : bassins d'aération de la STEP de boumerdes

### **III.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 recirculée vers les bassins d'aération et une l'autre partie est extraite pour être envoyée vers l'épaisseur c'est l'excès de boue.

Les clarificateurs sont équipés chacun 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.



Figure III.6 : Clarificateurs de la STEP de boumerdes

### III.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. [15]

#### III.3.2.1 L'épaisseur :

L'épaisseur est constitué d'un ouvrage en béton de diamètre intérieur de 13m et est équipé d'un pont racleur diamétral à entrainement 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'épaississement 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 :

<b>Diamètre intérieur</b>	<b>13 m</b>
---------------------------	-------------

#### Caractéristiques fonctionnelles :

<b>Charge massique</b>	<b>30kg/m<sup>2</sup>/j</b>
<b>Concentration de sortie moyenne</b>	<b>20g/l minimum</b>
<b>Volume journalier à transférer en déshydratation</b>	<b>792m<sup>3</sup></b>

[15]



Figure III.7 : Epaississeur de la STEP de Boumerdes

### **III.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 entrainement et le gâteau est dégagé par deux racloirs pour évacuation sur une bande transporteuse. [17]

#### **III.3.2.2.1 Caractéristiques générales SUPERPRESS :**

<b>Largeur de bande</b>	<b>2 m</b>
<b>Capacité unitaire</b>	<b>150kg MS/m/h</b>
<b>Temps de fonctionnement</b>	<b>13.6h</b>

Avec 1 SUPERPRESS en service :

Tableau III.4 : Caractéristiques de super-press

<b>Consommation de polymère moyenne</b>	<b>20kg/j</b>
<b>Siccité des boues déshydratées</b>	<b>15+-1%</b>

[15]



Figure III.8 : super-press de la STEP de Boumerdes

# **Chapitre IV**

## Réutilisation des Eaux Usées Epurées

## INTRODUCTION :

L'épuration des eaux usées est devenue une nécessité en raison des problèmes d'approvisionnement en eau, que ce soit pour des raisons industrielles, urbaines ou agricoles. Dans cette logique de préservation des ressources naturelles, la réutilisation des eaux usées représente une opportunité et une solution concernant les problèmes d'eau.

Dans le monde et particulièrement en Europe et en Amérique les recherches et applications dans ce domaines sont très avancées du fait de la grande consommation en eau potable de ces pays et ainsi pour pallier au manque d'eau pour (avec la recrudescence et l'explosion démographique) tous domaines d'application de ces eaux épurées. Il se trouve que l'agriculture se retrouve en haut de liste des différents domaines d'application.

### IV.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. [18]

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. [18]

**L'aspect préventif :** il se manifeste dans le fait d'assurer l'équilibre du cycle hydrologique et protéger le milieu environnant. [18]

### IV.2 Domaines d'application :

On peut distinguer cinq catégories de réutilisation:

- Réutilisation pour l'irrigation : L'utilisation des eaux épurées dans l'agriculture doit être minutieusement surveillée et régulièrement analysée car les risques pour les cultures sont très importants. , 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 [9]

### IV.2.1 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 de 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.

[9]



#### **IV.2.2.1 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. [9]

##### **IV.2.2.1.1 Le risque microbiologique :**

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les microorganismes 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. [9]

##### **IV.2.2.1.2 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 micropolluants 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. [9]

#### □ 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 IV.1 : Classification des métaux en fonction de leur dangerosité et de leur intérêt agronomique

Métaux	intéressants pour les plantes	pour les	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

[9]

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 3+), 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. [9]

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. [9]

#### □ 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.

#### **IV.2.2.2 Protection des ressources en eau : le risque environnemental :**

##### ***IV.2.2.2.1 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. [19]

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. [19]

#### **IV.2.2.2.2 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.

#### **IV.2.2 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. [9]

#### **IV.2.3 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. [9]

#### IV.2.4 La production d'eau potable :

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

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

La réutilisation est indirecte et planifiée quand elle consiste à rejeter des effluents de station volontairement en amont d'une usine de traitement, au niveau du plan d'eau ou de la nappe qui sert d'ultime réservoir naturel avant le pompage et le traitement. [9]

#### IV.2.5 La recharge de nappe :

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

Il existe deux moyens de recharger une nappe phréatique:

- par percolation : Le principal problème rencontré est celui des algues, qui pullulent dans les bassins. Les solutions préconisées sont variées: introduction de poissons, d'algicides, teindre l'eau pour empêcher la photosynthèse, faire circuler l'eau pour empêcher la stagnation, éviter le stockage dans des lacs peu profonds, éviter de laisser l'eau stagner trop longtemps et couvrir les réservoirs. Un autre problème est la formation d'un microfilm de vase, d'argile et de micro-organismes au fond du bassin qui bloque la;
- par recharge directe : L'eau est injectée dans la nappe par plusieurs puits. [9]

### IV.3 Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation :

Les caractéristiques de qualité chimique et physique sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation (FAO, 2003). les paramètres utilisés pour évaluer une eau usée destinée à l'irrigation sont donnés dans le Tableau

Tableau IV.2 : Les paramètres utilisés pour l'évaluation des eaux usées en agriculture

Paramètres	Symboles	Unité
<b>Physique</b>		
Total des solides dissous	TDS	mg/l
Conductivité électrique	Ec <sub>w</sub>	dS/m
Température	T	°C
Couleur/Turbidité		NTU/JTU
Dureté	TH	mg equiv. CaCO <sub>3</sub> /l
Sédiments		g/l
<b>Chimique</b>		
Acidité/Alcalinité	pH	
<b>Type et concentration des anions et cations:</b>		
Calcium	Ca <sup>++</sup>	me/l
Magnésium	Mg <sup>++</sup>	me/l
Sodium	Na <sup>+</sup>	me/l
Carbonate	CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	me/l
Bicarbonate	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	me/l
Chloride	Cl <sup>-</sup>	me/l
Sulfate	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	me/l
Sodium adsorption ratio	SAR	
Bore	B	mg/l
<b>Éléments traces</b>		mg/l
Métaux lourds		mg/l
Nitrate-Nitrogen	NO <sub>3</sub> -N	mg/l
Phosphate Phosphore	PO <sub>4</sub> -P	mg/l
Potassium I	K	mg/

### IV.3.1 Salinité

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles [10].

La salinité d'une eau correspond à sa concentration en sels dissous dans leur ensemble. Les principaux sels responsables de la salinité sont les sels de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), de sodium ( $\text{Na}^+$ ), de potassium ( $\text{K}^+$ ), les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimées en mg/L ou, plus couramment, par la conductivité électrique. La conductivité électrique est exprimée en millisiemens/centimètre (mS/cm).

on considère deux catégories de conséquences d'une salinité excessive de l'eau d'irrigation :

Les dommages vis-à-vis des sols et donc, indirectement, vis-à-vis des rendements culturaux, les dommages causés aux cultures. [10]

#### IV.3.1.1 Salinisation

La salinisation est l'accumulation de sels hydrosolubles dans le sol. Les sels se dissolvent et se déplacent avec l'eau. Quand l'eau s'évapore, les sels restent. Les plantes prélèvent l'eau du sol en y abandonnant une large part des sels apportés par l'eau d'arrosage ce qui conduit à augmenter la salinité de l'eau du sol. Les conséquences de l'évaporation sont les mêmes. La pression osmotique de l'eau du sol augmentant avec sa concentration en sels dissous, la plante consacre alors l'essentiel de son énergie non pas à se développer, mais à ajuster la concentration en sels de son tissu végétal de manière à pouvoir extraire du sol l'eau qui lui est nécessaire. La qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité évaluée par leur conductivité électrique est dans le tableau [11]

Tableau IV.3 : Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation

Qualité de l'eau	Conductivité de l'eau ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Sels solubles correspondants estimés en NaCl (mg/l)
I. Excellente	<250	< 160
II. Faible salinité	250 - 750	160 - 500
III. Forte salinité	750 – 2250	500 – 1500
IV. Très forte salinité	2250 – 5000	1500 – 3600



En dessous de 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , il n'y a pratiquement pas de culture dont le rendement soit affecté par la salinité ; entre 800 et 5 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , le maintien des rendements est encore possible avec des pratiques culturales adéquates. Quand une tendance à l'enrichissement en sels de la solution du sol menace les rendements culturaux, elle doit être compensée par des irrigations supérieures aux besoins en eau de la culture pour entraîner la solution du sol excessivement enrichie en ions en dessous de la zone racinaire. Si la perméabilité du sol n'est pas suffisante, un drainage doit être prévu. Le choix du mode d'irrigation doit aussi tenir compte de la salinité de l'eau d'arrosage. L'irrigation à la raie est déconseillée, par contre, l'irrigation par submersion ou l'irrigation localisée donnent de bons résultats [12].

#### IV.3.1.2 Sodisation :

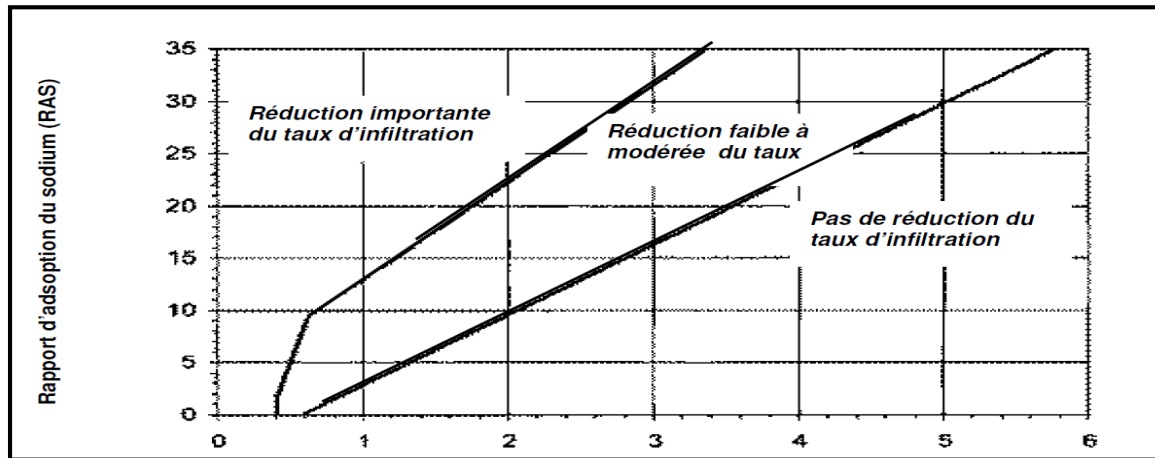
Une grande quantité d'ions sodium  $\text{Na}^+$  dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Le phénomène d'accumulation de sodium dans les sols s'appelle la sodisation. Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace les ions calcium et magnésium adsorbés sur les argiles de sol et cause la dispersion des particules dans le sol. Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure. Ce problème est également relié à plusieurs facteurs tels que le taux de salinité et le type de sol. Par exemple, les sols sableux ne subiront que peu de dommage en comparaison aux plus lourds quand ils sont irrigués avec de l'eau à haut Rapport d'Adsorption du Sodium (RAS ou SAR en anglais). Pour mieux cerner l'importance et l'impact de cette variable, un graphique pertinent présentant l'évolution du taux d'infiltration en fonction de la salinité de l'eau employée et du RAS Le tableau IV.4 reprend les mêmes éléments.[12]

Tableau IV.4 : Influence de la salinité et du RAS sur le taux d'infiltration

	RAS					Influence sur le taux d'infiltration
	0-3	3-6	6-12	12-20	20-40	
Salinité de l'eau (mS/cm)	> 0,7	> 1,2	> 1,9	> 2,9	> 5	Nulle
	0,7	1,2	1,9	2,9	5	Faible
	0,2	0,3	0,5	1,3	2,9	Modérée
	< 0,2	<0,3	< 0,5	< 1,3	< 2,9	Sévère

[12]

D'après le tableau III.4 ou la figure III.3, pour une eau faiblement salée (faible conductivité) et un RAS faible, l'influence sur le taux d'infiltration peut être sévère et conduire à une réduction significative



Evolution du taux d'infiltration en fonction de salinité de l'eau et du RAS

Les problèmes pour les récoltes, provoqués par un excès de  $\text{Na}^+$ , sont la formation de lit de croûte de graines, une saturation temporaire à la surface du sol, un pH élevé et une possibilité accrue de présence de maladies, des herbes, d'érosion des sols, de manque d'oxygène et de disponibilité nutritive insatisfaisante. L'eau recyclée peut être une source d'excès en Na dans le sol par rapport à d'autres cations (calcium, potassium, magnésium) et doit donc faire l'objet de contrôles [12]

#### IV.3.1.3 Alcalinité et dureté

L'alcalinité est une mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides, c'est un peu comme le «pouvoir tampon de l'eau». En d'autres termes, l'alcalinité mesure la résistance à tout changement de pH. Le pouvoir neutralisant de l'eau est attribué principalement à la présence de bicarbonates de calcium et de magnésium dissous dans l'eau (également dans une moindre mesure, des hydroxydes, des bases organiques, des borates, des ions ammoniums, phosphates et silicates) [13]

Une eau riche en calcium et en magnésium possède généralement des quantités équivalentes de bicarbonates ou de carbonates, lesquelles lui confèrent une alcalinité élevée. Les bicarbonates de calcium et de magnésium sont relativement peu solubles dans l'eau (Couture I, 2006).



