

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



**Université Blida 1**

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**

**Département des Biotechnologies**

Laboratoire de Protection et Valorisation des Ressources Agrobiologiques  
(LPVRAB)

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master

**Option : Biotechnologie microbienne**

## **Thème**

**Etude comparative entre deux dispositifs de  
traitements des eaux usées de la station  
d'épuration de Baraki (STEP)-Alger-**

Présenté par :

**Belkacem Nour el Houda**

Devant le jury composé de :

BENOUSSAID N.

MAA, U. Blida 1

**Président**

AMMAD F.

MCA, U. Blida 1

**Promotrice**

OUAREGLI Y.

SEAAL Baraki

**Co promotrice**

YALA A.

Doctorante, U. Blida1

**Examinatrice**

*Année Universitaire : 2017-2018*

# Dédicace

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut, tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance aussi, c'est tout simplement que je dédie ce mémoire à...*

*A mes très chers parents, tout mon respect et affection en témoignage de leur soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour leurs conseils et orientations dans ma vie.*

## ***Ma douce maman***

*Djellata Hanifa pour les sacrifices que tu as consenti pour mon instruction et mon bien être. Je te remercie pour tout le soutien et l'amour que te m'a porté depuis mon enfance et j'espère que ta bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de tes vœux tant formulés, le fruit de tes innombrables sacrifices, bien que je ne t'en acquitterais jamais assez.*

## ***Mes très chères sœurs***

*Hanane et Houria qui ont toujours été à mes côtés pour me soutenir, pour leur amour et pour tous les sacrifices qu'elles ont faits et pour toute la patience et la compréhension dont ils ont fait preuve à mon égard*

## ***Mon cher frère***

*Walid pour tous tes conseils et tes encouragements.*

## ***Mes adorables neveux Hidayette et Raçim***

## ***Mes amis***

*Tayeb, mon conseiller, qui m'a assisté dans les moments difficiles et m'a pris doucement par la main pour traverser ensemble des épreuves pénibles. Je te suis très reconnaissante, et je ne te remercierais jamais assez pour ton amabilité, ta générosité, ton aide précieuse.*

*Djamila, L'épaule solide, l'œil attentif, compréhensif et l'une des personnes les plus digne de mon estime et mon respect, que dieu te préserve et te procure santé et longue vie.*

## ***Madame Ammad F.***

*Qui m'a donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'elle trouvera dans ce travail toute ma reconnaissance et l'expression de ma gratitude pour ses judicieux conseils qui m'ont permis de bien mener ce projet.*

# Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à remercier en premier lieu le bon Dieu de m'avoir guidée et donnée la patience, la santé et surtout beaucoup de courage et de volonté pour accomplir mon stage et achever ce modeste travail pour enfin pouvoir le mettre entre vos mains.

Un travail de recherche, bien qu'il s'effectue souvent avec un peu de solitude, nécessite le concours d'un certain nombre de personnes. Ce mémoire est aujourd'hui l'occasion de remercier toutes les personnes qui ont collaboré à ce travail qui m'ont apportée leur aide et leurs précieux conseils.

J'exprime mes profondes gratitude et mes sincères remerciements pour mon encadreur Madame AMMAD F. maître de conférences classe A à USDB, pour la confiance qu'elle a su me témoigner, son soutien et ses encouragements. Son sens d'appréciation scientifique, sa rigueur pour le travail bien fait et ses suggestions pertinentes. Je vous remercie également pour votre disponibilité, votre patience et votre qualité humaine.

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à ma Co-promotrice Mme OUAREGLI Y. pour son aide très précieuse et le temps qu'elle m'a consacré tout au long de mon expérience.

Mes remerciements vont également à tout le personnel du laboratoire de la station d'épuration- Baraki (SEAAL), qui m'a mis sur le bon chemin et fait leur possible pour m'aider pendant mon stage.

Je tiens à remercier Monsieur BOUTOUMI H. Professeur à USDB pour m'avoir permis de travailler au sein de son laboratoire, et pour m'avoir conseillé et orienter au cours de la réalisation de ce travail.

Un spécial remerciement va à Monsieur TEFAHI D. pour sa qualité humaine et son énorme patience et gentillesse, qu'il me soit permis de lui témoigner mon profond respect pour ses enseignements, sa sagesse et surtout son écoute et sa compréhension

Un grand merci au chef de service du laboratoire de l'Algérienne des eaux-Chiffa, ainsi que tout le personnel du laboratoire.

Mes remerciements les plus vifs à Monsieur CHRIF L. qui m'a facilité la tâche sur le terrain, pour son aide précieuse et son soutien sans égal.

J'adresse mes remerciements à Madame BENNOUSSAID N. maitre assistante classe A à USDB, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury. qu'il me soit permis de lui témoigner mon profond respect pour ses enseignements, sa sagesse et sa compréhension.

J'exprime ma profonde gratitude à Madame YALA A. doctorante à USDB, d'avoir accepté d'examiner mon travail et d'apporter ses critiques tant constructives. Qu'elle trouve ici l'expression de mon profond respect.

J'adresse mes plus chaleureux remerciements à Madame Fadil.D. Ingénieur principale au niveau du laboratoire de mycologie à USDB, pour ses conseils, sa compétence, sa patience, son enthousiasme et son aide qui a été un vrai exemple de gentillesse et de tendresse.

En fin je tiens à remercier tous mes professeurs : BENCHABANE M., KRIMI Z., BELKAHLA H., AMMAD F., BOUTOUMI H., BENCHABANE D., BOUCHENAK F., AISSAT A., BENNOUSSAID N., AYADI R., SABRI K., RAMDANE S., à USDB, qu'ils ne nous ont jamais privés d'informations, pour tous leurs efforts et pour tous les meilleurs moments que j'ai passé avec vous.

Vraiment je vous remercie énormément, et que Dieu vous protège, bénisse, et vous donne la santé et le bien-être.

Enfin, il me serait difficile d'omettre de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail. Qu'ils trouvent dans ces paroles l'expression de mes sincères remerciements.

# Tables des matières

	<b>Page</b>
Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX USEES</b>	
I .1. Définition .....	<b>3</b>
I .2. Origines des eaux usées.....	<b>3</b>
I .3. Pollution des eaux .....	<b>4</b>
I .4. Caractéristiques des eaux usées.....	<b>5</b>
I .4.1. Caractéristiques organoleptiques.....	<b>5</b>
I .4.1.1. Turbidité .....	<b>5</b>
I .4.1.2. Couleur .....	<b>5</b>
I .4.1.3. Odeur.....	<b>5</b>
I .4.2. Caractéristiques physico-chimiques.....	<b>5</b>
I .4.2.1. Potentiel d'hydrogène (pH).....	<b>5</b>
I .4.2.2. Température (T).....	<b>5</b>
I .4.2.3. Conductivité électrique (CE).....	<b>6</b>
I .4.2.4. Matières en suspension (MES).....	<b>6</b>
I .4.2.5. Demande chimique en oxygène (DCO).....	<b>6</b>
I .4.2.6. Demande biologique en oxygène (DBO).....	<b>6</b>
I .4.2.7. Azote (N <sub>2</sub> ).....	<b>7</b>

I .4.2.8. Phosphore total (PT).....	8
I .4.3. Caractéristiques microbiologiques.....	9
I .4.3.1. Microorganismes .....	9
I .4.3.1.1. Bactéries.....	9
I .4.3.1.2. Les virus.....	11
I .4.3.1.3. Organismes libres.....	11
I .4.4. Métaux lourds.....	13
 <b>CHAPITRE II : TRAITEMENT DES EAUX USEES</b>	
II.1. Introduction.....	14
II.2. Objectifs de l'épuration.....	14
II.3. Différentes étapes d'épuration des eaux usées.....	15
II.3.1. Prétraitement.....	15
II.3.1.1. Dégrillage.....	15
II.3.1.2. Dessablage et dégraissage.....	16
II.3.2. Traitement primaire.....	16
II.3.2.1. Décantation primaire.....	16
II.3.3. Traitement secondaire ou biologique.....	17
II.3.3.1. Traitement biologique par boues.....	17
II.3.3.1.1. Aération du traitement biologique.....	18
II.3.3.1.2. Traitement du carbone .....	18
II.3.3.2.3. Dégazage .....	19
II.3.3.2.4. Décantation et flottation .....	19
II.3.3.2.5. Recirculation et extraction.....	19
II.3.3.2.6. Age de boues .....	20
II.3.3.2. Clarificateur .....	21
II.3.3.3.. La digestion anaérobie.....	21
II.3.4. Traitement tertiaire ou supplémentaire.....	22
II.3.4.1. Ultraviolet.....	22

II.4. Réutilisation des eaux usées.....	22
<b>CHAPITRE III: PRESENTATION DU <i>MORINGA OLEIFERA</i></b>	
III.1. Introduction .....	23
III.2. Généralités.....	23
III.3. Systématique et classification de <i>Moringa oleifera</i> .....	24
III.4. Culture.....	24
III.5. Description botanique .....	24
III.6. Utilisations du <i>Moringa oleifera</i> .....	28
III.6.1 Traitements des eaux .....	28

## **PARTIE EXPERIMENTALE**

### **CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES**

I.1. Les objectifs .....	30
I.2. Présentation de la STEP de Baraki.....	30
I.3. Matériel .....	31
I.3.1. Matériel non biologique.....	31
I.3.2. Matériel biologique.....	31
I.4. Échantillonnage et prélèvement .....	31
I.5. Méthodes.....	31
I.6. Les paramètres physico-chimiques et les méthodes d'analyses utilisées.....	33
I.6.1. Les paramètres physiques.....	33
I.6.2. Les paramètres chimiques .....	33
I.7. Analyses microbiologiques.....	34
I.7.1. Préparation des dilutions décimales.....	35
I.7.2. Colimétrie et Streptométrie par filtration sur membrane.....	35
I.7.2.1.La recherche des coliformes thermotolérants cas d' <i>Escherichia coli</i> .....	36
I.7.2.2    La    recherche    des    streptocoques	38

fécaux.....	
I.7.3.La recherche des <i>Salmonella</i> .....	39
I.7.4.La recherche des <i>Vibrions</i> .....	43
I.8. Dosage des Métaux lourds.....	44
I.8.1. Coloration des broyats de graines de <i>M. oleifera</i>	44
I.8.2. Dosage du plomb par spectrophotométrie	44
I.9. Normes de rejet	44
I.10. Normes de biodégradabilité	45
I.11. Analyse statistique	45
<b>CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION</b>	
II.1. Paramètres physico-chimique.....	46
II.1.1.Potentiel d'hydrogène (pH). .....	46
II.1.2. Température (T) .....	47
II.1.3. Conductivité électrique (CE) .....	48
II.1.4. Matières en suspension (MES) .....	48
II.1.5. Paramètres de la pollution organique.....	50
II.1.5.1. Demande chimique en oxygène (DCO).....	50
II.1.5.2. Demande biologique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ).....	51
II.1.5.3. Rapport de biodégradabilité de la (DCO/DBO <sub>5</sub> ).....	53
II.1.5.4. Azote totale (NT) .....	53
II.1.5.5.Azote ammoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	54
II.1.5.6. Phosphores Totale (PT) .....	56
II.1.5.7. Variabilité des paramétrés physiques et chimiques dans les différents échantillons .....	57
II.2. Paramètres microbiologiques.....	59
II.2.1. Coliformes totaux (CT) .....	59
II.2.2. Coliformes Fécaux (CF) .....	59
II.2.3. Streptocoques fécaux (SF) .....	60



II.2.4. Salmonelles et Vibriion cholériques.....	<b>60</b>
II.3. Rendements épuratoires .....	<b>61</b>
II.3.1. Rendements d'élimination des paramètres physico- chimiques.....	<b>62</b>
II.3.1.1. Rendements d'élimination des MES.....	<b>62</b>
II.3.1.2. Rendement d'élimination de la DCO et la DBO <sub>5</sub> .....	<b>62</b>
II.3.1.3. Rendement des paramètres microbiologiques.....	<b>63</b>
II.4. Dosage des métaux lourds .....	<b>63</b>
<b>DISCUSSION.....</b>	<b>65</b>
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>71</b>

# Résumé

L'objectif assigné à notre étude est axé sur l'efficacité et la comparaison des traitements des eaux usées de la station d'épuration de Baraki (STEP) par deux procédés : Boues activées et Graines de *Moringa oleifera*. Le contrôle de la STEP comportera le suivi des variations de l'ensemble des paramètres physicochimiques et microbiologique des eaux usées à l'état brut et traitées par les graines *Moringa oleifera* ainsi que juste les analyses physico-chimiques pour les eaux épurées. Notre étude montre un bon fonctionnement des installations de la STEP suite aux résultats enregistrés dans les eaux épurées et ces derniers sont satisfaisants dans l'eau traitée par les graines de *Moringa*. L'étude comparative des deux traitements a montré que les taux d'abattelements des Matières en suspension, Demande chimique en oxygène, Demande biochimique en oxygène, Azote total, Ammonium et Phosphore total dans l'eau épurée (traitées par boues activées) est très intéressant . Les résultats obtenus des deux traitements présentent des rendements épuratoires satisfaisants.

Cette étude a montré que les graines de *M. oleifera* ont éliminé une bonne partie des bactéries dénombrées dans les eaux usées (Coliformes Totaux (CT), coliforme fécaux thermotolérants (*Escherichia coli*) et Streptocoques fécaux (SF)), elles ont montré soit un effet bactéricide ou par adsorption sur les différents germes pathogènes détectés cela peut être expliquer par le profil des graines de *M. oleifera* .

**Mots clé:** Eau usée, station d'épuration de Baraki, boues activées, graines, *Moringa oleifera*.

# Abstract

## **Comparative study between two wastewater treatment devices of the Baraki wastewater treatment plant**

The objective assigned to our study is focused on the efficiency and comparison of waste water treatment at the Baraki wastewater treatment plant (STEP) by two processes: Activated sludge and *Moringa oleifera* seeds. The control of the STEP will include the monitoring of the variations of all the physicochemical and microbiological parameters of the raw wastewater treated with *Moringa oleifera* seeds as well as just the physicochemical analyzes for the treated water. Our study shows a good functioning of the installations of the STEP following the results recorded in the purified water and these are satisfactory in the water treated by the seeds of Moringa. The comparative study of the two treatments showed that the rates of abatement of suspended matter, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, total nitrogen, ammonium and total phosphorus in purified water (treated with activated sludge) are very low. interesting. The results obtained from the two treatments show satisfactory treatment efficiencies.

This study showed that the seeds of *M. oleifera* eliminated much of the bacteria counted in wastewater (total coliforms (CT), coliform thermotolerant faecal (*Escherichia coli*) and faecal streptococci (SF)), they showed either a bactericidal or adsorption effect on the various pathogens detected this can be explained by the profile of *M. oleifera* seeds.

**Key words:** Waste water, Baraki sewage treatment plant, activated sludge, seeds, *Moringa oleifera*,

# ملخص

## دراسة مقارنة بين جهازين لمعالجة مياه الصرف الصحي في محطة معالجة مياه الصرف الصحي في براقى .

يركز الهدف المخصّص لدراستنا على كفاءة ومقارنة معالجة مياه الصرف الصحي في محطة معالجة مياه الصرف الصحي في بَرَقِي (STEP) من خلال عمليتين: الحمأة المنشطة وبذور Oleifera المورينغا. سوف السيطرة على STEP تشمل رصد التغيرات في كل الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية المعلمات من مياه الصرف الصحي في الخام ومعالجتها بواسطة بذور المورينغا oleifera، وكذلك مجرد الفيزيائية تحليل للمياه المعالجة. توضح دراستنا أداء جيد لتركيبات الخطوة التالية للنتائج المسجلة في المياه النقية وهي مرضية في المياه المعالجة ببذور المورينغا. أظهرت دراسة مقارنة لكل من العلاجات التي التخفيضات من المواد الصلبة المعلقة معدلات الطلب على الاكسجين الكيماوى، الأوكسجين الحيوي الممتص والنيتروجين الكلي، أمونيوم والفوسفور الكلي في المياه المعالجة (المعالجة مع الحمأة المنشطة) هي جدا مثيرة للاهتمام. النتائج التي تم الحصول عليها من العلاجين تظهر كفاءة علاج مرضية.

أظهرت هذه الدراسة أن بذور *M. oleifera* قضت على الكثير من البكتيريا التي تم عدها في مياه الصرف الصحي (مجموع القولونيات (CT) ، وبكتيريا القولون الحرارية المعزولة (*Escherichia coli*) والعقديات البرازية (SF)) ، وأظهرت إما يمكن تفسير تأثير مبيد الجراثيم أو الامتزاز على مسببات الأمراض المختلفة التي تم اكتشافها من خلال بروفيل بذور *M. oleifera*.

**الكلمات المفتاحية:** مياه الصرف الصحي ، محطة معالجة مياه الصرف الصحي بَرَقِي ، الحمأة المنشطة ، البذور ، المورينغا أوليفيرا ،

# Listes des figures

<b>Figures</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
<b>1</b>	Fractionnement de la Demande Chimique en Oxygène	6
<b>2</b>	Fractionnement de l'azote	7
<b>3</b>	schéma simplifié d'un traitement par boues activées	20
<b>4</b>	Age des boues aérées (j) recommandé en fonction de la température (°C)	20
<b>5</b>	Les principales utilisations des différents organes de <i>Moringa oleifera</i>	28
<b>6</b>	Station d'épuration de Baraki	30
<b>7</b>	Colimétrie par filtration sur membrane	36
<b>8</b>	Colimétrie par filtration sur membrane, recherche de <i>E.coli</i>	38
<b>9</b>	Streptométrie par filtration sur membrane	39
<b>10</b>	Recherche des Salmonelles	41
<b>11</b>	Galerie Api 20E	42
<b>12</b>	Schéma récapitulatif sur la recherche de Vibriion cholérique	43
<b>13</b>	La courbe linéaire d'adsorption des graines de <i>Moringa</i> pour Pb avec(SAA)	46
<b>14</b>	Effets comparés de la variation du Potentiel d'hydrogène (pH) en fonction du de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)	46
<b>15</b>	Effets comparés de la variation de la Température en fonction de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)	47
<b>16</b>	Effets comparés de la variation de Température en fonction des dates de prélèvement	48
<b>17</b>	La variation de la MES en fonction de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)	49
<b>18</b>	Effets comparés de la variation de la MES en fonction de la nature des échantillons	50
<b>19</b>	La variation de la DCO en fonction de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)	50
<b>20</b>	Effets comparés de la variation de la DCO de la nature des échantillons	51
<b>21</b>	La variation de la DBO <sub>5</sub> en fonction de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)	51

<b>22</b>	Effets comparés de la variation de la DBO <sub>5</sub> (mg/l) de la nature des échantillons	52
<b>23</b>	Effets comparés de la variation de la DBO <sub>5</sub> (mg/l) en fonction des dates de prélèvements	52
<b>24</b>	La variation de l'azote total en fonction de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)	53
<b>25</b>	La variation de l'azote ammoniacal en fonction de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)	54
<b>26</b>	Effets comparés de la variation de la Azote ammoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) mg/l en fonction des dates de prélèvements	55
<b>27</b>	La variation du phosphore totale(PT) en fonction de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)	55
<b>28</b>	Effets comparés de la variation des phosphores totale (PT) en fonction des dates de prélèvements	56
<b>29</b>	Projection des paramètres (MES, DOB <sub>5</sub> , DCO) chimiques des eux usées des eaux traitées sur les axes F1 et F2 des A.C.P.	57
<b>30</b>	Evaluation de la densité des CT (10 <sup>-5</sup> UFC / 100 ml) dans les différentes eaux étudiée	58
<b>31</b>	Evaluation de la densité des Streptocoques fécaux (10 <sup>-5</sup> UFC / 100 ml) dans les différentes eaux étudiée	59
<b>32</b>	Rendement d'élimination des DBO <sub>5</sub> (%)	60

# Liste des tableaux

<b>Tableaux</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
I	Différent types de pollution anthropique des eaux	<b>4</b>
II	Mode de traitement en fonction du rapport (DCO/DBO <sub>5</sub> )	<b>7</b>
III	Différents caractéristiques physico-chimique	<b>8</b>
IV	Les microorganismes pathogènes dans les eaux usées	<b>12</b>
V	Types de dégrillages	<b>15</b>
VI	Caractéristique des milieux	<b>18</b>
VII	Les différentes formes végétatives de l'arbre <i>Moringa oleifera</i>	<b>25</b>
VIII	Composition chimique par 100g	<b>26</b>
XI	Composition en acides gras de l'huile de graines de <i>Moringa oleifera</i> exprimée en % des acides gras totaux	<b>27</b>
XII	Analyses physico-chimiques	<b>32</b>

# Liste des abréviations

**%** : pourcentage.

**(-)** : négatif.

**(+)** : positive.

**NH<sub>4</sub><sup>-</sup>**:Azote ammoniacal

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

**PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>** : phosphates

**NO<sub>3</sub>**: Nitrate.

**°C** : Degré Celsius

**ACP** : Analyse en composantes principales

**ADE** : Algérienne des eaux

**AFNOR** : Agence Française de Normalisation

**BM** : bleu de méthylène

**Cd** : Cadmium

**CE** : Conductivité Electrique.

**CF** : Coliforme fécaux

**CPG** : chromatographie en phase gazeuse

**CT** : Coliforme totaux

**Cu** : Cuivre

**DBO5** : Demande Biochimique en Oxygène.

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène.

***E. coli*** : *Escherichia Coli*.

**EB** : Eau brute.

**Ech** : Echantillon.

**ED**: Eau décantée

**E-H** : Equivalent-Habitant

**EPA** : Eau Peptonée Alcaline

***et al*** : Et collaborateurs

**ETF**: Eau traitée par graine fraîche

**ETM** : Eléments Traces Métalliques

**ETS** : Eau traitée par graine sèche

**Hg** : Mercure



**Ic** : indigo caramel

**INRF**: Institut National de la Recherche Forestière

**ISO**: International Organization for Standardization.

**JORA** : Journal Officiel de la République Algérienne.

**MES** : Matière En Suspension.

**mS/cm** : MilliSiémens par centimètre

**NA**: Norme Algérienne.

**NF**: Norme Française.

**Ni** : Nickel

**NT**: Azote Total.

**NTU** : Unité de Turbidité Néphélométrique.

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**Pb** : Plomb

**pH** : Potentiel Hydrogène.

**Pi**: Pied

**PT** : Phosphore total.

**S1** : semaine 1

**S2** : semaine 2

**S3** : semaine 3

**S4** : semaine 4

**S5** : semaine 5

**SAA** : spectrophotométrie d'absorption atomique

**SAA** : spectrophotométrie d'absorption atomique

**SEAAL** : Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger.

**SF** : Streptocoque fécaux

**STEP** : Station d'Épuration.

**T1** : 2h

**T2** : 4h

**Zn** : Zinc

# Glossaire

- **Abattement** : Abattement des concentrations lorsqu'on compare leurs valeurs avant et après une étape de traitement de type filtration.
- **Aérobic** : Un milieu contenant de l'oxygène dissous.
- **Anaérobic** : Un milieu ne contenant pas d'oxygène libre.
- **Anoxie** : Une situation dans laquelle l'oxygène libre dissous est absent mais présent sous forme liée (nitrate et/ou nitrite).
- **Biota aquatique** : Terme collectif décrivant les organismes vivant dans et en fonction de l'environnement aquatique.
- **Boue activée**: amas biologiques (floc) formé, au cours du traitement d'une eau résiduaire, par la croissance de bactéries et d'autres micro-organismes en présence d'oxygène dissous et par les diverses MES (végétaux, sables,...).
- **Bulking** : Phénomène apparaissant (foisonnement) dans les stations par boues activées, caractérisé par le fait que la boue occupe un volume excessif en décantation et ne sédimente pas facilement. Ce phénomène est lié à la présence de micro-organismes filamenteux.
- **Capacité de traitement** : Capacité réelle des ouvrages par rapport aux objectifs de traitement en m<sup>3</sup>/heure
- **Dénitrification** : En environnement anoxique, certaines bactéries hétérotrophes consomment les nitrates, à la place de l'oxygène, et le carbone pour se développer et produire de l'azote gazeux (N<sub>2</sub>).
- **Effluent** : Toute eau usée rejetée directement ou indirectement dans les eaux de surface ou dans un égout pluvial, ou eau de ruissellement provenant des terrains d'épandage des boues d'eau usée, d'autres déchets ou ayant été irrigués par aspersion, à l'exclusion d'eau de surface.
- **Equivalent Habitant - EqH** : Unité de mesure permettant d'évaluer la capacité d'une station d'épuration. Cette unité de mesure se base sur la quantité de pollution émise par personne et par jour. 1 EqH = 60 g de DBO5/jour soit 21,6 kg de DBO5/an. Cette valeur peut changer en fonction des zones concernées.
- **Étalonnage** : Ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquée par un appareil de mesure et les valeurs correspondantes de la grandeur réalisée par des étalons.

- **Eutrophisation** : Un processus par lequel des nutriments s'accumulent dans un milieu ou un habitat. L'eutrophisation des milieux aquatiques est un déséquilibre du milieu provoqué par l'augmentation de la concentration d'azote et de phosphore dans le milieu. Elle est caractérisée par une croissance excessive des plantes et des algues due à la forte disponibilité des nutriments
- **ISO International Standard Organisation** qui fédère, pour plus de cent pays, les instituts de normalisation et uniformise les normes.
- **L'adsorption** : Un phénomène de surface par lequel des molécules de gaz ou de liquides se fixent sur les surfaces solides des adsorbants. Les molécules ainsi adsorbées constituent l'adsorbat.
- **Les particules colloïdales** : Les particules colloïdales en solution sont des matière organique dispersée dans l'eau sous forme de molécules agglomérées naturellement chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution prenant l'apparence d'un gel ce qui les rend incapables de traverser une membrane semi-perméable.
- **Nitrification** : Croissance des bactéries autotrophes en phase aérobie, en environnement aérobie, les bactéries autotrophes Nitrosomonas et Nitrobacter transforment l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) en présence d'oxygène pour se développer et produire des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) puis des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).
- **Norme** : La norme est une spécification technique établie avec l'ensemble des parties concernées (entreprises, administrations, laboratoires, distributeurs,...), approuvée par un organisme reconnu (ex : AFNOR), et qui donne des lignes directrices aux professionnels ou les caractéristiques d'un produit ou d'un service.
- **Polyélectrolyte** : Un polymère ionique comportant un grand nombre de sites ioniques et ayant une continuité des régions d'interactions ioniques. Une fois dissous dans un solvant polaire comme l'eau, le polymère se dissocie, et apparaissent des charges sur son squelette et des contre-ions en solution. La charge est dépendante des groupements chimiques présents et parfois du pH de la solution.
- **polymère** : Une molécule de masse moléculaire élevée généralement organique ou semi-organique. Une macromolécule constituée d'un enchaînement d'un grand nombre d'unités de répétition, d'un ou de plusieurs monomères, unis les uns aux autres par des liaisons covalentes.
- **Respiration endogène** : Reaction métabolique exergonique par les organismes sans apport de substrat.

# INTRODUCTION

L'eau est devenue un enjeu stratégique mondial dont la gestion, doit impérativement s'intégrer dans une perspective politique de développement durable. Certains affirment en effet qu'elle sera, au troisième millénaire, un enjeu de guerres comme le pétrole l'a été et l'est encore aujourd'hui (**Garcia, 2006**).

L'eau doit être classée comme un patrimoine universel qui doit être protégée et défendue. Elle est une ressource vitale pour l'homme, pour sa survie, sa santé et son alimentation. Elle est également pour ses activités agricoles et économiques. La qualité de son environnement en dépend étroitement (**Boualla et al., 2011**).

Selon des études prospectives, les pressions sur les ressources devraient augmenter et un plus grand nombre de pays seront en difficulté durant les années à venir. Ainsi, en 2025, près de la moitié de la population des pays méditerranéens se trouvera en situation de tension ou de pénurie d'eau (**Trad Raïs et Xanthoulis, 1999**).

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

La pollution des eaux de surface et souterraines est possible par les rejets d'eaux usées tant domestiques qu'industrielles ainsi que par l'utilisation des engrais et des pesticides en agriculture. Le volume annuel d'eaux usées domestiques rejetées est estimé à 800 millions m<sup>3</sup>/an (**Metahri, 2012**).

L'Algérie, parmi d'autres pays à forte activités urbaines et industrielles a développé sa politique en matière de qualité des eaux. Le but de cette politique est de préserver, d'entretenir et de valoriser les ressources naturelles en eau (**Metahri, 2012**).

D'après un rapport publié par l'ONA (**Office Nationale d'Assainissement**) en 2009, l'Algérie compte environ 100 stations d'épuration réparties à travers tout le territoire national avec une capacité de l'ordre de 731 millions m<sup>3</sup>/an.). Selon **Meklati, (2009)**, la quantité d'eau épurée par ces stations est de 223 millions m<sup>3</sup>/an. Ce qui est considéré comme un faible rendement en matière de traitement des eaux usées.

L'efficacité d'une station d'épuration dépend, d'une part, de la dégradation des polluants et de leur adsorption par une population bactérienne adaptée et, d'autre part d'une bonne séparation de la biomasse épuratrice et de l'eau épurée. Les étapes de séparation sont considérées comme essentielles pour le bon fonctionnement d'une station d'épuration. Tout dysfonctionnement, au sein de chaque étape, risque de remettre en cause le cycle d'épuration en diminuant fortement le rendement des stations d'épuration (**Meklati, 2009**).

Le traitement des eaux usées par boues activées est composé de plusieurs phases, chacune traitant un type particulier de pollution (organique, chimique et minérale) de par ses excellentes performances, le traitement biologique par boues activées représente la phase clé de la chaîne globale de traitement. Cependant, son fonctionnement repose sur le développement de populations bactériennes et est également le plus difficile à maîtriser : les variations brutales des flux d'entrée et des quantités de pollution, conditions opératoires contraignantes dans l'évolution non prévisible du comportement bactérien. Cependant de nombreux progrès restent encore à faire (**Boualla et al., 2011**).

Les méthodes de traitements sont en constante évolution afin de répondre de manière spécifique au contexte dans lequel les stations de traitement s'insèrent. Cependant il existe des méthodes simples et peu coûteuses de traitement des eaux. C'est ce qui fait la force du *Moringa oleifera*, un arbre qui pousse en Asie et en Afrique dont les graines sont utilisées pour la première étape du traitement des eaux. Les graines de cet arbre sont connues pour le pouvoir floculant des protéines qu'elles contiennent. De production locale et peu coûteuses, ces graines permettent d'agréger les particules en suspension pour les éliminer ensuite par sédimentation ou filtration. Elles remplacent ainsi les sels d'aluminium dont l'usage pose des problèmes pour la santé (**Macqueron, 2010**).

Cette graine contient des principes actifs (polyélectrolytes cationiques) qui se libèrent dans l'eau et neutralisent les colloïdes présents, ensuite ils engendrent un phénomène de floculation, (**Ngassoum et al., 2014 ; Nbabigengesere et al., 1995**) et un abattement d'une bonne partie des bactéries pathogènes (**Price, 2007 ; Hassan Bichi, 2013**).

L'objectif de notre étude consiste à l'évaluation de la qualité des eaux usées épurées par le procédé des boues activées du point de vue microbiologique et physico-chimique au niveau de la station d'épuration de Baraki (STEP), et l'évaluation de l'effet des graines de *Moringa oleifera* sur la dépollution des eaux usées en fonction de l'état de la graine (fraîche ou sèche) et du temps de décantation à travers l'évaluation des paramètres physico-chimiques, microbiologiques et l'extraction du plomb (ETM).

