

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

## *Ecole Nationale Polytechnique*



Département Hydraulique



## Projet de fin d'études

Thème :

**Etude des possibilités de réutilisation des eaux et des boues d'épuration dans l'agriculture : Cas des effluents de la station de Tipaza**

Présenté par :

Mlle. GHERBI Ghofrane

Dirigé par :

M. NAKIB Maâmar

Année universitaire : 2009/2010

# 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 mon promoteur Mr. **M.Nakib**, pour son suivi au quotidien, pour ses conseils, sa disponibilité, son travail constructif et pour toute la confiance qu'il a su me témoigner à travers l'autonomie qu'il m'a accordée durant cette étude.*

*Je souhaite également remercier vivement les membres du laboratoire de recherche du département d'hydraulique pour le support qu'ils m'ont apporté.*

*Je remercie chaleureusement, Melle. El kfel Nacera et Melle Biskri Khadidja les laborantines de la station d'épuration de Tîpaza qui ont suivi mon travail, de leurs confiance, leurs patience, leurs générosité et leurs disponibilité durant ces trois derniers mois ainsi que de leurs soutien qui a permis de mener à bien mon travail au sein de la STEP de Tîpaza,*

*Mes remerciements vont aussi à Mr BELLOUCHE Rachid et Mme Kouidri de l'ANRH pour les informations qu'ils m'ont communiquées, ainsi qu'à tout le personnel de l'Ona de Touggourt pour toute l'aide qu'ils m'ont apporté.*

*Je tiens à remercier Mr le Professeur KETTAB pour avoir accepté d'être Président de mon jury de Thèse et pour son soutien moral et l'aide qu'il m'a apporté. Je tiens à réitérer ces remerciements à l'encontre de Mr BENZIADA et Dr BERMAD pour avoir accepté d'être rapporteurs et membres du jury et de leur suivie durant ces trois dernières années,*

*Je n'oublie pas bien sur mes proches et mes amis : Selma, Sarah, Leïla, Rym, Yasmine, Fella, Kamélia, Ramdane, Latif, Hamza, Amine, et bien sur KLIKTI  
Et à toute la promotion hydraulique 2010.*

## *Dédicace*

*A ma défunte grand-mère Yema HAMIDA qui est récemment décédée et qui aurait tellement désiré être parmi nous en ce jour si important.*

*A ma douce mère qui s'est sacrifiée pour moi, qui m'a accompagnée tout le long de mon cursus universitaire et qui a tellement attendu l'arrivée de ce jour.*

*A mon adorable père qui m'a toujours soutenue dans mes projets, qui a été présent à mes côtés dans les moments les plus difficiles et qui ne cessera jamais de croire en moi*

*A ma chère et unique sœur AMINA et à mon tendre frère REDA.*

*A mes tantes qui me sont chères: Khaltou SAFIA, Lala LAMIA,  
ET Lala MALYA.*

*A ma sœur de cœur Selma.*

وقال إن مشكلة دراستنا تبحث عن فرص لاستخدام المياه العادمة المعالجة والحماة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في منطقة من الأراضي الزراعية المروية. كان محدودا تحقيقنا لمحطة معالجة المياه في ولاية تيبازة. وكجزء من هذا العمل ، ونفذنا في الموقع عددا من الاختبارات على المياه العادمة المعالجة والحماة الناتجة عن المعالجة. وقد أجرينا أيضا مجموعة من تحقيقات أخرى نفذت من قبل مختبرات متخصصة بما في ذلك ANRH وSEAAL. في ضوء النتائج ، ومقارنتها مع المعايير التي وضعتها منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية (الفاو) ، وجدنا أنه من الممكن استخدام المياه المعالجة والحماة فقط في ظل ظروف معينة ، ونحن ننقل عن.

كلمات البحث : معالجة المياه ، المياه المعالجة والحماة ، ومعالجة المياه وإعادة استخدامها ، والانتعاش

## Résumé :

La problématique de notre étude a été la recherche des possibilités d'utilisation des eaux usées traitées et des boues à partir d'une station d'épuration dans le domaine de l'irrigation des terres agricoles.

Notre investigation s'est limitée à la station de traitement des eaux de la wilaya de TIPAZA.

Dans le cadre de ce travail, nous avons effectué sur place un certain nombre d'analyses sur les eaux traitées et sur la boue générée par le traitement. Nous avons procédé également au recueil d'autres analyses effectuées déjà par des laboratoires spécialisés notamment ceux de l'ANRH et de la SEAAL.

A la lumière des résultats obtenus, et comparés aux normes édictées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et celle de l'Alimentation (FAO), nous avons relevé qu'il est possible de recourir à cette eau traitée et aux boues seulement sous certaines conditions, que nous citerons de suite.

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

## Abstract:

The aim of this work is to set the possibilities of using purified water and treaten mud from a water-treatment plant used for irrigation. Our investigation had been limited to the treatment station of Tipaza.

Within our research, we have made number of analyses on waters drafts and on the mud generated by the treatment. We have also proceeded to the collection of other analyses made already by specialized laboratories in particular those of the ANRH and the SEAAL. In the light of the results obtained, compared with the standards promulgated by WHO and the FAO, we found that it is possible to use to this treated water and mud only under conditions. **Keywords:** waste waters, treated water; mud, water-treatment plant, valorisation, reutilisation

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure I. 1: étapes du traitement .....  | 8  |
| Figure I. 2: Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien .....  | 11 |
| Figure I. 3: synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique .....  | 12 |
| Figure I. 4: Synoptique d'une boue activée - aération prolongée.....   | 13 |
| Figure I. 5: Infiltration-percolation étanchée et drainée .....  | 18 |
| Figure I. 6: Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical .....   | 18 |
| Figure I. 7: Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal .....   | 19 |
| Figure I. 8: Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel .....  | 20 |
| <br>   |    |
| Figure II. 1: Types de réutilisation des eaux usées .....  | 29 |
| <br>   |    |
| Figure IV.2 : Le poste de relevage .....   | 53 |
| Figure IV.3 : Le déssableur/déshuileur .....   | 55 |
| Figure IV.4 : Le bassin biologique .....   | 56 |
| Figure IV.5: L'épaississeur .....  | 58 |
| Figure IV.6 : La déshydratation mécanique .....  | 59 |
| <br>   |    |
| Figure V. 1: Représentation graphique de la variation des débits entrants dans la station durant les mois de Mars et Avril 2010 .....                | 61 |
| Figure V. 2: Représentation graphique de la variation des MES entrants et sortant de la station durant les mois de Mars et Avril 2010 .....          | 63 |
| Figure V. 3: Représentation graphique de la variation de la DBO5 à l'entrée et à la sortie de la station durant les mois de Mars et Avril 2010 ..... | 64 |
| Figure V. 4: représentation graphique de la variation de la DCO à l'entrée et à la station durant les mois de Mars et Avril 2010 .....               | 65 |
| Figure V. 5: Représentation graphique de la variation du NH4 à l'entrée et à la sortie de la station durant les mois de Mars et Avril 2010 .....     | 67 |

|  |    |
|--|----|
| Figure V. 6: Représentation graphique de la variation des NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> à l'entrée et à la sortie de la station durant les mois de Mars et Avril 2010 ..... | 67 |
| Figure V. 7: Représentation graphique de la variation du phosphore à l'entrée et à la sortie de la station durant les mois de Mars et Avril 2010 .....                     | 68 |
| Figure V. 8: Représentation graphique de la variation de l'indice de Mohlman dans le clarificateur de la station durant les mois de Mars et Avril 2010 .....               | 72 |

### Liste des schémas

|  |    |
|--|----|
| Schéma III. 1 : les différentes filières de valorisation des boues d'épuration .....           | 43 |
| Schéma III. 2 : schéma représentant les deux phases de la valorisation énergie-matériaux ..... | 49 |
| Schéma IV. 1 : Schéma descriptif de la station d'épuration de Tipaza .....                     | 51 |

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| Tableau II. 1 : Normes d'irrigation selon FAO et l'OMS .....   | 34 |
| Tableau II. 2 : Procédés d'épuration pour usages principaux .....  | 35 |
| Tableau IV. 1 : Caractéristiques de l'eau a traité de la STEP de Tipaza .....  | 52 |
| Tableau IV. 2 : Caractéristiques des pompes d'entrée .....   | 54 |
| Tableau IV. 3 : Dimensions du dégrilleur fin .....   | 54 |
| Tableau IV. 4 : Dimensions du convoyeur à bande .....  | 55 |
| Tableau IV. 5 : Caractéristiques du déssableur/déshuileur .....  | 56 |
| Tableau IV. 6 : Caractéristiques du bassin biologique .....  | 57 |
| Tableau IV. 7 : Caractéristiques techniques du décanteur .....   | 57 |
| Tableau IV. 8 : Caractéristiques de l'épaississeur .....   | 58 |
| Tableau V. 1 : Fréquences des analyses effectués au niveau de la station de Tipaza .....   | 60 |
| Tableau V. 2 : Représentation des résultats des analyses bactériologiques des eaux usées épurées de la STEP de Tipaza .....                        | 62 |
| Tableau V. 3 : Biodégradabilités des effluents .....   | 66 |
| Tableau V. 4 : La table de calcul de la minéralisation .....   | 70 |
| Tableau V. 5 : Les différents paramètres du SAR mesurés .....  | 70 |
| Tableau V. 6 : Les éléments fertilisants présents dans la boue .....   | 73 |
| Tableau V. 7 : Comparaison des caractéristiques essentielles des boues résiduaires urbaines à celles du fumier de ferme et du compost urbain ..... | 74 |
| Tableau V. 8 : Les métaux lourds présents dans la boue .....   | 75 |

## Sommaire :

|  |          |
|--|----------|
| Remerciements  |          |
| Dédicaces  |          |
| Liste des figures  |          |
| Liste des tableaux   |          |
| <b>Introduction générale</b> .....   | <b>1</b> |
| <br><b>Chapitre I : impact de la pollution et les étapes de traitement</b> |          |
| Introduction .....   | 3        |
| I.1 Définition de la pollution de l'eau et ses impacts.....                | 3        |
| I.2 Les paramètres indicateurs de la pollution .....                       | 4        |
| 1. Les matières en suspension MES .....                                    | 4        |
| 2. Les matières volatiles en suspension MVS .....                          | 4        |
| 3. La demande chimique en oxygène DCO .....                                | 5        |
| 4. La demande biochimique en oxygène DBO <sub>5</sub> .....                | 5        |
| 5. L'azote .....   | 5        |
| 6. Le phosphore .....  | 5        |
| 7. les Microorganismes pathogènes .....                                    | 6        |
| I.3 La nature des eaux usées .....   | 6        |
| 1. Les eaux usées domestiques .....  | 6        |
| 2. Les eaux industrielles .....  | 6        |
| 3. Les eaux pluviales .....  | 6        |
| I.4 La collecte des eaux usées .....                                       | 7        |
| I.5 Étapes du traitement.....  | 7        |
| I.5.1 Traitement primaire .....  | 8        |
| a) Prétraitement .....   | 8        |
| 1. Dégrillage .....  | 8        |
| 2. Dessablage .....  | 8        |
| 3. Déshuilage-dégraissage .....  | 9        |
| b) la décantation primaire .....   | 10       |
| I.5.2 Les traitements secondaires .....                                    | 10       |
| a) Traitement physico-chimique .....                                       | 10       |
| b) Traitement biologique .....   | 11       |
| A. Les techniques intensives classiques.....                               | 11       |
| 1. Les traitements sur support fixe .....                                  | 11       |
| i. Les lits bactériens .....   | 11       |
| ii. Disques biologiques .....  | 12       |
| 2. Les traitements sur culture libre .....                                 | 12       |
| i. Boues activées .....  | 12       |
| B. Les techniques extensives .....   | 16       |
| 1. Les cultures fixées sur support fin .....                               | 17       |
| i. L'infiltration-percolation .....  | 17       |
| ii. Les filtres plantés à écoulement vertical .....                        | 18       |
| iii. Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal .....          | 19       |



|  |    |
|--|----|
| 2. les Cultures libres .....                     | 19 |
| i. Le lagunage naturel .....                     | 19 |
| ii. Lagunage aéré .....                          | 20 |
| I.5.3 Traitement tertiaire .....                 | 20 |
| 1. La chloration .....                           | 21 |
| 2. L'ozonation .....                             | 21 |
| 3. Le rayonnement ultraviolet .....              | 21 |
| I.5.4 Traitement des boues .....                 | 22 |
| 1. L'épaississement .....                        | 23 |
| 2. La stabilisation .....                        | 23 |
| 3. La déshydratation .....                       | 24 |
| I.6 Implantation d'une station d'épuration ..... | 25 |
| I.7 Choix du type de station d'épuration .....   | 26 |

## **Chapitre II : réutilisation des eaux usées épurées**

|  |    |
|--|----|
| Introduction .....   | 27 |
| II.1 La réutilisation des eaux usées épurées : définition et objectifs ..... | 27 |
| II.2 Les types de réutilisation .....  | 27 |
| 1. Réutilisation directe .....   | 28 |
| 2. Réutilisation indirecte .....   | 28 |
| II.3 Domaines de réutilisation des eaux usées épurées .....                  | 30 |
| II.3.1 Le secteur agricole .....   | 30 |
| II.3.1.1 Caractéristiques de l'eau d'irrigation .....                        | 31 |
| 1. La salinité.....  | 31 |
| 2. Le sodium .....   | 31 |
| 3. Alcalinité et dureté .....  | 32 |
| 4. Eléments toxiques.....  | 33 |
| 5. Le pH .....   | 33 |
| II.3.1.2 Les normes de qualité de l'eau d'irrigation .....                   | 33 |
| II.3.1.3 Les types de traitement selon le mode de réutilisation .....        | 34 |
| II.3.1.4 Réglementation .....  | 36 |
| II.3.1.5 Les types d'irrigations .....                                       | 36 |
| 1. Irrigation a la raie.....   | 36 |
| 2. L'aspersion .....   | 36 |
| 3. L'irrigation localisée.....   | 36 |
| 3. L'irrigation souterraine .....  | 37 |
| II.3.2 Le secteur industriel .....   | 37 |
| II.3.3 La recharge des nappes souterraines .....                             | 37 |
| II.4 La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie .....                | 38 |
| II.4.1 Cadre réglementaire d'usage des eaux usées épurées .....              | 38 |
| II.5 Aspects sanitaires .....  | 39 |
| II.6 Aspects économiques et financiers .....                                 | 40 |
| Conclusion .....   | 40 |

## **Chapitre III : valorisation des boues d'épuration**

|   |    |
|---|----|
| Introduction .....  | 41 |
| III.1 Origine des boues urbaines .....  | 41 |
| III.2 Valorisation des boues urbaines .....                                     | 42 |
| III.2.1 La valorisation agronomique .....                                       | 43 |
| III.2.1.1 Qu'apportent les boues d'épuration ? .....                            | 43 |
| III.2.1.2 L'action des boues sur les cultures .....                             | 44 |
| III.2.1.3 les étapes d'une valorisation par épandage agricole des déchets ..... | 45 |
| III.2.1.4 L'application des boues sur le sol .....                              | 46 |
| a) Conditions d'utilisation des boues .....                                     | 46 |
| b) Modalité d'application des boues .....                                       | 46 |
| III.2.1.5 Contraintes limitant l'utilisation des boues en agriculture .....     | 47 |
| 1. Les pathogènes .....   | 47 |
| 2. La toxicité .....  | 47 |
| 3. Les micro-polluants organiques .....   | 48 |
| 4. les micro-polluants minéraux .....   | 48 |
| III.2.2 La valorisation énergie-matériaux .....                                 | 48 |
| i. L'oxydation par voie sèche .....   | 49 |
| ii. L'oxydation par voie humide .....   | 49 |
| III.2.3 Une filière de secours .....  | 50 |

..

## **Chapitre IV : présentation et dimensionnement de la station d'épuration de Tipaza**

|   |    |
|---|----|
| Introduction .....  | 51 |
| IV.1 Présentation de la station d'épuration de TIPAZA .....     | 51 |
| IV.2 Définition de la pollution à traiter .....                 | 51 |
| IV.3 Principe de fonctionnement de la station d'épuration ..... | 52 |
| 1. Traitement des eaux .....                                    | 53 |
| 2. Traitement des boues .....                                   | 53 |
| IV.3.1 Traitements des eaux .....                               | 53 |
| A. Prétraitement .....  | 53 |
| 1. Poste de relevage et dégrillage grossier .....               | 53 |
| 2. Dégrillage fin .....   | 54 |
| 3. Convoyeur à bande .....                                      | 55 |
| 4. Déshuileur/déssableur .....                                  | 56 |
| B. Traitement biologique .....                                  | 56 |
| 1. Bassin biologique .....                                      | 57 |
| 2. Décanteurs secondaires .....                                 | 58 |
| 3. pompes de recirculation des boues .....                      | 58 |
| IV.3.2 Traitement des boues .....                               | 58 |
| 1. Epaisseur de boues .....                                     | 58 |
| 2. Déshydratation par filtres à bandes .....                    | 59 |

## Chapitre V : résultats et interprétations

|  |           |
|--|-----------|
| Introduction .....   | 60        |
| V.1 Fréquences des analyses .....  | 60        |
| V.2 Filières eau .....   | 60        |
| V.2.1 Débit d'entrée .....   | 61        |
| V.2.2 Composition microbiologique des eaux usées .....   | 61        |
| V.2.3 Composition physicochimique des eaux usées .....   | 62        |
| 1. La température .....  | 62        |
| 2. Le PH .....   | 62        |
| 3. Evolution des MES .....   | 63        |
| 4. La pollution Organique DCO et DBO <sub>5</sub> .....  | 64        |
| a) Evolution de la DBO <sub>5</sub> .....  | 64        |
| b) Evolution de la DCO .....   | 65        |
| c) Détermination du rapport de la biodégradabilité .....   | 65        |
| 5. Evolution de l'azote .....  | 66        |
| a) Evolution de N-NH <sub>4</sub> .....  | 66        |
| b) Evolution du N-NO <sub>3</sub> .....  | 67        |
| 6. Evolution du phosphore .....  | 68        |
| 7. Le potassium .....  | 69        |
| 8. le chlorure .....   | 69        |
| 9. La conductivité électrique ( CE ) .....   | 69        |
| i. Calcul de la minéralisation .....   | 70        |
| 10. Calcul du coefficient d'absorption su sodium : SAR .....   | 70        |
| 11. Les Métaux lourds .....  | 71        |
| V.3 Filière des boues .....  | 71        |
| 1. L'indice de Mohlman I <sub>M</sub> .....  | 71        |
| 2. La siccité des boues .....  | 72        |
| 3. Le taux de la matière organique .....   | 72        |
| 4. La richesse en éléments fertilisant .....   | 72        |
| a) Le phosphore .....  | 73        |
| b) Le potassium .....  | 73        |
| c) Le magnésium .....  | 73        |
| d) Le calcium .....  | 73        |
| e) Le rapport C/N .....  | 74        |
| 5. Comparaison des caractéristiques essentielles des boues résiduaires urbaines à celles du fumier de ferme et du compost urbain ..... | 74        |
| 6. Les métaux lourds .....   | 74        |
| <b>Conclusion et recommandations .....</b>   | <b>75</b> |

# Introduction générale

*L'Eau, source de vie* est la plus extraordinaire des molécules connues de l'homme. Celle qui a permis notre apparition, qui maintient notre existence et détient la clef de notre avenir.

Or l'eau n'est pas inépuisable : même si elle couvre 70 % de la surface de notre planète bleue. De plus, seuls 3 % de cette eau sont de l'eau douce, apte à entretenir la vie continentale. Le reste est constitué d'eau salée. Les deux tiers de cette eau douce sont immobilisés dans les calottes polaires et dans les glaciers continentaux et, parmi le tiers restant, la majorité est de l'eau souterraine.

L'activité humaine étant liée à l'eau, la dégradation de sa qualité ne cesse de s'intensifier. Le rejet des eaux usées chargées en substances polluantes dans le milieu naturel récepteur sans aucun traitement préalable est un motif de préoccupation compte tenu des effets indésirables qu'elles peuvent engendrer.

Le rejet direct des eaux usées domestiques et industriels dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique en transformant les rivières en égouts à ciel ouvert. Cette pollution peut aller jusqu'à la disparition de toute vie.

Il faut retirer des eaux usées un maximum de déchets, avant de les rejeter dans l'environnement, pour que leur incidence sur la qualité de l'eau, en tant que milieu naturel aquatique, soit la plus faible possible !

Au début du <sup>xx</sup> siècle, quelques villes et industries ont commencé à reconnaître que le déversement direct des égouts dans les cours d'eau était néfaste ; cela a conduit à la construction d'installations de traitement des eaux usées. C'est à peu près à cette époque que la fosse septique a été introduite comme moyen de traitement des eaux domestiques rejetées par les ménages. Dans les travaux publics de traitement des eaux usées, on a d'abord eu recours à la technique du filtre percolateur puis, entre les années 1920 et 1930, les procédés par boues activées, amélioration notable, se sont développés et ont commencé à être utilisés dans de nombreuses villes. Depuis les années 1970, un stade plus poussé du traitement chimique, par chloration essentiellement, s'est généralisé dans le monde industriel.

La question de l'élimination des eaux usées a revêtu une importance croissante au début des années 1970, compte tenu de la préoccupation générale exprimée partout dans le monde face au problème de plus en plus important de la pollution de l'environnement humain, de

l'atmosphère, des rivières, des lacs, des océans et des eaux souterraines par les déchets ménagers, urbains, agricoles et industriels.

Actuellement la situation en Algérie se caractérise par une demande en eau croissante, alors que les ressources hydriques se raréfient d'une manière permanente pour l'agriculture, en revanche, la production des eaux usées s'accroît et leur réutilisation se présente comme une première réponse à cette situation de pénurie d'eau pour l'irrigation.

L'agriculture Algérienne souffre de plus en plus du manque de matières organiques dans le sol, cela est dû, en partie, aux nouveaux modes de stabulation du bétail (stabulation libre) qui ne favorisent pas la production de quantités importantes de fumier de ferme.

Pour palier à ce déficit, une source extérieure de matières organiques s'avère indispensable et la valorisation des boues d'épuration dans ce domaine est une solution intéressante.

Dans le cadre de notre travail nous nous sommes intéressés aux eaux usées traitées ainsi qu'aux boues d'épuration produites par la station d'épuration de Tipaza dans le but de leur réutilisation dans l'agriculture.

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

- Introduction générale
- CHAPITRE I : l'impact de la pollution et les différents procédés d'épuration des eaux usées.
- CHAPITRE II : La réutilisation des eaux usées épurées.
- CHAPITRE III : La valorisation des boues.
- CHAPITRE IV : Présentation et caractéristiques de la station d'épuration de Tipaza.
- CHAPITRE V : Résultats d'analyses des eaux et des boues d'épuration et interprétations.
- Conclusions et recommandations.

## **Introduction**

L'épuration paraît chose usuelle, tant le terme s'est rapidement répandu. En peu d'années les problèmes de l'eau s'aggravant, de nombreuses installations ont vu le jour et se heurtent aujourd'hui à des difficultés croissantes.

Les stations d'épuration jouent un rôle crucial pour l'environnement et la conservation de notre planète. En effet, les activités domestiques et industrielles ont de graves répercussions sur la préservation de l'eau. La pollution de cette denrée précieuse peut se présenter sous différentes formes : chimique, thermique, bactériologique... il faudrait, pour remédier à ce problème, construire d'avantage de stations d'épuration qui vont limiter la pollution et permettre une économie de l'eau.

### **I.1 Définition de la pollution de l'eau et ses impacts**

La pollution de l'eau est une altération 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, elle a pour origines principales :

- l'activité humaine,
- les industries,
- l'agriculture,
- les décharges de déchets domestiques et industriels.

Elle se manifeste principalement, dans les eaux de surface, par une diminution de la teneur en oxygène dissous (due en particulier aux sous-produits rejetés par l'industrie laitière, au sang rejeté par l'industrie de la viande, aux déchets contenus dans les eaux usées domestiques...), qui peut provoquer dans certains cas des mortalités importantes de poissons.

La présence de produits toxiques provenant, le plus souvent, de l'industrie chimique, de l'industrie des métaux, de l'activité agricole et des décharges de déchets domestiques ou industriels. Rejetées sous différentes formes, ces substances provoquent des effets qui peuvent être de deux formes :

- Effet immédiat ou à court terme conduisant à une toxicité brutale et donc à la mort rapide de différents organismes,
- Effet différé ou à long terme, par accumulation au cours du temps, des substances chez certains organismes.

Une prolifération d'algues, essentiellement liée aux activités humaines, à l'agriculture et à l'industrie,

Une modification physique du milieu récepteur, qui peut être perturbé par des apports aux effets divers :

- Augmentation de la turbidité de l'eau (ex. lavage de matériaux de sablière ou de carrière),
- Modification de la salinité (ex. eaux d'exhaure des mines de sel),
- Augmentation de la température (ex. eaux de refroidissement des centrales nucléaires).

La présence de bactéries ou virus dangereux, provenant de foyers domestiques, d'hôpitaux, d'élevages et de certaines industries agro-alimentaires.

Les éléments perturbateurs décrits ci-dessus parviennent au milieu naturel de deux façons différentes :

- Par rejets bien localisés (villes et industries) à l'extrémité d'un réseau d'égout,
- Par des rejets diffus (lessivage des sols agricoles, des aires d'infiltration dans les élevages, décharges...)

L'introduction de rejets dans le sous-sol provoque une pollution des eaux souterraines qui est caractérisée par :

- Une propagation lente et durable (une nappe est contaminée pour plusieurs dizaines d'années)
- Une grande difficulté de résorption ou de traitement. [1]

## **I.2 Les paramètres indicateurs de la pollution**

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, aussi se réfère-t-on à quelques paramètres pour les caractériser. Ils sont généralement exprimés en mg/L.

### **1. Les matières en suspension MES**

Ce sont des matières non solubilisées, de nature organique et minérale, les premières sont généralement volatiles, elles peuvent être traitées par dégradation biologique ; les dernières de natures minérales essentiellement inertes, elles peuvent être éliminées en grande partie par sédimentation.

Ces matières solides contenues dans les eaux usées sont séparables par filtration décantation (filtres en papier, membranes filtrantes) ou par centrifugation. Les teneurs en MES sont obtenues après séchage à 105°C. [2]

### **2. Les matières volatiles en suspension MVS**

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension, elles sont mesurées par calcination à 560°C pendant deux heures d'un échantillon dont on connaît déjà la teneur en MES. Elles constituent en moyenne 70% des MES. [3]

### 3. La demande chimique en oxygène DCO

Elle représente la quantité d'oxygène consommée pour l'oxydation chimique de la totalité des matières organiques et minérales dissoutes dans l'eau.

Le bichromate de potassium agissant en milieu d'acide sulfurique pendant deux heures à ébullition, à 150°C, oxyde presque entièrement les matières réductrices.

Ce test est particulièrement utile pour l'appréciation du fonctionnement des stations. [3]

### 4. La demande biochimique en oxygène DBO<sub>5</sub>

Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation (avec l'intervention des bactéries) les matières organiques contenues dans une eau usée.

Elle indique la quantité de matière organique présente dans une eau usée, qui est un des plus importants critères qui permet l'évaluation de la quantité et le degré de pollution de ces eaux usées.

Matière organique + bactéries → Boues + gaz + eau

Généralement, la pollution est dégradée d'une manière significative pendant une durée de 5 jours. Au-delà de 5 jours la consommation en oxygène diminue énormément ainsi on a adopté la notion DBO<sub>5</sub> obtenue après 5 jours d'incubation à 20°C et dans l'obscurité.

❖ Le rapport entre la DBO<sub>5</sub> et la DCO peut donner une idée de la biodégradabilité de l'effluent.

« La DBO<sub>5</sub> et la DCO sont deux moyens d'apprécier la teneur en matières oxydables. La dégradation de celles-ci dans le milieu naturel s'accompagne d'une consommation d'oxygène et peut entraîner un abaissement excessif de la concentration d'oxygène dissous. ». [3]

### 5. L'azote

Il Peut se trouver sous forme minérale (ammoniacal, nitrate) ou organique. La présence de toutes les formes d'azote se traduit par une consommation d'oxygène dans le milieu naturel et par une entrave à la vie des poissons. [2]

### 6. Le phosphore

Il peut également se trouver sous forme minérale (en provenance des lessives ou des rejets industriels) ou organiques.

Élément indispensable à la vie des algues au même titre que l'azote, la présence de phosphore entraîne un développement excessif de la population algale et un risque d'eutrophisation du



cours d'eau ou du lac, c'est-à-dire la raréfaction d'O<sub>2</sub> utilisé dans la minéralisation des végétaux en décomposition. [3]

## **7. Microorganismes pathogènes**

Ces microorganismes sont excrétés avec les matières fécales. On compte les bactéries, virus, protozoaires et les helminthes. Chacun de ces paramètres représente une nuisance potentielle.

## **I.3 La nature des eaux usées**

L'origine, la composition et la quantité des déchets sont fonction des modes de vie. Les eaux usées proviennent essentiellement des activités domestiques et industrielles ainsi que des eaux souterraines et des précipitations ; ces catégories d'eaux usées sont communément appelées respectivement eaux domestiques, déchets industriels et eaux pluviales.

### **1. Les eaux usées domestiques**

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en :

- eaux ménagères (appelées aussi eaux grises) : eaux provenant de la cuisine et de la salle de bain et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc.
- eaux vannes (appelées aussi eaux noires) : ce sont les eaux des WC, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

### **2. Les eaux industrielles**

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution.

### **3. Les eaux pluviales**

Elles peuvent, elles aussi, constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et

les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement ("délestage") de ce "mélange" très pollué dans le milieu naturel. Enfin, dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution.

#### **I.4 La collecte des eaux usées**

Le réseau d'assainissement des eaux usées d'une agglomération a pour fonction de collecter ces eaux pour les conduire à une station d'épuration.

La collecte s'effectue par l'évacuation des eaux usées domestiques, (et éventuellement industrielles ou pluviales) dans les canalisations d'un réseau d'assainissement appelés aussi collecteurs. Le transport des eaux usées dans les collecteurs se fait en général par gravité, c'est-à-dire sous l'effet de leur poids. Il peut parfois s'effectuer par refoulement, sous pression ou sous dépression.

S'il est relativement facile de prévoir et de contrôler les volumes d'eaux usées domestiques, il en va tout autrement des eaux pluviales. Il existe deux types de réseaux de collecte :

1) Les réseaux unitaires : évacuent dans les mêmes canalisations les eaux usées domestiques et les eaux pluviales. Ils cumulent les avantages de l'économie (un seul réseau à construire et à gérer) et de la simplicité (toute erreur de branchement est exclue, par définition) ; mais nécessitent de tenir compte des brutales variations de débit des eaux pluviales dans la conception et le dimensionnement des collecteurs et des ouvrages de traitement.