Bicarbonate de calcium (peu soluble) = carbonate de calcium (chaux) + dioxyde de carbone + eau, Et d'après (Couture I, 2006), il est très important de « casser » cette alcalinité qui empêche le calcium et le magnésium d'être disponibles à la plante, par ajout d'acide pour abaisser le pH et libérer du fait même le calcium et le magnésium qui, sinon, restent emprisonnés par le carbonate. Tant que l'acide n'a pas maîtrisé les ions responsables de l'alcalinité, le pH ne bouge pratiquement pas. Une fois le processus d'acidification enclenché, la réaction produit alors de l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ), du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) qui est libéré dans l'air ainsi que le cation accompagnateur (soit le calcium ou le magnésium).



Bicarbonate de calcium (peu soluble) + (acide) = cation accompagnateur + dioxyde de carbone + eau

Si on ne le fait pas, en séchant, tous les carbonates se transforment automatiquement en chaux calcique et dolomitique...Ce qui laisse des dépôts calcaires qui peuvent colmater les systèmes d'aspersion ou de goutte à goutte ou encore, des traces blanchâtres sur les feuilles si vous arrosez par aspersion .

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

En général, une eau dure n'est pas souhaitable pour l'usage domestique car elle réduit de beaucoup l'efficacité des savons. Par contre, en agriculture, une eau dure aide le sol à conserver une bonne structure par les ponts calciques [14].

L'alcalinité, tout comme la dureté de l'eau, est généralement exprimée en ppm (mg/L) de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>). Il arrive toutefois que la dureté de l'eau soit élevée sans pour autant que son alcalinité le soit. C'est le cas lorsque le calcium et le magnésium de l'eau sont sous forme de sulfates et de chlorures [14].

Tableau IV.5 : Degré relatif de dureté de l'eau selon la quantité de carbonate de calcium

Dureté (ppm CaCO <sub>3</sub> )	Degré relatif de dureté
0-50	Très douce
50-100	Douce
100-200	Modérément douce
200-300	Dure
300 et plus	Très dure

[14]

### IV.3.2 Les fertilisants dans les eaux usées traitées

Si la concentration élevée en éléments fertilisants augmente la valeur des eaux usées, il n'en est pas moins vrai que les éléments nutritifs peuvent constituer un facteur limitant dans le cas d'un apport excessif lié à une concentration élevée et/ou un apport d'eau usée élevée.

Les eaux usées urbaines contiennent beaucoup de macronutriments (N, P, K, Ca, Mg) et micronutriment (Fe,Ze,Cu,Mn...) sous forme soluble, directement disponibles pour les plantes.

L'apport des nutriments des eaux usées à chaque irrigation, représente une sorte de fertigation. La fertigation est l'application combinée des fertilisants et de l'eau via le réseau d'irrigation. Cette technique est économiquement intéressante car elle réduit le coût de la fertilisation. Par contre l'application soutenue de nutriments par l'irrigation avec les eaux usées peut entraîner un déséquilibre nutritionnel dans le cas de certaines plantes sensibles à un excès d'éléments fertilisants [15].

D'une façon générale, un volume d'eau usée traitée et réutilisée de 1000 m<sup>3</sup>, soit un apport d'une lame d'eau résiduaire de 100 mm à l'hectare, peut apporter :

- ✓ de 16 à 62 kg d'azote ;
- ✓ de 2 à 69 kg de potassium ;
- ✓ de 4 à 24 kg de phosphore ;
- ✓ de 18 à 208 kg de calcium ;
- ✓ de 9 à 100 kg de magnésium ;
- ✓ et de 27 à 182 kg de sodium.

#### IV.3.2.1 Azote (N)

L'azote joue un rôle primordial dans le métabolisme des plantes. En effet, c'est le constituant numéro un des protéines qui sont les composés fondamentaux de la matière vivante. L'excès de N, par temps couvert et froid, entraîne l'accumulation des nitrates dans la plante. L'excès des nitrates dans le tissu végétal est néfaste pour la santé du consommateur (cas des légumes foliacés: laitue, céleri, épinards...) .

La teneur en azote dans les eaux usées peut varier de 20 à plus de 100 mg/l, selon les usages et le traitement de l'effluent de ces eaux [15].

L'usage d'eaux usées en irrigation peut faire craindre un excès d'apports azotés. Cet excès se réfère d'une part aux tolérances de la végétation cultivée et, d'autre part, aux risques de pollution des nappes phréatiques sous-jacentes [14].

L'azote en quantité excessive peut, dans des mesures qu'il ne faut pas exagérer, perturber certaines productions, retarder la maturation de certaines cultures, abricots, agrumes, avocats, vigne par exemple, altérer leur qualité, comme par exemple réduire la teneur en sucre des fruits ou des betteraves, accentuer la sensibilité des cultures aux maladies, la tendance à la verse pour les céréales, limiter le développement des jeunes racines [14].

Certaines cultures sont très efficaces pour consommer l'azote et empêcher son accumulation dans le sol et sa migration, sous forme nitrique, vers les eaux souterraines. Ce sont généralement des cultures à coupes multiples et à enracinement profond. Dans les cas où trop peu d'azote est présent dans les effluents, un apport supplémentaire est nécessaire pour atteindre le rendement optimum [16].

### IV.3.2.2 Phosphore (P)

Le phosphore comme l'azote est un nutriment essentiel à toutes plantes. La teneur en phosphore dans l'effluent d'une installation de traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l (15 à 35 mg/l  $P_2O_5$ ). Cette teneur en phosphore dans les eaux usées recyclées ne sera peut-être pas suffisante en début de croissance pour assurer un rendement satisfaisant. La capacité d'absorption du phosphore dans le sol dépend de sa concentration en solution. Un excès de phosphore dans l'eau d'irrigation ne pose pas de problème. Il n'existe pas de valeur indicative pour estimer la valeur du phosphore en excès.

Pour l'établissement d'un programme de fertilisation, l'évaluation du phosphore dans les eaux usées à recycler doit être réalisée en conjonction avec l'analyse des terres. [17]

### IV.3.2.3 Potassium (K)

C'est un macronutriment essentiel pour les plantes et il joue un rôle positif dans la fertilité du sol, le rendement et la qualité des cultures. La quantité de potassium dans les effluents de traitement secondaire varie entre 10 et 30 mg/l de K (12 à 36 mg/l  $K_2O$ ). Cette concentration doit être prise en compte pour l'établissement d'un programme de fertilisation des cultures.

Logiquement, les concentrations de N, P et K dans les eaux épurées dépendent de l'origine des eaux brutes et du procédé de traitement. En première approximation, on peut admettre que tout l'azote et une grande partie du phosphore et du potassium normalement requis pour la production agricole sont apportés par l'effluent [17].

### IV.3.2.4 Autres nutriments

La plupart des effluents contiennent suffisamment de soufre, zinc, cuivre et d'autres micronutriments pour corriger les déficiences du sol au bout de trois ans d'irrigation. Par ailleurs, pour éviter les effets toxiques sur les plantes, les valeurs maximales des micronutriments ne devraient pas dépasser certaines valeurs recommandées [18]

### IV.3.3 Eléments traces et métaux lourds

Les eaux usées d'origine urbaine peuvent contenir dans certains cas des éléments toxiques minéraux (notamment des métaux lourds) et organiques même en l'absence de rejets industriels lesquels doivent, selon leur nature, faire l'objet d'un traitement spécifique ou d'un prétraitement avant introduction dans le réseau. Lorsque l'activité industrielle lourde est faible, la présence de métaux lourds et d'éléments traces ne devraient pas être considérés comme un problème extrême ou sérieux. Les éléments présents dans l'effluent brut sont retenus en grande partie dans les boues, sous-produit de l'épuration. Lorsqu'elles sont d'origine urbaine, les concentrations en éléments traces des eaux usées traitées sont, en général, inférieures aux teneurs maximales proposées pour l'irrigation des cultures [19].

#### IV.3.4 Le pH de l'eau d'irrigation

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogènes de la solution ( $H^+$ ). Il est représenté par une expression logarithmique, Plus la concentration en ions hydrogènes est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide.

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des microéléments est optimale [20].

#### IV.3.5 Matières en suspension et matière organique

Les matières en suspension (MES) sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Les particules en suspension, plus lourdes que l'eau, sont éliminées par décantation. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire face aux risques sanitaires. Une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que le bouchage des systèmes d'irrigation. [14]

La présence de matière organique dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols. Cependant, l'expérience montre que le maintien d'une concentration importante en matière organique dans les eaux usées gêne considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes. Enfin, les concentrations significatives

En matière organique peuvent aussi entraîner des odeurs désagréables, notamment si les eaux stagnent à la surface du sol.

#### IV.3.6 Qualité microbiologique des eaux usées pour l'irrigation

Vu le risque sanitaire, cité dans le paragraphe (IV.2.2.1) engendré par l'existence des microorganismes dans l'eau usée épurée destinée à l'irrigation, la qualité de cette eau doit répondre à certaines normes et respecter les directives élaborées pour la réutilisation en agriculture et qui seront détaillées au paragraphe (IV.4.3).

La réduction des microorganismes pathogènes a été un objectif secondaire dans les traitements classiques des eaux usées visant la protection de la qualité des sources d'eau potable utilisée par les communautés en aval. Cependant, les systèmes de traitements classiques des eaux usées, quand ils existent, ne sont pas particulièrement efficaces pour l'élimination des agents pathogènes. [21]

Alors que lors des traitements, l'élimination des micro-organismes pathogènes a lieu selon trois mécanismes :

- la décantation des MES (sachant qu'une majorité des micro-organismes s'y trouve) ;
- la compétition avec les microorganismes non pathogènes (pour les traitements biologiques) ;

- l'action physico-chimique des procédés de désinfection et des facteurs naturels (lumière, température).

En ce qui concerne les analyses de la qualité microbiologique des E.U.T., plusieurs travaux de recherche ont été consultés. Ainsi, les rendements bactériologiques épuratoires variant entre 78,4 et 88% pour les coliformes fécaux et de 87,7 à 99,4% pour les streptocoques fécaux. Il en reste une certaine quantité qui se retrouve ainsi dans les EUT avec lesquelles est réalisée l'irrigation [22].

Tableau IV.6 : Taux d'élimination des pathogènes en fonction du procédé d'épuration.

Procédé de traitement	Taux d'élimination (log)	
	Bactéries	Helminthes
Décantation primaire	0-1	0-2
Boues activées	0-2	0-2
Désinfection (chloration)	2-6	0-1
Stockage des effluents	1-6	1-3
Bassins de stabilisation (temps de séjour=20j)	1-6	Quasi-totale

#### IV.4 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.

##### *Quelques chiffres* [20] :

- ✓ Surface Agricole Utile (SAU) : 8,5 millions ha soit 3,3 % de la de la superficie géographique.
- ✓ Potentiel de croissance à moyen terme : 01 million d'hectares.
- ✓ Superficie Irriguée (2006) : 900.000 ha soit 10,5 % de la SAU.

- **irriguées principalement à partir des eaux souterraines soit 78%.**
  - 674.000 ha irrigués à partir de :
    - 42.400 forages,
    - 132.000 puits,
    - 5.300 sources,
- **Eaux superficielles (13%):**
  - 109.000 ha irrigués à partir de :
    - 59 barrages totalisant une capacité de 44 hm<sup>3</sup>,
    - 318 retenues collinaires totalisant une capacité de 33,4 hm<sup>3</sup>,
    - 9.500 prises au fil d'eau,
    - 77.000 ha irrigués à partir de 1.120 points d'eau (Épandages de crues, foggaras, etc. ...)
  - Irrigation avec les eaux épurées :**
    - ✓ Superficie irriguée en 2006: 410 ha.
    - ✓ Superficie en projet: 12.000 ha.
    - ✓ Superficie à irriguer à terme: 60.000 ha

#### IV.4.1 Situation des stations d'épurations :

Au cours de ces dernières années, le Ministère des Ressources en Eau a entrepris la mise en œuvre d'un important programme d'investissement concernant la réalisation et la réhabilitation de STEP.

Les STEP conçues, répondent aux critères imposés par le Ministère des Ressources en Eau et qui consistent à :

- Protéger les eaux des retenues existantes contre la pollution et l'eutrophisation
- Protéger le littoral et les zones de baignades.  **Eaux usées produites**
  - volume annuel : 730 hm<sup>3</sup>/an
  - volume annuel à l'horizon 2020: 01 milliard de m<sup>3</sup>/an.



