

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة العقيد أحمد دراية أدرار. كلية العلوم والتكنولوجيا

Université AHMED DRAYA ADRAR.

Faculté des Sciences et de la technologie.

Département de sciences de la matière.

قسم علوم المادة

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Master en Chimie.

Option : Chimie d'Environnement.

Présenté par : Mme SAHNINE Warda

Thème :

Analyses physicochimiques des eaux usées de la station d'épuration par lagunage Tidmaine  
commune d'Inzegmir

**La composition du jury de soutenance :**

| Nom et prénom         | Qualité      | Appartenance administrative |
|-----------------------|--------------|-----------------------------|
| Mr. KELLOUM Sliman.   | Président    | Université d'Adrar.         |
| Mr. ABBASSI Nouredine | Encadreur    | Université d'Adrar.         |
| Mr. IDDER Boubaker    | Co-encadreur | Université de Mostaganem    |
| Mr. SLIMANI Said      | Examineur    | Université d'Adrar.         |

**Année universitaire : 2016-2017**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## Dédicace

Je dédie ce modeste travail:

A mes très chers parents qui méritent beaucoup plus mieux que ça, pour leurs sacrifices afin de m'éduquer et m'instruire pour que je sois un jour leur fruit mûr.

A Ma petite famille, mon cher marie, qui était et est encore ma fioul tout le long du chemin, et mes petites adorables enfants Mohammed Aymen, Fatima Zohra , Aicha Tahira, Abdelwahab et Hiba. A mes frères, sœurs, et oncles, A mes beaux parents, frères et sœurs.

A toute la famille SAHNINE et IDDER et tous ceux qui m'aiment.

SAHNINE W

## Remerciement

Je remercie mon Dieu et je dis EL HAMDO LILLAH qui m'a fourni tous pour atteindre ce point-là, tout le long de ce chemin afin de réaliser ce modeste travail.

Je tien à remercier Mr. **ABBASSI Noureddine** d'avoir accepté de m'encadrer, pour leur patience et leurs précieux conseils, aussi les membres du jury de ma soutenance d'avoir accepté de juger ce modeste travail, le président **Mr. KELLOUM Sliman** et l'examineur **Mr. SLIMANI Said**.

Aussi mes remerciements cordiaux à :

L'équipe du laboratoire de l'agence nationale des ressources hydrauliques d'Adrar, qui ont facilité notre tâche ;

Je remercie tous les enseignants de la faculté des sciences et sciences des technologies et particulièrement ceux qui nous ont accompagné dans ce parcours,

Enfin, je remercie tous qui ont nous aidé de près ou de loin afin de concrétiser ce travail.

SAHNINE W.

## **Résumé**

Les eaux usées ont une qualité médiocre suite à leur composition en polluants organiques et minérales, parfois constitue des vraies problèmes pour le sol, l'aquifère et l'environnement. Les techniques et les systèmes d'épuration des eaux usées ont connu un développement très avancé. Dans le contexte, l'objectif de la présente étude vient pour décrire le fonctionnement de la station de lagunage de Tidmaine, pour corriger les anomalies techniques et pour voir les possibilités de la réutilisation des eaux traitées de la station.

Des analyses physicochimiques ont été réalisées pour six prélèvements des eaux, quatre points de la station et deux points dans deux lagunes en aval de la station, une lagune de rejet en surface libre et l'autre d'un filtre à sable afin de consulter les performances de traitement à chaque point, les analyses ont été faites dans le laboratoire de l'agence national des ressources hydrauliques. Les résultats obtenus ont montré que plusieurs paramètres physicochimiques des eaux traitées à la sortie de la station ne sont pas dans les normes, comme la turbidité, le DBO5, le DCO, et la conductivité. Alors que la lagune de filtre à sable était la plus performante, sauf la mesure de la conductivité qui dépasse la norme.

Afin de rattraper le niveau perfectionné de traitement, on a proposé un plan d'intervention comprend la révision technique de la station, l'addition d'un bassin de filtre à l'aval de la station et renforcement des mécanismes de l'épuration biologique, l'ajout d'une masse algale pour intensifier l'autofloculation, d'une boue active pour l'augmentation de la biodégradation de la biomasse et matière en suspension, et l'installation des phytoplanctons pour activer la phytoremédiation. On a également fait un aperçu sur les impacts de réutilisation des eaux traitées, en citant les avantages pour l'activité agricole et l'exploitation dans l'industrie, ainsi que les rôles écologiques que la station peut jouer.

Mots clés : Tidmaine, lagunage, épuration, réutilisation, physicochimiques.

## Liste des tableaux

|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Les recommandations du CSHPF.....                                                                                                       | 36 |
| Tableau 2: Directives de qualité microbiologique recommandée pour l'usage d'eau usée en agriculture (OMS, 1989).....                                | 37 |
| Tableau 3: Les valeurs limites maximales des paramètres de rejet des installations de déversement industrielles.....                                | 39 |
| Tableau 4: Variation des paramètres physicochimiques, pH, Conductivité, Résidu sec et Turbidité. ....                                               | 76 |
| Tableau 5: variation des indices de pollution chimique , Ammonium NH <sub>4</sub> ,Nitrite NO <sub>2</sub> - et O.Phosphate PO <sub>4</sub> -. .... | 79 |
| Tableau 6:Variation des indices de dégradabilité, DCO et DBO <sub>5</sub> .....                                                                     | 80 |
| Tableau 7: Mesures des éléments minéraux des eaux la station.....                                                                                   | 83 |

## Liste des figures

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1: Schéma d'épuration des eaux usées par lagunage naturel ( <a href="http://www.lagunage.eu">www.lagunage.eu</a> ) ..... | 29 |
| Figure 2:Photos de la station de lagunage de Tidmaine .....                                                                     | 43 |
| Figure 3: Plan de masse des lagunes de la station Tidmaine. ....                                                                | 43 |
| Figure 4: Prélèvement des eaux pour l'analyse. ....                                                                             | 44 |
| Figure 5: Analyses physicochimiques au laboratoire ANRH. ....                                                                   | 44 |
| Figure 6: Schéma de bassin de filtre à sable proposé. ....                                                                      | 82 |
| Figure 7: Quelques aspects de la vie sauvage au site de lagunage Tidmaine.....                                                  | 84 |
| Figure 8: Photos de plantation forestière à <i>Tamarix articulata</i> dans la wilaya d'Adrar. ....                              | 85 |

## **Liste des abréviations**

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

BCF : Coliformes Fécaux

BREF : Best Référence

CE : Conductivité électrique

COT : Carbone total organique .

CSHPF : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

CTGREF : Centre Technique du Génie Rural, des Eaux et des Forêts

DBO 5 : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

E.U.T : Eaux Usées Traitées

FAO : organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

MES : Matières En Suspension

MMS :Matières minérales sèches.

MTD : Meilleure Technique Disponible

MVS : Matières volatiles en suspension.

OD : Oxygène dissous

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONA : Office National d'Assainissement.

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PDAIRE : Plans d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau

PFE : Pourcentage of Frech Effluent

PNUD : Programme des nations unies pour le développement

REUE : Réutilisation des Eaux Usées Epurées

SAT : Soil Aquifer Traitement

STEP : Station d'épuration

T : Température

TWG : Technical Working Group

UV : Ultra-violets.

## SOMMAIRE

|                                                     |                                    |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------|
| Résumé.....                                         | 3                                  |
| Liste des tableaux .....                            | 4                                  |
| Liste des figures .....                             | 4                                  |
| Liste des abréviations.....                         | 5                                  |
| INTRODUCTION GENERALE .....                         | 10                                 |
| CHAPITRE I.....                                     | 11                                 |
| Généralités sur les eaux usées .....                | 11                                 |
| 1. Introduction.....                                | 12                                 |
| Définition des eaux usées .....                     | <b>Erreur ! Signet non défini.</b> |
| 2. Les principaux rejets polluants .....            | 12                                 |
| 2.1. Eaux usées domestiques.....                    | 12                                 |
| 2.2. Eaux usées industrielles : .....               | 13                                 |
| 2.3. Les eaux usées pluviales .....                 | 13                                 |
| 2.4. Les eaux usées agricole .....                  | 13                                 |
| 2.5. Les eaux de drainage .....                     | 13                                 |
| 3. la pollution des eaux usées.....                 | 14                                 |
| 3.1. La pollution physique .....                    | 14                                 |
| 3.2. Pollution chimique .....                       | 14                                 |
| 3.2.1. Pollution par le phosphore .....             | 14                                 |
| 3.2.2. Pollution par l'azote.....                   | 14                                 |
| 3.3. la pollution microbiologiques .....            | 15                                 |
| 4. les paramètres de pollution.....                 | 15                                 |
| 4.1. Paramètres organoleptiques .....               | 15                                 |
| a. Couleur .....                                    | 15                                 |
| b. Odeur.....                                       | 15                                 |
| 4.2. Les paramètres physiques .....                 | 15                                 |
| a. Température .....                                | 15                                 |
| b. La turbidité .....                               | 15                                 |
| c. Les matières en suspension (MES).....            | 15                                 |
| d. Les matières décantables et non décantables..... | 16                                 |
| 4.3. Paramètres chimiques.....                      | 16                                 |
| a. Potentiel d'hydrogène.....                       | 16                                 |
| b. Demande chimique en oxygène (DCO) .....          | 16                                 |
| c. La demande biochimique en oxygène (DBO 5 ).....  | 17                                 |



|            |                                                                               |    |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| d.         | La biodégradabilité.....                                                      | 17 |
| e.         | Carbone total organique (COT).....                                            | 17 |
| f.         | Oxygène dissous.....                                                          | 17 |
| g.         | La conductivité électrique (CE) .....                                         | 18 |
| h.         | L'azote .....                                                                 | 18 |
| i.         | Le phosphore total .....                                                      | 18 |
| 4.4.       | Les paramètres microbiologiques .....                                         | 19 |
| a.         | Virus :.....                                                                  | 19 |
| b.         | Protozoaires :.....                                                           | 19 |
| c.         | Les bactéries .....                                                           | 19 |
| d.         | Helminthes.....                                                               | 19 |
| e.         | Coliformes totaux.....                                                        | 20 |
| f.         | Coliformes fécaux.....                                                        | 20 |
| g.         | Les streptocoques fécaux .....                                                | 20 |
|            | CHAPITRE II : .....                                                           | 21 |
|            | Généralités sur les stations d'épuration .....                                | 21 |
| 1.         | Introduction : .....                                                          | 22 |
| 2.         | Procédés d'épuration des eaux usées : .....                                   | 22 |
| 2.1.       | Traitement préliminaire : .....                                               | 22 |
| a.         | Dégrillage :.....                                                             | 22 |
| b.         | Dessablage :.....                                                             | 23 |
| c.         | Déshuilage : .....                                                            | 23 |
| 2.2.       | Traitement primaire : .....                                                   | 23 |
| 2.3.       | Traitement secondaire (traitement biologique) : .....                         | 24 |
| 2.3.1.     | Boues activés :.....                                                          | 24 |
| 2.3.2.     | Lit bactérien : .....                                                         | 25 |
| 2.3.3.     | Lagunage : .....                                                              | 26 |
| 2.3.3.1.   | Le lagunage naturel : .....                                                   | 27 |
| 2.3.3.1.1. | Avantages et inconvénients du lagunage naturel :.....                         | 29 |
| 2.3.3.2.   | Le lagunage aéré :.....                                                       | 30 |
| 2.3.3.3.   | Influence des conditions climatiques sur les performances du lagunage : ..... | 30 |
| a.         | La durée du jour et l'intensité de l'ensoleillement : .....                   | 30 |
| b.         | La température : .....                                                        | 30 |
| c.         | Le régime des vents dominants dans la région et leur orientation : .....      | 31 |
| d.         | L'évaporation : .....                                                         | 31 |
| e.         | La pluviométrie : .....                                                       | 31 |

|                                                          |                                                                                                                 |    |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.                                                     | Traitement tertiaire : .....                                                                                    | 31 |
| 2.4.1.                                                   | Traitement bactériologique par rayonnement UV : .....                                                           | 31 |
| 2.4.2.                                                   | Traitement par voie physico-chimique : .....                                                                    | 31 |
| 2.4.3.                                                   | Traitement des odeurs : .....                                                                                   | 32 |
| 3.                                                       | Problématique des boues : .....                                                                                 | 32 |
| 4.                                                       | Réutilisation des eaux usées : .....                                                                            | 32 |
| 4.1.                                                     | La législation française et les recommandations du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) ..... | 33 |
| 4.1.1.                                                   | Critères de qualité biologique .....                                                                            | 37 |
| 4.2.                                                     | Conclusion : .....                                                                                              | 40 |
| CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES .....                |                                                                                                                 | 41 |
| PRESENTATION DE LA STATION DE LAGUNAGE DE TIDMAINE ..... |                                                                                                                 | 41 |
| 3.1.                                                     | Présentation générale de la région d'Inzegmir .....                                                             | 42 |
| 3.1.1.                                                   | Aspect climatique : .....                                                                                       | 42 |
| 3.1.2.                                                   | Aspet socioéconomique : .....                                                                                   | 42 |
| 3.1.3.                                                   | Aspect écologique .....                                                                                         | 42 |
| 3.1.4.                                                   | Aspect géomorphologique .....                                                                                   | 42 |
| 3.1.5.                                                   | Aspect hydrologique .....                                                                                       | 42 |
| 3.2.                                                     | Présentation de la station de lagunage d'étude. ....                                                            | 42 |
| 3.3.                                                     | Prélèvement des échantillons .....                                                                              | 43 |
| 3.4.                                                     | Paramètres physicochimiques mesurés : .....                                                                     | 44 |
| 44                                                       |                                                                                                                 |    |
| 3.4.1.                                                   | PH, carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), $\text{OH}^-$ .....                   | 44 |
| 3.4.2.                                                   | Mesure de la conductivité électrique .....                                                                      | 46 |
| 3.4.3.                                                   | Dosage du calcium/magnésium et du calcium par complexométrie .....                                              | 47 |
| 3.4.4.                                                   | Dosage du sodium et du potassium par photométrie de flamme .....                                                | 49 |
| 3.4.5.                                                   | Détermination du résidu sec .....                                                                               | 51 |
| 3.4.6.                                                   | La turbidité .....                                                                                              | 52 |
| 3.4.7.                                                   | Dosage des chlorures .....                                                                                      | 52 |
| 3.4.8.                                                   | Dosage des sulfates .....                                                                                       | 53 |
| 3.4.9.                                                   | Dosage de l'azote ammoniacal .....                                                                              | 54 |
| 3.4.10.                                                  | Dosage des nitrates .....                                                                                       | 57 |
| 3.4.11.                                                  | Dosage des nitrites .....                                                                                       | 60 |
| 3.4.12.                                                  | Dosage des phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) .....                                                              | 62 |
| 3.4.13.                                                  | Dosage de la silice .....                                                                                       | 63 |
| 3.4.14.                                                  | Détermination de la demande chimique en oxygène .....                                                           | 68 |

|         |                                                                                        |    |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.15. | Détermination de la D.C.O (methode iso 6060) .....                                     | 71 |
| 3.4.16. | Détermination de la demande biologique en oxygene (DBO5) .....                         | 73 |
| 4.1.    | Paramètres physicochimiques .....                                                      | 76 |
| 4.1.1.  | pH : .....                                                                             | 76 |
| 4.1.2.  | Conductivité et teneur en résidu sec:.....                                             | 77 |
| 4.1.3.  | Turbidité.....                                                                         | 78 |
| 4.2.    | Paramètres chimiques de pollution (Azote et Phosphate).....                            | 79 |
| 4.2.1.  | Azote: Ammonium NH <sub>4</sub> , Nitrite NO <sub>2</sub> . .....                      | 79 |
| 4.2.2.  | Phosphore PO <sub>4</sub> .....                                                        | 80 |
| 4.3.    | Indices de dégradabilité DBO5 et DCO.....                                              | 80 |
| 4.4.    | Proposition d'un plan d'intervention : .....                                           | 81 |
| 4.5.    | Etude de possibilité de la réutilisation des eaux traitées de la station Tidmaine..... | 82 |
| 4.5.1.  | Impact socioéconomique :.....                                                          | 83 |
| 4.5.2.  | Impact écologique et environnementale :.....                                           | 83 |
|         | Conclusion Générale.....                                                               | 86 |
|         | Référence bibliographique.....                                                         | 87 |

## **INTRODUCTION GENERALE**

L'utilisation rationnelle des ressources naturelles pour leur durabilité et leur rénovation est considérée parmi les principaux axes du développement durable. La restauration des eaux usées dans nos jours devient une nécessité écologique et économique très intéressante. C'est pourquoi les systèmes d'épuration des eaux usées adoptés reconnaissent une grande évolution pour la même fin qui est le perfectionnement de la qualité de l'eau traitée. La station de lagunage est un de ces types reconnus dans le domaine des traitements des eaux usées en termes de la désinfection de plusieurs formes des polluants.

Le présent travail vient pour l'étude du cas la station de lagunage Tidmaine commune de Inzegmir 100 km au sud de chef-lieu de la wilaya d'Adrar. Cette étude vise d'un part, à reconnaître le niveau de désinfection des macros et micropolluants et des polluants organiques de la dite station et d'évaluer son fonctionnement afin de proposer un plan de perfectionnement pour la station après une constatation dans les analyses physicochimiques des eaux. D'autre part, l'étude a pour objet de mettre en points une fiche d'orientation pour la réutilisation des eaux traitées dans des domaines convenables. Ce document comprend trois parties :

- 1- La bibliographie : des généralités et des renseignements de toute notion de pollution des eaux usées, de systèmes et de procédés d'épuration et des données sur le cas étudié.
- 2- Matériel et méthodes : description des matériel utilisé dans les analyses physicochimiques et les méthodes adoptées dans cette étude.
- 3- Résultats et discussion : analyse des résultats obtenus et interprétation des indices de pollution selon les normes mise en vigueur.

En fin le document finalise des conclusions sur le fonctionnement de la station et des perspectives en termes de propositions d'un plan d'intervention pour le perfectionnement et d'une feuille de route pour la réutilisation adéquate des eaux traitées.

# **CHAPITRE I**

## **Généralités sur les eaux usées**

## **1. Introduction**

Le rejet direct des eaux usées dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique en transformant le milieu accepteur en égouts. Cette pollution peut aller jusqu'à la disparition de toute vie. Pour cela, il faut épurer et 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.

L'épuration consiste à éliminer les plus gros débris organiques ou minéraux, retirer les MES de densité différente de l'eau tels que les grains de sables et les particules minérales, et aussi à éliminer les pollutions résiduelles qui pourraient être gênantes en aval (germes pathogènes, azote, phosphore...etc.)

Elle se fait dans des stations d'épuration qui comportent des installations de traitement des eaux et des dispositifs de traitement des boues produites (Gaid A, 1984).

Les eaux usées, ou les eaux résiduaires, sont des eaux chargées de résidus, solubles ou non provenant de l'activité humaine industrielle ou agricole et parvenant dans les canalisations d'évacuation des eaux usées. Elles représentent, une fraction du volume des ressources en eaux utilisables mais leur qualité très médiocre exige une épuration avant leur rejet dans le milieu naturel (THOMAS O., 1955).

Une eau est considérée comme « eau usée » lorsque son état, sa composition sont modifiés par les actions anthropiques dans une mesure telle qu'elle se prête moins facilement à toutes ou certaines des utilisations auxquelles elle peut servir à l'état naturel. Aujourd'hui on parle de plus en plus des notions d'eaux claires.

## **2. Les principaux rejets polluants**

Les rejets sont de diverses origines classées en :

### **2.1. Eaux usées domestiques**

Ces eaux sont constituées par les eaux usées ménagères provenant des usages domestiques (eaux de bain et de lessive) et les eaux vannes (urines et fèces). En général, ces eaux sont chargées en matières organiques, graisses et produit d'entretiens ménagers. Elles présentent une bonne dérivabilité (Madjouri H et Amouria H., 2007).

## **2.2. Eaux usées industrielles :**

Les eaux industrielles ou résiduaires véhiculent souvent des produits chimiques toxiques (arsenic, acide sulfurique, du cyanure et divers métaux lourds). Elles posent à l'heure actuelle de multiples problèmes par leurs risques toxiques chez tous les êtres vivants (Bouziani. M., 2000).

## **2.3. Les eaux usées pluviales**

Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées surtout en début de pluie par deux mécanismes : Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées

- Les déchets solides ou liquides déposés par temps sur ces surfaces sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent
- Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs des réseaux est lent ce qui favorise le dépôt de matières décantables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau plus important permet la remise en suspension de ces dépôts (Regsek F, 2002).

## **2.4. Les eaux usées agricole**

Le secteur agricole reste le plus grand consommateur des ressources en eau (Salem A, 1990). Les pollutions dues aux activités agricoles sont de plusieurs natures :

- Apport des eaux de surface de nitrate et de phosphate utilisés comme engrais
- Apport de pesticides chlorés ou phosphorés de désherbants d'insecticides
- Apport de sulfate de cuivre de composés arsenicaux destinés à la protection des plantes (Richarde C, 1996).

## **2.5. Les eaux de drainage**

C'est l'eau de lessivage récupérée après irrigation grâce à un système de drainage. Les pollutions dues aux activités agricoles sont de plusieurs natures :

- Apport aux eaux de surface de nitrates et de phosphates utilisés comme engrais, par suite de lessivage de terre perméables. Ces composés minéraux favorisent la prolifération des algues (phénomène d'eutrophisation) qui en abaissent la teneur en oxygène des eaux courantes compromettent la vie des poissons et des animaux aquatiques.
- Apport des pesticides chlorés ou phosphorés, de désherbants, d'insecticides.