**PARTIE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

# CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX USEES

## I .1. Définition

Les eaux usées sont toutes les eaux parvenant dans les canalisations dont les propriétés naturelles sont modifiées par l'usage domestique, industrielle, agricole etc. Elles englobent aussi les eaux de pluies qui s'écoulent dans ces canalisations. Les eaux usées non traitées contiennent de nombreux microorganismes pathogènes qui habitent dans le tractus intestinal humain. Ils contiennent également des nutriments qui peuvent stimuler la croissance des plantes aquatiques et peuvent contenir des composés toxiques ou des composés potentiellement mutagènes ou cancérigènes (**Boukerroucha et Sharkawi, 2011**).

## I .2. Origines des eaux usées

Selon **Baumont et al., (2004)**, les eaux polluées sont d'origines diverses ; les eaux usées industriels, les eaux usées domestiques, les effluents agricoles et les eaux de ruissellement.

- **Eaux usées industrielles**

Ce sont des eaux de procédé qui sont plus souvent contaminées puisqu'elles rentrent dans le processus de fabrication lui même ; les eaux de refroidissement, les eaux sanitaires et dans certains cas les eaux pluviales. La contamination de l'eau industrielle varie avec des types d'industries (les industries de confection de vêtements, les fabriques de pâtes et papiers, la fabrication d'aliments et autres), la taille de l'entreprise et le lieu du rejet (**Hébert et Légare, 2000**).

Elles sont un mélange hétérogène composé de matières à caractères minérales ou organiques, sous forme de composés insolubles et en proportions plus ou moins grande des composées en dissolution dans l'eau (**Boeglin, 2002**).

- **Eaux usées domestiques**

Elles sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. On distingue généralement deux types des eaux dans le réseau d'assainissement ; les eaux-vannes et les eaux gris (les eaux de toilettes et les eaux d'autres usages ; lave-linge, lave-vaisselles respectivement (**Baumont et al., 2004**). Les eaux vannes sont chargées des divers matériels organiques et de germes fécaux (**Eleskens, 2010**).

- **Eaux usées d'origine agricole**

Cette pollution intéresse les eaux de ruissellement et concerne deux familles de composés : pollution par pesticides et pollution par fertilisants (**Boukerroucha et Sharkawi, 2011**).

- **Eaux de ruissellement**

Les eaux de ruissellement ou pluviales peuvent être contaminées par le lessivage des sols, des surfaces imperméabilisées. Elles peuvent contenir des métaux lourds (zinc, plomb) et des matières toxiques (hydrocarbures). En milieu rural, les eaux pluviales provoquent en outre le lessivage des terres agricoles, entraînant les engrais et les pesticides vers les cours d'eau ou les nappes phréatiques. Les décharges de déchets domestiques ou industriels, lorsqu'elles ne sont pas aménagées, sont également lessivées par les eaux de pluie qui se chargent de pollution organique et/ou toxique (Benmira, 2015).

### I .3. Pollution des eaux

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et/ou perturbe l'écosystème aquatique. Elle se manifeste principalement par :

- Une diminution de la teneur en oxygène dissous.
- La présence de produits toxiques.
- Une prolifération d'algues.
- Une modification physique du milieu récepteur.
- La présence de bactéries, champignons et virus dangereux.

Les causes de pollution se sont étendues avec l'accroissement de la population et le développement accéléré des techniques industrielles modernes. Il existe deux pollutions, naturelles (volcans et érosion) et anthropiques (activité humaine). Le **Tableau I** résume, les différents types de pollution (anthropiques) (Eleskens, 2010).

**Tableau I : Différent types de pollution anthropique des eaux (Benmira, 2015)**

Type de pollution		Exemple	sources
Physique	Pollution thermique	Rejet d'eau chaude.	Centrales thermiques.
	Pollution radioactive	Exploitations nucléaires.	Installations nucléaires.
Chimique	Pollution agricole.	Nitrates, phosphates.	Agriculture.
	Métaux lourds	Mercure, zinc, plomb, manganèse.	Industrie, agriculture, combustion.
	Pesticides industries	Fongicides, herbicides.	Agriculture.
	Hydrocarbures	Pétrole et dérivés.	Industrie pétrolière, pétrochimie.
Microbiologique		Bactéries, virus et champignons.	Rejets urbains.
Organique.		Glucides, lipides, protides.	Effluents domestiques, agricoles, papeteries, agroalimentaire.



## **I .4. Caractéristiques des eaux usées**

### **I .4.1. Caractéristiques organoleptique**

#### **I .4.1.1. Turbidité**

Selon **Rejsek (2002)**, la turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. Les unités utilisées pour exprimer la turbidité proviennent de la normalisation ASTM (American Society for Testing Material) qui considère que les trois unités suivantes sont comparables :

Unité JTU (Jackson Turbidity Unit) = unité FTU (Formazine Turbidity Unit) = unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

#### **I .4.1.2. Couleur**

La couleur de l'eau d'égout d'origine domestique est normalement grisâtre ; une couleur noire indique une décomposition partielle ; les autres teintes indiquent un apport d'eau résiduaire industrielle (**Moncyl, 1978**).

#### **I .4.1.3. Odeur**

L'eau d'égout fraîche a une odeur fade qui n'est pas désagréable, par contre en état de fermentation, elle dégage une odeur nauséabonde (**Ladjel, 2006**).

### **I .4.2. Caractéristiques physico-chimiques**

Les caractéristiques des eaux usées sont indiquées dans le **Tableau III**, parmi les caractères les plus essentiels :

#### **I .4.2.1. Potentiel d'hydrogène (pH)**

Le pH d'une eau représente son acidité ou alcalinité. Les eaux usées domestiques sont généralement neutres ou basiques, de (6 à 9), donc elle n'influe pas sur le pH de milieu récepteur mais les affluents industriels constituent un facteur très important dans la modification de la valeur de pH (**Rodier, 1996**).

#### **I .4.2.2. Température (T)**

La température est un facteur écologique important du milieu. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Certains rejets présentent des écarts de

température importants avec le milieu récepteur, comme exemple, les eaux de refroidissement des centrales nucléaires thermique induisant une forte perturbation du milieu (Gaujous, 1995).

### I .4.2.3. Conductivité électrique (CE)

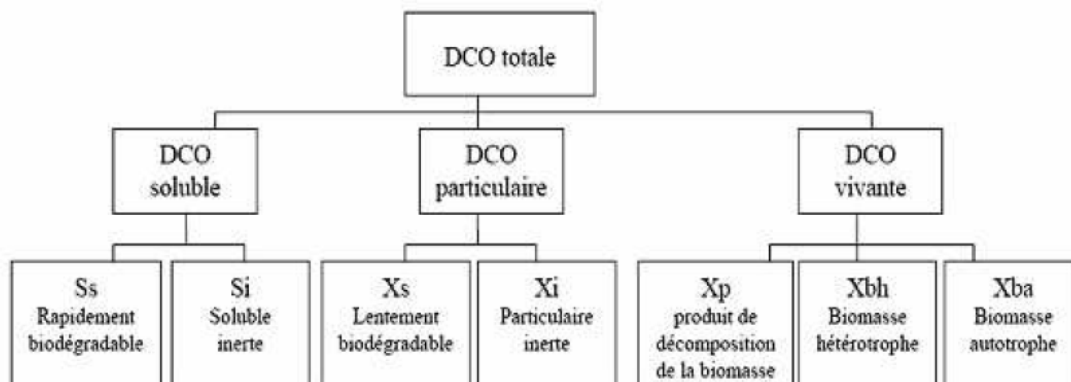
La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations (Rejsek, 2002).

### I .4.2.4. Matières en suspension (MES)

Les MES représentent l'ensemble des matières solides et colloïdales floculées, organiques ou minérales, contenues dans une eau usée et pouvant être retenues par filtration ou centrifugation (Bassompierre, 2007).

### I .4.2.5. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) représente la consommation d'oxygène nécessaire à l'oxydation non biologique (voie chimique) de l'ensemble des matières organiques présentes dans l'effluent, qu'elles soient ou non biodégradable. Cette mesure ne renseigne pas directement sur la biodégradabilité de l'effluent. (Fig. 1) (Koller, 2009)



**Figure. 1: Fractionnement de la Demande Chimique en Oxygène (Koller, 2009).**

Si : Matière organique soluble inerte, Xi : Matière organique particulaire inerte, Ss : Fraction rapidement biodégradable, Xs : Fraction lentement biodégradable, Xbh : Biomasses hétérotrophe, Xba : Biomasses autotrophes, Xp : Produit de décomposition.

### I .4.2.6. Demande biologique en oxygène (DBO)

La demande biologique en oxygène (DBO) représente la quantité de pollution biodégradable. Cette méthode d'analyse de la pollution correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pendant cinq jours, aux microorganismes (bactéries nitrifiantes) contenus dans l'eau pour oxyder une partie des matières carbonées. Cette mesure permet une certaine évaluation de

nuisance provoquée par le rejet des matières organiques biodégradables en mesurant une consommation d'oxygène (Koller, 2009).

### ➤ Notion de biodégradabilité

La notion de biodégradabilité c'est la transformation de déchets organiques ou de matières organiques en déchets plus simples  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  et  $\text{H}_2\text{O}$  par les microorganismes à la suite de réactions enzymatiques complexes.

Le rapport  $\text{DCO}/\text{DBO}_5$  a une importance pour la définition de la chaîne d'épuration d'un effluent. En effet, une valeur faible du rapport  $\text{DCO}/\text{DBO}_5$  implique la présence d'une grande proportion de matières biodégradables et permet d'envisager un traitement biologique.

Inversement, une valeur importante de ce rapport indique qu'une grande partie de la matière organique n'est pas biodégradable et, dans ce cas, il est préférable d'envisager un traitement physico-chimique (Tableau II) (Sibanda, 2017).

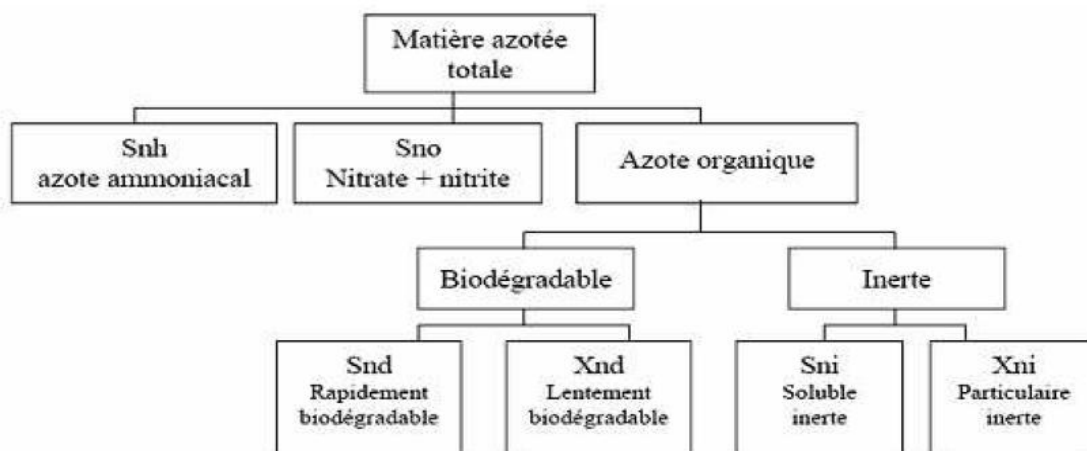
**Tableau II Mode de traitement en fonction du rapport ( $\text{DCO}/\text{DBO}_5$ )**  
(Sibanda, 2017)

$\text{DCO}/\text{DBO} < 2$	Effluent facilement biodégradable – traitement biologique.
$2 < \text{DCO}/\text{DBO} < 4$	Effluent moyennement biodégradable
$\text{DCO}/\text{DBO} > 4$	Effluent difficilement biodégradable

#### I.4.2.7. Azote ( $\text{N}_2$ )

L'azote peut se présenter sous diverses formes et à des degrés d'oxydation variables

Dans le domaine de l'eau, les dérivés d'azotes minéraux les plus importants sont les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et l'ammonium ( $\text{NH}_4$ ) (Fig. 2) (Henry et al., 1992).



**Figure. 2 : Fractionnement de l'azote (Henry et al., 1992)**

Snh: Azote ammoniacal, Sno: Nitrates, Snd : Fraction minérale organique biodégradable soluble, Xnd : Fraction minérale organique biodégradable particulaire, Sni : Réfractaires au traitement soluble, Xni: Fraction minérale organique biodégradable réfractaires au traitement particulaire.

- **Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )**

Les nitrites résultent, soit de l'oxydation partielle de l'azote ammoniacal sous action des bactéries nitreuses du type nitrosomonas, soit de la réduction des nitrates par les bactéries dénitrifiantes, alors que les nitrates proviennent de l'oxydation complète de l'azote organique sous l'action de bactéries nitrobacter (**Henry et al., 1992**).

- **Azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )**

Pour désigner l'azote ammoniacal, nous utilisons souvent le terme d'ammonium qui correspond aux formes ionisées ( $\text{NH}_4^+$ ) et non ionisées ( $\text{NH}_3$ ) de cette forme d'azote.

Les eaux usées contiennent toujours de l'azote ammoniacal, produit normal de la biodégradation de l'azote organique (protéines, acides aminés, urée, etc.) (**Henry et al., 1992**).

#### **I .4.2.8. Phosphore total (PT)**

Le phosphore qui se retrouve dans les cours d'eau et dans les eaux usées est presque exclusivement sous la forme phosphate. Il existe plusieurs catégories de phosphates qui peuvent être classifiées en trois groupes principaux :

- les ortho phosphates.
- les phosphates condensés.
- les phosphates organiques.

Les phosphates organiques proviennent surtout des procédés biologiques. Ils se retrouvent dans les égouts par suite du déversement des déchets domestiques alimentaires et humains et peuvent aussi être formés par l'action du biota aquatique du cours d'eau récepteur ou dans les procédés de traitement biologique.

Les ortho phosphates qui sont appliqués comme fertilisants sont entraînés par les pluies dans le cours d'eau récepteur et à un moindre degré par la fonte de la neige (**Rodier et al., 2016**).

**Tableau III : Différents caractéristiques physico-chimique**

<b>Caractéristiques physico-chimiques</b>	<b>Référence</b>
Titre hydrométrique (dureté totale)	Rodier, 1996
Acidité et alcalinité	Rodier, 1996
Potentiel d'hydrogène (pH)	Rodier, 1996
Température (T)	Gaujous, 1995
Conductivité électrique (CE)	Rejsek, 2002
Matières en suspension (MES)	Bassompierre, 2007
Dosage du sodium et potassium	Henry et Beaudry, 1984
Dosage des chlorures	Henry et Beaudry, 1984
Dosage des sulfates	Henry et Beaudry, 1984
Oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO <sub>4</sub> )	Henry et Beaudry, 1984
Dosage de l'oxygène dissout	Hemrioui, 2009
Demande chimique en oxygène (DCO)	Koller, 2009
Demande biologique en oxygène (DBO)	Koller, 2009
Azote (N <sub>2</sub> )	Henry et al., 1992
Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) et Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Henry et al., 1992
Azote ammoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Henry et al., 1992
Phosphore total (PT)	Rodier et al., 2016

### **I.4.3. Caractéristiques microbiologiques**

#### **I.4.3.1. Microorganismes**

Les agents pathogènes transmis par la voie hydrique sont de trois types : les bactéries, les virus et les organismes libres. Dans le **Tableau IV**, nous présentons les différentes maladies causées par les différentes classes de micro-organismes (**Cardot, 1999**).

##### **I.4.3.1.1. Bactéries**

La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ 10<sup>12</sup> bactéries/g (**Asano, 1998**). Les eaux usées urbaines contiennent environ 10<sup>6</sup> à 10<sup>7</sup> bactéries/100 ml dont 10<sup>5</sup> proteus et entérobactéries, 10<sup>3</sup> à 10<sup>4</sup> streptocoques et 10<sup>2</sup> à 10<sup>3</sup> clostridium sachant que leurs tailles varient entre 0,1 et 10 µm. Parmi les plus communément rencontrées, les salmonelles dont il existe plusieurs centaines de sérotypes différents, dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Des germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau ce sont les coliformes thermo tolérants (**Faby, 1997**).

#### **❖ Microorganismes d'origine fécale**

##### **• Coliformes totaux**

Les coliformes sont des bacilles Gram négatif, non sporulant, aérobies-anaérobies facultatifs, capables de se multiplier en présence de sel biliaires ou d'autres agents de surface, fermentant le lactose avec production de gaz en moins de 48 heures à une température de 35°C (**Larpen et Gourgaud, 1997**).

Ils regroupent les genres des germes suivants : *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klébsiella*, *Yersinia*, *Serratia*, *Rahnella*, et *Buttiauxella* (Rodier et al.,1996 ; Joly et Reynaud, 2003).

- **Coliformes fécaux**

Ce sont des bâtonnets Gram(-), aérobies et facultativement anaérobies, non sporulants, capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz à 36 et 44°C en moins de 24 heures. Ceux qui produisent de l'indole dans l'eau peptonée contenant du tryptophane à 44°C, sont souvent désignés sous le nom d'*Escherichia Coli* bien que le groupe comporte plusieurs souches différentes (*Citrobacter freundii*, *Entérobacter aerogenes*, *Klebsiella pneumoniae* et autres.) (Rodier et al.,1996 ; Joly et Reynaud, 2003).

- **Streptocoques fécaux**

Les streptocoques fécaux ou Entérocoques fécaux sont des bactéries d'origine fécale et animale ayant l'antigène. Ils sont appelés des streptocoques D, ce sont des bactéries aérobies facultatives, Gram positives, sous formes de chaînettes ou cocci ovalaires ou sphériques de 0,6 à 1 µm en moyenne (immobiles en général). Leur température de croissance est de 20°C à 42°C et un pH qui varie de 7,2 à 7,4 (Larpen et Gourgaud, 1997).

- **Staphylocoques**

Les staphylocoques sont des bactéries cocci sphériques de 0,5 à 1 µm de diamètre, Gram positif, aéro-anaérobies facultatifs en général immobiles en amas, leur température optimale de croissance est 37°C à un pH qui varie de 7,2 à 7,4 (Larpen et Gourgaud, 1997).

- **Salmonelles**

Les salmonelles sont des bacilles Gram négatif, appartenant à la famille des entérobactéries mobiles, aéro-anaérobies facultatifs non sporulants, se cultivent bien dans des milieux ordinaires (exemple milieu Hektoen) pendant 24 à 48 heures. Elles fermentent le glucose et possèdent la nitrate-réductase et sont dépourvues d'oxydase uréase (Larpen et Gourgaud, 1997)

- **Vibrions cholériques**

Les vibrions appartiennent à la famille des Vibrionaceae. Ce sont des bacilles Gram négatif, leurs colonies sont brillantes translucides, sporulants et généralement mobiles (flagelle polaire) ou immobiles aéro ou anaérobies. Possèdent une oxydase positive, une catalase positive et réduisent les nitrates, leur température optimale de croissance est de 30°C.

Les bactéries du genre vibron sont aquatique, se trouvent dans les différentes eaux (eaux de surface et eaux de mer). Elles ont la particularité de colonisé différents types d'animaux marin (poisson, crustacée et autres) (**Diakite et Mounkoro, 2015**).

- **Anaérobies sulfite réducteur**

Le genre *Clostridium* appartient à la famille Bacillaceae. Ce sont des bactéries telluriques, rencontré dans le sol, l'environnement et les intestins des animaux et des humains. Elles sont Gram positif, de grande taille, groupées en chainettes, généralement mobile et capable de sporuler.

Elles possèdent une catalase négative et sont anaérobies stricts, mésophytes et supportent des variations importantes de pH et de température.

Ces spores sont de grandes tailles et sont parfois plus grandes que les bactéries. Très résistantes à la chaleur, jusqu'à 100°C pendant plusieurs minutes (**Le gall et Le faou, 2001**).

#### **I .4.3.1.2. Les virus**

L'infection d'un individu par un virus hydrique se produit dans la majorité des cas par l'ingestion, sauf pour le Coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation. Les virus sont relativement spécifiques d'un hôte. Il existe des virus adaptés à chaque type d'hôtes (animaux, hommes, plantes, champignons, algues et bactéries). Les virus entériques transmis par ingestion sont, avec les virus respiratoires transmis par inhalation d'aérosols, les plus importants pour la santé humaine (**Vandermeersch, 2006**). L'estimation de leur concentration dans les eaux usées urbaines est comprise entre  $10^3$  et  $10^4$  particules par litre.

Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal ; parmi les virus entériques humains les plus importants, nous citons les entérovirus (exemple : polio), les rotavirus, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A (**Diakite et Mounkoro, 2015**).

#### **I .4.3.1.3. Organismes libres**

##### **❖ Les protozoaires**

Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste, cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées.

Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, nous citons *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne et *Giardia lamblia* (**Baumont et al., 2004**).

## ❖ Les helminthes

Les helminthes sont fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et 10<sup>3</sup>/l. Nous citons, notamment, *Ascaris lumbricades*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria* et *Taenia saginata*.

Beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire. Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs.

Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires (Baumont et al., 2004).

**Tableau IV : Les microorganismes pathogènes dans les eaux usées** (adapté d'Asano, 1998. et du site Internet du ministère de la Santé du Canada ([www.hc-sc.gc.ca](http://www.hc-sc.gc.ca)))

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination principales
<b>1- Bactéries</b>			
<i>Salmonella</i>	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose	23 à 80 000	Ingestion
<i>Escherichia coli</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Yersinia</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Vibrio</i>	Choléra	100 à 100 000	Ingestion
<i>Leptospira</i>	Leptospirose		Cutanée/Inhalation/Ingestion
<i>Mycobacterium</i>	Tuberculose		Inhalation
<b>2- virus</b>			
Virus de l'hépatite A	Hépatite A		Ingestion
Rotavirus	Vomissement, diarrhée	400 à 85 000	Ingestion
Adénovirus	Maladie respiratoire, conjonctivite, vomissement, diarrhée		Ingestion
Coronavirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion / inhalation
Réovirus	Affection respiratoire bénigne et diarrhée		Ingestion
Poliovirus	Paralyse, méningite, fièvre	182 à 492 000	Ingestion
<b>3- Protozoaires</b>			
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne	4	Ingestion
<i>Giardia lamblia</i>	Diarrhée, malabsorption	125 à 100 000	Ingestion
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose : ganglions, faible fièvre		Inhalation / Ingestion
<i>Cyclospora</i>	Diarrhée, légère fièvre, perte de poids		Ingestion
<b>4- Helminthes</b>			
Ascaris	Ascariase : diarrhée, troubles nerveux	5 à 111	Ingestion
Ancylostoma	Anémie	6 à 188	Ingestion / Cutanée
Necator	Anémie		Cutanée
Toxocora	Diarrhée, douleur abdominale	10 à 41	Ingestion
Strongyloïdes	Fièvre, douleur abdominale		Ingestion
Hymenolepis	Diarrhée, douleur abdominale, nausée		Cutanée



## CHAPITRE II : TRAITEMENT DES EAUX USEES

### II.1. Introduction

L'épuration des eaux résiduaires est devenue une nécessité pour les raisons sanitaires, économiques, législatives et même pour préserver l'environnement (milieu récepteur), afin d'obtenir une eau épurée qui satisfait aux normes de rejets édictés par la législation (la norme Algérienne de référence NA 754 est identique à la norme internationale ISO 5667/3. Le comité technique national n°44 « Protection de l'environnement », l'a adoptée comme norme Algérienne sans modification), et pouvant par suite être évacuée sans danger du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement.

Selon la nature et l'importance de la pollution, différents procédés (biologiques, chimiques, physique et/ou mécanique) peuvent être mis en œuvre pour l'épuration des eaux résiduaires en fonction des caractéristiques de celles-ci et du degré d'épuration désiré (**Zeghoud, 2014**).

Les stations d'épuration permettent donc de limiter la pollution de l'eau. En effet, à cause de la surpopulation urbaine, l'auto-épuration naturelle n'est pas suffisante à l'élimination des nombreux détritiques polluants. Il est donc indispensable de mettre en place des stations d'épuration qui vont, grâce à la succession de plusieurs traitements éliminer progressivement la quasi-totalité de la pollution.

Les stations d'épuration jouent un rôle principal pour la protection de l'environnement et la conservation de la santé humaine et évite le problème de contamination de la nappe phréatique. Elles permettent également une économie d'eau, grâce à la réutilisation de celle-ci. Cependant ce procédé n'est que très peu pratiqué en raison d'un fort coût de mise en place (**Mahdjar, 2016**).

### II.2. Objectifs de l'épuration

Les buts de l'épuration des eaux usées devraient assurer des objectifs plus larges :

- Un bon rendement dans l'élimination des matières organiques en suspension et en solution
- Un pouvoir d'arrêt élevé vis-à-vis des micro-organismes pathogènes et plus particulièrement des *salmonella*
- Une dégradation ou une élimination des substances organiques minérale ou organique

Les procédés d'épuration actuellement utilisés ont réellement progressé dans leur pouvoir d'élimination des substances organiques. Pour le reste (les facteurs eutrophisants, substances toxiques, micro-organismes) presque tout est à accomplir. En ce qui concerne le

problème microbiologique les capacités d'élimination microbienne sont diverses selon les cas (Yousfi, 2011).

Avec les traitements biologiques (boues activées) le pouvoir d'arrêt vis-à-vis des *salmonella*, les espèces pathogènes les plus représentatives, est faible ou négligeable. L'élimination des entérobactéries totales et des *E.coli* serait de l'ordre de 90% au niveau de l'effluent secondaire. Ce coefficient est en réalité, faible, compte tenu du nombre de ces germes présents à l'entrée de l'installation. Ce nombre est située entre  $10^5$  et  $10^7/100$  ml dans l'effluent de la station. Il serait donc compris entre  $10^4$  et  $10^6/100$  ml dans l'effluent secondaire. L'élimination des particules virales et un fait réel mais très discuté quant à son importance (Leclerc et al., 1977).

## II.3. Différentes étapes d'épuration des eaux usées

### II.3.1. Prétraitement

Destiné à préparer l'effluent au traitement biologique ultérieur, le prétraitement comporte une succession d'opérations physiques ou mécaniques destinées à séparer les eaux usées des matières volumineuses, en suspension ou flottantes, qu'elles véhiculent (Attab, 2011).

#### II.3.1.1. Dégrillage

Le dégrillage permet de séparer les matières volumineuses, son principe est extrêmement simple, puisqu'il consiste à faire passer l'eau brute à travers des grilles.

. La vitesse moyenne de passage de l'eau entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s. le nettoyage des grilles est réalisé généralement de façon automatique par un dispositif mécanique agissant en amont ou en aval du champ de la grille (Boeglin, 2002). Il existe deux types de dégrillages, grossier et fin (Tableau V)

**Tableau V : Types de dégrillages (Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL), 2016).**

Caractéristiques	Dimensions	
	Dégrillage grossier	Dégrillage fin
Largeur de grille	1,74m	
Epaisseur des barreaux	8mm	
Entrefer	60mm	20mm
Largeur du canal	2m	
Profondeur du canal	4m	

### **II.3.1.2. Dessablage et dégraissage**

Le dessablage permet de prévenir les dépôts des graviers, sables et particules minérales non traitables dans les canalisations, protéger les organes mécaniques (pompes) contre l'abrasion et éviter de perturber les autres étapes de traitement. Les sables, recueillis généralement par raclage en fond de bassin, sont recyclés. Le dégraissage permet d'éviter l'encrassement de la station par des corps gras.

Les deux étapes sont effectuées dans le même bassin que l'étape de dessablage, la récupération des graisses et huiles se réalise en surface. Les composés collectés seront alors incinérés (cas du traitement d'un effluent urbain) ou recyclés pour la fabrication de savons ou détergents (cas de certains effluents industriels) en fonction de leur qualité (**Bassompierre, 2007**).

### **II.3.2. Traitement primaire**

Le traitement s'effectue par voie physico-chimique pour extraire le maximum de matières en suspension et de matières organiques facilement décantables. D'après **Bassompierre (2007)** Deux voies de traitement sont possibles :

- la décantation (processus physique) : le principe de séparation solide-liquide est la pesanteur, les matières en suspension ou colloïdales tendent à se séparer du liquide par sédimentation ;
- la flottation (processus physique) : par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique réelle ou apparente (flottation assistée) est inférieure à celle du liquide qui les contient.

#### **II.3.2.1. Décantation primaire**

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

A la fin de ce traitement, la décantation et 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) et la concentration en azote peuvent également être réduits durant cette phase de traitement. Les matières supprimées forment au fond du décanteur un lit de boues appelé boues primaires (**Cardot, 1999**).

### II.3.3. Traitement secondaire ou biologique

Le traitement secondaire ou biologique des eaux usées issues du traitement primaire, permet de décomposer les composés organiques en suspension c'est la transformation biologique (par des microorganismes) de la matière organique dissoute en biomasse microbienne et en dioxyde de carbone. Ce traitement élimine 90% à 95% de la demande biochimique en oxygène de l'eau et de nombreuses bactéries pathogènes (**Amirou et Benkaddour, 2015**).

D'après **Vandermeersch (2006)**, ce traitement se fait par voie aérobie et peut se réaliser par des traitements conventionnels qui sont constitués de deux phases successives:

- Le bassin d'aération : Le bassin contient des micro-organismes qui, grâce à l'injection d'O<sub>2</sub>, consomment la pollution dissoute et se développent. Ce mélange forme les boues activées (ou boues biologiques).

- Le décanteur secondaire (ou clarificateur secondaire) : après le bassin d'aération, l'eau traitée passe par débordement dans le décanteur où elle sera séparée des boues par décantation de celles-ci au fond du décanteur.

#### II.3.3.1. Traitement biologique par boues

Ce procédé est le traitement biologique le plus utilisé pour des stations de taille moyenne à importante (+ de 2000 équivalents habitants), les boues activées étant la suspension boueuse contenant la flore bactérienne épuratrice.

Les premières observations tendaient à démontrer l'existence d'une seule espèce appelée « *Zooglea ramigera* » dans la prolifération de former le floc ou la zooglé.

En fait, de très nombreuses espèces bactériennes sont capables de former un floc lors de leur croissance et libèrent des substances assimilables à un polymère (les exo polymères) qui favorisent l'agglomération des bactéries avec la pollution solide. Les bactéries intestinales interviennent pour une faible part tandis que les *Aeromonas*, et surtout les aérobies stricts comme les *Pseudomonas*, les *Achromobacter*, les *Flavobacterium* et les *Cytophaga* sont les plus nombreuses, elles forment alors des floes de boues grâce à cette floculation naturelle appelée biomasse.

Dans ce procédé, les bactéries se trouvent en suspension dans l'eau du bassin par un brassage continu. Elles sont donc en contact permanent avec les matières organiques dont elles se nourrissent, et avec l'oxygène nécessaire à leur assimilation. Afin de conserver un stock constant et suffisant de bactéries pour assurer le niveau d'épuration recherché, une grande partie des boues extraites du décanteur est réintroduite dans le bassin d'aération ; nous parlons alors de recirculation des boues. La fraction restante est évacuée du circuit et dirigée vers les unités de traitement des boues, elle constitue les « boues en excès » (**Fig.3**) (**Leclerc et al., 1977 et Vandermeersch, 2006**).

La tache de ces micro-organismes est intensifiée :

- D'une part, ils oxydent totalement une faible partie des matières organiques en solution.
- D'autre part, ils flocculent et entraînent avec eux une proportion très élevée des substances organiques en solution ou en suspension. L'effluent du traitement par boues activées voit sa  $DBO_5$  diminuer dans des proportions considérables, souvent supérieures à 90%

Selon **Faby (1997)** une épuration biologique permet d'éliminer 90% des virus (dont 80 à 99% des entérovirus et des rotavirus) et 60% à 90% des bactéries (dont 90% sont des bactéries entériques), par contre elle a peu d'effet sur les kystes de protozoaires et les œufs d'helminthes. L'élimination a lieu grâce à la sédimentation des MES et la compétition avec les micro-organismes non pathogène et la température.