2) Les réseaux séparatifs : collectent les eaux domestiques dans un réseau et les eaux pluviales dans un autre. Ce système a l'avantage d'éviter le risque de débordement d'eaux usées dans le milieu naturel lorsqu'il pleut. Il permet de mieux maîtriser le flux et sa concentration en pollution et de mieux adapter la capacité des stations d'épuration.

#### **I.5 Étapes du traitement**

Qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle les eaux usées sont collectées dans un système d'égouts et acheminées vers une station d'épuration où elles sont épurées par différents traitements tant physiques que chimiques et biologiques, avant d'être rejetées dans les écosystèmes naturels.

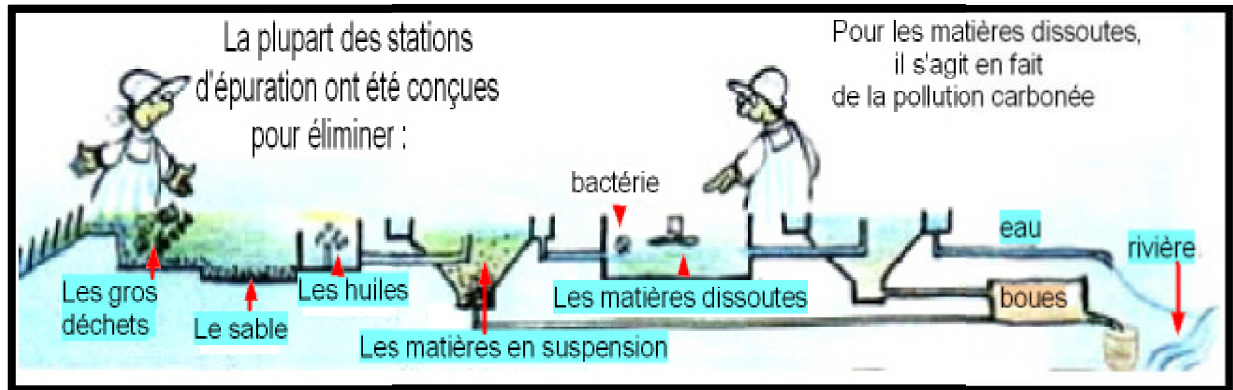


Figure I. 1 : étapes du traitement

## I.5.1 Traitement primaire

### a) Prétraitement

Tout traitement de dépollution doit comporter ce qu'il est convenu d'appeler un «prétraitement » qui consiste en un certain nombre d'opérations mécaniques ou physiques destinées à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne et nuirait aux traitements ultérieurs. Ces opérations sont : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage.

#### 1. Dégrillage

##### i. Pré-dégrillage

L'eau brute passe à travers des grilles composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale. La vitesse moyenne de passage entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s.

Un peigne descend ramasser les gros déchets et les remonte pour les faire tomber dans un container. [5]

##### ii. Dégrillage fin

Les eaux passent ensuite à travers un peigne à dents plus fines : les barreaux, espacés de 2 mm, retiennent 95 % des petits déchets (feuilles d'arbres, mouchoirs, plastiques, cartons, cotons-tiges, ...). Ceux-ci remontent, comme sur un escalator, vers des containers peigne à dents plus fines qui les amèneront dans la décharge. [5]

#### 2. Dessablage

Les sables et graviers susceptibles d'endommager les installations en aval (ensablement de conduites, des bassins, usure des pompes et autres organes métalliques...) se déposent au fond de bassins conçus à cet effet.

Le dessablage s'effectue sur des particules de dimensions supérieures à 0.2mm. La vitesse de sédimentation se calcule par la loi de Stokes (chute libre). On calcule la section du dessableur de manière que la vitesse de l'eau ne descende pas au-dessous de 0,30 à 0,20 m/s ; on évite ainsi que les matières organiques se déposent en même temps que les sables.

Les ouvrages à prévoir pour obtenir une vitesse d'écoulement de 0,30 m/s à 0.6 m/s sont, par ordre d'importance :

- les dessableurs couloirs (à écoulement rectiligne) : dont la vitesse d'écoulement est variable ou constante ;
- les dessableurs circulaires : à alimentation tangentielle ou à brassage mécanique ou à insufflation d'air (pour éviter le dépôt de matières organiques, en heures creuses, avec faible débit) ;
- les dessableurs rectangulaires à insufflation d'air : On insuffle de l'air qui provoque une rotation de liquide et crée ainsi une vitesse constante de balayage du fond, perpendiculaire à la vitesse du transit laquelle, beaucoup plus faible, peut alors être variable sans inconvénient. Le sable est extrait soit mécaniquement par raclage vers un poste de réception, puis repris par pompage, soit directement par pompe suceuse montée sur pont roulant.

Le sable séparé contient malgré tout des matières organiques et plusieurs dispositifs sont appliqués pour améliorer sa qualité : lavage par hydro cyclone, extraction des fosses de stockage par des moyens mécaniques qui font, en même temps, office de laveur de sable (vis d'Archimède en auge inclinée, classification à mouvement alternatif...). [5]

### 3. Déshuilage-dégraissage

Le déshuilage-dégraissage se rapporte à l'extraction de toutes les matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau. Ces matières sont de natures très diverses et leurs quantités s'estime par la mesure des « matières extractibles par solvants ». La teneur des eaux usées en matières extractibles est de l'ordre de 30 à 75 mg/L.

Néanmoins, certains rejets industriels (abattoirs, laiteries...) peuvent élever ces valeurs à 300-350 mg/L.

Les huiles et graisses, lorsqu'elles ne sont pas émulsionnées, sont séparées sous forme de boues flottantes dans des ouvrages comportant une zone d'aération où les bulles d'air augmentent la vitesse de montée des particules grasses et une zone de tranquillisation où s'effectue la récupération. Les graisses flottantes sont raclées et poussées dans une fosse. Elles sont ensuite amenées à un container pour être incinérées. [5]

### b) la décantation primaire

En épuration des eaux usées le traitement primaire est une simple décantation qui permet de supprimer la majeure partie des matières en suspension. Ce sont ces matières qui sont responsables du trouble des eaux usées.

L'opération est réalisée dans des bassins de décantation dont la taille dépend du type d'installation et du volume d'eau à traiter. De la même manière, le temps de séjour des effluents dans ce bassin dépend de la quantité de matière à éliminer et de la capacité de l'installation à les éliminer.

La décantabilité des matières dans un bassin est déterminée par l'indice de Mohlman. Cet indice est déterminé chaque jour dans les stations d'épuration importantes afin de vérifier le bon fonctionnement du système.

À la fin de ce traitement, la décantation a permis de supprimer environ 60% des matières en suspension, environ 30% de la demande biologique en oxygène (DBO) et 30% de la demande chimique en oxygène (DCO). Cette part de DBO supprimée était induite par les matières en suspension. La charge organique restant à traiter est allégée d'autant.

Les matières supprimées forment au fond du décanteur un lit de boues appelé boues primaires. [5]

## **I.5.2 Les traitements secondaires**

A ce niveau, le traitement permet de se débarrasser des impuretés présentes sous forme solubles ou lorsque leur taille ne permet pas d'être piégée dans le traitement primaire.

On distingue deux types de traitement :

- Le traitement physico-chimique ;
- Le traitement biologique ;

### **a) Traitement physico-chimique**

Le traitement physico-chimique est le procédé le mieux adapté aux variations saisonnières de la charge polluante ou à l'existence des matières toxique.

Le traitement physico-chimique passe par trois opérations principales :

- Une coagulation ;
- Une floculation ;
- Une décantation ou une flottation.

Ce qui va suivre nous donne les principaux avantages et inconvénients du traitement physico-chimique. [6]

## b) Traitement biologiques

### A. Les techniques intensives classiques

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs.

Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel.

Deux grands types de procédés sont utilisés :

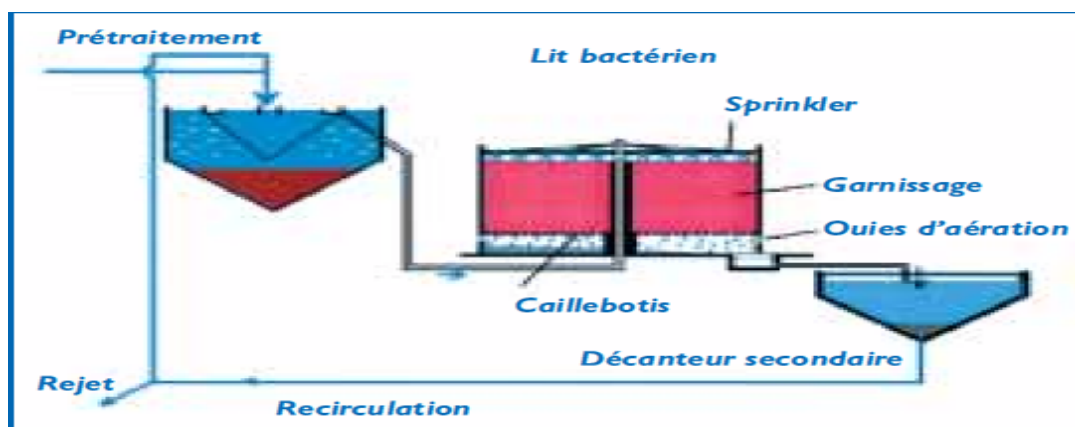
- 1) les traitements sur support fixe : Les lits bactériens et disques biologiques ;
- 2) les traitements sur support libre : Les boues activées ;

### 1. Les traitements sur support fixe

#### i. Les lits bactériens

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs.

Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux. [7]



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

#### ii. Disques biologiques

Une autre technique faisant appel aux cultures fixées est constituée par les disques biologiques tournants.

Les micro-organismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi-immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée.

Il convient, sur ce type d'installation, de s'assurer :

- De la fiabilité mécanique de l'armature (entraînement à démarrage progressif, bonne fixation du support sur l'axe),
- Du dimensionnement de la surface des disques (celui-ci doit être réalisé avec des marges de sécurité importantes). [7]

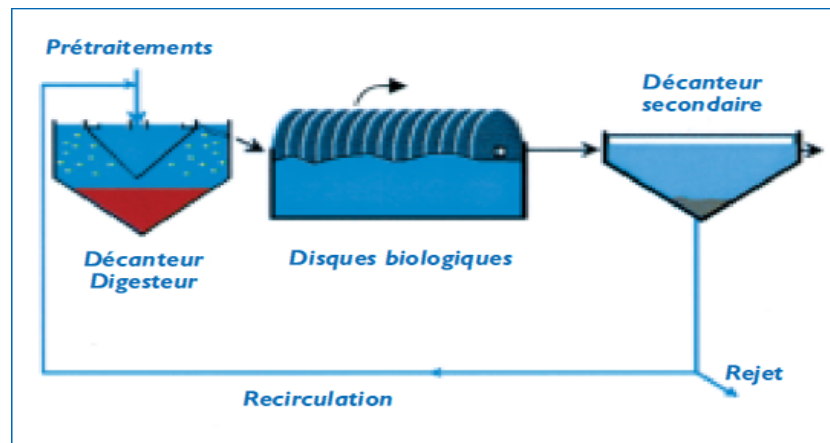


Figure I.3: symptotique d'une station d'épuration comportant un disque biologique

## 2. Les traitements sur culture libre

### *i. Boues activées*

#### **a) Le bassin d'aération**

Dans le traitement biologique à boues activées des effluents, on fait toujours appel aux processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau.

La dégradation est un phénomène complexe générateur de l'énergie nécessaire à la vie des micro-organismes et à ses manifestations, reproduction, croissance, déplacements etc.

De nombreux micro-organismes permettent la dégradation des matières organiques ainsi que leur stabilisation.

Le procédé aérobie provoque le développement de bactéries qui, par des actions physico-chimiques et biologiques retiennent la pollution organique et s'en nourrissent.

Le procédé à boues activées consiste en un réacteur biologique aérobie où l'on provoque le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons appelés bioflocs.

Le réacteur est alimenté en eau polluée et le mélange eau usée plus air plus pollution liquide et solide est appelé liqueur mixte.

La liqueur mixte est maintenue dans un régime turbulent par un système d'aération, les réacteurs de surface, en l'occurrence.

De l'oxygène dissout est donc introduit dans la masse de la liqueur mixte, lequel est nécessaire pour la respiration et le développement des micro-organismes aérobies.

La quantité d'oxygène dans la solution est gouvernée par :

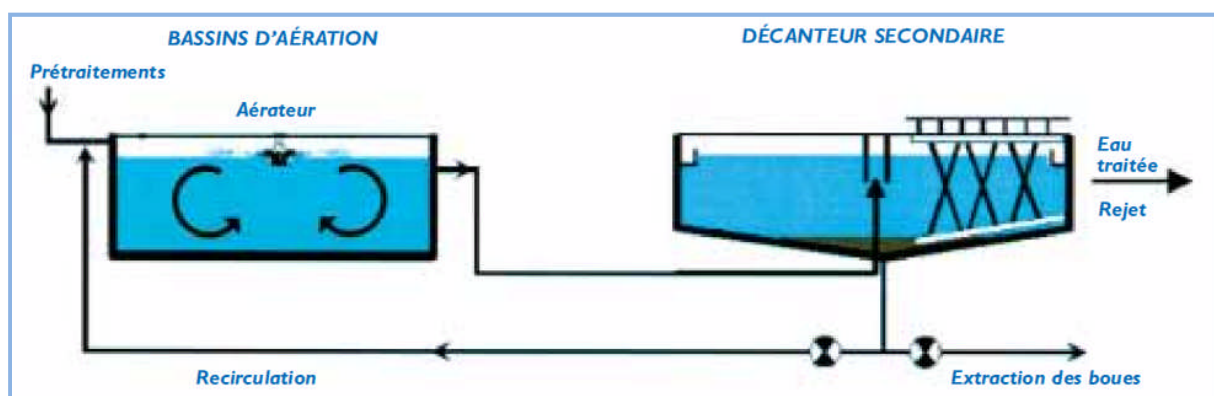
- ☞ La solubilité du gaz ;
- ☞ La pression partielle de l'oxygène dans l'atmosphère ;
- ☞ La température ;
- ☞ La pureté de l'eau (salinité, matières en suspension, etc....)

Après un temps de contact suffisamment long, la liqueur mixte est envoyée dans des clarificateurs mécanisés appelés aussi décanteurs secondaires.

Durant cette phase, une séparation solide/liquide s'effectue par gravité et est améliorée par un mécanisme racleur.

Les boues sont ensuite recyclées dans le bassin d'aération de manière à maintenir une concentration adéquate en bactéries épuratrices.

Les boues en excès venant des décanteurs secondaires sont dirigées vers le traitement des boues. [8]



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



## **b) Le décanteur secondaire**

Dans une station d'épuration, le décanteur secondaire est l'ouvrage fondamental qui assure la séparation gravitaire de la boue et de l'eau épurée rejetée dans le milieu récepteur.

Le bon fonctionnement de cet ouvrage implique le respect des règles de conception, une gestion rationnelle de la production de boue ainsi que la maîtrise de sa décantabilité.

Les ouvrages cylindriques munis de racleur de fond sont à prescrire pour les boues activées. La hauteur d'eau à la périphérie ne doit pas être inférieure à 2,80 m. tout décanteur secondaire est à considérer comme facteur sécurisant au plan hydraulique.

La recirculation permet :

- De maintenir une concentration en MES constante et correcte dans le bassin d'aération.
- D'éviter l'accumulation des boues dans le clarificateur et le débordement du lit de boues.
- De limiter le temps de séjour dans le clarificateur pour garantir une bonne qualité de boues.
- Apport en tête de station d'une eau épurée riches en oxygène et en bactéries épuratrices. Maintient d'une charge massique stable ..... [9]

## **c) Elimination du phosphore**

### **i. Problème du phosphore dans les effluents urbains**

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

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

Il est donc nécessaire de limiter l'apport de phosphore dans les eaux, et les stations d'épuration sont donc concernées au premier chef, car les effluents urbains contribuent à hauteur de 50-70% de l'apport total, le solde étant d'origine agricole. [10]

### **ii. L'élimination biologique du phosphore**

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

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

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

En condition aérobie, les PHA et la matière organique contenue dans les eaux usées sont oxydés par les bactéries. La respiration produit l'énergie nécessaire aux bactéries qui régénèrent leur stock de polyphosphate et croissent. [10]

#### d) Elimination de l'azote

##### i. Problème de l'azote dans les effluents urbains

L'azote présent dans les eaux résiduaires urbaines provient essentiellement de l'urine : on considère un rejet moyen de 13 à 15 g d'azote par jour et par EH sous forme d'urée et d'acide urique. Lors du transport des effluents jusqu'à la station d'épuration, des réactions d'ammonification ont lieu, transformant cet azote organique en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), forme particulièrement nuisible pour les ressources d'eau de surface. En effet, la demande en oxygène exercée par l'ammonium est très élevée et peut conduire à l'eutrophie des ressources ; en outre, il y a dégradation de la qualité de l'eau pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Pour ces raisons, les stations d'épuration doivent prévoir l'élimination de la pollution azotée, qui consiste en la transformation de l'ammonium en nitrites, puis en nitrates. [10]

##### ii. processus d'élimination de l'azote

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

##### ▪ La nitrification biologique:

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



##### ▪ La dénitrification biologique:

Il existe trois modes de réduction des nitrates : la réduction assimilative, la réduction dissimilative incidente et la réduction dissimilative véritable. C'est cette dernière qui nous intéresse plus particulièrement et que l'on appelle abusivement « la respiration des nitrates », car ces derniers jouent, en anoxie, le rôle tenu par l'oxygène en aérobie. Même si beaucoup de

bactéries sont dénitrifiantes, les plus actives dans ce procédé sont essentiellement les *Pseudomonas*. [10]



### e) Charge d'une installation

On définit la charge massique comme étant le rapport de la pollution entrante par unité de masse de population bactérienne chargée de son élimination, la masse bactérienne étant évaluée par le poids de MVS.

$$C_m = \text{DBO5 (entrée (kg/j))} / \text{kg MVS dans l'aérateur.}$$

On distingue les systèmes :

- Aération prolongée..... $0,05 < C_m < 0,1$
- A faible charge (kg DBO5/kg boues.j)..... $0,1 < C_m < 0,2$
- A moyenne charge (kg DBO5/kg boues.j)..... $0,2 < C_m < 0,5$
- A forte charge ( kg DBO5/kg boues.j)..... $0,5 < C_m < 1$
- A tres forte charge ( kg DBO5/kg boues.j)..... $1 < C_m < 5$

Ces limites sont évidemment approximatives et variable avec les auteurs. [11]

## B. Les techniques extensives

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

### ❖ *L'épuration et le rôle des végétaux dans les zones humides artificielles*

Les systèmes d'épurations par zones humides artificielles reproduisent les processus épuratoires des écosystèmes. La grande hétérogénéité et la diversité des plantes, des sols et des types d'écoulement des eaux entraînent une grande variété d'agencements possibles :

- Système d'écoulement en dessous de la surface du sol (filtres plantés à écoulement horizontale ou vertical) ;
- Systèmes d'écoulement d'eau libre de surface (lagunage naturel) ;

Pour l'ensemble des zones humides artificielles, on retrouve les différents mécanismes d'épuration suivants :

➤ Des mécanismes physiques

- ☞ Filtration à travers des milieux poreux et des systèmes racinaires (mécanismes en cultures fixées) ;
- ☞ Sédimentation de MES et de colloïdes dans des lagunes ou marais (mécanismes cultures libre).
- ☞ Précipitation de composés insolubles ou co-précipitation avec des composés insolubles (N, P)
- ☞ Adsorption sur le substrat, suivant les caractéristiques du support mis en place ou par les plantes (N, P, métaux).
- ☞ Décomposition par des phénomènes de radiation UV (virus et bactéries), d'oxydation et de réduction (métaux).

➤ Des mécanismes biologiques

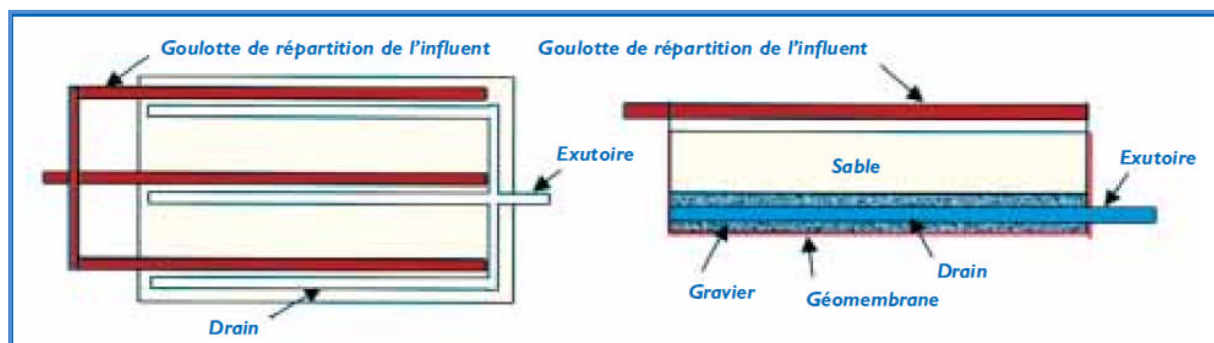
Des mécanismes biologiques, dus au développement bactérien libre ou fixé, permettent la dégradation de la matière organique, une nitrification en zone aérobie et une dénitrification en zone anaérobie. Pour les systèmes à tranche d'eau libre, l'épuration biologique se fera par des processus aérobies près de la surface de l'eau et éventuellement anaérobies en profondeur des dépôts. Le développement des algues fixées ou en suspension dans l'eau (phytoplancton) apporte, par photosynthèse, l'oxygène nécessaire aux bactéries épuratrices aérobies et fixe une partie des nutriments (effet lagunage). [7]

*1. Les cultures fixées sur support fin*

**i. L'infiltration-percolation :**

L'infiltration-percolation d'eaux usées est un procédé d'épuration par filtration biologique aérobie sur un milieu granulaire fin. L'eau est successivement distribuée sur plusieurs unités d'infiltration. Les charges hydrauliques sont de plusieurs centaines de litres par mètre carré de massif filtrant et par jour. L'eau à traiter est uniformément répartie à la surface du filtre qui n'est pas recouvert. La plage de distribution des eaux est maintenue à l'air libre et visible.

Une autre variante intéressante de l'épuration par le sol est constituée par les filtres à sable horizontaux ou verticaux enterrés. Ces techniques utilisées, avant tout, pour les situations relevant de l'assainissement autonome restent intéressantes pour l'assainissement autonome regroupé concernant quelques centaines d'équivalents-habitants. Pour un filtre à sable vertical enterré, un dimensionnement de  $3,5 \text{ m}^2 / \text{hab}$  est nécessaire et une alimentation basse pression est recommandée. [7]



**Figure I.5 : Infiltration-percolation étanchée et drainée**

### iii. Les filtres plantés à écoulement vertical

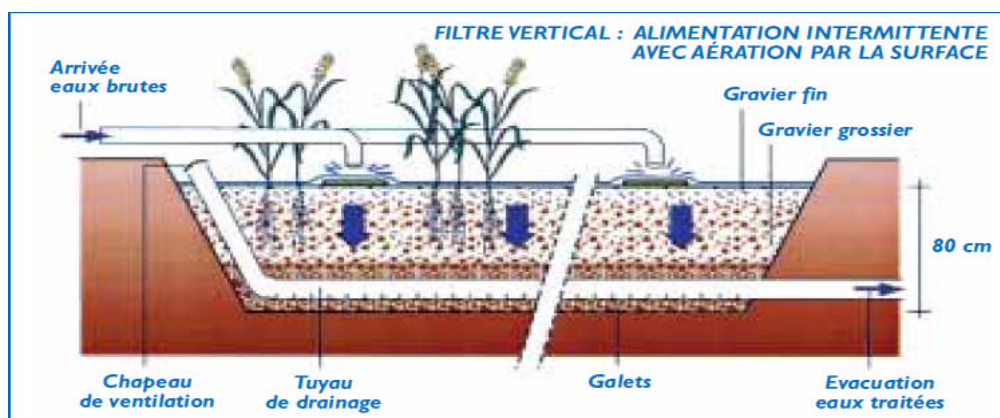
Les filtres sont des excavations, étanchées du sol, remplies de couches successives de gravier ou de sable de granulométrie variable selon la qualité des eaux usées à traiter.

Contrairement à l'infiltration-percolation précédemment évoquée, l'influent brut est réparti directement, sans décantation préalable, à la surface du filtre. Il s'écoule en son sein en subissant un traitement physique (filtration), chimique (adsorption, complexations...) et biologique (biomasse fixée sur support fin). Les eaux épurées sont drainées. Les filtres sont alimentés en eaux usées brutes par bâchées. Pour un même étage, la surface de filtration est séparée en plusieurs unités permettant d'instaurer des périodes d'alimentation et de repos.

Le principe épuratoire repose sur le développement d'une biomasse aérobie fixée sur un sol reconstitué. L'oxygène est apporté par convection et diffusion. L'apport d'oxygène par les racelles des plantes est, ici, négligeable par rapport aux besoins

La filière se compose :

- d'un dégrillage ;
- d'un premier étage de filtres verticaux ;
- d'un second étage de filtres verticaux. [7]



**Figure I.6 : Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical**

### iii. Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal

Dans les filtres à écoulement horizontal, le massif filtrant est quasi-totalement saturé en eau. L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du lit par un système répartiteur situé à une extrémité du bassin ; il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontal au travers du substrat. La plupart du temps, l'alimentation s'effectue en continu car la charge organique apportée est faible.

L'évacuation se fait par un drain placé à l'extrémité opposée du lit, au fond et enterré dans une tranchée de pierres drainantes. Ce tuyau est relié à un siphon permettant de régler la hauteur de surverse, et donc celle de l'eau dans le lit, de façon à ce qu'il soit saturé pendant la période d'alimentation. Le niveau d'eau doit être maintenu environ à 5 cm sous la surface du matériau. En effet, l'eau ne doit pas circuler au-dessus de la surface pour ne pas court-circuiter la chaîne de traitement ; il n'y a donc pas d'eau libre et pas de risque de prolifération d'insectes. [7]

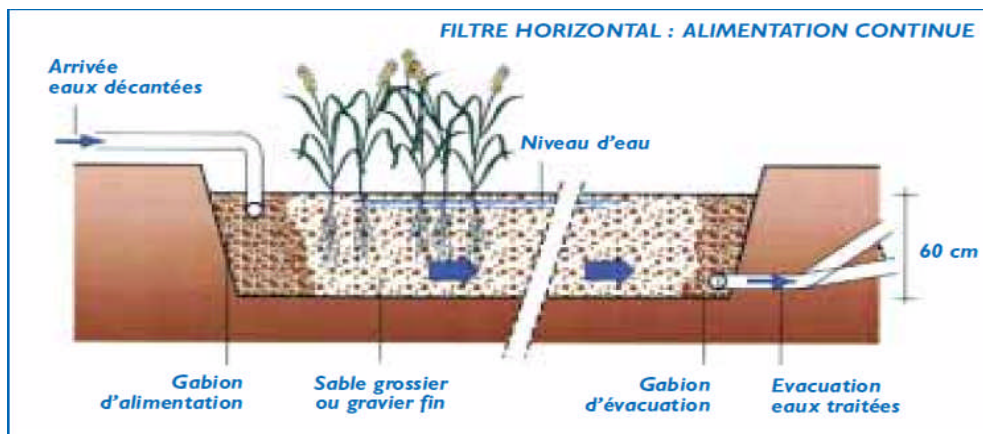


Figure I.7: Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal

## 2. les Cultures libres

### i. Le lagunage :

Le lagunage est une technique naturelle d'épuration des eaux basée sur la dés-eutrophisation. Il s'inspire des systèmes naturels d'épuration et filtration par des micro-organismes, des algues et des plantes aquatiques. Parfois, on fait aussi ruisseler l'eau au travers des racines de plantations d'arbres, éventuellement des saules traités en taillis coupés en courte rotation.

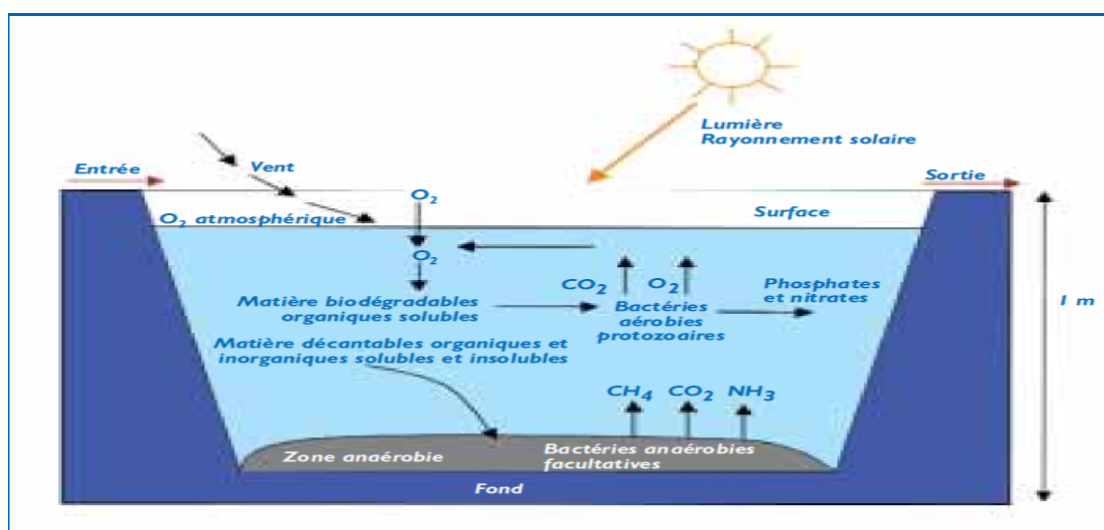
#### Description :

L'eau usée arrive d'abord dans le pré traitements : dégraisseurs, déshuileurs, dessableurs, etc. qui, comme leur noms l'indiquent, sont chargés d'éliminer les particules solides et les graisses.

Les premiers bassins sont des bassins à micro-organisme, où est dégradée la matière organique (MO) contenue dans les eaux usées. L'eau transite ensuite dans des bassins moins profonds, à macrophytes (iris, roseaux, joncs...). Ceux-ci absorbent les éléments minéraux issus de la dégradation de la matière organique pour leur croissance.

Cette technique présente la caractéristique de nécessiter une surface importante, entre 15 et 20 m<sup>2</sup> pour un volume de 50 m<sup>3</sup> d'eau, voilà pourquoi on lui attribue la propriété extensive.