□ **Eaux usées épurées**

- Capacité installée actuelle : 270 hm<sup>3</sup>.
- Volume actuel épuré : 150 hm<sup>3</sup>.
- Capacité installée à l'horizon 2020: 972 hm<sup>3</sup>
- Capacité installée à l'horizon 2030 :1.271 hm<sup>3</sup>

➤ **STEP à boues activées**

Cent une (101) STEP seront en service avant 2010. Les capacités installées pour le traitement des eaux usées varient de 200 m<sup>3</sup>/j pour l'agglomération de H'Nancha (Souk Ahras) à 750 000 m<sup>3</sup>/j pour la STEP de Baraki (Alger) [20].

➤ **Lagunage**

Quatre-vingt-treize (93) STEP de type lagunage dont 20 de type aéré seront en service avant 2010. Les capacités installées varient de 320 m<sup>3</sup>/j pour l'agglomération de l'Émir Abdel Kader (Ain Temouchent) à 42 000 m<sup>3</sup>/j pour la STEP de Ouargla.

**IV.4.2 Perspectives de réutilisation des EUE en agriculture :**

**Travaux :** Quatre projets totalisant une superficie une superficie de 3.000 ha

- Périmètre de Hennaya à partir de la STEP de Tlemcen (wilaya de Tlemcen) sur une superficie de 912 ha.
- Périmètre de Dahmouni (wilaya de Tiaret) sur une superficie 1.214 ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la ville de Bordj Bou Arreridj sur une superficie de 350 ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de Hamma Bouziane à Constantine sur une superficie de 327 ha [20].

**Étude :** Trois projets totalisant une superficie de 9.000 ha.

- Périmètre d'irrigation de M'leta à partir de la STEP d'Oran sur une superficie de 8.100. ha.
- Aire d'irrigation à l'aval de la STEP de la ville de Médéa a sur une superficie de 255ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la vallée d'oued Saida sur une superficie 330 ha [20].

**Cadre réglementaire d'usage des eaux usées épurées :**

La loi n° 05 - 12 du 04 août 2005, relative à l'eau, a institué, à travers ses articles 76 et 78, la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (JO n°60 - année 2005).

Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 fixe que le concessionnaire (personne physique ou morale) qui se propose de distribuer, à des usagers, des eaux usées épurées à des fins d'irrigation) et les différents intervenants (direction de wilaya de l'hydraulique, de la santé, de l'agriculture et du commerce) sont tenus de procéder à un contrôle régulier de la qualité des eaux distribuées afin de s'assurer en permanence, que la qualité de eaux épurées est conforme aux normes fixées par la réglementation en vigueur ( normes Organisation Mondial de la Santé (OMS) et Organisation de l'Alimentation FAO ).

**Tableau IV.7 : Perspectives de traitement et de réutilisation des EE en irrigation.**

	2010	2015	2020	2025	2030
Volume d'eau usée intercepté (hm <sup>3</sup> /an)	501	708	972	1208	1271
Volume d'eau usée épurée (hm <sup>3</sup> /an)	257	399	561	705	762
Surface à irriguer par les EUE sans stockage (ha)	21,773	34,485	48,279	59,876	64,431
Surface à irriguer par les EUE avec de stockage (ha)	36,288	57,476	80,466	99,794	107,385

Source: [MRE]

## IV.4.3 Normes actuellement en usage :

## □ Normes et critères OMS et FAO

Les paramètres minimaux de qualité bactériologique des EE à la sortie de la STEP permettant d'assurer la protection sanitaire des agriculteurs et des consommateurs, sont ceux de l'OMS (1989, 2000 et 2006). Les paramètres de qualité physico-chimique des EE admissibles pour un usage agricole adéquat sont ceux de la FAO (1985).

Tableau IV.8 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées.

Paramètres	Unité	Normes	
		FAO * (1985)	OMS ** (1989)
<b>pH</b>		6,5-8,4 *	
Turbidité	NTU	/	
CE	dS/m	<0,7 * Aucune restriction 0,7 – 3,0 * restriction légère à modérée >3.0 * Forte restriction	
MES	mg/l	< 70**	
DCO	mg O <sub>2</sub> /l	< 40 **	
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> / l	<10 **	
NO <sup>3-</sup>	mg/l	50 **	
NO <sup>2-</sup>	mg/l	< 1 **	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	< 2 **	
PO <sub>4</sub> -3	mg/l	< 0,94 **	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	500 *	
Cl <sup>-</sup>	mg/l	1065 *	
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	400*	
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	60,75 *	
K <sup>+</sup>	mg/l	50 *	
Na <sup>+</sup>	mg/l	920 *	
Chlore résiduel	mg/l	/	
SAR	meq/l	- <3* Aucune restriction - 3-9* restriction légère à modérée - >9* Forte restriction	
Coliformes totaux	UFC/100ml	/	
Streptocoque fécaux	UFC/100ml	1000**	
Salmonelles	UFC/ 1L	Absence **	

Source: [MRE]

**Tableau IV.9 : Les normes microbiologiques révisées de l'OMS (2000 et 2006) pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture.**

Catégories	Condition de réutilisation	Groupes exposés	Nématodes intestinaux	Coliformes fécaux	Traitement recommandés pour atteindre le niveau de qualité microbiologique
A	Irrigation sans restriction A1 pour les cultures maraichères consommées crues, les terrains de sports, les parcs publics.	Travailleurs, consommateurs, publics.	$\leq 0,1$	$\leq 10$	Série de bassin de stabilisation bien conçus, réservoir de stockage et de traitement équivalent (ex. traitement secondaire conventionnel suivi soit d'un lagunage tertiaire. Soit d'une filtration et d'une désinfection)
B	Irrigation restreinte. Céréales, cultures industrielles, Fourragères, pâturage et forêt <sup>f</sup>	B1 : Travailleurs (mais pas les enfants < 15 ans), population alentour	$\leq 1$	$\leq 10^5$	Série de bassin de rétention dont un bassin de maturation ou un bassin séquentiel ou un traitement équivalent (ex. traitement secondaire conventionnel suivi soit par des lagunages tertiaires, soit une filtration)
		B2 : comme B1	$\leq 1$	$\leq 10^3$	Comme pour la catégorie A
		B3 travailleurs dont les enfants < 15 ans. Population alentour	$\leq 0,1$	$\leq 10^3$	Comme pour la catégorie A
C	Irrigation localisée sur des cultures de la catégorie B s'il n'y a pas d'exposition des travailleurs ou du public	Aucun	Pas de norme.	Pas de norme.	Prés traitement nécessaire pour des raisons techniques liées à l'irrigation, mais pas moins qu'une sédimentation primaire

Source: [MRE]

# **Chapitre V**

## Indicateurs De Performance

## Introduction :

Pour pouvoir faire un diagnostic global et efficace concernant le fonctionnement d'une station d'épuration des eaux usées, afin de détecter des anomalies ou des dysfonctionnements, des ratios sont mis en place. Ces ratios nous donnent des informations sur la nature de la pollution engendrée par les eaux usées à l'entrée de la station ou pour les eaux épurées à la sortie de la station. Ces informations aident à adopter en premier lieu dans la phase d'étude et de dimensionnement, le mode d'épuration le bien approprié afin d'éliminer le maximum de polluants ou bien nous aide à faire une réhabilitation si il y a un dysfonctionnement au niveau de la station.

### V.1 Intérêts des indicateurs de performances :

Les indicateurs de performance sont des rapports d'un paramètre ou plusieurs paramètres, permettant d'évaluer la performance d'un processus, la qualité d'un service etc.

Regroupés par critères de synthèse, ils sont destinés à aider les responsables à réaliser le suivi et le diagnostic du processus étudié.

Dans notre étude les indicateurs de performances auront les rôles suivant :

- **Un outil d'évaluation**

Ces ratios nous permettent d'en suivre les évolutions et de préciser des objectifs à atteindre : si ceux-ci ne le sont pas, l'analyse des résultats permet de comprendre pourquoi et d'y remédier.

- **Un outil d'incitation à l'amélioration**

Ces ratios permettent de suivre les évolutions services de l'eau et de les comparer avec celles des autres collectivités. Ils constituent en cela des outils d'incitation à l'amélioration des STEP.

Les indicateurs de performance sont donc des paramètres qui permettent d'une part de suivre de manière détaillée dans le temps les différents résultats de la station d'épuration, d'autre part, une vision globale de son fonctionnement apportant aux responsables de services des éléments simples de comparaison.

### V.2 Indicateurs de performance (Ratios de diagnostic) :

#### V.2.1 Rapport DCO/DBO<sub>5</sub> [20]

Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> a une importance pour la définition de la chaîne d'épuration. Il permet d'évaluer la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent donné. En effet, une valeur faible du rapport DCO/DBO<sub>5</sub> implique la présence d'une grande proportion de matières biodégradables ce qui permet d'envisager un traitement biologique. Inversement, une valeur importante de ce rapport indique qu'une grande partie de la matière organique n'est pas biodégradable et, dans ce cas, il est préférable d'envisager un traitement physico-chimique.

- DCO/DBO<sub>5</sub> < 3 effluent facilement biodégradable
- 3 < DCO/DBO<sub>5</sub> < 5 effluent moyennement biodégradable
- DCO/DBO<sub>5</sub> > 5 effluent difficilement biodégradable, voire non biodégradable. (RODIER, *Analyse de l'eau*).

### V.2.2 Rapport MES/DBO<sub>5</sub>

Le rapport MES/DBO<sub>5</sub> indique la répartition de la pollution particulaire représentée par la MES et de la pollution dissoute représentée par la(DBO<sub>5</sub>).

Les valeurs de ce ratio varient en fonction du phénomène de sédimentation-érosion au sein du réseau ainsi qu'au lessivage du sol (d'après CHEBBO 1992), des valeurs importantes pour ce rapport sont observées suite à des événements pluvieux importants, en effet plusieurs études montrent que le flux de MES rejeté par temps de pluie dans les milieux récepteurs proviennent majoritairement de la remise en suspension des dépôts accumulés (dépôts et biofilms) dans le collecteur.

### V.2.3 Rapport MVS/MES [22]

Ce rapport représente la proportion de la matière volatile en suspension par rapport à la matière en suspension, Ce facteur aura une incidence importante sur :

- ✓ La production de boues biologiques en excès,
- ✓ La qualité mécanique des boues activées
- ✓ Le taux de MVS dans le réacteur biologique
- ✓ Le dimensionnement du réacteur biologique tant pour le traitement de la pollution carbonée que pour la nitrification et la dénitrification simultanée (dans le même bassin)
- ✓ Le dimensionnement du clarificateur
- ✓ Le dimensionnement de la filière boues (directement par l'influence sur la production de boues).

### V.2.4 Rapport DCO/P<sub>T</sub> et DBO<sub>5</sub>/P<sub>T</sub>

Le rapport DCO/P<sub>T</sub> indiquera la mixité relative de l'effluent ainsi que les possibilités et la faisabilité d'un traitement biologique du phosphore.

En effet la composition de l'eau usée influence de manière prépondérante l'efficacité du processus de déphosphatation biologique. Cette influence est pratiquement aussi importante que la présence ou l'absence d'oxygène dans le milieu. L'acétate et le propionate sont les substrats de choix pour une élimination maximale de phosphore. [23]

### V.2.5 Rapport NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NTK

Le rapport NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NTK caractéristique de la pollution azotée apportée par l'effluent. Il indique le degré d'ammonification durant le transfert de l'effluent dans le réseau Plus la valeur de ce ratio est élevée, plus l'azote organique est transformé en azote ammoniacal soluble (ammonification importante) donc une grande partie de la pollution azotée se trouve sous forme d'ions ammoniumNH<sub>4</sub><sup>+</sup>. [24]

### V.2.6 Rapport DBO<sub>5</sub>/ NTK

Ce rapport est lié à la cinétique de dénitrification, une valeur faible de ce ratio désigne l'efficacité du procédé d'élimination de l'azote organique, induisant une nitrification importante. La majorité de l'azote organique sera donc transformée en nitrates sous l'action des bactéries nitrifiantes, la quantité de nitrates ainsi disponibles influence la cinétique de dénitrification. [24]

### V.2.7 Rapport DCO/NTK

Le rapport DCO/NTK influence la cinétique de nitrification et donc le degré d'abattement de l'azote global. Plus ce rapport est faible, plus la vitesse de nitrification est élevée. [24]

### V.2.8 Rapport DBO<sub>5</sub> / N à dénitrifier

Ce rapport indiquera la cinétique de la réaction de dénitrification, plus ce rapport diminue, plus le processus de dénitrification est ralenti.