### **3. la pollution des eaux usées**

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels.

Selon leurs natures, on distingue divers types de pollution (Tekfi K, 2006).

#### **3.1. La pollution physique**

Résultat de la présence dans l'eau de particules ou de déchets capables de colmater le lit d'un cours d'eau (cas des eaux provenant par exemple des mines, d'usines de défilage de bois, de tanneries) (Vaillant J R, 1974).

#### **3.2. Pollution chimique**

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle. La pollution chimique des eaux est regroupée en deux catégories :

- Organiques (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols..) ;
- Minérales (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...) (TETI G1210) :

Elle est constituée essentiellement des métaux lourds en provenance des industries métallurgiques et de traitement de minerais, ex (plomb, du cuivre, du fer, du zinc et du mercure...etc) (Raissi O, 2005).

##### **3.2.1. Pollution par le phosphore**

Le phosphore a pour origine les industries du traitement de surfaces des métaux, les laveries industrielles des fabrications, d'engrais agroalimentaire ( Rodier J, 2005). Comme l'azote, le phosphore est un élément nutritif, il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques (Aoulmi S, 2007).

##### **3.2.2. Pollution par l'azote**

Les activités industrielles, peuvent être à l'origine des rejets plus ou moins riche en azote (élément nutritif) issu des fabrications d'engrais, des cokeries, et des industries chimiques et agroalimentaires (Aoulmi S, 2007). L'azote existe sous deux formes: la forme réduite qui regroupe l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_3$  ou  $\text{NH}_4^+$ ) et l'azote organique (protéine, créatine, acide urique). Plus une forme oxydée en ions nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).



### **3.3. la pollution microbiologiques**

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (Baumont S et al, 2004).

## **4. les paramètres de pollution**

### **4.1. Paramètres organoleptiques**

#### **a. Couleur**

La couleur des eaux résiduaires industrielles est en général grise, signe de présence de matières organiques dissoutes, de MES, du fer ferrique précipité à l'état d'hydroxyde, du fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes.

#### **b. Odeur**

Les eaux résiduaires industrielles se caractérisent par une odeur. Toute odeur est pollution qui est due à la présence de matières organiques en décomposition (Mizi A, 2006).

### **4.2. Les paramètres physiques**

#### **a. Température**

Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier O<sub>2</sub>) dans l'eau ainsi que, la détermination du pH et la vitesse des réactions chimiques. La température agit aussi comme facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau (Alain Botta et Laurence Bellon, 2001).

#### **b. La turbidité**

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau (Duguet J-P, 2006).

#### **c. Les matières en suspension (MES)**

Exprimée en mg par litre. Ce sont les matières non dissoute de diamètre supérieur à 1µm contenues dans l'eau. Dans le milieu récepteur, les MES peuvent entraîner des perturbations de l'écosystème par une diminution de la clarté de l'eau, limitant la photosynthèse végétale. De plus, ces MES peuvent être de nature organique et entraîner les nuisances associées aux molécules organiques (Regsek F, 2002).

- **Les matières volatiles en suspension (MVS)**

Elles sont recueillies soit par filtration, soit par centrifugation, séchées à 105°C, puis pesées, ce qui fournit la teneur en MES (g/l). Elles sont ensuite chauffées à 500-600°C, les matières volatiles disparaissent, et la perte de poids est attribuée aux MVS (g ou mg/l) (Rodert Thomazeau, 1981).

- **Les matières minérales sèches (MMS)**

Elles représentent la différence entre les matières en suspension (MES) et les matières volatiles en suspension (MVS) et correspondent à la présence de sel, et de silice.

**d. Les matières décantables et non décantables**

On distingue les fractions qui décantent en un temps donné (2 heures) suivant les conditions opératoires, et les matières non décantables qui restent dans l'eau et qui vont donc être dirigées vers les procédés biologiques (Gaid A, 1984).

**4.3. Paramètres chimiques**

**a. Potentiel d'hydrogène**

Sa valeur détermine un grand nombre d'équilibre physicochimique. La valeur de pH basse ou élevée altère la croissance des microorganismes existant dans l'eau (leur gamme de croissance est comprise entre 5 et 9) (Mechati F, 2006).

**b. Demande chimique en oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydable dans des conditions opératoires bien définies (Rodier, 1996). Elle est d'autant plus élevée qu'il y'a des corps oxydables dans le milieu. L'oxygène affecte pratiquement la totalité des matières organiques biodégradables et non biodégradables. La DCO est mesuré en mg d'O<sub>2</sub>/l (Taradat M H, 1992).

- DCO = 1.5 à 2 fois DBO pour les eaux usées urbaines ;
- DCO = 1 à 10 fois DBO pour l'ensemble des eaux résiduaire ;
- DCO > 2.5 fois DBO pour les eaux usées industrielles (Suschka J. et Ferreira E., 1986).

La relation empirique de la matière oxydable en fonction de la DBO 5 et la DCO est donnée par l'équation suivante:  $MO = (2 DBO 5 + DCO)/3$

### **c. La demande biochimique en oxygène (DBO 5 )**

La DBO 5 exprime la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation par voie aérobie. Pour la mesure, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO 5 (Suschka J. et Ferreira E., 1986).

### **d. La biodégradabilité**

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans les processus d'épuration biologique des eaux. Elle est exprimée par un coefficient K avec  $K=DCO/DBO 5$  :

- Si  $K < 1.5$ , cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradables ;
- Si  $1.5 < K < 2.5$ , cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- Si  $2.5 < K < 3$ , les matières oxydables sont peu biodégradables.
- Si  $k > 3$ , les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteurs de la croissance bactérienne, tels que : les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures... etc. La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, si non on applique un traitement physico-chimique (Metahri Mohammed Saïd, 2012).

### **e. Carbone total organique (COT)**

Détermine des propriétés variables du carbone organique dissous et particulaire, du carbone organique provenant de substances volatils et du carbone minéral dissous. Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO<sub>2</sub> à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon (Brigitte Donnier).

### **f. Oxygène dissous**

L'oxygène est toujours présent dans l'eau. Sa solubilité est en fonction de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. La teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10 mg/l. Elle est en fonction de l'origine de l'eau ; l'eau usée domestique peut contenir de 2 à 8 mg/l (Ladjel F, 2006).

### **g. La conductivité électrique (CE)**

La conductivité d'une eau fournit une indication précise sur sa teneur en sels dissous (salinité de l'eau). Elle s'exprime en  $\mu\text{Sm/cm}$  et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en  $\text{ohm/cm}$ . La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (Desjardins Raymands, 1997).

### **h. L'azote**

Dans les eaux usées domestiques, l'azote est sous forme organique et ammoniacale,

Les formes de l'azote dans les eaux usées sont :

- L'azote total de Kjeldahl (NTK);
- Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ );
- Et les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ).

En plus de la toxicité de la forme ammoniacale et nitrique, l'azote intervient dans le phénomène de l'eutrophisation.

Donc, sa caractérisation et sa quantification sont primordiales pour les rejets liquides dans le milieu naturel (Cherki F et Et Hesses H).

#### **L'azote kjeldahl**

L'azote kjeldahl = Azote ammoniacal+ azote organique (Gaid A, 1984).

#### **L'azote organique**

L'azote contenu dans les déjections animales, et plus généralement dans les matières organiques mortes, est progressivement libéré par l'activité de la microflore aérobie et anaérobie du sol, les acides uriques, les protéines (Cherki F et Et Hesses H).

#### **L'azote ammoniacal**

L'azote ammoniacal est présent sous deux formes, l'ammoniac  $\text{NH}_3$  et l'ammonium  $\text{NH}_4^+$ . En milieu oxydant, l'ammonium se transforme en nitrite puis en nitrate (Cherki F et Et Hesses H).

### **i. Le phosphore total**

Le phosphore se trouve dans les eaux résiduaires sous formes:

- d'ortho-phosphate, soluble  $\text{PO}_4 \text{H}_2^-$  ;

- □ de poly-phosphate qui est à tendance à s'hydrolyser en ortho-phosphate;
- □ de phosphore non dissous (Yahlatene S, 2011).

#### **4.4. Les paramètres microbiologiques**

Les micro-organismes qui se trouvent dans l'eau usée sont à l'origine du traitement biologique. Ils comprennent, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Parmi les éléments pathogènes les plus rencontrés, on cite :

##### **a. Virus :**

Les virus se trouvent dans les eaux résiduaires à des concentrations de l'ordre de milliers d'unités infectieuses par millilitre d'eau.

On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre  $10^3$  et  $10^4$  particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous estimation de leur nombre réel (Pierre J. et al, 1990).

Parmi les infections virales d'origine hydrique, on trouve la poliomyélite, l'hépatite A.

##### **b. Protozoaires :**

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. Ils sont présents dans les eaux usées à l'état de kystes. La principale forme pathogène pour l'homme est *Entamoeba histolytica*, agent responsable de la dysenterie amibienne et *Giardia lamblia* (Rodier J, 2005) .

##### **c. Les bactéries**

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10  $\mu\text{m}$ . Les eaux usées urbaines contiennent environ  $10^6$  à  $10^7$  bactéries par 100 ml. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonella responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux (Feraï C, 2000).

##### **d. Helminthes**

Les helminthes sont rencontrés dans les eaux usées sous forme d'œufs et proviennent des excréments des personnes ou d'animaux infectés et peuvent constituer une source de réinfection par voie orale, respiratoire ou par voie cutanée (Ghazi M, 2015).

La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à  $10^3$  œufs par litre. On peut citer, notamment, *Ascaris lumbricoides*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Tænia saginata* (Pierre J. et al, 1990).

#### **e. Coliformes totaux**

Les bactéries coliformes existent dans les matières fécales mais se développent également dans les milieux naturels, les eaux traitées ne doivent pas contenir de coliformes, cependant l'absence de ces derniers ne signifie pas nécessairement, que l'eau présente pas un risque pathogène.

#### **f. Coliformes fécaux**

Ils sont capables de se développer à 44°C, et permettent d'estimer le risque épidémiologique dans l'eau. Il faut en tout logique tenir compte de la présence plus aux moins importante de germes pathogènes. La principale bactérie fécale est *Escherichia coli* (POTLON J L, Et ZYSMAN K, 1998).

#### **g. Les streptocoques fécaux**

Ces bactéries appartiennent à la famille des streptococcaceae, ce sont des cocci généralement disposées en diplocoques ou en courte chaîne, à gram négatif, asporulantes, immobiles, aérobies facultatifs et possédant un métabolisme fermentatif. Ces germes colonisent l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. Leur présence dans le milieu hydrique prouve une pollution d'origine fécale de l'eau. Cependant, on peut trouver aussi des streptocoques fécaux dans le sol, les plantes et les insectes (POTLON J L, Et ZYSMAN K, 1998).

**CHAPITRE II :**  
**Généralités sur les stations d'épuration**

## **1. Introduction :**

Les stations d'épuration (STEP) constituent une autre voie d'élimination des eaux usées dans la mesure où celles-ci y subissent toute une batterie de traitements avant leur déversement dans le milieu naturel.

Une STEP, généralement placée à l'extrémité aval d'un réseau est conçue pour épurer les eaux usées et limiter l'apport en excès de matière organique et dans certains cas, de substances minérales telles les nitrates et les phosphates dans les milieux récepteurs, sachant que certaines substances contenues dans un effluent, à partir d'une certaine concentration, peuvent constituer un danger pour la communauté aquatique, l'épuration des eaux usées diminue l'impact sur les écosystèmes aquatiques (Zeghoud M. S. , 2014) .

## **2. Procédés d'épuration des eaux usées :**

L'épuration des eaux usées le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins d'opération et d'entretien minimaux.

Les stations d'épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les solides en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques aux récoltes ainsi que les constituants biologiques (microbes pathogènes) qui concernent la santé publique en général (Zeghoud M. S. , 2014).

### **2.1. Traitement préliminaire :**

Enlèvement des solides grossiers et d'autres grands fragments de l'eau usée brute (FAO, 2003). En tête d'une station d'épuration, ces procédés permettent de retenir les matières volumineuses grâce à des grilles (dégrillage), les sables (dessablage), les matières flottantes grossières (écumage) et les liquides moins denses que l'eau (désuilage). Les déchets solides peuvent être déchiquetés (dilacération) par des « pompes dilacératrices », cette opération facilitant leur dispersion (Desjardins, 1997).

#### **a. Dégrillage :**

Le dégrillage et le tamisage permettent de retirer de l'eau les déchets insolubles tels que les branches, les plastiques, serviettes hygiéniques, etc. En effet, ces déchets ne pouvant pas être éliminés par un traitement biologique ou physico-chimique, il faut donc les éliminer mécaniquement. Pour ce faire, l'eau usée passe à travers une ou plusieurs grilles dont



les mailles sont de plus en plus serrées. Celles-ci sont en général équipées de systèmes automatiques de nettoyage pour éviter leur colmatage, et aussi pour éviter le dysfonctionnement de la pompe (dans les cas où il y aurait un système de pompage).

\* Un dégrillage grossier : l'eau brute passe à travers une première grille qui permet l'élimination des matières de diamètre supérieur à 50mm.

\* Un dégrillage fin : après le relevage de l'eau par quatre pompes (1250m<sup>3</sup> / h pour chacune), il passe par deux grilles à câble composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale. L'espacement des barreaux est de 20mm, la vitesse moyenne de passage entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s (Legube., 1996).

### **b. Dessablage :**

Le dessablage a pour but d'extraire les graviers, sables et autres particules minérales de diamètres supérieures à 0,2 mm contenus dans les eaux usées, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduits, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion.

L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé « dessableur » entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables extraits peuvent être lavés avant d'être mis en décharge, afin de limiter le pourcentage de matières organiques, sa dégradation provoquant des odeurs et une instabilité mécanique du matériau (Degrément., 1972).

### **c. Déshuilage :**

C'est généralement le principe de la flottation qui est utilisé pour l'élimination des huiles. Son principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes). Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface. Il est important de limiter au maximum la quantité de graisse dans les ouvrages en aval pour éviter par exemple un encrassement des ouvrages, notamment des canalisations (Bonnin., 1977).

## **2.2. Traitement primaire :**

Enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottants (FAO, 2003). 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 de l'eau 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 5 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 (Bontaux., 1994).

### **2.3. Traitement secondaire (traitement biologique) :**

Enlèvement des matières organiques solubles et des matières en suspension des eaux usées traitées primaires (FAO, 2003). Les procédés d'épuration secondaire (ou biologique) comprennent des procédés biologiques, naturels ou artificiels, faisant intervenir des microorganismes aérobies pour décomposer les matières organiques dissoutes ou finement dispersées (Desjardins, 1997). La dégradation peut se réaliser par voie aérobie (en présence d'oxygène) ou anaérobie (en l'absence d'oxygène).

**a. La voie anaérobie :** si les réactions s'effectuent à l'abri de l'air, en milieu réducteur. Le carbone organique, après dégradation, se retrouve sous forme de  $\text{CO}_2$ , méthane et biomasse. Ce type de traitement appelé « digestion anaérobie » n'est utilisé que pour des effluents très concentrés en pollution carbonées, de type industriel (basserie, sucrerie, conserverie ...)

**b. la voie aérobie :** si l'oxygène est associé aux réactions. Cette voie est celle qui s'instaure spontanément dans les eaux suffisamment aérées. Le carbone organique se retrouve sous forme de  $\text{CO}_2$  et de biomasse (Zeghoud M. S. , 2014).

L'épuration biologique des eaux usées peut être mise en œuvre dans les micro-organismes se développent en suspension dans l'eau (boues activées), ou encore dans réacteurs à biomasse fixée dans lesquelles les micro-organismes se développent sur un support grossier ou sur garnissage plastique (lit bactériens), sur de disque (disques biologiques).

#### **2.3.1. Boues activés :**

Les traitements réalisés en station d'épuration consistent à dégrader et séparer les polluants de l'eau (particules, substances dissoutes, microorganismes) par des procédés physiques, chimiques et biologiques pour ne restituer au milieu aquatique qu'une eau de qualité suffisante au regard du milieu récepteur. Le résultat de ces opérations est la production de boues qui est le principal sous-produit du cycle de traitement de l'eau. Donc les boues

d'épuration urbaines résultent du traitement des eaux usées domestiques qui proviennent de l'activité des particuliers et éventuellement des rejets industriels dans les réseaux des collectivités après avoir suivi un prétraitement obligatoire (Céline PERNIN 2003).

Une station de traitement par boues activées comprend dans tous les cas

- un bassin dit d'aération dans lequel l'eau à épurer est mise en contact avec la masse bactérienne épuratrice, - un clarificateur dans lequel s'effectue la séparation de l'eau épurée et de la culture bactérienne,
- un dispositif de recirculation assurant le retour vers le bassin d'aération de la boue biologique récupérée dans le clarificateur. Cela permet de maintenir dans ce bassin la quantité (ou concentration) de micro-organismes nécessaire pour assurer le niveau d'épuration recherché,
- un dispositif d'extraction et d'évacuation des boues en excès, c'est-à-dire du surplus de culture bactérienne synthétisée en permanence à partir du substrat,
- un dispositif de fourniture d'oxygène à la masse bactérienne présente dans le bassin d'aération,
- un dispositif de brassage de ce même bassin, afin d'assurer au mieux le contact entre les cellules bactériennes et la nourriture, (Zeghoud M. S. , 2014).

### **2.3.2. Lit bactérien :**

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. Le rendement maximum de cette technique est de 80 % d'élimination de la DBO 5 (Rodart et al, 1989).

### 2.3.3. Lagunage :

Parmi les divers procédés d'épuration des eaux usées, dont l'application dépend des caractéristiques des eaux à traiter et du degré de dépollution souhaité, figure le lagunage naturel.

Moyen rustique d'épuration des eaux usées, il se distingue des autres techniques de traitement réputées intensives par de nombreux avantages. Ce procédé écologique, simple et peu onéreux se base sur les phénomènes responsables de l'autoépuration des cours d'eau.

Le lagunage est une technique biologique d'épuration des eaux usées, où le traitement est assuré par une combinaison de procédés aérobies et anaérobies, impliquant un large éventail de micro-organismes (essentiellement des algues et des bactéries). Les mécanismes épuratoires et les micro-organismes qui y participent sont, fondamentalement, les mêmes que ceux responsables du phénomène d'autoépuration des lacs et des rivières (Pearson, 2005).

Le lagunage se présente comme une succession de bassins (minimum 2 et généralement 3) peu profonds (le plus souvent rectangulaires) dits lagunes. La surface et la profondeur de ces lagunes influencent le type de traitement (aérobie ou anaérobie) et confèrent un rôle particulier à chacune d'entre-elles. L'épuration par lagunage consiste à faire passer des effluents d'eau usée par écoulement gravitaire de lagune en lagune où la pollution est dégradée par :

- L'activité bactérienne ;
- L'activité photosynthétique et l'assimilation des substances minérales ;
- Le pouvoir germicide de la lumière et de certaines algues (Valiron, 1983).

Les matières en suspension de l'eau brute décantent dans le bassin de tête. Les bactéries assimilent la pollution dissoute, et l'oxygène nécessaire à cette dépollution, est assuré par l'action chlorophyllienne de végétaux qui participent aussi à la synthèse directe de la matière organique :

- Les microphytes ou algues microscopiques ; ce sont essentiellement des algues vertes ou bleues difficilement séparables ;
- Les macrophytes ou végétaux macroscopiques, qui comprennent des formes libres (ex. lentilles d'eau) ou fixées (ex. roseaux). Les jacinthes d'eau peuvent s'enraciner ou non. Les végétaux supérieurs jouent un rôle de support et doivent normalement permettre d'augmenter la quantité de bactéries et d'algues épuratrices (Degrémont, 1989).

Les macrophytes sont consommés par le zooplancton, et les macrophytes filtrent l'eau en sortie avant rejet. L'ensemble de ces phénomènes apparaît dans plusieurs bassins en séries, ce qui autorise l'étagement des phénomènes épuratoires.

Le processus épuratoire qui s'établit dans une lagune est particulièrement intéressant, car c'est un phénomène vivant, un cycle naturel qui se déroule continuellement.

### **2.3.3.1. Le lagunage naturel :**

Ce sont des bassins artificiels et imperméabilisés, de faible profondeur pouvant recevoir des effluents bruts ou prétraités et où la recirculation des boues biologiques décantées n'est pas réalisée, et la concentration de la biomasse épuratrice reste faible. Alimentées d'effluents à traiter, les lagunes naturelles sont nommées étangs de stabilisation (Koller, 2004), que l'on classe en fonction des filières de développement des bactéries en trois catégories : anaérobies, aérobies ou facultatifs (mixtes).

Différents assemblages de ces bassins sont possibles en fonction des conditions locales, des exigences sur la qualité de l'effluent final, du débit à traiter, ...

A titre d'exemple, si l'on souhaite un degré de réduction plus élevé des organismes pathogènes, on dispose les bassins en série comme suit : étang anaérobie, facultatif puis anaérobie (Chaib, 2004).

Le lagunage naturel peut être utilisé, en traitement complet des effluents ou en traitement tertiaire, pour affiner la qualité de l'eau traitée par une boue activée (ex. la désinfection) (Degrémont, 1978).

#### **a. Bassins anaérobies :**

Les bassins anaérobies sont caractérisés par un manque d'oxygène dissous causé par une forte DBO 5 (100-400 g/m<sup>3</sup>/jour), et les solides en suspension s'y déposent facilement ; ils forment sur le fond une couche où les bactéries anaérobies décomposent la matière organique.