Le temps de séjour doit être élevé (minimum 30 jours, voire plus). Les boues se concentrant sur le fond, interviennent dans la biologie du système et ne doivent être évacuées qu'après quelques 5 à 10 années. [7]



**Figure I.8 : Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel**

## ii. Lagunage aéré

L'oxygénation est, dans le cas du lagunage aéré, apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Ce principe ne se différencie des boues activées que par l'absence de système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu. La consommation en énergie des deux filières est, à capacité équivalente, comparable (1,8 à 2 kW/kg DBO 5 éliminée). [7]

## I.5.3 Traitement tertiaire

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

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

### **1. La chloration**

Cette technique est actuellement la plus employée pour la désinfection des eaux usées.

Elle s'opère par injection (gazeux  $\text{Cl}_2$  ou hypochlorite de sodium  $\text{NaOCl}$ ) ou de bioxyde de chlore  $\text{ClO}_2$  sur une eau préalablement épurée et clarifiée.

Le chlore ; dont les effets bactéricides, germicide et algicides sont connus ; permet une élimination à 99,9 % des germes pathogènes. Cependant il est inefficace sur les virus et protozoaires ou pour des PH supérieurs à 7,5 et difficile à stocker lorsqu'il se trouve à l'état gazeux. De plus son utilisation engendre la formation de chlore résiduel et de chloramine, en présence d'ammoniac, Le bioxyde de chlore beaucoup moins réactif permet d'éviter la formation de chloramines et haloformes tout en présentant une efficacité désinfectante supérieure (notamment sur les virus) en un temps de contact beaucoup plus court. Cependant l'instabilité de ce composé impose sa production sur le lieu d'utilisation rendant sa mise en oeuvre délicate et onéreuse. [12]

### **2. L'ozonation**

L'ozone  $\text{O}_3$ , oxydant puissant, est un désinfectant particulièrement efficace qui permet d'éliminer les bactéries, certains virus, protozoaires et les traces de médicaments dans les eaux usées. Il est généré in situ par décharge électrique sur de l'oxygène pur ou contenu dans l'air.

Ce procédé est généralement utilisé après une épuration biologique des effluents par boues activées permettant de réduire la matière organique sur laquelle l'ozone réagit fortement pour former des aldéhydes et cétones toxiques pour le milieu marin, le rendement moins efficace.

Malgré son efficacité remarquable, l'ozonation est un procédé peu utilisé puisqu'il nécessite des apports importants de réactif chers à l'achat et les concentrations élevées en découlant peuvent engendrer des problèmes de toxicité même si ce traitement offre peut de rémanence. [12]

### **3. Le rayonnement ultraviolet**

Les ultraviolets sont de plus en plus utilisés pour la désinfection des eaux usées urbaines et industrielle notamment dans les zones côtières. Leur pouvoir bactéricide, virucide et germicide les rendent particulièrement efficaces et attractifs d'autant plus qu'ils n'entraînent



pas l'apparition de sous-produit de désinfection toxique pour le milieu naturel contribuant à la sauvegarde des zones aquatiques sensibles.

Ce procédé présente néanmoins quelques inconvénients non négligeable nécessite de mettre en place en amont de son installation un système d'élimination des MES (filtration, charbon actif...) inhibant ce traitement, un vieillissement plus ou moins rapide des lampes ou un cout relativement élevé. Malgré cela cette technique simple est en plain essor. [12]

## I.5.4 Traitement des boues

Les boues urbaines sont produites à plusieurs stades du processus d'assainissement des eaux usées.

Selon les étapes du traitement au cours desquelles elles sont recueillies, on distingue :

- **Les boues primaires dites "fraîches"**, qui sont obtenues au niveau du décanteur primaire, après séparation physique des matières en suspension par décantation ;
- **Les boues physico-chimiques**, qui sont les agrégats formés après des traitements physico-chimiques. Dans ce cas, la décantation est rendue plus efficace par l'agglomération des particules solides en suspension obtenue grâce à l'adjonction préalable de faibles quantités de réactifs chimiques ;
- **Les boues biologiques**, qui proviennent des traitements biologiques des eaux usées dont le principe est la dégradation des substances organiques présentes dans l'eau par les microorganismes qu'elles contiennent et que l'on cultive à cet effet. A la différence des deux types de boues précédentes, qui sont des matières brutes décantées, les boues biologiques résultent de la transformation des matières organiques contenues dans les eaux usées.

Ces trois catégories de boues composent ce que l'on nomme les "boues brutes", à savoir des boues n'ayant pas encore fait l'objet de traitements spécifiques. Les boues "brutes" sont caractérisées par un certain nombre de critères définissant leur composition physique et chimique :

- ✎ **Leur siccité**, c'est-à-dire leur taux de matière sèche ou l'inverse du taux d'humidité. La concentration en, matières sèches est exprimée en grammes de matière par litre de boues (ou en pourcentage pour la siccité) ;

- ▣ **Leur teneur en matière volatile ou matières organiques**, par opposition aux matières minérales. La teneur en matière volatile s'exprime en pourcentage du poids des matières sèches. Elle permet d'évaluer le degré de stabilisation des boues et leur aptitude à subir divers traitements (digestion, incinération, ...) ;
- ▣ **leur teneur en matière minérale** (différence entre matière sèche et matière volatile) ;
- ▣ **Leur pouvoir calorifique** inférieur qui permet d'évaluer leur aptitude à l'incinération. Il correspond à la quantité de chaleur pouvant être dégagée par une certaine masse de boue ;
- ▣ **Leur composition en matières fertilisantes** (carbone organique, phosphore, azote, oligo-éléments), en éléments indésirables (traces métalliques et en composés traces organiques) et en micro-organismes.

Une fois recueillies, ces boues "brutes" vont subir divers traitements spécifiques, adaptés d'une part à leur nature, mais également à leur destination finale.

Trois premières étapes se succèdent généralement

## 1. L'ÉPAISSISSEMENT

C'est le premier stade de traitement des boues. Son principe consiste à enlever une partie plus ou moins importante de l'eau contenue dans les boues. L'épaississement peut être gravitaire, ou s'effectuer par flottation, par égouttage ou par centrifugation. Il a pour objectif de réduire le volume des boues brutes et d'augmenter la concentration des matières (résultat : 3 à 8% de siccité selon les techniques utilisées). L'épaississement facilite en particulier les traitements ultérieurs.

## 2. LA STABILISATION

Elle permet de diminuer le pouvoir de fermentation des boues, c'est-à-dire soit de dégrader les matières organiques qu'elles contiennent, soit de bloquer leurs réactions biologiques. Cette opération peut aussi assurer une fonction d'hygiénisation partielle, c'est-à-dire d'élimination des agents pathogènes présents dans les boues. Elle permet, puisqu'elle évite la fermentation des boues, de limiter les nuisances olfactives. La stabilisation peut être obtenue par des moyens biologiques, chimiques ou thermiques. Si elle intervient après l'épaississement, la stabilisation est souvent obtenue par digestion anaérobie. Lorsqu'elle est mise en œuvre après déshydratation, elle est réalisée par chaulage (ajout de chaux), compostage ou séchage.

### a) *La stabilisation biologique*

Elle réduit la teneur des boues en matières fermentescibles. Elle se fait soit par voie aérobie (en présence d'oxygène) dans les bassins d'aération ou dans des bassins de stabilisation aérobie, soit par voie anaérobie (absence d'oxygène) dans des digesteurs avec

production d'un biogaz riche en méthane. Dans le premier cas, on obtient des boues « aérobies » ou « stabilisées aérobies », dans le second cas des boues « digérées », encore appelées « anaérobies » ou « stabilisées anaérobies ». La digestion anaérobie se pratique surtout dans les pays froids comme les pays de l'ex URSS, Canada et même les pays d'Europe à citer par exemple la France où ce procédé se pratique dans environ 200 stations d'épuration. Par contre en Algérie une seule station d'épuration qui est celle de Baraki- Alger utilisant ce mode de stabilisation anaérobie qui est actuellement en cours de réhabilitation.

**b) La stabilisation chimique**

Elle bloque simplement l'activité biologique, et donc l'évolution de la boue, par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50 % de la matière sèche, en général 30 %) élevant le pH au delà de 11. Le chaulage suppose généralement une déshydratation préalable des boues, sauf dans le cas du filtre-pressé où un lait de chaux est mélangé aux boues liquides. Les boues chaulées obtenues sont de structure pâteuse ou solide.

**c) Le séchage thermique**

Il revêt un effet temporaire de stabilisation (par absence d'eau), persistant aussi longtemps que les boues ne sont pas réhumectées. Pour des raisons de coût, le séchage se pratique sur des boues déjà déshydratées mécaniquement.

**3. LA DÉSHYDRATATION**

La déshydratation peut intervenir avant ou après la stabilisation. Elle permet de pousser plus loin la réduction du volume des boues. Elle est effectuée sur des boues épaissies, stabilisées ou non, et vise à éliminer d'une façon plus ou moins poussée leur humidité. La déshydratation recourt à trois grandes familles de techniques : la filtration, la centrifugation et le lit de séchage (technique de moins en moins utilisée sous sa forme rustique). Ces procédés nécessitent un conditionnement préalable des boues, généralement par un réactif flocculant permettant d'agglomérer les matières solides et de favoriser ainsi la séparation liquide / solide. Résultat : 12 à 40% selon les boues et les matériels utilisés.

Trois autres étapes peuvent compléter le processus de concentration

❖ **LE SÉCHAGE**

En fin de processus, il peut être réalisé pour mieux adapter les boues aux besoins de la filière d'élimination choisie et notamment répondre aux contraintes de stockage et de transport. Différents seuils de séchage sont visés en fonction de la filière d'utilisation finale :

le séchage partiel (30% à 45% de siccité), appliqué pour des boues destinées à être incinérées dans un four spécifique (uniquement dédié à l'incinération des boues) ;

- le séchage poussé (autour de 60% de siccité), pour les boues destinées à la valorisation agricole et à la co-incinération avec les ordures ménagères ;
- le séchage total (plus de 85% de siccité), qui ouvre la voie à toute forme de valorisation (agricole, thermique, valorisation en cimenterie...). [4]

### ❖ LE COMPOSTAGE

Ce post-traitement peut également être effectué afin de modifier la valeur agronomique des boues. Il consiste à mélanger les boues à un autre produit (sciure, écorces, copeaux, fumier, papier, carton, etc.), puis à maîtriser l'évolution du mélange avec l'aération afin d'obtenir un amendement organique. Outre la modification de la valeur agronomique du produit, il est ainsi stabilisé et hygiénisé par la montée en température qui se produit. Suivant la technique utilisée, le compostage réduit le volume par 2 ou 3. [4]

### ❖ LA MÉTHANISATION

Elle se différencie du compostage en ce sens qu'elle consiste en une fermentation anaérobie, contrairement à ce dernier. De plus, la méthanisation s'accompagne d'une production de gaz méthane, dont le pouvoir calorifique peut être récupéré. Tandis que le compostage produit un compost, la méthanisation produit un "digestat", qui peut, selon sa qualité, être mis en décharge, épandu en agriculture, séché ou composté.

#### **Le "produit final"**

A l'issue du traitement, les boues sont liquides, pâteuses, solides, séchées ou compostées. Le mode de traitement des boues, notamment le choix des différentes étapes à appliquer, dépend en grande partie des exigences liées à la destination finale choisie. [4]

## **I.6 Implantation d'une station d'épuration**

La nécessité de la mise en place d'une station passe par un ensemble de disposition qui sont à prendre en considération dans l'élaboration du projet en commençant par le choix du site qui est indissociable de l'étude d'impact.

A cet égard, quelques règles doivent être rappelées :

- Eviter de construire à proximité d'une zone urbaine, une zone industrielle et un environnement touristique ;
- Eviter les zones inondables ;
- Envisager des extensions et les aménagements futurs.

## **1.7 Choix du type de station d'épuration**

La décision du site d'implantation d'une STEP étant prise, il convient après d'en choisir le type.

De nombreux critères de choix peuvent intervenir :

- La nature des eaux usées : il est important de bien connaître les caractéristiques des eaux à traiter et d'identifier les rejets industriels susceptibles d'être présents dans les rejets d'une ville ;
- La qualité d'eau à obtenir : assurer une qualité d'eau en aval qui répond aux normes de rejet dans le milieu naturel, ou pour une éventuelle réutilisation, notamment dans le secteur de l'agriculture.

## **Introduction**

Les démographies galopantes des pays, l'effet de la pollution sur les eaux de surface et souterraines, la distribution inégale des ressources en eau et les graves sécheresses ont conduit à la recherche de nouvelles sources innovatrices d'approvisionnement en eau. Plusieurs solutions dites alternatives ont été élaborées, entre autre la réutilisation des eaux usées épurées (REUE) qui est le sujet traité dans ce chapitre.

Ainsi, les eaux usées deviennent une manière de répondre à la demande en eau, faisant partie des stratégies de mobilisation et de développement des ressources en eau de plusieurs pays, notamment ceux en situation de stress hydrique.

### **II.1 La réutilisation des eaux usées épurées : définition et objectifs**

Une fois épurées, les eaux usées peuvent être réutilisées sous plusieurs formes. Cette réutilisation a pour objectifs :

- protéger l'environnement hydrique. La réutilisation des eaux usées traitées contribue à la diminution de la pollution résiduelle engendrée par l'activité de l'assainissement et contribue à améliorer la qualité des milieux récepteurs, notamment des plages et des zones humides de décharge ;
- économiser l'eau de bonne qualité et réduire le coût du traitement de potabilisation. La pression sur les ressources hydriques s'est particulièrement accentuée pour répondre à la forte croissance démographique, à l'urbanisation, à la diversification des activités économiques et à l'amélioration sensible du niveau de vie ;
- créer des zones supplémentaires d'irrigation ainsi que remettre en valeur certaines terres agricoles devenues impropres à la culture ;
- créer des espaces verts en particulier dans les agglomérations touristiques sans impact sur les ressources en eau potable ;
- limiter la salinité des captages d'eau potable.

### **II.2 Les types de réutilisation**

On distingue deux types de réutilisation :

## 1. Réutilisation directe

La réutilisation directe d'eau existe surtout dans le secteur industriel, où d'importants efforts sont faits pour réduire les prélèvements et les rejets d'eau. Dans la mesure où le second usage est identique au premier, on réserve à cette pratique le terme de recyclage plutôt que de réutilisation.

La réutilisation des effluents urbains pour des usages domestiques est parfois envisagée, mais elle est peu pratiquée car non seulement elle se heurte à la réticence du public, mais elle nécessite aussi des équipements de traitement très coûteux et des circuits de distribution spécifiques.

Voilà pourquoi les exemples d'utilisation pour l'alimentation en eau des chasses de toilettes existent essentiellement dans des pays « riches » tels que la Suisse.

La ville-état de Singapour, qui dépend encore de la Malaisie pour l'essentiel de son approvisionnement en eau, envisagerait de produire de l'eau potable à partir des eaux usées épurées.

Sinon l'eau peut servir à laver les chaussées et les trottoirs et assurer l'alimentation des bouches d'incendie. [13]

L'unique exemple historique de production directe d'eau potable à partir des eaux usées est celui de Windhoek, en Namibie.

Plusieurs projets de démonstration de production directe d'eau potable à partir des eaux résiduaires urbaines ont été menés à Denver aux Etats-Unis, à Capetown en Afrique du Sud, à Sao Paulo au Brésil et à Mexico City. Selon différentes études, la qualité de l'eau produite aux Etats-Unis à partir d'effluents secondaires est meilleure que celle de bien des ressources naturelles de surface. Les études épidémiologiques indiquent l'absence de risques microbiologiques et toxicologiques. [14]

## 2. Réutilisation indirecte

La plupart des systèmes d'assainissement rejettent leurs effluents dans les eaux de surface, qui sont elles-mêmes prélevées en aval pour d'autres usages : industrie, irrigation, eau potable. L'on estime ainsi qu'à Paris en période d'étiage la Seine serait constituée pour moitié d'eau issue des dispositifs d'assainissement. Ce type de réutilisation passe par le milieu naturel : l'eau est prélevée au cours de son cycle hydrologique et a en quelque sorte « perdu son identité » : il s'agit donc de réutilisation indirecte.

En fait le débouché potentiel majeur pour la réutilisation directe d'effluents urbains reste l'irrigation. Trois motifs principaux peuvent conduire à la réutilisation en irrigation :

- ressource naturelle peu disponible : l'eau usée étant d'abord de l'eau, sa réutilisation prend tout son intérêt lorsque la ressource naturelle est rare (climats arides, milieux insulaires)

- difficulté de rejet direct : dans le cas de cours d'eau ayant un débit d'étiage très faible, le rejet d'effluents constitue toujours une source majeure de pollution, même si le traitement est très poussé. D'autres exemples concernent les rejets en milieu karstique (risque de pollution des eaux souterraines) ou en bord de mer (zone touristiques ou conchylicoles). Dans ces cas il est possible d'envisager une réutilisation agricole des eaux usées, le complexe sol-plante servant alors de procédé d'épuration extensif complémentaire. L'un des avantages est que la période sensible (étiage) est aussi celle qui correspond aux besoins en eau maximum des plantes.
- Valorisation des nutriments : les eaux usées domestiques contiennent des éléments fertilisants habituellement utilisés en agriculture : azote, phosphore, potassium, calcium... Il peut être séduisant de considérer que la réutilisation est une manière de valoriser ces éléments. Toutefois cet apport n'est pas un élément décisif dans l'adoption de projets de réutilisation, car, par rapport aux besoins des plantes, les nutriments sont soit surabondants (azote et phosphore), soit pas assez (potassium).

Enfin, il convient de ne pas oublier que les eaux usées peuvent aussi contenir des composés biologiques ou chimiques (métaux lourds, sels) qui peuvent être toxiques pour les ouvriers agricoles, les consommateurs de produits irrigués, les personnes habitant au voisinage des périmètres irrigués, voire les plantes elles-mêmes. Elles contiennent aussi des matières en suspension qui nécessitent des matériels d'irrigation adaptés afin d'éviter les phénomènes de colmatage. Ajoutés au coût des analyses permettant de vérifier l'innocuité des eaux usées au regard des normes en vigueur, ces facteurs peuvent rendre l'apport de nutriments des eaux usées moins compétitif qu'un apport traditionnel d'engrais. [13]

Le stockage intermédiaire des eaux usées (en partie assainies) peut s'effectuer dans des nappes phréatiques, des lacs ou des réservoirs artificiels. Le taux de dilution des eaux usées réutilisées avec l'eau des ressources naturelles varie de 16 à 40 %. Aucun impact négatif sur la santé humaine de ce type d'eau réutilisée n'a jamais été détecté.

Le premier projet de production indirecte d'eau potable à partir des eaux usées en Europe a été mis en place en 1997 dans la région d'Essex (Grande Bretagne) par la société Essex & Suffolk Water. Plus de 35 000 m<sup>3</sup>/j d'eaux usées traitées sont mélangées aux eaux de surface (taux de dilution maximale de 37 %) et envoyés dans le réservoir d'eau potable d'Hanninglied. Un suivi rigoureux de la qualité des eaux réutilisées a été mis en place, complété par de nombreuses études d'impacts sur l'environnement et la santé publique. [14]



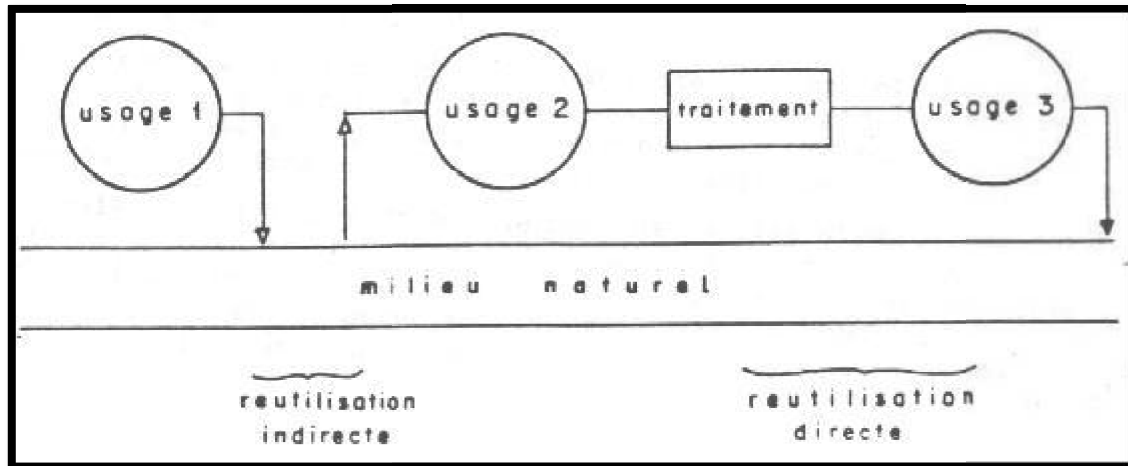


Figure II.1 : Types de réutilisation des eaux usées

## II.3 Domaines de réutilisation des eaux usées épurées

### II.3.1 Le secteur agricole

La majorité des projets de réutilisation des eaux usées concerne des utilisations agricoles. Pour ce secteur, la réutilisation des eaux améliore les rendements des cultures et apporte des bénéfices financiers.

Afin de garantir la protection de la santé publique, il est indispensable de mettre en place des normes et des réglementations strictes et adaptées à la spécificité des différentes cultures. Il existe trois grands groupes de normes : les recommandations de l'OMS (1989), la réglementation californienne « Titre 22 » (1978) et les recommandations de la FAO (1985).

L'objectif principal est d'éliminer les risques sanitaires. Ainsi, pour l'irrigation sans restriction, la pollution microbiologique des eaux usées utilisées doit, selon l'OMS, rester au-dessous de 1 000 coliformes fécaux (CF)/100 ml et moins de 1 œuf d'helminthe/l.

Le « Titre 22 » californien fixe des restrictions plus sévères, voire l'absence totale de germes-tests : moins de 2,2 coliformes totaux (CT)/100 ml. Dans certains pays, les normes sont draconiennes pour les végétaux destinés à la consommation. Ainsi, l'Afrique du Sud exige une qualité d'eau potable pour cette application ; l'état d'Arizona a introduit l'absence de virus comme nouveau paramètre microbiologique.

L'irrigation de cultures ou d'espaces verts est la voie la plus répandue de réutilisation des eaux usées urbaines. Au niveau mondial, c'est également la solution qui a le plus d'avenir à court et à moyen terme. [14]

### II.3.1.1 Caractéristiques de l'eau d'irrigation

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

La qualité de l'eau d'irrigation peut être déterminée par une analyse chimique en laboratoire. Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants:

Cinq principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation :

- SALINITÉ: Contenu total en sels solubles
- SODIUM : Proportion relative des cations sodium ( $\text{Na}^+$ ) par rapport aux autres.
- ALCALINITÉ et la DURETÉ: Concentration d'anions Carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) en relation avec la concentration en calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ) et en magnésium ( $\text{Mg}^{2-}$ )
- CONCENTRATION EN ÉLÉMENTS QUI PEUVENT ÊTRE TOXIQUES
- pH DE L'EAU D'IRRIGATION

Les deux premiers critères sont d'importance majeure car un excès de sels augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plants flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration. [15]

#### 1. La salinité

Elle est représentée par la concentration des ions calciums  $\text{Ca}^{2+}$ , magnésiums  $\text{Mg}^{2+}$ , sodiums  $\text{Na}^+$ , chlorures  $\text{Cl}^-$ , sulfates  $\text{SO}_4^{2-}$  et bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$ . Une salinité élevée traduit de la présence d'une grande quantité d'ions en solution, ce qui amènerait à causer des dégâts irréversibles vis-à-vis des plantes comme les brûlures racinaires.

La salinité étant mesurée par le taux de matières dissoutes totales (MDT) en mg/L. Elle est mesurée également par la conductivité électrique en mS/cm où  $1\text{dS/m} = 640\text{ ppm de sel}$ . [15]

#### 2. Le sodium

Le sodium qui provient de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation est un élément indésirable dans l'eau d'irrigation. En grande quantité il a des effets sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau.

De grande quantité de sodium combiné avec du chlorure donne à l'eau un goût salé.

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ration d'absorption du sodium (SAR). Le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calciums et magnésiums, qui eux, peuvent être tolérés en quantité relativement grande dans l'eau d'irrigation.

### Calcul du SAR :

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

Avec : Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> étant exprimés en meq/l.

- ◆ Eau de SAR > 9 : pas utilisable.

Un usage continu d'eau avec un SAR élevé provoque une déstructuration du sol.

- ◆ Eau de 0 < RAS < 6 : utilisable sur tous les types de sols.

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

- ◆ Eau de 6 < RAS < 9 : risque d'imperméabilité élevé.

Les problèmes dus au sodium sont aussi reliés à la concentration totale en sel de l'eau d'irrigation. Par conséquent, des eaux d'irrigation avec des salinités entre 1,5 et 3,00 mS/cm et un RAS au-dessus de 4 doivent être utilisées avec prudence. Des échantillons de sols doivent être prélevés annuellement afin d'éviter d'éventuels problèmes de salinité des sols. [15]

### 3. *L'Alcalinité et la dureté*

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

Le pouvoir neutralisant de l'eau est attribué à la présence des bicarbonates de calcium et de magnésium ou également mais en moindre mesure aux hydroxydes, bases organiques, borates ou ions ammonium. L'alcalinité est exprimée en ppm (mg/L) de carbonates de calcium CaCO<sub>3</sub>. Pour corriger l'alcalinité, il est nécessaire de rajouter de l'acide, qui va abaisser le pH et ainsi libération des ions Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> et les rendre disponible pour les plantes.

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

Une eau dure n'est pas souhaitable pour une utilisation domestique car elle réduit l'efficacité du savon par contre, en agriculture, une eau dure aide le sol à conserver une bonne structure par les ponts calciques. La dureté est exprimée sous forme d'équivalent de carbonates de calcium en  $\text{CaCO}_3$  (ppm ou mg/L). [15]

#### **4. *Eléments toxiques***

Les éléments toxiques les plus dangereux et notamment à surveiller ; sont le Bore, le Sodium et le Chlore.

Le Bore en excès dans une eau peut être associé à la présence de puits en profondeur. Une eau d'irrigation contenant 1 ppm de Bore cause une accumulation toxique pour les cultures sensibles.

*Les chlorures* causent des dommages lorsque la quantité est élevée surtout pour les eaux d'irrigation par aérosol.

*Sulfates* ; il y a carence si la teneur est inférieure à 48 ppm. [15]

#### **5. *Le pH :***

Lié à la concentration des ions ( $\text{H}^+$ ) en solution, Plus la concentration en ( $\text{H}^+$ ) augmente plus le pH est bas.

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 ; le domaine de pH où la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale. Pour abaisser le pH, on injecte de l'acide, généralement on utilise de l'acide sulfurique. [15]

### **II.3.1.2 Les normes de qualité de l'eau d'irrigation**

La réutilisation des eaux pour l'irrigation n'est possible que si les eaux usées sont traitées selon certaines normes de qualité. La définition de normes et d'une réglementation spécifique est indispensable pour toute politique de mise en œuvre d'une réutilisation durable.

Ces normes devront préciser la qualité physico-chimique et micro biologique des eaux épurées afin de garantir la protection de la santé humaine et la préservation de l'environnement.

Tableau II. 1 : Normes d'irrigation selon FAO et l'OMS

| Paramètres          | unité      | Normes  |              |
|---------------------|------------|---|--------------|
|                     |            | FAO *(1985)   | OMS **(1989) |
| pH                  |            |   | 6,5-8,4 *    |
| Turbidité           | NTU        |   | /            |
| CE                  | dS/m       | <0,7 * Aucune restriction<br>0,7 – 3,0 * restriction légère à modérée<br>>3.0 * Forte restriction |              |
| MES                 | mg/l       |   | < 70**       |
| DCO                 | mg O2 /l   |   | < 40 **      |
| DBO5                | mg O2/ l   |   | <10 **       |
| NO <sup>3-</sup>    | mg/l       |   | 50 **        |
| NO <sup>2-</sup>    | mg/l       |   | < 1 **       |
| NH4 +               | mg/l       |   | < 2 **       |
| PO4 <sup>-3</sup>   | mg/l       |   | < 0,94 **    |
| HCO3 -              | mg/l       |   | 500 *        |
| Cl <sup>-</sup>     | mg/l       |   | 1065 *       |
| Ca <sup>2+</sup>    | mg/l       |   | 400*         |
| Mg <sup>2+</sup>    | mg/l       |   | 60,75 *      |
| K+                  | mg/l       |   | 50 *         |
| Na <sup>+</sup>     | mg/l       |   | 920 *        |
| Chlore résiduel     | mg/l       |   | /            |
| SAR                 | meq/l      | <3* Aucune restriction<br>-3-9* restriction légère à modérée<br>>9* Forte restriction             |              |
| Coliformes          | UFC/100    |   | /            |
| Streptocoque fécaux | UFC/100 ml |   | 1000 **      |
| Salmonelles         | UFC/ 1L    |   | Absence **   |

Source [MRE]

### II.3.1.3 Les types de traitement selon le mode de réutilisation

La technique d'épuration dépend de l'usage final de l'eau usée. Le tableau de la figure suivante résume les traitements (intensifs et extensifs) selon le mode de réutilisation qui sont évidemment conformes aux normes. [16]

**Tableau II.2: Procédés d'épuration pour usages principaux**

| <b>Mode de réutilisation</b>   | <b>Traitement extensif</b>   | <b>Traitement intensif</b>   |
|--|--|--|
| <b>Irrigation de cultures bien définies (arbres fruitiers, légumes cuits):</b>                   | bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées; marais; infiltration-percolation  | boues activées ou filtre biologique avec désinfection  |
| <b>Irrigation de cultures sans restrictions, légumes consommés crus</b>                          | bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées; marais; infiltration-percolation avec désinfection finale dans réservoirs de stockage.  | boues activées ou filtre biologique avec filtration poussé et désinfection   |
| <b>Utilisation urbaine pour l'irrigation de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf</b> | bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées; marais; infiltration-percolation avec désinfection finale dans réservoirs de stockage.  | boues activées ou filtre biologique avec filtration et désinfection en cas d'accès libre du public                               |
| <b>Restauration des nappes phréatiques</b>   | bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées; marais; infiltration-percolation avec désinfection finale dans réservoirs de stockage et filtration dans le sol vers l'aquifère | boues activées ou filtre biologique avec filtration et désinfection et élimination des nutriments (si nécessaires)               |
| <b>Réseaux doubles pour recyclage des eaux grises en immeubles</b>                               | Non applicable   | boues activées ou filtre biologique avec filtration sur charbon actif (si nécessaire) ou filtration sur membrane et désinfection |
| <b>Utilisation directe ou indirecte dans le réseau d'eau potable</b>                             | Non applicable   | Traitement secondaire, tertiaire et avec charbon actif, filtration sur membrane et désinfection poussée                          |

### II.3.1.4 Réglementation

La réutilisation des eaux usées épurées soulève la question des risques sanitaires et du traitement adéquat à apporter pour éliminer les polluants et les contaminants présents.