En effet, la dénitrification est d'autant plus rapide que la quantité de carbone disponible est importante et que ce carbone est rapidement biodégradable. La vitesse de dénitrification est une fonction croissante de la pression de carbone exercée sur la biomasse, donc de la charge appliquée. [24]

### V.2.9 Production des boues primaires / production des boues primaires théoriques

Ce rapport indiquera l'efficacité de la décantation physique des boues au niveau du décanteur primaire, plus le rapport est petit moins la décantation est bonne, ce qui est dû à la fermentation des boues, On constate des remontées de boue noirâtres et malodorantes en surface du décanteur primaire, la flottation de ces boues s'explique par la présence de microbulles internes qui diminuent la densité apparente des boues. Ces bulles sont la résultante d'une activité de fermentation anaérobie au sein de la boue. [24]

### V.2.10 Rapport MS (extraites)/DCO

Ce ratio indique le taux d'extraction des boues :  
Les variations de ce rapport sont dues un problème au niveau du poste de déshydratation des boues : si une panne se produit avec l'une des centrifugeuses, la quantité de MS extraite sera plus faible et le ratio plus petit. [25]



### V.2.11 Rapport Polymère /MS (déshydratées)

Ce ratio permet de vérifier l'efficacité de l'injection du polymère. Les quantités de polymère englobent également la quantité de polymère utilisée pour le graissage des canalisations (pompes gaineuse), et la quantité réellement utilisée pour la déshydratation des boues.

Un problème au niveau des centrifugeuses ou des pompes d'injection du polymère peut être une cause de variation de ce ratio. [25]

Le tableau suivant donne quelques indicateurs de performances, la limite de variation pour un effluent urbain ainsi que la signification et l'intérêt du ratio. [25]

**Tableau V.1** - Quelques ratios : limites de variation et signification

Ratio	Effluent urbain strict	Signification
DCO / DBO <sub>5</sub>	2,2 -2,4	Evaluation de la biodégradabilité de la matière organique : <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ DCO/DBO<sub>5</sub> &lt; 2 : facilement biodégradable</li> <li>◆ 2 &lt; DCO/DBO<sub>5</sub> &lt; 3 : biodégradable (a dominante domestique)</li> <li>◆ DCO/DBO<sub>5</sub> &gt; 3 : non biodégradable</li> </ul>
DBO <sub>5</sub> / N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /P-PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (C/N/P)	(100/5/1)	Exprime l'équilibre nutritionnel
MES/DBO <sub>5</sub>	0,69 et 2,93	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Indiquera la nature de la pollution</li> <li>◆ Influencera la production de boues.</li> </ul>
MVS/MES	0,65 – 0,75	ce ratio indiquera l'organicité de l'effluent et les possibilités de son traitement.
DCO/PT	44-50	DCO/PT > 40 à 45 indique une bonne aptitude au traitement biologique du phosphore.
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NTK	0,6 – 0,8	Indiquera le degré d'ammonification durant le transfert de l'effluent dans le réseau
		◆ Indiquera la mixité de l'effluent

<b>DBO<sub>5</sub>/NTK</b>	4-5	♦ Influencera le taux d'abattement de l'azote.
<b>NTK/DBO<sub>5</sub></b>	/	<p>Estimation de la cinétique de dénitrification :</p> <p>♦ <b>NTK/DBO<sub>5</sub> &gt; 0.5 :</b> k=1.7 mg N-NO<sub>3</sub>/g MVS. h</p> <p>♦ <b>NTK/DBO<sub>5</sub> &lt; 0.5 :</b> k=2.1 mg N-NO<sub>3</sub>/g MVS. h</p> <p>♦ <b>NTK/DBO<sub>5</sub> &lt; 0.4 :</b> k=2.4 mg N-NO<sub>3</sub>/g MVS. h</p> <p>♦ <b>NTK/DBO<sub>5</sub> &lt; 0.3 :</b> k=2.7 mg N-NO<sub>3</sub>/g MVS. h</p> <p>♦ <b>NTK/DBO<sub>5</sub> &lt; 0.2 :</b> k=3 mg N-NO<sub>3</sub>/g MVS. h</p>
<b>DBO<sub>5</sub>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	/	<p>Indiquera les possibilités et la faisabilité de la réaction de dénitrification.</p> <p>♦ DBO<sub>5</sub>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> &gt; 2 bonne dénitrification (technique de l'ingénieur, épuration de l'eau)</p>
<b>Production des boues primaires /production des boues primaires théoriques</b>	0,8	Efficacité de la décantation physique dans le décanteur primaire
<b>MS/DCO (éliminée)</b>	/	Indiquera le taux d'extraction des boues biologiques.
<b>Polymère/MS (extraites)</b>	/	<p>Permet de vérifier l'efficacité de l'injection du polymère.</p> <p>♦ Boues primaire : Polymère /MS = [3-5]</p> <p>♦ Boues mixtes Polymère /MS = [6-8]</p>

		♦ Boues biologiques : Polymère /MS = [8-12]
<b>Energie consommée sur DBO<sub>5</sub> ou DCO</b>	/	Optimisation de la consommation énergétique

### V.3 Conclusion :

Les indicateurs de performance sont des éléments pertinents de comparaison, simples à mettre en place et sans dépense supplémentaire, pour mieux suivre le fonctionnement de la station d'épuration et afin de détecter les anomalies lorsqu'ils sont produits. Grâce à ces ratios on peut donner des solutions aux différents dysfonctionnements anomalies qui doivent mener à l'optimisation du traitement d'eaux usées au niveau de la station d'épuration dans un contexte de développement durable.

# **Chapitre VI**

## Résultats et interprétations

**INTRODUCTION :**

Le but du traitement des eaux usées est d'obtenir une eau conforme aux normes de façon à ce que leur rejet ne crée aucune nuisance vis-à-vis de la faune et 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 au calcul de la moyenne mensuelle de chaque paramètre avec une représentation graphique.

**Tableau VI.1 : volumes d'eau brute et épurée de la station d'épuration de Boumerdes**

mois	Volume brute (m3)	Volume épurée (m3)
juin-16	594478,5	566169,9
juil-16	552468,05	526159,9
août-16	557747,35	531188,1
sept-16	511927,5	451550,1
oct-16	529231,38	473029,93
nov-16	445714,5	394490,1
déc-16	307817,91	252859,87
janv-17	97958,76	62293,88
févr-17	140080,64	105409,92
mars-17	217738,42	176369,85
avr-17	605083,5	546270

### VI.1 Les débits entrants et sortants :

les débits des eaux usées brutes et épurées de la station de Boumerdes durant les mois de juin 2016 à avril 2017 ont permis d'établir la figure suivante :

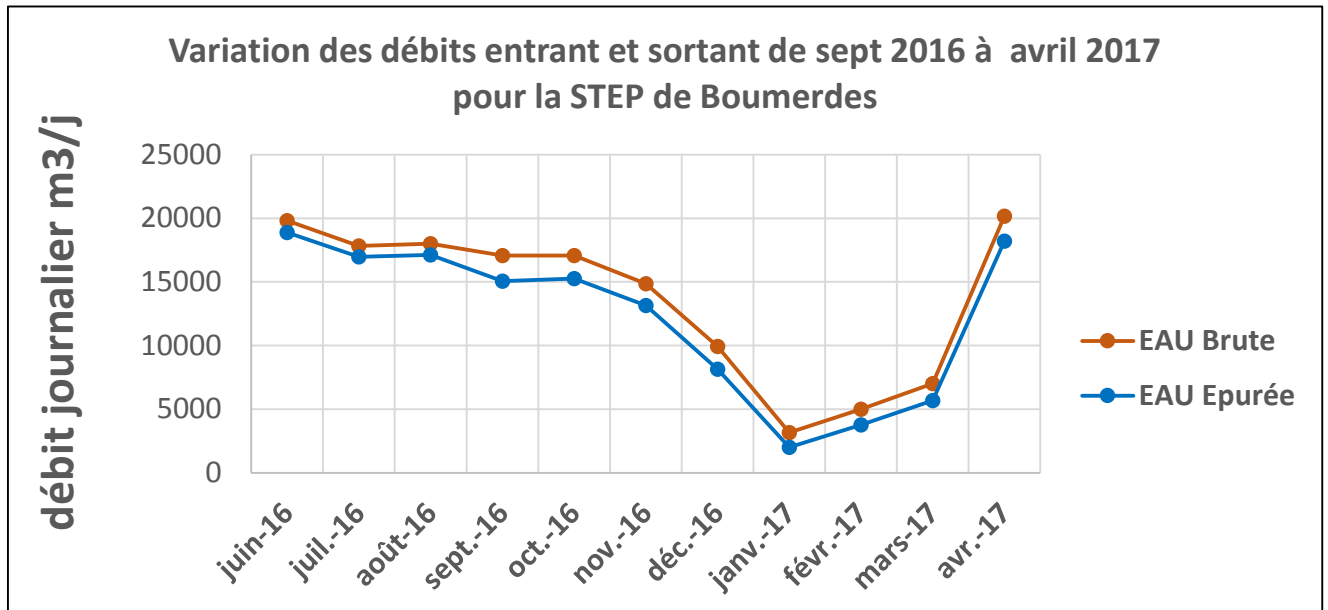


Figure VI.1 : représentation graphique de la Variation des débits entrant et sortant de juin 2016 à avril 2017 pour la STEP de Boumerdes.

Les débits sont extrêmement variables, allant de 2009,48 m<sup>3</sup>/j mesuré en janvier 2017 à 20169,45 m<sup>3</sup>/j mesuré en avril 2017, le faible débit mesuré en janvier 2017 c'est à cause d'une rupture au niveau de la SR3 donc la station elle reçoit juste les eaux usées de la ville de Tidjelabine. La valeur moyenne oscille autour de 13628,04 m<sup>3</sup>/j elle est au-dessous de la capacité nominale de la station (15000 m<sup>3</sup>/j)

Il y a des débits supérieurs à la capacité nominale mais ne posent aucun problème au sein de l'installation car il y a le bassin d'orage à l'entrée de la station.

### VI.2 les paramètres physico-chimiques :

#### VI.2.1 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.

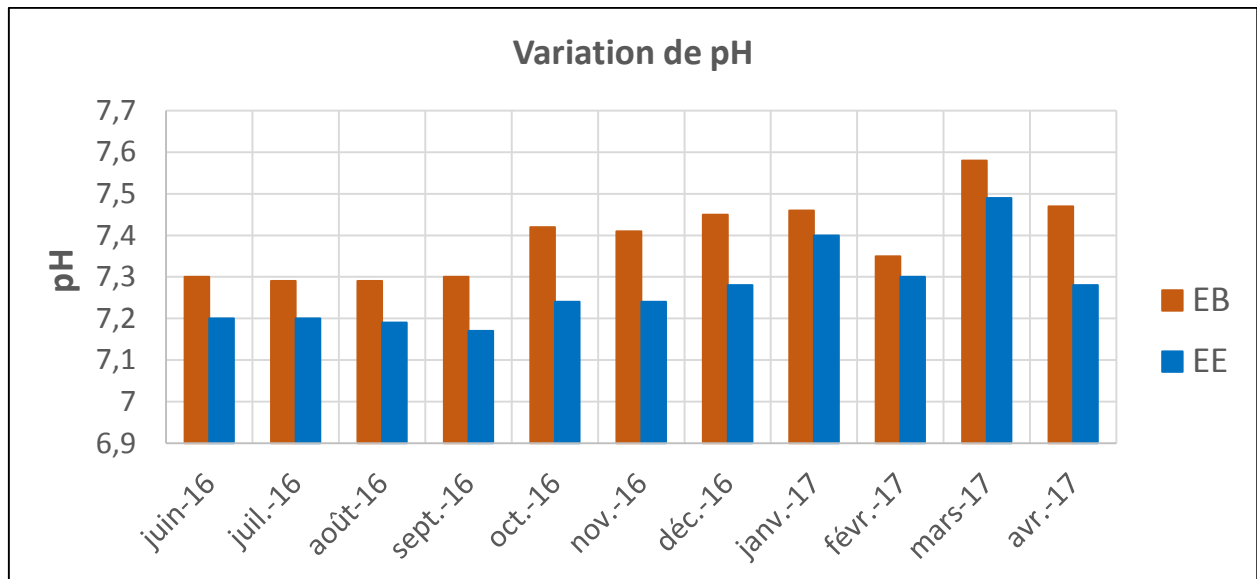


Figure VI. 2: Représentation graphique de la variation des pH des eaux usées brutes et épurées de la station de Boumerdes de juin 2016 à avril 2017

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. [26]