Un des résultats est la production de gaz : l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) et le méthane (CH<sub>4</sub>) qui s'échappent vers la surface sous forme de bulles. Typiquement, ces lagunes ont une profondeur de 2 à 5 m et le temps de séjour de l'effluent y est de 3 à 5 jours. Ils reçoivent des effluents bruts et mènent à des réductions de la DBO 5 de 40 à 60 % et des solides en suspension de 50 à 70 %. En générale, on n'y trouve pas de micro-algues à cause des conditions défavorables à leur croissance (Sevrin-reyssac et al, 1995).

### **b. Bassins facultatifs :**

D'une profondeur de 1 à 2 m et un temps de séjour de 4 à 6 jours (Sevrin-reyssac et al, 1995), ces étangs fonctionnent dans des conditions telle que

la partie supérieure entretient un milieu aérobie, riche en algues et en micro-organismes aérobies, alors que le fond, couvert de sédiments organiques, est le siège de fermentation anaérobie ; entre ces deux zones règne un milieu de transition favorable aux bactéries facultatives (Beaudry, 1984).

Les fermentations benthiques donnent lieu à un dégagement de méthane (CH<sub>4</sub>), de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) et d'ammoniac, ainsi que de composés organiques de faible masse moléculaire.

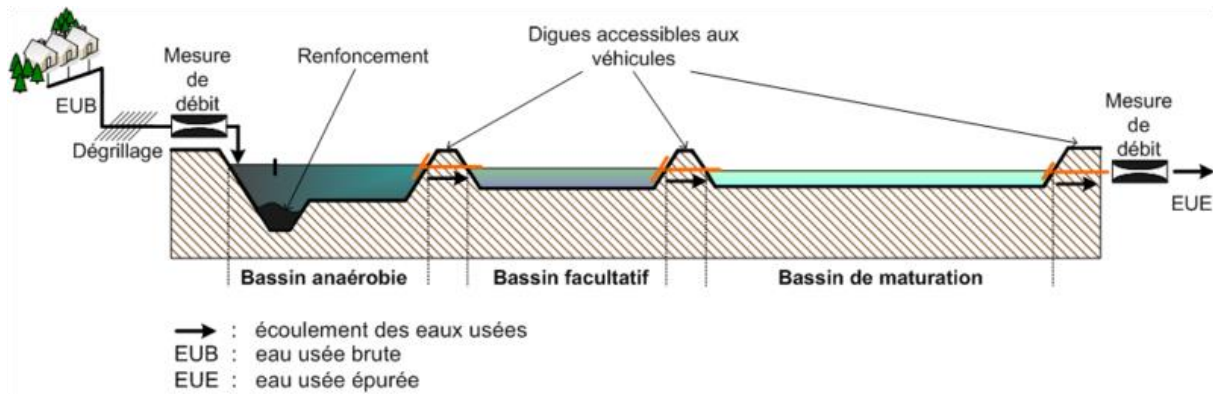
Ce produit alimente la flore des zones supérieures et les composés minéraux dégagés entretiennent les algues ; une certaine fraction de ces algues meurent et se sédimentent, venant s'ajouter au lit de boues (Beaudry, 1984).

### **c. Bassin de maturation :**

Les bassins des maturations ou des aérobies sont peu profonds (0,8 à 1,2 m) où la lumière peut pénétrer et favorisant le développement d'algues vertes. Par leur action photosynthétique, les algues produisent de l'oxygène qui permet le développement de bactéries épuratrices aérobies (Degrémont, 1978).

Le temps de séjour dans ces étangs est beaucoup plus long, de 12 à 18 jours ou plus, et permet un traitement d'effluent déjà partiellement épuré (Sevrin-reyssac et al, 1995). Ces étangs sont caractérisés par (ANRH, 1996) :

- Charge (Kg DBO<sub>5</sub> /ha/jour) : 111 à 112 ;
- Rendement (% de DBO<sub>5</sub>) : 80 à 95 % ;
- Concentration en algues (mg/l) : 100.



**Figure 1:** Schéma d'épuration des eaux usées par lagunage naturel ([www.lagunage.eu](http://www.lagunage.eu))

### 2.3.3.1.1. Avantages et inconvénients du lagunage naturel :

#### a. Avantages :

Le lagunage naturel présente de nombreux avantages par rapport aux procédés classiques :

- élimination de la pollution microbologique ;
- Faibles coûts d'investissement et de fonctionnement ;
- Raccordement électrique inutile ;
- Excellente Très bonne intégration paysagère ;
- Valorisation aquacole et agricole de la biomasse planctonique produite et des effluents
- épurés ;
- Boues peu fermentescibles ;
- Bonne élimination de l'azote (70 %) et du phosphore (60 %).

#### b. Inconvénients :

A l'inverse, le lagunage naturel présente les inconvénients suivants :

- Variation saisonnière de la qualité de l'eau en sortie ;
- En cas de mauvais fonctionnement, risque d'odeurs, de moustiques, de rongeurs ;
- Emprise au sol importante ;
- Difficultés d'extraction des boues ;
- Pas de réglage possible en exploitation ;
- Sensibilité aux effluents septiques et concentrés.

### **2.3.3.2. Le lagunage aéré :**

Ce sont de vastes bassins constituant un dispositif très proche du procédé à boues activées à faible charge. On y effectue une épuration biologique bactérienne comme celle qui se pratique naturellement dans les étangs, en apportant de l'extérieur par insufflation d'air ou oxygénation au moyen d'aérateurs de surface, l'oxygène nécessaire au maintien des conditions aérobies des bactéries épuratrices.

Bien que théoriquement elle ne s'impose pas, une recirculation de l'eau traitée et parfois des boues biologiques en tête de lagune est souvent pratiquée. Elle permet d'améliorer le mélange complet et d'assurer une meilleure répartition de la biomasse.

Il est rare, en raison de la concentration relativement élevée en matières en suspension, que l'on puisse rejeter directement l'effluent traité à l'exutoire sans décantation finale (Koller, 2004).

### **2.3.3.3. Influence des conditions climatiques sur les performances du lagunage :**

Le microclimat est le climat local auquel sont soumises les lagunes, il résulte de l'action de plusieurs facteurs qui jouent un rôle important dans l'implantation du lagunage naturel ; ce sont principalement :

#### **a. La durée du jour et l'intensité de l'ensoleillement :**

La durée du jour conditionne, dans une certaine mesure, la vitesse de multiplication du phytoplancton. L'intensité de l'ensoleillement a une influence sur l'activité photosynthétique des végétaux. Si le ciel reste couvert pendant plusieurs jours, surtout en été alors que le phytoplancton est abondant, la production de l'oxygène due à la photosynthèse pendant la journée devient moins importante, ce qui risque d'entraîner une désoxygénation passagère (Sevrin-reyssac et al, 1995).

#### **b. La température :**

Les écarts de température exercent une influence sur le bon fonctionnement des systèmes de lagunage naturel. La croissance des algues est favorisée par une température élevée. Lorsqu'ils sont bien ensoleillés et bien oxygénés, les bassins aérobies ne dégagent pas d'odeur. Un ciel nuageux, plusieurs jours de suite, affaiblit le phénomène de photosynthèse créant ainsi des zones anaérobies dont les produits de fermentation conduisent à de mauvaises odeurs. La température intervient aussi dans le calcul du dimensionnement des installations ; les moyennes mensuelles des cinq dernières années doivent alors être connues (ANRH, 1996).



### **c. Le régime des vents dominants dans la région et leur orientation :**

Les vents dominants sont ceux dont la direction est la plus fréquente. Ce régime des vents étant connu pour une région donnée, nous permet de fixer l'implantation du système de telle sorte à éviter le rabattement sur les habitations des mauvaises odeurs susceptibles de provenir de l'installation, et de ne pas avoir des effets néfastes sur l'ouvrage (dégradation des digues par batillage) (ANRH, 1996).

### **d. L'évaporation :**

L'évaporation est un facteur très important. Elle est très intense en période estivale (10 à 15 mm/j). Conjugée à une infiltration importante, elle peut être néfaste et doit donc être prise en considération lors des calculs de dimensionnement des bassins (ANRH, 1996).

### **e. La pluviométrie :**

Elle devrait également être connue pour le calcul de la hauteur des digues, afin d'éviter tout risque éventuel d'inondation (ANRH, 1996).

## **2.4. Traitement tertiaire :**

A l'issue des procédés décrits précédemment, les eaux sont normalement rejetées dans le milieu naturel. Dans le cadre d'une réutilisation des eaux usées épurées (REUE), les eaux usées nécessitent des traitements supplémentaires, essentiellement pour éliminer les micro-organismes qui pourraient poser des problèmes sanitaires. Ce ne sont pas des traitements d'épuration « classiques » (mis à part le lagunage) ; par contre ils sont fréquemment utilisés dans les usines de production d'eau potable (Edline, 1996).

### **2.4.1. Traitement bactériologique par rayonnement UV :**

Le traitement par rayons ultraviolets utilise des lampes à mercure disposées parallèlement ou perpendiculairement au flux d'eau. Leur rayonnement s'attaque directement aux microorganismes. Ce traitement est très simple à mettre en oeuvre, car il n'y a ni stockage, ni manipulation de substances chimiques et les caractéristiques chimiques de l'effluent ne sont pas modifiées. La durée d'exposition nécessaire est très courte (20 à 30 s).

### **2.4.2. Traitement par voie physico-chimique :**

Le traitement tertiaire inclut un ou plusieurs des processus suivants:

\* désinfection par le chlore ou l'ozone (pour éliminer les germes pathogènes).

\* neutralisation des métaux en solution dans l'eau : en faisant varier le pH de l'eau dans

certaines plages, on obtient une décantation de ces polluants.

### **2.4.3. Traitement des odeurs :**

Les premières phases du traitement, le dégrillage, le dessablage/déshuilage et la phase anaérobie du traitement biologique sont généralement confinées dans des bâtiments plus ou moins étanches afin que les mauvaises odeurs ne se répandent pas dans l'environnement de la station. Ce qui provoquerait des nuisances olfactives inacceptables par les riverains. Cet air nauséabond est collecté et traité. Il passe par trois tours de lavage : une d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ), une de Javel et une de soude (Allouche F 1990).

### **3. Problématique des boues :**

Le processus de dépollution des eaux usées urbaines produit d'un côté de l'eau épurée ; de l'autre des sous-produits en grande quantité : les boues ; représentant chaque jour un volume considérable, ces boues doivent trouver une destination en continu.

Les éléments polluants et leur produits de transformation, retirés de l'eau usée au cours du traitement d'épuration, se trouvent rassemblés, dans la grande majorité des cas, en suspension, plus ou moins concentré, dénommées « boues ».

La composition d'une boue urbaine dépend à la fois de la nature de la pollution initiale de l'eau et des procédés de traitement auxquels elle a été soumise dans la station d'épuration (Rejsek., 2002).

### **4. Réutilisation des eaux usées :**

Les recommandations et les dangers de la réutilisation sont habituellement définis selon des normes publiées par des collectivités locales ou des agences nationales et internationales. Le risque est défini comme étant la probabilité de blessure, de maladie ou de mort sous certaines circonstances. Lorsqu'on parle de risque lié à la réutilisation des eaux usées, il est à prendre en considération aussi bien le risque associé à la santé humaine que celui lié à l'environnement (SALGOT & HUERTAS, 2006).

La réutilisation des eaux usées peut s'appliquer à une large variété d'usages, à savoir :

l'irrigation agricole, l'irrigation non-agricole, l'utilisation urbaine domestique, l'utilisation urbaine non-domestique, l'usage récréationnel (espaces verts...), l'eau de baignade, le bétail, les activités de loisir et sports liés à l'eau, l'industrie, la recharge de nappes, la recharge des cours et des points d'eau, l'aquaculture, l'utilisation du pouvoir thermoélectrique et même la production de l'eau potable (SALGOT & HUERTAS, 2006).

La réutilisation des eaux usées en agriculture est une pratique qui date depuis des temps très anciens. En Chine et dans quelques pays Asiatiques, les eaux usées ont été utilisées comme agents fertilisants ; elles ont été épandues sur le sol suite à son épuisement. En Europe, les premiers documents sur la réutilisation des eaux usées ont été publiés en 1531 à Buzlan en Allemagne (GERHERD, 1909 cité par RHALLABI, 1990) et en 1650 à Edimbourg en Écosse (STAMBRIDGE, 1976 cité par RHALLABI, 1990). Cette pratique a, ensuite, vu le jour en Australie, en France, en Inde, en Grande Bretagne et aux Etats Unies à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, et en 1904, au Mexique (OMS, 1989). En effet, avec l'installation des égouts dans les agglomérations, les eaux usées sont devenues une source hydrique et d'engrais naturel. A travers le monde, les eaux usées sont utilisées dans l'irrigation agricole sous différentes formes : des eaux usées brutes ou épurées par traitement primaire, secondaire ou tertiaire, des eaux usées domestiques, d'élevage ou industrielles. Cette pratique s'explique principalement par le besoin urgent d'accroître la production agricole en réponse au développement démographique, par la raréfaction de l'eau fraîche destinée préférentiellement à la consommation des populations et par le désir de diminuer la consommation des engrais. Les projets de réutilisation des eaux usées en agriculture sont de plus en plus nombreux dans différents pays du monde (Etats Unis, Mexique, Chili, Pérou, Tunisie, Arabie Saoudite) (ELHALOUANI, 1995) et plus récemment en Australie et en Afrique du Sud (SALGOT & HUERTAS, 2006).

#### **4.1. La législation française et les recommandations du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF)**

La réglementation française sur la réutilisation des eaux usées épurées ne concerne que la réutilisation agricole. Il y a donc une lacune réglementaire concernant les autres usages (MIQUEL, 2003). Les recommandations établies par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) en 1991 sont largement inspirées de celles de l'OMS, avec quelques précautions supplémentaires (BRISSAUD, 2003).

La réglementation française est assez succincte concernant la réutilisation des eaux usées épurées. Les textes de lois relatifs à l'eau et à l'assainissement sont :

L'article 24 du décret n° 94-469 du 3 juin 1994 fait entièrement référence à la réutilisation agricole des eaux usées : « Les eaux usées peuvent, après épuration, être utilisées à des fins agronomiques ou agricoles, par arrosage ou par irrigation, sous réserve que leurs caractéristiques et leurs modalités d'emploi soient compatibles avec les exigences de protection de la santé publique et de l'environnement. Les conditions d'épuration et les

modalités d'irrigation ou d'arrosage requises, ainsi que les programmes de surveillance à mettre en œuvre, sont définis, après avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France et de la mission interministérielle de l'eau, par un arrêté du ministre chargé de la santé, du ministre chargé de l'environnement et du ministre chargé de l'agriculture ».

Quant aux deux arrêtés du 22 décembre 1994, ils sont relatifs aux prescriptions techniques et à la surveillance des ouvrages de collectes et de traitement des eaux usées.

Au vu de l'état actuel des connaissances, le CSHPF donne un avis favorable à la réutilisation des eaux usées épurées destinée à l'agriculture et à l'arrosage, sous réserves du respect de certaines consignes concernant les points suivants :

- La protection des ressources en eau souterraine et superficielle;
- La restriction des usages en fonction de la qualité des effluents épurés;
- Le réseau de canalisation d'eaux usées épurées;
- La qualité chimique des effluents épurés;
- Le contrôle des règles d'hygiène applicables aux installations d'épuration et d'irrigation;
- La formation des exploitants et des contrôleurs.

Afin de veiller à la protection des ressources en eau souterraines et superficielles, l'autorisation préfectorale doit être requise pour tout projet d'utilisation d'eaux usées urbaines (décret n° 73-218 du 23 février 1973, puis circulaire n° 51 du 22 juillet 1991 et du 3 août 1992 du ministre chargé de la Santé). Ce document, destiné à guider les autorités locales et les équipes chargées d'élaborer des projets de réutilisation, s'appuie sur les recommandations relatives à la réutilisation des eaux usées de l'OMS.

L'étude accompagnant la demande d'autorisation devra aborder les points suivants : les caractéristiques du site (topographie, géologie, pédologie, climat, etc.), les caractéristiques du projet d'irrigation (caractéristiques des eaux usées, fréquence et conditions d'apport, devenir des eaux usées en dehors des périodes d'utilisation pour l'irrigation, etc.) et les autres exutoires possibles.

Si la REUE permet l'amélioration de la protection des ressources en eaux superficielles (par détournement d'un rejet de station d'épuration par exemple), l'étude d'impact doit comporter les informations permettant d'apprécier ces améliorations.

L'arrêté fourni permet de définir les débits journaliers autorisés, les périodes d'irrigation, le niveau de qualité du rejet, la fréquence des contrôles, les distances à respecter vis-à-vis

des berges des cours et plans d'eau. De plus, tout projet de REUE dans les périmètres de protection immédiate et rapprochée des points de prélèvements d'eau destinée à produire de l'eau d'alimentation est interdit.

Dans le même sens, la restriction des usages en fonction de la qualité des effluents épurés s'impose afin de protéger la population particulièrement exposée les travailleurs agricoles, les consommateurs et les populations vivant à proximité des zones d'irrigation. Afin de protéger ces populations, les contraintes doivent porter sur le type de culture et le niveau de traitement et le mode d'irrigation.

La qualité chimique des eaux usées traitées pour l'irrigation des cultures est une consigne à respecter pour la réutilisation des eaux usées épurées destinée à l'agriculture et à l'arrosage. Elle est en fait déduite des analyses de qualité des boues qui sont produites par la station d'épuration. Les normes du CSHPF concernant tout particulièrement les eaux usées urbaines d'origine domestique, les eaux usées industrielles, plus chargées en produits chimiques, ne sont a priori pas concernées.

Cependant, dans le cas où une industrie déverserait ses eaux usées dans le réseau collectif, une réutilisation de ces eaux après traitement est possible, sous réserve d'un examen particulier de leur qualité chimique : dans certains cas, elle pourra être interdite. Pour aider à la décision, le dossier de demande d'autorisation devra comporter des informations précises.

Le CSHPF propose que tous les projets de REUE de niveau A, soient soumis à autorisation préfectorale.

Les contrôles devront porter sur les paramètres microbiologiques et sur les substances nutritives et devront avoir lieu au moins une fois par trimestre. De plus, si l'effluent est utilisé pour irriguer des végétaux destinés à la consommation humaine ou animale, les taux en nickel et en cadmium devront être systématiquement mesurés. La recherche d'autres micropolluants sera effectuée en fonction de la nature des déversements en amont. Le tableau n°4 résume les recommandations du CSHPF.

**Tableau 1** : Les recommandations du CSHPF

| Catégorie | Normes <sup>a</sup>                                                       | Type de culture                                                                                                                                                                                                                 | Type d'irrigation                                                                                                  | Traitement                                                                                                                                                                             |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b>  | - Œufs d'helminthes ≤ 1/L<br>- Coliformes thermo tolérants ≤ 1 000/100 mL | Irrigation de légumes consommés crus<br>Arrosage de terrains de sport et d'espace verts ouverts au public                                                                                                                       | Irrigation gravitaire, arrosage sous frondaison<br>Irrigation par aspersion sous certaines conditions <sup>b</sup> | Un traitement efficace peut être atteint par une série de bassins de lagunage naturel, pour un séjour de 30 jours avec un ensoleillement suffisant, ou tout autre traitement similaire |
| <b>B</b>  | Œufs d'helminthes ≤ 1/L                                                   | Vergers, cultures céréalières et fourragères, pépinières et cultures de végétaux consommables après cuisson (pommes de terre, betteraves, choux...)<br>Terrain de sport s'ils sont utilisés plusieurs semaines après l'arrosage | Irrigation gravitaire ou à la raie<br>Irrigation par aspersion sous certaines conditions <sup>c</sup>              | Un traitement efficace peut être une série de bassin de décantation pendant une dizaine de jours, ou tout autre procédé ayant une efficacité équivalente                               |
| <b>C</b>  | Aucune                                                                    | Céréales, cultures industrielles et fourragères, vergers et zones forestières, Espaces verts non ouverts au public                                                                                                              | Irrigation souterraine ou localisée<br>Irrigation par Aspersion                                                    | Épuration préalable nécessaire pour des raisons d'ordre Technique                                                                                                                      |

(a) le CSHPF précise dans ses recommandations complémentaires de 1992 qu'il s'agit de valeurs impératives qui ne doivent être dépassées en aucun cas.

(b) l'irrigation par aspersion est autorisée si :

- Elle est réalisée en dehors des heures d'ouverture au public ;
- Les asperseurs sont de faible portée ;
- l'aspersion est réalisée à une distance suffisante des habitations, des zones de sport et de loisir, prenant en compte les conditions climatiques locales.

(c) l'irrigation par aspersion est autorisée si :

- l'aspersion est réalisée à une distance suffisante des habitations, des zones de sport et de loisirs, prenant en compte les conditions climatiques locales (100 m minimum) ;

Des écrans ou des obstacles (arbres) sont mis en place pour limiter la propagation des aérosols et si l'arrosage direct des voies de communication est évité ;

□ la protection du personnel d'exploitation contre les risques d'inhalation des aérosols est suffisamment assurée.

#### 4.1.1. Critères de qualité biologique

Les critères de qualité de l'eau usée traitée et les directives de son utilisation sont les bases essentielles d'une installation réussie de tout projet de recyclage d'eau usée traitée. La qualité microbiologique est le critère le plus important pour les ouvriers qui travaillent au champ ainsi que pour le public qui peut être exposé directement ou indirectement à l'eau usée épurée. Une réutilisation restrictive ou non restrictive peut être adoptée en fonction de la qualité microbiologique. Dans ce manuel, les critères microbiologiques de qualité ne sont pas développés. On suppose que chaque pays possède des directives et/ou règlements auxquels les agriculteurs doivent obligatoirement se conformer. Les agriculteurs doivent cependant être informés de ces directives comme de la qualité de l'eau usée qui leur est fournie, de façon à appliquer une gestion appropriée dans des limites de risques acceptables pour la santé et l'environnement. Les pays qui n'ont pas encore développé leurs directives nationales sont encouragés adopter celles de l'OMS (tableau 9). Il est à noter que chaque pays devrait avoir ses propres directives et ses codes de bonnes pratiques. Dans ce contexte, les directives utilisées à Chypre sont présentées comme exemple.