Chaque pays élabore ses propres normes, en associant protection de l'environnement et de la santé publique. En vu de l'absence de la norme algérienne concernant l'eau d'irrigation on est obligé de se référer au trois réglementations de référence :

- Les normes de l'OMS de 1989 ;
- California Water Recycling Criteria (Title 22) de 1993;
- Les normes de la FAO de 1985.

### II.3.1.5 Les types d'irrigations

#### 1. *Irrigation à la raie*

L'irrigation par submersion et l'irrigation à la raie sont les deux techniques traditionnelles d'irrigation. L'irrigation par submersion, très grosse consommatrice d'eau. L'irrigation à la raie est beaucoup plus pratiquée. Elle a fait l'objet tout récemment d'effort de modernisation [17].

#### 2. *L'aspersion*

L'eau est fournie aux plantes sous forme de pluies artificielles issues d'appareils d'aspersion alimentés en eau sous pression. Cette technique ne nécessite aucun nivellement de la surface irriguée et assure l'aération du sol. Ce mode d'irrigation permet un dosage précis des apports, d'où une économie d'eau. Il a le gros avantage d'assurer une bonne homogénéité de la répartition des apports.

C'est une des méthodes permettant d'arroser convenablement des sols très perméables.

Elle exige une adaptation de la qualité microbiologique de l'eau recyclée à la nature des cultures arrosées [17].

#### 3. *L'irrigation localisée*

L'eau est distribuée à faible débit dans un réseau sous pression qui est à même le sol ou suspendu ou encore partiellement souterrain. Le réseau est constitué de rampes souples ou demi dures, perforées ou munies, à intervalles variables selon les cultures, de dispositifs distributeurs, tels que ajutages, goutteurs, mini-diffuseurs.

La distribution est fréquente ou contenue, ce qui permet de maintenir humide la zone entourant les racines, sans pertes entre les plantes.

Cette technique permet de :

1. limiter les percolations profondes.
2. réduire la levée et la croissance des mauvaises herbes

3. limiter les risques de contamination par les maladies. [17]

#### **4. L'irrigation souterraine**

L'irrigation souterraine fonctionne à l'inverse du drainage : l'eau est envoyée sous légère pression dans des drains enterrés et remonte par capillarité. Cette technique permet de :

1. Garder la partie supérieure du sol sèche.
2. Diminuer les risques d'accumulation des sels.

L'irrigation souterraine semble prometteuse pour l'utilisation d'eaux usées en irrigation, ces eaux doivent être filtrés ou décantés afin d'éviter le colmatage des tuyaux enterrés. Ces derniers devront d'autre part être purgés périodiquement. [17]

### **II.3.2 Le secteur industriel**

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour certains pays et types d'industries, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau. Les secteurs les plus grands consommateurs en eau sont les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) et les papeteries. La qualité de l'eau réutilisée est réglementée et dépend du type d'application ou de production industrielle. La part des eaux usées urbaines ne dépasse pas 15% du volume des eaux réutilisées en industrie. Aux Etats-Unis, par exemple, le volume des eaux résiduaires réutilisées en industrie est d'environ 790 000 m<sup>3</sup>/j, dont 68 % pour le refroidissement. [14]

### **II.3.3 La recharge des nappes souterraines**

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 les 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 y a deux possibilités de recharger des nappes aquifères :

- Déversement direct des eaux épurées après un haut degré de traitement par un forage.
- l'infiltration-percolation: cette technique utilise les capacités épuratrices des sols en combinant l'épuration complémentaire et recharge de nappes.



## II.4 La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie

L'Algérie enregistre un déficit pluviométrique qui conduit à un faible taux de remplissage des barrages. L'irrigation se basant principalement sur l'apport des barrages s'en voit menacée, d'ailleurs elle n'est satisfaite qu'à 25%. [18]

La REUE est une solution à ce problème. Celle-ci est destinée, en Algérie, uniquement à l'irrigation.

La mobilisation des eaux usées épurées n'est pas très répandue. Néanmoins, plusieurs projets sont en réalisation.

En 2005, les stations d'épuration (STEP) en exploitation étaient au nombre de 29 (22 à boues activées, 7 lagunage). Le reste constituait :

-22 STEP en réalisation

-11 STEP en cours de réhabilitation

-8 STEP en cours d'étude de diagnostic pour la réhabilitation

-8 STEP en projet (Programme 2006-2009)

La capacité d'épuration des stations en exploitation était de l'ordre de 195 millions de m<sup>3</sup>/an, mais ces stations fonctionnent en dessous de leurs capacités, ce qui ramène le volume d'eaux épurées à 100 millions de m<sup>3</sup>/an.

Voici quelques chiffres du Ministère des Ressources en Eau :

Réutilisation directe :

Le seul ouvrage existant est celui situé à l'aval de la station d'épuration de Bordj Bou Arreridj d'une capacité de 2 500 m<sup>3</sup>/j destiné à l'irrigation d'un périmètre d'une superficie de près de 100 ha.

Selon le programme 2009-2013, ce volume sera de 554 512 m<sup>3</sup>/j

### II.4.1 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.

Le décret n°07-149 du 20 mai 2007 fixe les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges y afférent :

- Concession à travers un cahier des charges à toute personne morale ou physique de droit public ou privé.
- Qualité spécifique fixée par arrêté (santé, eau, agriculture)
- Cultures fixées par arrêt (santé, eau, agriculture)
- Contrôle sanitaire (personnel, produit agricole, sol)
- Dispositions financières (redevance pour la concession, tarif pour la fourniture d'eaux usées épurées). [18]

## II.5 Aspects sanitaires

Les risques sanitaires liés à l'utilisation des eaux usées doivent être évalués par rapport aux différents groupes d'agents pathogènes et aussi par rapport aux groupes sociaux cibles à savoir :

- Les professionnels de l'épuration et leurs familles.
- Les agriculteurs et leurs familles.
- Les consommateurs de produits agricoles issus de champs de réutilisation des eaux usées.

D'une manière générale, on avait assisté par le passé à la confusion entre danger potentiel et risque réel, ce qui avait conduit à l'application de recommandations biologique trop sévère quia pour effet une restriction de l'utilisation des eaux usées.

En 1985, lors de la réunion d'Engelberg (suisse), les experts ont rehaussé les valeurs limites, avec l'espoir d'une mentalisation (surtout dans les pays en voie de développement ou l'eau fait habituellement défaut) des eaux usées pour l'agriculture et l'aquaculture.

Ces recommandations devraient se baser principalement sur la destination des produits de récolte. Les cultures dont les produits sont destinés à être consommés à l'état frais ne se placent pas sur le même niveau de danger que les cultures à produits consommables exclusivement à l'état cuit.

Il en est de même pour l'irrigation d'espaces vert ou de forêts.

Les nombres guides retenus par l'OMS sont :

- L'élimination complète (ou quasi) des helminthes intestinaux, avec une moyenne inférieur à 1 œuf par litre d'eau.
- Une élimination très importante des bactéries pathogènes (provoquent des maladies) avec une valeur moyenne inférieure à 1000 coliformes fécaux dans 100 ml d'eau.

Ces deux mesures sont de stricte application pour les cultures à diffusion large.

L'effluent produit qui respecte les 2 conditions susmentionnées est défini par l'OMS comme pouvant être utilisé en irrigation sans restriction.

En plus, il y a d'autre exigence à respecter

- Absence de salmonelles par 5 litres d'eau ;
- Absence des vibrions colériques par 450 ml d'eau. [19]

## **II.6 Aspect économiques et financiers**

Ces aspects doivent tenir compte du cout de production de l'eau comme alternative à l'utilisation d'une eau conventionnelle, de l'impacte de l'utilisation des eaux usées sur l'environnement notamment, sur la qualité et la quantité des eaux des ressources en eaux souterraines ou de surface.

Un certain nombre de mesures de prévention doivent être mises en œuvre dans le cadre de tout projet de réutilisation :

- Choix du système d'irrigation le plus apte à réduire les risques sanitaires.
- Vaccination des groupes sociaux cibles.
- Pour les agriculteurs, il a lieu de se conformer à une éducation sanitaire rigoureuse : (port bottes, gents...).
- Implantation des projets loin des agglomérations.
- Choix des cultures. [19]

## **Conclusion**

La réutilisation des eaux usées est une technique en pleine expansion, principalement associée à l'agriculture. De nombreuses solutions techniques permettent de répondre aux normes de réutilisation existantes, en particulier aux directives de l'OMS sur l'irrigation restreinte et sans restrictions.

Dans les pays où les réserves actuelles d'eau douce sont, ou seront prochainement, à la limite du niveau de survie, le recyclage des eaux usées semble être la technique alternative la plus abordable, tant au niveau financier (les traitements extensifs sont les plus adaptés) qu'au niveau technique pour les réutilisations agricoles, industrielles et urbaines ne nécessitant pas une eau de qualité potable.

## Introduction

Tout traitement d'épuration conduit à la production de déchets, en volume comme en nuisances, les boues constituent les principaux déchets à traiter sur une station d'épuration. C'est donc une masse de plus en plus importante qu'il convient de traiter, suite à l'amélioration de la collecte des eaux usées, à l'augmentation des rendements et à l'accroissement de la quantité de boues produites, notamment à cause de la déphosphatation, les boues peuvent être évacuées :

- en agriculture ou en sylviculture (forêts);
- vers une décharge ou un centre de stockage contrôlé ;
- vers un incinérateur à boues ou à déchets ménagers ;
- vers le milieu marin pour certains états membres, mais cette pratique est condamnée à court terme.

### III.1 Origine des boues urbaines

Les boues résiduaire issues de l'épuration des eaux usées sont principalement constituées des matières biologiques résultant de la dépollution et d'éléments minéraux présents dans le milieu, leur composition fait apparaître :

- de l'eau,
- des matières sèches constituées à la fois de matières organiques et de substances minérales riches en éléments nutritifs contenant de l'azote, du phosphore, du soufre, etc.,
- des micro-organismes variés, dont des pathogènes,
- des « éléments-traces » métalliques d'origine industrielle, domestique ou provenant de ruissellement des eaux pluviales,
- des « composés-traces » organiques plus ou moins dégradés par l'activité biologique.

Aussi, il est évident que la qualité des boues dépend de celle des rejets liés aux diverses activités raccordées au réseau d'assainissement.

La qualité des boues dépend également du type de traitement d'épuration appliqué aux eaux usées, qu'il soit physique, physico- chimique ou biologique. [20]

#### ❖ Le rapport C / N :

Le rapport C/N ou rapport carbone sur azote est un indicateur qui permet de juger du degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol:

- ♦  $C/N < 15$  : production d'azote, la vitesse de décomposition s'accroît ; elle est à son maximum pour un rapport  $C/N = 10$
- ♦  $15 < C/N < 30$  : besoin en azote couvert pour permettre une bonne décomposition de la matière carbonée,
- ♦  $C/N > 30$  : Pas assez d'azote pour permettre la décomposition du carbone (phénomène de "faim d'azote"). L'azote est alors prélevé dans les réserves du sol. La minéralisation est lente et ne restitue au sol qu'une faible quantité d'azote minéral.

Il est couramment admis que, plus le rapport C/N d'un produit est élevé, plus il se décompose lentement dans le sol mais plus l'humus obtenu est stable. [21]

### ❖ Le complexe argilo-humique

L'humus s'agrège avec de l'argile pour former un complexe argilo-humique. La liaison entre l'argile et l'humus est réalisée notamment grâce à l'action des vers de terre.

L'humus empêche la dispersion de cette argile due, par exemple, à un excès d'humidité.

Le complexe argilo-humique présente un autre avantage. L'argile protège l'humus contre les attaques des microbes. Dans un sol sans argile l'humus est rapidement transformé en minéraux.

Le complexe argilo-humique peut contenir des éléments sableux. [21]

## III.2 Valorisation des boues urbaines

On distingue globalement deux filières de valorisation :

- 1) **la valorisation agricole** pour les boues présentant un intérêt fertilisant et conforme aux exigences réglementaires d'innocuité. Cette filière permet le retour au sol de la matière organique et de ses composés fertilisants, réduisant d'autant l'utilisation d'engrais minéraux.
- 2) **la valorisation énergie-matériaux** mettant en œuvre des traitements par incinération spécifique, co-incinération avec les déchets ménagers, oxydation par voie humide (OVH) ou, enfin, traitement en cimenterie. Cette filière permet de répondre aux objectifs de réduction de la production de gaz à effet de serre, en utilisant les boues comme combustibles renouvelables.

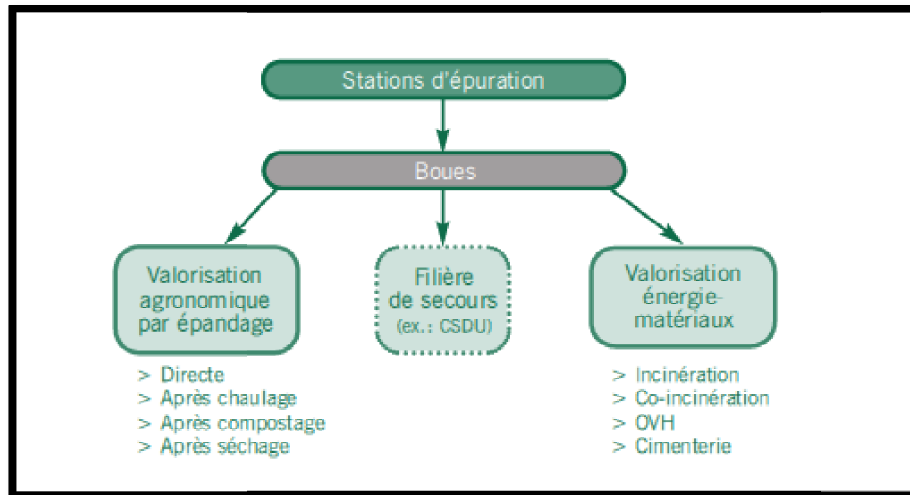


Schéma III. 1 : les différentes filières de valorisation des boues d'épuration

### III.2.1 La valorisation agronomique

La valorisation agronomique constitue la filière la plus utilisée depuis des décennies sans qu'aucune difficulté d'ordre sanitaire ou agronomique ne soit apparue, elle répond aussi parfaitement aux besoins de matières organiques et d'éléments fertilisants des sols mis en cultures, ainsi qu'aux critères du développement durable.

La valorisation agronomique des boues sous forme brute, chaulée, compostée ou séchée est réalisée par épandage sur les sols.

Elle consiste en l'application au sol des boues à l'aide de matériels appropriés. Les conditions de mise en œuvre et de suivi étant parfaitement définies par un plan d'épandage (surfaces, stockages, filière de secours, etc.). L'épandage doit être effectué dans des conditions de transparence et de traçabilité parfaites.

Cet épandage peut concerner des boues liquides, mais pour des raisons réglementaires, cette pratique doit disparaître rapidement au profit de boues déshydratées mécaniquement ou provenant d'autres procédés (macrophytes par exemple). [20]

#### III.2.1.1 Qu'apportent les boues d'épuration ?

L'épandage des boues ne peut être pratiqué que si celles-ci présentent un intérêt pour les sols ou pour la nutrition des cultures et des plantations.

Par leur composition, les boues, une fois épandues, augmentent le rendement des cultures. Elles contiennent des nutriments pour les cultures et servent d'amendement organiques et calciques pour améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol, surtout si elles sont chaulées ou compostées. Des micro-organismes présents en grand nombre dans le sol digèrent en partie les matières organiques apportées par les boues et les transforment en éléments minéraux disponibles pour la plante. Une autre partie des matières organiques est incorporée au sol et contribue à l'entretien d'une structure favorable au développement des racines.

**i. Les boues peuvent être chaulées.**

Le chaulage consiste à mélanger des boues, préalablement déshydratées, à de la chaux vive. La réaction exothermique qui s'ensuit ainsi que l'élévation du pH contribuent à une hygiénisation du milieu, à une augmentation de la siccité de la boue (diminution de la teneur en eau) et donc à une manutention plus aisée (stockage, reprise, épandage). Une boue chaulée représente un excellent amendement calcaire pour les sols acides.

**ii. Les boues peuvent être compostées.**

Le compostage consiste à développer une fermentation aérobie dans un milieu constitué d'un mélange de boues avec un substrat carboné du type écorces, plaquettes de bois, déchets verts ligneux, rafles de maïs, etc.

Après fermentation, maturation et criblage le résultat est l'obtention d'un compost qui est un excellent amendement organique, hygiénisé, facile à stocker et à manipuler.

**iii. Les boues peuvent être séchées.**

Le séchage fait intervenir deux techniques :

- soit par action du soleil sur des boues placées sous serre, préalablement déshydratées mécaniquement. Ce procédé connaît un récent développement et concerne surtout les usines d'épuration de petite et moyenne capacité,
- soit par action de la chaleur de manière directe, indirecte ou mixte, selon le type de sécheur. Ce traitement est plutôt réservé aux usines d'épuration de plus grande capacité.
- L'intérêt du séchage (réduction des volumes, réduction des odeurs, meilleure manutention) est d'élargir l'éventail des solutions pour les boues et d'en faciliter leur utilisation et l'accès aux filières agronomiques et énergie-matériaux. [20]

**III.2.1.2 L'action des boues sur les cultures**

Les boues contiennent certains éléments tels que l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium, utiles à la croissance des plantes.

Contrairement aux éléments minéraux apportés par les engrais de synthèse, et qui sont directement utilisables, la disponibilité des éléments fertilisants des boues comme celle du fumier ou du compost est dégradée et progressive.

Un apport de la matière organique a pour premier effet de favoriser la croissance des microorganismes et d'augmenter le pouvoir de rétention de l'Azote par le sol.

La minéralisation ou l'immobilisation des éléments nutritifs est un facteur clé de la nutrition des plantes. C'est le rapport C/N (carbone/azote). Le rapport C/N est le rapport entre la teneur en carbone et la teneur en Azote d'une matière donnée. [22]

Lorsque des microorganismes décomposent des matières à teneur élevée en C comme des résidus de coupe (p. ex., des rémanents), ils ont besoin d'un bon approvisionnement en N et P pour vivre et se développer. A mesure que les éléments nutritifs sont utilisés par les microorganismes, ils deviennent immobilisés dans la biomasse microbienne et ne peuvent être assimilés par les plantes.

Dans un sol pauvre en éléments nutritif, cette immobilisation pourrait provoquer des problèmes temporaires de nutrition chez les arbres tant que le premier stade de la décomposition ne sera pas terminé. D'autre part, en présence d'une abondante matière organique à rapport C/N relativement faible (c.-à-d. qu'il y a plus de N que de C à la disposition des microorganismes), il est possible de fournir des éléments nutritifs aux plantes beaucoup plus facilement et de réduire l'immobilisation par les décomposeurs.

- C/N < 10 : l'azote se minéralise, il est disponible pour les plantes, mais il risque d'être lessivé.
- C/N ≈ 10 : un milieu stable, la teneur moyenne d'un sol ou d'un amendement évolué.
- C/N > 15 : la minéralisation de l'azote se produit difficilement et la concurrence pour l'azote minérale est très forte entre les microorganismes et les plantes. Un tel milieu présente une carence en Azote.

### III. 2.1.3 les étapes d'une valorisation par épandage agricole des déchets

Les déchets susceptibles de subir une valorisation agricole doivent en premier lieu faire l'objet d'une étude préalable et il convient donc de :

➤ Définir les caractéristiques des déchets (teneur en matière sèche, matière organique et azote, pH...) et leur aptitude à l'utilisation agricole (innocuité et intérêt agronomique ou nutritionnel),

➤ Analyser le contexte agricole et le milieu naturel (possibilités d'épandage sur les sols en question, besoins des agriculteurs, cultures aptes, climatologie...).

Si la valorisation agricole est envisageable, trois conditions devront être respectées :

➤ Valoriser un déchet répondant aux critères d'innocuité et réduire les teneurs en éléments ou traces pathogènes, plastiques...

➤ Éviter les odeurs,

➤ Faciliter le stockage et l'épandage du déchet en augmentant la siccité de celui-ci ou en mettant en place un traitement complémentaire.



Il convient également de :

- ➔ Posséder une capacité de stockage suffisante pour pouvoir épandre aux périodes les plus propices,
- ➔ Choisir un matériel d'épandage adapté pour répartir de façon homogène le déchet au sol.

#### **III.2.1.4 L'application des boues sur le sol**

##### *a) Conditions d'utilisation des boues*

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

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

A l'état actuel, on considère que la quantité d'azote utilisable correspond à la quantité d'azote organique susceptible d'être minéralisée pendant la période de végétation de la compagne qui suit l'épandage, à laquelle s'ajoute la quantité d'azote minéral initialement présente dans le produit brut. On estime que la quantité d'azote utilisable pendant l'année qui suit l'épandage correspond à environ 30 à 50 % de l'azote total pour les boues liquides et 20 à 45 % pour les boues déshydratées.

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

##### *b) Modalité d'application des boues*

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

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

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

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

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

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

### **III.2.1.5 Contraintes limitant l'utilisation des boues en agriculture**

Afin d'éviter les problèmes pédologiques et agronomiques entraînant une baisse de rendement, le domaine d'emploi d'une boue est déterminé en fonction des risques qu'elle peut présenter.

#### ***1-Les pathogènes***

Les principales maladies transmises par les effluents sont les suivantes : schistosomiase, ankylostomiase, ascaridiose, toeniadysenterie, choléra, dysenterie bacillaire, poliomyélite, hépatite infectieuse.

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

Les organismes pathogènes qui ont résisté à l'épuration n'ont pas toute la faculté de survivre sur ou dans le sol.

Dans le sol les germes sont dans un milieu qui leur est très favorable (car froid et sec; de plus y sont exposées aux radiations solaires).

En outre, ils sont en compétition avec les microorganismes qui s'adaptent bien au milieu et se développent rapidement. Le problème des pathogènes est en effet difficile à résoudre. Certains parasites par exemple restent plusieurs années dans le sol. ils sont d'autant plus difficiles à éliminer qu'ils prennent une forme enkystée dans les conditions défavorables alors qu'ils se développent lorsqu'ils se retrouvent dans les animaux à sang chaud ou chez l'homme. [23]

#### ***2-La toxicité***

La toxicité se manifeste dans le végétale lui - même comme résultat de l'absorption et de l'accumulation de certaines substances contenue dans l'eau d'irrigation ou

dans les boues. La présence de métaux lourds dans les boues peut également constituer un danger qui pourrait provenir de l'accumulation de ces derniers dans les cultures (effet de concentration) et leur transmission aux consommateurs. [23]

### **3 -Les micros polluants organiques**

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

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

- La présence de tensioactifs perturbe la digestion anaérobie des boues.
- Ils influent sur les propriétés d'échange d'ions du sol
- Ils ont enfin une action néfaste sur les microorganismes et sur les plantes.

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

D'autres éléments tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le chrome, l'aluminium, le nickel, et l'arsenic ne sont pas utiles dans le sol et leur concentration ne doit pas dépasser certaines limites, car ils contamineraient les plantes. Le cadmium, le plomb et le mercure sont également tous toxiques pour les organismes animaux qu'ils affectent à travers la chaîne alimentaire. [23]

### **4- les micropolluants minéraux**

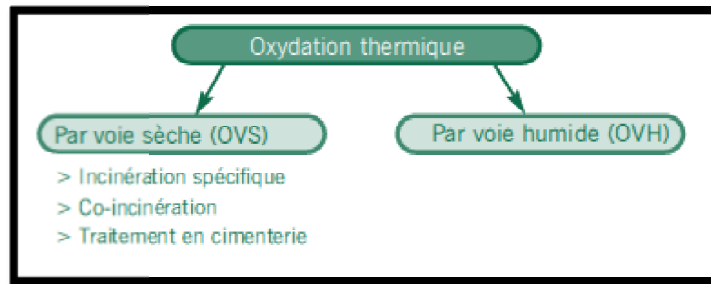
Il s'agit essentiellement des métaux lourds et certains métalloïdes qui ont été très largement étudiés en laboratoire et sur le terrain.

Certain de ces éléments, les oligo-éléments, sont nécessaires à la production végétale et leur présence dans les boues est favorable dans la mesure où leur teneur reste inférieure à certain seuils au delà desquels ils deviennent indésirable. Il s'agit du zinc, du cuivre, du manganèse, du bore, du molybdène, du cobalt et du fer.

D'autres éléments tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le chrome, l'aluminium, le nickel, et l'arsenic ne sont pas utiles dans le sol, et leur concentration ne doit pas dépasser certaines limites, car ils contamineraient les plantes. Le cadmium et le plomb et le mercure sont également tous toxiques pour les organismes animaux qu'ils affectent à travers la chaîne alimentaire. [23]

## **III.2.2 La valorisation énergie-matériaux**

Pour aboutir à une valorisation énergie-matériaux, il est nécessaire de passer par une phase d'oxydation thermique sèche ou humide.



**Schéma III. 2 : schéma représentant les deux phases de la valorisation énergétique-matériaux**

#### a) L'oxydation par voie sèche

L'oxydation thermique par voie sèche est l'incinération spécifique des boues. Elle détruit les matières organiques par combustion à haute température. Cette filière est très réglementée, notamment pour ce qui concerne les fumées rejetées dans l'atmosphère. A la valorisation énergétique des boues, lors de l'oxydation thermique, peut s'ajouter la valorisation des cendres, qui entrent dans la composition des bétons préfabriqués (tuyaux, bordures de trottoirs...). Cette filière répond aux critères de réduction de volume et d'hygiénisation totale des boues.

On peut aboutir aux mêmes résultats grâce à la co-incinération des boues en usine d'incinération des ordures ménagères, le procédé consistant à injecter les boues dans l'atmosphère du four d'ordures ménagères. Ce système permet un taux d'introduction maximum de boues de 10 à 15% des ordures ménagères traitées, ce qui limite le volume des boues ainsi éliminé.

La valorisation des boues en cimenterie se développe depuis ces dernières années. Le principe est, après une étape de séchage, de valoriser le pouvoir énergétique de la matière organique de la boue séchée en la substituant aux énergies fossiles et de valoriser la matière minérale de la boue, en particulier la chaux (en cas de chaulage), en incorporant la boue séchée aux matières premières constituant le ciment. [20]

#### b) L'oxydation par voie humide

Quant à l'oxydation thermique par voie humide ou OVH, elle consiste à traiter les boues au travers d'une « combustion sans flamme » et sans rejets gazeux nocifs.

Les boues sont traitées à l'état liquide dans un réacteur à 235 °C et sous une pression de 40 bars. La matière organique est minéralisée pour 75 %, le reste étant transformé en composés organiques facilement biodégradables. La chaleur dégagée est récupérée pour préchauffer les boues.

Ce procédé n'est pas une incinération, il ne dégage aucune fumée et aboutit à la formation d'un composé minéral stable, valorisable dans les matériaux de construction.

Le stockage des boues en Centre de stockage de déchets ultimes (CSDU) de dernière génération offre des perspectives de valorisation énergétique des boues car ces sites produisent du biogaz (méthane) qui, après récupération, est transformé en électricité. Les boues constituent un apport aux déchets solides ménagers, favorisant le processus de fermentation et la production de biogaz. [20]

### **III.2.3 Une filière de secours**

Toute filière de traitement et de valorisation doit disposer d'une filière de secours, lorsque la qualité de la boue est impropre à l'usage initial ou lorsque la filière est indisponible, même temporairement. Cette filière de secours est réglementairement obligatoire en cas de filière agronomique.

Le Centre de stockage de déchets ultimes (CSDU) permet le stockage des boues, en général avec des ordures ménagères.

Ces sites sont spécialement aménagés pour protéger le sol, les nappes et l'air. Aujourd'hui, dans plusieurs pays seuls y sont admis les déchets ultimes, c'est-à-dire ceux qui ne peuvent plus faire l'objet de valorisation dans des conditions techniques et économiques acceptables. [20]



## Introduction

Après la réalisation et la mise en service de la station d'épuration des eaux usées de Hadjout et suite à la réhabilitation de la STEP de Koléa, le projet de la station d'épuration de la ville de TIPAZA a été lancé dans le cadre d'un objectif globale et intégré aux autres infrastructures de la wilaya.

Ainsi, toutes les sources de pollution des eaux résiduaires de la wilaya de Tipaza, qu'elles soient dues à des activités économiques ou aux ménages, et avant la fin de cette décennie, seront traitées par au moins quatre stations d'épuration réparties selon les grands centres urbains, Hadjout, Koléa, Bousmail et Tipaza.

### IV.1 Présentation de la station d'épuration de TIPAZA

La station d'épuration de Tipaza a été certifiée selon la norme internationale ISO 14001 version 2004. Cette distinction demeure la première en son genre à l'échelle nationale et africaine dans le domaine de la gestion et de l'exploitation du système d'assainissement.

Elle à été mise en service en 2008 pour assurer l'épuration de la ville de Chenoua, Tipaza et Nador avec une capacité de 11200 m<sup>3</sup>/j pour 70000 eq/hab. Elle est de type boues activées à faible charge, son milieu récepteur est oued Nador.

La collecte des eaux usées vers la STEP est assurée par un réseau principale qui développe une longueur de 11150 mètres dont 8000 mètres gravitaire et sept station de relevage.