### VI.2.2 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 microorganismes épurateurs.

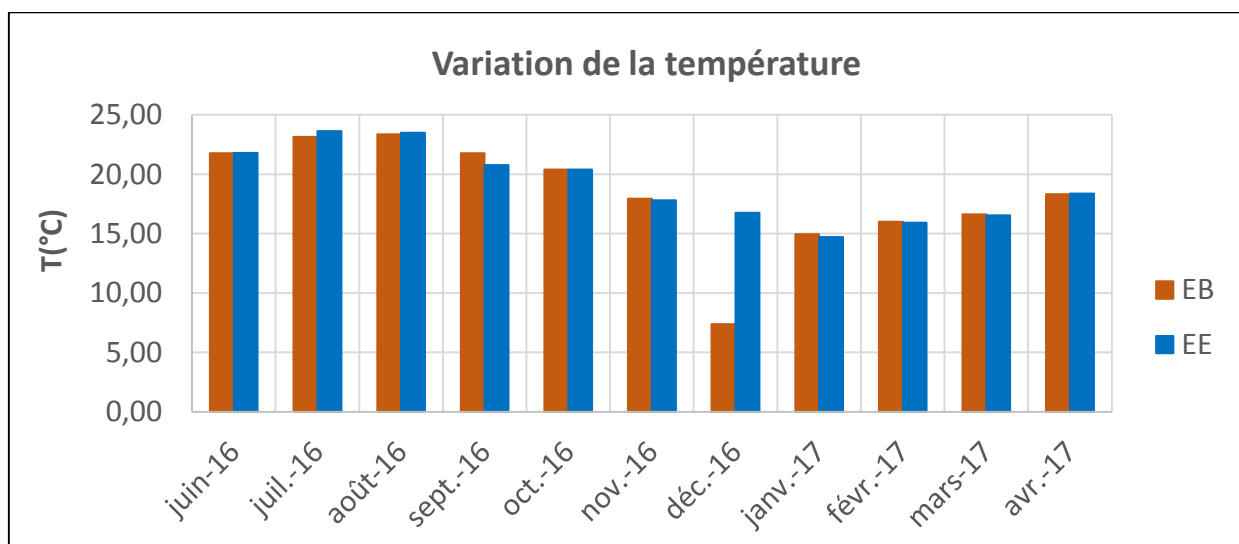


Figure VI.3: Représentation graphique de la variation de la température des eaux usées brutes et épurées de la station de Boumerdes de juin 2016 à avril 2017

La valeur moyenne ne dépasse pas les normes de rejets recommandées par l'OMS (30°C) et permet donc la réutilisation agricole des eaux usées épurées avec aisance. [27]

### VI.2.3 la conductivité électrique :

La conductivité des eaux usées brutes (CE= 1354.01  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) est supérieure à celle des eaux épurées (CE = 1176.28  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), 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  $\mu\text{S}/\text{cm}$  [28]

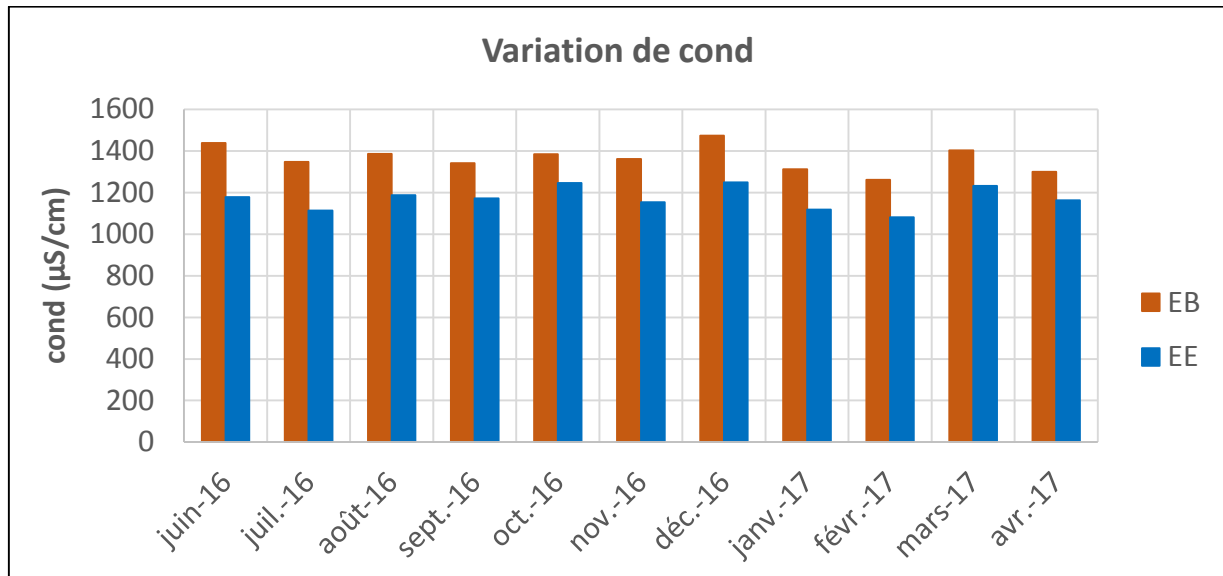


Figure VI.4 : Représentation graphique de la variation de la conductivité électrique des eaux brutes et épurées dans la station de Boumerdes de juin 2016 à avril 2017

Les résultats de prélèvement de la station de Boumerdes montrent le contraire, la valeur moyenne de CE est supérieure à 1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ce qui nous renseigne sur la qualité de l'eau potable utilisée, et des activités industrielles qui contribuent à l'élévation de CE des eaux usées. [28]



❖ **Calcul de la minéralisation:**

Tableau VI.2 : La méthode de calcul de la minéralisation

Conductivité uS/cm	Minéralisation mg/l
Conductivité < 50 uS/cm	1.365079. conductivité
Conductivité [50 à 166] uS/cm	0.947658. conductivité
Conductivité [166-333] uS/cm	0.769574. conductivité
Conductivité [333-833] uS/cm	0.715920. conductivité
Conductivité [833-10000] uS/cm	0.758544. conductivité
Conductivité > 10000 uS/cm	0.850432. conductivité

[29]

- La minéralisation (EB) =  $0.758544 \times 1363.75 = 1034,46$  mg/l

- la minéralisation (EE) =  $0.758544 \times 1171.57 = 888,68$  mg/l

Ces résultats montrent la minéralisation importante de ces eaux épurées.

**VI.2.4 Le chlorure:**

Les chlorures existent dans la quasi-totalité des eaux à des concentrations très variables. La présence des chlorures en concentrations élevées dans l'eau contenant du sodium donne un goût salé. Par ailleurs, les chlorures sont indispensables aux régimes alimentaires [30]

La quantité du chlorure ( $\text{Cl}^- = 143,48$  mg/l), ne pose donc pas de problème pour l'utilisation des eaux de Boumerdes en irrigation. ( $\text{Cl}^-$  ne doit pas dépasser 1065 mg/l selon les normes FAO).

**VI.2.5 Les matières organiques :****VI.2.5.1 La DBO<sub>5</sub>**

La demande Biochimique en Oxygène (DBO) est la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement des micro-organismes, pendant 5 jours à 20 °C, on parle alors de la DBO<sub>5</sub>. Elle est très utilisée pour le suivi des effluents urbains. Elle est exprimée en mg O<sub>2</sub>/l.

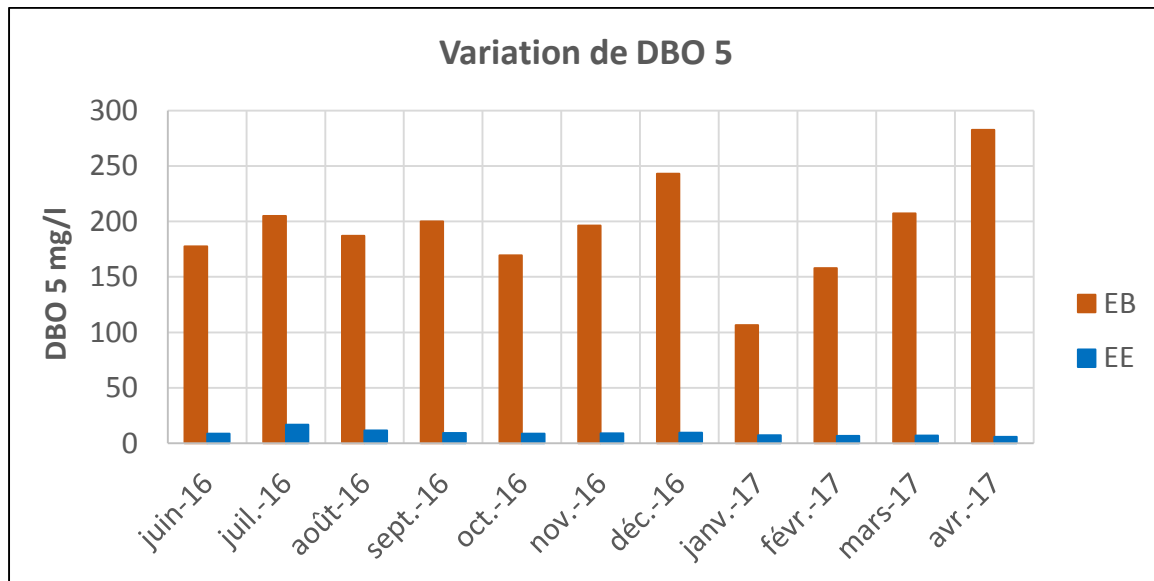


Figure VI.5 : Représentation graphique de la variation des DBO5 à l'entrée et à la sortie dans la station de Boumerdes de juin 2016 à avril 2017

L'OMS(1989) limite la DBO5 à moins 10 mg O<sub>2</sub>/l pour la réutilisation des eaux épurées en irrigation; la valeur moyenne de 9,22 mg O<sub>2</sub>/l pour les eaux à la sortie de la station répond à cette recommandation.

Le rendement d'élimination de la DBO5 de l'épuration est de 95,75 %, ce qui signifie que l'élimination de la pollution organique est efficace.

#### VI.2.5.2 LA DCO :

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant, le bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présente dans l'échantillon. Elle est exprimée en mg O<sub>2</sub>/l. Généralement la DCO est 1,5 à 2 fois la DBO<sub>5</sub> pour les eaux usées urbaines et de 1 à 10 pour tout l'ensemble des eaux résiduaires industrielles.

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

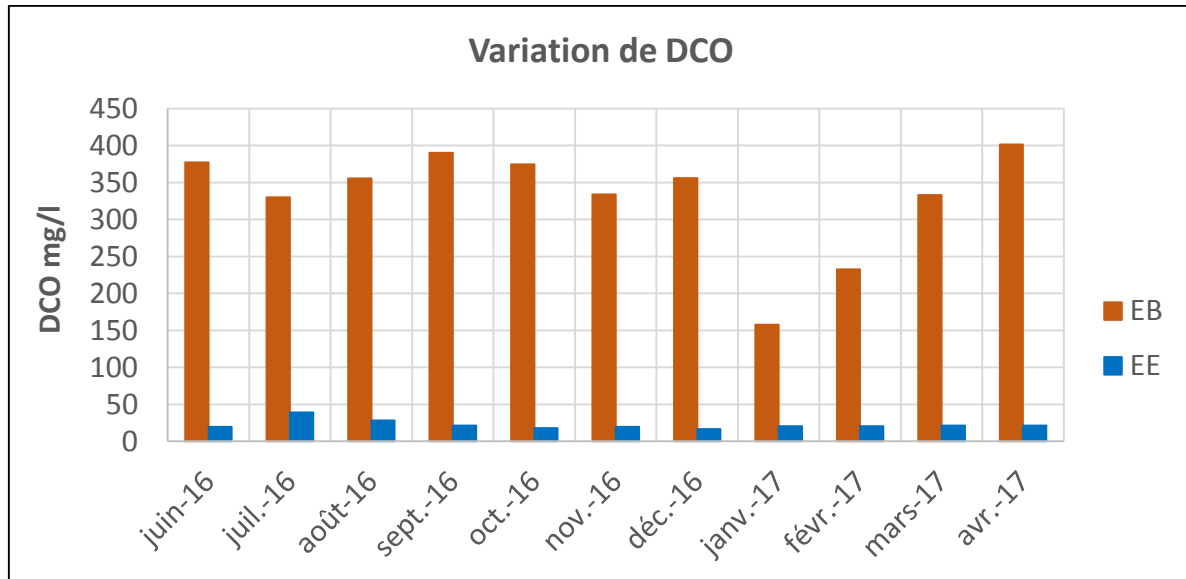


Figure VI.6 : Représentation graphique de la variation des DCO à l'entrée et à la sortie dans la station de Boumerdes de juin 2016 à avril 2017

La DCO moyenne des eaux après traitement est de 22,45 mg O<sub>2</sub>/l, inférieur à la norme (<90 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.

Le rendement d'élimination de la DCO est de l'ordre de 93 % ce qui prouve l'efficacité du traitement biologique à boues activées.

### VI.2.5.3 Coefficient de biodégradabilité "K"

Le rapport  $k = \frac{DCO}{DBO_5}$ : plus ce rapport est élevé, plus l'effluent contient des molécules non biodégradables, l'inverse est vrai.