**Tableau 2:** Directives de qualité microbiologique recommandée pour l'usage d'eau usée en agriculture (OMS, 1989)

| Catégorie | Conditions de réalisation                                                                                                 | Groupe exposé                              | Nématodes intestinaux <sup>a</sup><br>(nbre d'oeufs/litre)<br>moyenne arithmétique | Coliformes intestinaux (nbre par 100 ml)<br>moyenne <sup>b</sup><br>géométrique | Procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulue                                                                      |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A         | Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics <sup>c</sup>         | Ouvriers agricoles<br>consommateurs public | Maximum 1                                                                          | Maximum 1.000 <sup>d</sup>                                                      | Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent |
| B         | Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres <sup>e</sup> | Ouvriers agricoles                         | Maximum 1                                                                          | Aucune norme n'est recommandée                                                  | Rétention en bassins de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé d'élimination des helminthes et des coliformes intestinaux          |
| C         | Irrigation localisée des cultures de la catégorie B. si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés           | Néant                                      | Sans objet                                                                         | Sans objet                                                                      | Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins sédimentation primaire                                                |

**a** Espèces *Ascaris* et *Trichuris* et ankylostomes.

**b** Pendant la période d'irrigation.

**c** Une directive plus stricte (< 200 coliformes intestinaux par 100 ml) est justifiée pour les pelouses avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

**d** Cette recommandation peut être assouplie quand les plantes comestibles sont systématiquement consommées après une longue cuisson.

**e** Dans le cas d'arbres fruitiers, l'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et les fruits tombés ne doivent jamais être ramassés. Il faut éviter l'irrigation par aspersion.

#### **I.4 Conclusion sur les réglementations régissant la réutilisation des eaux usées**

Les règlements stricts de santé régissant la réutilisation des eaux usées ont été développés dans les pays industrialisés au cours des 60 dernières années. Ces règlements avaient été fondés dans une grande mesure sur des données scientifiques indiquant que la plupart des pathogènes entériques peuvent être détectés dans les eaux usées et sont capables de survivre pendant de longues périodes dans les sols, les cultures irriguées et les eaux usées. Le flux des eaux usées d'une communauté quelconque transmet toute la gamme de micro-organismes pathogènes excrétés par les malades et les personnes infectées vivant dans la communauté. La concentration des micro-organismes pathogènes dans les flux des eaux usées est de plusieurs millions par litre de bactéries, des milliers par litre de virus, et quelques centaines par litre pour certains des œufs d'helminthes (Feachem et al. 1983; Shuval et al. 1986).

Les données provenant de nombreux laboratoires ont permis d'estimer la persistance de certains pathogènes entériques dans l'eau, les eaux usées, le sol, et sur les cultures. Par exemple, il semble que *Campylobacter* peut survivre dans le sol ou sur les récoltes que pour quelques jours, alors que la plupart des bactéries et virus pathogènes peuvent survivre de quelques semaines à quelques mois. Les œufs résistants de *Trichuris* tels que les helminthes, *Taenia*, et *Ascaris* peuvent survivre pendant neuf à douze mois, mais leur nombre est très réduit une fois exposée aux facteurs de l'environnement.

Des études sur le terrain en Israël avaient démontré que les bactéries et les virus entériques peuvent être dispersées jusqu'à 730 m dans un aérosol de gouttelettes produites par l'irrigation par pulvérisation (sprinkler), mais leur concentration est grandement réduite par les facteurs néfastes environnementaux tels que la lumière le soleil (Teltsch Al. 1980; Applebaum et al. 1984; Shuval)



Dans les régions du monde où les maladies helminthiases sont causées par les ascaris et les trichuris et où, les eaux usées non traitées sont utilisées pour irriguer les cultures de salade et / ou d'autres légumes, en général mangés crus, la consommation de ces eaux usées peut entraîner des infections mortelles. Khalil (1931) a démontré l'importance de cette voie de transmission dans ses études novatrices en Égypte. De même, une étude à Jérusalem (Shuval et al., 1984) a fourni de bonnes preuves que les infections massives ont lieu par *Ascaris* et *Trichuris* mayoccur quand la salade et les cultures maraîchères sont irriguées avec des eaux usées brutes. La maladie disparaît quasi totalement de la communauté lorsque l'irrigation avec des eaux usées brutes est stoppée.

**Tableau 3: Les valeurs limites maximales des paramètres de rejet des installations de déversement industrielles.**

| <b>PARAMETRES</b>               | <b>UNITES</b> | <b>VALEURS MAXIMALES</b> |
|---------------------------------|---------------|--------------------------|
| <b>Températures</b>             | C °           | 30                       |
| <b>PH</b>                       | "             | 5,5 à 8,5                |
| <b>Mes</b>                      | mg/l          | 30                       |
| <b>DBO5</b>                     | "             | 40                       |
| <b>DCO</b>                      | "             | 120                      |
| <b>Azote Kjeldahl</b>           | "             | 40                       |
| <b>Phosphates</b>               | "             | 02                       |
| <b>Cyanures</b>                 | "             | 0,1                      |
| <b>Aluminium</b>                | "             | 5                        |
| <b>Cadmium</b>                  | "             | 0,2                      |
| <b>Chrome 3+</b>                | "             | 3,0                      |
| <b>Chrome 6+</b>                | "             | 0,1                      |
| <b>Fer</b>                      | "             | 5                        |
| <b>Manganèse</b>                | "             | 1                        |
| <b>Mercure</b>                  | "             | 0,01                     |
| <b>Nickel</b>                   | "             | 5                        |
| <b>Plomb</b>                    | "             | 1                        |
| <b>Cuivre</b>                   | "             | 3                        |
| <b>Zinc</b>                     | "             | 5                        |
| <b>Huiles et Graisses</b>       | "             | 20                       |
| <b>Hydrocarbures</b>            | "             | 20                       |
| <b>Phénols</b>                  | "             | 0,5                      |
| <b>Solvants organiques</b>      | "             | 20                       |
| <b>Chlore actif</b>             | "             | 1,0                      |
| <b>PCB</b>                      | mg/l          | 0,001                    |
| <b>Détergents</b>               | "             | 2                        |
| <b>Tensio-actifs anioniques</b> | "             | 10                       |

#### **4.2. Conclusion :**

Le lagunage est fortement dépendant des conditions climatiques (essentiellement de la température), et la qualité des rejets peut donc varier selon les saisons. L'emprise au sol est relativement importante. Les coûts d'investissement sont non seulement dépendants du prix du terrain, mais aussi de la nature du sol. Sur un sol perméable, il sera indispensable d'ajouter un revêtement imperméable, et dans ce cas, l'investissement peut s'avérer onéreux, voire difficilement abordable.

Malgré ces défauts, le lagunage reste une technique efficace (également pour l'azote, le phosphore et germes pathogènes) bon marché, ne nécessitant pas de construction en dur (génie civil simple) et s'intégrant parfaitement au paysage. De plus, aucun apport d'énergie n'est requis si le terrain est en pente.

Au sein du lagunage naturel et par les processus biologiques qu'ils créent, les organismes jouent un rôle distinct mais complémentaire dans l'épuration des eaux usées en formant un parfait équilibre biologique naturel.

**CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES**  
**PRESENTATION DE LA STATION DE LAGUNAGE**  
**DE TIDMAINE**

### **3.1. Présentation générale de la région d'Inzegmir**

La station étudiée est située dans le ksar (agglomération) de Tidmaine commune d'Inzegmir à 100 km au sud de chef-lieu de la wilaya d'Adrar dans une région nommée Touate, elle est une commune rurale avec une démographie de 18.000. La population de ksars, dès son installation dans la région, a habité dans un type architectural endémique dite Gasba ou Ksar, construit entièrement des matériaux locaux (Argile, Roches, produit de Palmier...). La population locale dernièrement a connu un transfert vers des types modernes reliés aux tous les réseaux urbains (AEP, Assainissement).

#### **3.1.1. Aspect climatique :**

La commune d'Inzegmir fait part d'un climat saharien très chaud et sec à l'été, froid et sec à l'hiver. La précipitation est très faible atteint par fois 0 mm/an, avec une saison sèche très étendue durant l'année, et une température entre -5 et 60 °c,

#### **3.1.2. Aspect socioéconomique :**

La commune d'Inzegmir est une région à une supériorité agricole, la tomate et les dates sont les produits les plus adoptés par la population avec des caractéristiques qualitatives et quantitatives. L'agriculture potagère est un type dominant dans la région prend en charges presque la majorité des besoins des familles locales de toutes produits maraichère, fourragère et céréalière. Le patrimoine animale se caractérise par une disponibilité avec un dominance des camelin et des ovins de plusieurs races locale (Demmane) et introduites (Sedaune)

#### **3.1.3. Aspect écologique**

La région d'Inzegmir se caractérise par une écologie spéciale relative au climat désertique, ainsi par une biodiversité endémique, la majorité presque de la flore et la faune de la région sont classées comme des espèces protégées tant que rares ou menacées à la disparition et sont déterminées par des textes.

#### **3.1.4. Aspect géomorphologique**

La surface des terres est généralement sous formes des dépressions de grés ou des dunes, la plus parts des ksours de la région sont installés entre le plateau Stah Azzi et des dépressions basses des sables ou des grés, avec une exposition vers l'ouest. Cette formation géomorphologiques nous a donné l'apparition des sebkhas au niveau des dépressions par la remontée d'eau d'irrigation.

#### **3.1.5. Aspect hydrologique**

Vue la rareté des précipitations, l'exploitation des ressources en eau dans la région consiste complètement à la nappe continentale intercalaire.

### **3.2. Présentation de la station de lagunage d'étude.**

La station de lagunage Tidmaine est une issue des eaux d'assainissement parviennent des Ksours Tidmaine et El mehfoundh (4.000 habitants), à 3 km vers l'ouest. La station est installée

sous type de lagunage naturel et reçu environ 1,30 l/s de débit, L'eau passe dans une procession de trois bassins puis s'écoule librement dans la surface.



Figure 2: Photos de la station de lagunage de Tidmaine

### 3.3. Prélèvement des échantillons

On a prend 6 échantillons comme il est illustré dans la figure 3, une bouteille de 1,5 l a été prise pour chaque point et transporté immédiatement pour l'analyser au niveau de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ANRH d'Adrar.

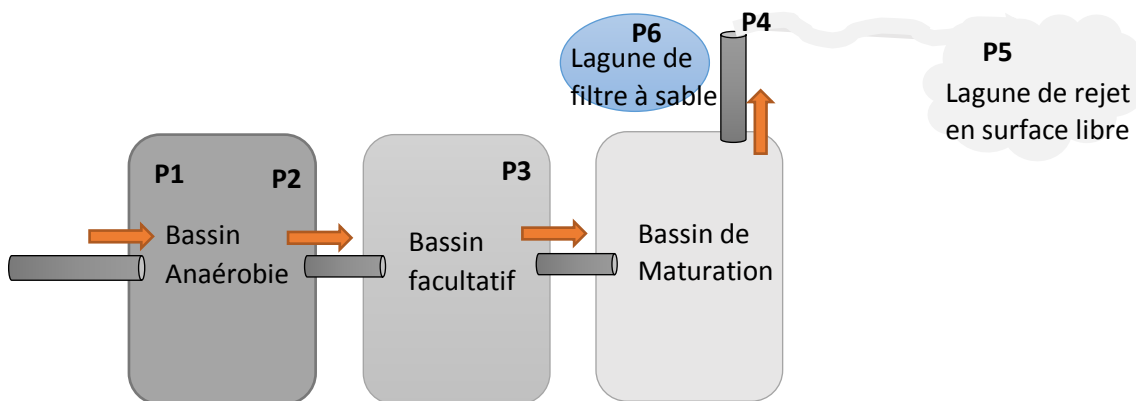


Figure 3: Plan de masse des lagunes de la station Tidmaine.



**Figure 4: Prélèvement des eaux pour l'analyse.**

### **3.4. Paramètres physicochimiques mesurés :**

Les analyses sont réalisées au niveau du laboratoire de l'ANRH d'Adrar, tous matériels et méthodes utilisés dans les analyses ont confiés au laboratoire selon les protocoles suivants :



**Figure 5: Analyses physicochimiques au laboratoire ANRH.**

#### **3.4.1. PH, carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), $\text{OH}^-$**

L'utilisation de la méthode potentiométrique pour le dosage des carbonates, bicarbonates et les  $\text{OH}^-$  offre de nombreux avantages. Elle évite toute erreur d'estimation particulière aux méthodes utilisant des indicateurs colorés. En outre elle est particulièrement intéressante dans le cas d'eaux troubles ou colorées.

## Principe :

Les carbonates n'existant qu'à  $\text{pH} > 8,3$  et les bicarbonates si le  $\text{pH}$  est compris entre 4,4 et 8,3. Au cours d'un dosage acimétrique doublé d'une mesure de  $\text{pH}$ , à quel moment ces ions sont encore présents ou non dans l'échantillon.

## Réactifs:

- Solution tampon  $\text{pH}/10$  et  $\text{pH}/4$
- Solution  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à 0,01 n

## Mode opératoire :

La mesure du  $\text{pH}$  est simple on prend un bécher après rinçage par de l'eau distillée on le remplit par de l'eau analysé.

- On allume le  $\text{pH}$ -mètre (bouton On/Off)
- On rince l'électrode par de l'eau distillée
- On ajoute à la burette (elle doit être rincée par de l'eau distillée)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à 0,01 N
- On émerge l'électrode dans le bécher contenant de l'eau à analyser et on observe la valeur de  $\text{pH}$

1) Si  $\text{pH} > 8,3$

On ouvre la burette goutte à goutte et on arrête quand le  $\text{pH}$ -mètre indique  $\text{pH}=8,3$ ; on note le volume d'acide sulfurique  $V_1$  versé.

2) Si  $\text{pH}$  est compris entre 4,4 et 8,8

On jouter à la burette  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à 0,01 N jusqu'à obtenir  $\text{pH} = 4.4$ ; on note le volume d'acide  $V_2$  ml versé.

- Si  $V_2 < 5$  ml prendre 40 ml de PE
- Si  $V_2 > 10$  ml prendre 10 ml de PE

## Calculs :

**Premier cas :** Si  $\text{pH} > 8,3$

Deux cas se présentent :

- 1)  $V_2 > 2V_1$  : il y a des bicarbonates dans l'échantillon ce qui implique une teneur négligeable en  $\text{OH}^-$ .

$$\text{OH}^- = 0;$$

$$\text{CO}_3^{2-} (\text{mé/l}) = (2V_1 \times 0,01 \times 1000) / \text{PE ml}$$

$$\text{Conversion: CO}_3^{2-} (\text{mg/l}) = \text{CO}_3^{2-} \text{ mé/l} \times 30$$

$$\text{HCO}_3^- (\text{mé/l}) = [(V_2 - 2V_1) \times 0,01 \times 1000] / \text{PE ml}$$

$$\text{Conversion: HCO}_3^- (\text{mg/l}) = \text{HCO}_3^- \text{ mé/l} \times 61$$

- $V_2 < 2V_1$  il y a des  $\text{OH}^-$  dans l'échantillon donc une teneur en bicarbonates négligeable.

$$\text{HCO}_3^- = 0;$$

$$\text{OH}^- (\text{mé/l}) = [(2V_1 - V_2) \text{ ml} \times 0,01 \times 1000] / \text{PE ml}$$

$$\text{Conversion : OH}^- (\text{mg/l}) = \text{OH}^- \text{ mé/l} \times 17$$

$$\text{CO}_3^{2-} (\text{mé/l}) = [2(V_2 - V_1) \text{ ml} \times 0,01 \times 1000] / \text{PE ml}$$

$$\text{Conversion: CO}_3^{2-} \text{ mg/l} = \text{CO}_3^{2-} \text{ mé/l} \times 30$$

**Deuxième cas :** pH est compris entre 4,4 et 8,3

Dans ce cas il n'y a ni carbonates ni  $\text{OH}^-$  dans l'échantillon.

$$\text{HCO}_3^- (\text{mé/l}) = V_2 \text{ ml} \times 0,01 \times 1000$$

$$\text{Conversion: HCO}_3^- \text{ mg/l} = \text{HCO}_3^- \text{ mé/l} \times 61$$

### 3.4.2. Mesure de la conductivité électrique

#### Définition :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes de platine de  $1 \text{ cm}^2$  de surface, séparés par une distance de  $1 \text{ cm}$ . Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m).

La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en micro Siemens par centimètre ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ ).

La relation entre la résistivité et la conductivité est la suivante:

$$\text{Résistivité}(\Omega.\text{cm}) = \frac{1000000}{\text{conductivité}(\mu\text{S} / \text{cm})}$$

#### PRINCIPE:

Mesure de la conductance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platine (Pt) (ou couvertes de noir de platine) maintenues parallèles.



Si R est la résistance de la colonne d'eau en Ohms.

S sa section en cm<sup>2</sup> et l sa longueur en cm.

La résistivité électrique en ohms-cm est :

$$P = R \frac{S}{l}$$

La conductivité électrique en S/cm est :                    st :

$$V = \frac{1}{P} = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{S}$$

$\frac{1}{S}$  : Est appelé constante de l'élément de mesure

#### **Matériel :**

Conductimètre.

#### **MODE OPERATOIRE**

- ❖ Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, avec de l'eau distillée ;
- ❖ Plonger l'électrode complètement dans un récipient contenant l'eau à analyser ;
- ❖ Agiter l'échantillon afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide, cette agitation permet d'éliminer les bulles d'air sur les électrodes ;
- ❖ Noter la valeur finale affichée dans le conductimètre.

**EXPRESSION DES RESULTATS** : Le résultat est donné directement en µS/cm.

### **3.4.3. Dosage du calcium/magnésium et du calcium par complexométrie**

#### **Principe :**

Le sel disodique de l'acide Ethylène Diamino Tétra Acétique cristallisé avec H<sub>2</sub>O, appelé aussi complexos ou versénate forme avec un nombre de cation des complexes dont la stabilité dépend essentiellement du pH.

#### **REACTIFS :**

- **SOLUTION E.D.T.A (Ethylène diamine tétra acétique)**

- 40 g E.D.T.A

- 5 g Soude caustique (NaOH)

- 1 g Chlorure de Magnésium (Mg Cl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O).

-Dissoudre 40 g E.D.T.A, ajouter les 5 g NaOH, puis ajuster avec de l'eau distillée Q.S.P 1000 ml.

-Dissoudre à part 1 g de chlorure de magnésium, ajuster avec de l'eau distillée Q.S.P 1000ml.

-Mélanger les 2 et l ainsi obtenus et y ajouter 8 autres litres d'eau distillée ce qui donne 10 litres d'E.D.T.A.

- **SOLUTION : Tampon pH=10 (Ca/Mg)**

Le Tampon pH=10 est constitué par des mélanges à volume égale des solutions A et B.

**Solution A**

Peser 67 g de Chlorure d'ammonium( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) préalablement séché 12 heures à l'étuve à  $100^\circ\text{C}$  puis refroidi au dessiccateur.

Ajouter 400 ml d'Ammoniaque ( $\text{NH}_3$ ) à 28% (448 ml à 25%) 373.7 à 30 %

Compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.

**Solution B**

Dissoudre à 2 litres d'eau distillée 1,5 Kg environ de Tartrate double de Sodium et de Potassium appelé couramment sel de seignette. Chauffer jusqu'à dissolution totale et ajuster à 2 L.

- **SOLUTION DE SOUDE 1 N (Ca)**

40 g de Soude par litre d'eau distillée.

**Indication colorée**

1/ Dosage du Ca/Mg

Mélanger intimement puis broyer au mortier 100 g de Chlorure de Sodium ( $\text{NaCl}$ ) préalablement séché et une quantité de Noir d'Eriochrome telle qu'on obtient un mélange de coloration mauve. On décèle la fin du virage par le Noir Eriochrome T qui vire du rose au bleu.

2/ Dosage du Ca

Mélanger intimement puis broyer au mortier 100 g de Chlorure de Sodium ( $\text{NaCl}$ ) préalablement séché et une quantité de Patton et Raeder (Acide hydroxy-2 Hydroxy-2 Sulfo-4 Naphtoïque-3). On observe la fin du virage quand la couleur passe alors du rouge au bleu franc.

**Mode opératoire :**

**Titre de l'e.d.t.a**

-Le dosage de l'E.D.T.A s'impose à chaque fois que le remplissage du flacon doseur est faitn. On prépare une solution de  $\text{CaCO}_3$  à 1g/l (attaque de 1g de  $\text{CaCO}_3$  par HCl dilué puis ajuster à 1 litre par de l'eau distillée. le  $\text{CaCO}_3$  doit avoir été séché à l'étuve puis refroidi au dessiccateur). On prélève 10 ml qui seront dosés en même temps que les échantillons. Cette solution contient 20 mé/l de  $\text{Ca}^{++}$

- Les PE ayant été placés dans des béchers de 50 ml on y ajoute systématiquement 2ml de Tampon (Ca/Mg) et 2 ml de NaOH (Ca) et une pincée d'indicateur; la solution prend une teinte rose (Ca/Mg) et rouge (Ca).