### II.3.3.1.1. Aération du traitement biologique

L'oxygène utilisé par les bactéries se trouve sous forme dissoute simple ( $O_2$ ) ou combinée à d'autres éléments ( $NO_3^-$ ), la quantité d'oxygène dissous est mesuré avec une sonde à oxygène: mesure exprimée en  $mg O_2 / L$  d'eau (**Tableau VI**) (**SEAAL, 2016**).

**Tableau VI : Caractéristique des milieux (SEAAL, 2016).**

Caractérisation du milieu	Appellation du milieu
Si les eaux contiennent de l'oxygène dissous	milieu aérobie
Si l'eau contient de l'oxygène combiné	milieu est dit en anoxie
Si l'eau ne contient pas d'oxygène combiné	milieu anaérobie

### II.3.3.1.2. Traitement du carbone

Ce type de traitement s'effectue dans un réacteur, à travers un contact directe des microorganismes épurateurs avec l'eau à épurer. Par le billet du procédés à cultures libres type boues activées, ou par le procédés à cultures fixées type lit bactérien ou biofiltre bactérien.

D'après **Boeglin, in Boudhane et Ahmed Ammar (2016)**, le processus d'épuration aérobie s'effectue en trois étapes essentielles successives :

- Adsorption et absorption des matières polluantes solubles et colloïdales de l'effluent par les cellules bactériennes ;
- Oxydation biochimique et dégradation enzymatique des matières ainsi fixées. Cette opération fournit l'énergie aux micro-organismes (catabolisme), qui sera nécessaire à la synthèse cellulaire et à la multiplication des micro-organismes (anabolisme), aboutissant à un accroissement de la masse cellulaire totale;

- Autodestruction de la matière cellulaire (respiration endogène). Les micro-organismes impliqués sont du type facultatif, hétérotrophe. Ils utilisent à la fois le carbone organique comme source d'énergie et comme source pour la synthèse cellulaire

### II.3.3.2.3. Dégazage

La zone de dégazage est placée à l'aval du bassin d'aération, la présence d'une zone de dégazage est nécessaire entre le bassin d'aération et le clarificateur pour faciliter l'élimination des bulles d'air présente dans la liqueur, afin d'éviter une remontée des boues par entraînement de bulles d'air résiduelles dans le clarificateur (**Bouaissa, 2015**)

### II.3.3.2.4. Décantation et flottation

Dans l'eau, un corps liquide ou solide, flotte ou coule, cela dépend de sa masse volumique  $\rho$  :

- Si sa masse volumique est inférieure à celle de l'eau, il flotte : huile, bois, graisses...
- Si sa masse volumique est supérieure à celle de l'eau, il coule : cailloux, sable, métaux, boues...

Le but de cette étape est de laisser décanter les liqueurs issues du bassin de dégazage.

La masse volumique des boues étant plus grande que celle de l'eau, elles coulent au fond du clarificateur. On les appelle boues biologiques. En surface, on récupère l'eau épurée ou eau clarifiée (**Cardot, 1999**).

### II.3.3.2.5. Recirculation et extraction

Selon **Cardot, 2002**, dans les bassins d'aération, l'arrivée de polluant est continue, il est essentiel de garder constante le ratio pollution/microorganismes (**Fig.3**)

Il s'agit de trouver le bon équilibre entre :

- Le nombre de bactéries présentes dans le bassin d'aération, estimée par la concentration des boues en kg de matières volatiles;
- La quantité de pollution qui arrive dans le bassin, estimée par la charge en kg DBO.

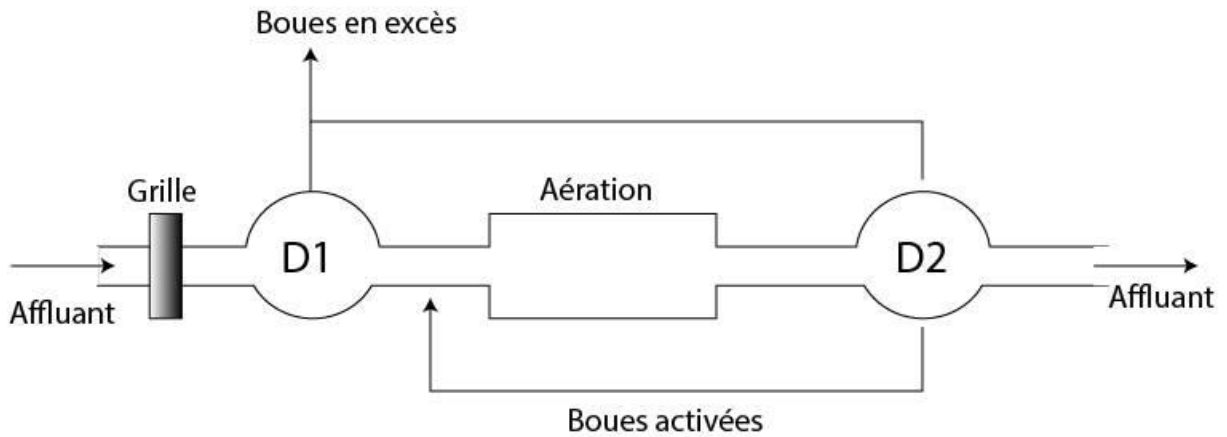
Selon **Andreoni (1989)**, pour trouver cet équilibre, le système est composé de 2 éléments:

- La recirculation :

Afin de maintenir suffisamment de bactéries dans le bassin, de la boue activée est recirculée du fond des clarificateurs, par l'intermédiaire des puits de récupération des boues.

- L'extraction :

Les bactéries étant dans des conditions idéales de développement (présence de pollution de l'O<sub>2</sub>), elles se développent rapidement. Il est donc nécessaire d'en extraire une partie



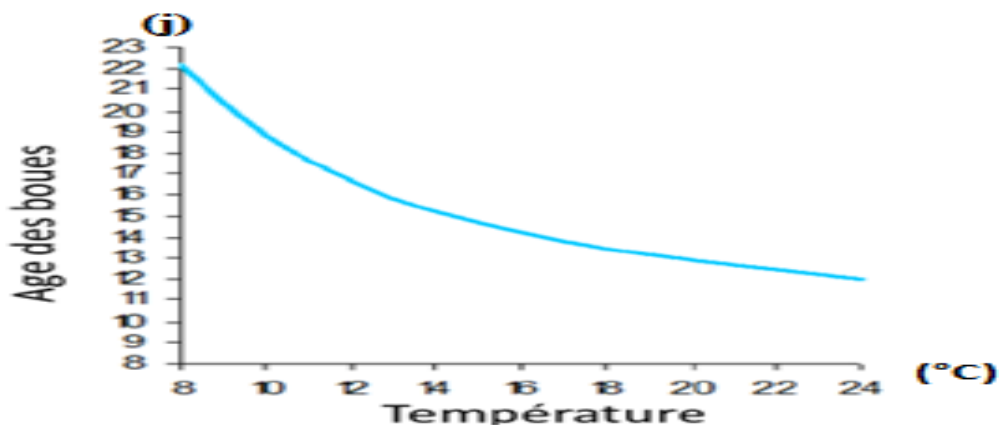
**Figure. 3 : schéma simplifié d'un traitement par boues activées.**

Les eaux usées arrivent dans un bassin de décantation primaire (D1), puis dans un bac d'aération où une oxygénation constante assure la multiplication des micro-organismes et corrélativement la destruction de la coagulation des substrats organiques. L'effluent passe ensuite dans le bassin de décantation secondaire D2 : une partie des boues (boues activées) est recyclée dans le bassin d'aération ; les boues en excès de D1 et D2 doivent être traitées en vue de leur stabilisation (Leclerc *et al.*, 1977).

#### II.2.3.2.6. Age de boues

L'âge de boue est le rapport entre la masse de boues présentes dans le réacteur et la masse journalière de boues extraites de la station. L'âge des boues est donc inversement proportionnel à la charge massique. Cette notion d'âge de boues est particulièrement importante car elle traduit l'état physiologique des micro-organismes. En outre, l'âge de boues conditionne la présence de protozoaires et de métazoaires (Fig.4) (Annexe VI).

La vitesse de réaction de la nitrification est également influencée par la charge massique et la teneur en oxygène (Boudhane et Ahmed Ammar, 2016).



**Figure.4 : Age des boues aérées (j) recommandé en fonction de la température (°C)**

(SEAAL, 2016)

### II.3.3.2. Clarificateur

Le bon fonctionnement d'une station d'épuration par boues activées exige de bien séparer l'eau traitée de la masse de boue activée de manière à produire un effluent clarifié conforme aux normes de rejet. Cette séparation solide-liquide est traditionnellement réalisée par sédimentation gravitaire dans un décanteur secondaire ou clarificateur, même si d'autres procédés, tels que la flottation sont également applicables (mais plus coûteux) (**Boudhane et Ahmed Ammar, 2016**). Le clarificateur est un composant fondamental d'un système à boues activées. Il doit combiner trois fonctions :

- **Fonction de clarification** : produire un effluent final clarifié dont la teneur en matière en suspension est généralement inférieure à 20 - 30 mg/l, soit un rendement de séparation supérieur à 98 %.
- **Fonction d'épaississement** : produire un débit continu de boue concentrée pour les recirculer dans le réacteur biologique et assurer le maintien de la consigne en MES de celui-ci.
- **Fonction de stockage** : stocker la masse de boue supplémentaire générée par une surcharge hydraulique momentanée (en temps de pluie notamment).

### II.3.3.3. La digestion anaérobie

L'opération s'effectue dans les digesteurs, où les micro-organismes des genres *Methanobacterium*, *Méthanosarcina* et *Méthanococcus* transforment les matières organiques en produisant un abondant dégagement de gaz tel que l'hydrogène, l'azote, mais surtout le dioxyde de carbone et le méthane. Le développement des *Desulfovibrio* peut être favorisé par la présence de sulfate, ce qui est très gênant pour la conduite du traitement car les gaz produits sont malodorants (H<sub>2</sub>S) et pauvres en énergie. Les gaz combustibles peuvent être récupérés et utilisés comme source d'énergie (**Leclerc et al., 1977**).

Le digesteur est alimenté avec des boues fraîches et une petite portion de boues mûres (provenant d'une digestion précédente). La digestion anaérobie peut se faire dans les meilleures conditions à la température de 50 à 60°C qui favorise la croissance des bactéries thermophiles et accélère la dégradation. Le temps requis est de deux à trois semaines et même quelquefois plus. Les boues ainsi traitées sont considérablement réduites en volume. Elles sont stabilisées et ne contiennent plus de micro-organismes pathogènes (**Amselem, 2013**).

### II.3.4. Traitement tertiaire ou supplémentaire

Pendant cette étape de traitement tertiaire certains procédés sont utilisés pour améliorer encore plus la qualité des effluents (élimination du nitrate et du phosphore). Il peut s'agir de



procédés physiques (filtration), biologiques ou chimiques. Cette étape permet de réduire le niveau de produits chimiques organiques, des nutriments, des pathogènes et des matières solides en suspension qui se trouvent dans les effluents. Cette étape est nécessaire si les eaux usées doivent être traitées à des niveaux très élevés, par exemple si elles doivent être rejetées dans de l'eau douce (**Prescott et al., 2003**).

#### **II.3.4.1. Ultraviolet**

D'après **Baumont et al., (2004)**, 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. La durée d'exposition nécessaire est très courte (20 à 30 s). L'efficacité du traitement dépend essentiellement de deux paramètres :

- les lampes, qui doivent être remplacées régulièrement : elles sont usées au bout d'un an et demi. De plus, elles doivent être nettoyées car elles ont tendance à s'encrasser
- la qualité de l'effluent : les MES et certaines molécules dissoutes absorbent les UV, ce qui diminue l'efficacité des lampes.

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

L'eau usée traitée à l'aval des systèmes d'assainissement urbains représente une eau renouvelable non conventionnelle. Cependant, en raison de la nature variable de cette eau (sa charge en constituants minéraux, organiques et biologiques) ; sa réutilisation devrait être gérée soigneusement, surveillée et contrôlée par des spécialistes afin de vérifier les risques et les menaces potentielles sur les usagers, le sol, et les cultures irriguées, ainsi que sur l'environnement dans son ensemble, peut également avoir des impacts défavorables sur la santé publique et l'environnement (**Gharzoul, 2014**).

## CHAPITRE III: PRESENTATION DU *MORINGA OLEIFERA*

### III.1. Introduction

Le traitement de l'eau pour la rendre propre à la consommation humaine a été un problème d'immenses défis, tant dans les pays en développement que dans les pays développés. Dans les pays en développement, la qualité de l'eau potable est souvent dangereuse pour la santé humaine. Les sels d'aluminium, les sels de fer et les polymères synthétiques sont des coagulants couramment utilisés dans le traitement de l'eau (**Letterman et al., 1990**). Le coût et les effets secondaires environnementaux de ces composés sont leurs principaux inconvénients. D'après **Martyn, et al. (1989)** et **Broin et al. (2002)**, les sels d'aluminium ont été associés à la maladie d'Alzheimer. En conséquence, il est souhaitable de développer d'autres coagulants rentables qui soient plus acceptables sur le plan environnemental.

Des alternatives naturelles aux coagulants actuellement utilisés sont envisagées, y compris les plantes cultivées. Les graines d'un arbre tropical, *M. oleifera*, ont suscité un intérêt particulier car elles traitent l'eau à deux niveaux, agissant à la fois comme coagulant et comme agent antimicrobien (**Broin et al., 2002**).

Les nombreuses utilisations économiques du *Moringa oleifera* et la facilité de propagation ont suscité un intérêt international grandissant pour cet arbre que l'on retrouve dans les pays tropicaux.

Beaucoup de pays Africains (Sénégal, Ethiopie, Mali...) et l'Inde profitent déjà des vertus miraculeuses de cette plante, alors pourquoi l'Algérie n'en fera pas pareil ?

### III.2. Généralités

De son nom scientifique *Moringa oleifera*, le moringa est un arbuste de la famille des Moringaceae pouvant mesurer jusqu'à 10 mètres de haut.

Parfois appelé « arbre de vie » ou « arbre du paradis » en raison de ses vertus environnementales, médicinales et alimentaires exceptionnelles, le moringa est un arbre à usages multiples dont les feuilles, fleurs, fruits, écorces, racines et graines peuvent être consommés directement. Ses qualités nutritionnelles sont de plus en plus reconnues et pourraient représenter une solution efficace dans le cadre de la lutte contre la malnutrition. Le *Moringa oleifera* peut aussi être valorisé sous forme de produits à plus haute valeur ajoutée, tels que l'huile de moringa qui offre une forte plus-value grâce à son prix élevé (**Modeste Bidima, 2016**).

### III.3. Systématique et classification de *Moringa oleifera* :

D'après Fahey, 2005, cette espèce appartient à :

Règne : Plantae

Sous règne : Tracheobionta

Super division : Spermatophyta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous classe : Dilleniidae

Ordre : Capparales

Famille : Moringaceae

Genre : *Moringa*

Espèce : *Oleifera*

### III.4. Culture







Le *Moringa oleifera* pousse le mieux dans les régions tropicales chaudes et semi-arides. Il tolère la sécheresse et s'adapte à des précipitations annuelles de 250 à 1 500 mm. Il préfère une altitude inférieure à 600 m (2000 pi) mais peut pousser à jusqu'à 1 200 m (4 000 pi) d'altitude dans certaines régions tropicales et a déjà été observé à 2 000 m (6 600 pi).

Sa culture est facile, fréquemment rencontré dans les jardins en Afrique subsaharienne. C'est un arbre à croissance rapide, dont les feuilles peuvent être récoltées dès les premiers mois de culture (Price, 2007).

### III.5. Description botanique

*Moringa oleifera* est un arbre pérenne, qui peut atteindre 7 à 12 mètres de hauteur et dont le tronc mesure 20 à 40 cm de diamètre (Tableau VII) (Ralezo maevalandy, 2006).

**Tableau VII : Les différentes formes végétatives de l'arbre *Moringa oleifera***

Différentes formes végétatives	Morphologie (Aspect)	Description
Tronc		Le tronc est généralement droit, mais il est parfois très peu développé. En général, il atteint 1,5 à 2 mètres de haut avant de se ramifier, bien qu'il puisse parfois atteindre les 3 mètres ( <b>Ralezo maevalandy, 2006</b> ).
Branches	 (Tahraoui, 2018)	Les branches poussent de manière désorganisée et la canopée est en forme de parasol ( <b>Ralezo maevalandy, 2006</b> ).
Feuilles	 (Tahraoui, 2018)	Les feuilles sont craquées longitudinalement, un axe principal de 30 à 75 cm de long avec des folioles ovales opposées et des branches articulées ( <b>Foidl et al., 2001</b> )
Fleurs	 (Tahraoui, 2018)	Les fleurs mesurent 2,5 cm de large et se présentent sous forme de panicules axillaires et tombantes de 10 à 25 cm. Elles sont généralement abondantes et dégagent une odeur agréable. Elles sont blanches ou couleur crème, avec des points jaunes à la base. Les sépales, au nombre de cinq, sont symétriques et lancéolés ( <b>Foidl et al., 2001</b> )
Fruits	 (Tahraoui, 2018)	Les fruits forment des gousses à trois lobes, mesurant 20 à 60 cm de long, qui pendent des branches. Lorsqu'ils sont secs, ils s'ouvrent en trois parties. Chaque gousse contient entre 12 et 35 graines ( <b>Ralezo maevalandy, 2006</b> ).
Graines	 (Tahraoui, 2018)	Les graines sont rondes, avec une coque marron semi-perméable. La coque présente trois ailes blanches qui s'étendent de la base au sommet à 120 degrés d'intervalle. Un arbre peut produire 15000 à 25000 graines par an. Une graine pèse en moyenne 0,3 g et la coque représente 25% du poids de la graine ( <b>Makkar et Becker, 1997</b> )

### ➤ Récolte

La récolte des graines se fait 2 fois par an en Avril-Mai et Septembre-Octobre. Les feuilles peuvent être cueillies plusieurs fois dans l'année (**Ralezo maevalandy, 2006**).

### ➤ **Composition du *Moringa oleifera***

Cette famille de plantes peut agir comme une bonne source d'antioxydants naturels en raison de la présence de divers types de composés antioxydants tels que l'acide ascorbique, flavonoïdes, phénoliques et les caroténoïdes (**Makkar et Becker,1997**).

Les concentrations élevées d'acide ascorbique, substances œstrogènes , B-sitostérol ,fer, calcium, phosphore, cuivre, vitamines A, B et C,  $\alpha$ -tocophérol, riboflavine, acide nicotinique, acide folique, pyridoxine,  $\beta$ -carotène, protéines et des acides aminés essentiels particuliers tels que la méthionine, la cystine, le tryptophane et la lysine présents dans les feuilles de Moringa (**Foidl et al., 2001**).

*Moringa oleifera* est riche en composés contenant des sucres simples, dont le rhamnose et un groupe assez unique de composés appelés glucosinolates et isothiocyanates, le **Tableau VIII** démontre la composition chimique par 100g de graine sèche (**Fahey et al.,2001; Bennett et al., 2003; Anwar et al.,2003**).

**Tableau VIII : Composition chimique par 100g (Ralezo maevalandy , 2006)**

<b>Compositions</b>	<b>Graine sèche</b>
Eau en g	7.5
Protéine g	27.1
Matière grasse g	2.3
Hydrate de carbone g	38.2
Fibre g	19.2
calories	205
Calcium mg	2.003
Phosphore mg	204
Vitamine A Beta carotène	16.3
Acide oxalique mg	1.6
Acide ascorbique mg	17.3
Acide nicotinique ug	8.2
Vitamine E mg	113
Arginine g/16g	1.33
Histidine	0.61
lysine	1.32
Tryptophane	0.43
phenylalanine	1.39
Methionine	0.35
Thréonine	1.19
Leucine	0.95
isoleucine	0.83
Valine	1.06

### ➤ **Le profil en acides gras**

La composition en acides gras de l'huile de *M. oleifera* déterminée par (C.P.G) a montré la présence de : (**Tableau IX**)

**Tableau IX : Composition en acides gras de l'huile de graines de Moringa oleifera exprimée en % des acides gras totaux (Louni, 2009)**

Méthode d'extraction	Presse	Ultra son	Soxhlet			
			Solvant d'extraction	Hexane	Acétone	Hexane/ Isopropanol
Acide myristique	0.16	0.11	0.10	0.11	0.11	0.10
Acide palmitique	6.25	5.87	5.71	5.94	5.99	5.82
Acide palmitoléique	1.65	1.62	1.58	1.61	1.63	1.60
Acide margarique	0.08	-	0.07	0.08	-	0.08
Acide heptadecenoïque	-	-	-	-	-	0.05
Acide stéarique	5.41	6.23	6.23	6.34	6.16	6.25
Acide oléique	74.89	73.28	72.74	72.55	73.1	72.8
Acide oléique trans	0.44	-	-	-	-	0.08
Acide linoléique	0.57	0.57	0.55	0.55	0.55	0.52
Acide linoléique	0.15	0.14	0.15	0.15	-	0.14
Acide arachidique	3.13	3.87	4.05	4.09	3.91	4.05
Acide gadoléique	1.57	1.67	1.85	1.82	1.63	1.87
Acide béhénique	5.49	6.60	6.90	6.71	6.88	6.55
Σ acides gras saturé AGS	20.52	22.68	23.06	23.27	23.05	22.85
Σ acides gras insaturés AGI	79.11	77.25	76.87	76.68	76.92	77.06
Σ acides gras mono insaturés AGMI	78.46	75.57	76.17	75.98	76.36	76.4
Acides gras polyinsaturés AGPI	1.36	0.68	0.70	0.55	0.66	
AGI/AGS	3.85	3.40	3.29	3.29	3.33	3.37

### III.6. Utilisation du *Moringa oleifera*

Plusieurs parties de l'arbre *M. oleifera* ont un intérêt nutritionnel qui permet son utilisation dans divers domaines (Fig. 5).

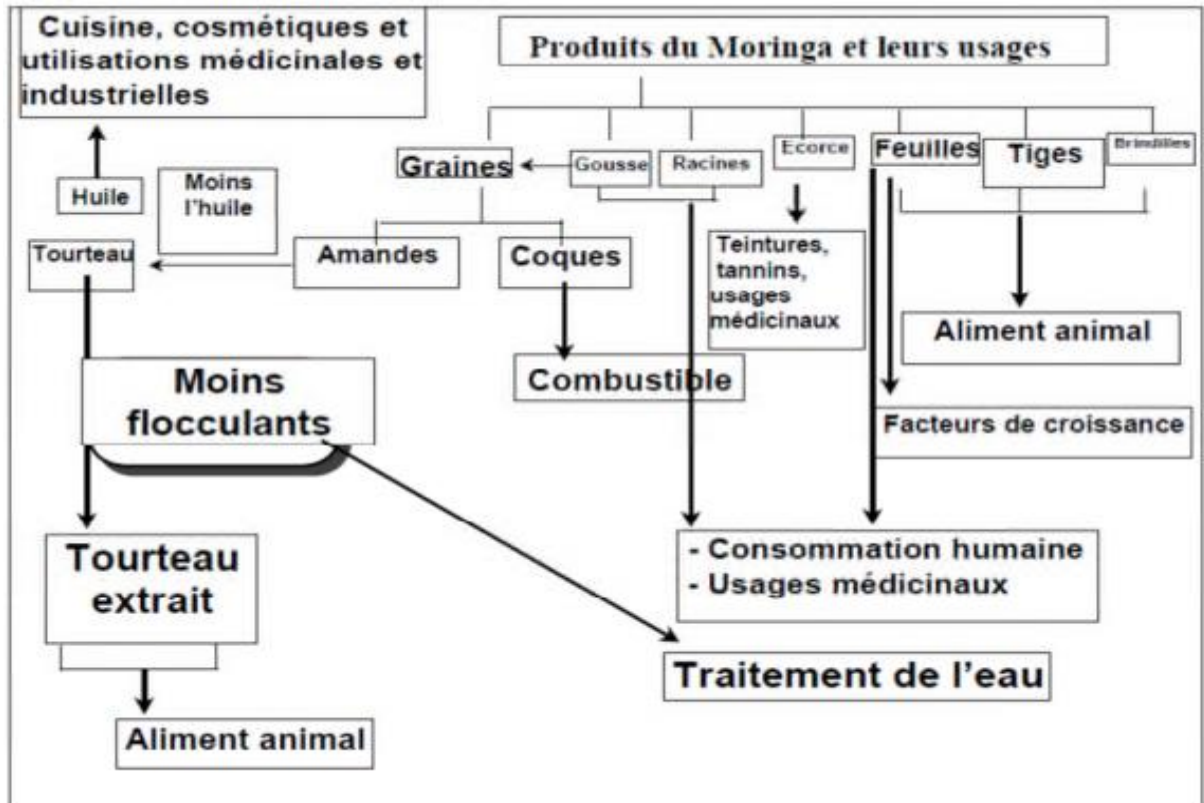


Figure.5 : Les principales utilisations des différents organes de *Moringa oleifera* (Foidl et al., 2001)

#### III.6.1 Traitements des eaux

Les graines de *Moringa oleifera* contiennent des **polyélectrolytes cationiques** qui ont montré leur efficacité dans le traitement des eaux en remplacement du sulfate d'alumine et des autres flocculants.

L'avantage de l'utilisation de ces graines est double :

- la substitution de flocculants importés par un produit local facilement accessible permet une économie importante de devises pour les pays tropicaux
- ce flocculent contrairement au sulfate d'alumine est totalement biodégradable ce qui fait de lui un choix intéressant dans la conservation de la biodiversité (Habauka et al., 2010).

Le *M. oleifera* est actuellement en voie d'exploitation pour ce pouvoir purificateur car certains des bénéfices rapportés dans la littérature sur le traitement avec des extraits de graines *M. oleifera* incluent une réduction de 92-99% dans la turbidité, diminution de la teneur en argile et en bactéries de l'eau brute, efficacité des sels d'aluminium et production de volumes de boues plus faibles (Ndabigengesere et Narasiah, 1998).

A l'université technique de Biomasa, des études ont été menées sur l'utilisation de graines de *M. oleifera* pour le traitement final dans des unités d'épuration des eaux usées. Dans les lagons d'oxydation, 80 % de la DBO de l'eau provient d'algues monocellulaires. De plus, ces algues renferment 40 à 60 % de l'azote et du phosphore contenus dans les eaux usées avant traitement. Pour éviter l'eutrophisation des cours d'eau et des lacs par l'écoulement de charges importantes de phosphore et d'azote, les graines peuvent être utilisées pour coaguler les algues et les éliminer par sédimentation. Ce traitement permet d'éliminer jusqu'à 98 % des algues présentes. Après sédimentation, les eaux résiduelles deviennent claires et transparentes. Ce traitement réduit d'autre part la DBO de l'eau d'environ 70%, et sa teneur en phosphore et en azote de 60 % (**Foidl et al., 2001**).

Tout récemment, en 2012, il a été démontré que les extraits de graines de *M. oleifera* réduisaient le nombre d'œuf d'helminthes contenus dans l'eau (**Sengupta et al., 2012**), une étude similaire en 2003 avait déjà permis de montrer une diminution des staphylocoques au cours du traitement de l'eau par des extraits des graines (**Suarez et al., 2005**).



# **PARTIE EXPERIMENTALE**

# CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES

## I.1. Les objectifs

Les objectifs de cette étude portent sur :

- L'étude des paramètres physico-chimiques des eaux brutes et épurée (par boues activées) afin de s'assurer de l'efficacité du procédé d'épuration des eaux usées dans la STEP et le comparer avec les résultats obtenue par le traitement avec des graines (fraîches et sèches) de *Moringa oleifera*.
- L'analyse microbiologique de la flore bactérienne associée aux échantillons d'eau usée avant et après traitement avec les graines (fraîches et sèches) de *M. oleifera*.

## I.2. Présentation de la STEP de Baraki

La station d'épuration de Baraki est la station principale de traitement des eaux usées d'Alger et la deuxième plus grande installation de son genre en Algérie, les eaux usées reçues dans cette station sont d'origine urbaines (égouts), industrielles (production pharmaceutique SAIDAL, central électrique de Sonelgaz, etc.) et domestique de l'agglomération des communes environnantes (El-Harrach, Birtouta, Bab Ezzouar, Baba Ali, Oued Samar, Hussein dey et Dar El-Beida). Les performances de traitement permettent de garantir une conformité du rejet supérieur à 99% et un rendement d'élimination de la pollution supérieur à 95% (SEAAL, 2018).

La STEP est de type boues activées avec une capacité nominale de 1 800 000 équivalents habitant, et un débit moyen journalier d'environ 298 800 m<sup>3</sup>/j (Fig. 6). Les eaux usées traitées de cette station d'épuration sont acheminées vers l'oued El-Harrach qui se déverse au centre de la baie d'Alger.



Figure. 6 : Station d'épuration de Baraki (SEAAL, 2016)

### **I.3. Matériel :**

#### **I.3.1. Matériel non biologique** (Voir annexe V)

#### **I.3.2. Matériel biologique**

Le matériel biologique utilisé est le suivant :

- Eaux usées : brutes - décantés - épurées (traitées) par les boues activées
- Des graines de *Moringa oleifera* (sèche et fraîche), le matériel végétal utilisé dans notre étude provient des arbres d'une plantation âgés de 5 à 6 ans (récolte 2017). Ses arbres sont issus de graines introduites par l'INRF (Institut National de la Recherche Forestière)

### **I.4. Échantillonnage et prélèvement**

L'échantillonnage a été réalisé pendant une période allant du 23 Mars au 29 Avril 2018 au sein de la station d'épuration (STEP) de Baraki. Un prélèvement par semaine est effectué.

- Les échantillons des eaux usées prélevées ont fait l'objet des analyses physico-chimiques qui sont prélevés à l'aide des préleveurs d'échantillonneurs automatiques (921\_\_AP301\_ et 406C\_AP301\_) chaque 20min ils prélèvent 100 ml pendant 24 h dans des bouteilles en polyéthylène (ils sont effectués au sein du laboratoire de la STEP de Baraki)
- Les échantillons destinés aux analyses microbiologiques ont été prélevés manuellement à l'aide d'une tige dans des flacons stériles de 250 ml et conservés immédiatement à une température inférieure à 4°C selon (NF T 90-420) au niveau de deux laboratoires, celui de l'Algérienne des eaux (ADE) et au niveau du laboratoire d'hygiène de la wilaya de Blida.

Trois sites de prélèvement ont été choisis à savoir :

- Premier point à l'entrée : l'eau brute n'ayant subi aucun traitement (EB)
- Deuxième point au milieu : l'eau décanté prélevé du bassin de décantation (ED)
- Troisième point avant la sortie : l'eau épurée de la station de Baraki (EE)

### **I.5. Méthodes**

- Pour l'analyse physico-chimiques des eaux décantés et eaux épurées, l'échantillon a été bien agité avant son utilisation.
- Pour l'analyse des eaux brute + graines de *Moringa oleifera*, nous avons utilisé 0.10 g de graines de *M. oleifera* (fraîches et séchées) après broyage, cette quantité a été ajoutée dans 200 ml d'eau brute.
- La lecture des résultats a été réalisée après 2h et 4h de décantation, le surnageant a été récupéré puis agité pour des analyses physico-chimiques et microbiologiques.