- $1,7 < K < 2 \rightarrow$  Effluent très biodégradable;
- $2,2 < K < 2,5 \rightarrow$  Effluent biodégradable;
- $K > 5 \text{ à } 10 \rightarrow$  Effluent peu biodégradable. [31]

Le rapport :  $k = \frac{DCO}{DBO_5} = \frac{358,75}{145,7} = 2,46$  Effluent est biodégradable

**VI.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.

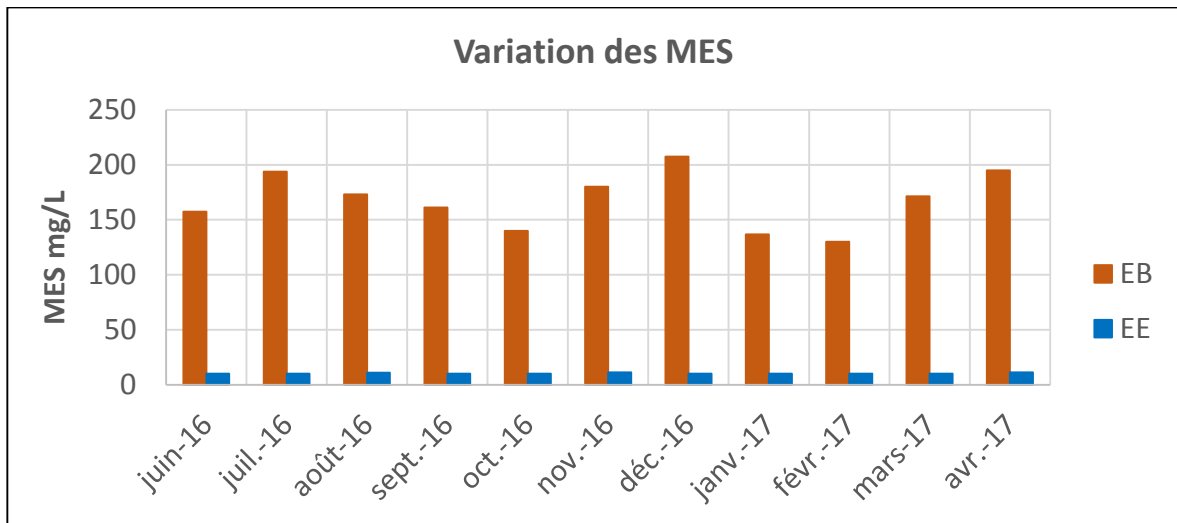


Figure VI.7 : Représentation graphique de la variation des MES à l’entrée et à la sortie dans la station de Boumerdes de juin 2016 à avril 2017

La moyenne des MES à la sortie de la station 10,31 mg/l qui répond à la norme de réutilisation des eaux épurées en agriculture (30 mg/l) d’après la recommandation de l’OMS (1989).

**VI.2.7 La variation de NTK :**

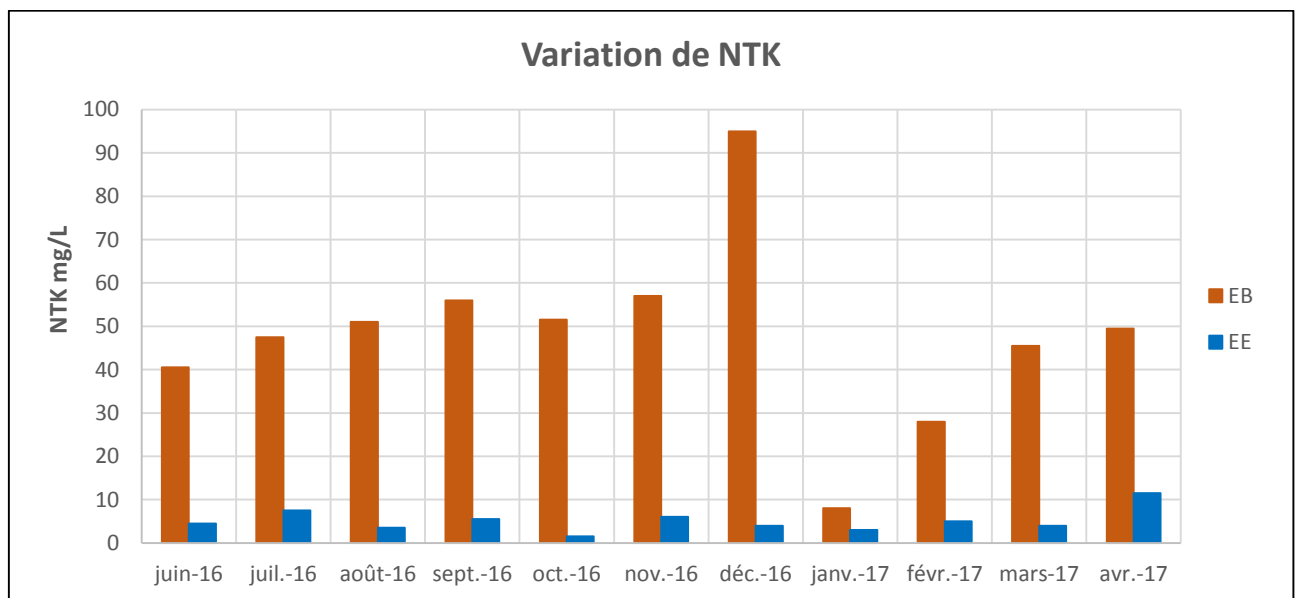


Figure VI.8 : Représentation graphique de la variation de NTK à l’entrée et à la sortie dans la station de Boumerdes de juin 2016 à avril 2017

NTK moyenne des eaux après traitement est de 5,09 mg O<sub>2</sub>/l, inférieur à la norme (7 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.

### VI.2.8 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.

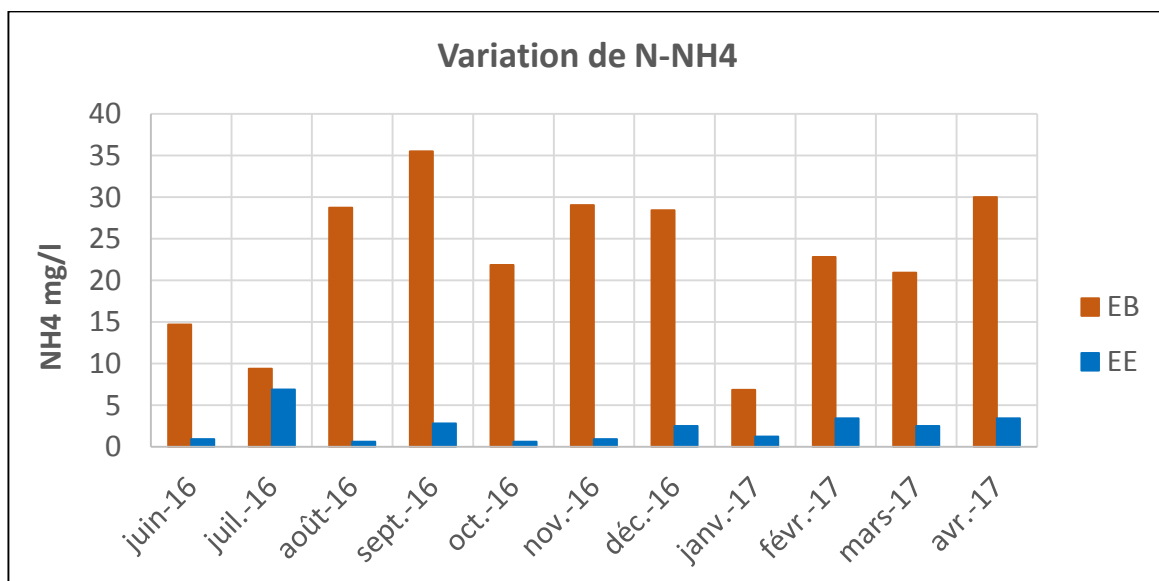


Figure VI.9 : Représentation graphique de la variation de N-NH<sub>4</sub> à l'entrée et à la sortie dans la station de Boumerdes de juin 2016 à avril 2017

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

### VI.2.9 L'évolution de NO<sub>3</sub> :

L'azote nitrique (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) est produit par nitrification de l'azote ammoniacal. Il joue un rôle important dans le développement des algues et participe au phénomène d'eutrophisation [10]

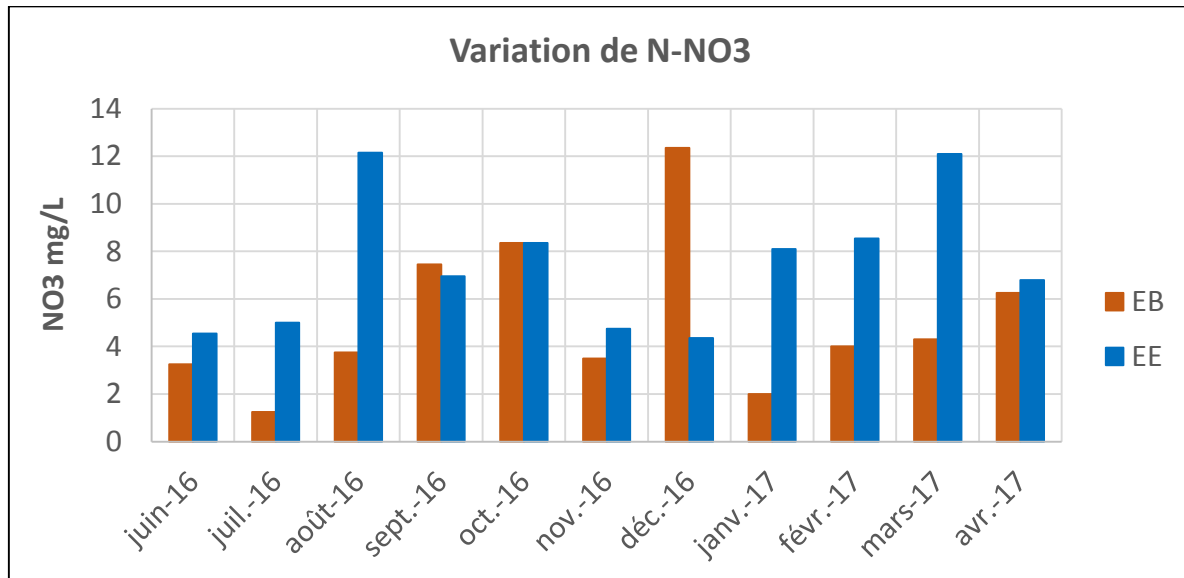


Figure VI.10 : Représentation graphique de la variation de N-NO<sub>3</sub> à l'entrée et à la sortie dans la station de Boumerdes de juin 2016 à avril 2017

On remarque aussi que la quantité de nitrate après traitement oscille entre 4,35 et 12,1 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. [32]

En effet les concentrations élevées de nitrates à la sortie de la STEP indiquent une forte oxygénation et laissent supposer un problème au niveau de la dénitrification, ce dernier peut être dû à :

- ♣ Une utilisation directe de l'oxygène dissous par les bactéries dénitrifiantes au lieu d'utiliser l'oxygène contenu dans les nitrates.

Indépendamment du problème de l'oxygène on pense à des conditions défavorables pour l'activité des bactéries dénitrifiantes (pH, température, conductivité)

### VI.2.10 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 ortho phosphates isolés, soit sous forme d'ions phosphates condensés avec des molécules organiques.

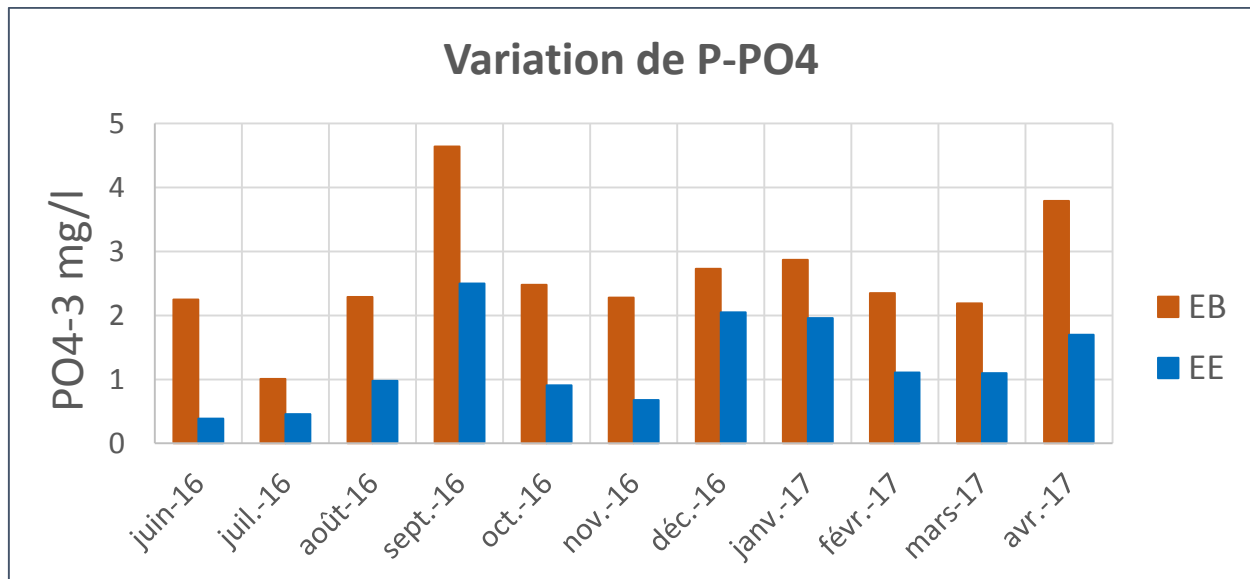


Figure VI.11 : Représentation graphique de la variation de PO<sub>4</sub> à l'entrée et à la sortie dans la station de Boumerdes de juin 2016 à avril 2017

La concentration moyenne des ortho phosphates dans l'eau traitée atteint la valeur de 1.25 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).