- La solution étalon de  $\text{Ca}^{++}$  et les échantillons ainsi préparés sont alors traités de manière identique. L'E.D.T.A étant placé dans la burette, on verse jusqu'au virage du rose au bleu en maintenant une agitation dans le bécher. On notera soigneusement le volume  $V_1$  d'E.D.T.A nécessaire pour faire virer la solution étalon de  $\text{Ca}^{++}$  et les volumes  $V_2$  d'E.D.T.A nécessaire pour faire virer les échantillons.

**1. Calcul de la normalité de l'E.D.T.A 10ml à 20mé/l de Calcium ont été dosés par  $V_1$  d'E.D.T.A.**

$$N_{\text{EDTA}} \text{ mé/l} = \frac{20.10}{V_1} = \frac{200}{10}$$

**2. Teneur en Calcium et Magnésium des échantillons**

$$X_{\text{mé/l Ca/Mg}} = \frac{N_{\text{E.D.T.A}} . V_2}{PE}$$

**3. Teneur en Calcium des échantillons**

$$X_{\text{mé/l Ca}} = \frac{N_{\text{E.D.T.A}} . V_2}{PE}$$

**4. Teneur en Magnésium des échantillons**

$$\text{mé/l de Mg} = \text{mé/l de Ca/Mg} - \text{mé/l de Ca} .$$

**3.4.4. Dosage du sodium et du potassium par photometrie de flamme**

**PRINCIPE :**

Les ions en solution sont portés, au moyen d'une flamme de température convenable à un niveau énergétique supérieur à la normal (on dit que les atomes sont excités par la flamme). Libérés de la flamme, ils restituent l'énergie acquise en émettant une radiation caractéristique de l'élément. On pulvérise donc au moyen d'un gicleur, la solution à doser dans une flamme de température déterminée par l'élément que l'on recherche. On sélectionne la radiation attendu eau moyen d'un filtre. L'intensité de la radiation est proportionnelle à la concentration de l'élément présent dans la solution. On établit donc une gamme étalon pour chaque élément dosé et l'on s'y réfère pour déterminer une concentration inconnue. Le sodium et le potassium sont dosés à partir de la même solution étalon à des sensibilités différentes du photomètre de flamme. Le calcium est dosé par sa gamme étalon propre.

## **REACTIFS :**

### **SOLUTION MERE DE SODIUM ET DE POTASSIUM**

Dissoudre dans de l'eau distillée 25,434 g de chlorure de sodium (NaCl) préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur.

Dissoudre simultanément 3,823 g de chlorure de potassium(KCl) préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur.

Compléter le tout à 1000 ml par de l'eau distillée.

On obtient une solution contenant 10000 mg/l en Na<sup>+</sup> et 2000 mg/l en K<sup>+</sup>

### **SOLUTIONS ETALONS EN Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup>**

Mettre successivement dans des fioles jaugées à 100 ml:5,4, 3, 2, 1.5, 1, 0.5 et 0. 2 ml de la solution mère en Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> compléter à 100 ml par de l'eau distillée.

On obtient des solutions étalons contenant respectivement :

500, 400, 300, 150, 100, 50 et 20 mg/l de Na<sup>+</sup>.

100, 80, 60, 40, 30, 20, 10 et 4 mg/l de K<sup>+</sup>.

### **SOLUTION MERE DE CALCUIM**

Dissoudre dans de l'eau distillée 36.663 g de chlorure de calcium préalablement séché à l'étuve à 100° C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur.

### **SOLUTIONS ETALONS DE CALCUIM**

Mettre successivement dans des fioles gaugées à 1000 ml : 50.40.30.20.10.5 ml de la solution mère en Ca<sup>++</sup> compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.

## **APPARILLAGE :**

Photomètre à flamme+enregistreur

Sensibilité du photomètre

Sensibilité du servotrace

Pression du gaz

Pression d'air

### 3.4.5. Détermination du résidu sec

#### Principe :

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination du résidu sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes. Une certaine quantité d'eau est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

#### Matériel :

- Capsule en porcelaine.
- Balance analytique.
- Etuve réglable.

#### Mode opératoire :

- Tarer une capsule préalablement lavée, rincée à l'eau distillée et desséchée.
- Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et déverser la dans la capsule.
- Porter cette dernière à l'étuve à 105° C pendant 24 heures.
- Laisser refroidir pendant ¼ d'heure au dessiccateur.
- Peser immédiatement et rapidement.

#### Expression des résultats :

Les résultats sont donnés en mg/l.

$$(PP - PV) \times 10 \times 1000 = \text{mg/l de RS}$$

D'où PP: est le poids plein de la capsule.

PV: est le poids vide de la capsule.

#### Remarque :

Les eaux contenant des matières en suspension (turbides) doivent être filtrées.

### 3.4.6. La turbidité

#### Principe

La turbidité mesure une propriété optique de l'eau qui résulte de la de l'absorption de la lumière par les particules de matières en suspension présentes dans l'eau.

#### Mode opératoire

- Mettre l'appareil sous tension ;
- Entrer le numéro du programme mémorisé pour la turbidité ;
- Ajuster la longueur d'onde ;
- Placer le blanc (eau distillée) ;
- Ajuster le zéro de l'appareil en appuyant sur la touche "zéro" ;
- Retirer le blanc et placer la prise d'essai de l'échantillon ;
- Appuyer " READ " et le résultat en NTU s'affiche.

### 3.4.7. Dosage des chlorures

#### PRINCIPE :

Les chlorures, en présence du thiocyanate mercurique  $[\text{Hg}(\text{SCN})_2]$  et de l'alun ferrique  $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3, \text{NH}_4 24\text{H}_2\text{O}]$  donnent en milieu nitrique acide un complexe coloré orange susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 470 nm.

#### REACTIFS :

##### Solution Saturée De Thiocyanate Mercurique

Dissoudre 2g de thiocyanate mercurique  $\text{Hg}(\text{SCN})_2$  dans 2 litres d'eau bidistillée.

##### SOLUTION D'ALUN FERRIQUE

67 g d'Alun ferrique  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3, \text{NH}_4 24\text{H}_2\text{O}$ .  
Ou 134 g d'Alun ferrique  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3, \text{NH}_4 12 \text{H}_2\text{O}$   
430 ml d'acide nitrique concentré  
Eau distillée Q.S.P 1000ml.

##### SOLUTION MERE DE CHLORURES A 10g/l

Dissoudre 20,984 g de Chlorure de potassium (KCl) pur préalablement desséché 12 heures à l'étuve à 100°C dans de l'eau distillée, ajuster à 1000 ml.

##### SOLUTIONS ETALONS

Prendre successivement :

8, 5, 4, 3, 2, 1 et 0.5 ml de la solution mère de Cl<sup>-</sup> compléter chaque prélèvement à 100ml exactement par de l'eau distillée. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement :

800, 500, 400, 300, 200, 100 et 50 mg/l en chlorures. Les stocker dans des flacons étiquetés.

#### **MODE OPERATOIRE :**

- On place les PE (5 ml) dans des fioles de 50 ml. Les PE des solutions étalons, le témoin (H<sub>2</sub>O) et les échantillons sont alors traités de manière identique à savoir.
- On ajoute dans l'ordre 5ml de la solution de thiocyanate mercurique préalablement diluée au 1/3 puis 3 ml de la solution nitrique d'alun ferrique également diluée au 1/6.
- On agite vigoureusement les fioles pour uniformiser la coloration qui apparaît et on laisse au repos pendant ½heure.
- On effectue les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 470nm en réglant le
- zéro avec le témoin.

#### **EXPRESSION DES RESULTATS**

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en chlorures en mg/l.

#### **3.4.8. Dosage des sulfates**

#### **PRINCIPE :**

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum. Le précipité ainsi obtenu, très fin est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 495 nm.

#### **REACTIFS :**

- **SOLUTION DE CHLORURE DE BARYUM ET DE GELATINE**

40 g de gélatine.

200 g de Chlorure de baryum (dissoudre à part).

3 g de Phénol (pour éviter une décomposition d'origine bactérienne de la gélatine).

H<sub>2</sub>O Q.S.P 2000ml.

- **SOLUTION MERE DE SULFATE A 10g/l**

Dissoudre 13.755g de Sulfate d'ammonium (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> préalablement desséché à l'étuve à 100°C puis au dessiccateur sous vide, dans de l'eau distillée, ajuster à 1000ml.

## • SOLUTIONS ETALONS

Prendre successivement: 50, 40, 30, 20, 15, 10 et 5 ml de la solution mère de  $\text{SO}_4^{2-}$ , Compléter chaque prélèvement à 1000ml exactement par de l'eau distillée.

On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement: 500, 400, 300, 200, 150, 100 et 50 mg/l en  $\text{SO}_4^{2-}$ .

### MODE OPERATOIRE :

- ❖ On place les PE (5ml) dans des fioles de 50ml

Les PE des solutions étalons, le témoin ( $\text{H}_2\text{O}$ ) et les échantillons sont alors traités de manière identique à savoir :

- ❖ On ajoute à chaque PE, 5 ml de la solution de  $\text{BaSO}_4$  et de gélatine préalablement diluée 1/6. Compléter avec l'eau distillee Q.S.P 50 ml.
- ❖ On agite pour uniformiser le trouble et on laisse au repos pendant 20 minutes jusqu'à la mesure. Une nouvelle agitation aurait comme conséquences la formation de bulles d'air et par conséquent une perturbation des mesures
- ❖ On effectue les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 495 nm en réglant le zéro avec le témoin.

**EXPRESSION DES RESULTATS :** La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en sulfates exprimés en mg/l

### 3.4.9. Dosage de l'azote ammoniacal

#### PRINCIPE :

L'ammonium, en milieu alcalin et en présence d'hypochlorite de sodium donne avec le phénol une coloration bleue (réaction de Berthelot). On utilise du nitroprussiate de sodium comme catalyseur. La quantité d'hypochlorite doit être ajustée avec soin. Si l'hypochlorite est en défaut, la coloration se développe mal et irrégulièrement. S'il est en excès, il peut attaquer des composés azotés organiques qui peuvent perdre leur groupement NH pour donner des aldéhydes et de l'ammoniac. Il peut causer la chlorination du phénol qui entraîne une perte d'hypochlorite et provoque l'apparition de phénols chlorés insolubles.



## REACTIFS :

Les traces d'ammoniac présentes dans l'air se dissolvent dans l'eau il est donc recommandé pour la préparation des réactif et des solution étalons d'utiliser une eau distillée préalablement débarrassée des traces de  $\text{NH}_4^+$  le moyen suivent :

Faire passer l'eau distillée dans une colonne de verre de 5 cm de diamètre contenant environ 350 g d'un mélange intime de résines :

2 volumes de résine anionique (types amberlite IRA 400, forme  $\text{OH}^-$ )

1 volumes de résine cationique (types amberlite IRA 120, forme  $\text{H}^+$ )

### SOLUTION MERE D'AMMONIUM A 1 g/l ( $\text{NH}_4^+$ )

Peser 2,972 g de chlorure d'ammonium  $\text{NH}_4 \text{Cl}$  préalablement séché et refroidi au dessiccateur. Dissoudre dans de l'eau distillée et compléter à 1000 ml.

### SOLUTION D'AMMONIUM A 10 mg/l ( $\text{NH}_4^+$ )

Prendre 10 ml de la solution mère à 1g/l et compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.

### SOLUTIONS ETALONS :

Prendre successivement : 5, 10, 25, 50, 100, 150 et 200 ml de la solution à 10 mg/l et compléter à 100 ml par de l'eau distillée. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement:0,05, 0,1, 0,25, 0,5, 1, 1,5 et 2 mg/l de  $\text{NH}_4^+$ .

### SOLUTION TAMPON ET COMPLEXANTE :

230 g de tartrate de  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$

350 g de citrate de sodium ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

40 g de soude ( $\text{NaOH}$ )

Eau distillée Q.S.P 1000 ml

Si on utilise du citrate mono sodique  $\text{Na C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ , en prendre 215 g avec 120 g de soude au lieu de 40g.

Faire bouillir pendant au moins un  $\frac{1}{2}$  heure, en maintenant un barbotage d'air pour éliminer les ions  $\text{NH}_4^+$  pouvant se trouver dans le tartrate ou citrate.

### SOLUTION PHENATE DE SODIUM

5 g de soude

25 ml d'eau distillée

Après refroidissement,

10 g de phénol et compléter à 50 ml avec de l'eau distillée.

### SOLUTION NITROPRUSSATE DE SODIUM

0,5g de nitroprussiate de sodium  $\text{Na}_2 (\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}) 2\text{H}_2\text{O}$ )

Eau distillée Q.S.P 50 ml

La solution de nitroprussiate ou nitrosoferricyanure de sodium de teinte rouge, devient verte à la lumière : elle dépose du ferrocyaure ferrique ou bleu de Prusse et dégage du NO<sub>0</sub> la décomposition est plus lente à l'obscurité.

## SOLUTION D'HYPOCHLORITE DE SODIUM A 2° CHLOROMETRIQUE

On part d'une solution concentrée d'eau de javel commerciale (environ 32° chlorométriques) que l'on filtre avant de doser.

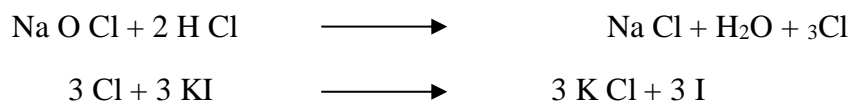
Le titre exprimé en degré chlorométrique français (Cl°) donne le nombre de litres de chlore actif que fournir un litre de solution d'hypochlorite.

A partir de titre de cette solution, concentrée, conservée en bouteille brune et au frais, on prépare une solution diluée à 2 ° Cl.

Cette solution diluée, moins stable, doit être préparée au moment de l'emploi. il est nécessaire de vérifier par dosage (voir annexe) le titre exact de l'hypochlorite.

### Dosage de l'hypochlorite de sodium :

On ajoute un excès de potassium (KI) à la liqueur à doser. En présence d'acide, tout le chlore à doser est libéré. Ce chlore déplace l'iode de l'iodure de potassium. cet iode se dissout dans l'iodure de potassium en excès.



On titre cet iode par une solution de thiosulfate de sodium, jusqu'à décoloration



Le titre en iode est la même que le titre en chlore.

### Mode opératoire :

1 ml de solution de NaOCl.

100 ml d'eau distillée.

qq gouttes de HCl ou 5 ml d'acide acétique ;

5 ml d'iodure de potassium KI à 10% (10 g de KI dans 100 ml d'eau distillée)

Le titrage se fait par thiosulfate de sodium

Titre en iode = (Titre en thiosulfate x volume de thiosulfate) / volume de solution de NaOCl

$$= 0,1 \times \text{volume de thiosulfate}$$

$$\text{°Cl} = \text{Titre en iode} \times 11,2 = \text{volume de thiosulfate} \times 1,12$$

En multipliant le nombre de ml trouvé par 1,12 on obtient le degré chlorométrique.

## MELANGE DES REACTIFS :

On mélange les 3 premiers réactifs dans les proportions suivantes:

200 ml de la solution tampon et complexante.

25 ml de la solution de phénate de sodium.

10 ml de la solution de nitroprussiate de sodium.

Les quantités de la solution de phénate de sodium et de la solution de nitroprussiate de sodium ne doivent pas excéder le volume nécessaire pour la préparation du mélange. Conserver ce réactif mélangé en bouteille brune.

## MODE OPERATOIRE :

La réaction colorimétrique s'effectue en opérant le mélange suivant :

- ❖ PE : 20 ml.
- ❖ Réactif mélangé : 2 ml.
- ❖ Hypochlorite à 2° Cl : 0,5 ml

La coloration bleue se développe à partir du moment. On laisse les flacons à l'obscurité pendant une heure et demie. La coloration reste stable plusieurs heures. On effectue la mesure colorimétrique à 625 nm.

## EXPRESSION DES RESULTATS :

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en azote ammoniacal exprimés en mg/l.

### 3.4.10. Dosage des nitrates

#### Principe :

Les nitrates sont réduits en nitrites par une solution d'hydrazine en milieu alcalin et en présence de sulfate de cuivre comme catalyseur.

Les nitrites obtenus sont alors dosés par colorimétrie: diazotation avec l'acide sulfanilique et capulation avec l' $\alpha$  - Naphtylamine. On mesure la densité du colorant ainsi formé à 520 nm.

#### Réactifs:

- **Solution de sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) :**

2.6 g de  $\text{Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  additionnée de 40 ml d'acide sulfurique 1 N.

Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

- **Solution d'hydrazine ( $\text{NH}_2\text{-NH}_2 \text{H}_2\text{SO}_4$ ) à 0,1 N :**

13 g de  $\text{NH}_2\text{-NH}_2 \text{H}_2\text{SO}_4$ .

Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

Conserver en flacon brun bien bouché.

- **Solution de Soude (NaOH) à 0,05 N :**

50 ml d'après la solution de NaOH de concentration 1 N a 1000 ml.

- **Solution d'acide sulfanilique ( $\text{H}_2\text{N SO}_3$ ) :**

6 g d'acide sulfanilique  $\text{H}_2\text{N SO}_3$

200 ml acide chlorhydrique concentrée

Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

Conserver en flacon brun.

- **Solution  $\alpha$  –Naphtylamine :**

6 g de  $\alpha$  –Naphtylamine

40 ml acide chlorhydrique concentrée

Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

Verser la poudre dans l'eau froide, en agitant .ajouter quelque ml d'acide chlorhydrique concentrée .achever la dissolution en chauffant très légèrement.

Verser ensuite le reste d'acide et compléter à 1 litre d'eau distillée.

Conserver en flacon brun.

- **Solution d'E.D.T.A :**

Dissoudre 5 g d'E.D.T.A dans 1000 ml d'eau distillée. Cette solution est destinée à complexer le fer et les métaux lourds qui peuvent provoquer des interférences.

- **Solution d'acétate de sodium ( $\text{NaCOO-CH}_3, 3\text{H}_2\text{O}$ ).**

Dissoudre 272 g d'acétate de sodium  $\text{NaCOO-CH}_3, 3\text{H}_2\text{O}$

Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

- **Solution mère de nitrate à 1000 mg/l.**

Dissoudre 1,631 g de Nitrate de Potassium préalablement séché au dessiccateur et compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.

- **Solutions étalons :**

Prendre successivement : 0,5, 1, 2, 4, 6, 8, 10 et 15 ml de la solution mère de nitrate et compléter chaque prélèvement à 100ml par de l'eau distillée.

On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement: 5, 10, 20, 40, 60, 80 ,100 et 150 mg/l de nitrates.

### **Préparation des solutions de travail :**

#### **Mélange réducteur à préparer au moment de l'emploi :**

- 5 ml de la solution de Sulfate de Cuivre
- 5 ml de la solution d'hydrazine
- Eau distillée Q.S.P 200 ml

#### **Mélange colorant (conserver en flacon brun) :**

- 10 ml d'acétone.
- 20 ml d'acide sulfanilique.
- 20 ml d'E.D.T.A.
- 20 ml d'acétate de sodium.
- 20 ml d' $\alpha$ -Naphthylamine.
- Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

Ajouter l' $\alpha$ -Naphthylamine en dernier et après dilution pour éviter la formation d'un précipité blanc laiteux.

### **Mode opératoire**

Effectuer le dosage dans des flacons brun, de préférence.

Réaliser le mélange suivant en introduisant dans le flacon :

- 1 ml prise d'essai ;
- 5 ml de solution de soude à 0.05 M ;
- Agiter ;
- 5 ml de mélange réducteur ;
- Agiter ;
- Après une heure, ajouter 40 ml du mélange colorant ;
- Mettre à l'obscurité le mélange préparé pendant  $\frac{1}{4}$  heure ;
- Mesurer la densité à 520 nm.

Laisser la coloration se développer dans l'obscurité pendant  $\frac{1}{4}$  heure.

Mesurer sa densité à 520 nm.

Le passage à la colorimétrie ne doit intervenir que juste avant la mesure optique afin que la solution soit exposée un minimum de temps à la lumière à laquelle est très sensible.

La réduction des nitrates est partielle et varie avec le temps et la température. Il importe donc que la mesure des échantillons soit toujours accompagnée d'une mesure des solutions étalons, traitées dans les mêmes conditions.

**Remarque :** Essayer de ne pas exposer les flacons à la lumière avant leur passage au colorimètre. Il faut traiter les solutions étalons en même temps que les échantillons et dans les mêmes conditions car la réduction des nitrates en nitrites est une fonction du temps.

### **Expression des résultats**

La courbe d'étalonnage donne directement les teneurs des échantillons de nitrates en mg/l.

#### **3.4.11. Dosage des nitrites**

##### **Principe :**

Par diazotation des nitrites avec l'acide sulfanilique à pH 2,5 puis par copulation du composé formé avec l' $\alpha$ -Naphthylamine (réactif de Griess), on obtient un colorant azoïque rouge stable au moins 12 heures dont on mesure l'intensité à 520 nm.

##### **Réactifs :**

Pour la préparation des réactifs et des solutions étalons, on utilise une eau distillée exempte de nitrites, qu'on obtient facilement après passage sur un lit mélangé de résines (1 volume de résine cationique + 2 volumes de résine anionique).

##### **Solution d'acide sulfanilique**

1,2 g d'acide sulfanilique.

140 ml d'eau distillée chaude.

Refroidir et ajouter 40 ml d'acide chlorhydrique concentré.

Diluer avec de l'eau distillée Q.S.P 200 ml.

##### **Solution d' $\alpha$ -naphthylamine**

1,2 g d' $\alpha$ -Naphthylamine.

2 ml d'acide chlorhydrique.

Eau distillée Q.S.P 200 ml.

Cette solution se conserve environ 1 semaine, bien que se décolorant et précipitant. Une conservation à basse température prolonge la durée d'utilisation.

### **Solution tampon d'acétate de sodium**

54,4 g d'acétate de sodium  $\text{NaCO}_2\text{-CH}_3, 3\text{H}_2\text{O}$  (ou 32,8 g de sel anhydre).