**Tableau. XII : Analyses physico-chimiques**

<b>Paramètre physico-chimique</b>	<b>Principe</b>
Température et pH	Mesure de la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution. NA.751/1990
Conductivité électrique	La conductivité électrique est une mesure de courant conduit par les ions présents dans l'eau. L'appareil qu'a été utilisé est un conductimètre METTLER TOLEDO MC 226 que permet la détermination directe de conductivité électrique des solutions aqueuses. NA 749
Matières en suspension	Les matières en suspension sont dosées par la méthode de filtration sur disque filtrant de 0.45µm. le filtre est séché à 105°C puis pesé après refroidissement selon la norme ISO 11923
Demande chimique en oxygène	Ebullition à reflux, dans les conditions définies d'une prise d'essai de l'échantillon, en milieu acide, en présence d'une quantité connue de dichromate de potassium, de sulfate d'argent jouant le rôle d'un catalyseur d'oxydation et de sulfate de mercure permettant de complexer les ions chlorures. Détermination de l'excès de dichromate avec une solution titrée de sulfate de fer et d'ammonium en présence de la solution d'indicateur ou par un système de mesure potentiométrique. Calcul de la DCO à partir de la quantité de dichromate de potassium réduite. NF T 90-101 / ISO 6060:1989
Demande biologique en oxygène	Les micro-organismes présents dans un échantillon d'eau qui contient la matière organique biodégradable, consommant l'oxygène et produisant une quantité équivalente en anhydride carbonique (CO <sub>2</sub> ), si on travaille dans une installation fermée et que l'on utilise une matière alcaline (KOH par exemple) pour piéger le CO <sub>2</sub> , on aura une diminution progressive de la pression du gaz, qui est par la suite mesurée avec une élévation de niveau de mercure. ISO 5815 : 2003
Azote total	La détermination de l'azote total s'effectue en deux étapes. La première étape est une digestion en milieu acide qui transforme tous les composés organiques azotés en azote ammoniacal. Dans la seconde étape, les ions ammonium réagissent avec du salicylate, du nitroferrocyanure et de l'hypochlorite de sodium pour former en milieu alcalin un complexe salicylate ammoniacal, dont l'absorbance à 660 nm est proportionnelle à la concentration d'azote ammoniacal. ISO 11261 :1995
Ammonium	Les ions ammonium en présence de sodium nitroprusique agissant comme catalyseur et à une valeur de pH d'environ 12.6. ils réagissent avec les ions hypochloreux et salicylique et donnent une coloration bleue indophénol. ISO 7150-1 : 1984
Phosphore total	La méthode de dosage du phosphore total repose sur l'oxydation de la matière organique et la conversion de l'une ou l'autre des catégories de phosphate en orthophosphate soluble, par l'action d'un acide et d'un agent oxydant. En milieu acide, le molybdate d'ammonium et le tartrate d'antimoine et de potassium réagissent avec l'orthophosphate pour former l'acide phosphomolybdique. Ce dernier est ensuite réduit par l'acide ascorbique pour former un complexe bleu intense, de type colloïdal. L'intensité de la couleur est proportionnelle à la concentration d'orthophosphates et est mesurée par spectrophotométrie à 880 nm. ISO 6878 : 2004

## **I.6. Les paramètres physico-chimiques et les méthodes d'analyses utilisées**

### **I.6.1. Les paramètres physiques**

- **La température (T) et le potentiel hydrogène (pH)**

Cette analyse a été réalisée selon la norme **NA.751/1990**; la mesure de la température est faite automatiquement à chaque mesure de pH et de la conductivité électrique à l'aide d'un thermomètre intégré dans l'appareil de mesure, la température est donnée en degrés Celsius (°C). A l'aide d'un pH-mètre nous plongeons la sonde dans les échantillons, et nous agitions pour s'assurer de la fiabilité du résultat, le pH- mètre utilisé est de type sension (Hach) avec un agitateur magnétique. **(Voir annexe I)**

- **La conductivité électrique (CE)**

Cette analyse a été réalisée selon la norme **NA 749**, après réglage du conductimètre équipé d'une électrode de mesure et d'une sonde de température, la sonde est plongée dans les béchers des surnageant des échantillons après une stabilité, la lecture des résultats de la conductivité seront exprimés en micro siémens par centimètre ( $\mu\text{S/cm}$ ). **(Voir annexe I)**

- **Les matières en suspension (MES)**

Les matières en suspension sont déterminées selon la norme **ISO 11923**. Ce mode opératoire a pour objet le dosage des matières en suspension dans les échantillons par filtration sur filtre en fibres de verre (voir annexe). La teneur en MES est calculée d'après l'expression suivante :

$$P = \frac{(M1 - M2)}{V} \times 1000$$

P : teneur en matières en suspension (mg/l).

V : volume d'eau utilisé (ml).

M0 : masse du papier filtre avant utilisation (mg).

M1 : masse du papier filtre après utilisation (mg)

### **I.6.2. Les paramètres chimiques**

- **La demande chimique en oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène est déterminée par la méthode Kit HACH LCK 114 et 314 et selon les normes **NF T 90-101 / ISO 6060:1989**, cette technique mesure en laboratoire la quantité d'oxygène consommée par l'oxydation chimique (à l'aide d'un oxydant à chaud, pendant 2 heures) des matières organiques ou minérales présentes dans l'effluent, La valeur de la concentration de DCO s'affichera directement sur l'écran du spectromètre en  $\text{mg O}_2/\text{l}$ . (la concentration en masse d'oxygène consommé par la matière organique présente dans l'échantillon) **(Voir annexe I)**

- **La demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)**

La détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) est effectuée par la méthode instrumentale OxiTop et selon la norme **ISO 5815 : 2003**. La DBO<sub>5</sub> exprime la quantité d'oxygène (mg/l) nécessaire à l'oxydation de la matière organique biodégradable par voie biologique en cinq jours à 20 °C et à l'obscurité, La valeur de la DBO<sub>5</sub> est approximativement estimée à 80% de la valeur de DCO mesurée, choisir le volume de la prise d'essai selon les intervalles de la mesure de la DBO<sub>5</sub> (**Voir annexe I**).

La valeur de la DBO<sub>5</sub> (en mg/l) est la valeur lue directement sur l'écran digital de l'OxiTop® multipliée par le facteur donnée dans le tableau ci-dessus, selon :

Valeur lue x Facteur= DBO<sub>5</sub> en mg/l

- **Dosage de l'azote total**

L'azote total est déterminé selon la norme **AFNOR NF T90 110**. Il est dosé par la méthode des Kit LCK 338 et 238, La valeur de la concentration de l'azote total est donnée directement par le spectrophotomètre en mg/l (**Voir annexe I**).

- **Dosage de l'ammonium**

L'ammonium est dosé par la méthode des kits HACH LCK 302/303 et 305 et selon la norme **ISO 7150-1 : 1984**. La valeur de la concentration de l'ammonium est donnée directement par le spectrophotomètre en mg/l de N-NH<sub>4</sub> (**Voir annexe I**).

- **Dosage du phosphore total**

Le phosphore total est dosé par la méthode Kit HACH LCK 350 et selon la norme **ISO 6878 : 2004**. La valeur de la concentration du phosphore totale est donnée directement par le spectrophotomètre en mg/l de P-PO<sup>-3</sup><sub>4</sub> (**Voir annexe I**).

## **I.7. Analyses microbiologiques**

Dans cette étude, notre objectif était de recherché les bactéries indicatrices de contamination fécale (Coliformes et Streptocoques) et de recherché les bactéries pathogènes (Salmonelles et Vibrions cholériques)

Deux méthodes d'analyses ont été utilisées :

- Méthode de filtration sur membrane en esters de cellulose, de porosité 0,45 µm, susceptible de retenir les bactéries indicatrices de contamination fécale (Coliformes et Streptocoques)

- Méthode ensemencement sur gélose spécifique pour détecter les bactéries pathogènes (Salmonelles et Vibrions cholériques)

### **I.7.1. Préparation des dilutions décimales**

Conformément aux normes **AFNOR NF VO8-010 :2014** et **ISO 6887-1:2017**, nous avons effectués des dilutions décimales pour chaque échantillon à l'aide d'eau distillée stérile; ou avec un tampon de phosphate dans des conditions aseptiques et minutieuses.

Les dilutions suivent des séries logarithmiques dont les termes sont en progression géométriques : 0.1 ; 0.01 ; 0.001 ; ...etc.

#### ➤ **Préparation des solutions mères :**

Les solutions mères utilisées dans ces analyses ont été préparées à partir du surnageant de chaque solution récupéré comme suit :

- 200 ml d'eau brute décanté pendant 2 h (ED)
- 200 ml d'eau brute + 0.10 g de poudre de graine de *M. oleifera* séché décanté pendant 2h (ETS2)
- 200 ml d'eau brute + 0.10 g de poudre de graine de *M. oleifera* séché décanté pendant 4h (ETS4)
- 200 ml d'eau brute + 0.10 g de poudre de graine de *M. oleifera* fraîche décanté pendant 2h (ETFF2)
- 200 ml d'eau brute + 0.10 g de poudre de graine de *M. oleifera* fraîche décanté pendant 4h (ETF4)

#### ➤ **Préparation des dilutions :**

Les dilutions utilisées dans cette étude varient de ( $10^1 - 10^{-5}$ ) et elles ont été préparées comme suit :

- Dilution  $10^1$  : consiste à la prise directe de la solution mère (surnageant).
- Dilution  $10^{-1}$ : dans un flacon stérile contenant 90ml d'eau distillée stérile + 10ml d'eau à analyser ( $10^1$ ).
- Dilution  $10^{-2}$ : Dans un deuxième flacon stérile contenant 90ml d'eau distillée stérile + 10ml d'eau à analyser à la dilution  $10^{-1}$

### **I.7.2. Colimétrie et Streptométrie par filtration sur membrane**

Cette analyse a été effectuée selon la norme **ISO 9308-1:2014** et **ISO 7899-2:2000**, elle consiste à compter les coliformes et les streptocoques, en faisant passer à travers une membrane filtrante un volume connu d'échantillon d'eaux résiduaires (ou d'une dilution de cet échantillon). Cette membrane est un papier-filtre spécial, à pores suffisamment petits (0,45  $\mu\text{m}$ ). Cette

dernière est ensuite placée sur un tampon absorbant saturé d'un milieu de culture (gélose au Tergitol et au TTC pour les coliformes (totaux et fécaux) et Slanetz et Bartley pour les streptocoques fécaux) l'incubation se fait à 37°C pendant 24h et 48h respectivement.

Pendant l'incubation, chacune des bactéries donne naissance à une colonie bactérienne. Une fois l'incubation terminée, nous comptons les colonies et déduire le nombre de bactéries pour 100 ml d'eau (OMS, 1997). Les coliformes totaux apparaissent sous forme de petites colonies jaunes ou orangées, lisses légèrement bombées (Fig.7) (Annexe I).

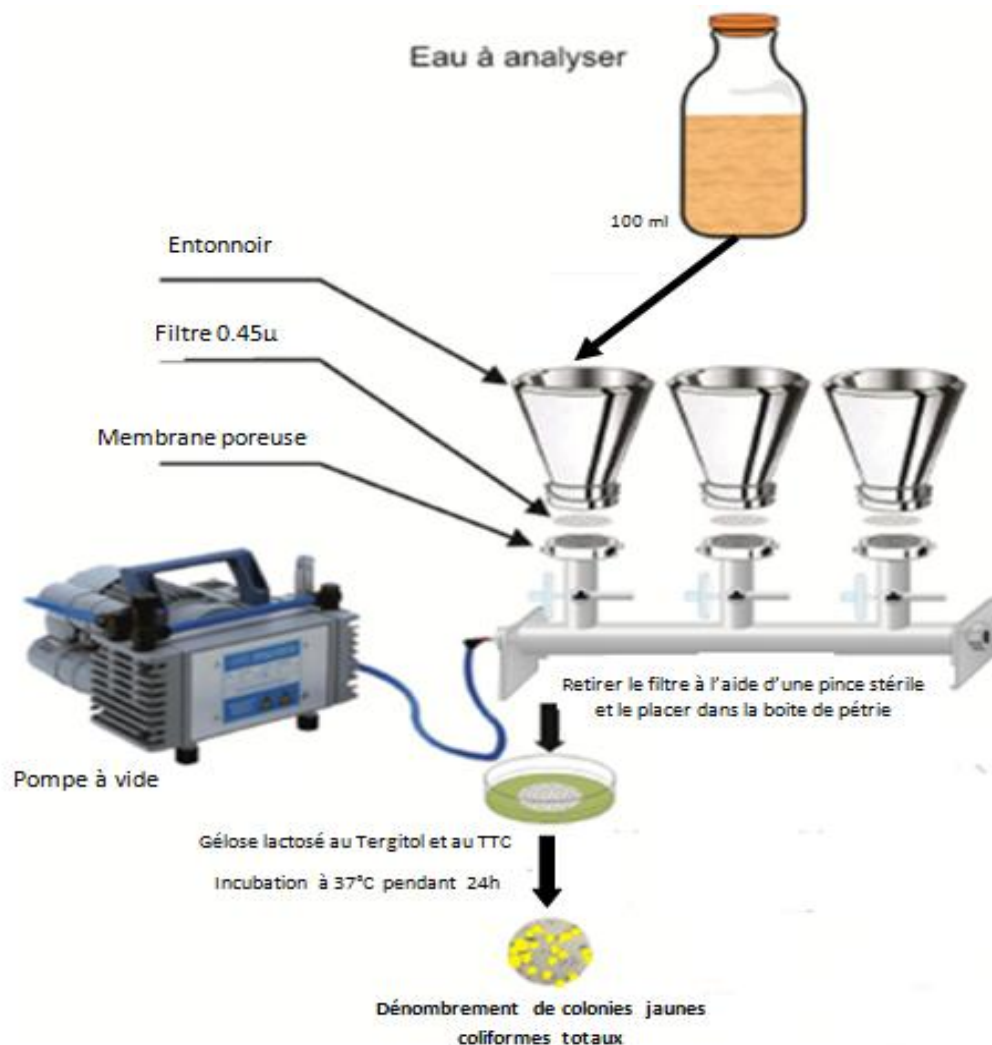


Figure. 7 : Colimétrie par filtration sur membrane (Personnelle, 2018)



### 1.7.2.1. La recherche des coliformes thermotolérants cas d'*Escherichia coli*

Un repiquage a été effectué à partir des anciennes boîte (gélose au Tergitol et au TTC) dans un milieu Schubert muni d'une cloche (tube) incubation à 44°C pendant 24 heures (**Fig. 8**)

#### ➤ Lecture et interprétation

- Le résultat est primitivement positif quand nous enregistrons un virement de couleur du milieu et un dégagement gazeux dans la cloche

Pour confirmation :

- Rajouter une goutte de réactif Kovacs, s'il ya apparition d'un anneau rouge cela signifiera la présence d'indole (indole +)
- Prendre quelques colonies du milieu TSA et mettre sur un disque d'oxydase pré-imbibé, pour mettre en évidence l'enzyme la phénylène diamine oxydase, cette enzyme est capable d'oxyder le réactif N diméthyl paraphénylène diamine.
- Si la colonie prend une teinte rose, violette. Le germe possède une oxydase : le test est positif.
- Si la colonie reste incolore, le germe ne possède pas d'oxydase, le test est négatif.

#### ➤ Lecture et interprétation

- les *E. coli* sont indole + oxydase -,
- Le résultat est exprimé en présence ou absence de coliformes fécaux (*E. coli*) par 100 ml d'eau à analyser.

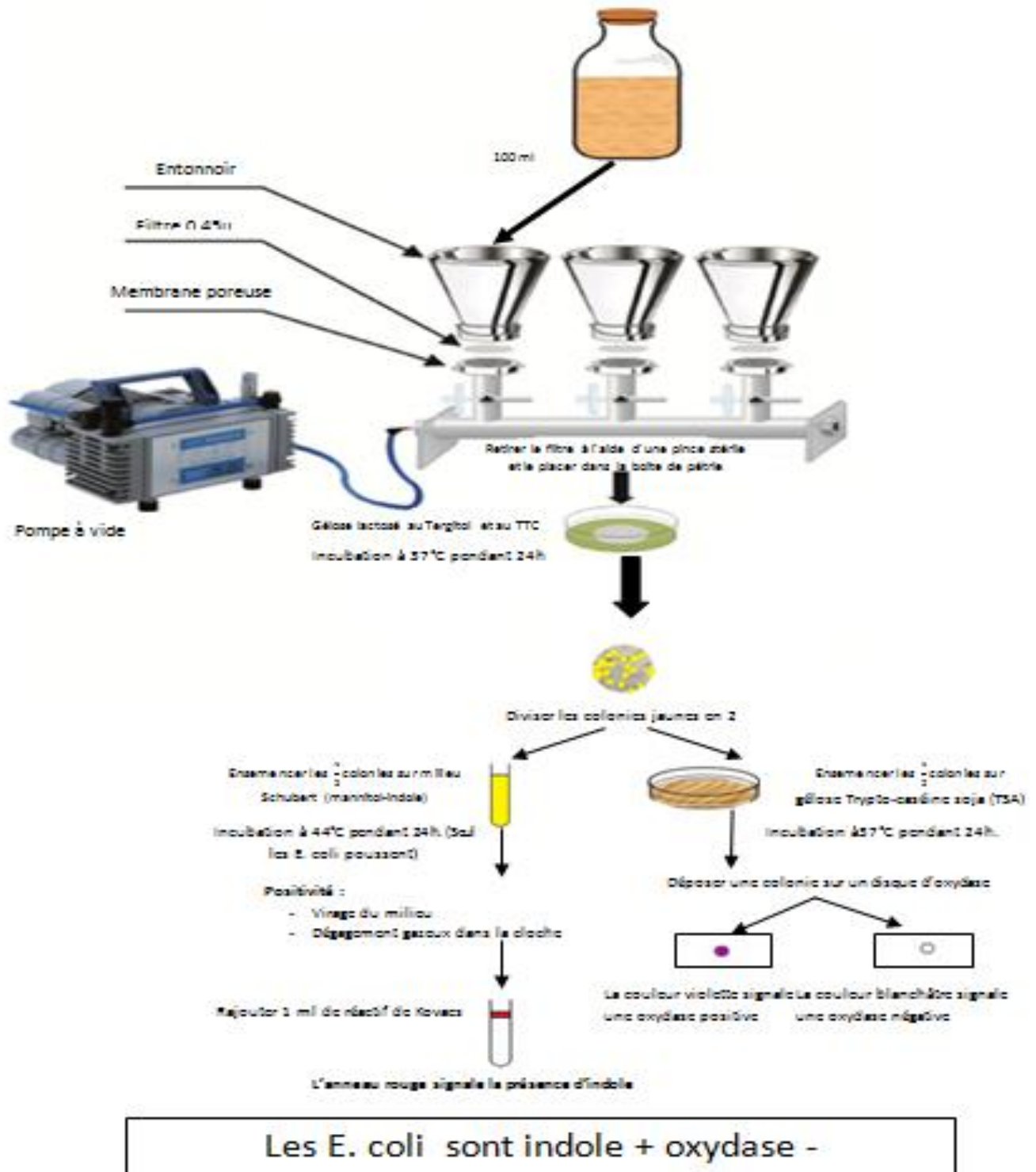


Figure. 8 : Colimétrie par filtration sur membrane, recherche de *E.coli* (Personnelle, 2018)

### • I.7.2.2. La recherche des streptocoques fécaux

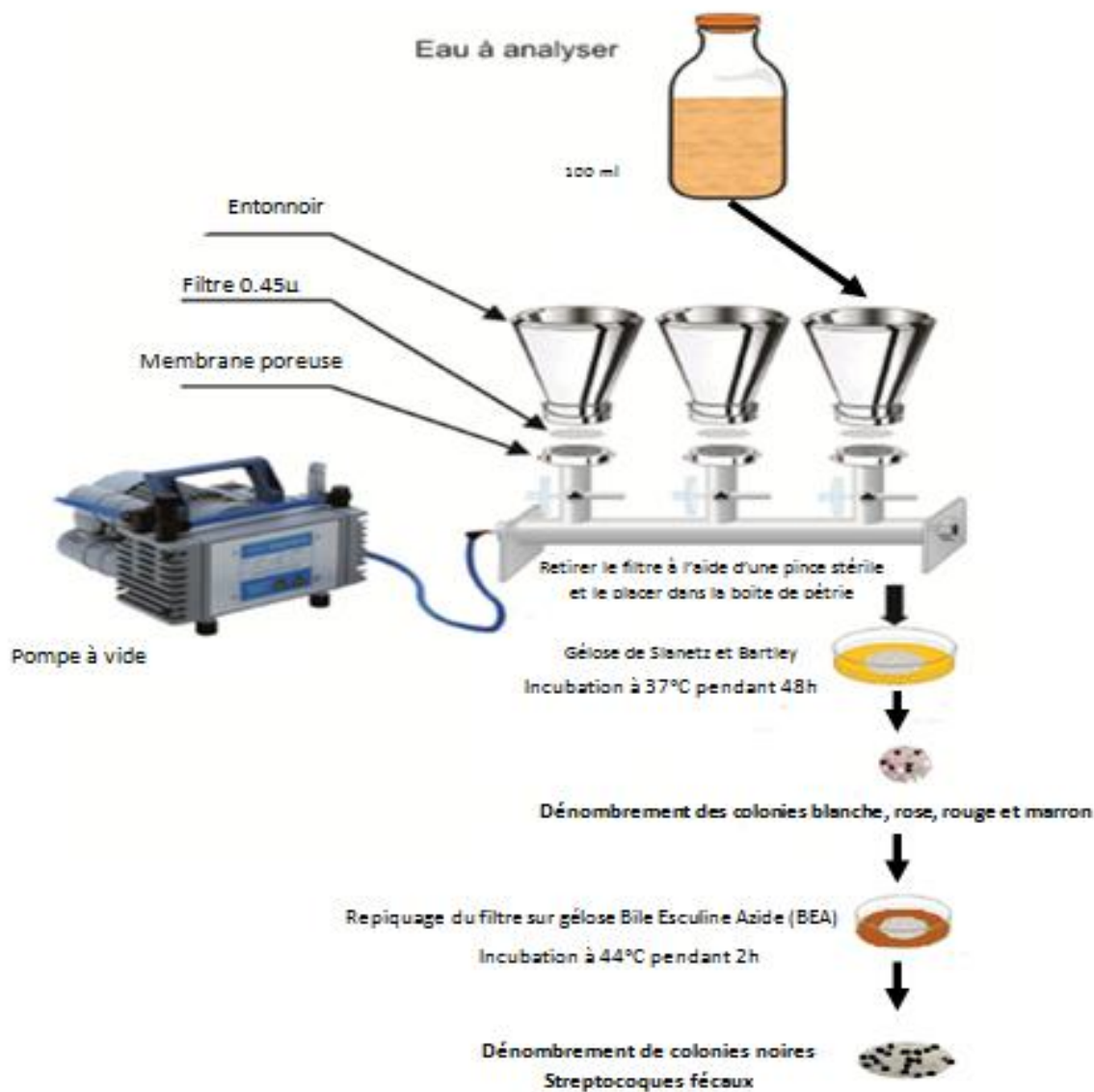
Pour la recherche des streptocoques fécaux, l'incubation se fait à 37°C pendant 48h. Les streptocoques fécaux apparaissent sous forme de petites colonies blanches, roses, rouges, ou marron, lisses et légèrement bombées sur la membrane dès la fin de l'incubation (Fig. 9).

➤ Pour la confirmation des streptocoques fécaux :

- Relevé le filtre de l'ancienne boîte (gélose Slanetz et Bartley) et le mettre dans une nouvelle boîte de gélose Bile Esculine Azide (BEA)
- Incubé la boîte à 44°C pendant 2 heures.

➤ **Lecture et interprétation**

- Les colonies deviendront noires.
- Les résultats sont exprimés en nombre de colonies trouvées par 100 ml d'eau à analyser.



**Figure. 9 : Streptométrie par filtration sur membrane (Personnelle, 2018)**

### **I.7.3.La recherche des *Salmonella***

D'après **ISO/TS 6579-2 :2012**, La recherche des Salmonelles se fait en 4 étapes comme l'indique le schéma de la **Fig.10**

**1ere étape :** Un enrichissement primaire s'effectue sur le milieu sélénite-cystéine SFB.

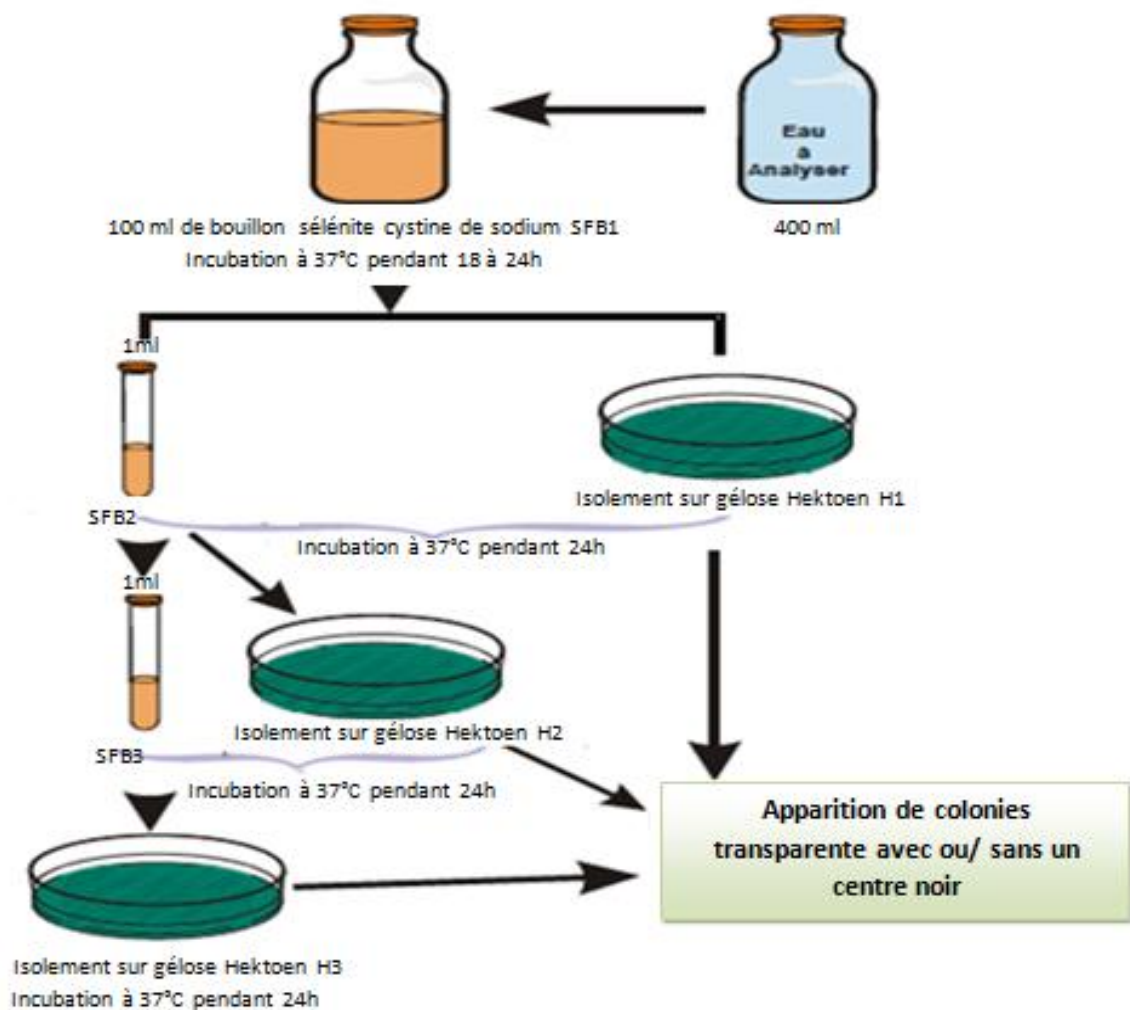
A partir de l'eau à analyser porter aseptiquement 50ml dans un flacon contenant 100ml de bouillon sélénite-cystéine, la solution obtenue est appelée SFBI, elle sera incubée à 37°C pendant 18 à 24 heures.

**2eme étape :** La solution SFBI fera l'objet d'une part, d'un deuxième enrichissement (SFBII) qui consiste à ensemencer 1ml du SFBI dans un tube contenant 10ml de bouillon sélénite-cystéine. D'autre part, d'un isolement sur gélose HEKTOEN (HI). L'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures.

**3eme étape :** D'une part, le bouillon SFBII fera l'objet d'un troisième enrichissement (SFBIII) qui consiste à ensemencer 1ml du SFBII dans un tube contenant 10ml de bouillon sélénite-cystéine, et un isolement sur gélose HEKTOEN (HII) puis incubation à 37°C pendant 24 heures. D'autre part, la gélose (HI) subira une lecture.

**4eme étape :** D'une part, le bouillon SFBIII fera l'objet d'un isolement sur gélose HEKTOEN (HIII) puis incubation à 37°C pendant 24 heures. D'autre part, la gélose HII subira une lecture. Les boites de gélose HEKTOEN subiront une lecture qui se limite à la présence ou l'absence de colonies spécifiques et en tenant compte du fait que les Salmonelles se présentent le plus souvent sous forme de colonies grises bleues, vertes bleues avec ou sans centre noire d'une taille très petite.

**Note :** Le sélénite présent dans le milieu d'enrichissement, inhibe la croissance des Coliformes et les Entérocoques et enrichit les *Salmonella* et *Proteus* (milieu sélectif).



**Figure.10 : Recherche des Salmonelles (Personnelle, 2018)**

## ❖ L'identification par Galerie Api 20<sup>E</sup>

### ➤ Principe :

Les galeries Api, utilisent plusieurs types de tests : étude de la fermentation de divers glucides, auxanogramme, recherche directe d'un enzyme. Chaque tubule contient un substrat différent sur lequel le micro-organisme considéré va réagir. Ils sont remplis d'une suspension bactérienne calibrée (Fig. 11)

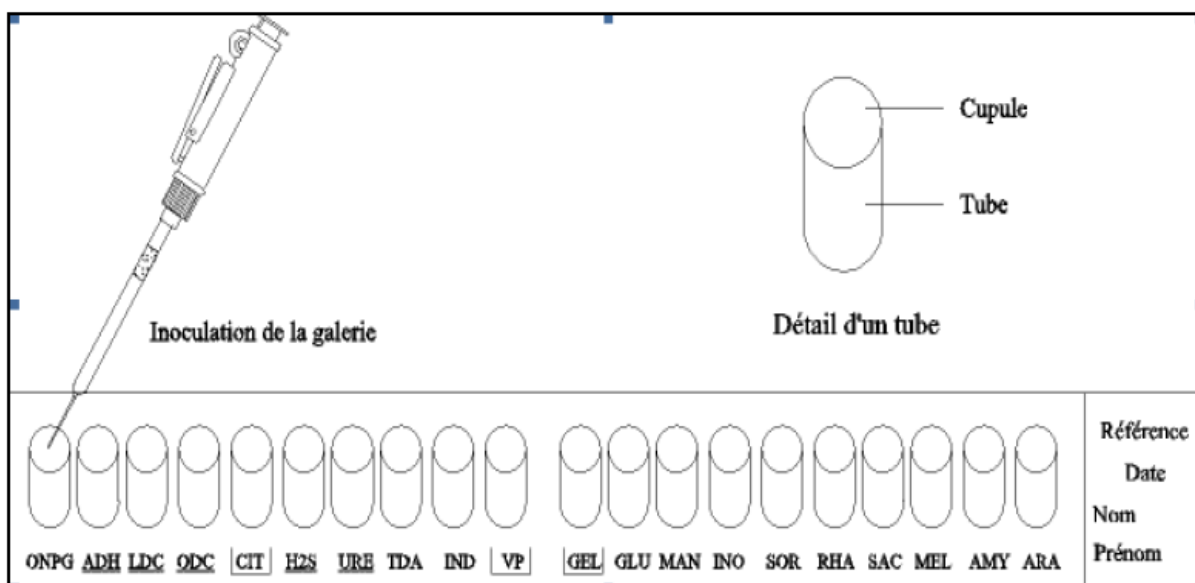
### ➤ Mode opératoire :

A l'aide d'une pipette, on réalise une suspension de la souche à étudier à partir d'une seule colonie isolée sur milieu gélosé et 5 ml d'eau distillée stérile ou d'eau physiologique, puis on remplit les cupules de la galerie en évitant les bulles d'air. En ce qui concerne les substrats dont le sigle est encadré, la cupule doit aussi être remplie de manière à créer un ménisque. Quant aux substrats dont le sigle est souligné, la cupule doit être remplie d'huile de paraffine soit pour créer l'anaérobiose (absence d'oxygène), soit pour maintenir en solution les ions volatils produits par la

réaction et ainsi assurer le virage de l'indicateur coloré de pH. Les creux du support de la galerie doivent être remplis d'eau pour former une chambre humide, puis la galerie est posée dans le support et le couvercle par dessus. L'ensemble est incubé à 37°C pendant 24h.

➤ **Lecture :**

Après addition des réactifs nécessaires à la révélation de différents tests, la galerie est lue conformément aux indications du fabricant et codée à l'aide du tableau de lecture et l'identification obtenue à l'aide du tableau d'identification du catalogue analytique (**voir annexe IV**)



**Figure. 11 : Galerie Api 20E**

➤ **Lecture :** On observe soit :

- **Des colonies rouges :** *Enterobacter*, *Klebsiella* et autres coliformes tels *E.coli*
- **Des colonies incolores transparentes :** *Salmonella* à H<sub>2</sub>S-, *Shigella*, *Serratia*, *E.Hafniae*, *Alkalescens*, *Proteus morgani*.
- **Des colonies incolores à centre noir :** *Salmonella* à H<sub>2</sub>S +, *Proteus vulgaris* et *mirabilis*
- **Des colonies à centre orangé :** *Proteus rettgeri*, *Providencia*
- **Des colonies rouges à centre noir :** *Citrobacter freundii* (en réalité seul le centre noire est visible d'où confusion avec *Salmonella*), *Arizona* (même remarque) (adaptée de **Dahel Zanat. 2009**)

### I.7.4.La recherche des *Vibrions*

La recherche des vibrions cholériques a été réalisé en 3 étapes selon ISO /TS 21872-1 :2007 (Fig. 12)

**1ère étape :** Un enrichissement primaire s'effectue sur le milieu Eau Péptonée Alcalin (EPA). A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement 50ml dans un flacon contenant 50ml de milieu EPA 10 fois concentré, puis incubé à 37°C pendant 6, 18 à 24 heures. La solution obtenue est appelée EPA I.

**2ème étape :** La solution EPA I fera l'objet, d'une part d'un deuxième enrichissement qui consiste à ensemencer 1ml d'EPA I dans un tube contenant 10 ml d'EPA (EPAII).

D'autre part, d'un isolement sur GNAB I (Gélose Nutritive Alcaline Biliée).

L'incubation de ces cultures est à 37°C pendant 24 heures.

**3ème étape :** Le tube EPA II fera l'objet d'un isolement sur GNAB II puis incubation à 37°C pendant 24 heures et d'autre part la boîte gélose GNAB I subira une lecture.

La lecture se limite à la présence ou l'absence de colonies spécifiques, en tenant compte que les vibrions se présentent le plus souvent sous forme de colonies lisses et transparentes.

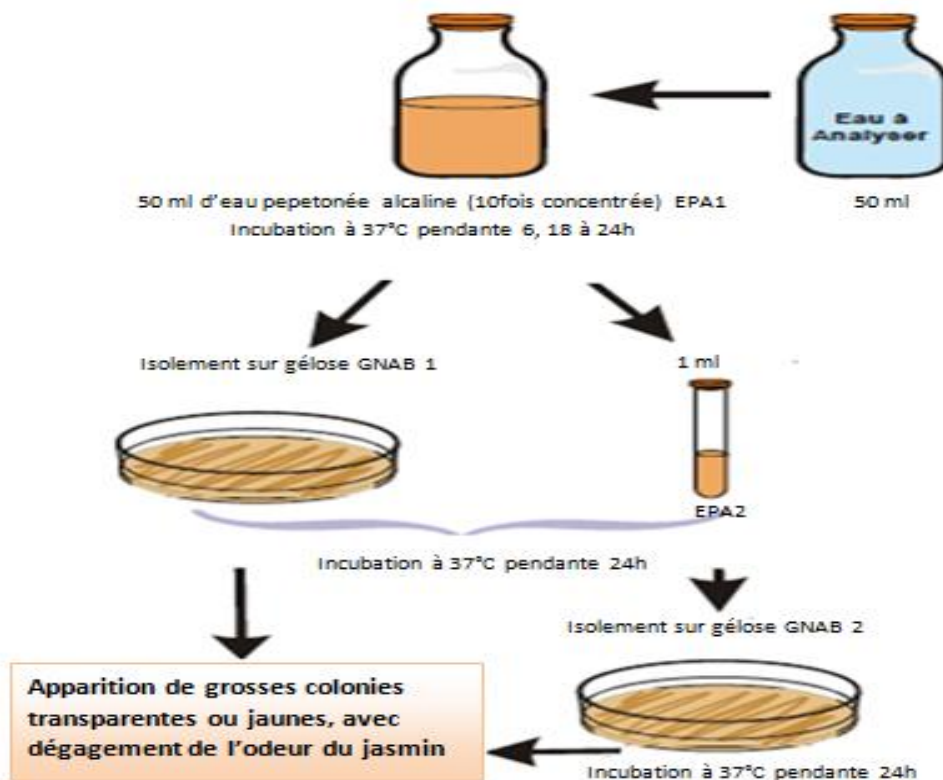


Figure. 12 : Schéma récapitulatif sur la recherche de *Vibrio cholérique* (Personnelle, 2018)

## I.9. Normes de rejet

Avant qu'elles ne soient rejetées dans le milieu récepteur naturel, les eaux usées doivent impérativement obéir à des normes établies pour protéger ces milieux contre tout type de pollution. Pour cela, elles sont acheminées vers une station d'épuration ou elles subissent plusieurs phases de traitement.

L'OMS (1989) et le Décret exécutif n° 06-141 du 19 Avril 2006, du Journal Officiel de la République Algérienne réglementant les rejets d'effluents liquides et fixent les valeurs limites de ces rejets (Voir **Annexe III**).

## I.10. Normes de biodégradabilité

Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> a une importance pour la définition de la chaîne d'épuration d'un effluent. En effet, une valeur faible de ce rapport implique la présence d'une grande proportion de matières biodégradables et permet d'envisager un traitement biologique.

Inversement, une valeur importante de ce rapport indique qu'une grande partie de la matière organique n'est pas biodégradable et, dans ce cas, il est préférable d'envisager un traitement physico-chimique (**Yapo et al., 2009**) (Voir **Annexe VI**)

## I.11. Rendements épuratoires

L'estimation des rendements d'épuration permet d'apprécier les performances du traitement biologique à boues activées et de graines de Moringa dans la pollution organique (DCO, DBO et MES) ainsi que la charge bactérienne.

Selon **Coste et Loudet (1987)**, les rendements d'épuration s'expriment en pourcentage, en considérant la concentration en amont (DCO, DBO et MES) et la concentration en aval en mg/l.

$$R = \frac{\text{la concentration en amont} - \text{la concentration en aval}}{\text{la concentration en amont}}$$



## I.12. Analyse statistique

La détection des différences entre les paramètres physique et chimique, microbiologique des échantillons à travers le test de Tukey.

Les paramètres de croissance sont exprimés en moyenne  $\pm$  la déviation standard ( $M \pm DS$ ), à partir du nombre de répétition technique est égal à 10. La comparaison des moyennes est effectuée par l'analyse de la variance à 1 facteur (ONEWAY ANOVA) et le test de TUKEY en utilisant le logiciel SPSS (v 20.0, Microsoft), à un seuil ( $p < 0.005$ ).

Les corrélations existantes entre les différents échantillons, les paramètres physique et chimique sont mises en évidence par une analyse en composantes principales (ACP) utilisant le logiciel PAST. Dans ce type de test, les différents échantillons ont des coordonnées comprises entre -1 et +1 et appartiennent à un cercle de corrélation. L'interprétation de l'ACP se fait à partir de l'examen du cercle de corrélation et de la position du statut des variables sur les axes factoriels (Philippeau, 1986).

# CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION

## II.1. Paramètres physico-chimique

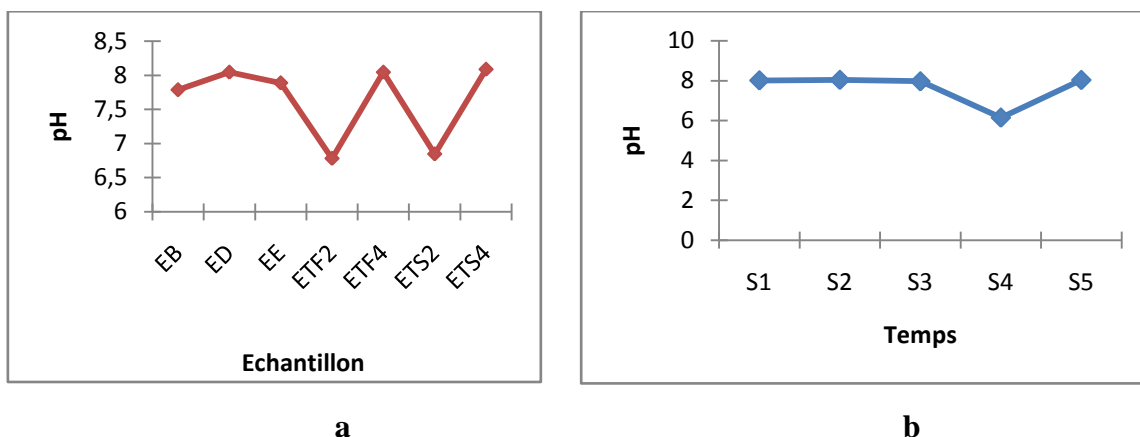
Les résultats d'analyses physico-chimiques des différents échantillons des eaux à savoir : Eau brute (EB), Eau décante (ED), Eau épurée (EE) et Eau traitée par les graines de Moringa (ETF, ETS) ont été effectués, pour montrer la qualité des eaux usées de la station d'épuration de Baraki avant et après traitements par les boues activées et par les graine de *M. oleifera*. Les résultats comparatifs et évolutifs entre les échantillons des eaux (testées), sont illustrés dans le **Tableau VIII (Annexe VI)**. Les résultats obtenus sont comparés avec les normes de l'OMS et JORA afin d'évaluer la qualité de ces eaux.

### II.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH).

La moyenne des valeurs de pH des échantillons étudiés pendant la période des prélèvements montre que pour l'eau brute (EB) est de 7.78, pour ED une moyenne de 8.04. Alors que pour l'eau traitée par les bous activées (EE) la moyenne enregistrée est de 7.88. Pour les résultats obtenus après traitement avec la graine de Moringa, nous avons relevé les moyennes suivantes 6.78, 6.84, 8.08 et 8.04 respectivement pour ETF2, ETF4, ETS2 et EST4 (**Fig.14**), les moyennes notée sont conforme à la norme donnée par l'OMS et de JORA.

Le test Tukey dont l'expression des valeurs du pH en fonction de la nature de l'échantillon, le traitement et la date de prélèvement sachant un prélèvement est effectué par semaine pendant 5 semaines. Ce résultat est confirmé par l'analyse de variance linéaire par une probabilité non significative ( $P : 1.58$ ,  $F : 1629$ ).

La comparaison par paire réalisée par le test de Tukey a classé tous les échantillons des eaux testés en fonction de la nature de l'échantillon et en fonction du temps dans un seul groupe (a).

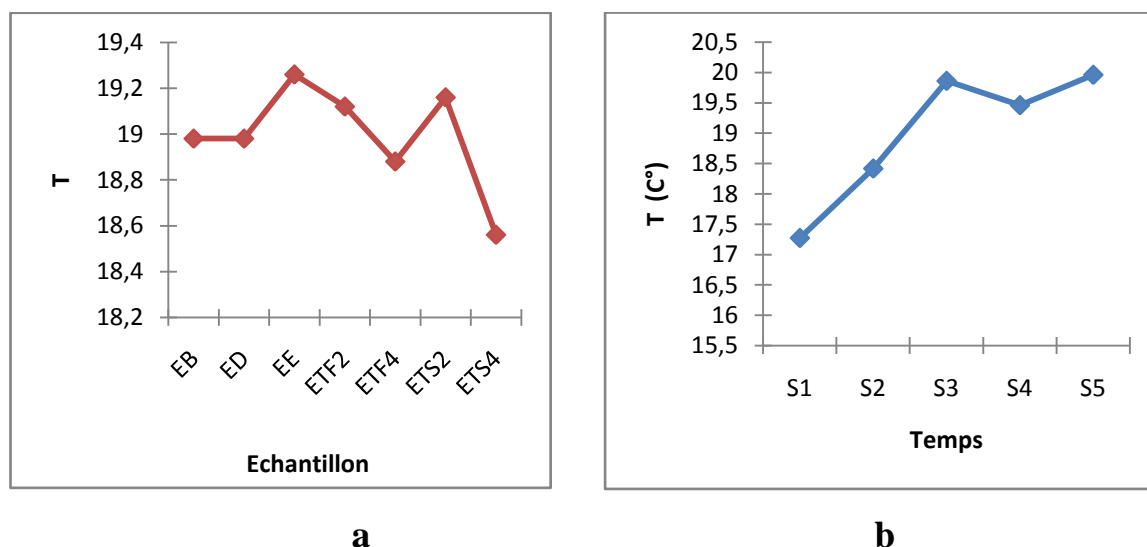


**Figure. 14 : Effets comparés de la variation du Potentiel d'hydrogène (pH) en fonction du de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)**

## II.1.2. Température (T)

A l'entrée des eaux usées, les valeurs des moyennes de la température des EB sont de 18.9°C, pour les EE la moyenne est de 19.26°C, pour les eaux traitées par les graines de Moringa les valeurs varient entre 18.56 à 19.16°C (**Fig.15.**).

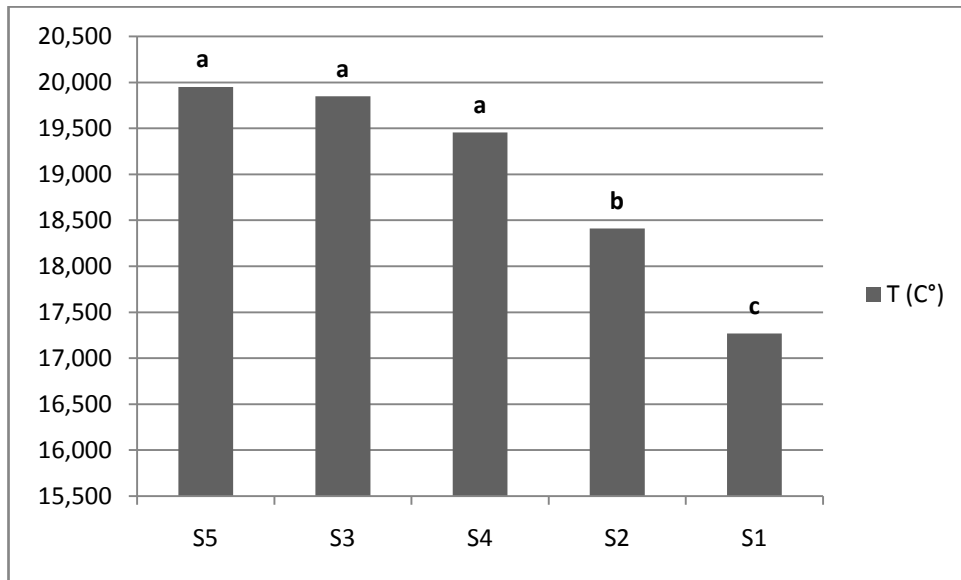
La Figure .b montre une nette variation de la température cela est due à une instabilité de la qualité des eaux à l'entrée. Cette augmentation dépend à l'origine des eaux usées que nous traitons, ou à une mauvaise décantation de la boue dans le clarificateur.



**Figure .15 : Effets comparés de la variation de la Température en fonction de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)**

Le test Tukey dont l'expression des valeurs des températures en fonction de la nature des échantillons, le traitement et la date de prélèvement. Ce résultat est confirmé par l'analyse de variance linéaire par une probabilité significative ( $P=0.001$ ,  $F = 18.977$ ).

La comparaison par paire réalisée par le test de Tukey a classé tous les échantillons des eaux testés en fonction de la nature de l'échantillon dans un seul groupe (a), et en fonction du temps elle est classé dans trois groupes, S5,S3,S4 dans le groupe (a), suivi par S2 dans le groupe (b) et S1 dans le groupe (c) (**Fig.16**).



**Fig.16 : Effets comparés de la variation de Température en fonction des dates de prélèvement**

### **II.1.3. Conductivité électrique (CE)**

Les valeurs de la conductivité de l'eau brute (EB), varient entre 1474 et 1574  $\mu\text{S}/\text{cm}$  avec une moyenne de 1524  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Pour les échantillons traités par les bous bioactives (EE) les valeurs varient entre 1450 et 1510  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Par contre pour les échantillons des eaux traitées par le Moringa nous avons enregistrées des valeurs qui diffèrent en fonction des dates de prélèvement respectivement pour ETF elles varient de 1031 à 1753  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et pour les ETS elles varient de 1031 à 2131  $\mu\text{S}/\text{cm}$

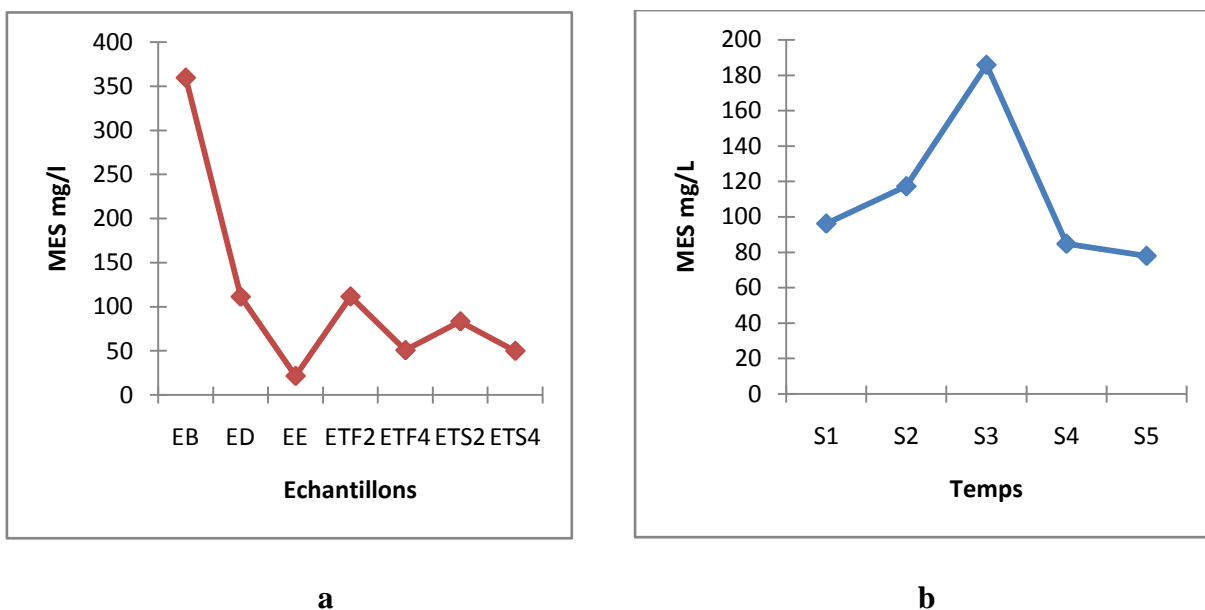
Nous notons que les valeurs la Conductivité électrique (CE) de tous les échantillons sont très élevées en comparant avec celles de la norme d'OMS 2006 (1250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Par contre les prélèvements des échantillons de la S4 et traitées par les graines de Moringa répondent aux normes.

### **II.1.4. Matières en suspension (MES)**

L'analyse des résultats des MES montre que les échantillons étudiés a savoir EB, ED, EE, ETF et ETS sont caractérisées par des concentrations moyennes ( mg/l) suivantes : (359.40 mg/l, 111,20 mg/l, 21.40 mg/l, 111.40 mg/l, 50.60 mg/l, 83.20 mg/l et 49.80 mg/l) respectivement, La diminution des MES dans les eaux épurées est due à l'élimination des matières colloïdales qui se présentent dans les effluents brutes par l'opération de dessablage qui élimine les particules minérales de granulométrie supérieure à 100  $\mu\text{m}$  et par floculation biologique dans les clarificateurs (**Fig.17**).

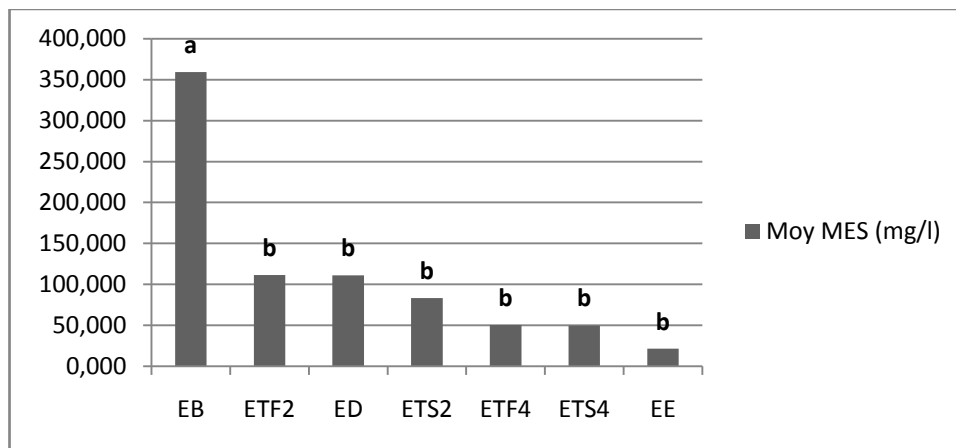
Pour les eaux traitées par le Moringa nous avons enregistré une nette diminution des MES cela peut être expliqué par le caractère floculant des graines de cette espèce végétale.

Les valeurs des EE trouvés sont conformes à la norme donnée par OMS (30 mg/l) et par JORA (35mg/l), ceci explique qu'après l'épuration des eaux usées les MES sont éliminées.



**Figure.17 : La variation de la MES en fonction de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)**

Le test Tukey dont l'expression des concentrations des MES dans les différents échantillons indique une diminution de cette dernière en fonction de la nature de l'échantillon. Ce résultat est confirmé par l'analyse de variance linéaire par une probabilité très significative ( $P : 0.000$  ;  $F : 6,232$ ). La comparaison par paire réalisée par le test de Tukey a classé respectivement EB dans le groupe (a), suivi par ETF, ED, ETS et EE dans le groupe (b) (Fig.18). Par contre ce test Tukey a classé les MES en fonction des dates de prélèvements en un seul groupe (a) avec une probabilité non significative.



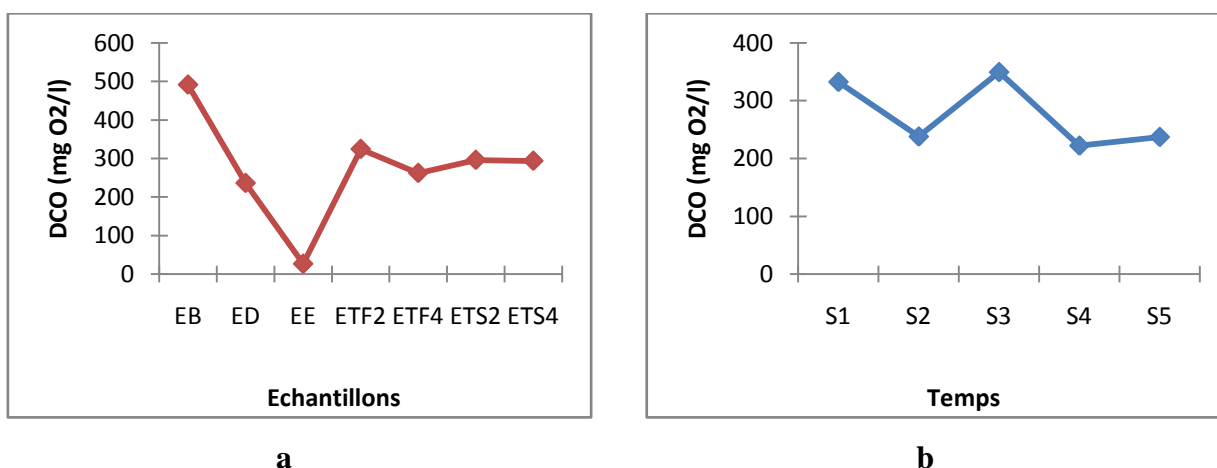
**Figure.18 : Effets comparés de la variation de la MES en fonction de la nature des échantillons**

## II.1.5. Paramètres de la pollution organique

### II.1.5.1. Demande chimique en oxygène (DCO)

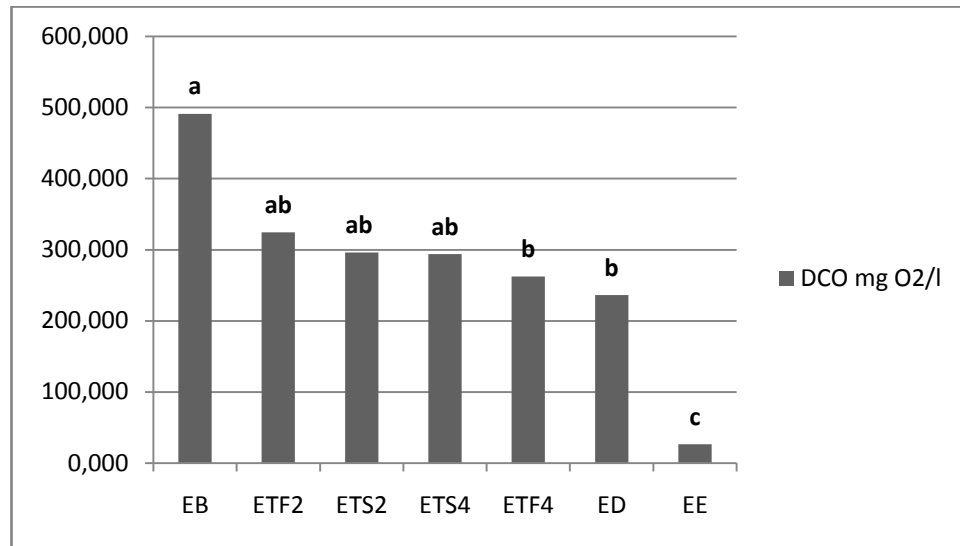
D'après la **Figure 19**, les résultats montrent à l'entrée (EB) une quantité moyenne de DCO de 491,2 mg O<sub>2</sub>/l et les valeurs de la DCO de l'eau traitée (EE) est de 26.72 mg O<sub>2</sub>/l, pour les eaux traitées par les graines de Moringa une diminution de DCO a été enregistré avec moyenne allant de 100 à 176 mg O<sub>2</sub>/l et de 293,8 à 324,4 mg O<sub>2</sub>/l en fonction du temps de traitement et la nature des graines (fraiche et sèche) (**Fig.19**).

Seulement les valeurs des deux échantillons EE et ETS4 répondent aux normes algériennes de rejets (<120 mg O<sub>2</sub>/l) et à celles de la communauté européennes (<125mg O<sub>2</sub>/l) ainsi qu'aux normes de l'OMS (<90 mg O<sub>2</sub>/l).



**Figure.19: La variation de la DCO en fonction de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)**

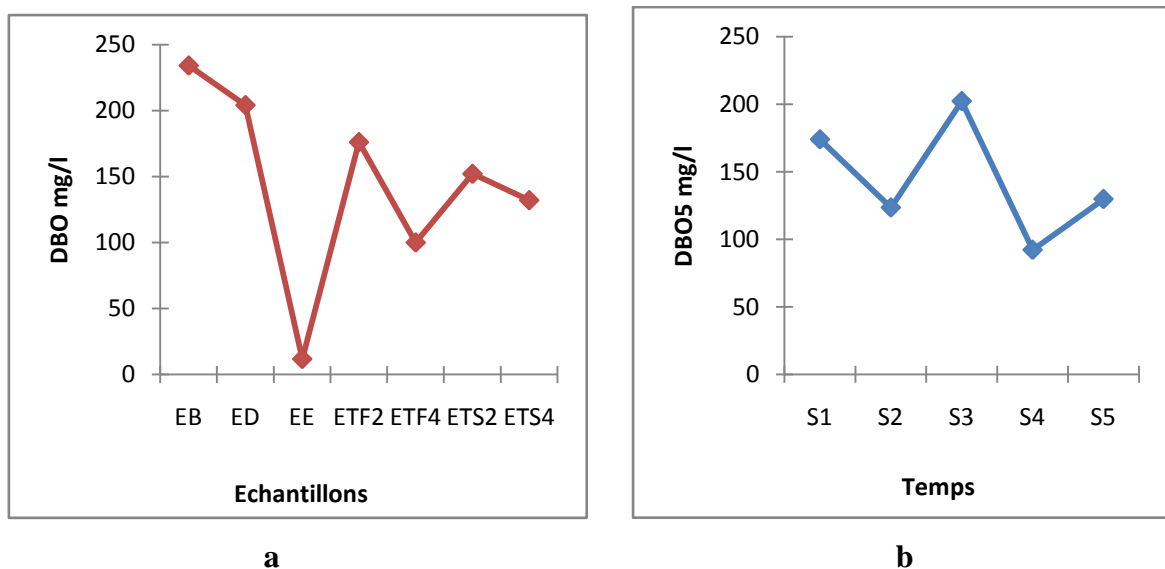
Le test Tukey dont l'expression des concentrations des Demande chimique en Oxygène (DCO) dans les différents échantillons indique une diminution de cette dernière en fonction de la nature du traitement. Ce résultat est confirmé par l'analyse de variance linéaire par une probabilité très significative ( $p=0.0001$ ,  $F=6,461$ ). La comparaison par paire réalisée par le test de Tukey a classé respectivement EB dans le groupe (a), suivi par ETF2, ED, ETS et EE) dans le groupe (b) (**Fig .20**). Par contre ce test a classé cette valeur dans un seul groupe en fonction du temps.



**Figure.20 : Effets comparés de la variation de la DCO de la nature des échantillons**

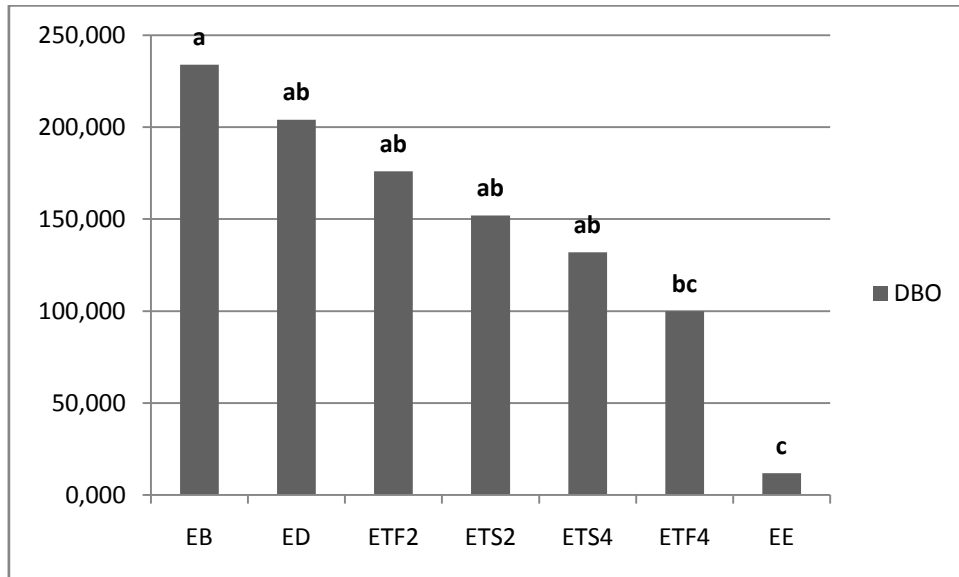
### II.1.5.2. Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

Les résultats de la **Figure 21** montrent que la Demande biologique en Oxygène DBO<sub>5</sub>, enregistrée durant notre expérimentation pendant cinq semaines, la moyenne de celle ci relevée dans EB est de 234 mg/l suivi par celle de ED 204 mg/l, la DBO des eaux traitées par les graines fraîches de Moringa est de 100 à 176 mg/l et pour les eaux traités par les graines sèches, elle est de 132 à 152 mg/l par contre nous avons enregistré une moyenne de 11.8 mg/l dans les EE . L'abaissement de ces valeurs de la DBO<sub>5</sub> dans l'eau épurée est dû au passage dans le dessableur, et dans les bassins d'aérations qui permettent l'élimination d'une quantité de la DBO<sub>5</sub> (pourcentage considérable des matières organiques et des matières minérales), mais la grande quantité de la DBO<sub>5</sub> est éliminée.



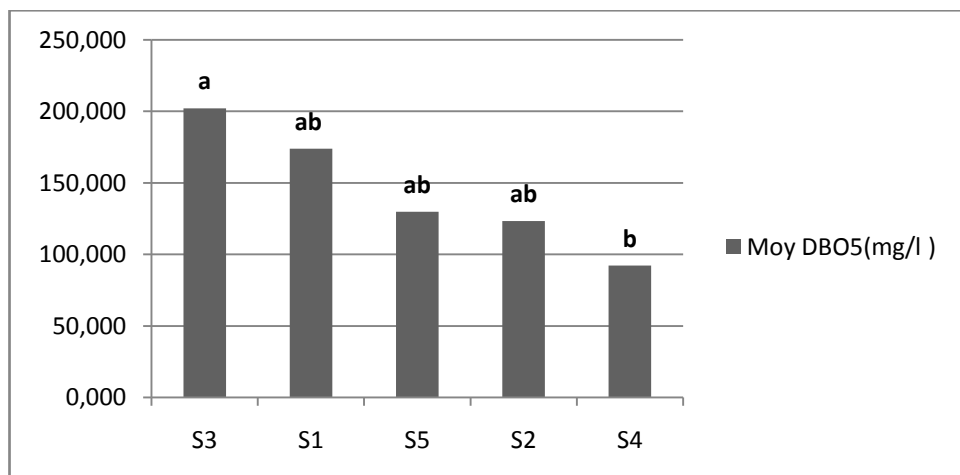
**Figure.21: La variation de la DBO<sub>5</sub> en fonction de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)**

Le test Tukey dont l'expression des concentrations des Demandes biologiques en Oxygène (DBO) dans les différents échantillons indique une diminution de cette dernière en fonction de la nature de l'échantillon. Ce résultat est confirmé par l'analyse de variance linéaire par une probabilité très significative ( $P : 0.0001$ ,  $F : 6,580$ ) (La comparaison par paire réalisée par le test de Tukey a classé respectivement EB dans le groupe (a), suivi par ED, ETF2, ETS2 et ETS4 dans le groupe (ab), ETF4 dans le groupe (bc) et EE dans un groupe a part (c) (Fig.22).



**Figure.22 : Effets comparés de la variation de la DBO<sub>5</sub> (mg/l) de la nature des échantillons**

Le test Tukey a la DBO en fonction des dates de prélèvements en trois groupes, les échantillons de la troisième semaine (S3) dans le groupe (a), ceux de la 1ère (S1), la deuxième (S2) et cinquième semaines (S5) dans le groupe (ab) et le prélèvement de la quatrième semaine (S4) dans le groupe (b), avec une probabilité significative ( $P : 0.011$ ,  $F : 2.547$ ) et cette valeurs a été confirmé par le test Newman keuls (SNK) (Fig.23).



**Figure.23: Effets comparés de la variation de la DBO<sub>5</sub> (mg/l) en fonction des dates de prélèvements**

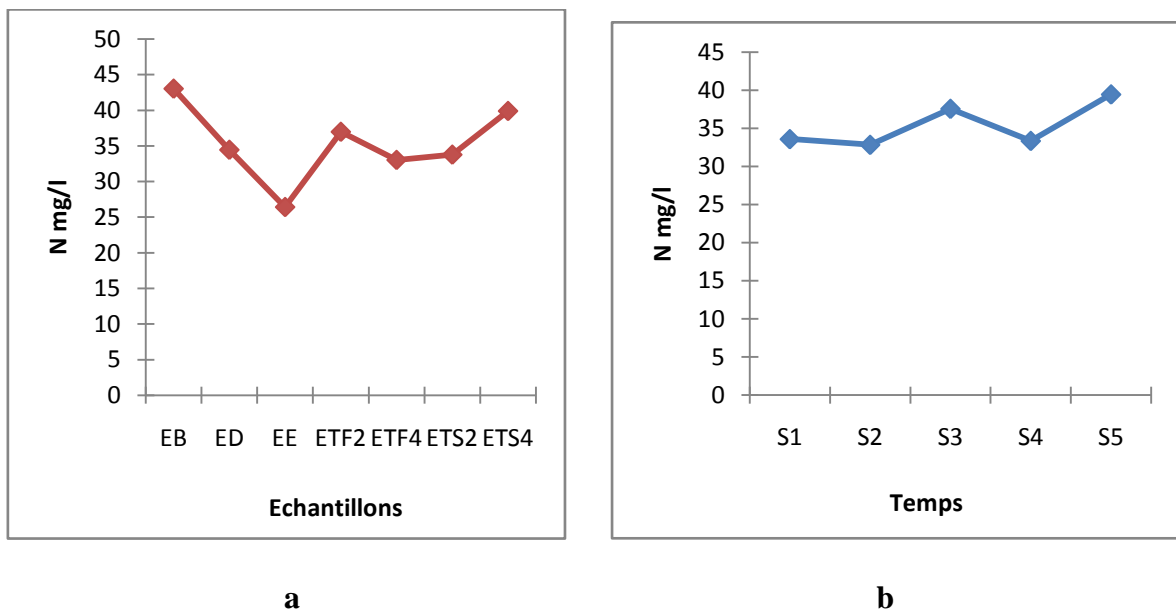


### II.1.5.3. Rapport de biodégradabilité de la (DCO/DBO<sub>5</sub>)

Les eaux usées peuvent être classées en deux catégories : biodégradables et non-biodégradables. Le calcul du coefficient de biodégradabilité des effluents des eaux brutes permet de définir la biodégradabilité de l'effluent. Nos résultats révèlent que les effluents à l'entrée de la station (EB) sont facilement biodégradables avec valeurs qui varient entre 0.98 et 1.87. Même résultat a été enregistré dans l'eau traitée par le Moringa avec les valeurs suivantes 1.36 et 3.06. Par contre les valeurs la plus élevée ont été relevé dans les eaux de la quatrième semaine avec une valeur de 12.36 qui est supérieure de 3 nous concluons que c'est un effluent industriel par contre l'eau épurée (EE), ces valeurs ont augmentées entre 1.30 jusqu'à 8.65 donc elles rendent l'effluent moyennement voir difficilement biodégradable. Ceci est probablement dû à un disfonctionnement des bassins d'aérations au niveau de la STEP qui se traduit par la réduction des microorganismes responsables de l'épuration.

### II.1.5.4. Azote totale (NT)

L'azote détecté dans l'eau usée est la somme de toutes les formes azotées (nitrite ; nitrate ; ammonium et azote organique) donc l'excès de l'azote total est dû aux valeurs très élevées pour ces formes. D'après la **Figure 24**, les valeurs des moyennes de l'azote total à l'entrée c'est-à-dire dans l'eau brute (EB) est de 43 mg/l tandis à la sortie c'est-à-dire l'eau épurée (EE) ou l'eau traité est de 26,38 mg/l, pour les eaux traité par les graines de Moringa (sèche ou fraîche) les valeurs sont compromises entre 33 et 39.88 mg/l. Les valeurs de l'eau traitées sont inférieures à 50 mg/l et par conséquent elles répondent aux normes.



**Figure.24 : La variation de l'azote total en fonction de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)**

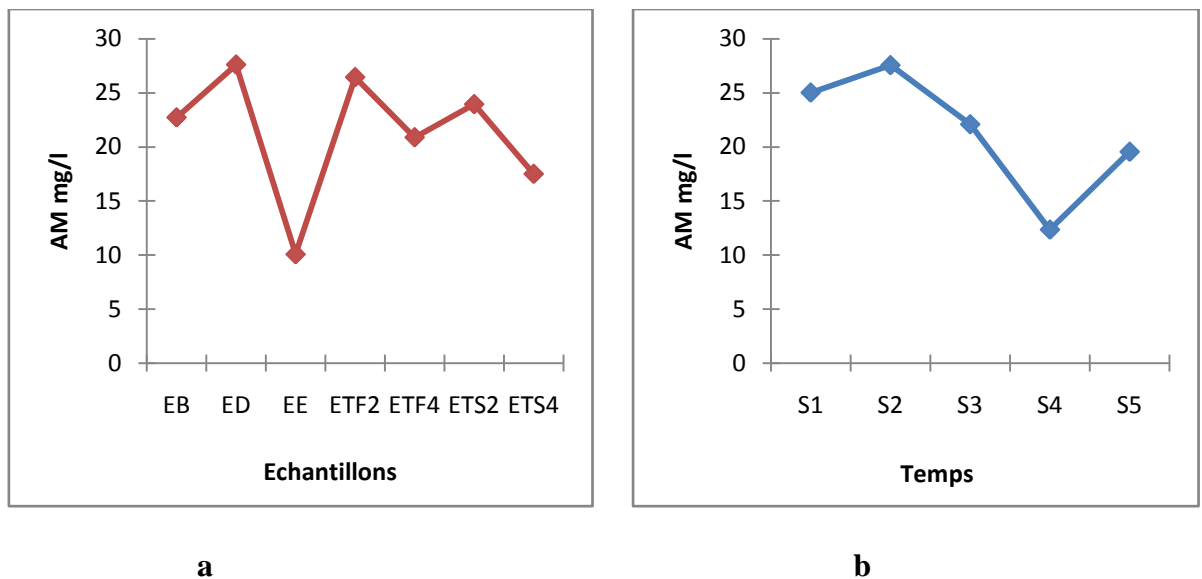
Le test Tukey dont l'expression des valeurs de l'azote totale (NT) en fonction de la nature de l'échantillon et la date de prélèvement sachant un prélèvement est effectué par semaine pendant 5 semaines. Ce résultat est confirmé par l'analyse de variance linéaire par une probabilité non significative (P : 0.88, F : 0.486).

La comparaison par paire réalisée par le test de Tukey a classé tous les échantillons en fonction de leurs natures et de leurs dates de prélèvements dans un seul groupe (a).

### II.1.5.5. Azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )

Selon la **Figure 25** la teneur en  $\text{NH}_4^+$  à l'entrée de la station avec une moyenne de 22.7 mg/l. A la sortie de la station cette teneur est de 10.07 mg/l, pour les eaux traitées par les graines de Moringa (sèche ou fraîche) les valeurs sont compromises entre 17.55 et 27.66 mg/l. Les valeurs de l'eau traitées sont inférieures à 50 mg/l et par conséquent elles répondent aux normes de l'OMS

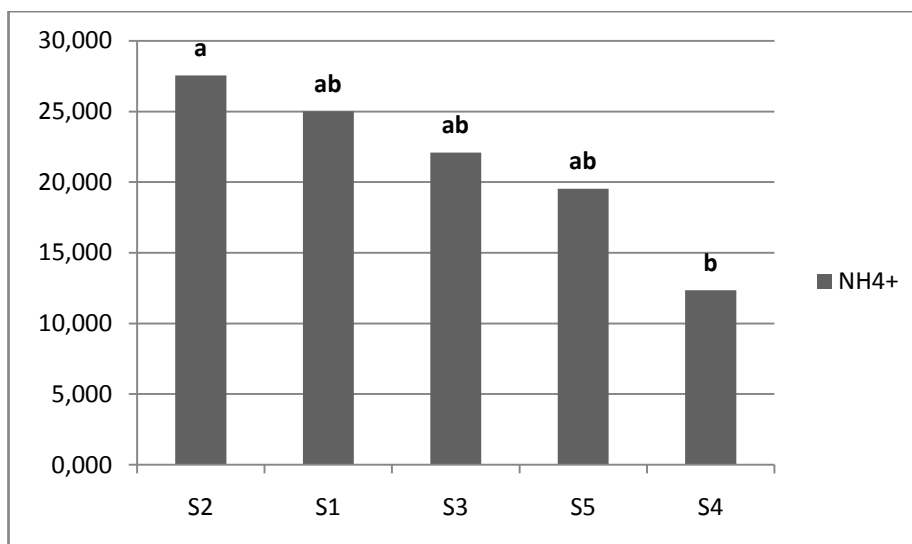
Ces valeurs très probablement sont dues à la charge polluante importante en azote organique transporté par les effluents (**Abderrahim, 2015**).



**Figure. 25 : La variation de l'azote ammoniacal en fonction de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)**

Le test Tukey dont l'expression des valeurs de l'azote ammoniacal en fonction de la nature de l'échantillon a montré une probabilité non significative, ce résultat est confirmé par une analyse de variance.

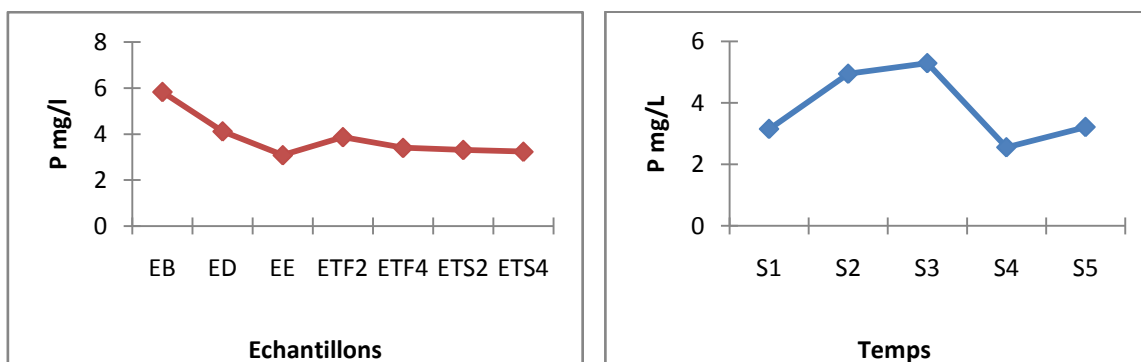
La comparaison par paire réalisée par le test de Tukey a classé tous les échantillons dans un seul groupe (**a**). par contre le test Tukey a classé le taux de l'azote ammoniacale en fonction des dates de prélèvements en trois groupes, les échantillons de la deuxième semaine ( S2) dans le groupe (**a**) , ceux de la 1ère (S1) , troisième (S3) et cinquième semaines (S5) dans le groupe (**ab**) et le prélèvement de la quatrième semaine (S4) dans le groupe (**b**), avec une probabilité significative (P : 0.042) et cette valeurs a été confirmé par le test Newman keuls (SNK) (**Fig.26**).



**Figure.26 : Effets comparés de la variation de la Azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) mg/l en fonction des dates de prélèvements**

### II.1.5.6. Phosphores Totale (PT)

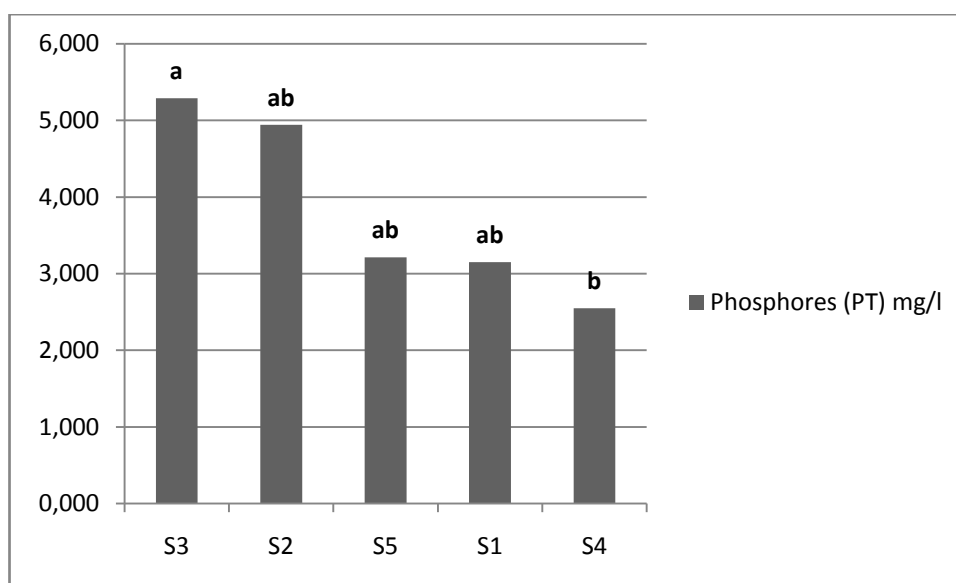
Selon la **figure 27**, à l'entrée, les valeurs de Phosphores Totale (PT) dans l'EB sont très élevées ; la moyenne des cinq prélèvements est de 5.88 mg/l. A la sortie de la STEP la moyenne du phosphore relevé dans l'eau épurée (EE) est de 3.07 mg/l, une nette réduction a été notée. Pour les essais de traitement par les graines de Moringa nous avons enregistré des valeurs qui varient de 3.22 à 3.86 mg/l, Nous pouvons déduire que les valeurs du Phosphores Totale (PT) relevés dans les traitements ne sont pas conformes aux normes, l'OMS et de JORA (<2mg/l).



**Figure.27 : La variation du phosphore totale(PT) en fonction de la nature des échantillons (a) et des dates de prélèvements (b)**

Le test Tukey dont l'expression des valeurs des phosphores totale (PT) en fonction de la nature de l'échantillon a montré une probabilité non significative ( $P : 0.165$ ,  $F : 3.211$ ) à travers l'analyse de variance linéaire. La comparaison par paire réalisée par le test de Tukey a classé tous les échantillons dans un seul groupe (**a**).

le test Tukey a classé le taux des phosphores en fonction des dates de prélèvements en trois groupes, les échantillons de troisième (S3) dans le groupe (**a**), ceux de la 1ère (S1), la deuxième semaine (S2) et cinquième semaines (S5) dans le groupe (**ab**) et le prélèvement de la quatrième semaine (S4) dans le groupe (**b**), avec une probabilité significative ( $P : 0.036$ ,  $F : 2.946$ ) et cette valeurs a été confirmé par le test Newmans keuls (SNK) (**Fig.28**).



**Figure.28 : Effets comparés de la variation des phosphores totale (PT) en fonction des dates de prélèvements**

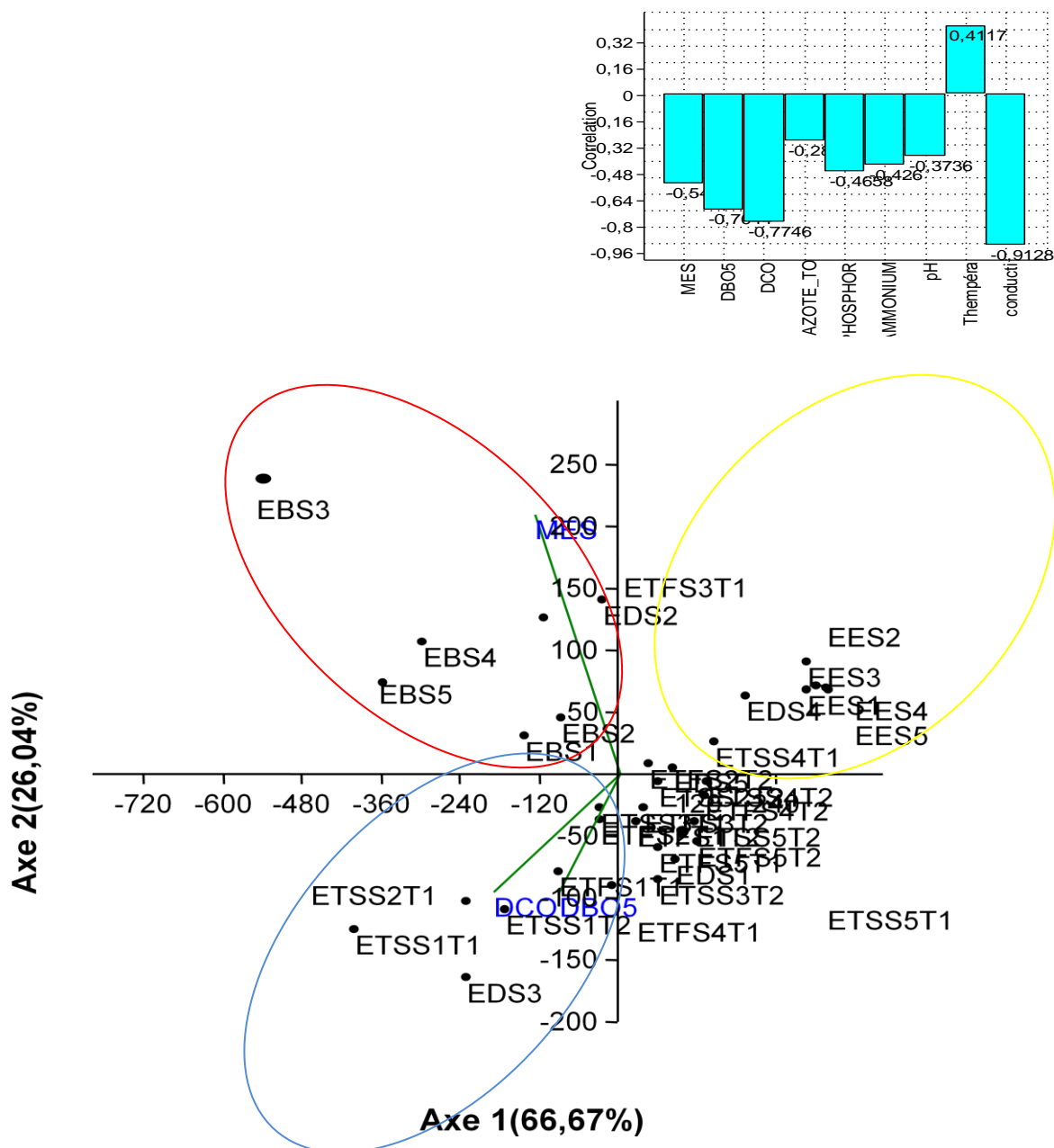
### **II.1.5.7. Variabilité des paramétrés physiques et chimiques dans les différents échantillons**

L'évolution des paramètres physiques et chimiques dans les différents prélèvements d'eau durant la période d'étude (5 semaines), a été comparée par l'analyse des composantes principales (ACP) (**Fig.29**). Les projections des valeurs des paramètres physiques et chimiques sur les deux axes montrent des contributions de 100 % de la variance totale.

Les fortes valeurs de projection sont enregistrées sur le premier axe (66.76 %) et (26,04 %) sur le deuxième axe ce qui révèle une nette différence entre les échantillons testés. les eaux traitées par le Moringa et par les boues activées se distinguent des eaux brutes.

L'analyse a permis d'évaluer les éventuelles corrélations entre MES, DBO, et DCO et le facteur nature de l'échantillon. A partir du niveau de similarité de (-10), la classification hiérarchique

fait ressortir trois groupes: Le groupe 1 désigne une corrélation entre l'eau brute avec le facteur (MES). Le groupe 2 révèle une corrélation entre l'eau épurée et les eaux traité par le Moringa avec les deux facteurs (DBO et DCO); nous observons une séparation des enveloppes correspondant à l'état des paramètres chimiques des différents échantillons sont toujours réparties vers le côté négatif de l'axe 1.



Figures.29 : Projection des paramètres (MES, DOB<sub>5</sub>, DCO) chimiques des eaux traitées sur les axes F1 et F2 des A.C.P.

## II.2. Paramètres microbiologiques

Les analyses bactériologiques des effluents bruts, et traité par les graines de Moringa permettent d'évaluer les performances épuratoires de la bioremédiation à travers un traitement naturel : *i) graines de Moringa* dans la réduction de la charge microbiologique.

Les résultats des analyses microbiologiques des eaux brutes prélevées de la STEP de Baraki et celles traitées par le Moringa sont mentionnés dans le **Tableau VII (annexes VI)**.

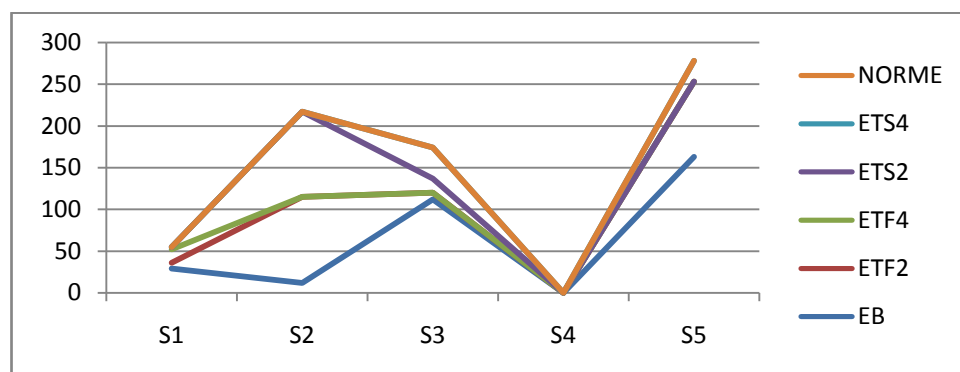
### II.2.1. Coliformes totaux (CT)

La charge des Coliformes totaux (CT) dans les échantillons des eaux étudiés, d'après da **Figure 30**, le nombre des CT varie en fonction des dates de prélèvement c'est-à-dire selon l'arrivée des eaux usées, le nombre des CT dans les EB est de  $12 \times 10^{-5} / 100 \text{ ml}$  et  $112 \times 10^{-5} / 100 \text{ ml}$  par contre ce nombre est indécombrable  $>300$  dans les échantillons prélevés durant la quatrième semaine (S4).

Cependant, nous avons enregistré une nette réduction des germes après le traitement biologique de l'eau décantée par la poudre des graines de Moringa, pendant la première, troisième et cinquième semaine ce qui correspond aux normes données par l'OMS ( $10^3 - 10^7$ ) et par **Gilles (1999)** ( $10^3 - 10^7$ ) le rejet dans le milieu naturel. Cette réduction est due aux phénomènes d'absorption des germes sur les floes biologiques.

Par contre nous avons noté une augmentation de ce nombre dans les échantillons prélevés durant la deuxième semaine cela peut être attribué aux méthodes du travail au laboratoire.

Toujours les prélèvements de la quatrième semaine indique la forte pollution suite au résultat indécombrable de cette flore, nous pouvons avancer l'hypothèse suivante, puisque l'échantillon de cette semaine a montré une forte pollution de tous les paramètres, nous pouvons dire que possible le Moringa a éliminé certaine concentration. (**Voir Annexe VI**)



**Figure.30: Evaluation de la densité des CT ( $10^{-5}$  UFC / 100 ml) dans les différentes eaux étudiée**

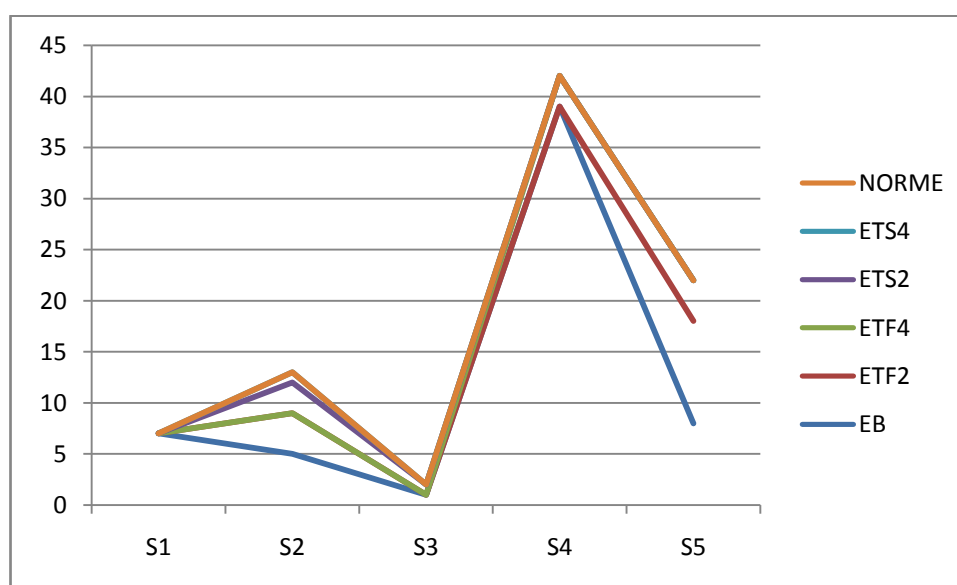
## II.2.2. Coliformes Fécaux (CF)

Les résultats obtenus indiquent que Les coliformes fécaux sont présents dans tous les échantillons des EB, cependant une fluctuation a été enregistrée dans les échantillons des eaux traitées par les graines de Moringa, le nombre élevé des Coliformes fécaux dans l'eau brute est dû d'après **Leson et Evay, (1977)** à la capacité des germes à résister aux conditions environnementales difficiles.

## II.2.3. Streptocoques fécaux (SF)

Les *Streptocoques fécaux* sont communément utilisés pour identifier une pollution d'origine fécale. Selon la **Figure 31**, nous avons remarqué un taux élevé des SF dans les effluents non traité, qui varient entre  $1 \times 10^{-5}$  et  $39 \times 10^{-5}$  UFC/100ml.

Après le traitement biologique, a travers l'utilisation des graines de Moringa ces valeurs sont presque éliminées jusqu'à des valeurs comprises entre 0 UFC/100ml. Ceci est dû aux caractères adsorbants par les graines de Moringa. Les résultats des ETF et ETS trouvés sont inférieurs et conformes aux normes données par l'OMS ( $10 \cdot 10^5$ )



**Figure.31 : Evaluation de la densité des Streptocoques fécaux ( $10^{-5}$  UFC / 100 ml) dans les différentes eaux étudiée**

## II.2.4. Salmonelles et Vibrion cholériques

Les bactéries pathogènes du genre Salmonelles et Vibrion cholériques n'ont pas été détectées dans la STEP malgré la forte charge des bactéries indicatrices de contamination fécale. Cette absence a été mentionnée dans d'autres études au niveau des eaux usées en dépit de la présence d'une forte charge en bactéries d'origine fécale. Ceci peut être expliqué par l'absence des porteurs asymptomatiques de la population habitante dans les régions environnantes d'une

part, et d'autre part la difficulté de la recherche de ces germes du fait de leurs nombre très faible par rapport aux germes banals (Amirou et Benkaddour, 2015).

### II.3. Rendements épuratoires

L'estimation des rendements d'épuration permet d'apprécier les performances du traitement biologique à boues activées et de graines de Moringa dans la pollution organique (DCO, DBO et MES) ainsi que la charge bactérienne.

#### II.3.1. Rendements d'élimination des paramètres physico-chimiques

##### II.3.1.1. Rendements d'élimination des MES

L'élimination des MES résulte de la sédimentation des eaux dans les décanteurs, les bassins d'aération et les clarificateurs. Les taux d'abattement des MES après traitement dans la STEP de Baraki varie de (89% à 98%) dans EE. Cependant les taux d'abattement des MES après traitement avec les graines fraîche de Moringa varient de (52% à 98 %) et celui des graines sèches varie de (4% à 98 %), la clarification des eaux usées n'a eu lieu qu'après 4 heures. Ces résultats montrent une épuration efficace par les deux traitements.

##### II.3.1.2. Rendement d'élimination de la DCO et la DBO<sub>5</sub>

Nous remarquons que les rendements d'élimination de la DBO<sub>5</sub> dans les EE varient de (89% - 97%), ils sont supérieurs à 90% (Rejesk, 2002). Cela indique la bonne clarification par le traitement biologique des boues d'activité par contre ceux des eaux traitées par les graines fraîches de Moringa les rendements varient de (-20% à 89 %) et celui des graines sèches varie de (-36% à 56 %), la clarification des eaux usées n'a eu lieu qu'après 4 heures (Fig.32).

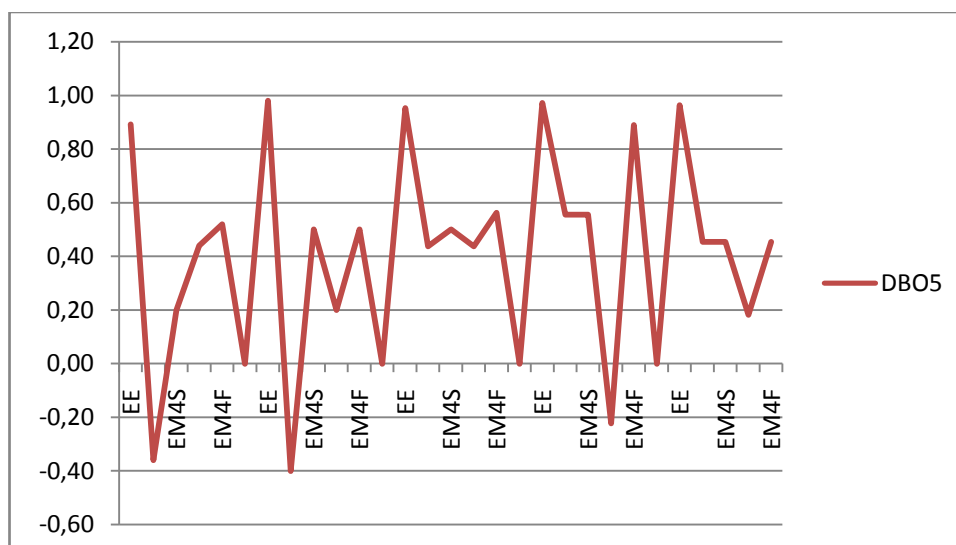


Figure 32 : Rendement d'élimination des DBO<sub>5</sub> (%)



Nous remarquons que les rendements d'élimination de la DCO dans les EE varient de (89% - 97%) supérieurs à 90% (**Rejesk, 2002**), cependant les eaux traitées par Moringa leurs rendements varient de (6% à 95%), nous avons noté des fluctuations dans ces rendements. Cela indique une bonne clarification des deux traitements biologiques surtout celui des boues d'activité.

L'abattement de le DBO<sub>5</sub> et de la DCO s'explique par l'efficacité des boues d'activité et les graines de Moringa dans la dégradation de la matière organique.

### **II.3.1.3. Rendement des paramètres microbiologiques**

Tout comme dans le cas des propriétés physico-chimique, le calcul du rendement épuratoire des germes indicateur de contamination fécale : les CT, CF et SF est nécessaire dans le but de détermination de la qualité de l'eau traité.

Les résultats des rendements épuratoires constatés pendant nos recherches des effluents de la STEP de Baraki traité par les graines de Moringa ont montré un abattement acceptable des CT, CF et des SF.

Selon **Shuval (1991)**, le système le plus efficace pour le traitement des eaux de la station d'épuration et l'utilisation des boues activées, entraine une réduction de 100% des bactéries.

# DISCUSSION

# DISCUSSION

La protection de l'environnement est de nos jours une préoccupation collective dans les secteurs d'activité, elle devient une nécessité privilégiée dans la politique des pays en voie de développement. Le présent travail a pour objectif de suivre la qualité physicochimique et bactériologique des eaux usées brutes et épurées de la station de Baraki (STEP), une station contrôlée de la ville d'Alger dans le but de détecter les dysfonctionnements et optimisé un traitement biologique par les graines de *Moringa oleifera*.

D'après les résultats obtenus il parait que les procédés d'épuration des eaux usées, à travers les boues d'activité est une technique simple et elle a permis de réduire efficacement la pollution physicochimique, les résultats ont montré un abattement de la DBO<sub>5</sub>, la DCO et les MES avec les valeurs suivants (90 %, 95% et 89%) respectivement. La DCO correspond à la teneur de l'ensemble des matières organiques. Ces dernières possèdent soit un caractère biodégradable soit elles ne possèdent pas et cela à travers le calcul du rapport DCO/DBO. D'après **Gomella et Guerrée (1978)**, La DCO est la quantité d'oxygène consommée dans les conditions de l'essai par les matières réductrices contenues dans l'effluent. Les deux traitements biologiques utilisé dans cette étude ont montré nette réduction de la DCO surtout celle utilisée par la STEP, une réduction de 464,48 mg/l a été noté, par contre une réduction de 50% de ce paramètre dans les eaux traitées par les graines de Moringa.

La mesure de la DBO<sub>5</sub> est un paramètre prescrit pour la surveillance des rejets et de fonctionnement des stations d'épuration (*arrêt du 21 Juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement...*) mais elle est peu précise pour qualifier la bonne qualité d'une eau naturelle. Selon **Fathallah et al. (2014)**, la DBO<sub>5</sub> est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la destruction des matières organiques décomposables par des processus biochimiques. Les phénomènes d'autoépuration dans les eaux usées superficielles résultent par la dégradation des charges organiques polluantes par des microorganismes.

La moyenne enregistrée pour les EB, la DBO<sub>5</sub> est de 234 mg/l cela explique la nature des eaux résiduaires de la STEP (urbaine ou industrielle) .

Pour les EE la moyenne enregistrée est de 11.8% cela peut être expliqué par la présence des bactéries épuratrices. Cependant pour les eaux traitées par le Moringa nous avons relevé une réduction de presque de 50% de la valeur enregistré dans l'eau brute nous pouvons avancer l'hypothèse que cette matière était comme un support nutritif pour la flore bactérienne existante. Sachant que Selon **Cardot (1999)**, la réduction de la DBO<sub>5</sub> est due à l'activité des

microorganismes épurateurs qu'assurent la dégradation et la transformation de la matière organique permettant ainsi l'élimination de la pollution organique.

Nous avons enregistré une quantité moyenne des MES dans les EB de 359.40 mg/l, surtout celle du prélèvement de la troisième semaine qui est de 653 mg/l. Selon **Belaid (2010)**, la présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que l'obturation des systèmes d'irrigation. Ainsi la présence de ces MES dans les différents rejets peut compromettre de manière sensible le fonctionnement du réseau d'égouts (**Badia, 1996**). D'autre part, elle peut causer des nuisances telles que les dépôts de boue et de colmatage des fonds aquatiques récepteurs. En outre, et la présence de ces matières en suspension dans les différents rejets gêne considérablement l'efficacité des traitements destinées à éliminer les germes photogènes (**Baumont, 2005**).

Une nette réduction des MES a été enregistré dans les EE, traité par les boues activées ; cette diminution de la teneur des MES est due à l'élimination des particules par les déssableurs, les décanteurs primaires, par l'adsorption des MES sur les floccs biologiques et par une bonne sédimentation au niveau du clarificateur (**Belaid, 2010**).

Une réduction très intéressante de ce paramètre dans les échantillons des eaux traitées par les graines de Moringa que ce soit sèche ou fraîche cela est peut être due au profil flocculant de ces dernières. Néanmoins la présence des MES dans les eaux usées épurées n'est pas un obstacle à leur réutilisation. Bien au contraire, elles contribuent à la fertilité des sols (**FAO, 2003**).

Pour les paramètres physiques nous avons noté une augmentation du pH des EE jusqu'à 7.9, cela peut être due aux réactions chimiques et/ou réactions biologiques qui produisent des ions basiques et entraînent une basification du milieu (**Rejesk 2002**). Ce même résultat a été noté dans les eaux traitée par les graine de Moringa ou le pH a aussi augmenté jusqu'à 8.04. En général, l'activité biologique se situe entre 6.5 et 8 unités de pH. En dehors de cet intervalle, le pH influence l'épuration (**Canler, 2005**).

Selon **Meinck et al., (1877)**, la température de l'eau est très importante, car elle intervient dans plusieurs paramètres, principalement dans le cas d'oxygène dissous qui est indispensable pour les êtres vivants aérobiques, responsables de l'épuration de l'eau. Plus la température est élevée, plus la quantité d'oxygène diminue. Les valeurs de la température enregistrée durant notre étude ne dépassent pas 19.5°C pour les EB, EE et les eaux traitées par le Moringa, ces valeurs sont étroitement liées à la température de la saison et parfois liées aux conditions d'échantillonnage. Les valeurs obtenues sont très acceptables, car d'après **Bechac et al., (1984)**, le fonctionnement des certains ouvrages de la chaine de traitement (dégraisseur) nécessite que l'effluent présente une température inférieur à 30°C.

Pour la conductivité électrique et selon **Salghi (2007)**, ce paramètre dans une eau usée dépend essentiellement de la polarité de l'eau potable utilisée, des microorganismes et des activités industrielles. Ceci est dû probablement à une charge importante de la pollution organique et aussi à l'absence de la sédimentation des sels minéraux dans le clarificateur qui pourra être retenue dans les boues et selon **Rodier et al., (2005)** . Nous avons remarqué aussi une augmentation assez importante de la conductivité dans les eaux usées après l'addition des graines de Moringa mais qui ne dépasse pas les normes algériennes.

L'azote est présent dans les effluents sous les différentes formes : Azote organique (N) ; Azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) ; Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), provenant surtout des déjections animales et humaines, des rejets agroalimentaires et industriels. (**Metcalf et Eddy, 2003**). Selon **Osmani (2012)**, l'élimination biologique de l'azote se réalise en deux phases successives qui sont la nitrification et la dénitrification. La présence des microorganismes autotrophes vis-à-vis de l'azote, dégradent les protéines en azote ammoniacal. Les bactéries autotrophes telles que *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*, transforment, en présence d'oxygène, l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) puis en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) ; ces deux étapes mettent en œuvre l'oxydation de ces différents substrats par des bactéries aérobies.

Rappelons que l'origine du Phosphore est en rapport avec la connaissance de ses sources naturelles et de son utilisation (**Villebrun, 1989**). Il provient du métabolisme humain, des rejets de détergents qui sont à l'origine du phosphore, des lessives ainsi que les engrais utilisés en agriculture (**Dernat et al., 1994**), Vu que leur élimination dans les eaux est importante à l'entrée, nous avons enregistré des valeurs qui varient entre 1.86 mg/l et 11.4 mg/l avec une moyenne de 5.82 mg/l. A la sortie de la STEP, les valeurs oscillent entre 1.14 mg/l et 6.88 mg/l. La moyenne de cet élément enregistré dans les eaux traitées par le Moringa varie de 3.22 à 3.86 mg/l, les valeurs relevées ne sont pas conformes aux normes du JORA et de l'OMS (<2mg/l). Le traitement de phosphorisation est un traitement physico-chimique qui permet la précipitation des phosphores ou bien un traitement biologique en tête de la STEP afin de limiter ce phénomène et garder l'équilibre de l'écosystème (**Rejesk, 2002**). Le phosphore ne peut être extrait qu'avec les boues en excès. Le traitement biologique permet d'éliminer du phosphore, au même titre que l'azote, par assimilation. Cela conduit à des rendements modestes, de l'ordre de 20 %, cependant on a constaté, que dans certaines conditions, les bactéries étaient capables d'aller bien au-delà de leurs simples besoins pour leur croissance.

Dans le but d'évaluer les performances épuratoires du traitement biologique des graines de Moringa, nous avons réalisé une étude microbiologique pour s'assurer de l'efficacité et de la conformité de ce traitement vis-à-vis des normes.

Sur la base de données collectée, il a été constaté que l'effluent brute est caractérisé par des teneurs très élevées en CT. Cette charge est due à l'enrichissement des eaux usées brutes en matières organiques, à l'abondance de l'oxygène dissout et à une température modérée qui rendent le milieu favorable au développement bactérien (**Sevrin Reyssac et al., 1995**). Elle peut être expliquée par le fait que les eaux usées présentent constamment des variations importantes : horaires, journalières, saisonnières et géographiques ; chaque site est sans doute particulier et caractéristique du niveau de vie des usagers ; du type de réseau de collecte des eaux, du raccordement à des réseaux véhiculant des effluents toxiques (eaux usées industrielles) ou fortement chargées en germes pathogènes (eaux usées d'hôpitaux).

Cependant, la quantité de ces germes a subis une réduction considérable dans l'effluent traité par les graines de Moringa.

Les coliformes fécaux ou les coliformes thermo tolérants, c'est une catégorie qui inclut essentiellement l'*Escherichia coli*. Cette flore est plus spécifique de la contamination fécale que les autres coliformes (**Guiraud, 2004**). Ses germes banaux ne sont pas directement pathogènes, ils sont présents dans les intestins d'animaux à sang chaud et leur présence dans l'eau en grand révèle souvent une contamination par excréments (**Cauchi et Vignoles, 2011**). Le nombre élevé des Coliformes fécaux dans l'eau brute est dû d'après **Leson et Evay (1977)**, à la capacité des germes à résister aux conditions environnementales difficiles.

Les *Streptocoques fécaux* sont communément utilisés pour identifier une pollution d'origine fécale. Leur prolifération est due au déversement des matières organiques et de substances nutritives azotées (**Rodier et al., 1984**). Ils proviennent essentiellement des eaux vannes (les eaux sont très chargées en germes issus de la flore intestinales de l'être humain) (**Cavo et Joao, 2016**).

Les *Streptocoques fécaux* sont plus résistants aux conditions environnementales difficiles et persistent plus longtemps dans l'eau (**Gleeson et Gray, 1997**). Leur simple présence suffit à conformer qu'il y a pollution (**Brisou et Denis, 1978**).

Ces concentrations importantes en *Streptocoques fécaux* sont dues à la dessiccation et leur capacité à persister plus longtemps dans l'eau (**Gleeson et Gray, 1997**).

Les bactéries pathogènes *Vibrio cholerae* n'ont pas été détectées sur le milieu GNAB dans tous les échantillons des eaux brutes prélevées. Cela est conforme aux normes de l'OMS qui stipule l'absence totale de ces germes pathogènes dans l'eau traitée, car ils sont les agents causals de l'infection grave voire mortelle cas du choléra. Si la bactérie *Vibrio cholerae* est détectée dans l'eau, il serait obligé de la déclarer, afin de mettre en place des mesures pour prévenir une épidémie et éradiquer l'agent. D'après **Saurabh et al., 2016**, Les extraits aqueux et éthanoliques de graines de *Moringa oleifera* ont montré leurs effet antibactérien contre *Staphylococcus aureus*, *vibrio cholerae*, *Escherichia coli* (isolé de l'organisme et du milieu aquatique) et *Salmonella enteritidis*.

**CONCLUSION  
ET  
PERSPECTIVES**



# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif de cette étude a visé l'évaluation de l'efficacité du traitement biologique par des graines de Moringa des eaux usées au niveau de la station d'épuration de Baraki suivi par une comparaison avec la technique menée par la station à travers les bous d'activité.

Les résultats physicochimiques et bactériologiques obtenus ont révélé que les eaux usées brutes entrant à la station de Baraki présentent une pollution organique, azotée et bactériologique assez élevée.

L'étude des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux épurées (EE) et des eaux traitées par les graines de Moringa de la station nous a révélé que :

- Sur les 9 paramètres physico-chimiques 06 paramètres physicochimiques sont conformes aux normes données par l'OMS et JORA
- Le traitement biologique des eaux usées par les boues activées semble actif car les taux d'abattement des matières en suspension (MES), de la demande chimique en oxygène (DCO) et de la demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) sont supérieurs à 90%.
  - Les résultats enregistrés dans les eaux usées traité par les graines de *Moringa oleifera* semble aussi intéressant, les taux d'abattement des matières en suspension (MES), de la demande chimique en oxygène (DCO) et de la demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) sont de 90%.
  - Les moyennes de pH et de température relevés dans tout les échantillons sont conforme à la norme donnée par l'OMS et de JORA.
  - Les valeurs la Conductivité électrique (CE) de tous les échantillons sont très élevées en comparant avec celles de la norme d'OMS 2006.
  - les valeurs du Phosphore Totale (PT) relevés dans les traitements étudiés (boues et graines) ne sont pas conformes aux normes, l'OMS et de JORA (<2mg/l).

Les analyses microbiologiques effectuées ont dévoilé une réduction importante. Des bactéries indicatrices de la contamination fécale: les coliformes totaux, les coliformes fécaux et Streptocoques fécaux, pour ce qui concerne des bactéries pathogènes du genre salmonelles et *Vibrio cholera* aucun cas n'a été signalé dans les échantillons des eaux usées.

Cependant les graines de Moringa ont montré aussi leurs efficacités globales sur les différents paramètres étudiés surtout sur les paramètres microbiologiques.

## ❖ Perspectives

A travers ces mesures, il est clair que le traitement des eaux usées à la STEP de Baraki est suffisamment puissant pour permettre d'abaisser les concentrations en polluants sous toutes leurs formes et d'atténuer donc le risque sanitaire à un niveau très acceptable par l'environnement. Nous sommes ainsi en mesure de disposer d'une eau de qualité acceptable, surtout au niveau de la protection de l'environnement. Cependant, il est nécessaire, pour évaluer davantage sa qualité de :

- Compléter les Analyses physico-chimiques faites par le laboratoire de la station par des analyses microbiologiques.
- Agrandir la STEP en la dotant d'un plus grand nombre de bassins d'aération afin de pallier l'impuissance du dispositif vis-à-vis de la grande charge polluante entrant quotidiennement dans la station.
- La réutilisation des eaux épurées dans la stratégie de développement du secteur de l'irrigation, doit être précédée d'un traitement complémentaire visant à réduire les risques sanitaires

# **Références bibliographiques**

# Références bibliographiques

1. **Abderrahman WA., 2003** : La gestion de la demande en eau en Arabie saoudite. In : La gestion de l'eau selon l'Islam. Éditions Karthala, Paris. 144 p.
2. **Amirou M. et Benkaddour I., 2015** : Etude microbiologique et dosage des contaminants pesticides par RRA et métaux lourds par SAA dans une culture maraichère tomate *Lycopersicon esculente* alimentée par les eaux usées et épurées de la STEP de Baraki, 52p.
3. **Amselem A., 2013** : Etude des effets de la minimalisation des boues sur la méthanisation par digestion anaérobique, Ecole de Technologie Supérieure Université du Québec, 105p.
4. **Andreoni V., 1989**: Anaerobic Digestion of Swine Slurry and agro-industrial Wastes in fixed bed up - flow digesters. Symposium NICE, 4-6 avril, Technical Advances in biofilm reactor.
5. **Anwar F., Bhangar M.I., and Kazi T.G, 2003**: Relationship between rancimat and active oxygen method values at varying temperatures for several oils and fats. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol.80 (2), 151-155.
6. **Armisen G., 2006** : Étude de la dynamique des *Escherichia coli* dans les rivières du bassin de la Seine. Thèse Doctorat, Université Libre de Bruxelles, pp 15- 16.
7. **Asano T., 1998**: Wastewater Reclamation and Reuse, Water Quality Management Library, Vol.10, ed. CRC Press, Boca Raton, FL. 1475p.
8. **Attab S., 2011** : Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration Haoud Berkaoui par l'utilisation d'un filtre a sable local. Mag. Univ. d'Ouargla. 106p.
9. **Badia G.F ,1996** : L'assainissement des eaux usées. Ed. La Lettre du Cadre Territorial. Série Dossier d'Experts. p p 9-11 et 172-173.
10. **Bassompierre C., 2007** : Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers: de la conception d'un pilote a la validation de modèles. Thèse Doctorat Institut National Polytechnique De Grenoble, 230p.
11. **Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconi A., 2004** : Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, 176p.
12. **Bechac J.et Boutin P., 1984** : Traitements des eaux usées, Ed EYROLLES Bd St Germain, 121p
13. **Belaid N., 2010** : Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et

- phytoabsorption des éléments métalliques, Thèse de Doctorat en co-tutelle de l'université de Sfax et de Limoges.
14. **Benmira AM., 2015** : Evaluation de l'efficacité des eaux usées de la station d'épuration de Réghaia sur le plan physico-chimique et bactériologique et l'évaluation de l'antibiorésistance de *Pseudomonas aeruginosa*. 3p
  15. **Bliefert C., Perraud R., 2001** : Chimie de l'environnement : Air, eau, sols, déchets. Edition Eyrolles. Paris, pp : 2-30.
  16. **Boeglin J., 2000** : Inventaire des traitements d'eaux résiduaires, Techniques de l'ingénieur, Traité Génie des procédés, J3.
  17. **Boeglin J.C., 2002** : Traitement biologique des eaux résiduaires. Revue techniques de l'ingénieur, Doc J 3 942-1
  18. **Bouaissa M., 2015** : Traitement des boues de la station d'épuration d'Alhoceima., univ. MOHAMED PREMIER OUJDA, Mém. Licence, 80p.
  19. **Boualla. N, Hadj Hassan. B, Benziane. A et Derrich. Z., 2011** : L'expérience Algérienne en matière d'épuration des eaux usées. Science Lib Edition Mersenne : Vol.3, N°111115, 8p.
  20. **Boudhane N., Ahmed ammar I., 2016** : Optimisation du traitement biologique dans une station d'épuration à boues activées: cas de la STEP de Batna, univ. Abou Bekr Belkaid, Mém. Master, 70p.
  21. **Boukerroucha et Sharkawi., 2011** : Modélisation des stations d'épuration à boues activées : cas de la station de Baraki (Alger) : Thèse de doctorat Hydraulique Agricole Ecole Supérieur d'Agronomie El-Harrach (Alger) 2011, 173p.
  22. **Brisou J.F. & Denis F.A, 1978**: Hygiène de l'environnement maritime. Masson Ed., Paris. 218 p.
  23. **Cardot C., 2002** : Génie de l'environnement. Les traitements de l'eau " procédés physico chimiques et biologiques ".
  24. **Cardot. C., 1999** : Les Traitements de l'eau. Procédés physico-chimiques et biologiques. Ed. Ellipses, Paris, 247p.
  25. Centre régional pour l'eau potable et l'assainissement à faible cout, centre collaborant de l'OMS, 2007, contrôle et suivi de la qualité des eaux usées protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, 41p.
  26. **Dernat M., Elmerich P., Pouillot M., 1994** : Vers une optimisation de la déphosphatation physicochimique, L'Eau, l'Industrie, les Nuisances n°182.
  27. **Diakite A., Mounkoro P., 2015** : Recherche et Etude de *Vibrio cholerae* dans les eaux usées de l'Oued Boumerzoug, Univ.des Frères Mentouri Constantine, Mém. Matser, 82p.

28. **Eleskens M. 2010** : Analyse des eaux résiduaires, Mesure de la pollution. Techniques de l'ingénieur, p4200
29. **Faby J-A et Brissaud F., 1997** : L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76 p.
30. **FAO., 2003** : L'irrigation avec les eaux usées traitées. Manuel d'utilisation. Bureau Régional pour le Proche Orient et l'Afrique du Nord. Caire, Egypte, 6 p.
31. **Fathallah Z., Elkharrim K., Fathallah R., Hbaize E.M., Hamid C., Ayyach A., Elkhadmaoui A., Belghyti D., 2014** : Etude physico-chimique des eaux usées de l'unité industrielle papetière (cdm) à sidi Yahia el gharb (Maroc). *Larhyss journal.* 92,57-69.
32. **Gaujous D., 1995** : La pollution des milieux aquatique : aide-mémoire. Edition technique et Documentation Lavoisier, P 220.
33. **Gauthier M et Pietri C., 1998** : Devenir des bactéries et virus entériques en mer, Microorganismes dans les écosystèmes océaniques. Edition Masson, pp 447.
34. **Gharzoul M., 2014** : investir dans le développement durable : la réutilisation des eaux usées, 25p.
35. **Gleeson C et Gray., 1997**: The coliform index and waterborne disease problems of microbial drinking water assessment. E & FN Spoon, London. 194p.
36. **Gommella M. et Gurree H., 1983**, les eaux usées dans les agglomérations urbains ou rurales, Ed EYROLLES 61 boulevard saint – Germain, 249 p.
37. **Guiraud J.P. et Rosec J.P. (2004** : Pratique des normes en microbiologie alimentaire. Edition AFNOR. 95p
38. **Hebert S., Legre S., 2000** : Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec, 5 p.
39. **Hemrioui M., 2009** : Contrôle de la Qualité des eaux naturelles de la région de Khmiss Dades (Ouarzazate, Maroc), univ. Gueliz-Marrakech, 42p.
40. **Henry M.T., Beaudry J.p., 1992** : Chimie des eaux. 2ème Edition Griffon d'Argile (Le). 537 p.
41. **Henry M.T., Beaudry, J.P. 1984** : Chimie des eaux, Ed. le Griffon d'argile INC, Canada.
42. **Joly B., Reynaud A., 2003** : Entérobactéries : systématiques et méthodes d'analyses. Edition Technique et documentation, Paris, 356p
43. **JORA. JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE (1993)-** Annexe des valeurs limites maximales des paramètres de rejet des installations de déversement industrielles, n°46, pp 7

44. **Kokyo O.H., Tiehua C.T.L. and Cheng H., 2014:** “Study on Application of Phytoremediation Technology in Management and Remediation of Contaminated Soils, *journal of Clean Energy Technologies*, 2(3), pp. 216-220.
45. **Koller E., 2009 :** Traitement des pollutions industrielles : eau, air, déchets, sol, et boues. 2<sup>ème</sup> Edition Dunod. 570p.
46. **Ladjel F., 2006 :** Exploitation d’une station d’épuration à boue activée niveau 02. Centre de formation au métier de l’assainissement. CFMA-Boumerdes, p.80.
47. **Larpent J.p., Gourgaud M.L., 1997 :** Techniques de microbiologie microorganisme eucaryotes et procaryotes, structure, métabolisme systématique, applications industrielles, milieu de culture et réactifs. 3<sup>ème</sup> Edition TEC et DOC., 417p.
48. **Le gall J., Le faou A., 2001 :** Les bactéries sulfato-réductrices humaines: caractérisation et pouvoir pathogène, Université Henri Poincaré-Nancy 1, thèse de doctorat. 171p.
49. **Leclerc H., Buttiaux R., Guillaume J., Wattre P., 1977 :** microbiologie appliquée, Doin éditeurs, chap.3 : microbiologie de l’eau, 228p.
50. **Letterman, Richard W. Pero, Raymond D., 1990:** Contaminants in Polyelectrolytes Used in Water Treatment, *American Water Works Association Journal*.87-97p.
51. **Macqueron G., 2010 :** Comment les graines de Moringa aident au traitement des eaux usées, *Futur Sciences*, <http://www.futurasciences.com/magazines/environnement/infos/actu/d>, consulté le 10 janvier 2014.
52. **Mahdjar M., 2016 :** Etude des performances de la station d’épuration de la ville d’Ouargla, Univ. KASDI MERBAH, Mém. Master, 61p.
53. **Makkar H., et Becker, K. 1997:** "Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the Moringa oleifera tree." *The Journal of Agricultural Science*, 128(03), 311-322.
54. **Martyn C. N., Osmond C., Edwardson J. A., Barker D. J. P., Harris E. C., and Lacey R. F., 1989:** “Geographical relation between Alzheimer’s disease and aluminium in drinking water,” *The Lancet*, vol. 1, no. 8629, pp. 59–62.
55. **Megateli S., Semsari S., Couderchet M., 2009 :** Toxicity and removal of heavy metals (cadmium, copper, and zinc) by *Lemna gibba*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 72, 1774e1780
56. **Meinck F., Stooff H ., Kohlschütter H, 1977:** Les eaux résiduaires industrielles, 2<sup>ème</sup> Ed. Masson, paris, 863p.
57. **Metahri. M.S., 2012 :** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou , thèse de doctorat, Univ. Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Département des sciences agronomiques.137P.

58. **Metcalf M et Eddy E. 2003:** wastewater engineering: treatment and reuse. 4e Ed, révisé par G. Tchobanoglous, F. L. Burton et H. D. Stensel, McGraw-Hill Inc, New York. 62p.
59. **Ndabigengesere A. and Narasiah K. S., 1998:** "Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds". *Wat. Res.* Vol. 32, No. 3, pp. 781-791.
60. **Philippeau G., 1986 :** Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales. I.T.C.F., Paris, 63 p.
61. **Prescott M.L., Harley P.J., Klein A. D., 2003 :** Microbiologie. 2ème édition française. De Boeck.
62. **Rejsek F., 2002 :** Les analyses des eaux. Tome II. France : Aspects réglementaires et technique. 360p.
63. **Rodier J., 1984 :** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème édition. DUNOD. PARIS.
64. **Rodier J., 2005 :** Analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Edition Dunod, Paris, 1384p.
65. **Rodier J., Bazin C., Chambon P., Broutin J.P., Champsaud H., Rodil., 1996 :** Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8ème édition. Edition DUNOD, Paris. 1983p.
66. **Rodier J., Legube B., Merlet N., 2016 :** l'analyse de l'eau Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 10ème Edition Dunod, Paris, 1824p.
67. **Salghi R., 2007:** Différent filières de traitement des eaux, ed univ IZ Rabat, p.22, (2007). Paulsrud B et Haraldsen S, (1993), Experience with the Norwegian approval système for small waste water treatment plants. *Wat. Sc. Techn*, vol .28, n°10, pp.25-32.
68. **Sengupta M.E., Kerait B., Olsen A., Boateng O.K., Thamsborg S.M., Palsdottir G.R., Dalsgaard A., 2012:** Use of *Moringa oleifera* seed extracts to reduce helminth egg numbers and turbidity in irrigation water. *Water Research*, 46 (11): 3646-56.
69. **Sevrin-Reyssac J., DE la noüe J., proulx D., 1995 :** Le recyclage du lisier de porc par lagunage. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 118p
70. **Sibanda P.T., 2017 :** évaluation de l'efficacité du traitement des eaux usées par le procédé des boues activées au niveau de la station d'épuration de la Wilaya de Réghaia, Mém. Master microbiologie Et toxico. Alimentaire, Univ. Bab Ezzouare (Alger), 56p.
71. **Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger, Station d'épuration de Baraki, 2016 :** Document de suivi de la mise en service et début d'exploitation
72. **Suarez M., Haenni M., Canarelli S., Fisch F., Chodanowski P., Servis C., Michielin O., Freitag R., Moreillon P., Mermod, N., 2005:** Structurefunction characterization and optimization of a plantderived antibacterial peptide. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 49 (9) : 3847-3857.



73. **Trad Raïs et Xanthoulis, 1999** : Amélioration de la qualité microbiologique des effluents secondaires par stockage en bassins Biotechnol. Agron. Soc. Environ, ppl49—157.
74. **Vandermeersch S., 2006** : Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes. Univ. Libre de Bruxelles, 81p.
75. **Villebrun J-F. 1989** : La déphosphoration biologique appliquée à la station d'épuration de Craon, Rapport de la DDAF de la Mayenne. Volume 2 : Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève, Suisse, pp330.
76. **Yapo B.O., Mambo V., Séka A., Yapi A.D., Houenou P., 2009** : Caractérisation par fractionnement gravimétrique de la matière organique contenue dans les eaux usées : application à l'étude de la biodégradabilité, Université d'Abobo-Adjamé, 21-37p.
77. **Yousfi M., 2011** : Etude d'un séchoir solaire de boue » Mém. Master, Univ. Bab Ezzouar- Alger, 102p.
78. **Zeghoud M.S., 2014** : Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra, Univ. d'el -oued, Mém. Master, 90p.

# Annexes

# Annexe I

## ❖ Méthodes d'analyses physico-chimiques

### a) Température et pH

Selon la norme NA.751/1990

#### ➤ Mode opératoire

- Mettre en marche l'appareil pH mètre muni d'une sonde (accessoire) pour mesurer la température, puis rincer les 2 électrodes avec l'eau distillée ;
- Etalonner l'appareil au moyen de deux solutions tampons de pH connu ;
- L'étalonnage doit se faire sur place juste avant la mesure ;
- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser et faire la correction de la température ;
- Tremper l'électrode dans le bécher contenant l'échantillon à analyser (environ 100 ml) ;
- Agiter doucement avec le barreau magnétique ;
- Appuyer sur la touche correspondante à la valeur du pH et de la température, puis noter le résultat ;

#### ➤ Expression des résultats

L'appareil donne la valeur de la température exprimée en degré Celsius (°C) et la valeur du pH.

### b) Conductivité électrique

Selon la norme NA 749

#### ➤ Mode opératoire

- Allumer le conductimètre et rincer plusieurs fois la sonde du conductimètre avec l'eau distillée ;
- Prendre une quantité suffisante d'eau à analyser dans un bécher (environ 100ml) ;
- Mettre l'électrode dans le bécher, laisser stabiliser puis noter la valeur de la conductivité.

#### ➤ Expression des résultats

Les résultats de la conductivité seront exprimés en micro siemens par centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

### c) Matières en suspension

Selon la norme ISO 11923

#### ➤ Mode opératoire

- Laver les filtres en vrac par immersion dans l'eau distillée environ 4 heures ;
- Sécher les filtres à 105°C pendant au moins une heure, puis peser le filtre ;
- Eviter soigneusement de contaminer le filtre par des poussières ;

- Placer le filtre la partie lisse en bas dans l'entonnoir du dispositif de filtration et insérer l'entonnoir sur la fiole à vide ;
- Agiter vigoureusement le flacon contenant l'échantillon puis transférer immédiatement dans l'entonnoir du dispositif de filtration ;
- Pour les eaux brutes et les eaux traiter avec les graines de Moringa (fraîche et sèches), le volume versé doit être compris entre 25 et 100 ml ;
- Pour les eaux épurée, le volume doit être compris entre 500 et 1000 ml ;
- Retirer avec précaution le filtre de l'entonnoir à l'aide de pince à extrémités plates ;
- Placer le filtre dans le creuset et le sécher dans l'étuve à (105 ±2) °C pendant au moins 2 heures ;
- Retirer les creusets de l'étuve et les laisser refroidir dans un dessiccateur pendant au moins 30 minutes puis les peser.

#### ➤ **Calcul et expression des résultats**

La teneur en MES est calculée d'après l'expression suivante :

$$P = \frac{(M1 - M2)}{V} \times 1000$$

P : teneur en matières en suspension (mg/l)

V : volume d'eau utilisé (ml).

M0 : masse du papier filtre avant utilisation (mg).

M1 : masse du papier filtre après utilisation (mg)

#### **d) Demande chimique en oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène est déterminée par la méthode Kit HACH LCK 114 et 314 selon la norme NF T 90-101 / ISO 6060:1989

##### ➤ **Mode opératoire**

- Prendre une cuve de la gamme indiquée et bien l'agiter
- Pipeter 2 ml de l'échantillon dans la cuve
- Bien agiter la cuve à code barre pour bien mélanger les dépôts des substances décantées avec le reste de la solution dans la cuve ;
- Chauffer le tube pendant 2h à 148°C à l'aide du thermostat HACH LT200
- Secouer énergiquement, laisser refroidir la cuve pendant un petit moment
- Nettoyer la cuve puis l'insérer dans l'emplacement approprié du spectrophotomètre DR2800/DR3800

##### ➤ **Expression des résultats**

La valeur de la concentration de DCO s'affichera directement sur l'écran du spectromètre en mg O<sub>2</sub>/l. (la concentration en masse d'oxygène consommé par la matière organique présente dans l'échantillon)

### e) Demande biochimique en oxygène

La demande biochimique en oxygène est déterminée par la méthode instrumentale OxiTop®IS12 selon la norme ISO 5815 : 2003

#### ➤ Mode opératoire

- Choisir le volume de l'échantillon à analyser selon l'intervalle de mesure
- Verser le volume nécessaire dans le flacon de DBO<sub>5</sub>
- Insérer le barreau magnétique et quelques gouttes d'ATU (Allyl Thio urée, inhibiteur de nitrification)
- Déposer deux pastilles de soude le godet en caoutchouc avec lequel on referme le flacon
- Bien visser l'OxiTop sur le flacon
- Lancer la mesure et mettre le flacon dans l'incubateur réglé à 20°C, faire la lecture après 05 jours d'incubation.

#### Choisir le volume de l'échantillon

La valeur de la DBO<sub>5</sub> est approximativement estimée à 80% de la valeur de DCO mesurée, choisir le volume de la prise d'essai selon les intervalles de la mesure de la DBO<sub>5</sub> dans le tableau suivant :

**Tableau I : Intervalle de mesure de la DBO<sub>5</sub>**

Volume de la prise d'essai	Intervalle de mesure (mg/l)	facteur
432	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10
97	0-800	20
43.5	0-2000	50
22.7	0-4000	100

#### Lancer la mesure :

- Pour démarrer la mesure appuyer sur les boutons S et M simultanément pendant deux secondes jusqu'à apparition de (--) puis (00), qui indique que toute valeur auparavant enregistrée a été effacée
- Mettre le flacon dans l'incubateur réglé à une température de 20°C pendant 5 jours
- La lecture de la valeur en cours se fait en appuyant sur le bouton (S)

- Les valeurs lues 1F, 2F, 3F, 4F ou 5F indiquent que la mesure du jour, indiquée en chiffre, n'a pas encore été prise

➤ **Expression des résultats**

La valeur de la DBO<sub>5</sub> (en mg/l) est la valeur lue directement sur l'écran digital de l'OxiTop® multipliée par le facteur donnée dans le tableau ci-dessus, selon :

Valeur lue x Facteur = DBO<sub>5</sub> en mg/l

## **f) Dosage de l'azote total**

L'azote total est dosé par la méthode des Kit LCK 338 et 238, selon la norme ISO 11261 :1995

➤ **Mode opératoire**

- Pipeter l'échantillon et ajouter la solution A et une pastille B
- Chauffer le tube à essai 60 minutes à 100°C à l'aide du thermostat HACH LT200
- Laisser refroidir le tube pendant 15 minutes jusqu'à atteindre 20°C
- Ajouter 1 MicroCap® C
- Bien mélanger le tube à essai
- Pipeter du tube à essai 0.5 ml dans la cuve à code barre
- Ajouter à la cuve à code barre 0.2 ml de la solution D
- Bien mélanger la cuve à code barre
- Attendre 15 minutes, nettoyer la cuve et procéder à la mesure
- Insérer la cuve dans l'emplacement approprié du spectrophotomètre DR 2800 ou DR 3800 et sélectionner le menu programme à code barre dans le menu principal

➤ **Expression des résultats**

La valeur de la concentration de l'azote total est donnée directement par le spectrophotomètre en mg/l

## **g) Dosage de l'ammonium**

L'ammonium est dosé par la méthode des Kit HACH LCK 302/303 et 305, selon la norme ISO 7150-1 : 1984

➤ **Mode opératoire**

- Enlevez délicatement la feuille de protection Dosi Cap Zip
- Dévissez le Dosi Cap Zip
- Pipeter 0.2 ml de l'échantillon dans la cuve à code barre pour LCK302/ LCK 303 et 0.5 ml de l'échantillon pour LCK 305
- Attendre 15 min, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer en appuyant sur le menu code à barre

- Vissez immédiatement le Dosi Cap Zip en dirigeant le cannelage vers le haut, et secouer énergiquement
- Insérer la cuve dans l'emplacement approprié du spectrophotomètre DR 2800 ou DR 3800 et sélectionner le menu programme à code barre dans le menu principal

➤ **Expression des résultats**

La valeur de la concentration de l'ammonium est donnée directement par le spectrophotomètre en mg/l de N-NH<sub>4</sub>

## **h) Dosage du phosphore total**

Le phosphore total est dosé par la méthode Kit HACH LCK 350, selon la norme ISO 6878 : 2004

➤ **Mode opératoire**

Enlever délicatement la feuille de protection du Dosi Cap Zip

Dévissez le Dosi Cap Zip

Pipeter 0.4 ml de l'échantillon dans la cuve à code barre

Secouer énergiquement et faire chauffer dans le thermostat à 100°C pendant 60min

Visser le Dosi Cap Zip en dirigeant le cannelage vers le haut

Pipeter dans la cuve une fois refroidie 0.5 ml de réactif B

Visser un Dosi Cap C gris sur la cuve

Mélanger le contenu de la cuve en le retournant plusieurs fois de suite.

Attendre 10 min, mélanger bien, nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer à l'aide du spectrophotomètre DR 2800 ou DR 3800

➤ **Expression des résultats**

La valeur de la concentration du phosphore totale est donnée directement par le spectrophotomètre en mg/l de P-PO<sup>-3</sup><sub>4</sub>

## **❖ Méthodes d'analyses microbiologiques**

- **Colimétrie et Streptométrie par filtration sur membrane**

### **Mode opératoire (LEBRES, 2002)**

- Stériliser un entonnoir de la rampe de filtration à l'aide d'un bec bunsen
- Le refroidir soit avec l'eau à analyser ou bien avec de l'eau distillée
- Mettre en place de façon aseptique une membrane de 0,45 μ entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile

- Fixer ce dernier avec la pince correspondante
- Remplir de façon aseptique l'entonnoir avec 100 ml d'eau à analyser.
- Actionner la pompe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane.
- Retirer la membrane avec une pince stérile, déposer la dans une boîte pétrie de 45 mm de diamètre contenant de la gélose (face contaminée en haut). Les éléments nutritifs de la gélose traversent la membrane ce qui permet le développement des bactéries en surface
- Incuber la boîte dans l'étuve :
  - Pour la recherche de **coliformes totaux** : **37°C** pendant 24 heures,
  - Pour la recherche des **streptocoques fécaux**: **37°C** pendant 48 heures,
  - Pour la recherche de **coliformes thermotolérants** : **44°C** pendant 24 heures.

➤ **Lecture et interprétation**

- Examiner la membrane dès la fin de l'incubation, à travers le couvercle.
- Les coliformes totaux et fécaux apparaissent sous forme de petites colonies jaunes ou orangées, lisses légèrement bombées
- Les streptocoques fécaux apparaissent sous forme de petites colonies blanches, rouges, marron ou roses, lisses, légèrement bombées.
- Les E. coli sont : indole+ oxydase-
- Les résultats sont exprimés en nombre de colonies trouvées par 100 ml d'eau à analyser.



## Annexe II

**Tableau II : Données de base constructrice (station de Baraki, 2016)**

Paramètres	Eau brute Flux nominal journalier	Concentration sur échantillon moyen clarifiée 24h	Concentration sur échantillon moyen filtrée 24h
MES	126 000 kg/j	30 mg/ L	10
DBO <sub>5</sub>	90 000 kg/j	40	20
DCO	216 000 kg/j	120	100
Coliformes fécaux			1000 CFU/100 ml

**Tableau III : Les charges à traiter en entrée du traitement biologique pour les 2 tranches (SEAAL, 2018).**

Paramètres	Concentration moyenne (mg/L)	Charge totale à traiter (kg/j)
DBO <sub>5</sub>	224	66 852
DCO	530	158 461
MES	176	52 629

**Tableau IV : Les garanties d'eau traitée en sortie de clarificateur (SEAAI 2018).**

Elimination de la pollution par traitement biologique		
paramètres	Sortie tranche 1	Sortie tranche2
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	30	40
DCO (mg/L)	150	120
MES (mg/L)	25	30

## Annexe III

**Tableau VI :** Normes de rejet selon OMS et JORA

Paramètres	Norme OMS	Norme JORA
MES	30mg/l	35mg/l
DBO5	30 mg/l	35 mg/l
DCO	90 mg/l	120 mg/l
Ammonium	0.5 mg/l	-
Azote total	50 mg/l	50 mg/l
Phosphore total	-	5 mg/l
pH	6.5-8.5	6.8-8.5
Température	30°C	30°C
Conductivité	1500 µS/cm	2800 µS/cm
Coliformes totaux	$10^4$ - $10^7$	
Coliformes fécaux	$10$ - $10^6$	$10$ - $10^6$
Streptocoques fécaux	$10$ - $10^5$	
Salmonella	0-10	
Vibron cholérique	0-10	

## Annexe V

**Tableau X :** Table de lecture des résultats de la galerie 20<sup>E</sup>

Tests	Réactions / enzymes	Résultats négatifs	Résultats positifs
ONPG	$\beta$ -galactosidase	Incolore	Jaune
ADH	Arginine dihydrolase	Jaune	Rouge/orange
LDC	Lysine décarboxylase	Jaune	Rouge/orange
ODC	Ornithine décarboxylase	Jaune	Rouge/orange
CIT	Citrate utilisation	Vert pâle/jaune	Bleu-vert/bleu
H2S	H2S production	Incolore/grisâtre	Dépôt noir/fin liseré
URE	Urease	Jaune	Rouge/orange
TDA	Tryptophane desaminase	TDA/immédiat	
		Jaune	Marron-rougeâtre
IND	Indole production Incolore	JAMES/immédiat(Kovacs)	
		Vert-pâle/jaune	Rose
VP	Acetoin production	VP 1+ VP 2 / 10 min	
		Incolore	Rose/rouge
CEL	Gelatinase	Aucune diffusion	Diffusion du pigment noir
GUL	Glucose fermentation/oxydation	Bleu / bleu-vert	Jaune/ jaune gris
MAN	Mannitol fermentation/oxydation	Bleu	bleu-vert Jaune
INO	Inositol fermentation/oxydation		
SOR	Sorbitol fermentation/oxydation		
RHA	Rhamnose fermentation/oxydation		
SAC	Sucrose fermentation/oxydation		
MEL	Melibiose fermentation/oxydation		
AMY	Amygdalin fermentation/oxydation		
ARA	Arabinose fermentation/oxydation		

Excel spreadsheet showing a list of countries and a cell labeled "TB Id" with the value "0,68".

Country list (rows 1-20):

- ONG -
- ADH
- LDC ✓
- OMC +
- CIT +
- H.A -
- URU
- TDA -
- IND -
- VT -
- GIL
- GLU +
- MAN +
- INO
- MOF -
- BRA -
- VAC

Annotations:

- La probabilité est normalisée pour que la somme des probabilités soit de 1
- Calcul de la probabilité du profil le plus typique pour la souche
- Calcul de la probabilité du profil le plus typique pour la souche
- Calcul de la somme des probabilités (cas 0 % à caractère + ou 100 % à caractère -)
- Calcul de l'indice de discordance

Excel spreadsheet showing a large table of data with columns for various variables and a column for "Valeur de S".

Table structure (rows 1-20):

- Columns 1-10: Binary variables (+/-)
- Column 11: "Valeur de S" (e.g., 1,00, 0,99, 0,98, ..., 0,75)
- Column 12: Probability (e.g., 0,0%, 0,0%, 0,0%, ..., 0,0%)
- Column 13: Value (e.g., 4,00+41, 3,78+41, 3,57+41, ..., 1,25)

Annotations:

- Valeur de S

# Annexe VI

## ➤ Matériel non biologique

### 1. Matériels des analyses physico-chimiques

#### 1.1. Appareillage et verrerie

- Agitateur magnétique
- Balance de précision.
- Bêchers (250ml).
- conductimètre
- Creusets.
- Cuve à 25ml.
- Dispositif de filtration.
- Entonnoir.
- Eprouvettes 10ml, 100ml, 1l.
- Erlenmeyer (250ml).
- Flacons OxiTop®IS12 pour DBO<sub>5</sub>.
- Incubateur pour DBO<sub>5</sub> à 20°C.
- Kit HACH LCK (114 et 314, 338 et 238, 302/303,305 et 350)
- Oximètre.
- Papiers filtre à 0.45 µm.
- PH-mètre.
- Pissette d'eau distillée.
- Pompe à vide.
- Réfrigérateur.
- Spectrophotomètre (HACH) DR 2800 et 4000.

### 3. Matériels des analyses bactériologiques

Le matériel utilisé durant les analyses est le suivant :

#### 3.1. Milieu de culture

- Gélose au Tergitol et au TTC.
- Gélose Bile Esculine Azide (BEA)
- Gélose tryptonée au soja (TSA).
- Milieu de SLANETZ et BARTLEY
- Milieu de Schubert.
- Milieu au sélénite de sodium (SFB)
- Gélose Hektoen
- Eau peptonnée alcaline 10 fois concentré (EPA)
- Gélose nutritive alcaline biliée (GNAB)

**Tableau XI:** Composition des différents milieux de culture

	Désignation	Quantité
<b>Gélose au Tergitol et au TTC.</b>	Peptone pancréatique de viande	10 g
	- Extrait de viande	05 g
	Extrait autolytique de levure	06g
	Lactose	20 g
	Tergitol 7	0,1 g
	Bleu de bromothymol	50 mg

	Chlorure de 2, 3, 5 triphényltétrazolium	25 mg
	Agar agar bactériologique	10 g
	pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,2 ± 0,2.	
<b>Gélose Bile Esculine Azide (BEA)</b>	Tryptone	17 g
	Peptone pepsique de viande	03g
	Extrait autolytique de levure	05 g
	Bile de bœuf bactériologique	10 g
	Chlorure de sodium	05g
	Esculine	01 g
	Citrate ferrique ammoniacal	0,50 g
	Azide de sodium	0,15 g
	Agar agar bactériologique	13 g
	pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,1 ± 0,2.	
<b>Gélose tryptonée au soja (TSA).</b>	Digestat tryptique de caséine	15 g
	Peptone de soja	05 g
	Chlorure de sodium	05 g
	Agar agar bactériologique	15 à 25 g
	pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,2 ± 0,1	
<b>Milieu de SLANETZ et BARTLEY</b>	Tryptose	20g
	Extrait autolytique de levure	05 g
	Glucose	02 g
	Phosphate dipotassique	04 g
	Azide de sodium	0,4 g
	Chlorure de 2, 3, 5 triphényltétrazolium	0,1 g
	Agar agar bactériologique	10,0 g
	pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,2 ± 0,2.	
<b>Milieu de Schubert</b>	Tryptophane	0.2g
	Adde glutamique	0.2g
	Sulfate de magnésium	0.7g
	Sulfate d'ammonium	0.4g
	Citrate de sodium	0.5g
	Chlorure de sodium	02g
	Tryptone	10g
	Mannitol	1.5g
	Monohydrogénophosphate de potassium anhydre	9.47g
	Dihydrogénophosphate de potassium	9.073g
	Eau distillée	1000 ml
	pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7.6	
<b>Milieu au sélénite de sodium (SFB)</b>	peptone panaréatique de caséine	05g
	lactose	04g
	monohydrogénophosphate de sodium	10g
	sélénite acide de sodium	04g
	eau distillé	1000ml
	pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7	
<b>Gélose Hektoen</b>	peptone pepsique de viande	12g
	extrait de levure	03g
	sels billiaires	09g

	lactose	12g
	saccharose	12g
	salidine	02g
	chlorure de sodium	05g
	hyposulfite de sodium	05g
	citrate de fer ammoniacal	1.5g
	bleu de bromothymol	0.064g
	fuschine adde	0.04g
	gélose	15g
	eau distillé	1000ml
	pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,2 ± 0,2.	
<b>Eau peptonnée alcaline 10 fois concentré (EPA)</b>	peptone	30g
	chlorure de sodiumm	30g
	eau distillé	1000ml
	pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 8.6	
<b>Gélose nutritive alcaline biliée (GNAB)</b>	bactapeptone	10g
	extrait de viande	03g
	chlorure de sodium	05g
	Agar agar bactériologique	20g
	pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7.2	

### 3.2. Réactifs, additifs et solutions

- Additif Hektoen.
- Eau distillée.
- Réactif de Kovacs.
- Sélénite de sodium.
- Disques d'oxydase

### 3.3. Appareillage et verrerie

- Agitateur magnétique.
- Anse de platine.
- Bec bunsen.
- boîtes de pétri.
- Compteur colonies
- Etuve à 44°C, 37°C
- Flacons en verre de 250 ml stériles.
- Micropipette de 10 ml, 1ml
- Papier filtre de 0.47 µm
- Pincettes stériles.
- Pipettes graduées de 1 ml.
- Pipettes Pasteur
- Portoirs.
- Rampe de filtration.
- Réfrigérateur.



**Figure.1** : Rompe à filtre



**Figure.1** : Filtre en esters de cellulose de porosité 0,45 µm



**Figure.3** : Agitateur magnétique



**Figure.4** : conductimètre METTLER TOLEDO MC 226



**Figure.5** : pH mètre



**Figure.6** : thermostat HACH LT200





**Figure .7 :** Kit Hach LCK 303 (pour le dosage d'ammonium)



**Figure.8 :** Kit Hach LCK 338 et 238 (pour le dosage d'Azote total)



**Figure.9 :** Kit Hach LCK 350 et 348 (dosage du phosphate total)



**Figure.10 :** Kit Hach LCK 114 et 314 (dosage de la DCO)



**Figure. 2 :** Incubateur d'OxiTop



**Figure.12 :** Balance de précision.



**Figure.13 :** Spectrophotomètre DR2800



**Figure.14 :** Broyeur manuel



**Figure.15 : Etuve**



**Figure.16 : DBO mètre numérique**







**Figure.19** : Poste de relevage des eaux usées



**Figure.20** : Dégrilleur grossier 411-SD101C et tapis de transport associé



**Figure.21** : Dégrilleur fin 412-SD101C et tapis de transport associé



**Figure.22** : Dessableur dégraisseur





**Figure.23** : Pont racleur



**Figure.24** : Décanteur primaire



**Figure.25** : Alimentation en air d'une zone du bassin biologique



**Figure.26** : Bassin d'aération





**Figure. 27 :** Bassin de dégazage



**Figure.28 :** Clarificateur

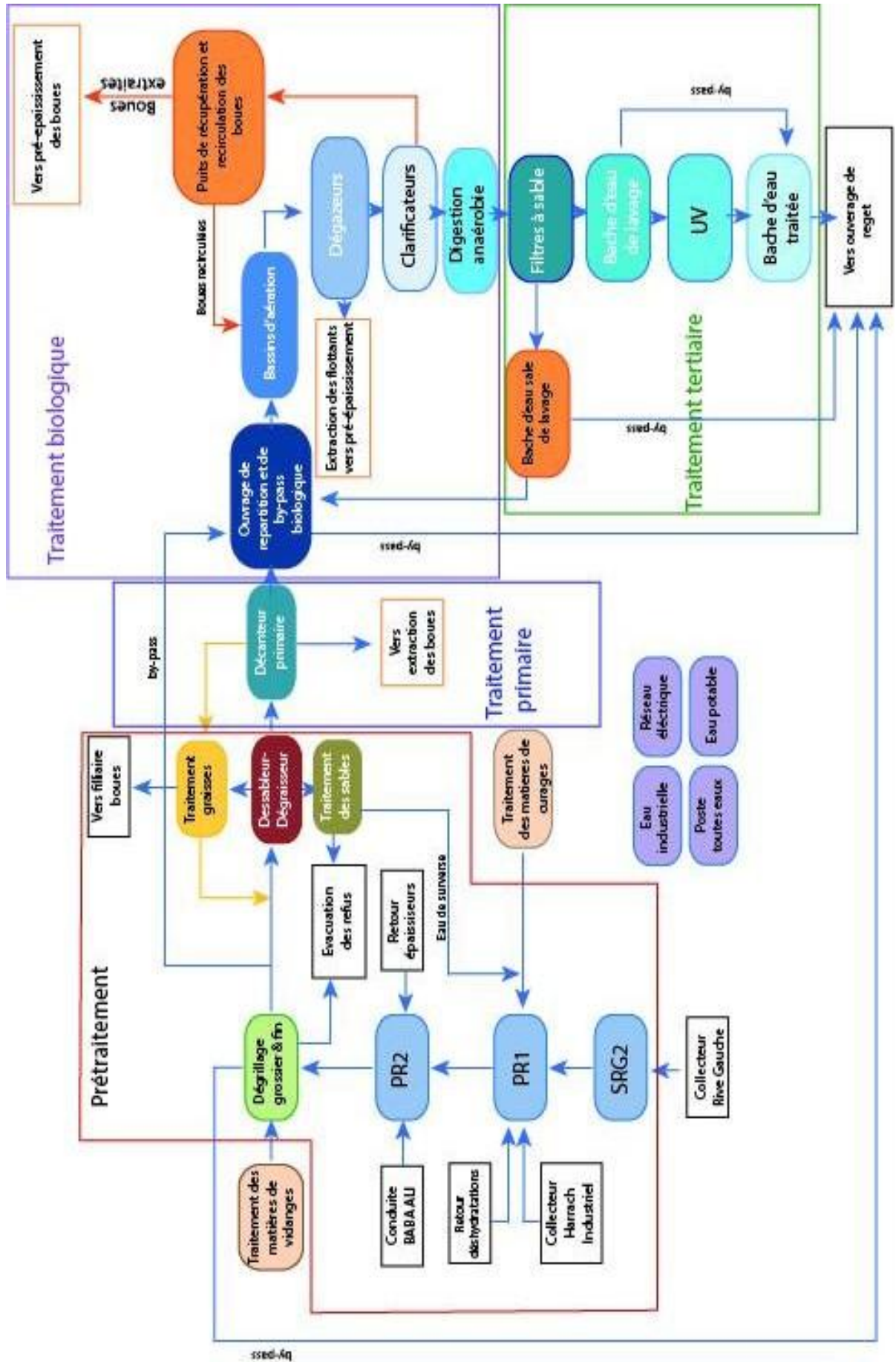






**Figure.29** : Les modules de désinfection UV

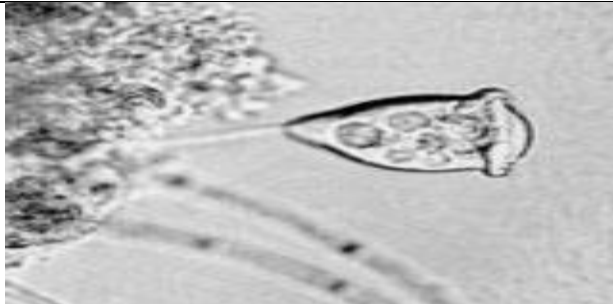
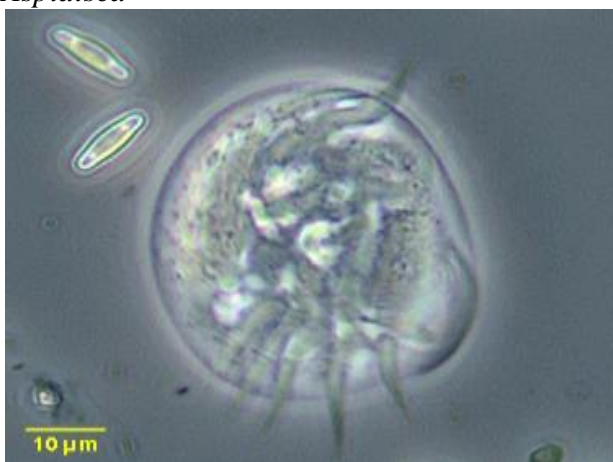
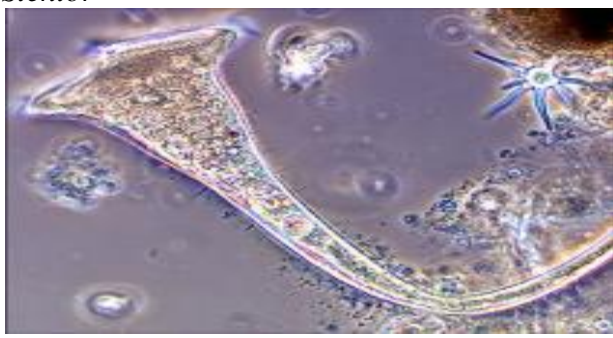
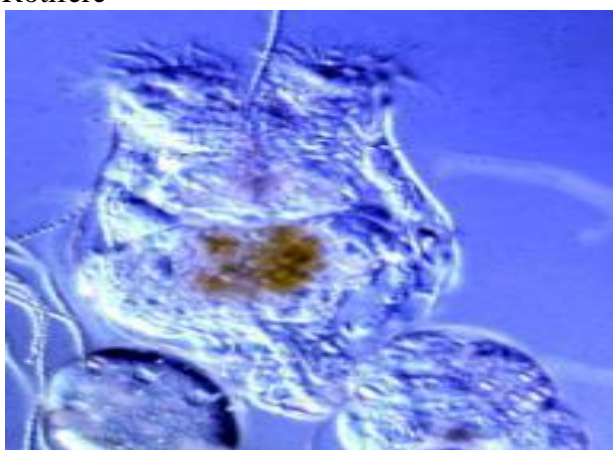
# Annexe VII

## ➤ Schéma de la STEP de Baraki






## Annexe VIII

<b>Tableau XII : Observation microscopique des boues activées</b>		
	<b>Groupes</b>	<b>Principales indications relevées par leur présence en quantité importante</b>
<b>Protozoaires</b>	Flagellés	Boues jeunes, à-coups de charge, sous-aération, qualité d'eau médiocre à mauvaise
	Rhizopodes (sarconides) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amibes</li> </ul> 	
	petites	Idem flagellés
	grandes	Traitement de bonne qualité
	Thécamoébiens	Faible charge, bonne stabilité, (bonne qualité d'eau bien nitrifiée)
	Ciliés	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Holotriches (lionotus, paramécies)</li> </ul> <i>Paramécie</i> 	Instabilité, temps de séjour hydraulique faible, sous aération, surcharge
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Péritriches (Epistylis, Vorticelles)</li> </ul> <i>Vorticelle</i>	À-coups de charge organique en boues faible charge

		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hypotriches (Aspidisca) <i>Aspidisca</i></li> </ul> 	<p>Bonne stabilité, bonne qualité d'eau surtout s'ils sont grands</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hétérotriches (Stentor, Stylonichia) <i>Stentor</i></li> </ul> 	<p>Boues de faible charge avec très bonne qualité d'eau nitrifiée</p>
<p>Métazoaires en boues activées de faible charge</p>	<p>Rotifère</p> 	<p>Bonne stabilité, bonne épuration</p>
	<p>Nématodes</p>	<p>Présence de dépôts ou de biomasse fixés</p>



		
	<p>Oligochètes</p> 	<p>Très faible charge et présence de nitrates</p>
	<p>Acariens, Tardigrades <i>Acarien</i></p> 	<p>Très faible charge et très bonne qualité d'eau</p>

Source : Station d'épuration de Baraki 2018