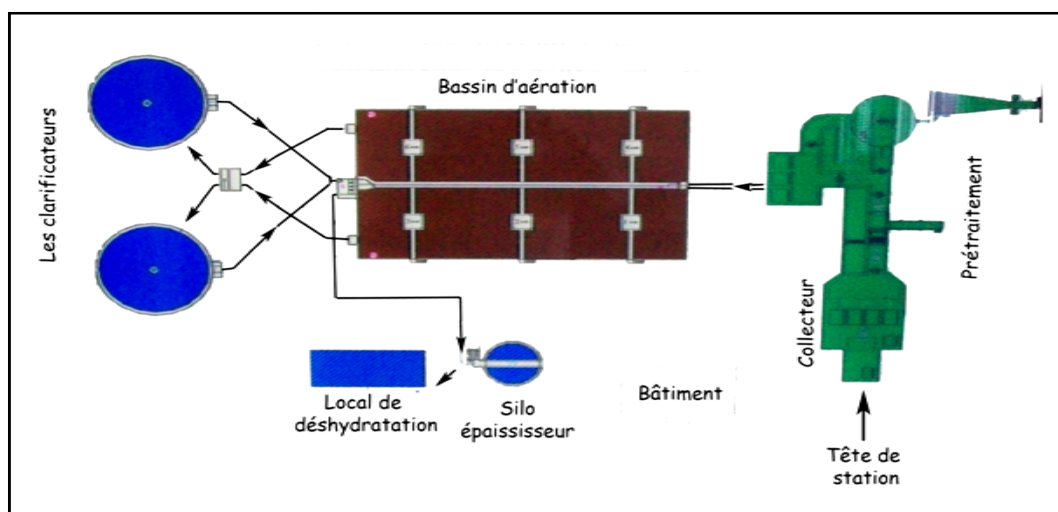


Figure IV.1 : Schéma descriptif de la station d'épuration de Tipaza

## IV.2 Définition de la pollution à traiter

L'eau à traiter a les caractéristiques suivantes :

**Tableau IV.1 : caractéristiques de l'eau a traité de la STEP de Tipaza**

|  |                                |
|--|--------------------------------|
| <b>Volume journalier</b>                   | <b>11200m<sup>3</sup>/j</b>    |
| <b>Débit moyen 24h</b>                     | <b>467 m<sup>3</sup>/j</b>     |
| <b>Débit de pointe temps sec</b>           | <b>803 m<sup>3</sup>/j</b>     |
| <b>DBO5 journalières</b>                   | <b>4200Kg/j soit 375 mg/l</b>  |
| <b>MES journalières</b>                    | <b>4900 Kg/j soit 438 mg/l</b> |
| <b>SDBO (DBO Soluble)</b>                  | <b>187 mg/l</b>                |
| <b>PH</b>                                  | <b>entre 6,5 et 8,5</b>        |
| <b>DCO (totale)</b>                        | <b>825 mg/l</b>                |
| <b>bDCO (biodégradable)</b>                | <b>600 mg/l</b>                |
| <b>SDCO (DCO soluble)</b>                  | <b>305 mg/l</b>                |
| <b>rbDCO (DCO biodégradable immédiate)</b> | <b>140 mg/l</b>                |
| <b>TKN (azote kjeldhal)</b>                | <b>40 mg/l</b>                 |
| <b>P phosphore total</b>                   | <b>10 mg/l</b>                 |
| <b>Température</b>                         | <b>20°C</b>                    |

Source : [8]

## IV.3 Principe de fonctionnement de la station d'épuration

Le système épuratoire des eaux résiduaires de la ville de Tipaza est constitué d'une station d'épuration à boues activées, à faible charge.

Le processus de traitement est composé de deux phases de traitement de la filière « Eau » et un traitement de la filière « Boue ».



## 1. 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

## 2. Traitement des boues

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

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

### IV.3.1 Traitements des eaux

#### A. Prétraitement

##### 1. Poste de relevage et dégrillage grossier



**Figure IV.2 : Le poste de relevage**

Les eaux brutes à traiter arrivent en tête de station dans un poste de relevage constitué d'un puisard de 45 m<sup>3</sup> avec :

- Un compartiment d'entrée équipé d'un piège à cailloux et grille grossière du type de barreaux plat et nettoyage manuel, d'une largeur de 150 cm, inclinés à 70° et une distance entre barreaux de 5cm.
- Un compartiment d'aspiration de 30 m<sup>3</sup> équipé de 4 pompes : 3 de service et 1 de réserve, ces pompes sont submersibles et ayant les caractéristiques ci-après :

**Tableau IV.2 : caractéristiques des pompes d'entrée**

| Type                          | AFP 2045              |
|-------------------------------|-----------------------|
| <b>Débit de refoulement</b>   | 392 m <sup>3</sup> /h |
| <b>Hauteur HMT</b>            | 9m                    |
| <b>Puissance nominale</b>     | 16 Kw                 |
| <b>Vitesse de rotation</b>    | 1500 Tr/mn            |
| <b>Aspiration/refoulement</b> | en DN 200             |

Source : [8]

## 2. Dégrillage fin

En amont du déssableur-déshuileur est installée une grille fine, à nettoyage mécanisé sur le canal d'amenée.

Parallèlement, un chenal by-pass est équipé d'une grille fine à nettoyage manuelle. Pour assurer la continuité du fonctionnement de la station en cas d'arrêt de la grille mécanique, deux vannes murales permettent d'isoler cette grille mécanique et l'eau sera dirigée vers le canal by-pass par surverse.

**Tableau IV.3 : Dimensions du dégrilleur fin**

| Dimensionnement               | 100X200 cm (canal) |
|-------------------------------|--------------------|
| <b>Inclinaison</b>            | 15°                |
| <b>Epaisseur des barreaux</b> | 20 mm              |
| <b>Ecartement</b>             | 20 mm              |
| <b>Hauteur de rejet</b>       | 350 Cm             |

Source : [8]

### 3. Convoyeur à bande

Les refus ou rejets du dégrilleur sont convoyés par un transporteur à bande vers un conteneur de stockage de 8 m<sup>3</sup>

Ces dimensions sont représentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV.4 : Dimensions du convoyeur à bande**

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Largeur de la bande</b> | <b>500 mm</b>                          |
| <b>Longueur</b>            | <b>5 m</b>                             |
| <b>Charge minimale</b>     | <b>16 m<sup>3</sup>/h</b>              |
| <b>matériau transporté</b> | <b>Déchets retenus par les grilles</b> |
| <b>Vitesse</b>             | <b>0,3 m/s</b>                         |

Source : [8]

### 4. Déshuileur/déssableur



**Figure IV.3 : le déssableur/déshuileur**

Pour éviter la décantation des sables dans le bassin biologique, et pour éliminer les huiles et graisses contenues dans l'eau brute, un déssableur-déshuileur en béton armé est installé en aval du dégrilleur fin. Il est dimensionné pour un débit de 1167 m<sup>3</sup>/h.

Un jeu de vannes murales permet d'isoler l'ouvrage pour la maintenance et diriger le flux vers le canal by-pass.

Le mélange sable-eau obtenu est déchargé dans un classificateur de sable drainé vers un conteneur de stockage. [8]

Les caractéristiques du déssableur/déshuileur sont représentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV.5 : Caractéristiques du déssableur/déshuileur**

| <b>forme</b>                                | <b>tronc-conique</b>   |
|---|------------------------|
| <b>diamètre du bassin</b>                   | 5m                     |
| <b>débit maximal</b>                        | 1850 m <sup>3</sup> /h |
| <b>vitesse de rotation</b>                  | 16 tr/min              |
| <b>diamètre des pales</b>                   | 2550 mm                |
| <b>diamètre de la conduite d'aspiration</b> | 150                    |

## ***B. Traitement biologique***

### ***1. Bassin biologique***



**Figure IV.4 : le bassin biologique**

Le traitement biologique est du type à boues activées à faible charge, fonctionnant en aération prolongée.

Le traitement biologique est effectué dans le compartiment aérobie à l'aide du processus aérobie par lequel les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau.

La liqueur mixte est maintenue dans un régime turbulent par les six aérateurs de surface.

Chaque bassin d'aération est équipé d'une sonde à oxygène et d'un déversoir à seuil variable.

La concentration en oxygène sera contrôlée par les déversoirs réglables à la sortie des bassins d'aération et par la mise en service d'un ou plusieurs aérateurs de surface.

Les caractéristiques techniques des bassins biologiques sont représentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV.6 : Caractéristiques du bassin biologique**

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| <b>nombre</b>                      | <b>2 en parallèles</b>                 |
| <b>volume totale</b>               | 6000 m <sup>3</sup> pour chaque bassin |
| <b>volume compartiment aérobie</b> | 6000 m <sup>3</sup>                    |
| <b>production de boue</b>          | 4500 Kg jour                           |
| <b>Age des boues anaérobie</b>     | 9 jours                                |
| <b>Age des boues total</b>         | 11 jours                               |

Source : [8]

## **2. Décanteurs secondaires**

Chaque décanteur est équipé d'un pont racleur tournant constitué d'une passerelle équipée de racleurs de fond et de racleurs de surface.

Les racleurs de fond ramènent les boues déposées au fond de l'ouvrage vers la poche centrale, ces dernières sont récupérées par gravité vers le poste de pompage des boues.

Les racleurs de surface récupèrent et dirigent les écumes flottantes vers la bêche de reprise. [8]

Les caractéristiques techniques sont représentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV.7 : Caractéristiques techniques du décanteur**

|                               |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|
| <b>nombre</b>                 | <b>02</b>                      |
| <b>débit moyen</b>            | 234 m <sup>3</sup> /h (chacun) |
| <b>débit de pointe</b>        | 402 m <sup>3</sup> /h          |
| <b>MES</b>                    | 3,5 Kg/m <sup>3</sup>          |
| <b>diamètre intérieur</b>     | 30m                            |
| <b>surface de décantation</b> | 700 m <sup>2</sup>             |
| <b>hauteur d'eau moyenne</b>  | 3,68 m                         |
| <b>volume</b>                 | 2961 m <sup>3</sup>            |
| <b>inclinaison de fond</b>    | 1/12 mm                        |

### 3. pompes de recirculation des boues

Le poste de reprise des boues en aval des décanteurs dans la filière (boue) permet la recirculation des boues activées et le pompage les boues en excès vers l'épaississeur.

La recirculation est assurée par deux pompes de 200 m<sup>3</sup>/h chacune, dont une de réserve.

L'évacuation des boues en excès vers l'épaississeur est assurée par deux pompes immergées de 30 m<sup>3</sup>/h chacune.

#### IV.3.2 Traitement des boues

##### 1. Epaississeur de boues



**Figure IV.5: L'épaississeur**

Les boues en excès seront épaissies par gravité dans cet ouvrage, un mécanisme de rotation lent, augmente l'efficacité du processus d'épaississement et augmente le contenu des matières solides.

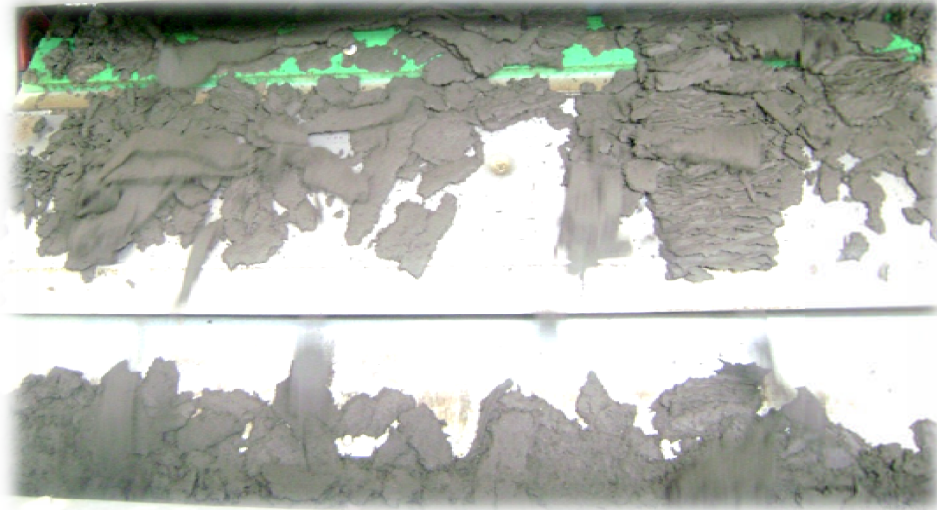
L'épaississement est du type cylindrique à hauteur droite avec des caractéristiques représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV.8 : Caractéristiques de l'épaississeur**

|                                   |                               |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| <b>diamètre</b>                   | <b>11 m</b>                   |
| <b>hauteur</b>                    | 4 m                           |
| <b>surface</b>                    | 95 m <sup>2</sup>             |
| <b>volume</b>                     | 378 m <sup>3</sup>            |
| <b>siccité des boues</b>          | 3,5 % (35 Kg/m <sup>3</sup> ) |
| <b>production des boues</b>       | 130 m <sup>3</sup> /jour      |
| <b>temps de séjour de la boue</b> | 3 jours                       |

Source : [8]

2. Déshydratation par filtres à bandes



**Figure IV.6 : la déshydratation mécanique**

Les boues épaissies sont déshydratées par filtres à bandes pour garantir une opération continue, même pendant les périodes de maintenance, deux filtres complètement indépendants sont installés en parallèle.

Chaque filtre est équipé de sa propre pompe à polymères et de sa propre pompe d'alimentation en boues

Un polymère est ajouté à la boue pour améliorer ses caractéristiques de déshydratation, il permet d'obtenir de plus hautes concentrations en matière sèche.

Le dosage moyen du polymère est normalement de 4 à 6 kg par tonne de boue sèche. [8]

## Introduction

La composition des eaux usées et des boues d'épuration 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 risque sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en :

Micro-organismes, matières en suspension, pollution organique DBO et DCO, substances nutritives et salinité, éléments traces minéraux et organiques.

Dans ce chapitre nous allons étudier les traitements effectués au niveau de la STEP de Tipaza, et caractériser la pollution des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la STEP, afin de prévoir une éventuelle réutilisation de ces eaux usées épurées ainsi que les boues d'épuration en agriculture.

## V.1 Fréquences des analyses

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

**Tableau V.1 : Fréquences des analyses effectués au niveau de la station de Tipaza**

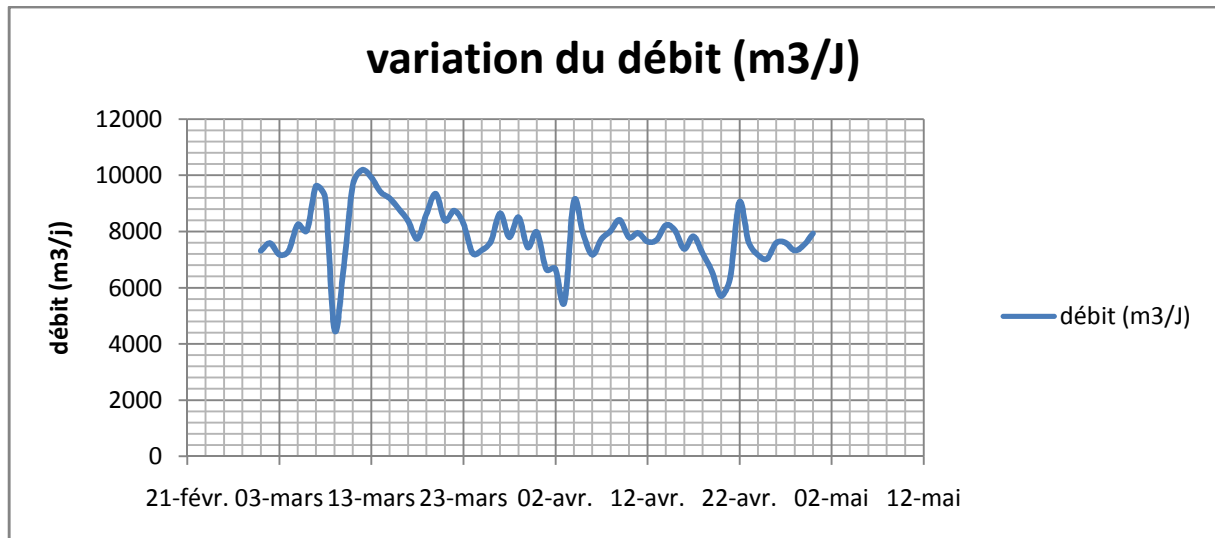
| MES             | chaque jour    |
|-----------------|----------------|
| DCO             | 1 fois/semaine |
| DBO5            | 1 fois/semaine |
| N-NH4           | 1 fois/semaine |
| NTK             | 1 fois/semaine |
| N-NO2           | 1 fois/semaine |
| N-NO3           | 1 fois/semaine |
| Température     | chaque jour    |
| pH              | chaque jour    |
| PO <sub>4</sub> | 1 fois/semaine |

## V.2 Filières eau

Les résultats d'analyses des paramètres microbiologiques et physico-chimiques des eaux à l'entrée ainsi qu'à la sortie de la station, effectuées durant le mois de Mars et d'Avril 2010, sont portées sur les tableaux et illustrés par les graphes (tableaux Annexe A).



### V.2.1 Débit d'entrée



**Figure V.1 : Représentation graphique de la variation des débits entrants dans la station durant les mois de Mars et Avril 2010.**

Au cours des relevés effectués durant deux mois (Mars et Avril 2010), nous avons constaté un débit moyen qui avoisine les 7858 m<sup>3</sup>/j avec un maximum 10187m<sup>3</sup>, cela est dû au fait qu'une journée très pluvieuse a été enregistrée sans que le by-pass soit utilisé à cause de la forte charge polluante, et une valeur minimum de 4503m<sup>3</sup> traduite par une journée pluvieuse et l'utilisation du by-pass.

Les débits enregistrés ne dépassent jamais la capacité de traitement de la station d'épuration qui est de 10500 m<sup>3</sup>/j, cela est dû au non raccordement de toutes les communes à la station d'épuration... Cela permettra une certaine souplesse en cas d'extension de la station d'épuration.

### V.2.2 Composition microbiologique des eaux usées

#### 1. Analyses bactériologiques

Les eaux usées contiennent les micro-organismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes.

Les micro-organismes pathogènes véhiculés par l'eau sont pour la plupart d'origine fécale, il est donc suggéré de retenir comme principe de contrôler la recherche de certaines espèces ou groupe de bactéries comme témoins indicateurs de contamination ou de pollution fécale. Ces germes tests sont des bactéries commensales qui sont naturellement présentes dans les intestins des hommes et des animaux à sang chaud, et excrétées régulièrement en abondance dans les matières fécales. [24]

**Tableau V.2 : Représentation des résultats des analyses bactériologiques des eaux usées épurées de la STEP de Tipaza**

|                     | Paramètres                | Résultats   | Normes (selon l'OMS) |
|---------------------|---------------------------|-------------|----------------------|
| <b>Dénombrement</b> | Germe Totaux              | ...../100ml | Absence              |
|                     | Coliforme Totaux          | > 300/100ml | Absence              |
|                     | Coliforme Fécaux          | > 300/100ml | < 1000               |
|                     | Streptocoques groupe D    | > 300/100ml | Absence              |
|                     | Clostridium Sul-Réducteur | 26/20ml     | Absence              |
| <b>Recherche</b>    | Salmonelles               | Absence     | Absence              |
|                     | Vibrion Chlorique         | Absence     | Absence              |

Les résultats obtenus ont révélé la présence d'une charge bactérienne importante dans l'eau usée traitée. Le nombre de germes pathogènes est largement supérieur aux normes, l'eau épurée est donc de mauvaise qualité bactériologique.

### V.2.3 Composition physicochimique des eaux usées

#### 1. La température

Il est primordial de connaître la température d'une eau. En effet, cette dernière joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH. La mesure de la température est très utile pour les études limnologiques et le calcul des échanges. Elle agit aussi comme un facteur physiologique déterminant du métabolisme de croissance des micro-organismes vivants dans l'eau. [25]

- La température moyenne enregistrée durant les deux mois d'Avril et de Mars des eaux usées épurées est de **18,19 °C**. Cette valeur 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.

#### 2. Le PH

Le pH mesure la concentration des ions H<sup>+</sup> dans l'eau. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. La valeur du pH altère la croissance et la reproduction des micro-organismes existants dans une eau, la plupart des bactéries peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9, l'optimum est situé entre 6,5 et 8,5, des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et la survie des micro-organismes aquatiques. [25]

- Dans le cas de la STEP de Tipaza la moyenne du PH de l'eau épurée est de 7,74 c'est une valeur qui ne dépasse pas les normes de rejet recommandées par L'OMS, et ne

présente donc aucun risque pour la réutilisation de ces eaux usées épurées dans l'irrigation...

### 3. Evolution des MES

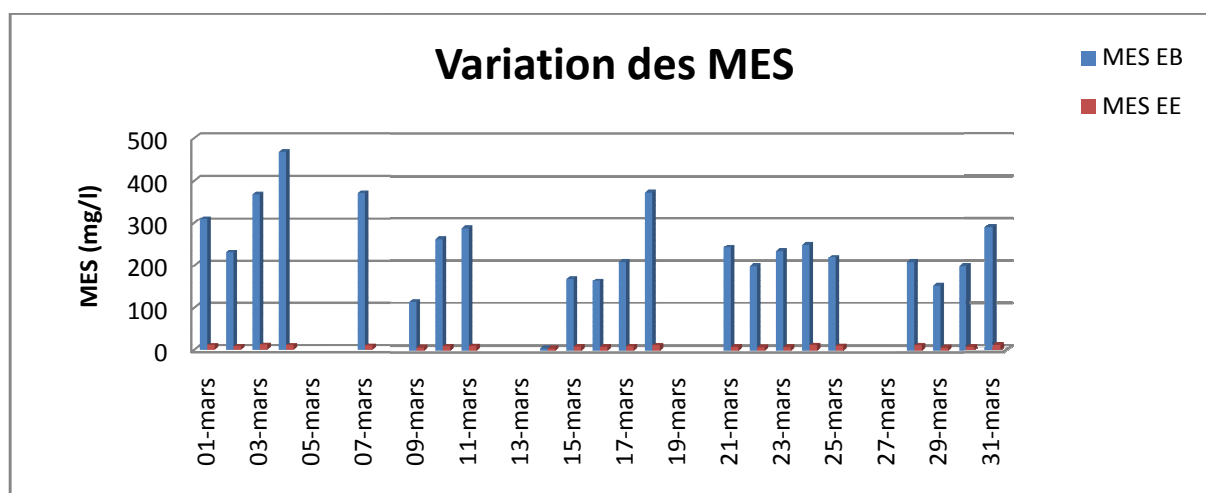
Ce sont des matières biodégradables pour la plupart. Les micro-organismes sont le plus souvent adsorbés à leur surface et sont ainsi transportés par les MES.

Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, et une mauvaise odeur.

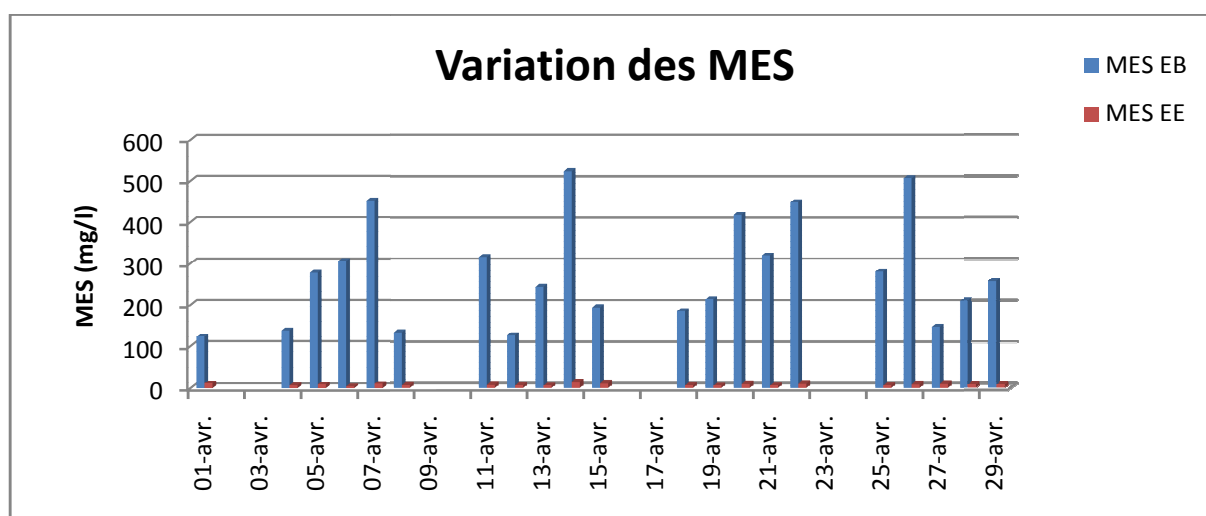
En matière de réutilisation des eaux usées, une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que le bouchage des systèmes d'irrigation d'une part et d'autre part du colmatage possible des sols. [24]

Les résultats enregistrés durant les mois de mars et d'avril sont représentés sur les graphes ci-dessous :

#### Mois de mars



#### Mois d'avril



**Figure V.2 : Représentation graphique de la variation des MES à l'entrée et à la sortie de la station durant les mois de Mars et Avril 2010**

On constate que La station a reçu des fluctuations de charges polluantes très importantes ; dans ce cadre nous avons enregistré une valeur max de MES 524 mg/l, et une valeur minimum de 4,5 mg/l.

La teneur en MES des eaux traitées est très réduite avec un rendement de plus de 93% durant ces deux mois et ne dépasse pas les normes de rejets recommander par l'OMS (30 mg/l), cela est du au bon fonctionnement du prétraitement (dessablage) ainsi qu'a leur l'élimination par voie biologique (les réactions d'adsorption et l'absorption par les floc bactériens).

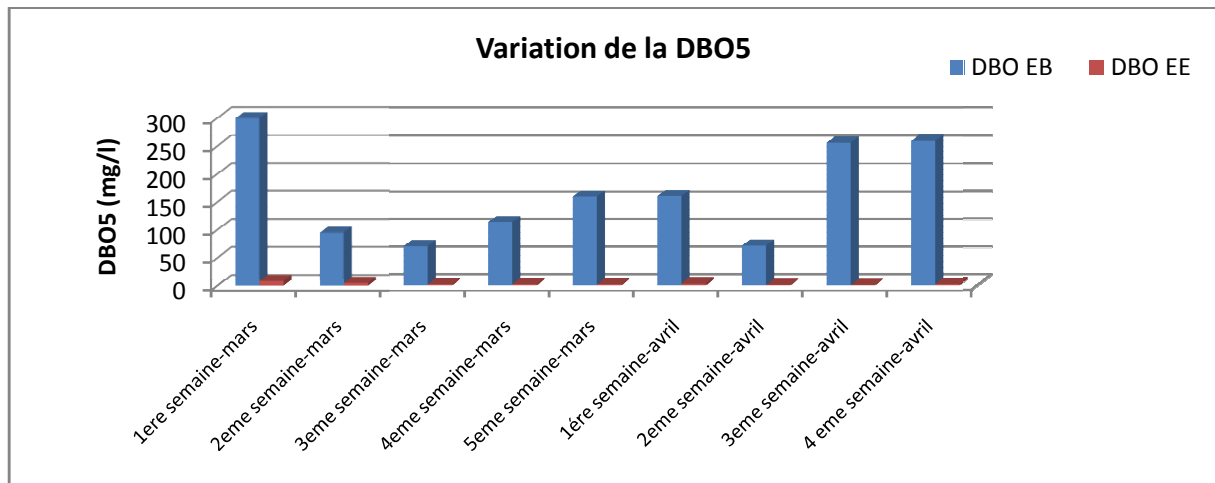
#### 4. La pollution Organique DCO et DBO<sub>5</sub>

Ces paramètres mesurent la pollution oxydable. En s'oxydant, la matière organique entraîne un appauvrissement de l'oxygène dissout présent dans le milieu et menace ainsi la vie aquatique.

La pollution carbonée contribue aussi à la survie bactérienne, les matières organiques constituent le substrat qui permet à la flore bactérienne de se redévelopper. [24]

##### a) Evolution de la DBO<sub>5</sub>

Les résultats enregistrés durant les mois de mars et d'avril sont représentée sur les graphes ci-dessous :



**Figure V.3 : Représentation graphique de la variation de la DBO<sub>5</sub> à l'entrée et à la sortie de la station durant les mois de Mars et Avril 2010**

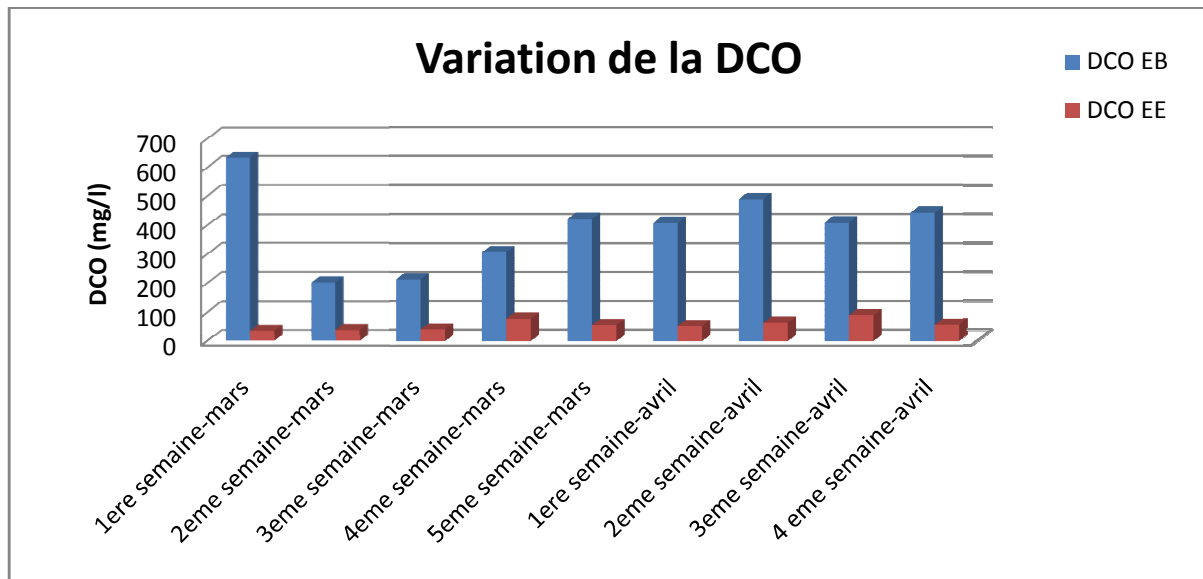
On constate, d'après cette figure, une chute des valeurs de la DBO<sub>5</sub> de l'eau épurée quelque soit la pollution de l'eau brute.

Les valeurs de la DBO<sub>5</sub> varient entre 70 mg /l et 300 mg/l pour l'eau brute et 0,8 mg/l et 8,4 mg/l pour l'eau épurée soit une moyenne de rendement de 97,70 %.

Ces valeurs ne dépassent pas les normes de rejet recommandées par l'OMS (30 mg/l) et on remarque que les résultats d'analyses de la DBO<sub>5</sub> sont acceptables, ce qui traduit le bon fonctionnement du bassin d'aération et donc l'oxydation des matières organiques par la biomasse épuratrice.

### b) Evolution de la DCO

Les résultats enregistrés durant les mois de mars et d'avril sont représentés sur les graphes ci-dessous :



**Figure V.4 : représentation graphique de la variation de la DCO à l'entrée et à la sortie de la station durant les mois de Mars et Avril 2010**

Les valeurs de DCO de l'effluent brute sont élevées et oscillent entre 202 et 632 mg /l, on remarque une réduction significative de la DCO à des valeurs comprises entre 12,2 et 34,9mg/l ce qui est conforme aux normes de rejets dont la valeur est fixée à 90mg/l.

### c) Détermination du rapport de la biodégradabilité

La biodégradabilité d'une substance exprime son aptitude à être décomposée par les micro-organismes (bactéries, champignon, etc...).

Ce type d'évolution est constaté dans les effluents domestiques et dans de nombreuses industries agricoles (laiteries, abattoirs, etc...); par contre, d'autres substances également d'origine naturelle sont difficilement biodégradables; c'est le cas de certains composés d'origine végétale, et des produits de synthèse dont la structure résiste à la dégradation bactérienne.

Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> représente le coefficient de biodégradabilité qui nous permet d'avoir une idée sur la possibilité du traitement biologique.

- $1,7 < \frac{DCO}{DBO5} < 2$  : effluent est très biodégradable
- $2,2 < \frac{DCO}{DBO5} < 2,5$  : effluent biodégradable
- $\frac{DCO}{DBO5} > 5$  à 10 : effluent peu biodégradable

**Tableau V.3 : Biodégradabilités des effluents**

| SEMAINE                 | 01-mars       | 02-mars       | 03-mars       | 04-mars       | 01-avr        | 02-avr            | 03-avr        | 04-avr        |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|
| <b>DCO</b>              | 632           | 202           | 212           | 305           | 409           | 491               | 410           | 442           |
| <b>DBO</b>              | 300           | 95            | 70            | 113           | 161           | 71                | 257           | 260           |
| <b>DCO/DBO</b>          | 2,11          | 2,13          | 3,03          | 2,70          | 2,54          | 6,92              | 1,60          | 1,70          |
| <b>biodégradabilité</b> | biodégradable | Biodégradable | biodégradable | biodégradable | biodégradable | non biodégradable | biodégradable | biodégradable |

Les valeurs du rapport de biodégradabilité DCO / DBO5 ont une moyenne de 2,84 ; ces valeurs expriment une bonne biodégradabilité des boues, sauf celle du mois de d'Avril qui est très élevé (6,92) ; cela est peut être du a une pollution accidentelle ou bien a une erreur de mesure.

## 5. Evolution de l'azote

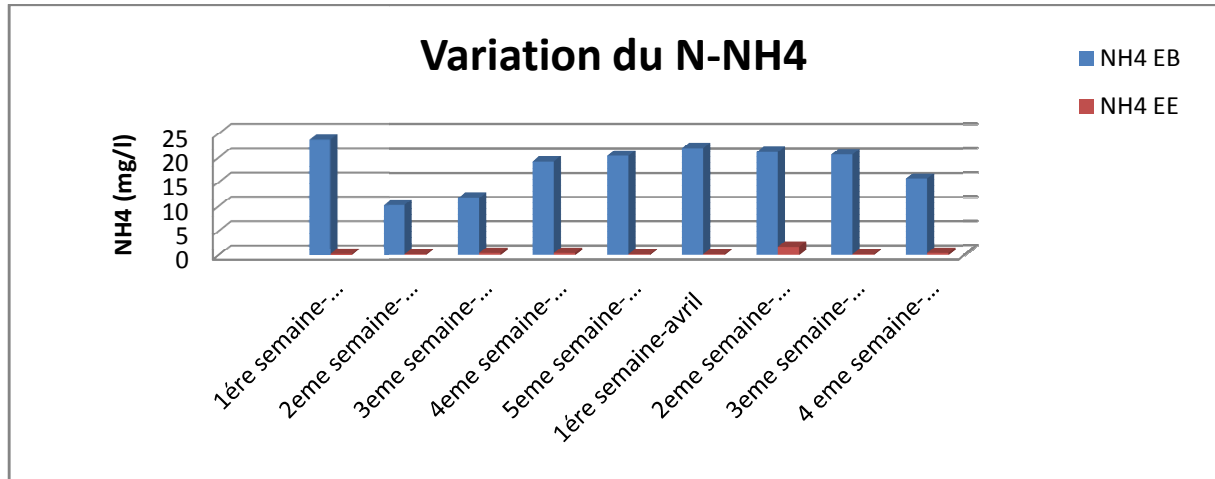
L'usage des eaux usées en irrigation peut faire craindre un excès d'apports azotés. Cet excès se réfère d'une part aux tolérances de la végétation cultivée et, d'autre part aux risques de pollution des nappes phréatiques sous-jacentes.

En effet, dans certains cas défavorables, un apport d'azote excédentaire par rapport aux besoins des cultures, peut provoquer dans un sol très perméable la contamination des eaux souterraines. Il est donc souhaitable que les apports d'azote ne soient pas disproportionnés par rapport aux possibilités d'assimilation de la culture.

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, vigne... accentuer la sensibilité des cultures aux maladies, la tendance à la verse pour les céréales, limiter le développement des jeunes racines. [24]

### a) Evolution de N-NH4

Les résultats enregistrés durant les mois de mars et d'avril sont représentés sur les graphes ci-dessous :



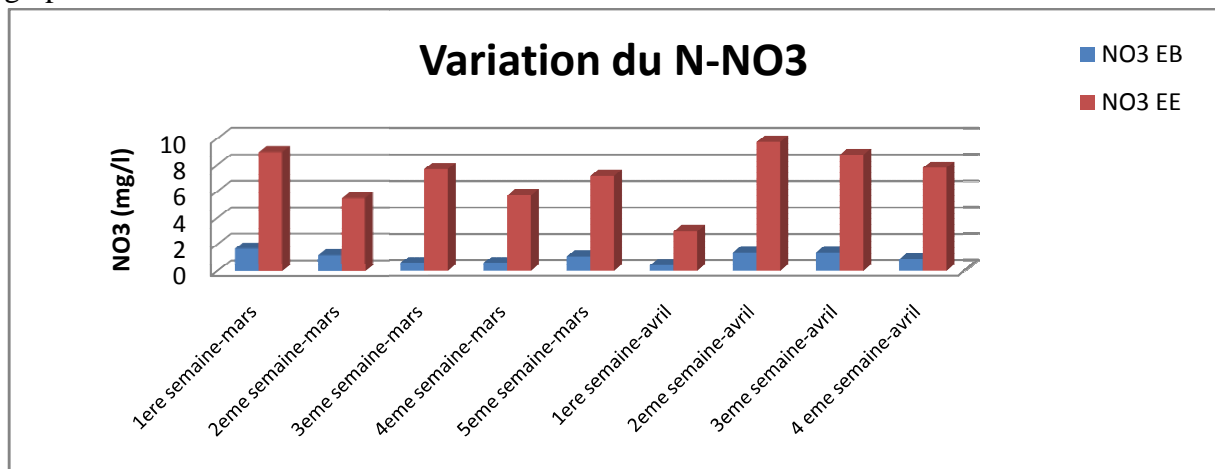
**Figure V.5 : Représentation graphique de la variation du NH<sub>4</sub> à l'entrée et à la sortie de la station durant les mois de Mars et Avril 2010**

Une bonne nitrification est toujours enregistrée durant les deux mois, les concentrations en ion d'ammonium des eaux brutes oscillent entre 23,75 et 10,25 mg/l. Après le traitement biologique, on remarque une forte réduction de ces ions à des valeurs comprises entre 0.25 et 1.75 mg/l ne dépassant jamais la norme de rejet recommandé par l'OMS soit un rendement de plus de 97 %.

Les valeurs enregistrées sont en dessous des normes d'irrigation selon les normes prescrites par la FAO (0,2-10), ce qui ne pose aucun problème pour la réutilisation des eaux épurées en agriculture.

**b) Evolution du N-NO<sub>3</sub>**

Les résultats enregistrés durant les mois de mars et d'avril sont représentés sur les graphes ci-dessous :



**Figure V.6 : Représentation graphique de la variation des NO<sub>3</sub><sup>-</sup> à l'entrée et à la sortie de la station durant les mois de Mars et Avril 2010**

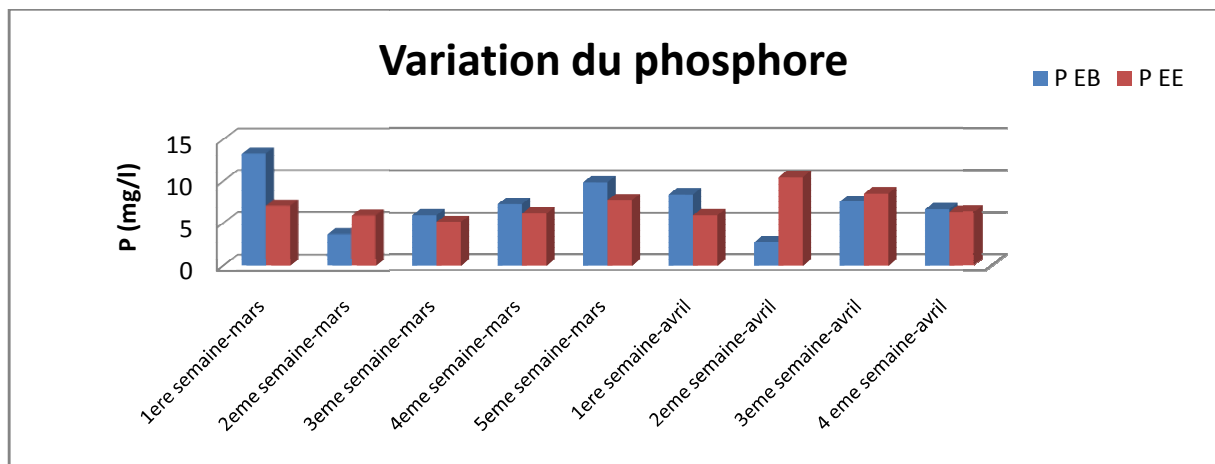
On remarque d'après ce graphe que la concentration d'Azote nitrique a augmenté, atteignant une valeur maximum de 9,8 mg/l, après traitement, ce qui est tout à fait normal, a cause de la nitrification de l'azote ammoniacal.

Les valeurs enregistrées sont en dessous des normes d'irrigation selon la FAO (1-5), ces valeurs ne constituent donc pas une restriction par rapport à l'utilisation de ces eaux épurées dans l'irrigation.

## 6. Evolution du phosphore

La teneur en phosphore dans les eaux usées épurée est habituellement très faible pour modifier le rendement.

Mais s'il y a excès, il est pour l'essentiel retenu dans le sol par des réactions d'adsorption et de précipitation, cette rétention est d'autant plus effective que le sol contient des oxydes de fer, d'aluminium ou du calcium en quantité importantes. [24]



**Figure V.7 : Représentation graphique de la variation du phosphore à l'entrée et à la sortie de la station durant les mois de Mars et Avril 2010**

On constate d'après ce graphe une légère diminution du taux de phosphore durant le mois de Mars avec un rendement de plus 45% mais le contraire s'est produit durant les trois dernières semaines du mois d'Avril, une augmentation importante du phosphore a été enregistrée durant la deuxième semaine d'avril ; cela est peut être du a des erreurs de mesure.

Les valeurs du phosphore a la sortie de la STEP dépassent les normes de rejets recommandées par l'OMS (2 mg/l), cela peut causer l'eutrophisation du milieu récepteur mais ne pose pas de problème pour la réutilisation des eaux épurées en agriculture.



## 7. Le potassium

La concentration en potassium dans les effluents secondaires varie de 10 à 30 mg/l et permet donc de répondre partiellement aux besoins des plantes. Un excès de fertilisation potassique conduit, à une fixation éventuelle du potassium, à un état très difficilement échangeable, à une augmentation des pertes par drainage en sols légers et à une consommation de luxe pour les récoltes. [24]

La concentration en potassium des eaux épurées est de 18 mg/l, c'est une valeur qui est en dessous de la limite recommandée par la FAO (50 mg/l). La quantité de potassium ne pose donc pas de problème pour l'utilisation des eaux épurées de Tipaza en irrigation.

## 8. 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. [25]

La quantité du chlore ( $Cl^- = 96$  mg/l) ne dépasse pas les normes selon la FAO (1085). Les eaux épurées de la STEP ne présentent donc aucun risque pour l'irrigation.

## 9. La conductivité électrique (CE)

La mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...). Elle est plus importante lorsque la température de l'eau augmente. La conductivité électrique d'une eau usée dépend essentiellement de la qualité de l'eau potable utilisée et du régime alimentaire de la population et des activités industrielles. [25]

- La conductivité des eaux usées épurées de la STEP de Tipaza est de 1667,82  $\mu\text{s/cm}$ , cela dépasse la valeur usuelle de la conductivité électrique des eaux usées domestiques normalement concentrées (1100  $\mu\text{s/cm}$ ).
- Cette valeur peut être due à la trop forte minéralisation des eaux de consommation issues de forage. Nous pouvons également soupçonner l'influence de la proximité de la mer par rapport au site qui contribuent à l'élévation de CE des eaux usées.

*i. Calcul de la minéralisation*

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

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

**Tableau V.4 : La table de calcul de la minéralisation**

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

Source : [26]

La minéralisation EB =  $0,758544 \times 1672,95 = 1269,00 \text{ mg/l}$

La minéralisation EE =  $0,758544 \times 1667,82 = 1265,11 \text{ mg/l}$

Les valeurs enregistrées montrent que la minéralisation de ces eaux est importante.

#### 10. Calcul du coefficient d'absorption au sodium : SAR

**Tableau V. 1 : les différents paramètres du SAR mesurés**

| Paramètre mesurés | Résultats (mg/l) | Résultats (meq/l) | Réglementation (mg/l) |
|-------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| Calcium Ca        | 125.65           | 6,26              | 400                   |
| Magnesium Mg      | 35.19            | 2,89              | 60,75                 |
| Sodium Na         | 190              | 8,26              | 920                   |

On constate que les valeurs concernant ces différents paramètres sont toutes en dessous de la limite recommandée par l'OMS (1989) et la FAO (1985), et ne posent donc pas de problème quant à l'utilisation de ces eaux en irrigation.

❖ Le SAR (coefficient d'absorption du sodium) :

C'est un critère d'efficacité des eaux pour l'irrigation, il exprime le rapport de la teneur en sodium à la teneur du calcium et magnésium.

$$\text{SAR} = 2,39$$

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

## 11. Les Métaux lourds

Certains sels de minerais dissous sont identifiés comme aliments et sont salutaires pour la croissance de plantes, alors que d'autres peuvent être phyto-toxiques ou peuvent le devenir à concentration élevée. Les éléments spécifiques ([Cd](#), [Ni](#), [Hg](#), [Zn](#), etc..) sont toxiques pour les récoltes, et des limites maximums de concentration existent pour l'irrigation.

- Vu le caractère touristique et agricole de la zone de Chenoua et Tipaza, les eaux usées épurées de la station ne présentent pas des concentrations élevées en métaux lourds. Ces derniers se retrouvent dans les boues décantées et les analyses effectuées montrent que les concentrations concernant les métaux lourds ne dépassent pas les limites recommandées par la FAO (1985), en conséquence les eaux usées épurées ne présentent aucun risque potentiel concernant les métaux lourds pour l'irrigation.

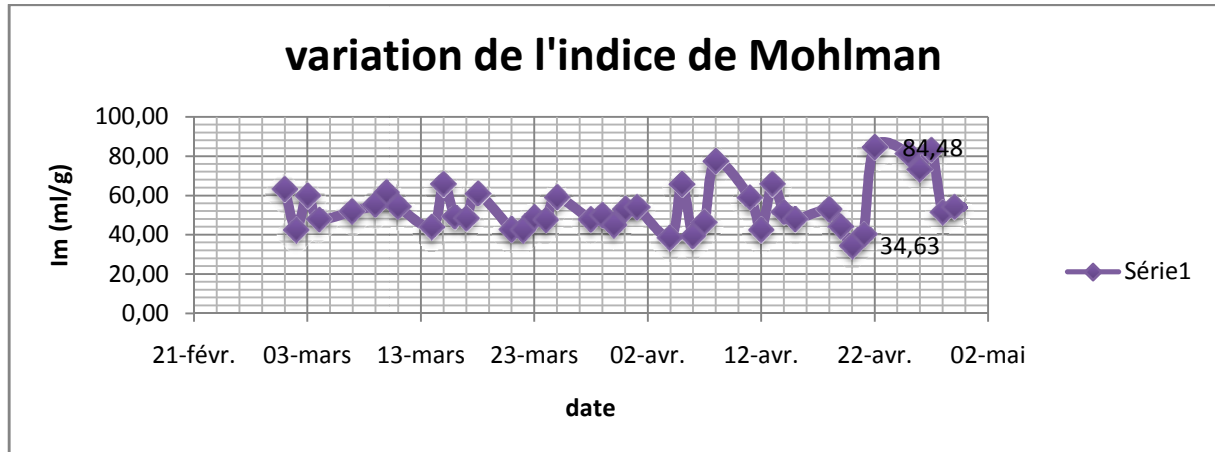
## V.3 Filière boues

### 1. L'indice de Mohlman $I_M$

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

$$I_M = \frac{\text{volume de boues décantés après } \frac{1}{2} \text{ heure}}{\text{concentration en MES de boues}}$$

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



**Figure V.8 : Représentation graphique de la variation de l'indice de Mohlman dans le clarificateur de la station durant les mois de Mars et Avril 2010**

On constate d'après ces deux figures que les valeurs de l'indice de Mohlman varient entre 84,48 et 34,63 ml/g dans le premier décanteur secondaire. Il y a une bonne décantation lorsque IM est compris entre  $50 \text{ ml}\cdot\text{g}^{-1}$  et  $150 \text{ ml}\cdot\text{g}^{-1}$ . Mais quelques valeur sont inférieure a  $50 \text{ ml/g}$  et traduit une mauvaise décantabilité, cela induit une faible concentration des floes et provoque le développement de bactéries filamenteuse, rendant l'eau trouble.

## 2. La siccité des boues

Les boues sont constituées d'eau et de matières sèches. La siccité est le pourcentage massique de matière sèche.

C'est une donnée obligatoire à connaître pour toutes sortes de manipulations des boues lors du processus d'épuration des eaux usées, car la consistance de la boue est un état physique dépendant de sa siccité. [21]

Les boues d'épuration de la STEP de Tipaza sont des boues solides avec une siccité de 48 %.

## 3. Le taux de la matière organique

Le taux de MO dans les boues de la station de Tipaza est de 40,8%. Cette valeur est conséquente pour le sol et peut constituer un bon amendement organique.

## 4. La richesse en éléments fertilisant

En plus de leurs richesses en matières organiques, les boues contiennent des quantités non négligeables de matières nutritives indispensables à la croissance des végétaux.

**Tableau V.6 : Les éléments fertilisants présents dans la boue**

| Eléments  | Résultats de l'échantillon |
|---|----------------------------|
| <b>Carbone (‰)</b>                                  | 162                        |
| <b>Azote (‰)</b>                                    | 16                         |
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable (ppm)</b> | 228                        |
| <b>K<sub>2</sub>O assimilable (mg/100g)</b>         | 74                         |
| <b>MgO (mg/100g)</b>                                | 9,56                       |
| <b>CaO (mg/100g)</b>                                | 18,5                       |
| <b>C/N</b>  | 10,12                      |

Les résultats obtenus nous renseignent sur la quantité importante de fertilisants que contiennent les boues de la STEP de Tipaza surtout en phosphore et en potassium.

**a) Le phosphore**

Il a pour origine, l'utilisation de détergents et le métabolisme humain, sa présence dans les boues est très importante car il provoque chez les plantes un développement racinaire et la maturation ainsi que la formation des fleurs, fruits et graines.

**b) Le potassium**

La quantité de potassium présente dans les boues de la STEP de Tipaza est non négligeable (74 mg/100g), il joue un rôle important dans les mécanismes de la photosynthèse, lors de la migration des sucres particulièrement dans la partie racinaire des plantes, la synthèse des matières azotées, l'économie de l'eau, et augmente la résistance des plantes au gel, à la sécheresse et aux maladies.

**c) Le magnésium**

La valeur du magnésium dans les boues n'est pas très importantes (9,56 mg/100g). Le magnésium est un constituant de la chlorophylle et joue donc un rôle important dans la photosynthèse. Cependant, il est surtout destiné à améliorer la structure du sol.

Dans ce cas les boues peuvent être utilisées comme amendement, c'est-à-dire que les boues vont agir sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol pour mettre les cultures dans les meilleures conditions de croissance et obtenir le rendement optimal.

**d) Le calcium**

Les boues de la STEP de Tipaza contiennent des concentrations non négligeables en calcium (18,5 mg/100g). Comme le magnésium le calcium est surtout destiné à améliorer la structure du sol, il contribue à flocculer les argiles et les complexes argilo-humique, renforçant

ainsi la stabilité structural du sol. Il est donc plutôt apporté sous forme d'amendement calcique.

#### e) *Le rapport C/N*

Le rapport C/N est de 10,12 cette valeur nous renseigne sur la bonne stabilisation des boues, on en déduit que les boues de Tipaza sont non évolutives et non fermentescibles.

### 5. Comparaison des caractéristiques essentielles des boues résiduaires urbaines à celles du fumier de ferme et du compost urbain

**Tableau V. 2 : Comparaison des caractéristiques essentielles des boues résiduaires urbaines à celles du fumier de ferme et du compost urbain (mg/l)**

|            | Boues | Fumie | Compost |
|------------|-------|-------|---------|
| <b>C</b>   | 16,2  | 36,2  | 18      |
| <b>N</b>   | 1,6   | 2,2   | 1,7     |
| <b>P2</b>  | 228   | 1,3   | 0,03    |
| <b>K2</b>  | 592   | 2,8   | 2,7     |
| <b>C/N</b> | 10,12 | 16,45 | 10,6    |

En comparant les boues de la STEP de Tipaza avec celle du fumier et du compost urbain, on constate que ces boues contiennent des quantités plus importantes en phosphore et en potasse que celle du fumier et du compost.

Cependant le fumier contient beaucoup plus de carbone et d'azote par rapport aux boues et au compost urbain.

### 6. Les métaux lourds

Les éléments traces métalliques sont naturellement présents dans le sol et certains même sont indispensable aux plantes, ils font partie des oligo-éléments.

Des expérimentations de longue durée ont permis de montrer que le taux de transfert de ces métaux du sol vers les végétaux sont inférieurs à 1% des quantités apportées sur les sols. Mais selon la nature des eaux épurées, la teneur en certains éléments dans les boues peut s'élever considérablement. Les apports répétés de boues par épandage pourrait, à long terme provoquer dans les sols des accumulations dépassent le seuil de toxicité.

Les éléments traces métalliques ont une origine industrielle (Cd, Ni, Hg, Cr), domestique (Cd, Cu, Pb) et pluviale (Ni, Pb, Zn). Les métaux les plus toxiques sont Cd, Hg,

Pb car ils constituent des contaminants stricts et leur accumulation dans les sols agricoles provoquent un danger pour la plante et pour l'homme.

Le tableau ci-dessous montre les quantités d'éléments traces métalliques contenues dans la boue de la station d'épuration de Tipaza et les valeurs limites réglementaires.

**Tableau V.6 : les métaux lourds présents dans la boue**

| <b>paramètre mesurés</b>                   | <b>résultats</b> | <b>norme NFU 44-041</b> |
|--|------------------|-------------------------|
| <b>Cadmium mg/Kg</b>                       | 1.30             | 20                      |
| <b>Chrome mg/Kg</b>                        | 41.16            | 1000                    |
| <b>Cuivre mg/Kg</b>                        | 99.20            | 1000                    |
| <b>Nickel mg/Kg</b>                        | 25.26            | 200                     |
| <b>Zinc mg/Kg</b>                          | 526.90           | 3000                    |
| <b>Chrome+Cuivre+Nickel+Zinc<br/>mg/Kg</b> | 728.52           | 4000                    |

Les résultats consignés dans le tableau ci-dessous montrent que les teneurs en éléments traces métalliques dans la boue sont suffisamment faible et ne constituent donc pas un facteur limitant son utilisation en agriculture.

## **Conclusion générale**

A l'issue de notre étude au cours de laquelle plusieurs paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont été analysés, nous dressons un bilan sur la caractérisation des eaux épurées et des boues d'épuration issues de la STEP de Tipaza en vue de leur valorisation agricole.

### **Les eaux épurées**

Les valeurs obtenues montrent une conformité en ce qui concerne la plus part des paramètres physico-chimiques qui ne dépassent pas le seuil autorisé pour l'irrigation, excepté pour le phosphore avec des valeurs nettement supérieures à la norme pouvant contribuer à l'eutrophisation du oued Nador. On préconise pour son élimination un bassin anaérobie ou une déphosphatation chimique, mais cet apport en phosphore pour l'eau d'irrigation est très conséquent et pourra nous permettre d'économiser les quantités non négligeables de phosphore apportées par les engrais minéraux.

Les résultats bactériologiques ont montré la présence de germes pathogènes pouvant causer des risques pour les cultures ainsi que pour l'homme, une désinfection est donc indispensable. La désinfection pourra se faire par chloration.

En ce qui concerne les plantes fourragères il faut respecter les fréquences d'arrosage (les UV pouvant éliminer certains germes subsistants à l'épuration) et le délai d'utilisation des pâturages (20 jours après le dernier arrosage).

En ce qui concerne la salinité, la conductivité électrique moyenne de notre eau qui est de 1667,82  $\mu\text{s}/\text{cm}$  et le SAR= 2,39, nous emmènent, à l'aide du diagramme de Reverside (Annexe A, figure 1), à classer l'eau épurée comme suit : Degré : 3

**Qualité** : Admissible

**Classe** : C3-S1

#### **Observation:**

L'utilisation de cette eau nécessite un drainage du sol et un contrôle régulier de l'évolution de la salinité; par contre cette eau est déconseillée pour les sols à faible perméabilité.

Ces eaux ne doivent pas être utilisées sur des crudités.



### **Les Boues d'épuration**

Le climat en Algérie provoque la décomposition très rapide de la matière organique ;  
Afin de restituer les quantités de matières organiques minéralisées et exportées par les plantes l'apport d'un amendement organique est indispensable.

L'étude des analyses effectuées sur les échantillons de boues de la station d'épuration de Tipaza ne révèlent aucune contre indication par rapport aux métaux lourds dans son utilisation en agriculture.

Les boues d'épuration sont des cadavres microbiens qui sont riches en éléments fertilisants et en matière organique, mais ne contiennent pas de celluloses et de lignines indispensables à la formation de l'humus. Pour compenser à ce manque nous recommandons de les mélanger avec du compost urbain ou du fumier de ferme.

L'utilisation de ce mélange sur le sol serait très avantageuse, car elle permet non seulement d'apporter des quantités non négligeables de matières organiques et minérales au sol mais également préserver la fragilité écologique des sols et la reconstitution du complexe argilo-humique indispensable à la fertilité du sol.

## Bibliographie

- [1] Anne-Marie Denat, Pascal Denat, Françoise Sammut: L'EPURATION DE L'EAU
- [2] Abdelkader Gaid : épuration biologique des eaux usées urbaines / Ed : N° 124 05 /84.
- [3] Cyril Gomella ; Henri Guerrée : les eaux usées dans les agglomérations urbaine ou rurales / Ed : Eyrolles, 1982.
- [5] CARDOT C : Les traitements de l'eau. Procédés physico-chimiques et biologiques. Ellipses Edition Marketing S.A., 1999
- [6] Boutin, B et Mercier, PN, 1984 : traitement des eaux usées
- [7] Procédé extensifs d'épuration des eaux usées adapté aux petites et moyennes collectivités / Mise en œuvre de la directive du Conseil n° 91/271 du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires.
- [8] Manuel d'exploitation de la station d'épuration de Tipaza /mars 2008
- [9] Robert Thomazeau : station d'épuration /office international de l'eau : CNFME/ SNIDE/ Décembre 2002.
- [11] Melle Selhani Soumia : étude des possibilités de réutilisation des eaux et des boues d'épuration en agriculture : cas des effluents de beni messous : PFE 2008/2009
- [12] différents filières de traitement des eaux /université IBN ZOHR
- [13] D.FOURMEAU : Traitement et réutilisation des eaux usées en France : contexte et perspectives. Août 2002
- [14] D.ECOSSE : Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde « Qualité et Gestion de l'Eau »/ Mémoire D.E.S.S. 2001 Fac. Sciences, Amiens, 62 p.
- [15] ANALYSE D'EAU POUR FIN D'IRRIGATION : Par Isabelle Couture MAPAQ Montérégie-Est/ AGRI-VISION 2003-2004
- [16] C.PUIL (1998) – La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration. / Mémoire D.U.E.S.S. "Eau et Environnement", D.E.P., univ. Picardie, Amiens.
- [18] L.BAGHDALI : La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation Rabat, du 09 au 12 juillet 2007
- [19] Mr Achouri Fodil : Etude des performances épuratoires de la station d'épuration par lagunage naturel de l'oued béni-Messous W. (d'Alger)
- [20] La gestion intégrée des boues urbaines des délégataires de services d'eau et d'assainissement /SPDE

[22] Alexandre Dudkowski : l'épandage agricole des boues de station d'épuration d'eaux usées urbaine

[23] Mr M .Nakib : contribution à l'étude des possibilités d'utilisation des eaux et des boues d'épuration dans l'agriculture : cas des effluents urbains et de laitières/1986

[24] DIIA QANIER : Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de : Mastère spécialisé eau potable et assainissement/Ecole nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg .Septembre 2006

[25] Cours du Dr. R. Salghi : différentes filières de traitement des eaux /Ecole nationale des sciences appliquées d'Agadir

[26] Abdellatif Hakmi : traitement des eaux « traitement de l'eau de source bousfer Oran »

#### Webographie :

[4] <http://www.cieau.com/toutpub/sommaire/text/8/contenu.htm>

[10] [www.gls.fr](http://www.gls.fr)

[17] [www.oieau.fr/eaudoc/integral/reuinter.htm](http://www.oieau.fr/eaudoc/integral/reuinter.htm)

[21] [www.wikipédia.com](http://www.wikipédia.com)