Eau distillée Q.S.P 200 ml

### **Solution d'E.D.T.A à 5g/l**

Destinée à complexer le fer et les métaux lourds qui peuvent provoquer des interférences.

### **Solution étalon des nitrites à 100 mg/l**

Le nitrite de sodium ( $\text{NaNO}_2$ ) est un sel très soluble dans l'eau. Il fond à  $271^\circ\text{C}$ . Il s'oxyde rapidement à l'humidité. Il convient donc de s'assurer de la bonne qualité du produit avant son emploi.

Les solutions de nitrite sont relativement peu stables en milieu acide et en présence de certaines bactéries.

**150 g** de nitrite de sodium.

On les conserve en y ajoutant 1ml/l de chloroforme.

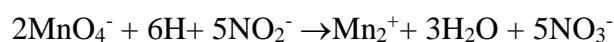
Eau distillée Q.S.P 1000ml

### **Solutions étalons**

Prendre successivement 1, 2, 4, 6, 8, 10 ml de la solution à 1 mg/l de  $\text{NO}_2$  et compléter par de l'eau distillée à 50 ml. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement 0,02, 0,04, 0,08, 0,12, 0,16 et 0,20 mg/l de  $\text{NO}_2^-$

### **Titrage de cette solution de nitrite**

Le nitrite est oxydé au moyen d'un excès de permanganate. L'excès d'oxydant est ensuite dosé par iodométrie.



10 ml de permanganate de potassium  $\text{KMnO}_4$  à 0,01 N.

2 ml d'acide sulfurique au  $\frac{1}{2}$ .

20 ml de solution de nitrite.

5 ml d'iodure de potassium  $\text{KI}$  à 10%.

Soit  $V$  le volume de thiosulfate de sodium nécessaire pour l'échantillon et  $V_0$  le volume trouvé pour un témoin effectué avec de l'eau distillée.

**Concentration de nitrite en mg/l=(Titre du thiosulfate de sodium x (V<sub>0</sub> – V) x 23000) /PE**

A partir de cette solution de nitrite, on prépare une solution à 1 mg/l de NO<sub>2</sub>.

**Mode opératoire :**

Si l'échantillon est coloré par des acides humiques, on l'acidifie par l'acide sulfurique (1 ml/l d'acide sulfurique) et on filtre.

- 50 ml de prise d'essai ;
  - 1 ml de solution d'E.D.T.A ;
- 1 ml d'acide sulfanilique ;
- Agiter et attendre 10 mn ;
- 1 ml d' $\alpha$ -naphtylamine ;
- 1 ml de la solution de tampon acétate ;
- Agiter et attendre 30 mn ;
- Effectuer la mesure colorimétrique à 520 nm.

**3.4.12. Dosage des phosphates (po<sub>4</sub>-3)**

**Principe :** En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium Mo<sub>7</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>4</sub>H<sub>2</sub>O, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développent une coloration bleue pouvant être dosée colorimétriquement à une longueur d'onde de 710 nm.

**Réactifs :**

- **Solution d'acide ascorbique à 10 g/l**

10 g d'acide ascorbique (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>6</sub>).

Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

- **Solution molybdate d'ammonium**

Solution A

Dissoudre 25 g de molybdate d'ammonium [(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>MO<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O] dans 100ml d'eau distillée.

Solution B

Ajouter à 400 ml d'eau distillée 280 ml d'acide sulfurique concentré.

Après refroidissement, mélanger les solutions A et B puis compléter par de l'eau distillée à 1000 ml.

- **Solution mère de phosphate (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) à 1g/l**

Dissoudre 1,432 mg de phosphate dihydrogénopotassique (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) (desséché au préalable à l'étuve à 100°C) dans 1000 ml d'eau distillée.



- **Solution de  $\text{PO}_4^{3-}$  à 10mg/l :**

Placer dans une fiole jaugée de 1000 ml, 10 ml de la solution mère et compléter par de l'eau distillée jusqu'à atteindre le trait de jauge.

- **Solutions étalons :**

Prendre successivement les volumes (voir tableau) de la solution à 10mg puis compléter à 50 ml par de l'eau distillée ; les concentrations correspondantes sont mentionnées sur le tableau suivant :

|                           |     |   |     |    |    |    |
|---------------------------|-----|---|-----|----|----|----|
| V (ml)                    | 2.5 | 5 | 7.5 | 10 | 15 | 20 |
| $[\text{PO}_4^{3-}]$ mg/l | 0.5 | 1 | 1.5 | 2  | 3  | 4  |

### **Mode opératoire :**

Au moment du dosage mélanger la solution molybdique et la solution d'acide ascorbique dans les proportions suivantes :

- 3 volumes de la solution molybdique,
- 1 volume de la solution de l'acide ascorbique ;

Effectuer la réaction dans des tubes à essai

20 ml prise d'essai dans des tubes à essai,

5 ml des réactifs mélangés,

Porter au bain marie à 80°C durant 10 mn,

Laisser refroidir puis mesurer l'absorption à une longueur d'onde de 825 nm ;

**Remarque :** pour calculer les volumes des solutions à mélangées, tout d'abord il faut compter le nombre de tubes à essai utilisés pour préparer le volume nécessaire, puis multiplier ce nombre par 5 (volume du réactif qu'il faut ajouter à chaque échantillon), enfin il deviendra facile de calculer les volumes des réactifs qu'il faut mélangés selon les proportions dites précédemment.

### **3.4.13. Dosage de la silice**

**Principe :** Formation avec le molybdate d'ammonium d'un complexe jaune. La réduction du silicomolybdate d'ammonium par l'acide Amino-I-Naphtol-2-Sulfonique-4-en présence d'acide sulfureux donne un composé bleu sur lequel on effectue la colorimétrie.

La colorimétrie peut se faire sur le complexe jaune mais il faut alors de grandes quantités de silice et cette méthode est peu sensible.

Les phosphates donnent des réactions analogues; leur teneur dans les eaux étant généralement faible, on se contente de diminuer leur interférence possible par addition d'acide

tartrique. On peut aussi éliminer les phosphates par précipitation en milieu ammoniacal  $\text{CaCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH}$ .

Cette méthode ne permet de doser que la silice ionique à l'exception de la silice colloïdale. Pour doser la silice totale, il est nécessaire de solubiliser la silice colloïdale par fusion alcaline après évaporation à sec de l'eau. On obtient ensuite la silice colloïdale par différence.

### Réactifs :

Tous les réactifs doivent être conservés dans des flacons en polyéthylène.

#### Solution sulfurique de molybdate d'ammonium

75g de molybdate d'ammonium  $(\text{NH}_4)_6 \text{MO}_7, 4\text{H}_2\text{O}$ .

322ml d'acide sulfurique 10 N.

Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

#### Solution d'acide tartrique

100 g d'acide tartrique  $\text{HOOC}^-(\text{CHOH})_2\text{-COOH}$ .

Eau distillée Q.S.P 1000 ml

#### Solution amino I naphthol 2 sulfonique 4.

##### Solution A :

90 g de bisulfite de sulfite de sodium  $\text{NaHSO}_3$ .

Eau distillée Q.S.P 800ml

##### Solution B :

7g de sulfite de sodium  $\text{Na}_2\text{SO}_3 \rightleftharpoons$

Eau distillée Q.S.P 100ml

1,5 g d'acide amino I naphthol 2 sulfonique 4  $\text{NH}_2\text{-C}_{10}\text{H}_5(\text{OH})\text{SO}_3\text{H}$ .

Mélanger A et B, compléter à 1000 ml, chauffer légèrement et filtrer.

16.9 bisulfite de sulfite de sodium  
1.75 g de sulfite de sodium à 250 ml  
0.375 g amino I naphthol 2 sulfonique 4

#### Solution étalon de silice à 1g/l

Attaquer 1 g de  $\text{SiO}_2$  pur pour analyse par fusion avec 3 g de carbonate de potassium ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) et 3 g de carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) dans un creuset de platine.

Après refroidissement, reprendre par de l'eau distillée tiède et compléter à 1000ml (1ml de la solution contient 1mg de  $\text{SiO}_2$ ).

Pour l'établissement de la courbe d'étalonnage diluer à 1/100<sup>ème</sup> la solution de 1g/l (1 ml de la solution contient 0.01mg/l de SiO<sub>2</sub>)

On peut aussi préparer cette solution à partir de silicate de sodium; il est alors nécessaire de doser la silice de la solution concentrée par gravimétrie.

Les solutions évoluent car il y a formation de l'hydroxyde colloïdal qui réagit très lentement avec le réactif molybdique. Il est souhaitable de conserver la solution à 1 g/l dans un réfrigérateur mais il est préférable de refaire cette solution après plusieurs semaines.

### **Mode opératoire :**

#### **Solutions étalons :**

Dans des fioles jaugées de 50 ml, lavées 24 heures avec HCl N/5 mettre 4, 10, 15, 20, 30, 40 ml de SiO<sub>2</sub> à 10 mg/l. Ceci correspond respectivement à 2, 5, 10, 15, 20 mg/l de SiO<sub>2</sub> dans de l'eau à analyser pour une prise d'essai de 10 ml.

Compléter à environ 30 ml avec de l'eau distillée exempte de silice.

Ajouter 1 ml de la solution molybdique.

Laisser agir 15 min

Ajouter 2 ml d'acide tartrique.

Ajouter 1 ml de réactif amino 1 naphthol 2 sulfonique 4.

Compléter à 50 ml et laisser développer la coloration 20 mn.

Mesurer l'absorption à 750 nm.

On procéde de la même manière avec une prise d'essai de 10 ml, pour une teneur en silice allant de 1 à 40 mg/l. Pour une meilleure précision dans le cas d'une teneur inférieure à 10 mg/l on peut faire des PE de 20 à 40 ml.

### **Résultats :**

Les résultats sont exprimés directement en mg/l de silice par la lecture graphique.

#### **DOSAGE DES MATIERES ORGANIQUES PAR OXYDABILITE AU PERMANGANATE**

L'oxydabilité au permanganate consiste en l'oxydation modérée par le permanganate des matières réductrices dans l'eau.

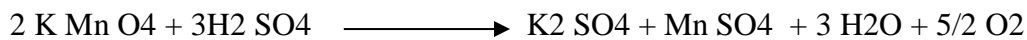
Le permanganate oxyde de préférences les matières organiques d'origines végétales en milieu acide et celles d'origine animale en milieu basique. Or celles-ci sont les plus susceptibles d'indiquer une pollution humaine ou animale, donc une eau dangereuse pour la consommation.

Une eau est suspecte à partir de 2 à 3 mg d'oxygène consommé par litre d'eau en milieu alcalin, ou 3 à 5mg en milieu acide.

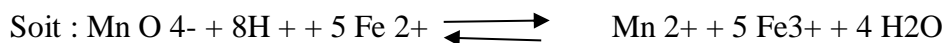
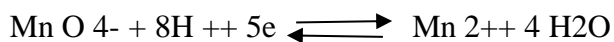
Principe :

-Oxydation en milieu acide

On oxyde l'échantillon par un excès connu de permanganate de potassium, en milieu acide et à chaud :



Le permanganate n'ayant pas réagi est réduit par un excès connu de sulfate ferreux ammoniacal :

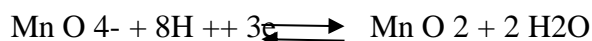


L'excédent de sulfate ferreux est titré par le permanganate. la réaction étant incomplète, la reproductibilité des résultats est particulièrement sensible à la rigueur des conditions opératoires. Le degré d'oxydation des matières organiques dépend du rapport des concentrations du permanganate  $\text{Mn O}_4^-$  et de sa forme réduite  $\text{Mn}^{2+}$ . on rend ce rapport pratiquement constant en diluant la prise d'essai, de telle sorte que la quantité de permanganate introduite soit en net excès par rapport à celle du permanganate consommé.

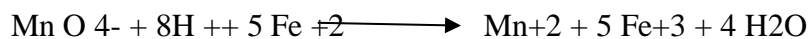
L'expérience a montré que le permanganate consommé ne devait pas excéder les 20 % du  $\text{Mn O}_4^-$  introduit, pour obtenir des valeurs reproductibles.

-Oxydation en milieu basique

On oxyde l'échantillon par un excès connu de permanganate dilué en milieu faiblement basique et à chaud :



Après oxydation, on refroidit et on se replace en milieu acide avant d'ajouter un excès connu de sulfate ferreux ammoniacal. Celui-ci réduit permanganate n'ayant pas réagi.



L'excédent de sulfate ferreux est titré par le permanganate .les observations précédentes s'appliquent en milieu basique.

Réactifs :

Solution d'acide sulfurique au 1/2.

Solution de permanganate de potassium N/20.

1,58 g de permanganate de potassium( $\text{KMNO}_4$ ).

Eau distillée Q.S.P 1000ml.

#### SOLUTION DE PERMANGANATE DE POTASSIUM N/80

Préparer à partir de la solution de permanganate de potassium N/20 que l'on dilue 4 fois.

Solution de sulfate ferreux ou sel de MOHR N/80.

4,9 g de sulfate ferreux  $\text{Fe SO}_4 (\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 6\text{H}_2\text{O}$ .

5 ml d'acide sulfurique concentré.

Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

Solution de bicarbonate de sodium à 10%

Mode opératoire :

-Milieu acide

Mettre dans un erlenmeyer

100ml d'eau à analyser

10ml d'acide sulfurique au  $\frac{1}{4}$

Porter à ébullition pendant 10 minutes et ajouter dans les solutions bouillantes 10ml de la solution de  $\text{KMnO}_4$  précédemment diluée N/80.

Refroidir rapidement et ajouter 10 ml de sulfate ferreux ammoniacal N/80

Doser l'excès de sulfate ferreux par du permanganate du témoin (eau distillée).

Si on trouve  $\text{O}_2 > 3.5 \text{ mg/l}$ , recommencer en diluant l'échantillon.

-Milieu basique

Mettre dans un erlenmeyer

100 ml d'eau distillée

5ml de solution à 10% de bicarbonate de sodium

Porter à l'ébullition

Ajouter 5 ml de  $\text{KMnO}_4$  N/20

Porter à ébullition pendant 10 minutes.

Refroidir rapidement et ajouter 5 ml d'acide sulfurique au  $\frac{1}{2}$ , puis 20 ml de sulfate ferreux ammoniacal N/80 de titre exact.

Utiliser la même dilution qu'en milieu acide.

$$\text{O}_2 \text{ mg/l} = \frac{3}{5} (V - V_0) = 0.6 (V - V_0)$$

### Calculs :

#### A) oxydabilité en milieu acide

|                    | Oxydant                                                          | Réducteur                                                                             | Equation correspondante                                                   |
|--------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Dans l'échantillon | 5ml de MnO <sub>4</sub> N/20 +<br>V1 ml de MnO <sub>4</sub> N/80 | 100 ml d'échantillon de titre x en matières réductrices+20 ml de sulfate ferreux N/80 | $(5 \times 1/20) + (V1 \times 1/80) = (100 \times X) + (100 \times 1/80)$ |
| Dans le témoin     | 5ml de MnO <sub>4</sub> N/20 +V2 ml de MnO <sub>4</sub> N/80     | 100 ml d'eau distillée +20 ml de sulfate ferreux N/80                                 | $(5 \times 1/20) + (V1 \times 1/80) = (100 \times X) + (20 \times 1/80)$  |

Au point équivalent se trouve en équilibre

$$D'où : (20 \times 1/80) = (5 \times 1/20) + (V1 \times 1/80) - (100 \times X) = (5 \times 1/20) + (V2 \times 1/80)$$

$$X = 1/8000(V1 - V2)$$

Comme un équivalent gramme d'oxygène = 8000 mg d'oxygène

$$O_2 \text{ mg/l} = V1 - V2$$

#### B) oxydabilité en milieu alcalin

On utilise la même solution de permanganate. Sachant qu'une solution normale de permanganate en milieu acide devient 3N/5 en milieu alcalin, la formule précédente devient :  
 $O_2 \text{ mg/l} = 0.6 (V1 - V2)$

### 3.4.14. Détermination de la demande chimique en oxygène

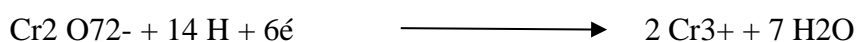
La demande chimique en oxygène (D.C.O) est la quantité d'oxygène nécessaire pour obtenir une oxydation énergique des matières et minérales présentes dans l'eau. Elle complète la mesure de la D.B.O5 en tenant compte des matières organiques difficilement dégradables en 5 jours.

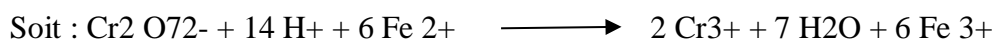
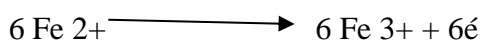
Principe :

En milieu acide, le bichromate de potassium oxyde les matières organiques :



On fait agir un excès de bichromate de potassium en milieu acide sur l'échantillon étudié, puis on dose à l'aide de sulfate ferreux l'excès de bichromate.





Pour obtenir une meilleure oxydation de certaines substances organique, on ajoute un sel d'argent qui joue le rôle de catalyseur.

Pour éviter l'oxydation des chlorures qui ne jouent aucun rôle dans le déficit en oxygène d'une cour d'eau, on ajoute un sel mercurique qui forme du chlorure mercurique stable et très peu oxydable.

### Réactifs :

-SOLUTION D'ACIDE SULFURIQUE (D=1.84)

-SOLUTION DE SULFATE D'ARGENT

6.6g de sulfate d'argent ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ).dans un litre d'acide sulfurique

-SOLUTION DE SULFATE MERCURIQUE EN CRISTAUX

-SOLUTION DE SULFATE DE FERREUX A 0,25 N

-Dissoudre 98 g de sulfate de fer d'ammonium  $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$  (ou sel de Mohr) dans l'eau distillée.

-ajouter 20 ml d'acide sulfurique et compléter à un litre avec de l'eau distillée.

Déterminer au moins chaque jour le titre exact de cette solution à l'aide de la solution de bichromate à 0,25 N.

-SOLUTION DE SULFATE FERREUX 0,025 N

Diluer au 1/10, la solution de sulfate ferreux à 0,25 N

-SOLUTION DE BICHROMATE DE POTASSIUM A 0,25 N

Dissoudre 12,2588g de bichromate de potassium préalablement séché pendant 2 heures à  $110^\circ \text{ C}$  dans de l'eau distillée et compléter à 1000 ml.

-SOLUTION DE BICHROMATE DE POTASSIUM A 0,025 N

Diluer au 1/10 la solution de bichromate de potassium a 0,25 n

-SOLUTION DE FERROINE

1.485g de 1-1phénanthroline

0,695g de sulfate de fer

Eau distillée Q.S.P 100 ml

Mode opératoire :

Mettre dans un ballon à col rodé de 500 ml.

20 ml de bichromate de potassium à 0,25N ou 0,025N suivant que la D.C.O présumée est inférieure ou supérieure à 500 mg/l.

35 ml d'acide sulfurique concentrée.

5ml de solution de sulfate d'argent.

1 pincée de sulfate mercurique (0,1g).

Quelques billes de verre pour régulariser l'ébullition.

Laisser refroidir et ajouter la prise d'essai 20 ml maximum.

Ajouter le complément à 20 ml de la prise d'essai en eau distillée de telle sorte que la concentration de l'acide sulfurique soit de 50% en volume lors de l'ébullition.

Adapter le réfrigérant au ballon (pas de graisse sur les rodages mais deux gouttes d'acide sulfurique) et laisser bouillir deux heures.

Laisser refroidir et étendre à 200 ml environ avec de l'eau distillée.

Ajouter quelques gouttes de ferroïne et titre l'excès de bichromate par la solution de sulfate ferreux la coloration passe du vert au rouge brun.

Si la solution vire au rouge brun sans ajouter de sulfate de sulfate ferreux, recommencé en diminuant la prise d'essai.

Essai à blanc : effectuer un essai a blanc, en remplaçant la prise d'essai par 20 ml d'eau distillée.

CALCULE :

Au point équivalent, se trouvent en équilibre :

|                    | Oxydant                                          | Réducteur                                                                       | Equation correspondante                          |
|--------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Dans l'échantillon | 20 ml de bichromate de potassium de titre 0,25 N | V1 ml Fe SO4 de titre T et PE ml d'échantillon de titre n en matière réductrice | $20 \times 0,25 = (PE \times n) + (V1 \times T)$ |
| Dans le témoin     | 20 ml de bichromate de potassium de titre 0,25 N | V0 ml de Fe SO4 de titre T                                                      | $20 \times 0,25 = V0 \times T$                   |

D'où :  $(PE \times n) + (V1 \times T) = V0 \times T$

$N = T (V0 - V1) / PE$

Un litre d'échantillon consomme n équivalent de bichromate, donc d'oxygène, soit :

X 8000 mg d'O2

D.C.O =  $8000 \times T \times (V0 - V1) / PE$  mg/l de O2



### 3.4.15. Détermination de la D.C.O (methode iso 6060)

#### REACTIFS :

SOLUTION D'ACIDE SULFURIQUE A 4 mol/l

220 ml acide sulfurique [ H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> (d=1,84)]

Eau distillée Q.S.P 1000 ml

SOLUTION DE SULFATE D'ARGENT A 10 g/l

10 g de sulfate d'argent (Ag<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>)

Dissoudre le sulfate d'argent (Ag<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>) dans 40 ml de H<sub>2</sub>O

960 ml acide sulfurique H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> (d=1.84)

SOLUTION DE DICHROMATE DE POTASSIUM 0,04 MOL/, CONTENANT DU SULFATE DE MERCURE (II)

11.767 g de dichromate de potassium (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub> O<sub>7</sub>).