### VI.3 Calcul et interprétation des ratios :

#### VI.3.1 Rapport DCO/DBO<sub>5</sub> (Ration de biodégradabilité)

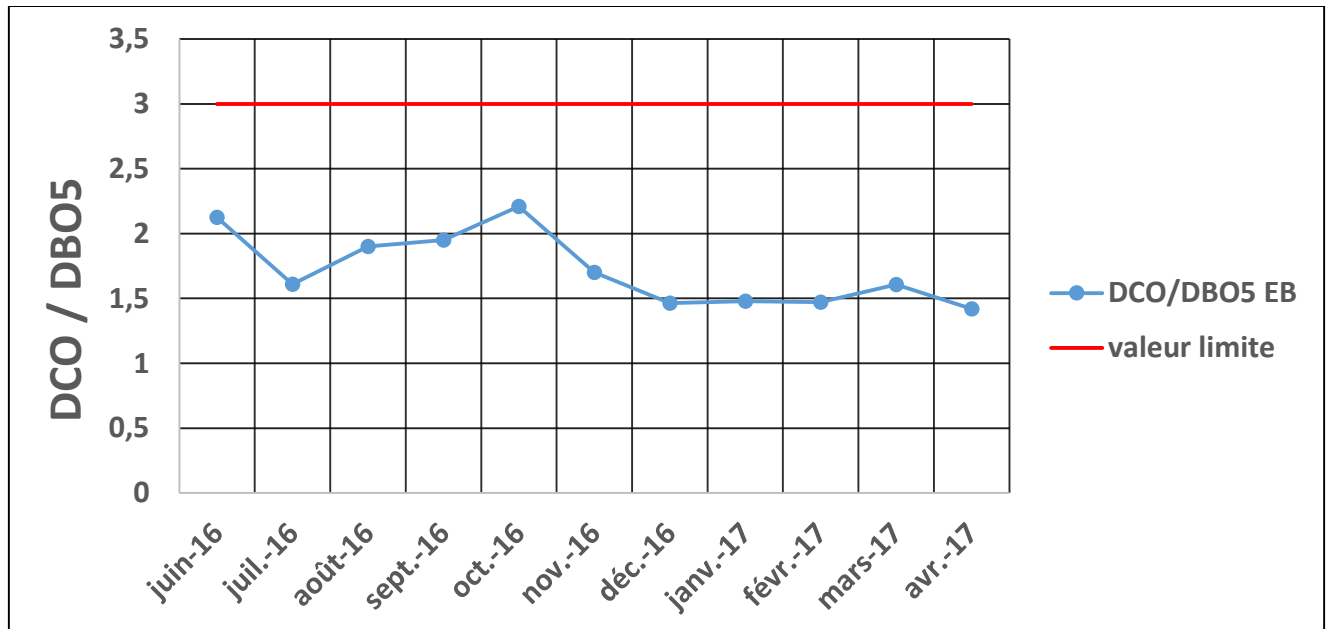


Figure VI.12 : Evolution du rapport DCO/DBO<sub>5</sub> à l'entrée de la STEP de Boumerdes de juin 2016 jusqu'à avril 2017

Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> permet d'évaluer la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent donné. Le traitement biologique est envisageable pour des valeurs de ce ratio inférieures à 3.

Les eaux brutes de la ville de Boumerdes sont caractérisées par un ratio DCO/DBO<sub>5</sub> compris entre 1,42 et 2,20 avec une moyenne de 1,72. Cette dernière reste inférieure à la valeur limite et souligne bien le caractère biodégradable des eaux brutes de la ville de Boumerdes avec une aptitude au traitement biologique.

Les valeurs élevées de ce rapport sont généralement observées soit par suite à des flux de rejet industriel riche en métaux lourds et matières minérales difficilement biodégradables induisant une conductivité électrique élevée ou bien lors d'un événement pluvial important [33]



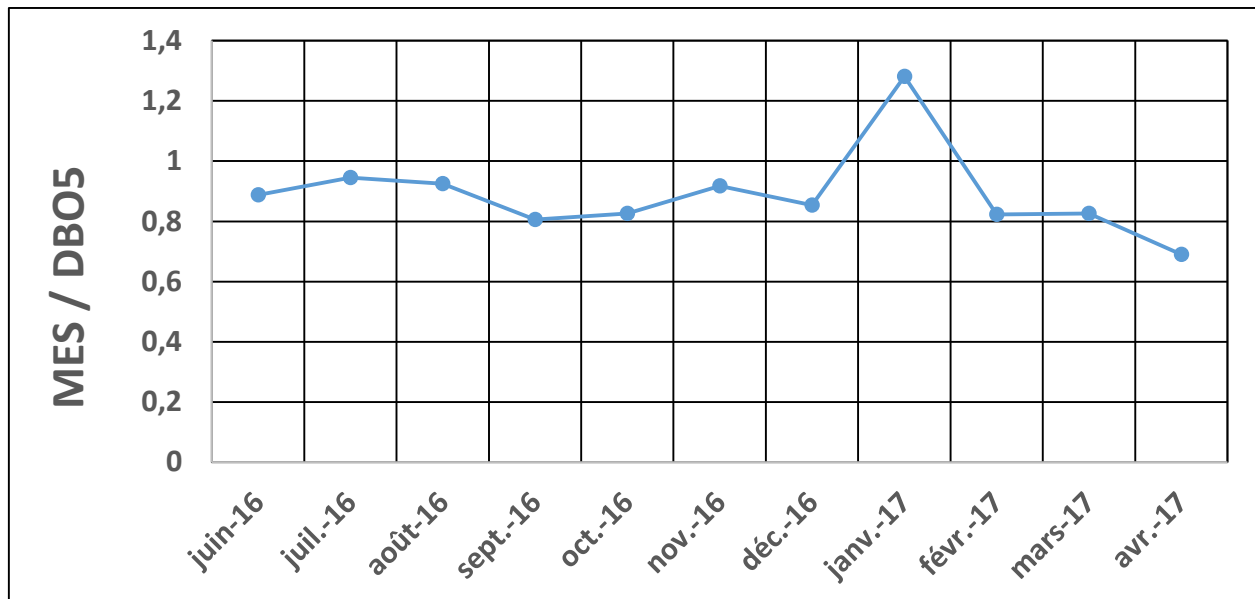
VI.3.2 Rapport MES/DBO<sub>5</sub>

Figure VI.13 : Evolution du rapport MES/DBO<sub>5</sub> à l'entrée de la STEP de Boumerdes de juin 2016 jusqu'à avril 2017

Ce ratio, indique la répartition de la pollution particulaire représentée par la MES et de la pollution dissoute représentée par la(DBO<sub>5</sub>), dans le cas présent ce rapport s'étale de 0,8 à 1,28 avec une moyenne de 0,88

Nous constatons que la pollution de ces eaux est plutôt particulaire que dissoute, ce qui caractérise un réseau essentiellement unitaire. Les variations observées peuvent être expliquées par le phénomène de sédimentation-érosion au sein du réseau ainsi qu'au lessivage du sol. Les valeurs élevées de ce rapport sont généralement dues à l'augmentation du flux des MES rejetés par temps de pluie dans les milieux récepteurs à cause de la remise en suspension des dépôts accumulés dans le collecteur.

Pour conclure ; la STEP de Boumerdes est caractérisée par une pollution d'origine particulaire Cette pollution augmente pendant les événements pluvieux pouvant perturber l'efficacité du traitement. Mais en dépit de cela, les rendements épuratoires concernant les matières en suspensions sont très élevés. Ce qui traduit un prétraitement assez efficace contre ce genre de problème.

### VI.3.3 Degré d'ammonification (rapport $NH_4^+/NTK$ )

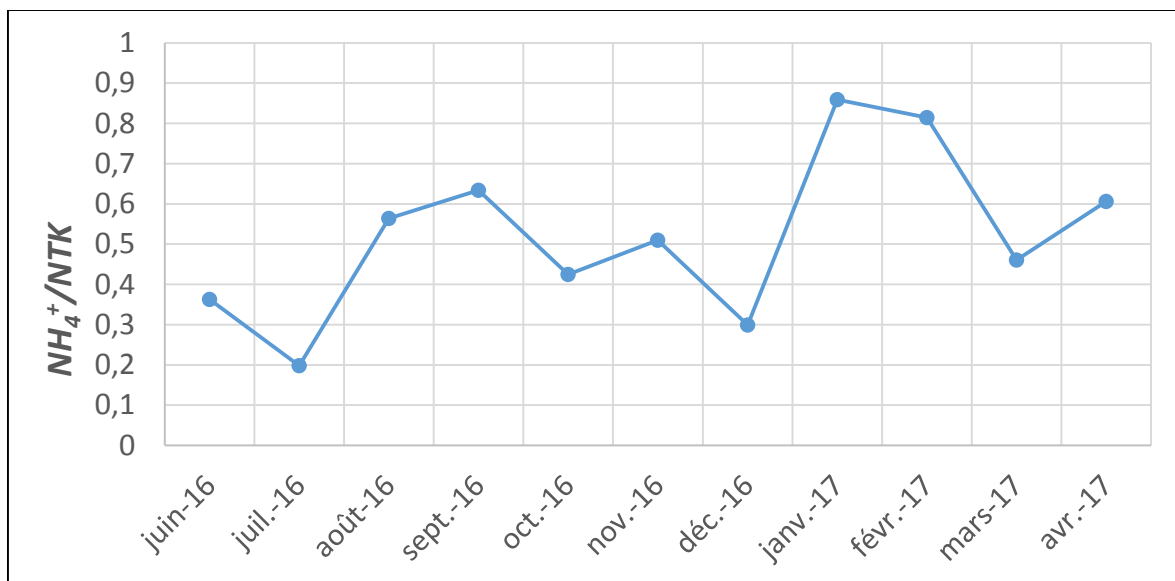


Figure VI.14 : Evolution du rapport  $NH_4^+/NTK$  à l'entrée de la STEP de Boumerdes de juin 2016 jusqu'à avril 2017

L'azote des effluents à traiter arrive dans le réseau principalement sous forme organique. Son transit dans le réseau modifie les proportions en faveur de la forme ammoniacale selon le temps de séjour et la température, ce degré d'ammonification est donné par le ratio  $NH_4^+/NTK$ .

Des variations remarquables allant de 0,2 à 0,85 avec une moyenne de 0,52 sont constatées. Pour un effluent urbain classique, le rapport  $NH_4^+/NTK$  est compris entre 0,6 et 0,8.

Pendant les mois de janvier et février, on remarque que ce rapport est très important et plus la valeur de ce ratio est élevée, plus l'azote organique est transformé en azote ammoniacal soluble (ammonification importante). Une grande partie de la pollution azotée se trouve donc sous forme d'ions ammonium  $NH_4^+$

Ce taux d'ammonification est directement lié au temps de séjour qui devient plus élevé lorsque les événements pluvieux sont moins importants. De ce fait la majorité de la pollution azotée passe sous forme d'ion ammonium.

## VI.3.4 Cinétique de la nitrification (Rapport DCO/NTK)

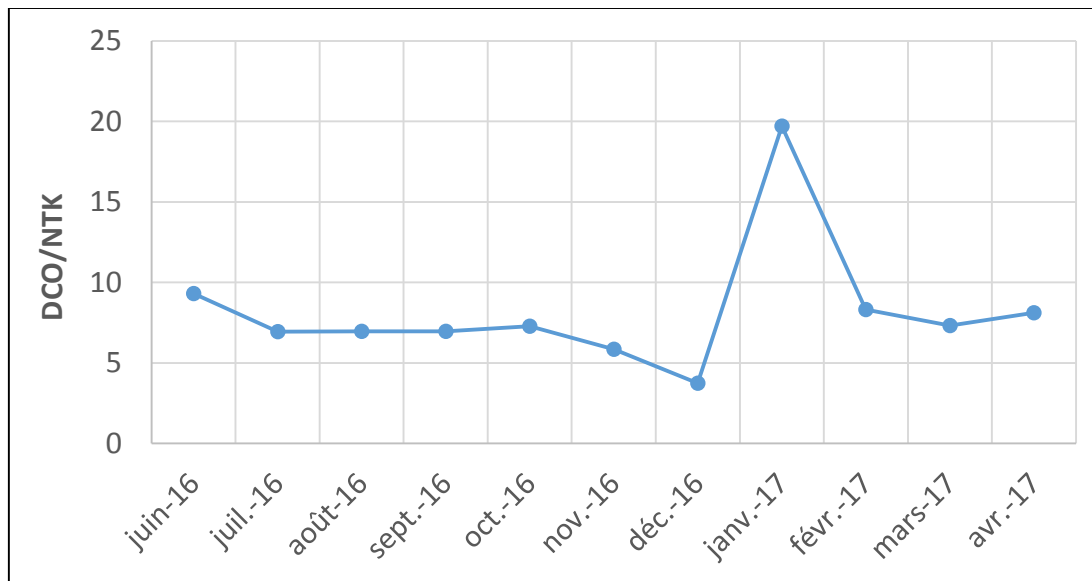


Figure VI.15 : Evolution du rapport  $NH_4^+$ /NTK à l'entrée de la STEP de Boumerdes de juin 2016 jusqu'à avril 2017

Le rapport DCO/NTK influence la cinétique de nitrification et donc le degré d'abattement de l'azote global.

Les valeurs obtenues du ratio DCO/NTK sont comprises entre 3,74 et 19,70 avec une moyenne de 8,22. Rappelons que pour un effluent urbain la valeur du ratio DCO/NTK est d'environ 4 à 5.

En effet ces valeurs sont dues à de grandes variations en charges polluantes à l'entrée de la STEP causées par des événements pluvieux importants d'une part et par la variation notable de la concentration en azote Kjeldahl à l'entrée de la STEP d'autre part.

Ces valeurs élevées perturbent la réaction de nitrification et donc influencent le taux d'abattement de l'azote. En effet Thiem, (1988) et Hanaki (1996) rapportent que de fortes charges organiques impliquent un % de nitrification plus faible. Ainsi, les bactéries hétérotrophes peuvent entrer en compétition pour l'azote qu'elles consomment pour leurs besoins anaboliques et limitent le processus de nitrification en réduisant la quantité d'ammoniaque et d'oxygène disponible pour la nitrification et en limitant localement l'accès à l'ammoniaque pour les bactéries nitrifiantes.

## VI.3.5 Etude du traitement du phosphore (Rapport DCO/PT)

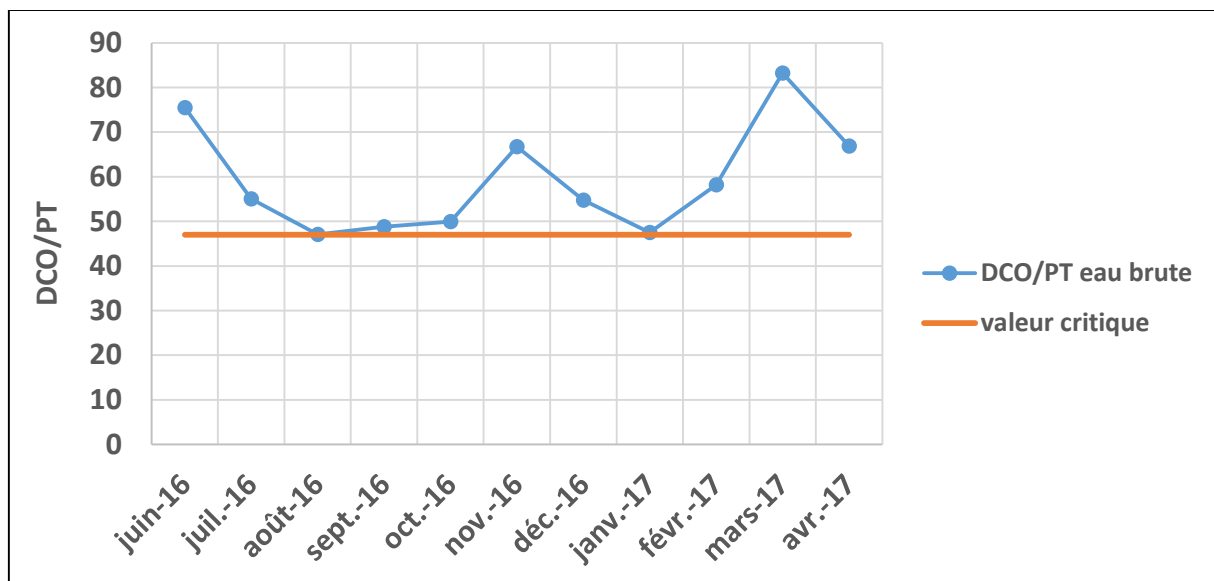


Figure VI.16 : Evolution du rapport *DCO/PT* à l'entrée de la STEP de Boumerdes de juin 2016 jusqu'à avril 2017

Le rapport *DCO/PT* qui indique les possibilités et la faisabilité d'un traitement biologique du phosphore est ici compris entre 47 et 83,25 en entrée de station avec une moyenne de 59,41. Pour un effluent domestique urbain, la valeur critique de ce rapport est d'environ 47. Les deux valeurs de ce ratio enregistrées en août 2016 et Janvier 2017 sont égales à la valeur critique.

La variation de ce ratio est à relier à la variation de la température des eaux brutes de la ville de Boumerdes qui influence les vitesses de relargage / réabsorption du phosphore, à la quantité des AGV(acides gras volatils) rapidement biodégradable qui devrait se présenter dans ces eaux avec des concentrations comprises entre 25 et 100 mg/l pour chaque mg de phosphore à éliminer et à la concentration de nitrates dans le milieu. Nous constatons que les variations de ces trois paramètres ont influencé le traitement biologique du phosphore uniquement en août 2016 et Janvier 2017 par contre la valeur moyen de ce ratio reste supérieur à la valeur critique ( 47) indique une aptitude acceptable au traitement biologique du phosphore.

# **Chapitre VII**

## **Conclusions et recommandations**

### Conclusion :

Notre travail a pour objectif d'étudier la possibilité de réutilisation des eaux usées épurées dans l'agriculture.

Dans ce cadre, nous avons établi un bilan quantitatif et qualitatif des analyses caractérisant les sous-produits de la station d'épuration de Boumerdes.

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la température, le pH et la conductivité électrique ne constituent aucun gêne au traitement biologique et respectent les normes de rejets dans le milieu récepteur. Néanmoins avec des valeurs de conductivité en sortie dépassant les 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ces eaux épurées présentent une minéralisation élevée. (Rodier ,2005)

Nous remarquons que la concentration moyenne des ortho phosphates dans l'eau traitée dépasse la norme (1.25 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.

Par suite notre étude a porté sur les indicateurs de performances suivants que nous avons choisis en fonction des résultats obtenus :

- ❖ DCO/DBO<sub>5</sub> : l'effluent est dans la plus part des cas facilement biodégradable, ce qui le rend apte au traitement biologique.
- ❖ C/N/P : présente un déséquilibre nutritionnel caractérisé par un excès en azote et en phosphore.
- ❖ MES/DBO<sub>5</sub> : la pollution est d'origine particulaire. Cette pollution augmente pendant les événements pluvieux et pourrait compliquer la situation, surtout en l'absence de décantation primaire.
- ❖ NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NTK : Ce rapport présente un bon degré d'ammonification de l'azote qui devient plus élevé lorsque les événements pluvieux sont moins importants.
- ❖ DCO/NTK : les valeurs élevées de ce ratio indiquent qu'il y'aurait perturbation sur la réaction de nitrification et cela influencerait le taux d'abattement de l'azote.
- ❖ DCO/PT : indique une aptitude moyenne au traitement biologique du phosphore.

Après examen des paramètres analytiques nous pouvons considérer que les eaux épurées de la station d'épuration de Boumerdes peuvent être utilisé sous certaines restrictions.

**Recommandations :**

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 nation

## Références bibliographiques

- [1] : Soudi Brahim, Fadila Benosmane, Dimitri Xanthoulis, M. Mahi. 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 usées Agadir du 07 au 11 Décembre 2009.
- [2] : Ramade F. (2000)., Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed. Ediscience international, Paris, 689p.
- [3] : Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconi A. (2004)., Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p
- [4] : Vaillant J.R. (1974)., Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Ed. Eyrolles. Paris, 413p.
- [5] : Edline F. (1979)., L'épuration biologique des eaux résiduaires. Ed. CEBEDOC, Paris, 306p.
- [6] : Desjardins R. (1997)., Le traitement des eaux. 2ème édition. Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 303p.
- [7] : Etude des paramètres physico-chimique de la station de Boumerdes/ PFE: université Boumerdes
- [8] : 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.
- [9] : Joseph Fourier, 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., Grenoble, 1999, 257 pages
- [10] : 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)
- [11] : 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.
- [12] : Cyril Gomella ; Henri Guerrée : les eaux usées dans les agglomérations urbaine ou rurales / Ed : Eyrolles, 1982.
- [13] : Office National de l'Eau; caractéristiques-formes-eaux usées; "Développer les compétences pour mieux gérer l'eau"; chapitre: caractérisation des eaux usées;2005
- [14] : Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France- Section des eaux (Octobre 1995).
- [15] : Manuel d'exploitation de la station d'épuration de Boumerdes.
- [16] : Exposé de monsieur LADJEL sur la station d'épuration de Boumerdes sur la réutilisation des eaux usées épurées (2012)



- [17] : M. Guy Atlan, Les boues d'épuration et leurs perspectives de gestion en Île-de-France, Rapport préparé , Au nom de la commission Agriculture, environnement, Ruralité, Adopté par le CESR.
- [18] : Exposé sur la réutilisation des eaux usées épurées Réalisé par les étudiants de 5ème année avec professeur Dechmi Département d'hydraulique-, 2011
- [19] : REUE, deliverable for: United States Agency for international development, (Annex 1: caractéristiques des eaux domestiques), Environmental Alternative United-EAU-.
- [20] : Rodier, J. & Legube, B. & Merlet, N., (2009). "L'analyse de l'eau". 9<sup>o</sup> édition Dunod, 1600 pages.
- [21] : Michael, W., (2006). "Analyse de l'laboratoire et analyse en continu traitement des eaux usées, éléments nutritifs". Rapport d'application, 56 pages.
- [22] : Sadowski, A.G., (2002). " boue activée très faible charge-nitrification et dénitrification-traitement du phosphore ", Méthodes de calcul d'une filière de traitement, 103 pages.
- [23] : Gaëlle, D. & Choubert, J.M., (1998). " Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées ". Document technique FNDAE n° 29, 39 pages.
- [24] : Duc, C., (2009). "Suivi et optimisation du fonctionnement de la station de traitement des eaux usées de traitement de la communauté de la commune des trois frontières". Mémoire de fin d'études, Mastère spécialisé en Eau potable et Assainissement, Ecole National du Génie de l'Eau et de L'Environnement de Strasbourg, 111 pages.
- [25] : ] Dauvergne, G., (2007). "Mise en place d'indicateurs de suivi et d'optimisation de stations d'épuration, Application à trois installations de type boues activées de plus de 8500 équivalents habitant". Mémoire de fin d'étude présenté pour l'obtention du Certificat d'Etudes Supérieures spécialité Eau Potable et Assainissement, 73 pages.
- [26] : Les données de l'IBGE ." Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface" Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 16 pages.
- [27] : Couture, I., (2003). "Analyse d'eau pour fin d'irrigation " MAPAQ MONTEREGIE-EST, 10 pages.
- [28] : Rodier, J., (1996). " L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eau de mer", 8<sup>ème</sup> éd Dunod, Paris, 1383 pages.
- [29] : Abdellatif HAKMI : traitement des eaux " traitement de l'eau de source bousfer
- [30] : Cours du Dr. R. Salghi |Différentes filières de traitement des eaux.
- [31] : LE DEGREMONT- MEMENTO Régénie biologie des eaux usées-;chapitre4: processus élémentaire du génie biologie de traitement de l'eau. Ed lavoisier, 1989;
- [32] : recherche agronomique (INA), ISSN-1111- 1992, revue semestrielle n°9-Décembre- 2001.

[33] : Desjardins, R., (1997) .'' Le traitement des eaux''. 2éme édition .Ecole polytechnique de Montréal Canada. 303 pages.

[34] : Kettab A., karef S, Nakib M., Characterization of byproducts from wastewater treatment of Medea (Algeria) with a view to agricultural reuse, Desalination and Water Treatment, DOI: 10.1080/19443994.2013.848332, 2013,p1-7

[35] : Kettab A., Metiche R., Bennacar N., « De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies », *Science de l'Eau*; vol. 21, n° 2, 2008, p. 247-256.

[36] : Kettab A., 2000. *Les ressources en eau en Algérie : stratégies, enjeux et vision*. Conférence sur les stratégies de dessalement dans les pays du Sud méditerranéen, Djerba, pp 25-33

[37] : Mr M.Nakib : Contribution à l'étude des possibilités d'utilisation des eaux et boues d'épuration dans l'agriculture : Cas des affluents urbains et de laitières.