## Annexe A : les tableaux de mesures

**Tableau 1: valeurs des paramètres température, PH, conductivité du mois de mars et avril 2010**

|          |                | eau brute   |      |               | eau épurée  |      |               |
|----------|----------------|-------------|------|---------------|-------------|------|---------------|
|          |                | T°C         | PH   | cond<br>µs/cm | T°C         | PH   | cond<br>µs/cm |
| lundi    | <b>01-mars</b> | 18,4        | 7,58 | 1538          | 18,6        | 7,66 | 1442          |
| mardi    | <b>02-mars</b> | 18,3        | 7,5  | 1627          | 18,4        | 7,59 | 1724          |
| mercredi | <b>03-mars</b> | 18,9        | 7,45 | 1924          | 18,5        | 7,73 | 1772          |
| jeudi    | <b>04-mars</b> | 17,8        | 7,69 | 1898          | 17,8        | 7,74 | 1786          |
| dimanche | <b>07-mars</b> | 16,1        | 7,58 | 1672          | 16,8        | 7,51 | 1531          |
| mardi    | <b>09-mars</b> | 14,7        | 7,56 | 1780          | 15,3        | 7,83 | 1280          |
| mercredi | <b>10-mars</b> | 15,8        | 7,87 | 1458          | 15,7        | 8,18 | 1259          |
| jeudi    | <b>11-mars</b> | 14,6        | 7,86 | 1929          | 14,2        | 7,92 | 1342          |
| dimanche | <b>14-mars</b> | 14,8        | 7,84 | 1472          | 14,9        | 8    | 1472          |
| lundi    | <b>15-mars</b> | 14,2        | 7,9  | 1484          | 14,8        | 7,98 | 1547          |
| mardi    | <b>16-mars</b> | 16,2        | 7,8  | 1922          | 15,6        | 7,98 | 1710          |
| mercredi | <b>17-mars</b> | 16          | 7,87 | 1931          | 15,7        | 8,31 | 1702          |
| jeudi    | <b>18-mars</b> | <b>16,6</b> | 7,87 | <b>1832</b>   | <b>16,6</b> | 8,15 | <b>1752</b>   |
| dimanche | <b>21-mars</b> | <b>18,9</b> | 7,84 | <b>1820</b>   | <b>18,6</b> | 8,06 | <b>1809</b>   |
| lundi    | <b>22-mars</b> | 18,4        | 7,76 | 1771          | 18,1        | 7,97 | 1621          |
| mardi    | <b>23-mars</b> | 18,4        | 7,69 | 1915          | 18,7        | 7,83 | 1334          |
| mercredi | <b>24-mars</b> | 19,2        | 7,64 | 1820          | 19,4        | 7,81 | 1674          |
| jeudi    | <b>25-mars</b> | 18,8        | 7,59 | 1881          | 18,9        | 7,58 | 1824          |
| dimanche | <b>28-mars</b> | 19,5        | 7,47 | 1965          | 19,2        | 7,47 | 1802          |
| lundi    | <b>29-mars</b> | 18          | 7,56 | 1878          | 18,2        | 7,71 | 1801          |
| mardi    | <b>30-mars</b> | 18,6        | 7,64 | 1819          | 19,2        | 7,61 | 1785          |
| mercredi | <b>31-mars</b> | 18,4        | 7,68 | 1910          | 18,3        | 7,67 | 1780          |
| jeudi    | <b>01-avr</b>  | 18,4        | 7,71 | 1756          | 18,8        | 7,73 | 1788          |
| dimanche | <b>04-avr</b>  | 18,5        | 7,56 | 1798          | 18,3        | 7,68 | 1784          |
| lundi    | <b>05-avr</b>  | 18,1        | 7,7  | 1744          | 18,3        | 7,69 | 1737          |
| mardi    | <b>06-avr</b>  | 18,2        | 7,53 | 1721          | 18,3        | 7,62 | 1754          |
| mercredi | <b>07-avr</b>  | 18,8        | 7,56 | 1790          | 18,8        | 7,7  | 1721          |
| jeudi    | <b>08-avr</b>  | 17,9        | 7,72 | 1744          | 18,1        | 7,73 | 1719          |
| dimanche | <b>11-avr</b>  | 17,8        | 7,66 | 1889          | 18,2        | 7,73 | 1717          |
| lundi    | <b>12-avr</b>  | 18          | 7,72 | 1748          | 18,3        | 7,71 | 1715          |
| mardi    | <b>13-avr</b>  | 18,3        | 7,68 | 1702          | 18,7        | 7,69 | 1709          |
| mercredi | <b>14-avr</b>  | 19          | 7,63 | 1646          | 19,5        | 7,65 | 1691          |
| jeudi    | <b>15-avr</b>  | 18,6        | 7,57 | 1680          | 18,7        | 7,71 | 1664          |

|          |               |       |      |         |       |      |         |
|----------|---------------|-------|------|---------|-------|------|---------|
| dimanche | <b>18-avr</b> | 18,3  | 7,6  | 1741    | 18,6  | 7,62 | 1660    |
| lundi    | <b>19-avr</b> | 19,2  | 7,6  | 1740    | 19,3  | 7,55 | 1520    |
| mardi    | <b>20-avr</b> | 18,9  | 7,44 | 2,6     | 19,7  | 7,46 | 1704    |
| mercredi | <b>21-avr</b> | 19,7  | 7,65 | 1946    | 19,9  | 7,62 | 1770    |
| jeudi    | <b>22-avr</b> | 19,9  | 7,55 | 623     | 19,8  | 7,59 | 1750    |
| dimanche | <b>25-avr</b> | 19,5  | 7,72 | 1453    | 19,6  | 7,68 | 1766    |
| lundi    | <b>26-avr</b> | 19,5  | 7,61 | 1587    | 20,1  | 7,64 | 1580    |
| mardi    | <b>27-avr</b> | 19,6  | 7,68 | 1670    | 18,8  | 7,62 | 1632    |
| mercredi | <b>28-avr</b> | 20,1  | 7,61 | 1737    | 20,5  | 7,7  | 1630    |
| jeudi    | <b>29-avr</b> | 19,3  | 7,66 | 1084    | 19,8  | 7,68 | 1072    |
|          | moyenne       | 18,05 | 7,66 | 1675,53 | 18,18 | 7,75 | 1647,26 |

**Tableau 2 : Valeurs du débit entrant du mois de Mars et Avril 2010**

| date    | débit (m3/J) | date     | débit (m3/J) |
|---------|--------------|----------|--------------|
| 01-mars | 7315         | 01-avril | 6664         |
| 02-mars | 7584         | 02-avril | 6670         |
| 03-mars | 7178         | 03-avril | 5488         |
| 04-mars | 7303         | 04-avril | 9078         |
| 05-mars | 8244         | 05-avril | 7943         |
| 06-mars | 8038         | 06-avril | 7172         |
| 07-mars | 9620         | 07-avril | 7721         |
| 08-mars | 9173         | 08-avril | 8019         |
| 09-mars | 4503         | 09-avril | 8409         |
| 10-mars | 6723         | 10-avril | 7788         |
| 11-mars | 9674         | 11-avril | 7946         |
| 12-mars | 10187        | 12-avril | 7642         |
| 13-mars | 9921         | 13-avril | 7698         |
| 14-mars | 9407         | 14-avril | 8221         |
| 15-mars | 9180         | 15-avril | 8037         |
| 16-mars | 8800         | 16-avril | 7379         |
| 17-mars | 8374         | 17-avril | 7827         |
| 18-mars | 7739         | 18-avril | 7226         |
| 19-mars | 8625         | 19-avril | 6591         |
| 20-mars | 9337         | 20-avril | 5702         |
| 21-mars | 8391         | 21-avril | 6352         |
| 22-mars | 8738         | 22-avril | 9041         |
| 23-mars | 8289         | 23-avril | 7625         |
| 24-mars | 7233         | 24-avril | 7173         |
| 25-mars | 7334         | 25-avril | 7029         |
| 26-mars | 7654         | 26-avril | 7593         |

|         |      |          |      |
|---------|------|----------|------|
| 27-mars | 8644 | 27-avril | 7602 |
| 28-mars | 7798 | 28-avril | 7322 |
| 29-mars | 8503 | 29-avril | 7513 |
| 30-mars | 7437 | 30-avril | 7930 |
| 31-mars | 7977 |          |      |

**Tableau 3 : Valeurs des matières en suspensions enregistré durant les mois de mars et avril 2010**

|          |                | MES (mg/l) Eau brute | MES (mg/l) Eau épurée | RENDEMENT % |
|----------|----------------|----------------------|-----------------------|-------------|
| lundi    | <b>01-mars</b> | 310                  | 11                    | 96,45       |
| mardi    | <b>02-mars</b> | 230                  | 8                     | 96,52       |
| mercredi | <b>03-mars</b> | 368                  | 12                    | 96,74       |
| jeudi    | <b>04-mars</b> | 467,5                | 11                    | 97,65       |
| dimanche | <b>07-mars</b> | 371                  | 10                    | 97,30       |
| mardi    | <b>09-mars</b> | 114                  | 7                     | 93,86       |
| mercredi | <b>10-mars</b> | 262                  | 10                    | 96,18       |
| jeudi    | <b>11-mars</b> | 289                  | 10,5                  | 96,37       |
| dimanche | <b>14-mars</b> | 5,4                  | 5,4                   | 0,00        |
| lundi    | <b>15-mars</b> | 168,3                | 9,2                   | 94,53       |
| mardi    | <b>16-mars</b> | 162,6                | 8,6                   | 94,71       |
| mercredi | <b>17-mars</b> | 208                  | 10                    | 95,19       |
| jeudi    | <b>18-mars</b> | 372                  | 12                    | 96,77       |
| dimanche | <b>21-mars</b> | 243                  | 8,5                   | 96,50       |
| lundi    | <b>22-mars</b> | 198                  | 7,5                   | 96,21       |
| mardi    | <b>23-mars</b> | 235                  | 8                     | 96,60       |
| mercredi | <b>24-mars</b> | 249                  | 12,5                  | 94,98       |
| jeudi    | <b>25-mars</b> | 218                  | 11                    | 94,95       |
| dimanche | <b>28-mars</b> | 208                  | 12                    | 94,23       |
| lundi    | <b>29-mars</b> | 152,5                | 7                     | 95,41       |
| mardi    | <b>30-mars</b> | 198,3                | 7,5                   | 96,22       |
| mercredi | <b>31-mars</b> | 290                  | 11                    | 96,21       |
| jeudi    | <b>01-avr</b>  | 123,3                | 12                    | 90,27       |
| dimanche | <b>04-avr</b>  | 137,5                | 7                     | 94,91       |
| lundi    | <b>05-avr</b>  | 279                  | 9,4                   | 96,63       |
| mardi    | <b>06-avr</b>  | 306                  | 4,5                   | 98,53       |
| mercredi | <b>07-avr</b>  | 453                  | 11                    | 97,57       |
| jeudi    | <b>08-avr</b>  | 133,33               | 7,32                  | 94,51       |
| dimanche | <b>11-avr</b>  | 316                  | 8                     | 97,47       |
| lundi    | <b>12-avr</b>  | 127                  | 7                     | 94,49       |
| mardi    | <b>13-avr</b>  | 244,16               | 6,16                  | 97,48       |
| mercredi | <b>14-avr</b>  | 524                  | 13,5                  | 97,42       |

|          |               |        |      |       |
|----------|---------------|--------|------|-------|
| jeudi    | <b>15-avr</b> | 193    | 11   | 94,30 |
| dimanche | <b>18-avr</b> | 185    | 7    | 96,22 |
| lundi    | <b>19-avr</b> | 215    | 6    | 97,21 |
| mardi    | <b>20-avr</b> | 417,5  | 9,72 | 97,67 |
| mercredi | <b>21-avr</b> | 320    | 6,32 | 98,03 |
| jeudi    | <b>22-avr</b> | 449    | 10,2 | 97,73 |
| dimanche | <b>25-avr</b> | 281,6  | 6,5  | 97,69 |
| lundi    | <b>26-avr</b> | 507,5  | 9    | 98,23 |
| mardi    | <b>27-avr</b> | 147,5  | 10   | 93,22 |
| mercredi | <b>28-avr</b> | 210,5  | 8    | 96,20 |
| jeudi    | <b>29-avr</b> | 257,6  | 8,7  | 96,62 |
|          | moyenne       | 259,23 | 9,02 | 93,86 |

**Tableau 4: Valeurs de la DBO<sub>5</sub> enregistré durant les mois de mars et avril 2010**

| prélèvement                    | DBO5 (mg/l)<br>Eau brute | DBO5 (mg/l) Eau<br>Epurée | RENDEMENT<br>% |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------|
| 1 <sup>ère</sup> semaine-mars  | 300                      | 8,4                       | 97,20          |
| 2 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 95                       | 5                         | 94,74          |
| 3 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 70                       | 2                         | 97,14          |
| 4 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 113                      | 2,5                       | 97,79          |
| 5 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 160                      | 2                         | 98,75          |
| 1 <sup>ère</sup> semaine-avril | 161                      | 4                         | 97,52          |
| 2 <sup>ème</sup> semaine-avril | 71                       | 1                         | 98,59          |
| 3 <sup>ème</sup> semaine-avril | 257                      | 0,8                       | 99,69          |
| 4 <sup>ème</sup> semaine-avril | 260                      | 2,8                       | 98,92          |

**Tableau 5: Valeurs de la DCO enregistré durant les mois de mars et avril 2010**

| prélèvements                   | DCO (mg/l) Eau<br>brute | DCO (mg/l) Eau<br>épurée | RENDEMENT<br>% |
|--------------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------|
| 1 <sup>ère</sup> semaine-mars  | 632                     | 34,9                     | 94,48          |
| 2 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 202                     | 37,6                     | 81,39          |
| 3 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 212                     | 39,1                     | 81,56          |
| 4 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 305                     | 77,3                     | 74,66          |
| 5 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 421                     | 55,3                     | 86,86          |
| 1 <sup>ère</sup> semaine-avril | 409                     | 52,3                     | 87,21          |
| 2 <sup>ème</sup> semaine-avril | 491                     | 63                       | 87,17          |
| 3 <sup>ème</sup> semaine-avril | 410                     | 88,3                     | 78,46          |
| 4 <sup>ème</sup> semaine-avril | 442                     | 56,4                     | 87,24          |

**Tableau 6: Valeurs de l'azote ammoniacal enregistré durant les mois de mars et avril 2010**

| prélèvements                   | N-NH4 (mg/l)<br>Eau brute | N-NH4 (mg/l)<br>Eau épurée | Rendement<br>% |
|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------|
| 1 <sup>ère</sup> semaine-mars  | 23,75                     | 0,25                       | 98,95          |
| 2 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 10,25                     | 0,25                       | 97,56          |
| 3 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 11,75                     | 0,5                        | 95,74          |
| 4 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 19,25                     | 0,5                        | 97,40          |
| 5 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 20,5                      | 0,25                       | 98,78          |
| 1 <sup>ère</sup> semaine-avril | 22                        | 0,25                       | 98,86          |
| 2 <sup>ème</sup> semaine-avril | 21,25                     | 1,75                       | 91,76          |
| 3 <sup>ème</sup> semaine-avril | 20,75                     | 0,25                       | 98,80          |
| 4 <sup>ème</sup> semaine-avril | 15,75                     | 0,5                        | 96,83          |

**Tableau 7: Valeurs des nitrates enregistré durant les mois de mars et avril 2010**

| prélèvements                   | N-NO3 (mg/l) eau<br>brute | N-NO3<br>(mg/l) eau épurée | Rendement % |
|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------|
| 1 <sup>ère</sup> semaine-mars  | 1,7                       | 9                          | 81,11       |
| 2 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 1,2                       | 5,5                        | 78,18       |
| 3 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 0,6                       | 7,7                        | 92,21       |
| 4 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 0,6                       | 5,7                        | 89,47       |
| 5 <sup>ème</sup> semaine-mars  | 1,1                       | 7,2                        | 84,72       |
| 1 <sup>ère</sup> semaine-avril | 0,4                       | 3                          | 86,67       |
| 2 <sup>ème</sup> semaine-avril | 1,4                       | 9,8                        | 85,71       |
| 3 <sup>ème</sup> semaine-avril | 1,4                       | 8,8                        | 84,09       |
| 4 <sup>ème</sup> semaine-avril | 0,9                       | 7,8                        | 88,46       |



**Tableau 8: Valeur du phosphore enregistré durant les mois de mars et avril 2010**

| prélèvements                   | P (mg/l) eau brute | P (mg/l) eau épurée | Rendement % |
|--------------------------------|--------------------|---------------------|-------------|
| 1 <sup>ere</sup> semaine-mars  | 13,3               | 7,1                 | 46,62       |
| 2 <sup>eme</sup> semaine-mars  | 3,7                | 5,9                 | -59,46      |
| 3 <sup>eme</sup> semaine-mars  | 6                  | 5,2                 | 13,33       |
| 4 <sup>eme</sup> semaine-mars  | 7,3                | 6,2                 | 15,07       |
| 5 <sup>eme</sup> semaine-mars  | 9,9                | 7,8                 | 21,21       |
| 1 <sup>ere</sup> semaine-avril | 8,5                | 6                   | 29,41       |
| 2 <sup>eme</sup> semaine-avril | 2,8                | 10,5                | -275,00     |
| 3 <sup>eme</sup> semaine-avril | 7,6                | 8,6                 | -13,16      |
| 4 <sup>eme</sup> semaine-avril | 6,7                | 6,4                 | 4,48        |

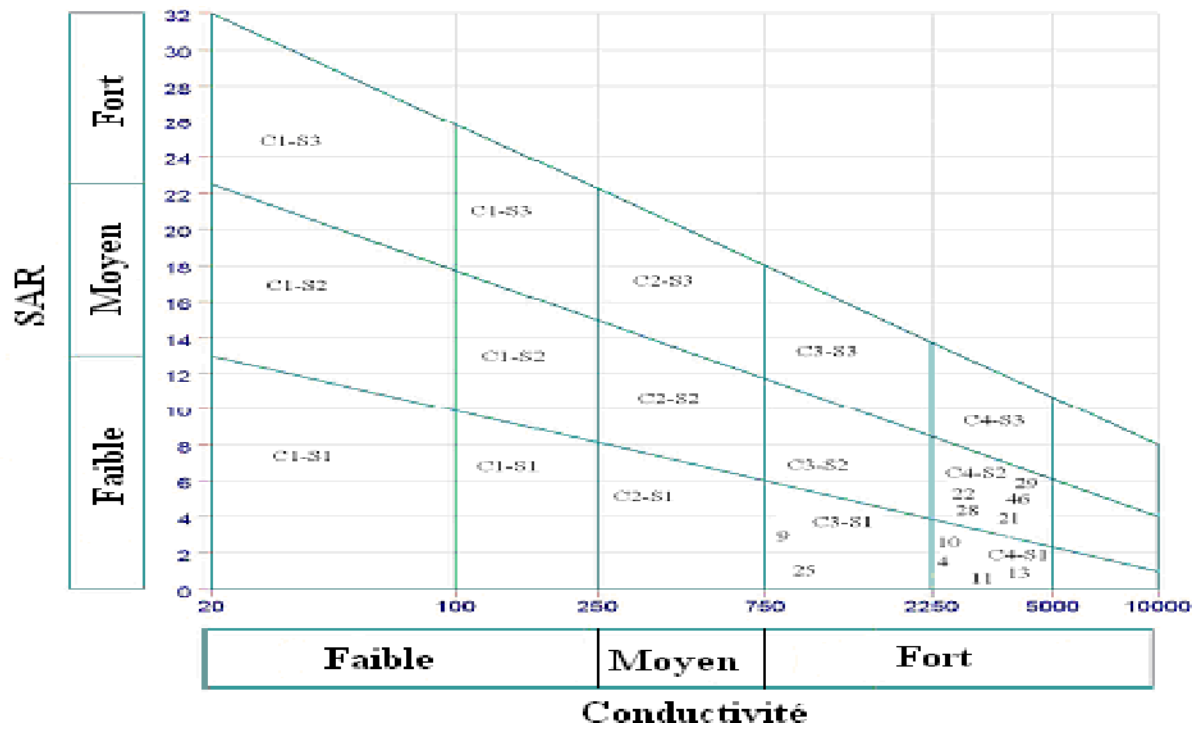
**Tableau 9: Valeurs de l'indice de Mohlman enregistré dans le clarificateur durant les mois de mars et avril 2010**

| date    | Im (ml/g) | date   | Im (ml/g) |
|---------|-----------|--------|-----------|
| 01-mars | 63,45     | 01-avr | 53,97     |
| 02-mars | 42,76     | 04-avr | 38,68     |
| 03-mars | 60,21     | 05-avr | 65,62     |
| 04-mars | 48,16     | 06-avr | 39,47     |
| 07-mars | 52,04     | 07-avr | 46,42     |
| 09-mars | 55,36     | 08-avr | 77,32     |
| 10-mars | 61,59     | 11-avr | 58,82     |
| 11-mars | 54,55     | 12-avr | 42,70     |
| 14-mars | 43,99     | 13-avr | 65,73     |
| 15-mars | 65,72     | 14-avr | 51,49     |
| 16-mars | 49,26     | 15-avr | 47,84     |
| 17-mars | 48,28     | 18-avr | 52,88     |
| 18-mars | 60,89     | 19-avr | 44,25     |
| 21-mars | 42,99     | 20-avr | 34,63     |
| 22-mars | 42,71     | 21-avr | 40,28     |
| 23-mars | 48,99     | 22-avr | 84,48     |
| 24-mars | 47,69     | 25-avr | 81,40     |
| 25-mars | 58,92     | 26-avr | 73,31     |

|         |       |         |       |
|---------|-------|---------|-------|
| 28-mars | 48,00 | 27-avr  | 83,33 |
| 29-mars | 50,10 | 28-avr  | 51,53 |
| 30-mars | 45,21 | 29-avr  | 54,26 |
| 31-mars | 53,10 | moyenne | 54,24 |

**Tableau 10: Classification des eaux d'irrigation d'après le diagramme de Reverside**

| Degré | Qualité    | Classe                  | observation  |
|-------|------------|-------------------------|--|
| 1     | Excellente | C1-C2                   | Utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures et sur la plupart des sols   |
| 2     | Bonne      | C2-S1<br>C2-S2          | - Exige des plantes tolérantes au sel et des sols à bonne perméabilité ;<br>- Déconseillé au sol à forte d'échange d'ions.   |
| 3     | Admissible | C3-S1                   | - Exige drainage des sols et contrôle de l'évolution de la salinité ;<br>- Déconseillé aux sols à faible perméabilité.   |
| 4     | Médiocre   | C4-S1<br>C4-S2<br>C3-S3 | - Eau fortement minéralisée ;<br>- Exige des cultures suffisamment tolérantes aux sels ;<br>- Exige des sols bien drainés et lessivés.                               |
| 5     | Mauvaise   | C3-S4<br>C4-S3<br>C4-S4 | Ne convient pas à l'irrigation;<br>Peuvent être utilisées pour des sols très perméables, très bien drainés et lessivés et pour des plantes très tolérantes aux sels. |



**Figure 1: Diagramme pour la classification des eaux d'irrigation en fonction du SAR.**

SAR : Rapport d'adsorption du sodium (méq/L).

CE : Conductivité électrique à 25 °C (µS/cm).

## Annexe C les tableaux de mesures

**Tableau 1 : Valeurs des MES, DCO, DBO<sub>5</sub> enregistré du mois de février 2008 au mois de février 2009**

| mois | MES (mg/l)<br>entrées | MES (mg/l)<br>sorties | Rendement<br>% | DCO (mg/l)<br>entrée | DCO (mg/l)<br>sortie | Rendement<br>% |
|------|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------|
| F    | 428,25                | 24                    | 94,4           | 458                  | 58,75                | 87,17          |
| M    | 544,25                | 22,5                  | 95,87          | 569,75               | 94,25                | 83,46          |
| A    | 478,5                 | 23,5                  | 95,09          | 367,5                | 69                   | 81,22          |
| M    | 564,5                 | 69,5                  | 87,69          | 530,5                | 69,5                 | 86,90          |
| J    | 633,6                 | 41,33                 | 93,48          | 411,8                | 54,66                | 86,73          |
| J    | 496,66                | 20,66                 | 95,84          | 439,66               | 75,33                | 82,87          |
| A    | 493,33                | 19,66                 | 96,01          | 489                  | 86,66                | 82,28          |
| S    | 496,33                | 18,66                 | 96,24          | 467,33               | 76,66                | 83,60          |
| O    | 523                   | 24                    | 95,41          | 465,5                | 51                   | 89,04          |
| N    | 463,3                 | 19,33                 | 95,83          | 298,33               | 67,66                | 77,32          |
| D    | 571                   | 29                    | 94,92          | 543                  | 41                   | 92,45          |
| J    | 760                   | 25                    | 96,71          | 381,66               | 53                   | 86,11          |
| F    | 737,33                | 21,66                 | 97,06          | 503                  | 30,33                | 93,97          |

| mois | DBO (mg/l)<br>entrée | DBO (mg/l)<br>sortie | Rendement<br>% |
|------|----------------------|----------------------|----------------|
| F    | 286,67               | 48,75                | 82,99          |
| M    | 327,5                | 83,25                | 74,58          |
| A    | 320                  | 55                   | 82,81          |
| M    | 556,6                | 59,33                | 89,34          |
| J    | 290                  | 52,5                 | 81,9           |
| J    | 430                  | 68,33                | 84,11          |
| A    | 373                  | 54,33                | 85,43          |
| S    | 306,66               | 66,66                | 78,26          |
| O    | 317,5                | 49                   | 84,57          |
| N    | 250                  | 53                   | 78,8           |
| D    | 250                  | 50                   | 80             |
| J    | 310                  | 51                   | 83,55          |
| F    | 390                  | 20                   | 94,87          |

**Tableau 2: Valeurs des NO<sub>3</sub> et du P total enregistré du mois de Février 2008 au mois de Février 2009**

| mois | N-NO3<br>(mg/l) entrée | N-NO3<br>(mg/l) sortie | P-total<br>(mg/l)<br>entrée | P-total<br>(mg/l)<br>sortie | Rendement<br>% |
|------|------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|
| F    | SUP 35                 | 26.75                  | 33                          | 25,25                       | 23,48          |
| M    | SUP 35                 | 28.25                  | 29,13                       | 20,48                       | 29,69          |
| A    | SUP 35                 | 32.30                  | 33                          | 26,5                        | 19,7           |
| M    | SUP 35                 | 27.125                 | 33                          | 22,075                      | 33,11          |
| J    | SUP35                  | SUP35                  | 33                          | 33                          | 0              |
| J    | SUP 35                 | 22.66                  | 33                          | 28,6                        | 13,33          |
| A    | SUP 35                 | 32.03                  | 32,03                       | 27,63                       | 13,74          |
| S    | 35                     | 21.7                   | 33                          | 26,03                       | 21,12          |
| O    | Sup 35                 | 25.66                  | 33                          | 27,8                        | 15,76          |
| N    | SUP 35                 | 20.93                  | 29,83                       | 23,33                       | 21,79          |
| D    | SUP 35                 | 27                     | 30                          | 14,4                        | 52             |
| J    | 35                     | 32.87                  | MP                          | MP                          |                |
| F    | SUP 35                 | 21.5                   | MP                          | MP                          |                |

## **Introduction**

Les techniques d'épuration des eaux usées par les plantes ont été introduites en Afrique depuis bientôt environ 30 ans, mais ces technologies rustiques n'ont pas encore trouvé leur place dans les concepts d'assainissement et de traitement des eaux usées en Algérie.

Les travaux de mémoires et thèses montrent de bons résultats d'épuration des eaux par les plantes, mais aucune station n'a encore réellement fonctionné à grande échelle, pour des différentes raisons; entre autre l'absence d'informations sur le rendement épuratoire de ce type de stations.

L'expérience unique de traitement des eaux usées par les plantes en Algérie est celle du vieux ksar de Témacine (Ouargla) où elle montre que le rendement épuratoire actuelle est acceptable et que les installations, le fonctionnement et la maintenance sont moins coûteux et plus bénéfiques pour l'environnement.

## **I. Présentation de filtres plantes de macrophytes**

On distingue globalement trois types d'applications en traitement des eaux usées par les plantes:

1. Les lits plantés de macrophytes à écoulement horizontal superficiel.
2. Les filtres plantés de macrophytes à écoulement horizontal sous la surface.
3. Les filtres plantés de macrophytes à percolation verticale.

Le système de Témacine appartient au deuxième type des filtres plantés

Les filtres horizontaux sont des bassins remplis de manière homogène de sable, de gravier ou d'un autre substratum, et dans lesquels ont été plantés des macrocytes.

L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du filtre par un système répartiteur situé à une extrémité du bassin ; il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontal au travers du substrat. La plupart du temps, l'alimentation a lieu en continu et les matériaux sont pratiquement saturés en permanence.

L'évacuation se fait par un drain placé à l'autre extrémité du filtre.

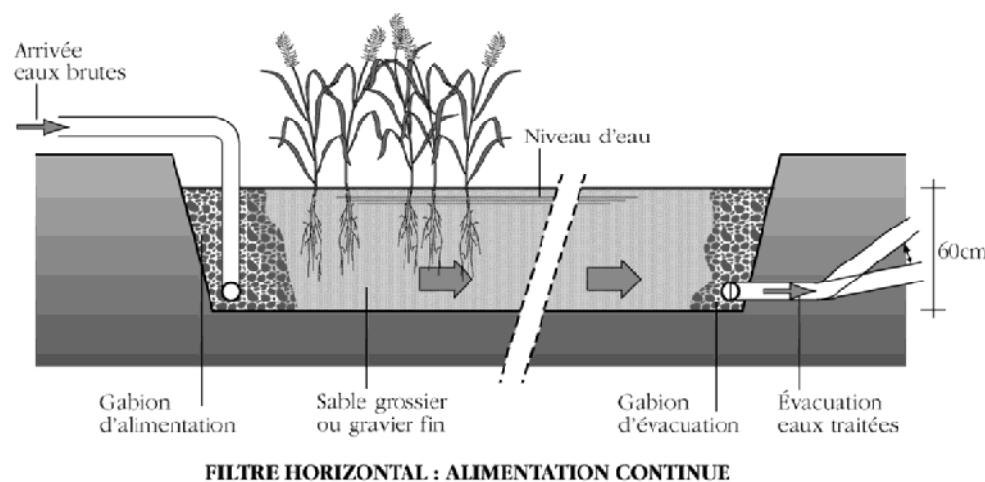


Figure 1 : Schéma d'un filtre horizontal en coupe transversale

## II. Rôle des différentes composantes du système

### II.1. Rôle du matériau de remplissage (le sable et gravier)

- Filtration des matières en suspension présentes dans les eaux usées.
- Elles servent comme support de fixation des macrophytes et des microphytes.

### II.2. Rôle des plantes

- Elles fournissent de l'oxygène aux bactéries, par transfert depuis les parties aériennes (tiges et feuilles), vers les parties souterraines.
- Elles servent comme support de fixation et de développement microbien au niveau de leurs parties souterraines.
- Elles assimilent certaines substances, telles l'azote et le phosphore, pour leur métabolisme propre et/ou pour les stocker.
- Au niveau de leurs racines, certaines plantes sécrètent des antibiotiques, contribuant ainsi à l'élimination des micro-organismes pathogènes.

### II.3. Rôle des micro-organismes

Le principal rôle des micro-organismes est, comme dans tout procédé de traitement biologique :

- La dégradation de la matière organique. Ce sont eux qui assurent les différents processus d'oxydation et de réduction.



- Ils minéralisent les composés azotés et phosphorés, et les rendent ainsi assimilables par les plantes.
- Ils assurent également les réactions de nitrification/dénitrification.

### III. Présentation du système « jardins d'épuration »

Les Jardins d'Épuration des Eaux Usées furent développés au sein de l'expérience la plus importante au monde d'écosystèmes fermés Biosphère 2, par **Dr. Mark Nelson**, conjointement avec des scientifiques de la **NASA**. Le système fut ensuite affiné par la **Planetary Coral Reef Foundation (PCRF)** conjointement avec l'**Institute of Ecotechnics** et sous la direction de l'éminent spécialiste de l'Écologie des Systèmes, le Professeur **H.T. Odum** du **Centre for Wetlands de l'Université de Floride**.



#### III.1. Technique du traitement des eaux usées par les jardins d'épuration

Un bassin de jardin d'épuration (WWG) appelé scientifiquement zone humide artificielle (ZHA) est une écotechnologie qui reproduit les conditions des zones humide naturelles (ZHN).

Le traitement primaire des eaux usées par ce système est assuré par une fosse septique (rétention des particules grossières et flottantes).

Le traitement secondaire est assuré par un bassin WWG, imperméabilisé, rempli de gravier et planté par des plantes pouvant vivre en milieu saturé d'eau.

L'eau évacuée du bassin WWG est dirigée vers des tranchées de drainage pouvant servir à alimenter une zone verte additionnelle dont les plantes bénéficient également des nutriments toujours présents dans l'eau.



Figure2 : schéma présentant le principe de fonctionnement du système « jardin d'épuration »

## III.2 Facteurs importants

### 1. Climat et application climatique

S'appuyant sur des plantes vertes et des bactéries, les jardins d'épuration sont le mieux adaptés aux climats favorisant la photosynthèse, ensoleillés et chauds ; la plage de climats idéals s'étend du type tropical et équatorial à l'océanique ou au méditerranéen avec des zones semi-désertiques. Dans ces conditions, leur efficacité est optimale à l'année.

Toutefois, le système est également applicable dans des climats de type désertique ou des régions plus froides, comme l'ont démontré les WWG installés au Nouveau-Mexique ou en Pologne : dans ces cas-là, il faut prévoir une surface de traitement plus importante.

Les Jardins d'épuration des eaux usées sont spécialement recommandés pour une utilisation proche des effluents à traiter, lorsque les sols regorgent d'eau et que celle-ci est proche de la surface (souvent le cas durant la saison des pluies), pour des sites argileux ou rocheux (compositions géologiques empêchant souvent la bonne performance de drains standards), ou encore, des zones particulièrement sensibles comme au bord des rivières, lacs et surtout zones côtières de mers et d'océans.

## 2. Surfaces nécessaires

Dans le cas d'une utilisation moyenne de 125 à 200 litres d'eau par personne/jour, nous considérons une surface nécessaire de traitement allant de 2.5 à 3.5 m<sup>2</sup> par personne. Ces paramètres dépendent toutefois de nombreux facteurs : le climat (plus chaud est le climat, plus petite est la surface), le nombre de personnes et la quantité d'eau usée qu'elles génèrent, suivant que le système traite toutes les eaux usées ou que l'eau grise est traitée séparément, ainsi que le niveau de purification exigé ou souhaité.

Dans les climats froids, par exemple, ces nombres peuvent être multipliés par deux ou trois, selon le niveau de traitement exigé pendant les périodes hivernales de l'année, lorsque les plantes sont dormantes et l'activité bactérienne plus lente.

Il existe une relation empirique pour dimensionner les filtres horizontaux (Cooper *et al.*, 1996). Elle détermine la surface du filtre en fonction des paramètres suivants :

- le débit moyen journalier ;
- la concentration moyenne en DBO<sub>5</sub> à l'entrée de la station ; - la concentration moyenne en DBO<sub>5</sub> souhaitée à la sortie.

Elle s'écrit ainsi :

$$A_s = Q_j (\ln C_{DBO_e} - \ln C_{DBO_s}) / k_{DBO}$$

Avec :

$A_s$  = surface du filtre (m<sup>2</sup>)

$Q_j$  = débit moyen journalier arrivant à la station (m<sup>3</sup>/j)

$C_{DBO_e}$  = concentration moyenne journalière en DBO<sub>5</sub> à l'entrée (mg/l)

$C_{DBO_s}$  = concentration moyenne journalière en DBO<sub>5</sub> souhaitée à la sortie

(mg/l)  $k_{DBO}$  = constante (m/j)

$k_{DBO}$  dépend du type d'eaux à traiter (eaux brutes, eaux traitées biologiquement...).

La surface (et, à profondeur égale, le volume) est donc directement proportionnelle au débit. Elle augmente également avec la concentration en DBO<sub>5</sub> à l'entrée (la concentration en sortie étant très faible).

L'application de cette formule conduit, en fonction du type d'eaux à traiter et donc de la valeur de  $k_{DBO}$ , aux surfaces résumées dans le tableau ci-dessous (les calculs ont été réalisés avec comme hypothèses: objectif  $C_{DBO_s} = 10$  mg/l,  $Q_j$  égal à 150 l/j par habitant)

:

| Type d'eaux                 | Concentration (DBO <sub>5</sub> mg/l) | kDBO <sub>5</sub> | m <sup>2</sup> /hab. |
|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------|----------------------|
| Brutes                      | -                                     | -                 | -                    |
| Décantées                   | 150 - 300                             | 0.1               | 5                    |
| Traitées biologiquement     | 10 - 20                               | 0.3               | 1                    |
| Surverse de réseau unitaire | -                                     | 0.3 - 0.6         | 0.5 à 1              |

### **3 Entretien**

La formation sur place du personnel et la remise d'un manuel d'entretien à la fin de notre présence sur le site font partie de nos services d'installation des WWG. Le fonctionnement optimal du système dépend de plusieurs étapes d'entretien simples mais importantes :

#### **• FOSSE SEPTIQUE**

Elle représente le premier élément du système et nécessite un entretien normal : nous y ajoutons un filtre qui doit être vérifié tous les 3 à 6 mois et être lavé/rincé si nécessaire. Outre une capacité de 2.5 fois la quantité d'eau qu'elle reçoit quotidiennement, la fosse septique doit être pompée quand les solides remplissent plus de la moitié de sa profondeur (entretien standard pour le bon fonctionnement de toute fosse septique).

#### **• GRAVIER**

Si la porosité du gravier d'origine décline (possible après 15-20 ans), un nouveau gravier peut lui être substitué ou le gravier d'origine enlevé et nettoyé. Les plantes peuvent alors de nouveau être transplantées et le système continuer son traitement avec efficacité pour de nombreuses années à venir.

#### **• NIVEAU D'EAU**

Les niveaux d'eau doivent être périodiquement vérifiés par la boîte de contrôle (incluse et placée à l'intérieur ou à l'extérieur du/des bassin/s), surtout durant les périodes de faible production d'effluents, lorsque l'évapotranspiration des plantes risque de dépasser la quantité d'eau disponible. Il est vital que ces niveaux ne tombent pas en dessous de la zone de leurs racines, notamment si les plantes ne sont pas encore pleinement enracinées

- **PLANTES**

Les plantes des jardins d'épuration nécessitent un entretien classique de jardin et doivent, par exemple, être élaguées afin d'encourager l'émergence de nouvelles fleurs. Les feuilles mortes peuvent rester dans le jardin, tant que leur décomposition se fait au-dessus du gravier et favorise l'existence de microbes aérobies. Cependant, toute quantité importante de feuilles ou de branches mortes devra être enlevée pour éviter une réduction de la porosité - capacité de respiration - du gravier, mais pourra être utilisée hors du système en tant que matière à compost. Si, pour supplanter aux nutriments des effluents de l'eau usée, les jardins d'épuration devaient être plantés avant qu'ils ne soient connectés à la fosse septique, il faudra fertiliser le jardin et suffisamment l'arroser afin que les plantes puissent s'établir.

- **DRAINAGE**

Il est important de s'assurer que le drainage soit adéquat autour des jardins d'épuration pour que les eaux de pluies et la terre ne se déversent pas dans les Jardins. Construits en surélévation par rapport au niveau du sol, il faut régulièrement vérifier qu'il n'y ait pas d'accumulation de terre autour, ce qui permettrait aux eaux de pluie d'inonder le/s bassin/s WWG et occasionnerait des problèmes de saturation des sols.

### III.3. Les mécanismes d'élimination et les performances épuratoires

Les mécanismes d'élimination sont régis par les processus physiques, chimiques, physicochimiques ou encore biologiques qui sont résumés comme suit.

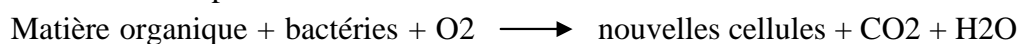
#### 1. Les matières en suspension :

Les matières en suspension sont retenues par **filtration** grâce aux matériaux de remplissage (gravier).

#### 2. La matière organique :

La matière organique est dégradée par des bactéries hétérotrophes aérobies ou anaérobies.

La dégradation aérobie transforme la matière organique en biomasse bactérienne et en éléments minéraux simples :



Les nouvelles cellules ainsi formées seront dégradées à leur tour.

#### 3. L'azote

L'ammonification est la minéralisation de l'azote organique en ammoniacale. Elle a lieu aussi bien en milieu aérobie qu'anaérobie.



Dans des conditions aérobies, l'azote ammoniacal est oxydé en nitrites puis en nitrates par des bactéries nitrifiantes ; c'est la nitrification.

Les plantes assimilent l'azote sous sa forme minéralisée. L'azote peut donc être exporté par la fauche.

#### 4. Le phosphore

Dans les eaux usées, le phosphore est présent sous formes de poly-phosphates, de phosphore organique et d'ortho-phosphates. Les deux premières formes sont hydrolysées en orthophosphates ( $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ ) par l'action des micro-organismes.

La plante assimile le phosphore pour ses tissus en croissance.

#### 5. Les micro-organismes d'origine humaine

Les micro-organismes sont retenus par filtration, puis détruits soit par prédation, soit par des biocides émis par les racines des plantes, soit par mort naturelle, et enfin éliminés par dégradation avec la matière organique.

### IV. Exploitation, entretien et sécurité du personnel

#### IV.1 Besoin en personnel d'exploitation

L'exploitation et l'entretien de la station ne demandent pas de qualification particulière. Il est cependant primordial que l'exploitant envisagé connaisse le principe de fonctionnement du système en place et comprenne ainsi l'importance des tâches qui lui sont demandées avec régularité.

Cette sensibilisation pourra être accompagnée d'une information sur les problèmes d'hygiène, ainsi que pour les consignes de sécurité à respecter. Il est inutile de faire appel à une entreprise spécialisée, un simple employé **motivé et consciencieux** peut assurer l'entretien et l'exploitation de la station.

Seuls les équipements électromécaniques pourront nécessiter l'intervention de personnel spécialisé mais pour des actions ponctuelles de réparation uniquement.

L'entretien ne doit en aucun cas être négligé même s'il est réduit et peut donc apparaître comme secondaire. Le bon fonctionnement de la station et sa pérennité dépende de la qualité et de la régularité de l'entretien.

#### IV.2 Sécurité du personnel

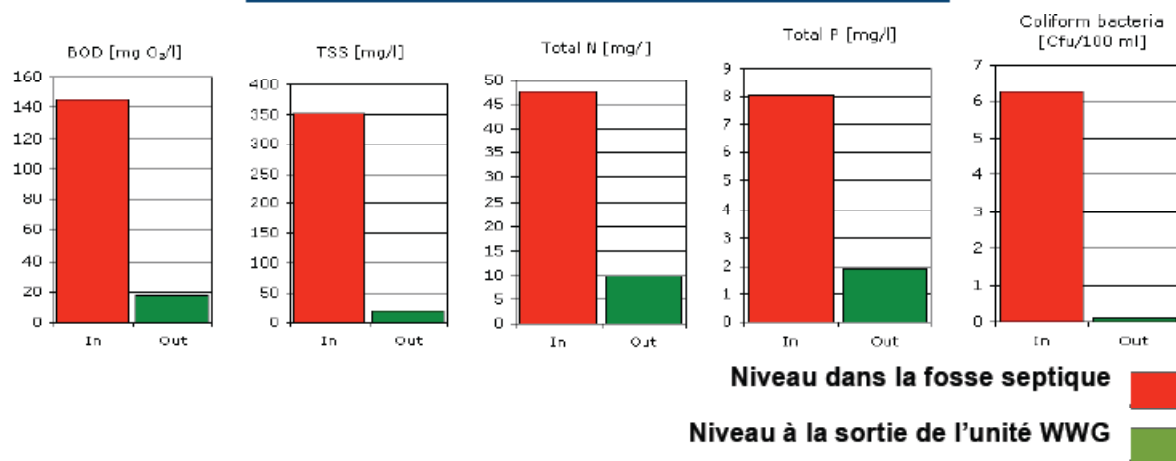
Pour la sécurité du personnel d'exploitation et d'entretien de la station, celui-ci doit être vacciné contre l'Hépatite A, la leptospirose et la typhoïde. Certaines vaccinations obligatoires comme le BCG, l'Hépatite B et le D.T.Polio doivent impérativement être mises à jour.

### IV.3 Niveaux d'épuration de l'eau par le système WWG :

#### Exemple de résultats d'épuration d'une unité WWG (Krempna, Pologne)

| Paramètre | Eau fosse septique | Eau sortie de l'unité WWG | Niveau d'épuration exigé par les autorités locales |
|-----------|--------------------|---------------------------|--|
| DBO5      | 55,0 mg O2/l       | 11,0 mg O2/l              | 40 mg O2/l   |
| COD       | 88,0 mg O2/l       | 32,0 mg O2/l              | 150 mg O2/l  |
| TSS       | 74,5 mg/l          | 49,5 mg/l                 | 50 mg/l  |
| Total N   | 73,7 mg N/l        | 24,6 mg N/l               | 30 mg N/l  |
| Total P   | 7,2 mg P/l         | 2,0 mg P/l                | 5 mg P/l   |

#### Exemple de résultats d'épuration d'une unité WWG (Birdwood Downs homestead, Derby, Australie)



### V. Application du système WWG :

#### 1. Résidences privées :

À ce jour, les Jardins d'Épuration des Eaux Usées ont été installés sur une centaine de sites, répartis entre résidences privées, hôtels, écoles et communes. Parmi les résidences privées présentées :



Station Estivale Tropical Padus

#### 2. HOTELS, STATIONS ESTIVALES, PARCS

Dans le cas du secteur touristique, les hôteliers comprennent de mieux en mieux que le traitement des eaux usées contribue non seulement à préserver leur écosystème local, mais aussi à promouvoir leur établissement comme site écologique soucieux du développement durable.



WWG pour le Restaurant  
Xpu-Ha Eco-Park traitant les  
eaux usées de 1500  
personnes.

### 3. ECOLES & CENTRES DE RECHERCHE

Tandis que la recherche de solutions pour la conservation de l'eau douce devient une source de préoccupation de plus en plus importante aux yeux de nos gouvernements et des communautés locales, les systèmes WWG, en tant que systèmes de traitement d'échelle et outil pédagogique, commencent à être installés dans des écoles.

En effet, les WWG sont un excellent outil de sensibilisation pour la gestion de nos ressources naturelles et la mise en valeur de solutions économes permettant de préserver la pérennité, non seulement de l'être humain, mais aussi de toute autre forme de vie - diversité dont dépend l'existence même de l'écosystème terrien. Parmi les écoles et les centres communautaires qui nous ont confié la purification et le recyclage de leurs eaux usées se trouvent :

- L'école Sunrise School desservant 80 étudiants, Legian, Bali, Indonésie
- L'école Cape Eleuthera Island School, avec 60 étudiants et professeurs, les Bahamas
- L'université Jagellonian, Centre de Recherche, Parc National Magursky, Pologne

Un bassin de  
traitement WWG,  
Sunrise School, Bali



### 4. LES COMMUNAUTES



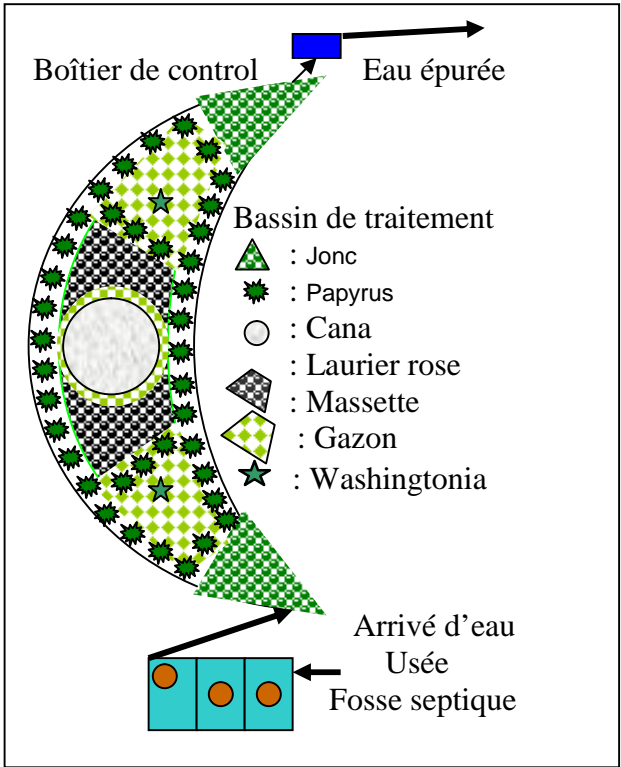
Les Jardins d'Épuration des Eaux Usées WWG peuvent également être appliqués à des populations importantes, à l'échelle de communes, villages ou villes. Il y a de nombreux exemples de zones humides artificielles traitant les eaux usées de populations allant jusqu'à 20 000 personnes - dont des effluents domestiques et industriels sont traités par millions de litres chaque jour (exemples aux Etats- Unis : Mobile en Alabama, Denham Louisiane, Benton Kentucky, ...).

Dans ces cas, les effluents à traiter peuvent être concentrés en une seule zone de WWG, mais il est préférable qu'ils soient conçus en plusieurs bassins décentralisés, réduisant ainsi les coûts et les distances de pompage et de tuyauterie ; une solution à recommander vivement.

### **VI. Présentation de l'unité pilote de traitement des eaux usées du Vieux Ksar de Témacine**

C'est en 2004, à l'issue d'une rencontre pluridisciplinaire et multiculturelle organisé par Monsieur le **Cheikh de la Zaouia Tidjania de Témacine** et l'**Association SHAMS** afin d'envisager les conditions d'un développement et d'un avenir durable des Oasis Saharienne, que le bureau d'étude Américain a reçu des autorités locales de Témacie une première demande de devis pour un système pilote de traitement des eaux usées par les plantes (système WWG). Suite à plusieurs échanges avec les chercheurs de l'**INRAA**, le Ministère des ressources en Eau, Direction de l'Assainissement et de la protection de l'Environnement (**MRE/DAPE**) et des services administratives et technique de la commune de Témacine. Le bureau d'étude WWG fut retenu par le MRE/DAPE pour l'étude et la réalisation d'une unité pilote, traitant 15 m<sup>3</sup>/jour d'eaux usées d'origine résidentielles, en bordure de Vieux Ksar de Témacine.

En avril 2008 **une offre** est établie en réponse à une sollicitation du Ministère des Ressources en Eau à la Station Expérimental de l'INRAA de Sidi Mahdi Touggourt, en vue de prendre en



**STATION D'ÉPURATION DES EAUX USEES WASTEWATER GARDENS, VIEUX KSAR DE TEMACINE**  
*Vue Globale* +SCHEMA DE LA DISPOSITION DES PLANTES

## VI.1 Description du système de Témacine

Le jardin d'épuration de Témacine est dimensionné pour traiter 15 m<sup>3</sup> d'eaux grise fécales par jour, correspondant à la production de 100 personnes à raison de 150 L/personne/jour.

La surface totale du bassin de traitement est de 400 m<sup>2</sup>, le niveau de gravier dans le bassin est de 0,70 m rempli par de l'eau de telle manière que le niveau supérieur de l'eau soit de 10-15 cm au dessous du gravier.

Actuellement le bassin WWG de Témacine comporte environ 1000 plantes reconnues par leurs capacités à vivre dans un milieu saturé d'eau (Laurier rose, Hibiscus, Cana, Papyrus, Massette (Typha), Jonc, Washingtonia).

## VI.2 Etapes de réalisation

Les étapes de réalisation du système pilote de Témacine peuvent être résumées comme suit :

- Excavation du bassin WWG et de sa Boîte de Contrôle (*à la main ou à la machine*).
- Création de drains pour la plomberie + le drainage (*à la main ou à la machine*).
- Imperméabilisation du bassin WWG (*en argile, béton ou géomembrane*) + son Boîtier de Contrôle.
- Remplissage d'eau du bassin WWG pour vérification de son étanchéité.
- Remplissage de gravier du bassin WWG.
- Les bordures du bassin WWG sont recouvertes de gravier, de pierres, ou d'œuvre de maçonnerie.
- Enfin Le bassin WWG prêt à être planté.

## VI.3 Alimentation en eau du système

Il y a deux sources d'apport d'eau usée pour le système :

- Celle des maisons du vieux Ksar à raison de  $3.5 \text{ m}^3/\text{jour}$ , amenées gravitairement.
- Celles qui sont amenées par une pompe placée dans la station de refoulement à raison de  $11.5$  à  $12 \text{ m}^3/\text{jour}$ .

Les deux effluents se rencontrent dans un regard puis s'écoulent gravitairement vers la fosse septique sont ensuite acheminées gravitairement vers le bassin WWG.

Les eaux usées traitées par le système se déversent dans un trop plein « Boitier de contrôle ».

## VII. Différents type des traitements des eaux usées par le système

Les jardins d'épuration assurent deux types de traitement (Traitement primaire et Traitement secondaire)

### 1. Traitement primaire

Assuré par une fosse septique ; conçu de manière à assurer une bonne décantation des particules en suspension et une bonne rétention des matériaux flottantes tels que les sables, les huiles, Bois, plastique.....

- Le volume total de la fosse est de  $45 \text{ m}^3$
- Le nombre de compartiment est de 3.
- Temps de résidence des eaux usées dans la fosse est de 3 jours en minimum.
- A la sortie de la fosse on signale l'existence d'un filtre à mail rempli par le lif (fibre de palmier).

### 2. Traitement secondaire

Assuré par un bassin étanche de traitement, conçu de manière à assurer un bon traitement biologique des eaux usées brutes :

- Volume total du bassin :  $260 \text{ m}^3$  ;
- Surface total du bassin :  $400 \text{ m}^2$  ;
- Niveau de l'eau dans le bassin est de  $0.55 \text{ m}$ , recouvert par une couche de gravier allant  $10$  à  $15 \text{ cm}$  ;

## VIII. Plantation et entretien dans le bassin de traitement WWG

### VIII.1 Plantation

- Date de plantation : 27 avril – 17 mai 2007
- Nombre de plantes total dans le bassin WWG : le nombre de plantes au début de plantation du bassin est de 941 plantes réparties entre 23 espèces (Vétiver – Figuiers – *Jasmin* – Lantana - Rose de Touggourt – Hibiscus -Laurier rose – Cana – Papyrus – Euonimus – Bananier – Goyave – Jonc.....)

## VIII.2 Choix des plantes

Le choix des plantes est effectué à partir de 3 principaux critères:

- Les plantes qui assurent le traitement des eaux usées a racines profondes, moyennes et superficielles.
- Les plantes à haute productivité utilitaire et/ou esthétique.
- Les plantes "TEST" (dont certaines faisant partie de celles qui sont utilisées fréquemment dans les systèmes WWG, mais non encore essayées dans un climat tel que celui de Témacine).

Toutes les plantes mise en place durant la première année en service n'ont pas survécu les causes probables qui sont à l'origine de la mortalité des plantes. Elles sont résumées comme suit :

- Inadaptation aux conditions locales.
- Epoque de plantation
- Salinité excessive
- Retard dans la mise en service de l'ouvrage
- Décomposition du substrat

L'analyse des contraintes à fait ressortir que la cause la plus probable a l'origine de la mortalité des plants est d'ordre d'adaptation aux conditions milieu, ceci est confirmé par le faite que malgré le retard dans la plantation, le retard dans la mise en service de l'ouvrage et même la salinité, les plants ont réussi à survivre et que même l'évolution de l'aspect végétatif peut être considéré comme satisfaisant (multiplication des touffes du jonc, papyrus, cana et même la floraison du laurier rose).

Le retard dans la plantation qui c'est étaler a une période ou l'on note une forte évapotranspiration ( $\approx 10$  mm/ j) dont les conséquences se sont traduits par des dépôts de sels importants en surface qui ont été néfastes aux jeunes plantes.

Toutes les conclusions qui ont été avancées ont confirmées, que seules les plantes ayant des caractéristiques physiologiques s'adaptant à un milieu saturé et supportant les facteurs climatiques ont survécues et ont un développement végétatif satisfaisant.

Il s'agit du Jonc, Papyrus, Massette, Washingtonia, kikuyu, lauriers

En revanche d'autres espèces ont survécu mais leur développement végétatif est resté stationnaire en raison des conditions climatiques... Ceci s'explique par le faite qu'au cours de

la période où les conditions bioclimatiques sont favorables, on note un redémarrage de la croissance qui est ensuite ralenti ou rentre en dormance en réaction des climatiques difficiles (températures élevées et vents chauds)

Il s'agit des espèces suivantes Hibiscus, Cana, Grenadier.

Cette situation a rendu difficile la tâche pour le repeuplement du bassin et augmenter ainsi la densité de végétation.

A cet effet 227 plants représentant 07 espèces (*papyrus à feuille alternée*, *Massette*, *Faux bananier*, *Fusain vert du Japon*, *Lierre commun*, *Géranium rosat*, *Washingtonia*, *Caladium du Brésil*, *Datura*, *Iris jaune*, *Troène*, *Peuplier* et enfin *la Sauge*, 02 *Caladium de Brésil*.) ont été rajoutés au matériel végétal déjà existant.

Cette nouvelle plantation aura incontestablement un effet positif sur l'amélioration de la demande biologique en oxygène qui se traduira par la multiplication des microorganismes, l'élément moteur de l'épuration

### VIII.3. Entretien des plantes dans le bassin de traitement WWG

Voir le Manuel d'entretien de chaque plante dans le tableau (1)

- Nettoyer régulièrement les déchets sur le gravier ; ils ne doivent pas être laissés en décomposition sinon ils pourraient colmater à terme le gravier.
- Éviter que les diverses variétés se chevauchent.
- Enlever tout de suite les plants de Phragmites poussés dans le bassin.
- Tailler de telle façon à maintenir la cohérence de la plantation initiale.

## IX. Performances épuratoires du WWG du Vieux Ksar

### IX.1 Dispositif d'échantillonnage et d'analyse de l'eau

- 5 Sites de prélèvement de l'eau (Station de pompage, fosse septique au niveau du filtre, 1/3 du bassin de traitement, 2/3 du bassin de traitement et un boîtier de contrôle).
- L'analyse du pH et de la conductivité ont été effectuées sur les échantillons au niveau du laboratoire de la station de l'INRAA de Touggourt.
- Les analyses bactériologiques ont été effectuées sur deux échantillons (fosse septique et boîtier de contrôle) au niveau du laboratoire de l'hôpital de Touggourt.
- Les analyses de la DBO5, la DCO, MES, phosphore total et l'azote sont effectuées sur deux échantillons (fosse septique et boîtier de contrôle) au niveau du laboratoire de la STEP de Touggourt.
- La fréquence d'échantillonnage est hebdomadaire au début du suivi, chaque quinzaine le fin de la 1<sup>ère</sup> année et au début de la 2<sup>ème</sup> année et chaque mois en fin du suivi

## IX.2 Performance épuratoire

Les performances épuratoires du système depuis Février 2008 à Février 2009 sont mentionnées dans les tableaux (2)

Ces performances sont globalement bonnes et se situent au-delà de 75% pour la plupart des paramètres considérés, en effet les taux moyens de rabattement calculés soit de l'ordre de 78% (DBO5), 83.5% (DCO), 96% (MES). Le Système à éliminé faiblement les ions phosphates (24 %), les ammoniums (16.31%) et une réduction très importante en coliformes totaux.

Ces performances par rapport aux gammes des performances exigées par la législation Algérienne sont bonnes pour les MES et dépasse légèrement pour la DCO, mais dépasse fortement les normes pour la DBO5 et très éloigné aux normes pour le PT.

Dans notre situation, il existe ce qu'on appelle les variables; se sont les éléments de la situation (nombre et type des plante, débit et qualité de l'eau à l'entrée du système, personnes échantillonneur et analyseur de l'eau, équipement et outils d'échantillonnage et d'analyse.....), qu'il faut les fixés durant tout la période du suivi, mai malheureusement tout ses variables ont subit des changements dans le temps pour une raison ou une autre.

Après une brève étude, on en déduit qu'il est prés mûré de trancher sur l'efficacité d'épuration par cette technique dans cette situation (changement fréquent des variables) néanmoins le généraliser sous un climat plus clément et sur des sites tel que les hôtels et les écoles reste la solution la plus approprier pour le moment.

## Conclusion

La station pilote d'épuration des eaux usées par les plantes du vieux ksar de Témacine reçoit actuellement la charge polluante de 100 habitant (15 m<sup>3</sup>/j) en écoulement continu, globalement les faibles coûts de réalisation et la simplicité d'entretien du WWG sont les plus grand avantage de ce système, ces coût restent liée aux travaux de maçonnerie (fosse septique, bassin de traitement, boîtier de contrôle), remplissage du bassin par le substrat (gravier) et la mise en place du matériel végétal. Ces coûts peuvent êtres minimisés par l'utilisation d'une fosse septique en pré fabriqué et une étanchéité du bassin par la pose d'une géomembrane au lieu du béton armé.

Le système ne nécessite aucun entretien régulier. Les seules opérations d'entretien résident dans la taille des plantes, le renouvellement des plantes mortes et la vidange de la fosse septique.

En moyenne, un simple employé passera 3 heures par semaine sur la station pour la taille des plantes et le ramassage des débris des végétaux.

Dans les conditions générales ; la consommation d'électricité, l'utilisation des pompes et des produits chimiques en fonctionnement du système sont nuls.

Ce système a jusqu' ici montré des performances globalement satisfaisante : cela a certainement joué un rôle important dans le choix de cette technologie comme la plus adéquate pour le traitement des effluents domestique.

### **Recommandation**

Le bassin de traitement de Témacine après deux années de repeuplement, d'entretien .... Doit maintenant faire l'objet d'un suivi qui s'oriente beaucoup plus sur la détermination avec précision des rendements d'épuration et des teneurs des eaux à la sortie du système en certains éléments polluants de l'environnement.

Pour atteindre cet objectif en recommande la prise en considération des éléments suivants:

- Respecter tous les conseils donnés par le concepteur du système
- Entretenir les espèces existantes dans le bassin (voir manuel d'entretien du constructeur).
- Remplacement des plantes mortes par les mêmes espèces.
- Respecter le temps de séjour de l'eau dans la fosse septique et le bassin de traitement (contrôle et réglage du débit d'eau refoulé par la pompe).
- Respecter les conditions d'échantillonnage de transport et d'analyse des eaux usées (échantillonneur spécialisé, analyseur bien formé, outils d'échantillonnages bien stérilisés, conditions du transport bien respectées, appareillages d'analyse bien étalonnés .....).