80 g sulfate de mercure(II) [HgSO<sub>4</sub>].

100 ml acide sulfurique.

Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

Dissoudre 80 g de sulfate de mercure (II) dans environ 800 ml d'eau déminéralisée.

Ajouter avec précaution 100 ml .laisser refroidir puis ajouter 11.767 g de dichromate de potassium .transvaser la solution quantitativement dans une fiole jaugée de 1000 ml et compléter au volume.

SOLUTION DE SULFATE DE FER ET D'AMMONIUM A 0,12 MOLE/L

47 g de sulfate de fer et d'ammonium FeSO<sub>4</sub> (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6H<sub>2</sub>O.

20 ml acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de (d=1.84)

Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

SOLUTION DE FERROINE

1.5 g de phénathroline.

0.7 g Sulfate de Fer (II) FeSO<sub>4</sub>, 7H<sub>2</sub>O

100 Eau déminéralisée

Mode opératoire

10ml d'échantillon.

5 ml dichromate  $K_2Cr_2O_7$  0.04mol.

Quelques régulateurs d'ébullition.

15ml d'acide sulfurique contenant sulfate d'argent. En agitant soigneusement le tube.

Mettre 1 ou 2 gouttes d'acide sulfurique sur le col rode.

Mettre à l'ébullition pendant 2 heures.

Retirer les tubes et Laisser refroidir.

Transvaser le contenu du tube dans un erlenmeyer de 250 ml, rincer et diluer avec environ 75 ml d'eau distillée.

-Titrer l'excès de bichromate de potassium avec la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium. En présence d'une ou deux gouttes de ferroïne.

Vérification du titre de la solution de sulfate de Fer et d'ammonium

Dans un Erlenmeyer, mettre 5ml de bichromate de potassium à 0.04 mol/l ; on ajoute environ 100ml avec la solution d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) à 4mol/l ; enfin, on ajoute quelque goutte d'indicateur ferroïne.

Remplir la burette avec le sulfate de fer d'ammonium  $((NH_4)_2Fe(SO_4).6H_2O)$  0.12mol/l.

On titre jusqu'à la coloration devient rouge.

La concentration (en mol/l) de la solution sulfate de Fer et d'ammonium est donnée par la formule ci-dessous ou les volumes exprimés en ml :

$$T = \frac{\text{ml } K_2Cr_2O_7 \times 0.25(N)}{\text{ml } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2} = \frac{1.2}{V_{\text{sulfate de fer}}}$$

Expression des résultats

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimée en milligrammes d'oxygène par litre est égale à :

$$DCO = \left( \frac{V_B - V_E}{P.E} \right) * 8000 * T = 800 * T * (V_B - V_E)$$

$V_E$  = Volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml).

$V_B$  = // // // // // à l'essai à blanc (ml).

$T$  = Titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium.

$P.E$  = Volume de la prise d'essai.

### **3.4.16. Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO5)**

#### **Définition :**

La demande biochimique en oxygène (DBO5) est la masse d'oxygène moléculaire dissoute nécessaire aux micro-organismes pour la dégradation par oxydation (mais aussi pour la transformation) des matières organiques contenus dans l'eau, dans des conditions définies et dans un espace de temps donné.

#### **Principe :**

L'oxygène nécessaire à l'oxydation de la matière organique est apporté à l'échantillon par une eau de dilution préalablement aérée et éventuellementensemencée.

La dilution de l'échantillon doit être telle qu'au bout de 5 jours la concentration en oxygène dissous soit encore égale à la moitié de la concentration initiale, ceci afin d'éviter les fermentations anaérobies qui fausseraient les résultats.

Cette dilution est déterminée approximativement par une mesure préalable de l'oxydation au permanganate.

L'eau de dilution doit avoir les caractéristiques suivantes :

-une minéralisation suffisante pour assurer le développement des micro-organismes. On reconstitue à partir d'eau distillée la composition type d'une eau de rivière exempte de pollution en y ajoutant un certain de sel, selon la formule préconisée par L'AFNOR.

-Une teneur en oxygène dissous voisin de saturation.

-une flore microbienne adaptée aux matières polluantes. L'eau de dilution doit êtreensemencée par une résiduaire exempte de pollution industrielle afin d'éviter l'apport d'éléments toxiques. si l'échantillon provient d'eau d'égout urbain, l'ensemencement est inutile.

Mais certain effluents industriels peuvent contenir des substances non dégradables par des souches banales : dans ce cas, onensemence l'eau de dilution à l'aide d'eau prélevée en aval du point de rejet dans la rivière.

Méthodes instrumentales.

1/ Mode opératoire :

L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermostatée est mis à incuber en présence d'air.

Prise d'essai dépend de la charge de l'échantillon, celle-ci dépend de l'origine de l'échantillon industrielle ou urbain, de la couleur, de l'odeur et de la charge en matières en suspension.

Voici le volume de l'échantillon d'après la DBO présumée

| la charge           | DBO présumée (mg/l) | Prise d'essai | Facteur |
|---------------------|---------------------|---------------|---------|
| très faible         | 0 - 40              | 432           | 1       |
| faible              | 0 - 80              | 365           | 2       |
| moyenne             | 0 - 200             | 250           | 5       |
| plus que la moyenne | 0 - 400             | 164           | 10      |
| un peu chargée      | 0 - 800             | 97            | 20      |
| chargé              | 0 - 2000            | 43.5          | 50      |
| très chargé         | 0 - 4000            | 22.7          | 100     |

| la charge           | DBO présumée | Prise d'essai | Facteur |
|---------------------|--------------|---------------|---------|
| très faible         | 0 - 35       | 428           | 0.1     |
| faible              | 0 - 70       | 360           | 0.2     |
| moyenne             | 0 - 175      | 244           | 0.5     |
| plus que la moyenne | 0 - 350      | 157           | 1.0     |
| chargée             | 0 - 700      | 94            | 2.0     |
| très chargée        | 0 - 1400     | 56            | 4.0     |

# Chapitre III

## Résultats et discussions

## 4.1. Paramètres physicochimiques

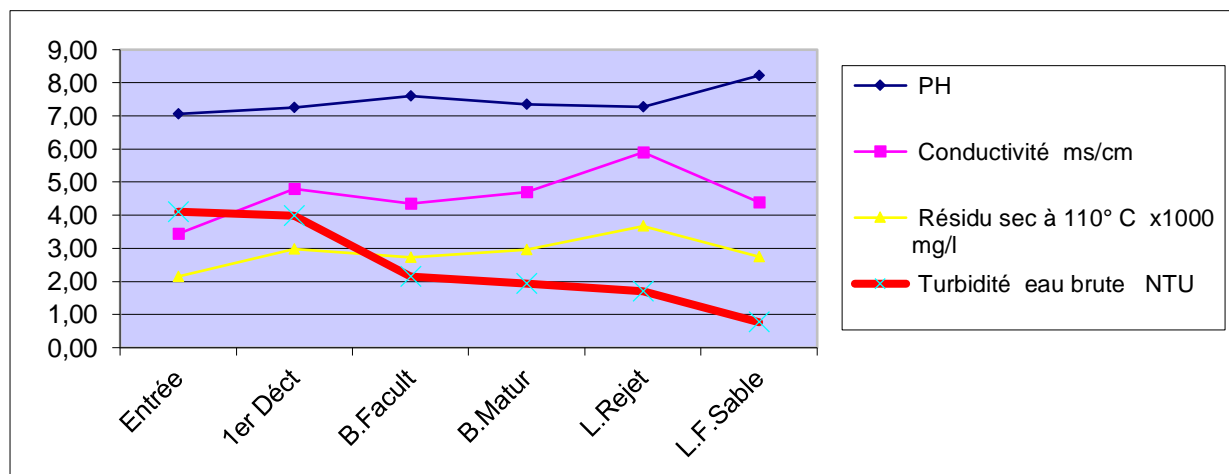
### 4.1.1. pH :

La mesure du pH des eaux usées donne une indication sur l'alcalinité ou l'acidité de ces eaux. Il est important pour la croissance des micro-organismes qui ont généralement un pH optimal variant de 6,5 à 7,5. Des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent directement la viabilité et la croissance des micro-organismes (MARA, 1980 ; WHO, 1987). Le pH est donc l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau. Il doit être étroitement surveillé au cours de toutes opérations de traitement (RODIER, 1996).

Les valeurs de pH enregistrées des eaux de la station sont entre 7,06 et 8,22 et qui ne dépassent pas les normes algériennes. La variation de pH entre les bassins indique la distinction des activités bactériennes. Une augmentation de valeurs de pH a été enregistrée entre l'entrée et la sortie de la station. Cette augmentation est un indicateur de plusieurs activités biochimiques, dont la photosynthèse et la biodégradation de la matière organique (EDELIN, 1980 ; BAMBARA, 1985).

**Tableau 4: Variation des paramètres physicochimiques, pH, Conductivité, Résidu sec et Turbidité.**

|                                                 | Entrée | 1er Déct | B.Facult | B.Matur | L.Rejet | L.F.Sable |
|-------------------------------------------------|--------|----------|----------|---------|---------|-----------|
| <b>PH</b>                                       | 7.06   | 7.25     | 7.6      | 7.35    | 7.27    | 8.22      |
| <b>Conductivité ms/cm</b>                       | 3.44   | 4.79     | 4.35     | 4.7     | 5.90    | 4.392     |
| <b>Résidu sec à 110°C x 10<sup>3</sup> mg/l</b> | 2.15   | 2.98     | 2.72     | 2.95    | 3.67    | 2.75      |
| <b>Turbidité eau brute NTU</b>                  | 4.11   | 3.98     | 2.145    | 1.9365  | 1.697   | 0.768     |



**Figure n° 03 :** graphe de variation des paramètres physicochimiques, pH, Conductivité, Résidu sec et Turbidité.

Durant le séjour des eaux dans la procession des bassins, la communauté bactérienne dégradante de la matière organique et des phytoplanctons (ex :micro-algues) utilisant la photosynthèse se développent progressivement et augmente la consommation de CO<sub>2</sub> dissous dans l'eau aboutissant à une alcalinisation, selon l'équation (1) (BOUARAB, 2000 ; ELHACHEMI et al., 2012) :



#### 4.1.2. Conductivité et teneur en résidu sec:

La conductivité électrique d'une eau est un indicateur direct de sa salinité. C'est un facteur vital à suivre lorsqu'on est intéressé par une réutilisation des eaux usées en agriculture (SHILTON et al. 2005). la conductivité électrique des eaux usées, est essentiellement le résultat de la présence du chlorure de sodium et de bicarbonate de calcium comme rapporté par TORRENS et al., (2010 ; 2012).

Les valeurs de la conductivité enregistrées (mois d'avril 2017) montrent une augmentation progressive durant le passage des eaux de 3,44 à l'entrée vers 5,90 ms/cm à la lagune de rejet.

Le traitement des eaux usées par lagunage naturel ne permet pas de diminuer la salinité de l'eau. La conductivité électrique ne peut donc pas observer de diminution notable lors du traitement. Une haute évaporation peut cependant aboutir à son augmentation comme l'explique SHILTON et al. (2005), ce qui confirme nos résultats dont la valeur maximale est au niveau de la lagune de rejet en surface libre où l'eau en surface est exposée à une évaporation très importante.

BAHLAOUI (2000) a noté également de fortes conductivités électriques pendant la période chaude qui va de Juin à Octobre et des valeurs plus faibles pendant la période qui va de Novembre à Mai, et qui est caractérisée par des températures plus basses. Il a noté également un gradient de conductivité croissant depuis l'amont vers l'aval.

En outre, il est possible que l'augmentation de la conductivité soit due à l'échange entre les eaux de la station avec celles de la nappe remontée (l'excède l'irrigation), tant que ce phénomène est très fréquente dans le site.

On a également constaté que l'évolution des valeurs enregistrées de résidu sec (de l'eau filtrée) soit parfaitement liée celles de la conductivité électrique, ce que exprime la charge minérale dans eaux étudiées.

### 4.1.3. Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence de matières en suspension finement divisées. L'appréciation de l'abondance de ces matières mesure le degré de turbidité. Dans une station de traitement des eaux usées, celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement aura été efficace. Les mesures de turbidité ont donc un grand intérêt dans le contrôle des eaux (Shuval et al., 1986)

Les résultats obtenus de la turbidité sont successivement réduits, de l'amont vers l'aval avec une valeur optimale satisfaisante au niveau de la lagune de filtre à sable. On a noté un abattement des valeurs de turbidité de 4.107 à l'entrée à 1.697 NTU à la sortie de la station avec un rendement d'abattement de 58.68 % , cette réduction revient à la dégradation de la matière organique et la matière en suspension de l'eau, ainsi à l'autofloculation des micro-algues dispersés dans l'eau en présence des concentrations élevées des éléments ioniques tel  $\text{Ca}^+$  et  $\text{PO}_4^{3-}$  .

Le phénomène d'autofloculation est régi, en partie, par les concentrations en ions  $\text{Ca}_2^+$  et  $\text{PO}_4^{3-}$ . (SUKENIK & SHELEF, 1984 ; LAVOIE & DELANOÛE, 1987 ; MOUTIN, 1992 ; BADRI, 1998). Il est lié à la précipitation de phosphates de calcium, qui est chargé positivement et qui s'adsorbe à la surface négative des cellules algales, ce qui permet leur agglomération, puis leur floculation (SUKENIK & SHELEF, 1984). L'augmentation des valeurs pH (SUKENIK & SHELEF, 1984 ; MOUTIN, 1992) ainsi que l'intensité lumineuse (LAVOIE & DELANOÛE, 1987) sont également des facteurs qui contrôlent l'autofloculation. LAVOIE & DELANOÛE (1984) signalent qu'en plus des facteurs physico-chimiques, l'état physiologique des algues joue un rôle dans leur aptitude à floculer, qui apparait maximale de la fin de la phase exponentielle à la phase plateau.

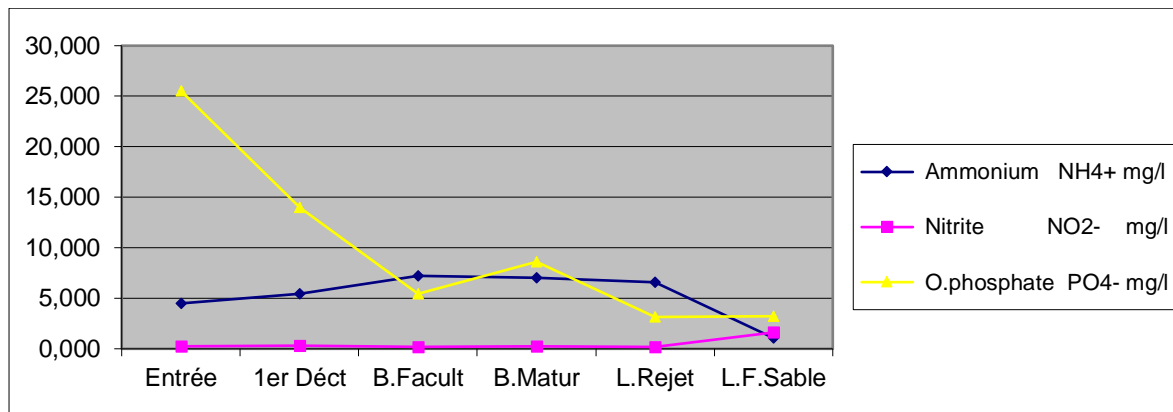
La valeur optimale au niveau de lagune des eaux filtrées par le sable montre que l'effet du filtre à sable sur l'abattement de la turbidité est visiblement et analytiquement très important avec un rendement atteint 81.30 % . Plusieurs études ont également indiqué l'ajout de bassins à graviers ou des filtres à sable comme solution pour l'amélioration des effluents de lagunage (HEALY et al., 2007 ; TORRENS et al., 2009).



## 4.2. Paramètres chimiques de pollution (Azote et Phosphate).

**Tableau 5: variation des indices de pollution chimique , Ammonium NH<sub>4</sub> ,Nitrite NO<sub>2</sub>- et O.Phosphate PO<sub>4</sub>-.**

|                                                    | Entrée | 1er Déc | B.Facult | B.Matur | L.Rejet | L.F.Sable |
|----------------------------------------------------|--------|---------|----------|---------|---------|-----------|
| <b>Ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup> mg/l</b>    | 4.520  | 5.46    | 7.22     | 7.014   | 6.572   | 1.0705    |
| <b>Nitrite NO<sub>2</sub><sup>-</sup> mg/l</b>     | 0.239  | 0.3363  | 0.1897   | 0.236   | 0.200   | 1.62      |
| <b>O.phosphate PO<sub>4</sub><sup>-</sup> mg/l</b> | 25.524 | 14.016  | 5.464    | 8.618   | 3.148   | 3.204     |



**Figure n° 04 :** graphes de variation des indices de pollution chimique, Ammonium NH<sub>4</sub> ,Nitrite NO<sub>2</sub>- et O.Phosphate PO<sub>4</sub>-.

### 4.2.1. Azote: Ammonium NH<sub>4</sub>, Nitrite NO<sub>2</sub>.

Les résultats obtenus révèlent une augmentation de la teneur en ammonium NH<sub>4</sub> durant le passage d'eau dans les deux premiers bassins de 4,52 à l'entrée mg/l à 5,46 et 7,22 mg/l respectivement, puis une réduction de l'ammonium a été constatée dans le troisième bassin et la lagune de rejet en surface libre à 7,014 et 6,572 mg/l respectivement. La réduction de la teneur en ammonium a chuté remarquablement au niveau de la lagune de filtre à sable qui arrive 1,070 mg/l avec un taux d'abattement de 83,70%.

Les valeurs de la teneur en nitrite NO<sub>2</sub> ont varié entre 0,336 et 0,1897mg/l durant la procession de la station, alors que dans la lagune de filtre à sable on a noté une augmentation importante vers la valeur 1,62 mg/l.

Dans le bassins de décantation et facultatif, l'augmentation de l'ammonium révèle une grande activité des bactéries hétérotrophes qui produisent NH<sub>4</sub> (ammonification) à partir de l'azote organique par la dégradation (assimilation du carbone) des protéines et d'urines, dans la suite de la procession de la station, on a noté une diminution de NH<sub>4</sub> ce qui indique que d'autre

réactions chimiques de nitrification se domine dans les bassins qui explique aussi l'augmentation de la teneur en nitrite NO<sub>2</sub>. Chellé et al. (2005) ont publié que la nitrification est une transformation chimique de l'azote organique par l'intermédiaire de bactéries et passe par l'ammonification de l'azote organique à NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, la nitrification de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> à NO<sub>2</sub><sup>-</sup> par Nitrosomonas et la nitrification de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> à NO<sub>3</sub><sup>-</sup> par Nitrobacter.

#### 4.2.2. Phosphore PO<sub>4</sub>.

D'après les résultats obtenus, on a noté une diminution remarquable des teneurs en phosphore durant le passage des eaux usées à travers les deux premiers bassins (décanteur et facultatif) de la valeur de 25,524 à 5,464 mg/l avec un taux d'élimination de 78,59%, puis dans le bassin de maturation, la valeur a augmenté à 8.618 puis a reculé dans les eaux des lagunes de rejet en surface libre et de filtre à sable à 3.148 et 3.204 respectivement.

La chute de la valeur de phosphore dans les deux premiers bassins liée à une forte déphosphoration par activité biochimiques des bactéries en conditions anaérobies,

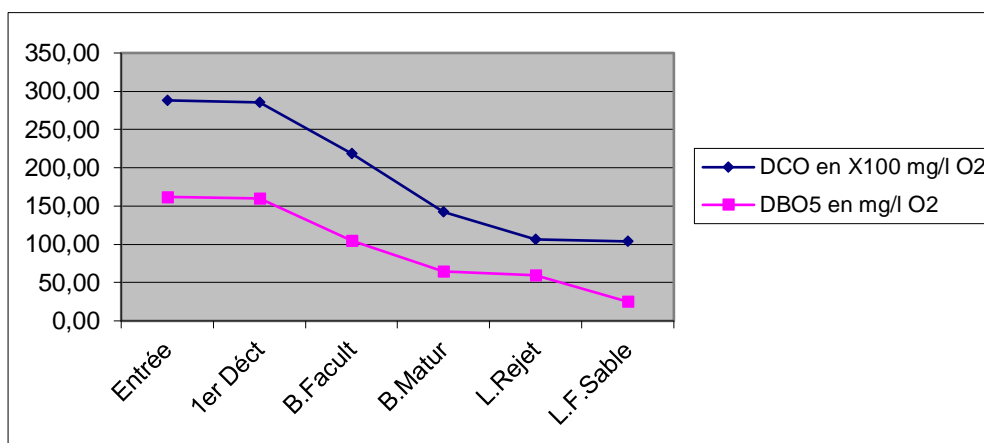
La déphosphoration biologique repose sur l'accumulation de phosphore à l'intérieur des bactéries, qui, sont évacuées avec les boues en excès. La biomasse est exposée à une alternance de conditions anaérobies et aérobie.

En condition anaérobies, les bactéries déphosphatantes synthétisent un produit de réserve, les poly- $\alpha$ -alcanoates (PHA), à partir de substrat facilement biodégradable des eaux usées et de l'énergie libérée par l'hydrolyse intracellulaire de poly phosphate. Il en résulte un relargage de phosphate dans le milieu externe (TETI). 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. L'élimination biologique du phosphore est liée à une réabsorption de phosphore plus importante que le relargage.

#### 4.3. Indices de dégradabilité DBO<sub>5</sub> et DCO.

**Tableau 6: Variation des indices de dégradabilité, DCO et DBO<sub>5</sub>**

|                                              | Entrée | 1er Déct | B.Facult | B.Matur | L.Rejet | L.F.Sable |
|----------------------------------------------|--------|----------|----------|---------|---------|-----------|
| <b>DCO en X100 mg/l O<sub>2</sub></b>        | 288.10 | 285.12   | 218.59   | 142.56  | 106.70  | 103.84    |
| <b>DBO<sub>5</sub> en mg/l O<sub>2</sub></b> | 162.00 | 160      | 105.00   | 65.00   | 60.00   | 25        |



**Figure n° 05** : graphe de variation des indices de dégradabilité, DCO et DBO5.

D'après les résultats, les valeurs de DCO et DBO5 ont diminué progressivement dans le même sens, on a noté une diminution des teneurs de 288,10 et 162 mg/l d'O<sub>2</sub> à l'entrée à 142,56 et 65 mg/l d'O<sub>2</sub> respectivement à la sortie de la station avec un taux d'abattement de 50,51 et 59,87% respectivement.

Les valeurs de DCO et DBO5 à la sortie de la station (Bassin de maturation) ont dépassé les normes algériennes de rejet, alors que celles notés au niveau des lagunes de rejet en surface libre et de lagune de filtre à sable sont dans les normes sauf la valeur de DBO5 de la lagune de rejet en surface libre.

Le principal facteur de l'abattement de DCO et DBO5 est la biodégradation de la biomasse résiduaire, par l'intermédiaire des bactéries en condition aérobie et anaérobie. Miquel (2003) a publié que tous les traitements des eaux usées résiduaires urbaines sont basés sur le principe de l'épuration biologique. Elle consiste à reproduire et à intensifier les processus existants dans la nature : lorsque, dans un milieu naturel, il y a de la matière organique, les bactéries se chargent de la dégrader et de la réduire en éléments simples tout en augmentant leur biomasse. Ce développement bactérien peut être naturel, ou intensifié, accéléré par des apports supplémentaires de microorganismes et/ou d'oxygène.

#### **4.4. Proposition d'un plan d'intervention :**

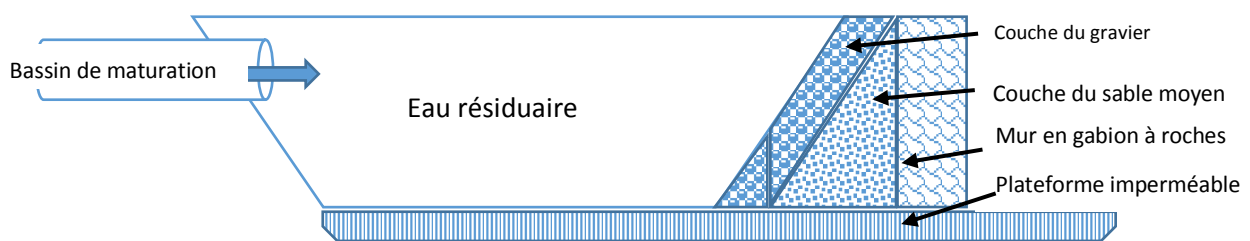
Les données recueillies des mesures prises des eaux et de la prospection de site nous ont entraînés à proposer quelques points relatifs au fonctionnement de la station étudiée :

**a- Révision technique :** Les valeurs de la conductivité élevées progressivement nous conduisent à penser qu'elle liée à l'échange entre les bassins et **les eaux excès d'irrigation (Sebkha) ou avec l'émission de la roche mère altérée**, et à revérifier l'imperméabilité des plateformes des bassins des lagunages ;

Dans le cas où la plateforme des bassins est perméable, donc il est possible de la reformuler par une couche imperméable (argile compacté) ou par l'ajoute d'une membrane imperméable.

Ainsi une analyse du sol est indispensable à savoir si le sol est l'origine de la salinité très élevée.

**b- Addition de bassin de filtre à sable :** les mesures prises des eaux de la lagune de filtre à sable présente une grande performance d'épuration (surtout turbidité,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^-$ , DBO5, DCO), ce que nous motive à la proposition de la mise en place d'un bassin en avale qui se base sur le principe d'épuration par filtration lente à sable.



**Figure 6: Schéma de bassin de filtre à sable proposé.**

**c- Renforcement de mécanismes d'épuration biologique :** La station de lagunage Tidmaine à besoin de l'amender par éléments biologiques pour le perfectionnement de l'épuration, la mise en place des :

- Macro-phytoplanctons : le roseau pour accélère la phytoaccumulation des polluants organiques et des métaux lourds ;
- Micro-phytoplanctons : une masse algale pour intensifier l'autofloculation ;
- Une boue active : pour intensifier la biodégradation de la biomasse, la dénitrification la déphosphoration...

#### **4.5. Etude de possibilité de la réutilisation des eaux traitées de la station Tidmaine.**

L'exploitation de l'eau dans la région est coincée seulement sur la nappe intercalaire qui est considéré comme une ressource non renouvelable. C'est pourquoi, il est très nécessaire d'élargir la circonstance de l'exploitation d'eau à d'autres ressources alternatives. Le bon

fonctionnement de la station peut contrôler bien la qualité des eaux traitées, c'est pour quoi la réutilisation de ces eaux aura plusieurs impacts avantageux :

#### 4.5.1. Impact socioéconomique :

**Agriculture :** L'activité agricole est le plus important domaine économique dans la région, l'irrigation par les eaux traitées est très utile en tant qu'elles sont chargées des éléments nutritifs (eutrophisation). En cas des eaux épurées utilisable pour l'irrigation hors normes il est possible de les maîtriser, soit par des procédés additifs, soit par l'ajustement en les mélangeant avec des eaux d'autres sources.

**Tableau 7: Mesures des éléments minéraux des eaux la station**

|             |                               |      | NORMES<br>Potabilité | Entrée | Sortie | Lagune de rejet en<br>surface | Lagune de filtre à<br>sable |
|-------------|-------------------------------|------|----------------------|--------|--------|-------------------------------|-----------------------------|
| Calcium     | Ca <sup>++</sup>              | mg/l | 200.00               | 136    | 216    | 504                           | 188                         |
| Magnes.     | Mg <sup>++</sup>              | mg/l | 150.00               | 75     | 148    | 115                           | 95                          |
| Sodium      | Na <sup>+</sup>               | mg/l | 200.00               | 465    | 500    | 600                           | 600                         |
| Potass.     | k <sup>+</sup>                | mg/l | 12.00                | 46     | 74     | 64                            | 63.75                       |
| Chlorure    | Cl <sup>-</sup>               | mg/l | 500.00               | 700    | 750    | 900                           | 900                         |
| Sulfate     | SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> | mg/l | 400.00               | 560    | 1000   | 1700                          | 1000                        |
| Bicarbon.   | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | mg/l | -                    | 305    | 345    | 122                           | 137.25                      |
| Ammonium    | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | mg/l |                      | 4.520  | 7.014  | 6.572                         | 1.0705                      |
| Nitrite     | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | mg/l |                      | 0.239  | 0.236  | 0.200                         | 1.62                        |
| O.phosphate | PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>  | mg/l |                      | 25.524 | 8.618  | 3.148                         | 3.204                       |

Notre cas étudié, les résultats obtenus montrent un plafonnement de quelques éléments tel les ions indicateurs de la salinité, dont il est indispensable de prétraiter l'eau avant l'utiliser dans l'irrigation.

Il est essentiel de noter que les boues résiduaires décantées de la station sont un potentiel d'engrais qu'on peut l'utiliser dans le compostage, après une analyse physicochimique et des prétraitements.

**I 'industrie :** les eaux épurées sont un auxiliaire opérationnel qu'on peut l'utiliser dans les exploitations industrielles non exagérant en terme de qualité tel que les mines, les carrières et le sondage pétrolière...

#### 4.5.2. Impact écologique et environnementale :

**a. Habitat et biotope :** L'installation de la station de lagunage engendre une vie spontanée par le déclanchement de tête de fil d'une chaîne alimentaire rigide et permanente. Les lagunes mise en places forment un habitat naturel des plusieurs espèces d'insectes majeurs qui se nourrissent

sur les petites arthropodes figure n°7 (diptères, aptères, coléoptère et hémiptères ex : les mouches, les moustiques...). Cette ambiance est très favorable pour des nombreuses espèces d'oiseaux migrateurs qui passent par la région pendant leur voyage hivernal. La conservation des forêts d'Adrar annonce chaque année dans le rapport annuel d'activité, un bilan de recensement très riches des oiseaux d'eau et terrestres, migrateurs et nicheurs au niveau des points d'eaux réparties à travers le territoire de la wilaya y compris les stations des lagunages, une listes de trentaines d'espèces recensées tel que Tadorne casarca, Sigogne blanche, échasse blanche, héron cendré, spatule blanche, canards, pole d'eau, foulque macron ...

Le développement du couvert végétal des herbes et arbustes autour des lagunes va empêcher plusieurs espèces pas seulement à faire l'escale mais à se nicher et se reproduire dans le site, les cadres des forets ont comptés plusieurs cas des nicheurs dans les stations à travers la wilaya (Bilan d'activité de secteur forêts, 2016).

Les sites des lagunages habités par les oiseux ont connu une présence important de quelques carnivore comme les chats sauvages et les chacals et les rapaces comme l'aigle et des reptil es.



**Figure 7: Quelques aspects de la vie sauvage au site de lagunage Tidmaine.**

**b. Plantation forestière :** l'utilisation des eaux traitées dans la création des massives forestières dont l'objet de protection écologique est une exploitation a multiples fins. Le pompage de l'eau de la station de lagunage Tidmaine peut assurer la plantation d'une bande forestière de 30 hectares, assistée temporellement par un réseau d'irrigation localisé pendant

quelques années, cette plantation peut jouer un rôle environnemental dans la protection des oasis de l'envahissement du sable de côté d'ouest. Il est préférable d'utiliser des espèces locales autochtones qui s'adaptent avec les conditions climatiques et édaphiques. L'espèce forestière élue pour jouer ce rôle dans notre cas c'est le *Tamarix articulata*, le dernier est un arbre très tolérante à la sécheresse et à la salinité du sol et peu développe profondément son système racinaire vers la nappe phréatique.



**Figure 8: Photos de plantation forestière à *Tamarix articulata* dans la wilaya d'Adrar.**

### **Conclusion Générale.**

La présente étude a décrit les problématiques de traitement des eaux de la station de lagunage de Tidmaine, et a présenté des correctifs des anomalies techniques ainsi que la faisabilité de l'exploitation des eaux traitées. Cette étude a fait le tour à travers quelques mesures des paramètres physicochimiques sur la qualité de l'eau traitée et les problèmes liées au fonctionnement de la station. Les résultats montrent que plusieurs paramètres physicochimiques ne sont pas dans les normes en vigueur de rejet, comme l'augmentation extensive de la salinité des eaux exprimée par la conductivité et de proposer une révision technique et une intervention qui assure l'isolation des bassins de toutes échange. Un rendement d'abattement non satisfaisant de DBO5, DCO et de turbidité a été enregistré à la sortie de station, qui reflète la mauvaise dégradation de la biomasse et de la matière en suspension, à cet effet on a proposé d'amender la station par le renforcement de mécanismes d'épuration biologique comme les algues, les roseaux et la boue active. Toutefois, on a constaté un taux d'abattement perfectionné de ces paramètres au niveau de la lagune de filtre à sable, ce niveau de perfectionnement obtenue forme une nécessité d'amender le système d'épuration de la station par cette technique, dans ce contexte on a présenté une illustration préalable.

A propos de la réutilisation des eaux traitées de la station de Tidmaine, on a exposé quelques possibilités offertes dans les domaines de l'agriculture, l'industrie et l'écologie. Après des traitements spéciaux dépendants à l'activité, la réutilisation des eaux dans l'agriculture offre un réservoir supplémentaire avec l'avantage de fertilisation, les eaux traitées et les boues résiduelles sont une alternative d'engrais. Ainsi que le rôle écologique qui peut la station jouer, toute une vie spontanée avec une grande biodiversité peut lancer à partir de eaux de la station.

En termes de perspective, nous voyons des horizons larges à propos des techniques d'épuration, il est indispensable d'étudier profondément l'application du filtre à sable et l'effet de la composition et les dimensions de filtre à sable et à autres matériaux sur le rendement d'abattement. Ainsi que les techniques biologiques surtout le choix des espèces des phytoplanctons utilisées dans la phytoremédiation.



## Référence bibliographique

- Alain Botta, Laurence Bellon, (2001) Pollution de l'eau et santé humaine. Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale. Université Euro Méditerranée TEHYS.
- Allouche F, Lamri.D, .et Zahf, F, (1999). « Surveillance de la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux de contamination niveau des trois communes : Ali boussid, Saby, Ben Badis, wilaya de Sidi Bel Abbes », mémoire de fin d'étude d'ingénieur d'état en biologie, Université de sidi bel Abbes.
- ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques., (1996). Étude de faisabilité du lagunage sur les hauts plateaux. 13p.
- Aoulmi Sofiane, (2007), Conception de la station d'épuration dans la ville d'Eddine (W. Ain Defla), thèse de l'école nationale supérieure de l'hydraulique.
- Asano T, (1998), Irrigation with Reclaimed municipal waste water: California Expériences. Options Méditerranéennes. Série A. Séminaire Méditerranéen 1. Reuse of Low, Quality Water for Irrigation in Mediterranean Countries.
- Baumont S, Camard J P, Lefranc A, Franconi A, (2004), Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, pp 220.Référence bibliographique
- Beaudry J.P., (1984). Traitement des eaux. Edition le Griffon d'Aigle Inc, 231p.Bonnin J, (1977), « Hydraulique urbain », 5ème édition Eyrole Paris, 228p.
- Blumenthal UJ, et al. 2000: Lignes directrices pour la qualité microbiologique des eaux usées traitées utilisées dans l'agriculture : recommandations de révision des lignes directrices de l'OMS. Bulletin de l'Organisation Mondiale de la Santé.
- Bouziani. M. (2000) la pénurie aux maladies; édition Ibn-khaldoun, P 260.
- Brigitte Donnier, La pollution chimique en méditerrané, Laboratoire C. E. R. B. O. M., Nice, France.
- Céline Pernin, (2003). Épandage de boues d'épuration en milieu sylvo-pastoral. Étude des effets in situ et en mésocosmes sur la mésofaune du sol et la décomposition d'une litière de chêne liège (*Quercus suber* L.) Ecole doctorale: Sciences de l'environnement, MARSEILLE (AIX-MARSEILLE III).Chellé F., Dellale M., Dewachter M., Mapakou F., Vermey L,(2005)., L'épuration des eaux : pourquoi et comment épurer Office international de l'eau, 15p.
- Chaïb A., (2004). Bioépuration par lagunage naturel. Bulletin du Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER), N°5 Juin 2004, pp21.
- Cherki F, Et Hesas H, « étude de l'abattement de la charge polluante azotée en station d'épuration à boues activées », mémoire pour l'obtention de diplôme de DEUA. Option traitement et épuration de l'eau, département hydraulique université Tlemcen.
- Cshapf, (1995). Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines, 22p.
- CSHPF, (1995), « Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines », conseil supérieur d'hygiène publique de France section des eaux ; 22p.[http://www.sante.gouv.fr/dossiers/cshpf/re\\_1095\\_desinfection.htm](http://www.sante.gouv.fr/dossiers/cshpf/re_1095_desinfection.htm) (consulté le 6-02-2015).
- Degrémont Mémento, (1972), « technique de l'eau ». Paris : Dégriment.

- Degrémont, (1978). Mémento technique de l'eau : 8<sup>ème</sup> édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 1200p.
- Degrémont, (1989). Mémento technique de l'eau : vol. 1, 9<sup>ème</sup> édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 592p.
- Desjardins R, (1997). Le traitement des eaux. 2<sup>ème</sup> édition. Ed. Ecole polytechnique.
- Desjardins Raymands, (1997), « Traitement des eaux »,deuxième édition, Montréal.Référence bibliographique
- Duguet J-P ; Bernazeau F ; Cleret D ; Gaid A ; Laplanche A ; Moles J, Monteil A ; Riou G ; Simon P, (2006), Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine, 1<sup>ère</sup> édition. ASTEE (Association Scientifique et Technique pour L'environnement),.
- Edline F, (1996). L'épuration physico-chimique des eaux.3<sup>ème</sup> édition. Ed. CEBEDOC,
- Edline F,(1979). L'épuration biologique des eaux résiduaires. Ed. CEBEDOC, Paris, 306p.
- Feray C, (2000), « Nitrification en sédiment d'eau douce : incidence de rejets de station d'épuration sur la dynamique de communautés nitrifiantes », Thèse de doctorat sciences naturelles, Écologie microbienne. Université Claude Bernard-Lyon, Lyon, France, 204 p.
- Gaid A, (1984), « Épuration biologique des eaux usées urbaines tome I », édition OPU, Alger.
- Gérard MIQUEL, 2003 : Rapport de l'OPECST n° 2152 (2002-2003) 'Office parlementaire d'évaluation des choix scient. tech, déposé le 18 mars 2004.
- Ghazi M, « Cours de l'épuration des eaux usées », département hydraulique option traitement et épuration de l'eau, université Tlemcen. (Consulté le 27 Février 2015).
- Koller E., 2004. Traitement des pollutions industrielles : eau, air, déchets, sols, boues. Edition DUNOD, 424p
- Ladjel F, (2006), Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02. Centre de formation au métier de l'assainissement. CFMA-Boumerdes. 80p.
- Legube B, (1996) « le traitement des eaux superficielle pour la production d'eau potable », agence de l'eau loir -Bretagne
- M. François BRISSAUD 1998 : Annexe 85 - RÉGLEMENTATION DE LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES ÉPURÉES.
- Madjouri H, Amouria H. (2007). Contribution au traitement des eaux usées en vue de leur réutilisation en irrigation Étude site- S.T.E.P de Touggourt. Mém. D.E.A. Traitement des eaux et des fluide. Univ. de Ouargla.85p.
- Mechat. F, (2006), Etude des paramètres physico-chimique avant et après traitements des rejets liquides de la raffinerie de SKIKA. Mémoire de magister.
- Metahri Mohammed Saïd, (2012), Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzo.
- Mizi A, (2006), Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. ANNABA.
- Office FAO. (2003)., L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage paper, 65p.
- Paris , P138.

- Pearson H., (2005). Microbiology of waste stabilisation ponds. In: A. SHILTON (Ed.) : pp.14-48. Pond Treatment Technology. London : IWA Publishing.
- Pierre J, Lienard A, Heduit A, P Duchene, (1990), « Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités », Document technique.
- POTLON J L, Et ZYSMAN K, (1998), le guide des analyses de l'eau potable ,ED,SEPT, France ,P 79-213.
- Raissi O, (2005), « Réutilisation des eaux épurées et des boues résiduares des stations d'épuration ».
- Regsek F, (2002), analyse des eaux, aspect réglementaire et techniques, Edition scrérén CRDPA quitaine, Bordeaux.
- Rejesk, F, (2002), « Analyse des eaux ; aspects réglementaires et techniques » ; centre régional de documentaires techniques pédagogique d'aquitaine ;
- Rejesk, F, (2005), « Analyse des eaux ; aspects réglementaires et techniques » ; centre régional de documentaires techniques pédagogique d'aquitaine ;
- Richarde C, (1996), les eaux; les bactéries; les hommes et les animaux; Edition Elsevier;
- Rodart et al, (1989). « Modélisation statistique d'une usine de traitement de l'eau potable ». Rencontres Internationales Eau et Technologies Avancées. Montpellier.
- Rodert Thomazeau, (1981), Station d'épuration, Eaux potables-Eaux usées, Edition technique et Documentation, Paris.
- Rodier J,( 2005) L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduares, eaux de mer, 8<sup>ème</sup> Edition DUNOD technique, Paris, pp 1008-1043.
- Rodier J et al. (1996) « L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduares, eau de mer ». 8<sup>ème</sup> édition. DUNOD. PARIS.
- Salem A, (1990), Rapport national de l'Algérie , stratégie de la gestion des eaux dans le bassin méditerranéen, bureau d'étude d'ingénierie et de services BEIS Alger, P11-147.
- SALGOT M. & HUERTAS E., (2006); Integrated Concepts for Reuse of Upgraded Wastewater, Guideline for quality standards for water reuse in Europe, AQUAREC, EVK1-CT-2002-00130, Work package 2, Deliverable D15, 128p.
- Sevrin-reyssac J., De la noûe J., Proulx D., 1995. Le recyclage du lisier de porc par lagunage. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 118p.
- Suschka J, Ferreira E. (1986), Activated sludge respirometric measurements, Water research, 1986, pp.137-144.
- Taradat M H, (1992),Chimie des eaux. Première, le griffon d'argile inc, canada. 537p.
- Tekfi K, (2006), « étude des performances épuratoires d'une station d'épuration des boues activées », mémoire pour l'obtention de diplôme de DEUA. Option traitement et épuration de l'eau, département hydraulique, université Tlemcen.
- Thomas O, (1955), Météorologie des eaux résiduares, Tec et Doc, Ed Lavoisier, Cedeboc, 135-192p.
- Traité de l'environnement, Technique de l'ingénieur, Volume G1210.
- Vaillant J R, (1974) Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduares: eaux usées urbaines et eaux résiduares industrielles, Edition, Eyrolles, Paris,.
- Valiron F., (1983). La réutilisation des eaux usées. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 207p.

- Yahlatene S, Tahirim El Tladj, (2011), « Réflexion sur la caractérisation physico-chimique, des effluents Liquides rejetés dans la grande sebkha d'Oran », mémoire d'ingénieur, université des sciences et de la technologie d'Oran.
- Zeghoud Mohamed Seifeddine, (2014) ; Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra.