

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل  
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement de  
Littoral



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR ET MASTER EN SCIENCES DE LA MER.  
OPTION : INGENIERIE DE L'ENVIRONNEMENT MARIN ET COTIER

Sujet :

*Etude de traitement des eaux usées et valorisation des  
boues par compostage ; cas STEP Hadjout.*

Présenté par :

- MANI Abderrahmane
- FERRAG Abderrezak

Soutenu le 11/10/2021 devant le jury composé de :

Mlle <b>KERAGHEL Mahdia Asma</b>	(Maître de conférence B-ENSSMAL)	<b>Présidente</b>
Mme <b>BENTCHIKOU Latifa</b>	(Maître assistant A-ENSSMAL)	<b>Examinatrice</b>
Mlle <b>DJAHNIT NORA</b>	(Maître de conférence B -ENSSMAL)	<b>Examinatrice</b>
Mr <b>ZERROUKI Mohamed</b>	(Maître assistant A-ENSSMAL)	<b>Promoteur</b>
Mlle <b>MELIANI Asma</b>	(Attachée de recherche-SEAAL)	<b>Co-promotrice</b>

## **REMERCIEMENTS**

*Tout d'abord nous remercions ALLAH, le tout puissant qui nous a offert la force et la patience pour accomplir ce travail.*

*Nous tenons à remercier chaleureusement notre promoteur, Monsieur ZERROUKI Mohamed et notre co-promotrice, Madame MELIANI Asma qui ont accepté de diriger ce travail dès nos premières discussions. Ils nous ont aidé en nous accordant une grande confiance dans la démarche de notre travail, sans oublié leurs regards pertinents et leurs critiques constructives. Ce travail n'existerait pas sans leur aide et leur bienveillance, nous tenons à leur exprimer notre reconnaissance et notre sincère gratitude.*

*Nous tenons aussi à remercier vivement Mlle KERAGHEL d'avoir accepté de présider ce jury. Nos remerciements vont aussi à Mme BENTCHIKOU et Mlle DJAHNIT pour avoir accepté d'examiner notre travail*

*Nous tenons à remercier d'une façon toute particulière, Monsieur DJERRAI de nous avoir guidés et conseillés pendant la réalisation de ce travail et surtout pour son infinie patience.*

*Nous remercions aussi Monsieur EL-HAFFAF et Madame ADJADJ, de nous avoir apportés leur aide précieuse, pour tous leurs conseils, critiques et les données qu'ils ont mis à notre disposition et pour le temps qu'ils nous ont accordé tout au long de notre travail au laboratoire STEP-Tipaza.*

*Un grand merci pour Madame CHABNI et Madame MEKKATI pour leur soutien et pour les conseils qu'elles nous ont prodigués tout au long de ce travail. Nous tenons également à leur exprimer notre gratitude pour leur grande disponibilité.*

*Tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, qu'ils trouvent nos sincères remerciements.*

## **DEDICACE**

*Grâce à Dieu Tout-Puissant, je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail plus particulièrement :*

*A mon idéal, l'être le plus généreux, mon très cher père qui m'a encouragé, ma source de force pour tenir jusqu'au bout, mon Papa, l'homme qui m'a toujours supporté et cru en moi. Sa chaleur paternelle a souvent été un grand réconfort pour moi. Je ne le remercierai jamais assez pour tout ce qu'il a fait pour moi.*

*À la meilleure mère de tous les temps, ma maman. Elle a toujours été mon inspiration. Ses conseils, sa présence et sa gentillesse ont été et seront toujours pour moi indispensables. Je lui suis éternellement reconnaissant.*

*A ma grand-mère, tout mon respect et mon affection en témoignage de leur soutien, de leurs sacrifices, de leur patience, ainsi que pour leurs conseils et leur accompagnement dans ma vie.*

*A mon frère Mohammed Ali et ma chère sœur Oumnia pour les efforts et l'attachement qu'ils ont fourni pour me soutenir.*

*A toutes mes tantes Wahiba, Nachida, Mahdia, Fadhila, Saliha, Cherifa et mes chers cousins et cousines.*

*A mes chers amis Abdessalam, Akram, Moncef, Manel, Yousri, Yasmine, Wassim, Charaf, Khalil, Sami, Wail, Ahmed, Lemouchi, Hadil, Ferial, Jazz, Chaima j'espère n'avoir oublié personne.*

*A Abderrezak mon binôme qui est très sérieux et toujours de bonne humeur.*

*Je dédie ce travail.*

**MANI Abderrahmene**

## **DEDICACE**

Je dédie ce travail...

*A la mémoire de mon grand-père "Mohamed" et mes oncles "Hamid & Ahmed" .Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous que dieu vous accueille dans son vaste paradis.*

*A mes très chers parents: la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner depuis ma naissance. Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.*

*A mes très chers frères & sœurs et toute ma famille : Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.*

*A mes très chers amis. Votre affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours. Veuillez trouver dans ce modeste travail ma reconnaissance pour tous vos efforts.*

**FERRAG Abderrezak**

# Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

**Résumé**

**Introduction générale**..... 1

## **Partie théorique**

### **Chapitre I : Généralités**

1. Définition des eaux usées.....	3
2. Les catégories des eaux usées .....	3
2.1. Les eaux usées domestiques .....	3
2.2. Les eaux usées industrielles.....	3
2.3. Les eaux de ruissellement .....	3
2.4. Les eaux agricoles.....	4
3. Définition de l'épuration.....	4
4. L'objectif de l'épuration.....	4
5. Les procédés d'épuration des eaux usées.....	5
5.1. Prétraitement.....	5
5.1.1. Dégrillage.....	5
5.1.2. Dessablage.....	5
5.1.3. Dégraissage-Déshuilage.....	5
5.2. Traitement secondaire ou biologique.....	6
5.3. Traitement tertiaire.....	6
5.3.1. L'élimination des matières azotées.....	6
5.3.2. L'élimination des matières phosphatées.....	8
5.4. Traitement des boues.....	8
5.4.1. L'épaississement.....	8
5.4.2. La déshydratation.....	9
6. Les paramètres physico-chimiques des eaux usées.....	9
6.1. La température.....	9
6.2. La conductivité électrique.....	9
6.3. Le potentiel d'hydrogène .....	9
6.4. Les matières en suspension .....	9
6.5. La demande biologique en oxygène.....	9
6.6. La demande chimique en oxygène.....	10
6.7. La biodégradabilité.....	10
6.8. L'azote.....	10
6.9. Phosphore.....	10
7. La boue d'épuration .....	11
7.1. Définition .....	11
7.2. Types des boues.....	11
7.2.1. Les boues primaires.....	11
7.2.2. Les boues physico-chimiques.....	11

7.2.3. Les boues mixtes .....	12
7.2.4. Les boues biologiques.....	12
7.2.5. Les boues d'aération prolongée.....	12
8. La composition des boues .....	13
8.1. La composition chimique.....	13
8.1.1. Les matières sèches .....	13
8.1.2. Les matières minérales.....	13
8.2. La composition biologique.....	13
8.2.1. Les virus .....	13
8.2.2. Les bactéries.....	13
8.2.3. Les protozoaires.....	15
8.2.4. Les helminthes.....	15
9. Destination finale des boues.....	15
9.1. Valorisation agricole .....	15
9.1.1. Le compostage.....	16
9.1.2. L'épandage.....	17
9.2. Valorisation énergétique .....	18
9.2.1. La méthanisation .....	18
9.3. L'élimination des boues.....	19
9.3.1. L'incinération .....	19
9.3.2. La mise en décharge ou CET.....	19

## **Partie Expérimentale**

### **Chapitre II : Matériels et Méthodes**

1. Localisation géographique de la commune de Hadjout.....	20
2. La population .....	20
3. Climat.....	21
4. Le relief.....	21
5. Hydrographie.....	22
6. Les terres agricoles.....	22
7. Présentation de la STEP de Hadjout.....	22
8. Situation géographique de la STEP.....	23
9. Description et caractéristiques de la station .....	23
10. Méthodes d'étude des eaux brutes et épurées .....	25
10.1. Prélèvement et échantillonnage .....	25
10.2. Analyse de la qualité de l'eau usée (brute et épurée).....	25
10.2.1. Détermination du PH .....	25
10.2.2. Détermination de la conductivité électrique et la température .....	25
10.2.3. Mesure de la matière en suspension MES .....	26
10.2.4. Détermination de la demande chimique en oxygène .....	27
10.2.5. Détermination de la demande biologique en oxygène .....	27
10.2.6. Dosage de l'azote total .....	28
10.2.7. Dosage de l'azote ammoniacal ou ammonium.....	29
10.2.8. Dosage des nitrites.....	29

10.2.9. Dosage des nitrates.....	30
10.2.10. Dosage du phosphore total.....	30
10.2.11. Dosage des orthophosphates.....	31
11. Boue épaisse et déshydratée .....	32
11.1. Prélèvement et échantillonnage .....	32
11.2. Analyse de la matière sèche .....	32
11.3. Analyse de la matière volatile sèche.....	33
12. Compostage .....	33
12.1. Préparation du compost.....	33
12.2. Analyse de la température durant le compostage.....	34
12.3. Prélèvement et échantillonnage.....	34
12.4. Les analyses microbiologiques .....	35
12.4.1. Dénombrement des coliformes, streptocoques fécaux.....	35
12.4.2. La recherche des salmonelles.....	38
12.4.3. Techniques de caractérisation et d'identification de quelques bactéries....	39

### **Chapitre III : Résultats et Discussions**

1. Les analyses physico-chimiques de l'eau brute et épurée .....	46
1.1. La température.....	46
1.2. La conductivité électrique.....	46
1.3. Le potentiel d'hydrogène.....	47
1.4. Matières en suspensions.....	48
1.5. Demande chimique en oxygène.....	48
1.6. Demande biologique en oxygène.....	49
1.7. Les matières azotées.....	50
1.8. Les matières phosphatées.....	54
2. Les analyses de physico-chimiques des boues .....	55
2.1. La matière sèche.....	55
2.2. La matière volatile sèche.....	56
3. Résultat d'analyse de la température durant le compostage.....	56
4. Les analyses bactériologiques de la boue et le compost.....	57
4.1. Résultat de recherche et estimation des germes indicateurs de pollution .....	57
4.2. Profils biochimiques de quelques bactéries identifiées grâce à la galerie biochimique API 20 E .....	59
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>62</b>

### **Références bibliographiques**

### **Annexes**

## Liste des abréviations

**ADH** : Arginine Dihydrolase.

**ADP** : Adénosine diphosphate.

**AMP** : Adénosine monophosphate.

**API** : Appareils et procédés d'identification.

**ATP** : Adénosine triphosphate.

**BLBVB** : Milieu lactosé bilié au vert brillant.

**CE** : Conductivité électrique.

**CIT** : Citrate.

**DBO<sub>5</sub>** : Demande biochimique en oxygène.

**DCO** : Demande chimique en oxygène.

**EB** : Eau brute.

**EDEVAL** : Etablissement de développement des espaces verts d'Alger.

**EE** : Eau épurée.

**EPI** : Eau peptone exempte d'indole.

**Eq** : Equivalent.

**GEL** : Gélatine.

**Ha** : Hectare.

**Hab** : Habitats.

**ISO** : Organisation internationale de normalisation.

**LBCM** : Laboratoire de biologie cellulaire et moléculaire.

**LDC** : Lysine Décarboxylase.

**MES** : Matières en suspension.

**MM** : Matières minérales.

**MO** : Matière organique.

**MRE** : Ministère des ressources en eau.

**MS** : Matière sèche.

**MV** : Matières volatiles.

**MVS** : Matières volatiles en suspension.

**NPP** : Nombre le plus probable.

**NT** : Azote totale.

**ODC** : Ornithine Décarboxylase.

**OMS** : Organisation mondiale de la santé.  
**PH** : Potentiel d'hydrogène.  
**PHE** : Poly- $\beta$ -alcanoates.  
**PT** : Phosphore totale.  
**RM** : Rouge de methyl.  
**SAA** : Spectrométrie d'absorption atomique.  
**SEAAL** : Société des eaux et d'assainissement d'Alger.  
**STEP**: Station d'épuration.  
**TSI** : Triple sugar iron.  
**URE** : Urée.  
**VP** : Sodium pyruvate.

---

---

## Liste des tableaux

<b>Tableau I</b> : Sélection du volume d'échantillon pour la mesure du DBO <sub>5</sub> .....	28
<b>Tableau II</b> : Dénombrement et recherche des coliformes et streptocoques contenus dans la boue et le compost.....	37
<b>Tableau III</b> : Les germes présents dans la boue et dans le compost.....	60

## Liste des figures

<b>Figure1</b> : Nature des eaux usées.....	4
<b>Figure2</b> : Nitrification.....	7
<b>Figure3</b> : Dénitrification.....	7
<b>Figure4</b> : Boues primaires.....	11
<b>Figure5</b> : Boues physico-chimiques.....	11
<b>Figure6</b> : Boues mixtes.....	12
<b>Figure7</b> : Boues biologiques.....	12
<b>Figure8</b> : Boues d'aération prolongée.....	12
<b>Figure9</b> : Schéma sur le principe de compostage.....	16
<b>Figure10</b> : La méthanisation des boues.....	18
<b>Figure11</b> : Localisation de la commune de Hadjout dans la wilaya de Tipaza.....	20
<b>Figure12</b> : Diagramme de quantité de précipitation de Hadjout (1990 à 2020).....	21
<b>Figure13</b> : Diagramme des températures maximales de Hadjout (1990 à 2020).....	21
<b>Figure14</b> : La commune de Hadjout vue par satellite.....	22
<b>Figure15</b> : Image satellitaire de la STEP de Hadjout.....	23
<b>Figure16</b> : Schéma général du fonctionnement de la STEP de Hadjout.....	24
<b>Figure17</b> : Schéma sur le dénombrement des indicateurs de contamination fécale par la méthode NPP dans la boue et le compost.....	36
<b>Figure18</b> : Technique de recherche et d'identification des salmonelles.....	38
<b>Figure19</b> : Observation microscopique des bactéries à Gram négatif.....	39
<b>Figure20</b> : Test du catalase.....	40
<b>Figure21</b> : Test d'oxydase.....	40
<b>Figure22</b> : Les renseignements principaux de la gélose TSI.....	41
<b>Figure23</b> : Schéma du test King A pour la recherche des <i>Pseudomonas</i> .....	42
<b>Figure24</b> : Test urée indole.....	43
<b>Figure25</b> : Les renseignements principaux de la gélose mannitol-mobilité.....	44
<b>Figure26</b> : Schéma de la galerie API 20 E.....	45
<b>Figure27</b> : La variation de la température d'eau brute et épurée.....	46
<b>Figure28</b> : La variation de la conductivité électrique des eaux brutes et épurées.....	46
<b>Figure29</b> : Les variations du pH de l'eau brute et épurée.....	47
<b>Figure30</b> : La variation des MES de l'eau brute et épurée.....	48

<b>Figure31</b> : La variation de la DCO dans l'eau brute et l'eau épurée.....	48
<b>Figure32</b> : La variation de la DBO <sub>5</sub> dans l'eau brute et l'eau épurée.....	49
<b>Figure33</b> : Le rapport de biodégradabilité (DCO/DBO <sub>5</sub> ) dans l'eau brute.....	50
<b>Figure34</b> : La teneur en azote total dans l'eau brute et l'eau épurée.....	50
<b>Figure35</b> : La teneur en azote ammoniacal dans l'eau brute et épurée.....	51
<b>Figure36</b> : La teneur en N-NO <sub>2</sub> dans l'eau brute et épurée.....	52
<b>Figure37</b> : La teneur en N-NO <sub>3</sub> dans l'eau brute et épurée.....	53
<b>Figure38</b> : La concentration en phosphate total dans l'eau brute et épurée.....	54
<b>Figure39</b> : La teneur en orthophosphates dans l'eau brute et l'eau épurée.....	55
<b>Figure40</b> : La variation de la matière sèche.....	55
<b>Figure41</b> : La matière de la matière volatile sèche.....	56
<b>Figure42</b> : La variation de la température durant le compostage.....	56
<b>Figure43</b> : La variation de la quantité des coliformes totaux en fonction de l'échantillon prélevé.....	57
<b>Figure44</b> : La variation des coliformes fécaux en fonction de l'échantillon prélevé.....	58
<b>Figure45</b> : La variation de la quantité des streptocoques fécaux en fonction de l'échantillon prélevé.....	58
<b>Figure46</b> : Ensemencement sur milieu SS, colonies noires.....	59
<b>Figure47</b> : Ensemencement sur milieu SS, colonies noires.....	59
<b>Figure48</b> : Ensemencement sur milieu SS, colonies brunes.....	60
<b>Figure49</b> : Ensemencement sur milieu SS, colonies noires.....	60
<b>Figure50</b> : Ensemencement sur milieu SS, colonies incolores (transparentes).....	60
<b>Figure51</b> : Ensemencement sur milieu SS, colonies brunes.....	60

## RÉSUMÉ

Cette étude consiste à suivre la qualité physico-chimique de l'eau brute et l'eau épurée de la STEP de Hadjout, qui révèlent que les eaux usées épurées présentent un caractère neutre ( $\text{pH}=7,76$ ) et des concentrations moyenne en azote totale égale à 25 mg/l et en phosphore total qui est de 1,34 mg/l. La détermination des paramètres de pollution mesurés donne en moyenne :  $\text{BOD}_5=8,32$  mg/l,  $\text{DCO}=55,8$  mg/l et  $\text{MES}=14,83$  mg/l.

Le suivi de la transformation du mélange boues activées-déchets verts avant et après le compostage en surveillant la température et les paramètres microbiologiques. Ceci a permis de mettre en évidence les conditions optimales du compostage des boues. En effet, la réalisation de ce processus à été faite dans de bonne condition. Le produit final est caractérisé par la présence des bactéries pathogènes qui nécessite une étude approfondie.

**Mots clés :** Eau brute, Eau épurée, boues activées, déchets verts, compostage, Paramètres physico-chimiques, Paramètres microbiologiques.

## ملخص

تتمحور هذه الدراسة حول مراقبة الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه الخام و المياه النقية لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي بحجوط، و التي كشفت أن مياه الصرف الصحي النقية لها صفة متعادلة ( $\text{pH} = 7.76$ ) و متوسط تركيزات إجمالي الأزوت يساوي 25 مجم / لتر و إجمالي الفسفور 1.34 ملجم / لتر. يعطي تحديد معاملات التلوث المقاسة في المتوسط :  $\text{BOD} = 8,32$  مجم / لتر،  $\text{COD} = 55,8$  مجم / لتر،  $\text{MES} = 14,83$  مجم / لتر.

مراقبة تحول خليط المخلفات الخضراء و الحمأة المنشطة قبل و بعد التسميد من خلال مراقبة درجة الحرارة و المعايير الميكروبيولوجية. هذا جعل من الممكن تسليط الضوء على الظروف المثلى لتسميد الحمأة. و بالفعل، تم تحقيق هذه العملية في حالة جيدة. يتميز المنتج النهائي بوجود بكتيريا ممرضة تتطلب دراسة متأنية.

**الكلمات المفتاحية :** المياه الخام، المياه النقية، الحمأة المنشطة، النفايات الخضراء، التسميد، المعايير الفيزيائية و الكيميائية، المعايير الميكروبيولوجية.

## ABSTRACT

This study consists in monitoring the physico-chemical quality of raw water and treated water of Hadjout WWTP, which reveal that treated wastewater has a neutral character ( $\text{pH}=7.76$ ) and average concentrations of total nitrogen equal to 25 mg/l and total phosphorus which is 1.34 mg/l. The determination of the measured pollution parameters gives an average of :  $\text{BOD}_5=8,32$  mg/l,  $\text{COD}=55,8$  mg/l and  $\text{SM}=14,83$  mg/l.

The monitoring of the transformation of the activated sludge-green waste mixture before and after composting by monitoring the temperature and microbiological parameters. This allowed to highlight the optimal conditions of sludge composting. Indeed, the realization of this process was done in good conditions. The final product is characterized by the presence of pathogenic bacteria that requires further study.

**Key words :** Raw water, purified water, activated sludge, green waste, composting, physicochemical parameters, microbiological parameters.

# **Introduction Générale**

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les accroissements démographiques, économiques et urbains sont à l'origine de différentes sources de pollution environnementale (pollution atmosphérique, pollution des eaux de surfaces et profondes, pollution du sol), et ce, en particulier dans les pays en développement moins préoccupés et moins sensibilisés par les risques sanitaires concomitants. Parmi ces sources de pollution la production d'eaux usées souvent rejetées dans le milieu récepteur (mer, rivières, sols) sans traitement préalable génère de nombreuses maladies hydriques et une propagation des épidémies (**OMS, 1989**).

Ces dernières années, l'augmentation de la demande en eau pour la consommation humaine, industrielle, agricole et les sécheresses répétées qui sévissent en Algérie ont sensibilisé les décideurs à considérer les eaux usées comme une ressource hydrique appréciable, d'où la nécessité de réfléchir à un programme national d'épuration des eaux usées.

Quel que soit le système d'épuration adopté, le traitement des eaux usées s'accompagne d'une production de quantités de boues non négligeables dont il faut se débarrasser. Plusieurs filières existent pour l'élimination de ces boues, mais le choix doit être tributaire du coût d'installation, de l'origine de boues, de la valeur ajoutée du produit qui en résulte et de l'impact que pourrait avoir la filière retenue sur l'environnement. La mise en décharge appelée aussi stockage s'avère une technique peu valorisante et est légalement interdite dans de nombreux pays (**DIRECTIVE 1999/31/CE**). La valorisation biologique ou agricole (production d'engrais et de compost) constituent des technologies vertes permettant de transformer les boues en produits à haute valeur ajoutée en minimisant les risques de pollution (**PREVOT, 2000 ; ADEM, 2001 ; AUBAIN et al., 2002**).

Le présent travail œuvre pour l'évaluation de degré d'efficacité de processus de traitements des eaux usées et compostage des boues résiduelles de la STEP de Hadjout-Tipaza. Cela sera abordé en utilisant différents indices physico-chimiques et microbiologiques.

La première approche de ce travail consiste à évaluer la qualité physico-chimique des eaux usées avant et après traitement (l'eau brute et épurée), afin de mesurer le degré de pollution sur le milieu récepteur et l'environnement et la possibilité de réutilisation des eaux épurées dans le domaine agricole. Il contribuera aussi à une meilleure compréhension des techniques d'épuration.

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

La deuxième approche de ce travail consiste à mesurer les paramètres microbiologiques des boues déshydratées avant et après traitement, qui permet de contrôler l'efficacité de processus de compostage et mesurer le risque écotoxicologique sur le sol avec un suivi analytique des germes indicateurs de pollution et leur évolution en fonction du temps de traitement et les conditions optimales du milieu lors du compostage, afin de valoriser et recycler ces boues dans le domaine d'agriculture. Ce travail contribuera aussi à une meilleure compréhension des techniques de compostage.

Ce travail de thèse est subdivisé en deux grands volets :

Le premier volet est consacré à l'état de l'art bibliographique ou l'état de lieu, la problématique de recyclage des boues et les filières d'épuration des eaux usées sont traitées.

Partie théorique :

Chapitre 1 : Généralités sur le traitement des eaux usées et les étapes de compostage.

Le deuxième volet consacré aux résultats et leurs discussions. Il est subdivisé en 2 chapitres :

Partie expérimentale :

Chapitre 2 : Matériel utilisé et méthodes d'analyse physico-chimique des eaux usées et microbiologique des boues et compost.

Chapitre 3 : Une confirmation a été réalisée de l'ensemble des résultats obtenu. Elle vise la mise en place de procédé des outils analytiques et des supports d'expertise, ce qui a permis de dégager une synthèse générale justifiant l'efficacité de cette filière et son intérêt. Une conclusion de diverses perspectives conclura ce travail.

# **Partie théorique**

## **Chapitre I : Généralités**

### 1. Définition des eaux usées :

Les eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine, industrielle ou agricole (**REJSEK, 2002**). Elles doivent être traitées avant d'être réintroduite vers d'autres sources d'eaux pour qu'elles ne causent pas de pollution de ces autres sources. Les eaux usées sont susceptibles d'engendrer différentes sortes de pollutions et de nuisance dans le milieu récepteur (**GROSCLAUDE, 1999**).

### 2. Les catégories des eaux usées :

Les eaux usées comprennent généralement les eaux pluviales, les eaux de drainage, les eaux usées des toilettes, les excréments et les déchets solides (**Figure 1**). Ces rejets liquides peuvent être de quatre natures (**LEBBOUKH, 2003**).

#### 2.1. Les eaux usées domestiques :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, et en eaux vannes ; il s'agit des rejets des toilettes chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (**GOMELLA & GUERREE, 1978**).

#### 2.2. Les eaux usées industrielles :

Elles sont extrêmement variées selon le genre d'industrie dont elles proviennent. Elles contiennent diverses substances, pouvant être acides ou alcalines, corrosives ou entartrées, à température élevée, souvent odorantes et colorées. Leur rejet directe dans le réseau, s'il est possible, nécessite une étude soignée du nombre d'équivalents/habitants auquel correspond à l'industrie étudiée (**RODIER et al., 2005**).

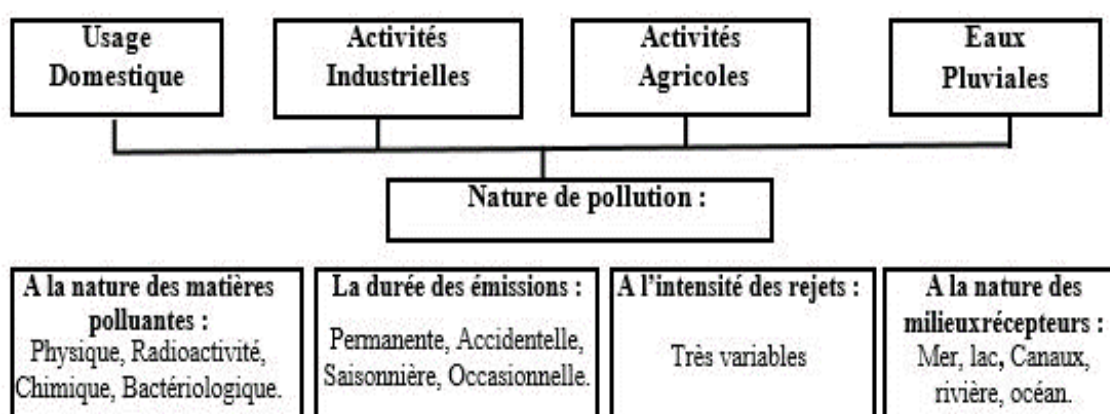
Elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques et des hydrocarbures (**LARTIGES, 1994**).

#### 2.3. Les eaux de ruissellement :

Elles peuvent aussi constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange et carburants) (**LIBES, 2010**).

**2.4. Les eaux agricoles :**

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation), des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides et insecticides) (GROSCLAUDE, 1999).



**Figure.1.** Nature des eaux usées (GALAF & GHANNAM, 2003).

**3. Définition de l'épuration:**

L'épuration des eaux usées s'applique à la dépollution des eaux usées urbaines ou industrielles à l'aide d'une panoplie de processus naturels mis en œuvre de façon plus ou moins industrielle, onéreuse, efficace et robuste (ADLER, 2005).

**4. L'objectif de l'épuration :**

L'épuration des eaux résiduaires est devenue une nécessité pour des raisons sanitaires, économiques et législatives et même pour préserver l'environnement (KAROUNE, 2008).

L'objectif de l'épuration des eaux usées est l'obtention d'une eau épurée qui satisfait aux normes de rejets édictées par la législation, et pouvant par suite être évacuée sans danger du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement (ZEGHOUD, 2014).

### 5. Les procédés d'épuration des eaux usées :

#### 5.1. Prétraitement :

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

Il comprend le dégrillage pour retenir les déchets volumineux, le dessablage, pour obtenir une meilleure décantation, le dégraissage et le déshuilage pour éviter l'encrassement de la station par des corps gras (BOURRIER *et al.*, 2010).

##### 5.1.1. Dégrillage :

Les eaux usées d'origine urbaine ou industrielle qui arrivent à la station d'épuration passent d'abord à travers des grilles à barreaux plus au moins espacés ou des tamis rotatifs qui retiennent les éléments les plus volumineux. Ce traitement permet de protéger les ouvrages contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation (DEGREMENT, 2005).

##### 5.1.2. Dessablage :

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes, les graviers, le sable et les particules minérales plus ou moins fines de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites et les installations et de protéger les unités de traitement contre l'abrasion (JARDE, 2002).

##### 5.1.3. Dégraissage – Déshuilage :

Les graisses et les huiles étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau issues non seulement des habitations, mais aussi des restaurants, des garages, des chaussées, des usines, des abattoirs (JARDE, 2002).

Le dégraissage vise à éliminer la présence de graisse dans les eaux usées, graisses qui peuvent gêner l'efficacité des traitements biologiques qui interviennent ensuite.

Le dégraissage s'effectue par flottation. L'injection d'air au fond de l'ouvrage permet la remontée en surface des corps gras. Les graisses sont raclées à la surface, puis stockées avant d'être éliminées (SILMAN, 2003).

### 5.2. Traitement secondaire ou biologique :

Le procédé à boues activées consiste à provoquer le développement d'un floc bactérien dans un bassin alimenté en eaux usées à traiter (bassin d'aération), l'apport d'air dans le bassin d'aération pour la satisfaction de la DBO<sub>5</sub> et pour la respiration de la masse cellulaire (KOLLER, 2004). Il est destiné à contribuer au brassage et au maintien en suspension des boues activées (BERNE & CORDONNIER, 1991).

Le bassin d'aération peut être précédé d'un décanteur primaire dans le but d'éliminer les matières en suspension décantables et sera suivie d'un clarificateur qui assurera la séparation de l'effluent épurée avec les boues, celle-ci seront en partie recyclée dans le bassin d'aération pour assurer le réensemencement et la concentration permanente, et l'autre partie extraites vers le traitement des boues (KOLLER, 2004).

### 5.3. Traitement tertiaire :

Les traitements tertiaires les plus courants sont l'élimination des matières azotées, (la nitrification et la dénitrification), l'élimination des matières phosphatées (la déphosphatation) (CORNICE, 1992).

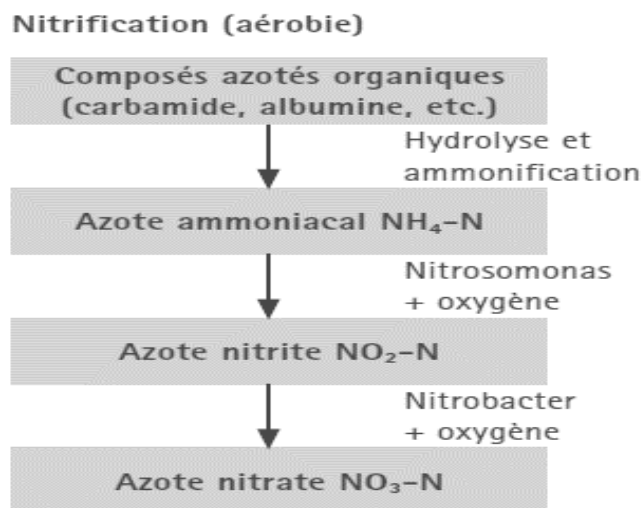
#### 5.3.1. L'élimination des matières azotées :

##### ➤ La nitrification :

L'enlèvement de l'azote dans les eaux usées est principalement effectué par nitrification et dénitrification biologique.

Le processus de nitrification consiste d'abord en l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), un état intermédiaire, puis ce dernier est rapidement oxydé en nitrate (Figure 2).

Cette transformation, qui est effectuée en présence d'oxygène par des bactéries autotrophes nitrifiantes, se divise en deux étapes, la première étant assurée par des bactéries *Nitrosomonas* et la deuxième par des bactéries *Nitrobacter* (METCALF & EDDY, 2003).

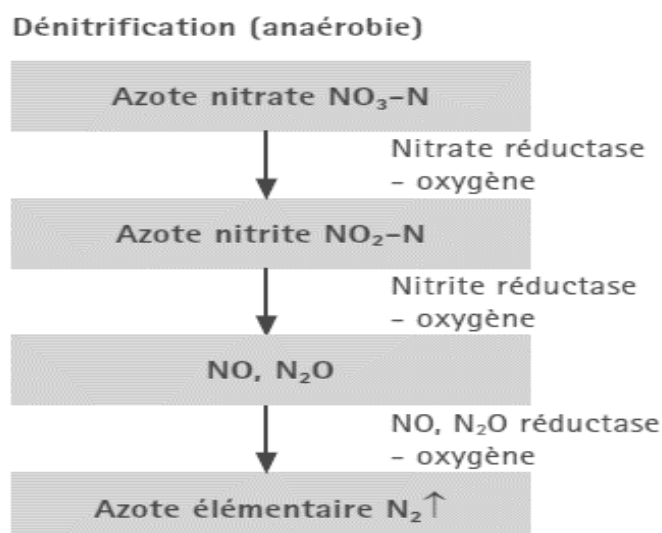


**Figure.2.** Nitrification.

Plusieurs facteurs influencent la nitrification, notamment les concentrations en azote, en matière organique, en oxygène dissous et en matières en suspension, de même que la température (BOLLER *et al.*, 1994).

➤ **La dénitrification :**

La dénitrification est un processus anoxique au cours duquel les bactéries hétérotrophes changent leur métabolisme pour utiliser les formes oxydées d'azote ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) comme accepteurs d'électron au lieu de l'oxygène moléculaire ( $\text{O}_2$ ) (METCALF & EDDY, 2003). La réduction biologique du nitrate au cours de la dénitrification mènera à la production finale de  $\text{N}_2$  (produit gazeux inerte), tel qu'il est illustré ci-dessous :



**Figure.3.** Dénitrification.

### 5.3.2. L'élimination des matières phosphatées :

#### ➤ La déphosphatation :

Contrairement au carbone et à l'azote, le phosphore ne peut pas être évacué vers l'atmosphère. La seule voie d'élimination du phosphore consiste à le concentrer dans les boues. La déphosphatation peut être de deux natures : biologique ou chimique (**DERONZIER, 2004**).

Par voie biologique et dans le bassin d'anaérobiose, les bactéries déphosphatantes synthétisent des substances de réserve, les poly- $\beta$ -alcanoates (PHA), à partir des substrats facilement biodégradables des eaux usées et de l'énergie libérée par l'hydrolyse intracellulaire dépolyphosphates. Il en résulte un relargage de phosphore dans le milieu externe (**HOOSHYARI et al., 2009**).

Dans le bassin d'aération, les PHA et la MO contenus dans les eaux usées sont oxydés par les micro-organismes. La respiration (de l'oxygène) produit l'énergie nécessaire aux bactéries qui régénèrent et augmentent leurs stocks de polyphosphates (**KRÜHNE, 2000**).

L'élimination biologique du phosphore est liée à une réabsorption de phosphore plus importante que le relargage (**BELINE et al., 2004**).

### 5.4. Traitement des boues :

Le traitement d'un mètre cube d'eaux usées produit de 350 à 400 grammes de boues. Ces boues, généralement très liquides, contiennent une forte proportion de matières organiques. Elles sont donc très fermentescibles et susceptibles de causer des nuisances (**AUSSEL, 2004**).

#### 5.4.1. L'épaississement :

Les boues, avant leur élimination, subissent un traitement adapté à leur nature ainsi qu'à leur destination, afin d'en réduire le volume, en éliminant l'eau (les boues sont, en effet, extraites liquide du système de traitement de l'eau). Ceci est réalisé par un procédé d'épaississement qui est une concentration de la boue par décantation puis par un procédé de déshydratation permettant d'éliminer une quantité d'eau liée aux MES plus importante (**REJSEK, 2002**).

### 5.4.2. La déshydratation :

Les procédés de déshydratation ont pour objectif de faire passer la boue de l'état liquide à une consistance plus ou moins solide, qui devra évidemment répondre aux exigences de la destination finale choisie (KOLLER, 2009).

## 6. Les paramètres physico-chimiques des eaux usées :

### 6.1. La température :

La température des eaux usées est fortement influencée par les conditions climatiques. Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision.

En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, et dans la détermination du pH (RODIER *et al.*, 2005).

### 6.2. La conductivité électrique :

Ce paramètre mesure la capacité d'un liquide à transmettre un courant électrique à une température précise; la mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, calcium, sodium, magnésium) (RODIER *et al.*, 2005).

### 6.3. Le potentiel d'hydrogène :

Le pH ou le potentiel d'hydrogène est une grandeur utilisée pour caractériser le degré d'acidité ou de basicité du milieu (LE PIMPEC *et al.*, 2002).

### 6.4. Les matières en suspension :

Ce sont les matières non dissoutes contenues dans l'eau. Elles comportent à la fois des éléments minéraux et organiques. La plus grande partie des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées, est associée aux MES (FAO, 2003).

### 6.5. La demande biologique en oxygène :

C'est la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes présents dans l'eau, en assurant leur dégradation par voie biologique (RODIER *et al.*, 2005).

### 6.6. La demande chimique en oxygène :

C'est la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique de la matière organique et inorganique contenue dans l'eau. Elle représente donc, la teneur totale des matières oxydables présentes dans l'eau (**DEGREMONT, 1978**).

### 6.7. La 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 du rapport DCO/DBO<sub>5</sub> 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 (**IDRISSI et al., 2015**).

Les règles suivantes étant généralement retenues (**RODIER et al., 2009**) :

- ✓ DCO/DBO<sub>5</sub> < 3 effluent facilement biodégradable.
- ✓ 3 < DCO/DBO<sub>5</sub> < 5 effluent moyennement biodégradable.
- ✓ DCO/DBO<sub>5</sub> > 5 effluent difficilement biodégradable.

### 6.8. L'azote :

Dans les eaux usées urbaines l'azote est très présent sous forme organique (urines, protéines) et ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Les différentes formes de l'azote qui existent dans les eaux usées sont (**RODIER et al., 2005**) :

- Azote Kjeldahl (NK) = azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) + azote organique (N<sub>org</sub>).
- L'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).
- Les nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>).
- Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

### 6.9. Phosphore :

Le phosphore provient des rejets humains et de l'utilisation des détergents (lessives) (**BAUMONT, 2009**), on distingue :

- Phosphore organique: résidu de la matière vivante, organophosphoré (ATP, ADP, AMP, phospholipides).
- Phosphore minéral : essentiellement constitué d'orthophosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) qui représente 50 % de la totalité contenue dans les eaux usées urbaines.

## 7. La boue d'épuration :

### 7.1. Définition :

Les boues sont définies comme un mélange d'eau et de matières solides, séparées par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui les contiennent (ADEM, 2001).

### 7.2. Types des boues :

Cinq types de boues sont distingués :

#### 7.2.1. Les boues primaires :

C'est les boues de traitement primaire appelées boues fraîches, elles sont obtenues au niveau de décanteur primaire par simple décantation des matières en suspension (MES) contenue dans les eaux usées (ADDOU, 2009).

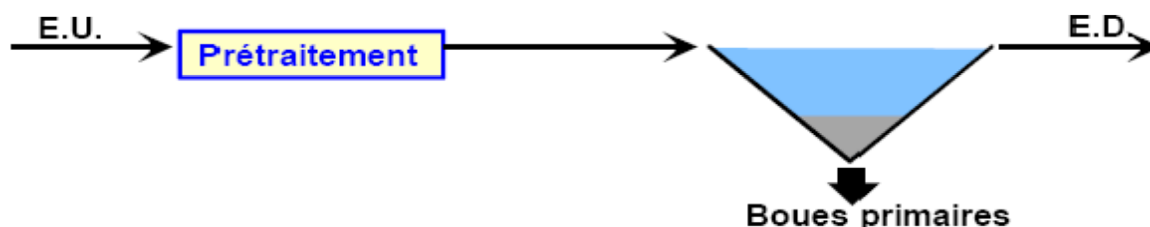


Figure.4. Boues primaires.

#### 7.2.2. Les boues physico-chimiques :

Ce sont des boues issues des clarificateurs ou décanteurs après traitement primaire pour lesquelles un réactif est utilisé pour éliminer la matière organique qui n'a pas pu être neutralisée lors du traitement primaire (DUCHENE, 1990).

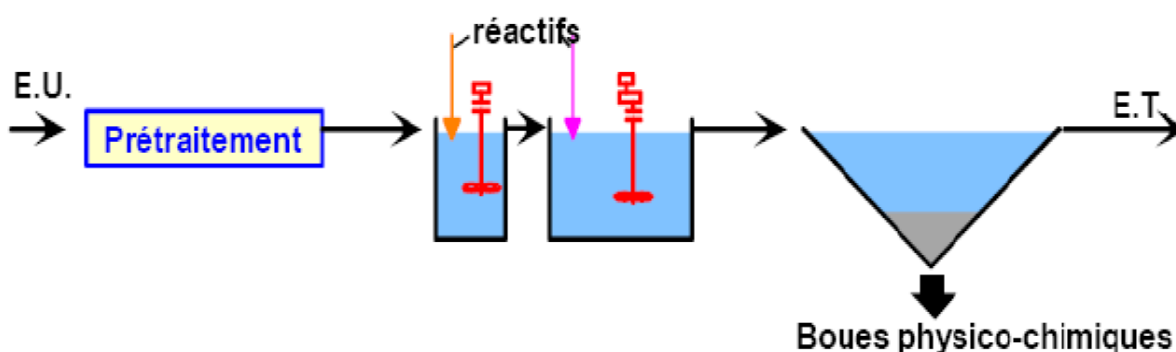


Figure.5. Boues physico-chimiques.

**7.2.3. Les boues mixtes :**

C'est le mélange des boues physicochimiques et des boues primaires (Figure 6). Ce mélange est généralement réalisé avant la stabilisation des boues (ADDOU, 2009).

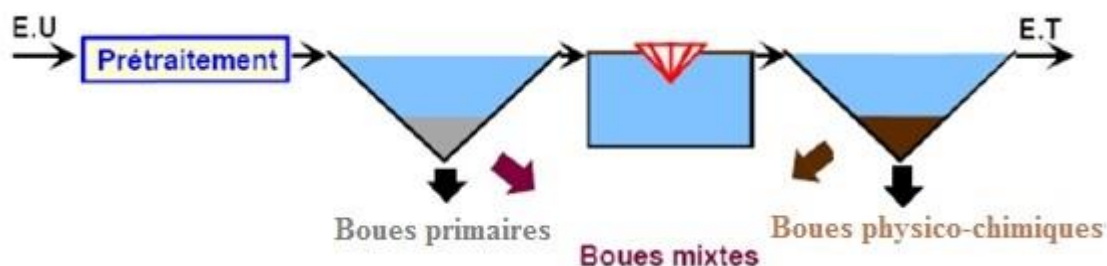


Figure.6. Boues mixtes.

**7.2.4. Les boues biologiques :**

Les boues biologiques résultent de l'activité vitale des micro-organismes (Figure 7). Les boues ont une structure floculée et sont séparées dans des décanteurs secondaires (KOLLER, 2004).

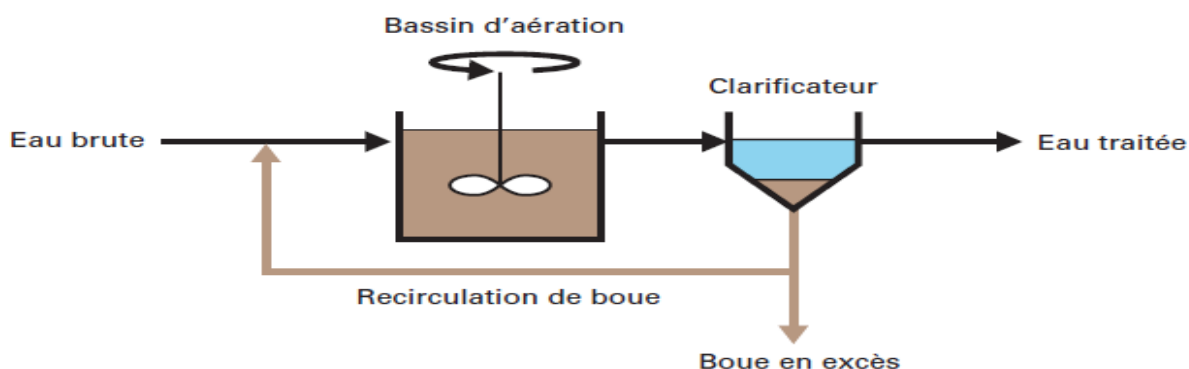


Figure.7. Boues biologiques.

**7.2.5. Les boues d'aération prolongée :**

Ces boues existent au niveau des STEP sans décantation primaire (Figure 8). Elles sont moins organiques et donc produisent moins de nuisances ultérieures.

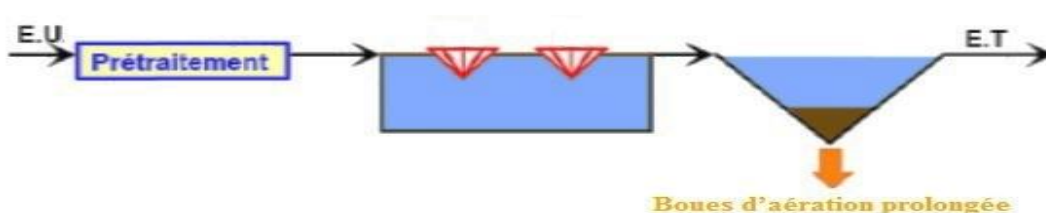


Figure.8. Boues d'aération prolongée.

### 8. La composition des boues :

#### 8.1. La composition chimique :

**8.1.1. Les matières sèches (MS) :** Les matières sèches englobent des matières minérales (MM) et de matières organiques appelées aussi matières volatiles sèches (MVS). Ce paramètre nous renseigne sur le degré de stabilité de la boue (**BONGIOVANNI, 1998**).

**8.1.2. Les matières minérales (MM) :** C'est la différence entre les MS et les MVS. Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son « extrait sec » constitué par les matières en suspension telles que l'argile, sable et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates (**BOURRIER et al., 2010**).

#### 8.2. La composition biologique :

Les boues résiduaire contiennent une grande quantité de microorganismes : virus, bactéries et parasites. Leurs concentrations peuvent être réduites significativement par les procédés de traitement des boues, comme la digestion anaérobie, aérobie et compostage (**TAUZIN & JUSTE, 1986**).

##### 8.2.1. Les virus :

On trouve des entérovirus, des adénovirus adsorbés sur la matière organique solide des boues dans une proportion non négligeable environ 30% des échantillons de boues. Leur élimination n'est pas facile à mener mais selon l'utilisation ultérieure des boues (**TAUZIN & JUSTE, 1986**).

##### 8.2.2. Les bactéries :

La présence des bactéries suggère une contamination des boues par des matières fécales (**BAUMONT, 2009**).

Dans les boues des stations d'épurations, on trouve de nombreuses bactéries : *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Mycobacterium*, *Clostridium perfringens*, *Klebsiella*, *Salmonella*, *Shigella*, *Enterobacteriaceae* (**DUDLEY et al., 1980**).

### ➤ Coliformes totaux

Ils regroupent un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant à la famille des *Enterobacteriaceae*. Selon (ISO) : le terme « coliforme » correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, Gram négatif, oxydase négatif, facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance similaires, et capables de fermenter le lactose et le mannitol avec production de gaz en 48 heures, à des températures de 35 à 37°C. Les coliformes comprennent les genres : *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Yersinia*, *Serratia* (RODIER et al., 2005).

Ils sont présents en très grand nombre dans l'intestin et les selles de l'homme (GOUJAUS, 1995).

De nombreux coliformes ne sont pas dangereux du point de vue sanitaire sauf en cas de prolifération extrêmement abondante ou de réceptivité particulière de consommateur (GUIRAUD, 1998).

### ➤ Coliformes fécaux

Ils correspondent à des coliformes qui sont capables de se développer à 44°C (RODIER et al., 2005).

Elles peuvent être associées dans un aliment contaminé à des entérobactéries pathogènes comme les *Salmonella*, *Shigella*, les *Yersinia* et certains biotypes d'*E. Coli*. Leur développement est possible sur de nombreux milieux entre -2 et 50°C et entre pH 4,4 et 9 (GUIRAUD, 1998).

- *E. coli* : c'est des colibacilles, lactose positif, gazogènes, réalisant une fermentation acide mixte (RM positif, VP négatif). Elles produisent de l'indole à partir de tryptophane, à 44°C. Elles peuvent être responsables de maladies diarrhéiques ou des maladies extra-intestinales. Leur présence est le témoin d'une contamination fécale (BERAUD, 2004).

### ➤ Les streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont des coques Gram positif, sphériques allongés, formant des chaînettes ou des paires, non sporulés. Ils sont dépourvus de cytochrome et de catalase. Ils peuvent se développer en aérobiose, un métabolisme fermentatif et sont considérés comme des anaérobies tolérant l'oxygène (BERAUD, 2004).

### ➤ Les Salmonelles

Les *Salmonella* sont des Entérobactéries bacilles, asporulées, Gram négatif, mobiles grâce à une ciliature péritriche, oxydase négatif, aéro-anaérobies facultatives, lactose négatif,  $\beta$ -galactosidase négatif, uréase-indole négatif, H<sub>2</sub>S positif, citrate positif (GUIRAUD, 1998).

Les *Salmonella* sont pour la plupart des parasites du tube digestif de l'homme et des animaux (BERAUD, 2004).

Elles résistent bien dans le milieu extérieur. On les retrouve surtout dans les produits d'origine animal (œufs, lait, viande, poisson), l'eau polluée et les produits consommés crus (GUIRAUD, 1998).

### 8.2.3. Les protozoaires :

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte. 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 (BAUMONT et al., 2004).

### 8.2.4. Les helminthes :

Ce sont des êtres multicellulaires (métazoaires) plus nombreux que les protozoaires comme les nématodes intestinaux, trématodes, cestodes et insectes. Ils sont extracellulaires, kystes, parasitent le tube digestif (SCHAECHTER, 1999).

## 9. Destination finale des boues :

### 9.1. Valorisation agricole :

La valorisation agricole des boues résiduelles peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimiques (C, N, P), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique. Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique du à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges. Les boues résiduelles peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux (LAMBKIN et al., 2004).

### 9.1.1. Le compostage :

Le compostage est un processus biologique de dégradation et de transformation de la matière organique végétale et animale en conditions aérobies. L'objectif de cette technique est de transformer ces boues à un produit à haute valeur ajoutée en minimisant les risques de pollutions, afin d'utiliser dans le domaine agricole (TICHADOU, 2014).

Il fait intervenir successivement des populations microbiennes (bactéries, champignons et protozoaires) qui, en présence d'oxygène, produisent une montée en température, une perte en eau, une minéralisation en  $\text{CO}_2$  et une production de substances humiques (Figure 9) (TICHADOU, 2014).

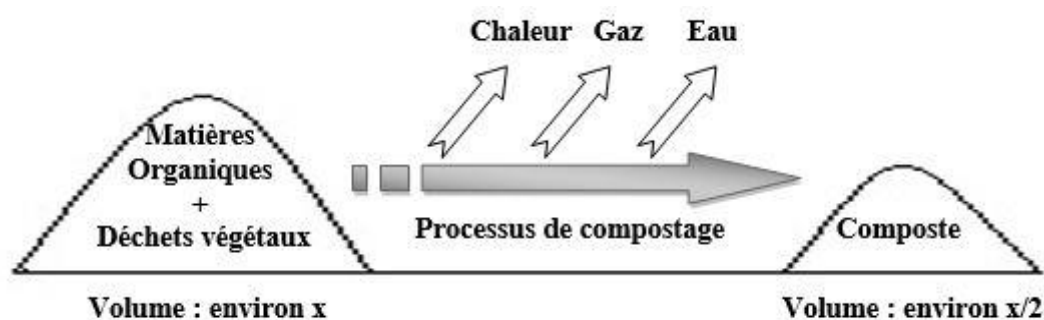


Figure.9. Schéma sur le principe de compostage (TICHADOU, 2014).

#### ➤ L'utilisation du compost :

Le compost peut avoir beaucoup d'utilisations différentes :

- Engrais.
- Terreau, terre de pépinière, plantation d'arbres et barrage vert.
- Prévention contre l'érosion.
- Réhabilitation des terres brûlées.

#### • Engrais :

Il est avantageux d'utiliser du compost comme engrais parce qu'en améliorant la structure du sol, il améliore la fertilité du sol pendant longtemps. Le facteur clef de l'amélioration de la structure du sol est la matière organique. Elle contient de grandes quantités de microéléments qui sont essentiels à la croissance des plantes et elle améliore la capacité de rétention de l'eau du sol. Un autre aspect est que le compost ne libère ses substances nutritives aux plantes qu'un peu à la fois, si bien que son action dure beaucoup plus longtemps (INCKEL *et al.*, 1990).

- **Terreau, terre de pépinière, plantation d'arbres, barrage vert :**

Le compost est très avantageux pour les plants de la pépinière, soit dans un lit des semences ou une pépinière où ils germent, soit dans des pots ou dans des fosses dans lesquelles les jeunes plants ou les jeunes arbres sont plantés. Compost est bien capable de retenir l'eau, alors les jeunes plants ne souffriront pas facilement de manques d'eau et ils obtiendront à partir du compost tous les éléments nutritifs dont ils ont besoin (INCKEL et al., 1990).

- **Prévention contre l'érosion :**

L'emploi du compost pour la prévention de l'érosion est fortement lié à l'amélioration de la fertilité du sol. Un sol bien fertilisé est en général moins sensible à l'érosion, du fait que la matière organique maintient l'unité du sol.

En plus, le compost sert de couvre-terre pour protéger le sol contre la pluie (INCKEL et al., 1990).

- **Réhabilitation des terres brûlées:**

La réhabilitation des terres brûlées est basée sur l'ajout de compost au sol pour favoriser la biodégradation des polluants. Elle repose sur trois points :

- le besoin de structurant pour mieux aérer le sol.
- les besoins en nutriment des micro-organismes.
- la croissance des micro-organismes.

Afin de ressusciter la biodiversité végétale et animale (ROUDIER, 2005).

### 9.1.2. L'épandage :

L'épandage constitue la technique la plus répandue pour la valorisation des boues résiduaires (ADLER, 2005).

C'est sans doute la meilleure solution, elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de la matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges. Les composés tels que le carbone, l'azote, le phosphore et le potassium étant ainsi recyclés et valorisés par la végétation en place : on parle alors de fertilisation (LAMBKIN et al., 2004).

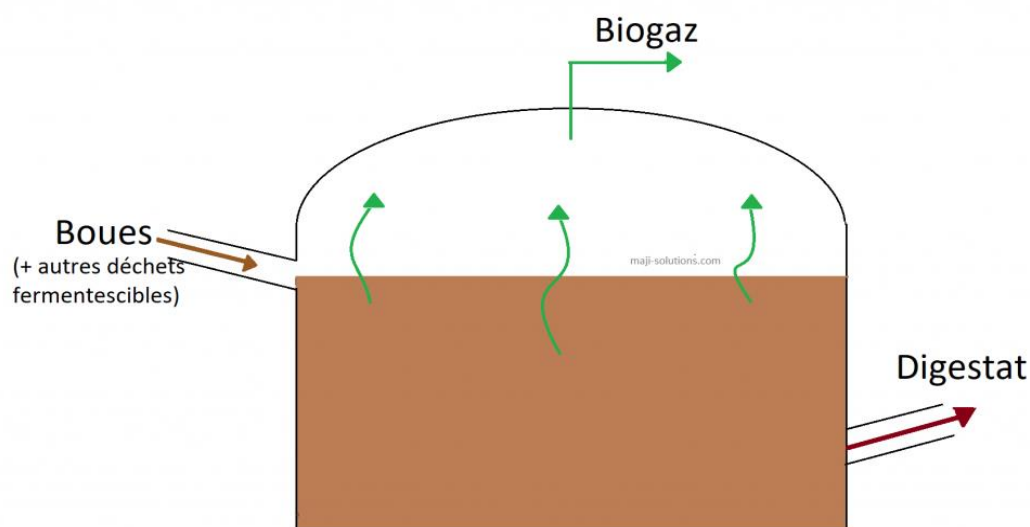
### 9.2. Valorisation énergétique :

La valorisation énergétique est un procédé qui permet de valoriser des matières organiques en produisant une énergie renouvelable (électricité, chaleur). La valorisation énergétique (méthanisation) des boues participe de manière évidente à la protection de l'environnement (OTV, 1997).

#### 9.2.1. La méthanisation :

La méthanisation ou digestion anaérobie est un procédé naturel de transformation de la matière organique en énergie par des bactéries en l'absence d'oxygène. Elle est conduite dans des enceintes confinées, appelées digesteurs, à l'intérieur desquelles les réactions de fermentation sont optimisées et contrôlées, elle produit du biogaz composé majoritairement de méthane, tout en réduisant le taux de matières organiques de nombreux déchets ou sous-produits biodégradables (**Figure 10**). Le résidu obtenu de la digestion est stable, désodorisé, débarrassé en majeure partie des germes pathogènes (**JOURAIPHY, 2007**).

Matière organique + microorganismes anaérobiose → Biogaz



**Figure.10.** La méthanisation des boues.

### 9.3. L'élimination de la boue :

#### 9.3.1. L'incinération :

L'incinération aboutit à la destruction par combustion à haute température (+ 500°C) de la matière organique, sous forme de fumées. L'eau s'évacue dans l'atmosphère à l'état de vapeur d'eau. Seules restent les matières minérales (cendres) et éventuellement les résidus du lavage des fumées qu'il convient d'évacuer en décharge contrôlée. Pour des raisons techniques et économiques, l'incinération est surtout envisageable pour :

- Des grosses quantités de boues.
- Des boues auto-combustibles qui libèrent en brûlant la chaleur nécessaire au maintien du four en température. Les boues sont auto-combustibles si elles sont riches en matières organiques et peu humides.

Cette technique est néfaste de point de vue écologique puisqu'elle contribue en plus de gaspillage des matières organiques utiles pour le sol et à la diffusion de gaz très toxiques (NO, NO<sub>2</sub>, CO, SO) (MININNI *et al.*, 2004 ; NAMMARI *et al.*, 2004).

#### 9.3.2. La mise en décharge ou CET :

La mise en décharge contrôlée consiste en un enfouissement des boues en tenant compte de certaines conditions : compactage de résidus, site étanche, récupération et traitement des jus de décharges (lixiviats), équipements et gestion du site. Les boues utilisées pour l'enfouissement sont obligatoirement stabilisées et déshydratées (EL-FADEL & KHOURY, 2000 ; ALLEN, 2001 ; SARIGIANNIS, 2012).

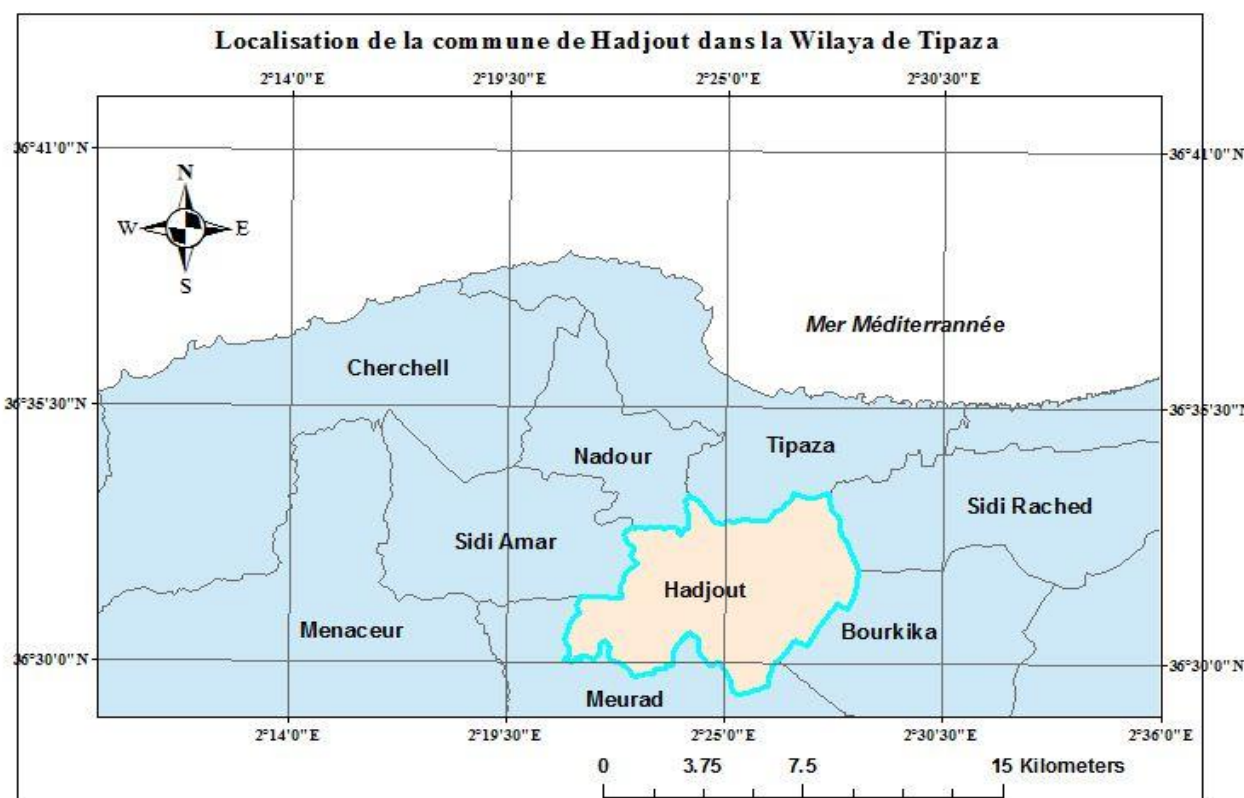
# **Partie Expérimentale**

## **Chapitre II : Matériel Et Méthodes**

## CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1. Localisation géographique de la commune de Hadjout :

La commune de Hadjout est située au centre nord de l'Algérie, à proximité du littoral méditerranéen, à 75 kilomètres au sud-ouest d'Alger, à 14 km au sud de Tipaza, à 28 km au sud-est de Cherchell et à 35 km à l'ouest de Blida. Elle est limitée géographiquement par : la commune de Tipaza, au nord, la commune de Sidi Amar, à l'ouest, Sidi Rached et Bourkika à l'est et Meurad au sud (**BOUDJELAL, 2007**).



**Figure.11.** Localisation de la commune de Hadjout dans la wilaya de Tipaza (2021).

Les coordonnées géographiques de la commune au point central de son territoire valent respectivement 36° 30' 45'' Nord et 2° 24' 49'' Est. Sa superficie totale estimée à 5162 hectares dont 4056,95 ha orientée vers agriculture (**BOUDJELAL, 2007**).

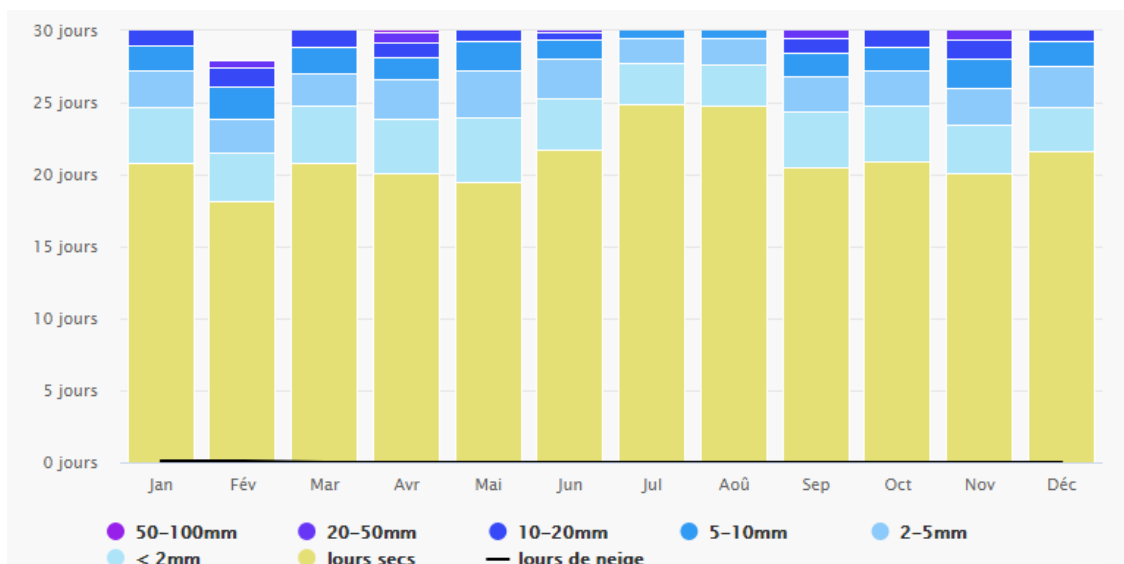
### 2. La population :

La population recensée est de 48 561 habitants en 2020 et couvre une superficie de 5162 Km<sup>2</sup>, soit une densité de 928,5 hab/Km<sup>2</sup>.

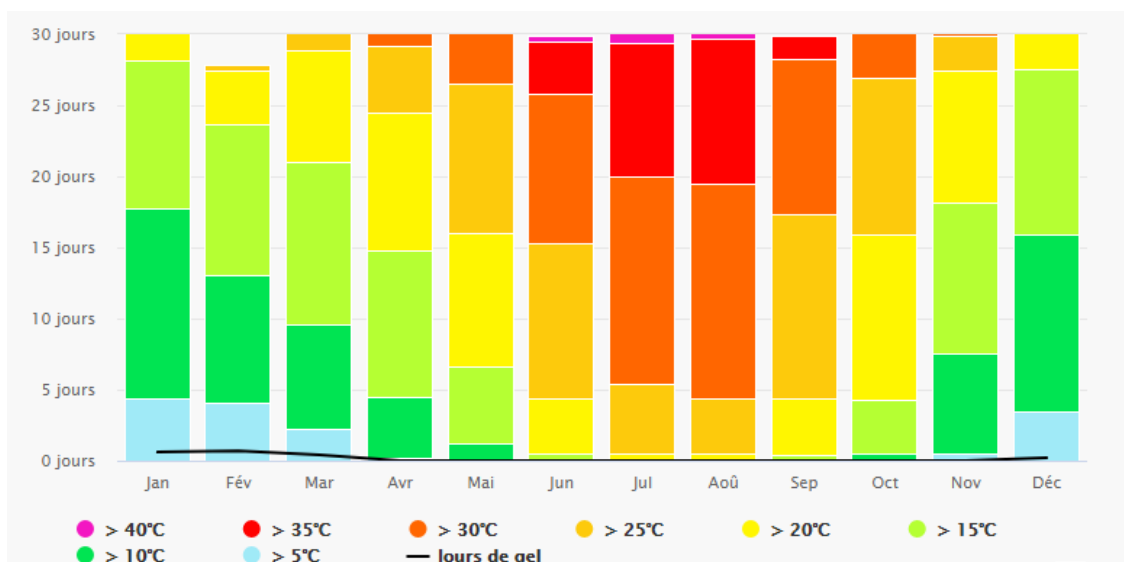
## CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 3. Le climat :

La zone d'étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen, humide et pluvieux en hiver, chaud et sec en été (MESSAHEL et *al.*, 2013). Les principales caractéristiques climatiques sont présentées sous les diagrammes suivants qui se fondent sur 30 ans de données météo historiques temporaires pour Hadjout :



**Figure.12.** Diagramme de quantité de précipitation de Hadjout de 1990 à 2020 (Météoblue, 2021).



**Figure.13.** Diagramme des températures maximales de Hadjout 1990 à 2020 (Météoblue, 2021).

### 4. Le relief :

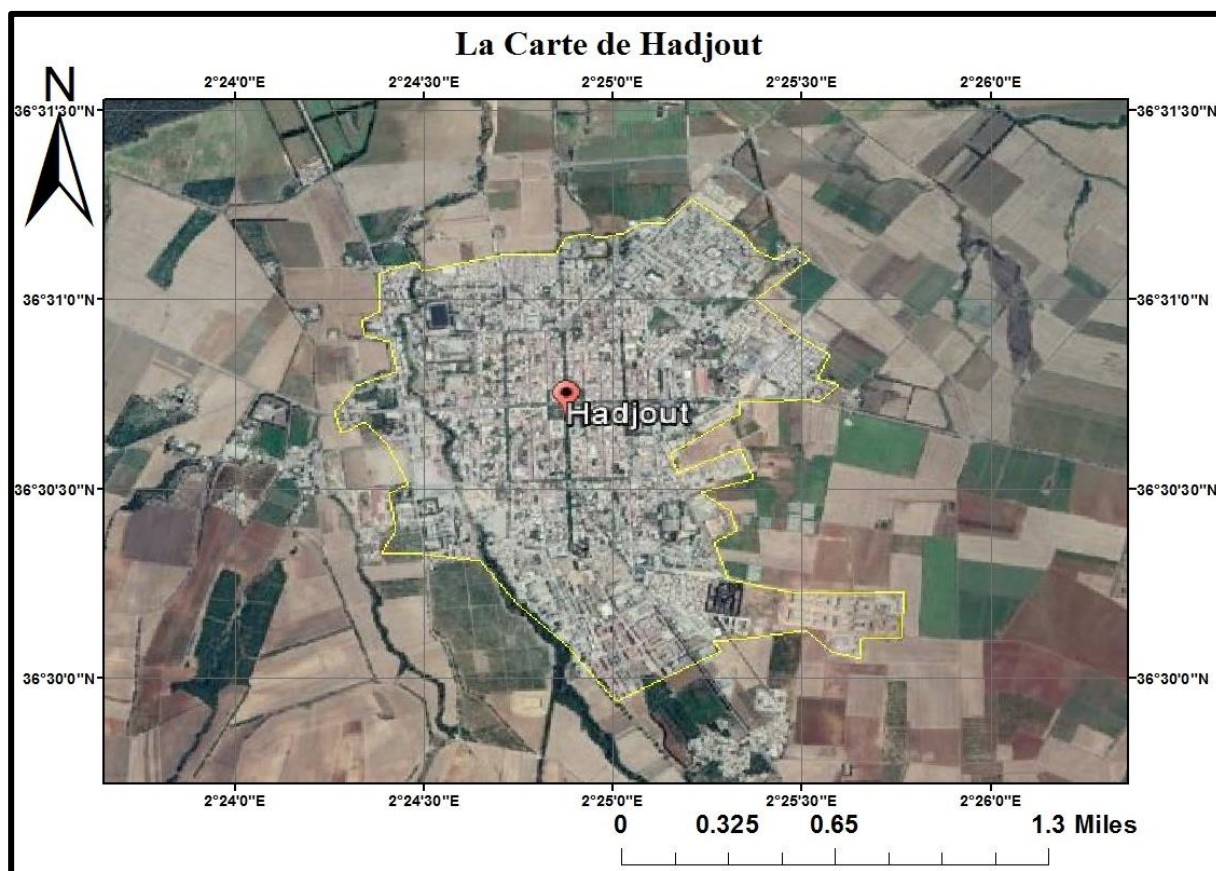
La commune de Hadjout est située sur la plaine de la Mitidja, une des plus importantes plaines d'Algérie. Son altitude est de 50 à 100 mètres (MEKLATI, 2009).

### 5. Hydrographie:

La station d'épuration des eaux usées urbaines de Hadjout de type boue activée à faible charge, est située au nord-est de l'agglomération de Hadjout à 2 kilomètre de la ville de Hadjout dans la zone industrielle (MESSAHEL *et al.*, 2013).

### 6. Les terres agricoles :

La commune de Hadjout est entourée par de grandes surfaces agricoles, qui tendent vers la diversification et l'intensification des cultures pratiquées dans la région (MESSAHEL *et al.*, 2013).



**Figure.14.** La commune de Hadjout vue par satellite (Google Earth, 2021).

### 7. Présentation de la STEP de Hadjout :

Mise en service en juin 2006, la station d'épuration de Hadjout est de type boues activées fonctionnant en aération prolongée faible charge associée à une dénitrification et une déphosphatation biologiques. Sa capacité nominale est de 70.000 Eq.Hab pour un débit de 11.200m<sup>3</sup>/j.

## CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cette station prend en charge les rejets des villes de Hadjout, Meurad, et Arahaba. Elle reçoit  $7.300 \text{ m}^3/\text{j}$  en moyenne et permet d'éliminer plus de 94% de la pollution contenue dans les eaux usées avant rejet dans l'oued Bourkika. Son niveau de conformité a atteint 100% en 2013. La production de boue est de 2.200 tonnes de boues par an, à 19.4 % de siccité (SEAAL, 2006).

### 8. Situation géographique de la STEP :

Elle est située au nord-est de l'agglomération de Hadjout à 2 kilomètre de la ville de Hadjout dans la zone industrielle.

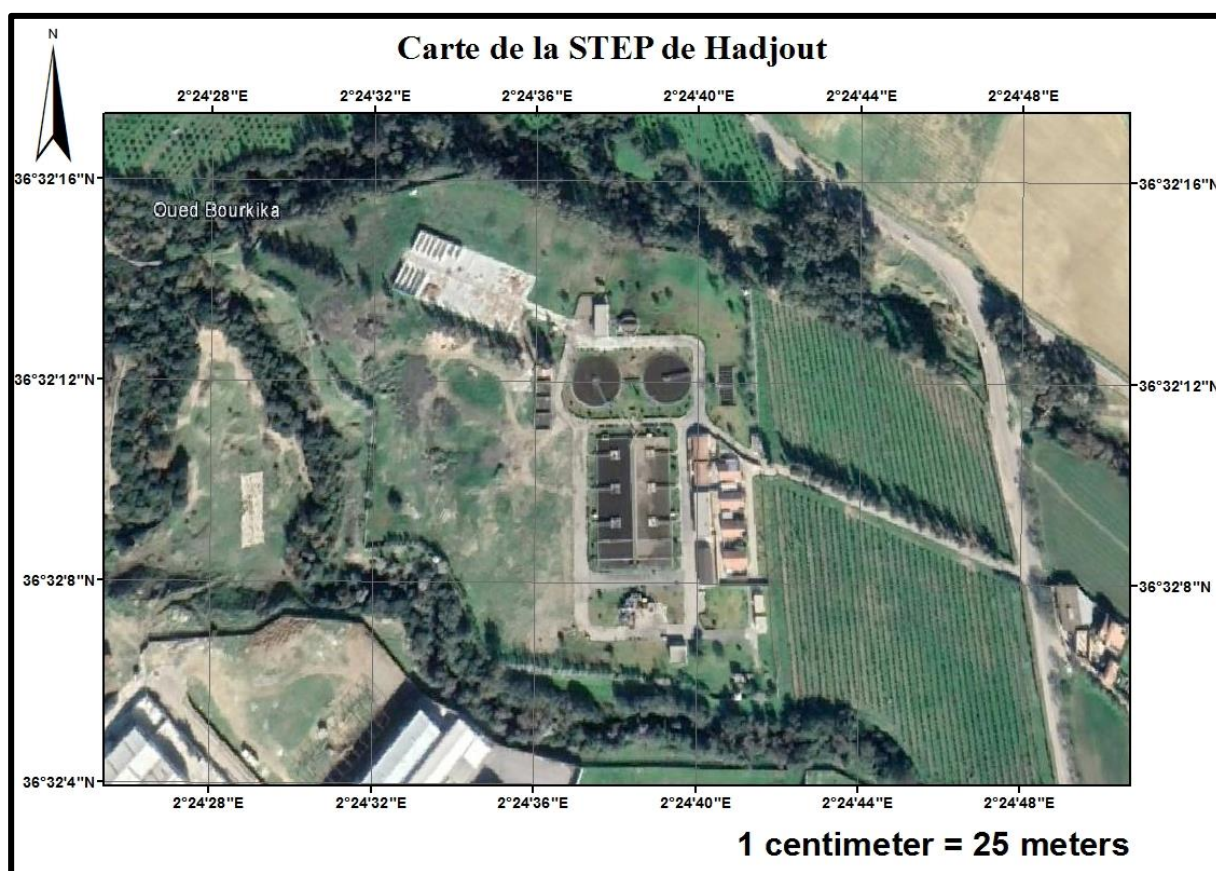


Figure.15. Image satellitaire de la STEP de Hadjout (Google Earth, 2021).

### 9. Description et caractéristiques de la station :

La station reçoit les eaux usées domestiques de la ville de Hadjout et Meurad par réseau unitaire gravitaire par refoulement des eaux usées des postes de relevage de Boufadel et Arahaba. Le traitement se fait par le processus de boues activées à faible charge, aération prolongée pour protéger le milieu récepteur.

Les étapes de traitement sont les suivantes (Figure 16) :

- Le prétraitement (traitement primaire).

## CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

- Traitement biologique (bassin anaérobie, bassin anoxie, bassin d'aération).
- Traitement secondaire (décantation).
- Traitement des boues (épaississement, déshydratation).

Dans la perspective de valorisation et réutilisation des boues, le projet de compostage a été lancé.

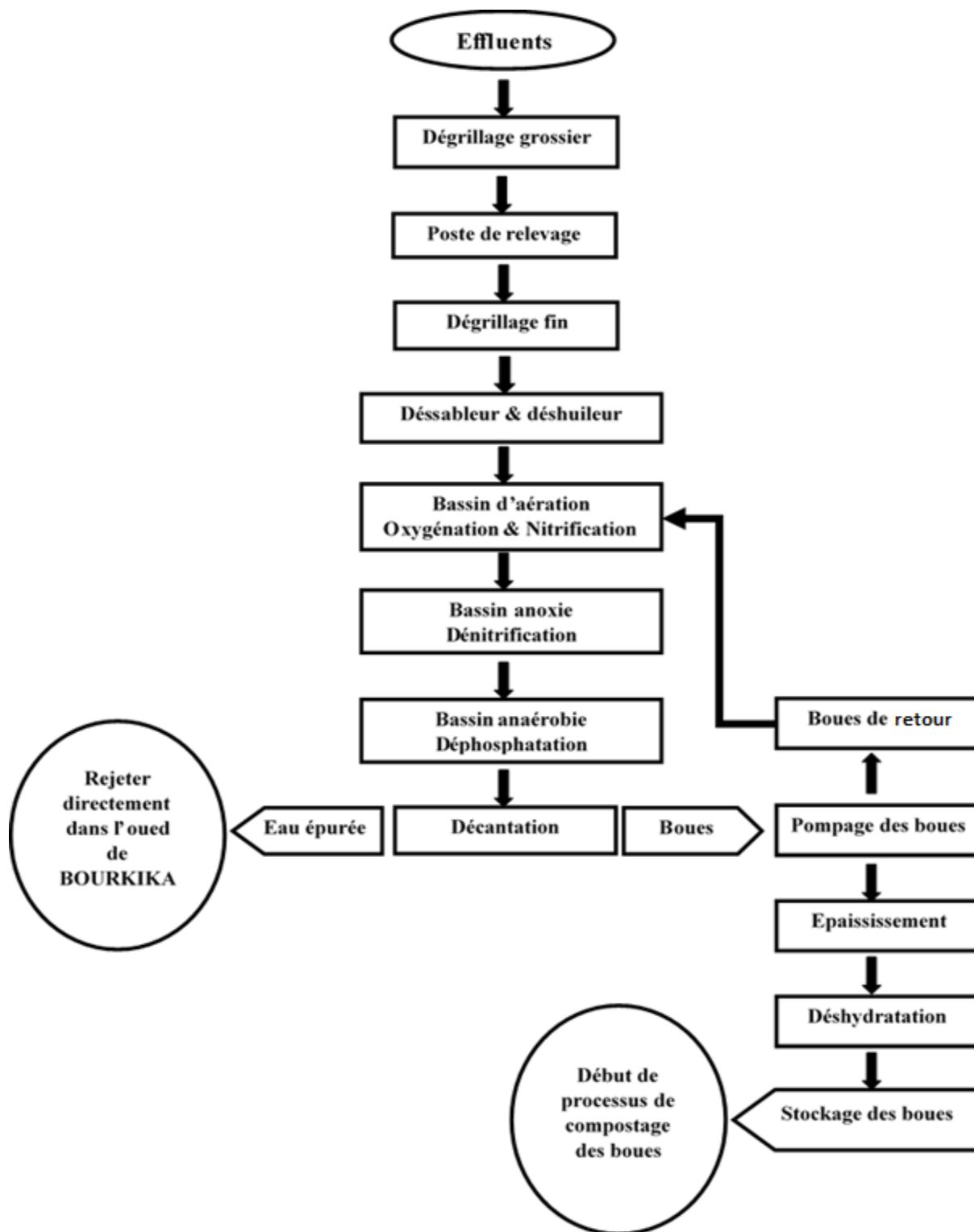


Figure.16. Schéma général du fonctionnement de la STEP de Hadjout.

### 10. Méthodes d'étude des eaux brute et épurée :

#### 10.1. Prélèvement et échantillonnage :

La station d'épuration de Hadjout est équipée de deux préleveurs automatiques utilisés pour prélever l'eau brute et l'eau épurée avec une fréquence journalière.

Cette méthode consiste à prélever des échantillons homogènes et représentatifs de volume constant à un intervalle de temps bien déterminé.

Les échantillons prélevés ont été conservés dans une glacière à une température de 4°C et transportés directement au laboratoire de la STEP de Tipaza afin de les analyser une fois par semaine.

#### 10.2. Analyses physico-chimiques :

##### 10.2.1. Détermination du pH :

➤ **But d'analyse :**

Déterminer l'acidité, la neutralité ou la basicité de l'eau.

➤ **Mode opératoire :**

- Allumer le pH-mètre.
- Vérifier l'étalonnage de l'appareil au moyen de solutions tampon commerciales prêtes à l'emploi et de pH connus : pH 4,01 ; pH 7,00 et pH 10,00.
- Plonger l'électrode dans la solution à analyser (eau brute ou épurée) de 250ml.
- Mettre en service le PH-mètre suivant la procédure du constructeur.
- Lire le résultat affiché directement sur l'écran du pH-mètre.
- Rincer l'électrode après chaque usage et conserver l'électrode dans l'eau distillée.

##### 10.2.2. Détermination de la conductivité électrique et la température :

➤ **But d'analyse :**

Déterminer la conductivité électrique de l'échantillon à tester.

➤ **Mode opératoire :**

- Allumer le conductimètre.
- Etalonner avec une solution KCl 0.01 mol/l. Cette solution a une conductivité de 1413 $\mu$ S/cm à 25°C.
- Remplir un bécher avec une quantité d'eau de 250ml.
- Mettre l'électrode dans le bécher, la valeur de la conductivité s'affiche sur l'écran de l'appareil avec une unité de micro-siemens par centimètre ( $\mu$ S/cm) ou bien milli-siemens par centimètre (mS/cm).

## CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

- 1 mS/cm = 1000  $\mu$ S/cm.

### 10.2.3. Mesure de la matière en suspension :

La méthode utilisée est celle de la filtration sur membrane à fibre (0,45  $\mu$ m).

#### ➤ But d'analyse :

Mesurer la matière en suspension par filtration sur filtres en fibres de verre.

#### ➤ Mode opératoire :

- Attendre jusqu'à ce que les échantillons soient à température ambiante.
- Peser la capsule en aluminium contenant un filtre à l'aide d'une balance analytique.
- Placer le filtre (la partie lisse en bas) dans l'entonnoir du dispositif de filtration et insérer l'entonnoir sur la fiole à vide.
- Remplir l'éprouvette par 50ml pour l'eau brute et 200ml pour l'eau épurée (le volume utiliser dépend de la charge d'échantillon).
- Verser le volume d'échantillon dans l'entonnoir, puis rincer l'éprouvette avec un peu d'eau distillée, et verser également dans l'entonnoir.
- Démarrer la filtration en enclenchant la pompe d'aspiration. Une fois l'échantillon filtré, rincer les parois internes de l'entonnoir avec un peu d'eau distillée et filtrer cette eau.
- Libérer le dispositif sous vide lorsque le filtre est pratiquement sec.
- Retirer avec précaution le filtre de l'entonnoir à l'aide d'une pince à extrémité plate.
- Mettre les capsules dans l'étuve à  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant au moins 2h.
- Retirer les capsules de l'étuve, passer au dessiccateur environ 30min puis peser.
- Les MES sont calculées par la formule suivante :

$$P = (M1 - M0) \times 1000 / V$$

- **P** : teneur en matières en suspension, en mg/l.
- **V** : volume, en ml.
- **M0** : masse, en mg, de filtre vide dans la capsule en aluminium.
- **M1** : masse, en mg, de filtre chargé dans la capsule en aluminium, après séchage à  $105^\circ\text{C}$  et dessiccation.

### 10.2.4. Détermination de la demande chimique en oxygène :

La méthode utilisée est celle des Kit Hach LCK 114 pour l'eau brute et LCK 314 pour l'eau épurée (le protocole est selon les instructions du fournisseur).

➤ **But d'analyse :**

Ce mode opératoire décrit la méthode d'analyse pour la détermination de la DCO pour les deux gammes : 150 à 1000 mg O<sub>2</sub>/L (haute gamme : LCK114) et de 15 à 150 mg O<sub>2</sub>/L (basse gamme : LCK314).

➤ **Mode opératoire :**

- Prendre une cuve de la gamme indiquée et bien l'agiter.
- Pipeter 2ml de l'échantillon dans la cuve.
- Bien agiter la cuve à code barre.
- Chauffer le tube pendant 2h à 148°C à l'aide d'un thermostat.
- Secouer énergiquement, laissez refroidir la cuve pendant un petit moment.
- Nettoyer la cuve, puis l'insérer dans l'emplacement approprié du spectrophotomètre, qui est réglé à une longueur d'onde donnée.
- La valeur de la concentration de DCO s'affichera directement sur l'écran du spectrophotomètre en mg O<sub>2</sub>/L.

### 10.2.5. Détermination de la demande biologique en oxygène :

➤ **But d'analyse :**

Mesurer la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours d'incubation à l'aide d'un DBO-mètre BODTrak (Hach).

➤ **Mode opératoire :**

- A l'aide d'une éprouvette, verser le volume approprié d'échantillon dans le flacon de l'appareil BODTrak contenant un agitateur magnétique.
- Appliquer de la graisse pour robinet sur le bord de chaque flacon et sur la lèvre de la cupule (pour assurer l'étanchéité).
- Placer la cupule contenant environ 0.4g d'hydroxyde de potassium dans le goulot de chaque flacon.
- Placer les flacons sur l'appareil BODTrak.
- Raccorder le tuyau approprié à chaque flacon et serrer soigneusement le bouchon.
- Placer l'appareil BODTrak dans l'incubateur réglé à 20°C.
- Mettre en marche l'appareil.

## CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

- Vérifier que les barreaux d'agitation sont en mouvement.
- Presser la touche ON pour sélectionner la gamme de mesure.
- Presser et maintenir encore une fois la touche ON pour démarrer l'essai.
- Lire les résultats de la DBO directement à l'affichage de l'appareil BODTrak après 5 jours.

### ➤ Sélection du volume d'échantillon :

Pour la sélection de la gamme, on divise la valeur de la DCO (mesuré au préalable) par le facteur de biodégradabilité de l'échantillon pour estimer la valeur de la DBO<sub>5</sub>.

**Tableau I :** Sélection du volume d'échantillon pour la mesure de DBO<sub>5</sub>.

Gamme de DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Volume d'échantillon nécessaire (ml)
0-35	420
0-70	355
0-350	160
0-700	95

Au delà de 700 mg/l, procéder par dilution.

### 10.2.6. Dosage de l'azote total :

La méthode utilisée est celle des Kits Hach LCK 338 pour l'eau brute et LCK 238 pour l'eau épurée (le protocole est selon les instructions du fournisseur).

### ➤ But d'analyse :

Ce mode opératoire décrit la méthode d'analyse pour la détermination de la concentration de l'azote total pour les deux gammes : 20-100 mg/l (haute gamme : LCK338) et 5-40 mg/l (basse gamme : LCK 238).

### ➤ Mode opératoire :

- Pipeter un volume de 0,2ml pour l'eau brute et 0,5ml pour l'eau épurée dans le tube approprié.
- Ajouter 2,3ml de la solution A pour l'eau brute et 2ml pour l'eau épurée et une pastille B pour chacun.
- Chauffer les tubes à essai pendant 20 minutes à 100°C.
- Bien mélanger les tubes à essai et laisser refroidir pendant 15 minutes jusqu'à atteindre 20°C.
- Pipeter à partir des tubes à essai 0,5ml de chacun dans les cuves à code barre.
- Ajouter à la cuve 0,2ml de la solution D.
- Bien mélanger la cuve à code barre.

## CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

- Attendre 15 minutes, nettoyer la cuve et procéder à la mesure.
- Insérer la cuve dans l'emplacement approprié du spectrophotomètre, qui est réglé à une longueur d'onde donnée.
- La valeur de la concentration de l'azote total est donnée directement par le spectrophotomètre en mg/l.

### 10.2.7. Dosage de l'azote ammoniacal ou ammonium :

La méthode utilisée est celle des Kits Hach LCK 303 pour l'eau brute et LCK 305 pour l'eau épurée (le protocole est selon les instructions du fournisseur).

#### ➤ But d'analyse :

Ce mode opératoire décrit la méthode d'analyse pour la détermination de la concentration de l'azote ammoniacale pour les deux gammes : 2-47 mg/l (haute gamme : LCK 303) et 1-12 mg/l (basse gamme : LCK 305).

#### ➤ Mode opératoire :

- Enlevez délicatement la feuille de protection Dosi Cap Zip de la cuve à barre.
- Dévissez le Dosi Cap Zip.
- Pipeter 0,2ml d'eau brute et 0,5ml d'eau épurée dans la cuve à code barre.
- Vissez immédiatement le Dosi Cap Zip en dirigeant le cannelage vers le haut, et secouer énergiquement.
- Attendre 15 minutes, nettoyer la cuve et procéder à la mesure.
- Insérer la cuve dans l'emplacement approprié du spectrophotomètre, qui est réglé à une longueur d'onde donnée.
- La valeur de la concentration de l'azote ammoniacal est donnée directement par le spectrophotomètre en mg/l.

### 10.2.8. Dosage des nitrites :

La méthode utilisée est celle des Kits Hach LCK 341 pour l'eau brute et l'eau épurée (le protocole est selon les instructions du fournisseur).

#### ➤ But d'analyse :

Ce mode opératoire décrit la méthode d'analyse pour la détermination de la concentration des nitrites allant de 0,015-0,6 mg/l N-NO<sub>2</sub>.

#### ➤ Mode opératoire :

- Enlever délicatement la feuille de protection Dosi Cap Zip de la cuve à barre.
- Dévissez le Dosi Cap Zip.
- Pipeter 2ml d'échantillon dans la cuve à code barre.

## CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

- Vissez immédiatement le Dosi Cap Zip en dirigeant le cannelage vers le haut et secouer énergiquement.
- Attendre 10 minutes, nettoyer la cuve et procéder à la mesure.
- Insérer la cuve dans l'emplacement approprié du spectrophotomètre, qui est réglé à une longueur d'onde donnée.
- La valeur de la concentration de nitrites est donnée directement par le spectrophotomètre en mg/l.

### 10.2.9. Dosage des nitrates :

La méthode utilisée est celle des Kits Hach LCK 339 pour l'eau brute et l'eau épurée (le protocole est selon les instructions du fournisseur).

#### ➤ **But d'analyse :**

Ce mode opératoire décrit la méthode d'analyse pour la détermination de la concentration des nitrates allant de 0,23-13,5 mg/l N-NO<sub>3</sub>.

#### ➤ **Mode opératoire :**

- Pipeter 1ml d'échantillon dans la cuve à code barre.
- Ajouter 0,2ml de la solution A.
- Fermer la cuve et mélanger le contenu en le retournant plusieurs fois de suite.
- Laisser reposer la cuve pendant 15 minutes.
- Insérer la cuve dans l'emplacement approprié du spectrophotomètre, qui est réglé à une longueur d'onde donnée.
- La valeur de la concentration de nitrates est donnée directement par le spectrophotomètre en mg/l.

### 10.2.10. Dosage du phosphore total :

La méthode utilisée est celle des Kits Hach LCK 350 pour l'eau brute et LCK 348 pour l'eau épurée (le protocole est selon les instructions du fournisseur).

#### ➤ **But d'analyse :**

Ce mode opératoire décrit la méthode d'analyse pour la détermination de la concentration du phosphore total pour les deux gammes : 2-20 mg/l (haute gamme : LCK350) et 0.5-5 mg/l (basse gamme : LCK 348).

#### ➤ **Mode opératoire :**

- Enlever délicatement la feuille de protection du Dosi Cap Zip de la cuve à barre.
- Dévisser le Dosi Cap Zip.
- Pipeter 0,4ml d'eau brute et 0,5ml d'eau épurée dans la cuve à code barre.

## CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

- Visser le Dosi Cap Zip en dirigeant le cannelage vers le haut.
- Secouer énergiquement et faire chauffer dans le thermostat à 100 °C pendant une heure.
- Pipeter du réactif B 0,5ml pour l'eau brute et 0,2ml pour l'eau épurée, dans la cuve une fois refroidie.
- Visser un Dosi Cap C gris sur la cuve.
- Mélanger le contenu de la cuve en le retournant plusieurs fois de suite.
- Attendre 10 minutes, mélanger bien, nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer à l'aide du spectrophotomètre, qui est réglé à une longueur d'onde donnée.
- La valeur de la concentration du phosphore total est donnée directement par le spectrophotomètre en mg/l.

### 10.2.11. Dosage des orthophosphates :

La méthode utilisée est celle des Kits Hach LCK 350 pour l'eau brute et LCK 348 pour l'eau épurée (le protocole est selon les instructions du fournisseur).

#### ➤ **But d'analyse :**

Ce mode opératoire décrit la méthode d'analyse pour la détermination de la concentration des orthophosphates pour les deux gammes : 2-20 mg/l (haute gamme : LCK350) et 0.5-5 mg/l (basse gamme : LCK 348).

#### ➤ **Mode opératoire :**

- Dévisser le Dosi Cap Zip de la cuve à barre.
- Pipeter 0,4ml d'eau brute et 0,5ml d'eau épurée dans la cuve à code barre.
- Pipeter du réactif B 0,5ml pour l'eau brute et 0,2ml pour l'eau épurée dans la cuve à code barre.
- Visser un Dosi Cap C gris sur la cuve.
- Mélanger le contenu de la cuve en le retournant plusieurs fois de suite.
- Attendre 10 minutes, mélanger bien, nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer à l'aide du spectrophotomètre, qui est réglé à une longueur d'onde donnée. La valeur de la concentration des orthophosphates est donnée par le spectrophotomètre en mg/l.

### 11. Boue épaissie et déshydratée:

#### 11.1. Prélèvement et échantillonnage:

L'échantillonnage de la matrice des boues a été effectué manuellement avec une fréquence hebdomadaire. Nous avons prélevé la boue épaissies venant de l'épaississeur dans une bouteille de 500ml. Concernant, la boue déshydratée, nous avons réalisé un prélèvement de 50g de chaque benne pour constituer un échantillon moyen en fin de déshydratation.

Ensuite, nous avons conservé les échantillons à une température de 4°C pour les transporter dans une glacière au laboratoire de la STEP de Tipaza afin de les analyser.

#### 11.2. Analyse de la matière sèche :

La teneur en matière sèche comprend à la fois les matières solides en suspension et les sels dissous. Le résidu sec est également utilisé pour déterminer la siccité de la boue (exprimée en %).

##### ➤ **But d'analyse :**

Les MS définissent la consistance de la boue épaissie et déshydratée.

##### ➤ **Mode opératoire :**

- Placer durant au moins 30 minutes une capsule en porcelaine vide dans l'étuve de séchage réglée à 105 °C.
- Après refroidissement à la température ambiante dans le dessiccateur, peser la capsule en porcelaine sur la balance analytique (**poids vide P0**).
- Mettre une quantité appropriée de boues (épaissies et déshydratées) dans la capsule en porcelaine et peser cette dernière sur la balance analytique (**poids P1**).
- Placer la capsule contenant l'échantillon dans l'étuve de séchage réglée à 105 °C jusqu'à ce que le résidu apparaisse sec (généralement toute une nuit).
- Après refroidissement dans le dessiccateur, peser une deuxième fois la capsule et son contenu (**poids P2**).

Les MS sont calculées par la formule suivante :

$$\text{MS en \%} = \frac{\text{P2-P0}}{\text{P1-P0}} \times 100$$

**P0** : poids de la capsule vide en g.

**P1** : poids de la capsule et son contenu en g.

**P2** : poids de la capsule et son contenu en g, après séchage et refroidissement.

### 11.3. Analyse de la matière volatile sèche :

#### ➤ But d'analyse :

La valeur de MVS permet de suivre la stabilité de la boue qu'elle soit épaissie ou déshydratée.

#### ➤ Mode opératoire :

La détermination des MVS est effectuée dans la même capsule qui a servi à la détermination des MS.

- Placer la capsule contenant les matières sèches dans le four à moufle à  $550\pm 25^{\circ}\text{C}$  pendant une heure.
- Mettre la capsule chaude contenant le résidu calciné à l'intérieur du dessiccateur et laisser refroidir.
- Effectuer la pesée sur la balance (**pois P3**).

Les MVS sont calculées par la formule suivante :

$$\text{MVS en \%} = \frac{\text{P2-P3}}{\text{P2-P0}} \times 100$$

**P0** : poids de la capsule vide en g.

**P2** : poids de la capsule et son contenu en g, après séchage et refroidissement.

**P3** : poids de la capsule et son contenu en g, après calcination et refroidissement.

### 12. Compostage :

Le compostage a été réalisé dans une zone de stockage et de mélange (surface de  $3480\text{m}^3$  et une capacité nominale de 3000 T/an) où sont stockés les boues déshydratées et les déchets verts de palmiers broyés qui viennent de la pépinière EDEVAL de Zeralda.

#### 12.1. Préparation du compost :

#### ➤ Préparer le pré-mélange :

Le pré-mélange est composé de différents volumes de boues et de déchets verts, cela varie selon la nature des boues.

Le mélange est réalisé dans le casier adjacent des boues. Il est effectué selon les étapes suivantes :

- **Étape 1** : dépotage de six godets de déchets verts dans le casier de mélange.
- **Étape 2** : dépotage de trois godets de boues sur les déchets verts (le poids d'un godet de boues est de 0,9 T).
- **Étape 3** : dépotage de trois godets de déchets verts.
- **Étape 4** : brassage du mélange par une mise en tas en fond de casier. Ces étapes sont renouvelées jusqu'à ce que le casier soit plein ou toutes les boues mélangées.

## CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

### ➤ **Déplacement du mélange vers le casier de fermentation :**

Après préparation du mélange boues et déchets verts, ce dernier est déplacé vers le casier de fermentation doté d'un système d'aération.

### ➤ **Fermentation :**

C'est la dégradation de la matière organique par les bactéries aérobies. Lors de cette phase, le mélange boue plus déchets verts ou structurants, placé dans les casiers, monte en température de 60 à 70°C grâce à l'activité bactériologique. Cette phase est accompagnée par un renouvellement d'air. La température est mesurée par des capteurs spéciaux.

### ➤ **Maturation :**

La maturation a également un rôle indispensable dans le processus complet de compostage. C'est pendant cette phase, où les besoins en oxygène sont plus faibles mais nécessaires, que la matière organique se réorganise pour former des molécules humifères stables.

Mise en andains (hauteur max 2,5m) avec des retournements à l'aide des engins indispensable pour accélérer la maturation du compost. Ces retournements sont utiles aussi pour éviter les départs de feu. La durée de maturation est d'environ 2 semaines.

### ➤ **Stockage :**

Le stockage du compost permet d'entreposer celui-ci durant les phases d'analyses du produit fini.

### **12.2. Analyse de la température durant le compostage :**

La température pendant le processus de compostage a été analysée chaque trois jours par des sondes et des capteurs spéciaux, qui nous donnent des informations sur l'activité bactérienne.

### **12.3. Prélèvement et échantillonnage :**

L'échantillonnage de la matrice boue et compost a été fait manuellement et à deux profondeurs différentes avec une fréquence mensuelle. Nous avons prélevé deux échantillons des boues fraîches déshydratées dans deux bouteilles de 50g en profondeur et un autre en surface (04/04/2021).

Nous avons échantillonné le compost final produit par les mêmes boues après 30 jours de traitement. Nous avons prélevé deux bouteilles de 50g l'une en profondeur et l'autre en surface (04/05/2021).

## CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

Ensuite nous avons gardé les échantillons à une température de 4°C pour les transporter dans une glacière au laboratoire LBCM 1 de l'école nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement de littoral pour les analyser.

### 12.4. Les analyses microbiologiques :

#### ➤ But d'analyse :

- 1- Dénombrement des coliformes et streptocoques fécaux afin de contrôler l'efficacité de processus de compostage.
- 2- Identification des germes indicateurs de pollution afin de mesurer le risque écotoxicologique sur le sol.

#### 12.4.1. Dénombrement des coliformes totaux, fécaux et streptocoques fécaux :

##### a) La méthode du nombre le plus probable :

Cette méthode est une estimation statistique du nombre de micro-organismes supposés distribués dans l'échantillon de manière aléatoire. L'estimation de la densité bactérienne est obtenue par application du principe de vraisemblance, à partir de réponses positives observées pour une ou plusieurs dilutions successives de la suspension bactérienne originale dans des milieux de cultures liquides (JOFFIN & GUY, 2001).

Cette technique utilise 3 tubes par dilution et on compare les résultats à un tableau statistique : le tableau de Mac Grady qui donne le NPP sur la dilution considérée (**Annexe / Tableau 1**).

$$N \text{ (germes/g)} = \text{NPP} * \text{Fd} / \text{Ve}$$

**Fd** : Facteur de dilution.

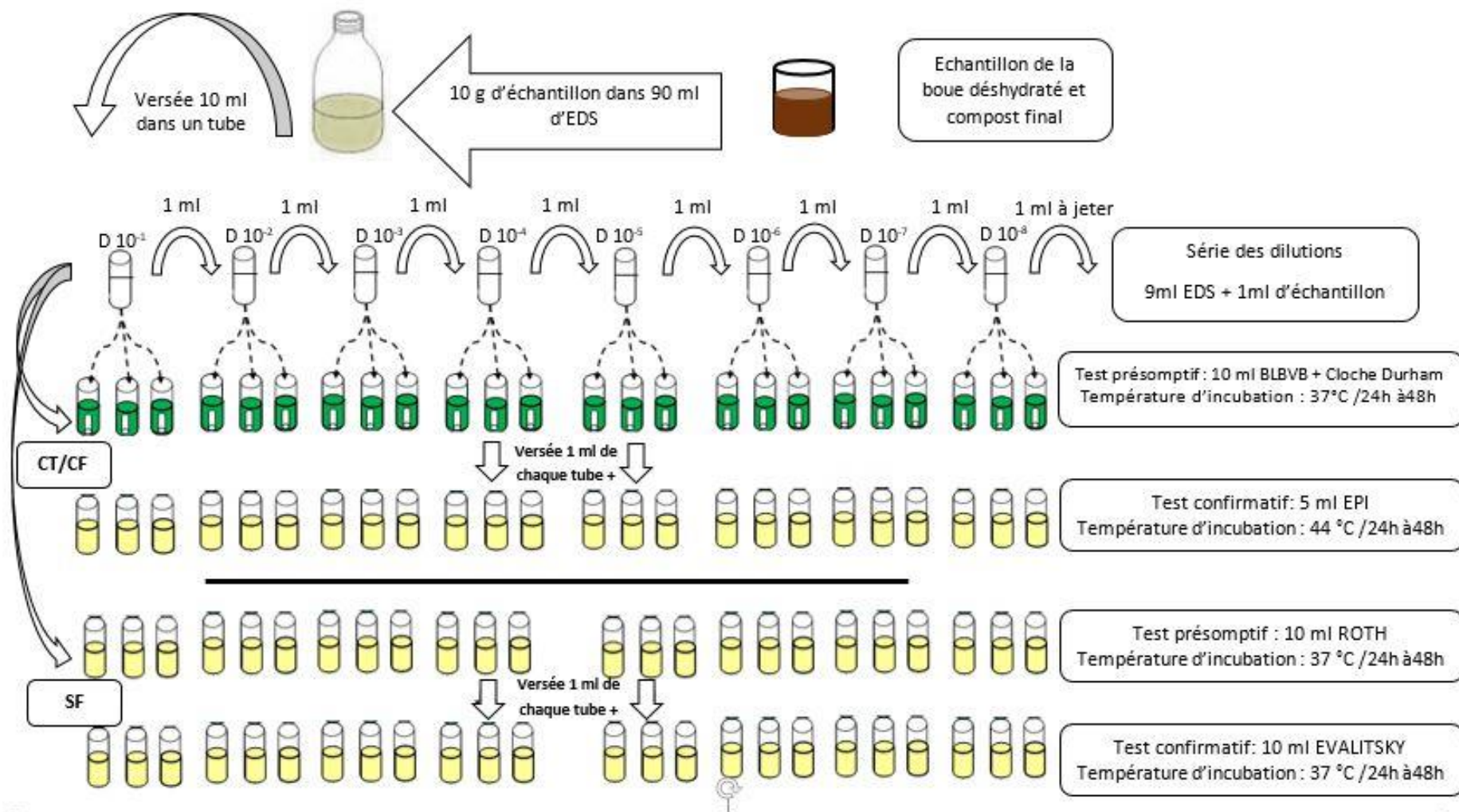
**Détermination du NPP** : regroupement de 3 séries de dilution, dans la table de Mac Grady.

**Ve** : Volumeensemencé=1 ml.

**N** : Nombre de germes dans 1ml.

## CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

### ➤ Mode opératoire :


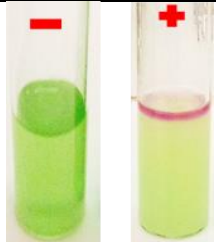
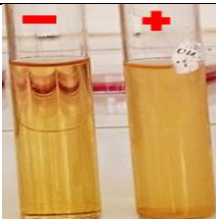



**Figure.17.** Schéma sur le dénombrement des indicateurs de contamination fécale par la méthode NPP dans la boue et le compost.

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

➤ **Lecture :**

**Tableau II :** Dénombrement et recherche des coliformes, streptocoques contenus dans la boue et le compost (**Annexe / Tableau VII**).

Germes	Sélectivité de milieu	Mode opératoire	Aspects de tube
<b>Les coliformes</b>	- Bouillon Lactosé Bilié au Vert Brillant.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Test présomptif:</b> Introduire 1ml de chaque tube de dilution dans 10ml du BLBVB, série de 3 tubes. Température d'incubation : 37°C /24h à 48h.</li> </ul> <b>Résultats :</b> présence des coliformes totaux.	 <p>Troubles + Production de gaz.</p>
	- Eau Peptonée Exempte d'Indole.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Test confirmatif:</b> Introduire 1ml de chaque tube positif dans 5ml d'EPI et incuber à 44°C, 24h.</li> </ul> <b>Lecture positive :</b> introduire 5 gouttes du réactif de KOVACS (Présence d'un anneau rouge à la surface du tube positif). <b>Résultats :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence des coliformes fécaux.</li> <li>- Présence d'<i>Escherichia coli</i>.</li> </ul>	 <p>Trouble + Anneau rouge</p>
<b>Les streptocoques fécaux</b>	- Milieu ROTH.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Test présomptif:</b> Introduire 1ml de chaque tube de dilution dans 10ml de milieu ROTH, série de 3 tubes. Température d'incubation : 37°C /24h à 48h</li> </ul> <b>Résultats :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Présence des streptocoques fécaux.</li> </ul>	 <p>Troubles</p>
	- Milieu EVALITSKY	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Test confirmatif:</b> Introduire 1ml de chaque tube positif dans des tubes contenant 10ml d'EVALITSKY et incuber à 37°C, 24h.</li> </ul> <b>Lecture positive:</b> apparition d'un trouble accompagné par fois d'une pastille violette au fond. <b>Résultats :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Présence des streptocoques fécaux des groupes D.</li> </ul>	 <p>Troubles + Pastille violette :</p>

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 12.4.2. La recherche des Salmonelles :

La recherche de Salmonella est réalisée par la méthode qualitative, effectuée en trois étapes successivement : enrichissement, isolement et identification biochimique.

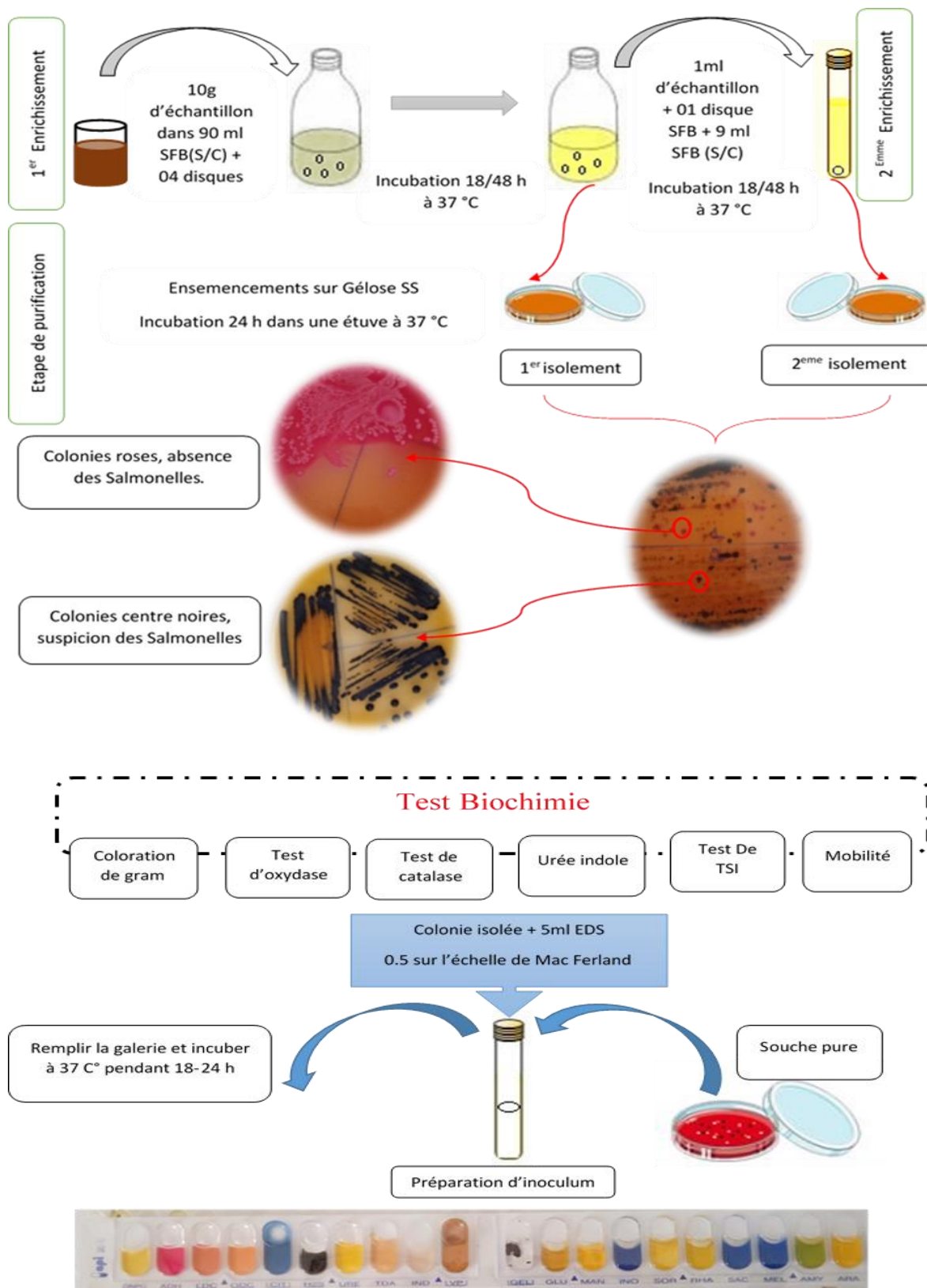


Figure.18. Technique de recherche et d'identification des salmonelles.

### 12.4.3. Techniques de caractérisation et d'identification de quelques bactéries :

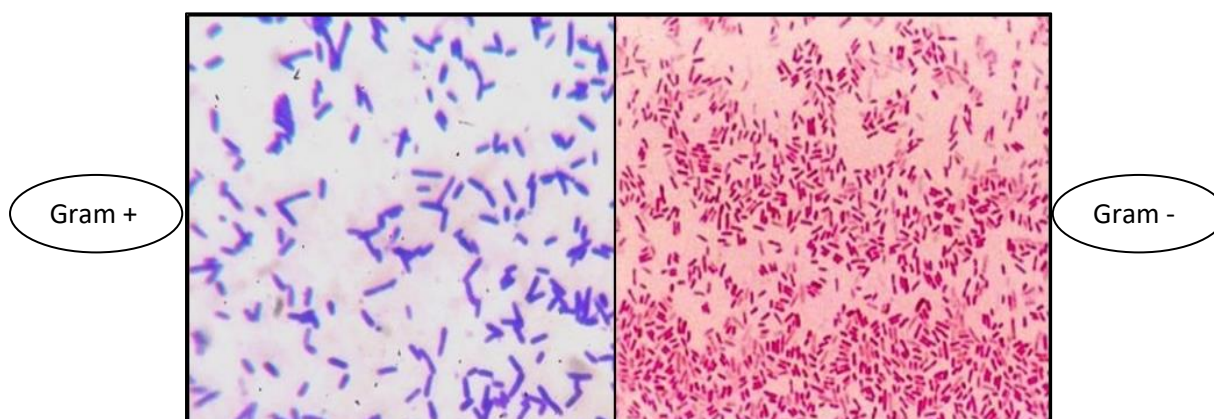
#### a) Coloration de Gram :

Cette coloration des cellules bactériennes permet à la fois de connaître la morphologie des bactéries et de les classer en 02 groupes en fonction de leur capacité à retenir la coloration violette du cristal violet dans les conditions opératoires. Cette division découle principalement des différences dans la structure des parois cellulaires des deux groupes (**BERGEY, 1994**).

##### ➤ Mode opératoire :

- Préparez un frottis d'une culture bactérienne pure séchée et fixée.
- Recouvrez le frottis de violet de Gentiane, laissez-le agir 1min puis rincez avec l'eau.
- Versez du Lugol et laissez-le agir pendant une minute puis rincez-le avec l'eau.
- Décolorer à l'alcool à 95%, 15 secondes puis rincer à l'eau.
- Contre-coloration avec la Fuchisine pendant 1min puis rincer à l'eau.
- Séchage entre deux papiers joseph.

Les cellules Gram négatif apparaissent roses et les cellules Gram positif apparaissent sous une couleur violette (**SINGLETON & SAINSBURY, 1984**).



**Figure.19.** Observation microscopique des bactéries à Gram négatif et Gram positif.

#### b) Test de catalase :

La catalase est une enzyme présente chez la plupart des bactéries aérobies strictes et certaines anaérobies facultatives. Elle permet de détruire des peroxydes formés au cours d'une réaction d'oxydation (**DELLARRAS & BERNARD, 2003**).

##### ➤ Technique :

- Prélever une colonie et déposer sur une lame propre.
- Ajouter une goutte de  $H_2O_2$  sur les bactéries.

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

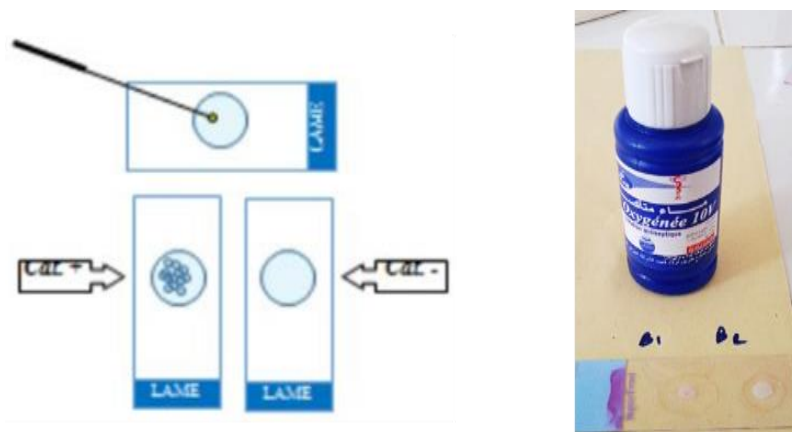


Figure.20. Test de la catalase.

➤ **Lecture :**

- Si la souche examinée possède une catalase, on observe un dégagement immédiat de bulles gazeuses. La réaction catalysée est la suivante :



c) **Test d'oxydase :**

La recherche de l'oxydase est l'un des critères les plus employés pour l'identification des bactéries, surtout celles des bacilles à Gram négatif. Elle consiste à mettre en évidence la capacité de la bactérie testée à oxyder la forme réduite incolore de dérivés N-diméthyl-paraphénylènediamine, ce qui donne des produits rose violacé (JOFFIN & GUY, 1996).

➤ **Mode opératoire :**

Ce test est réalisé à l'aide des disques d'oxydase de marque «HIMEDIA».

- Imprégner le disque par une goutte d'eau distillée stérile.
- Prendre une colonie à l'aide d'une pipette pasteur stérile et la déposer sur le disque.



Figure.21. Test d'oxydase.

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

### ➤ Lecture :

- Apparition d'une tache violette au bout de 30 secondes, donc la bactérie possède le cytochrome oxydase (oxydase positif).
- Autre couleur, la bactérie est (oxydase négatif).

### b) Test Triple Sugar Iron :

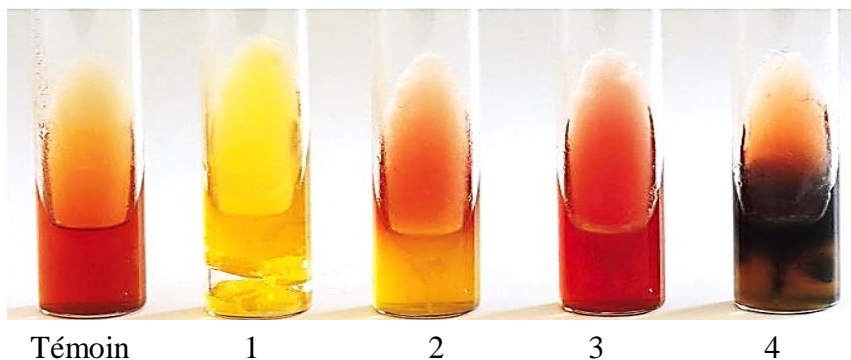
La gélose TSI permet l'identification des entérobactéries (*Salmonelle*) par la mise en évidence rapide de la fermentation du lactose, du glucose (avec ou sans production de gaz), du saccharose et de la production de sulfure d'hydrogène (LEON & MICHEL, 2007).

### ➤ Technique :

A partir d'une colonie suspecte prélevée sur un milieu d'isolement sélectif, ensemercer le culot par piqûre centrale et la surface inclinée par des stries serrées. Incuber à 37°C pendant 18-24 heures.

### ➤ Lecture :

L'utilisation de l'un des sucres contenus dans le milieu se traduit par une acidification (virage au jaune du rouge de phénol). Une alcalinisation se révèle par une coloration rouge foncé. La production de sulfure d'hydrogène à partir du thiosulfate est mise en évidence par la formation d'un précipité noir. La gélose TSI fournit quatre renseignements principaux expliqués par la figure ci-dessous :



**Figure.22.** Les renseignements principaux de la gélose TSI.

### 1-Fermentation de glucose :

- Culot rouge : glucose non fermenté.
- Culot jaune : glucose fermenté.

### 2-Fermentation du lactose et/ou du saccharose :

- Pente inclinée rouge : lactose et saccharose non fermentés.
- Pente inclinée jaune : lactose et/ou saccharose fermentés.

3-Production de gaz :

- Apparition de gaz dans le culot.

4-Formation d'H<sub>2</sub>S :

- Formation d'une coloration noire entre le culot et la pente ou le long de la piqûre.

### c) Test King A et King B :

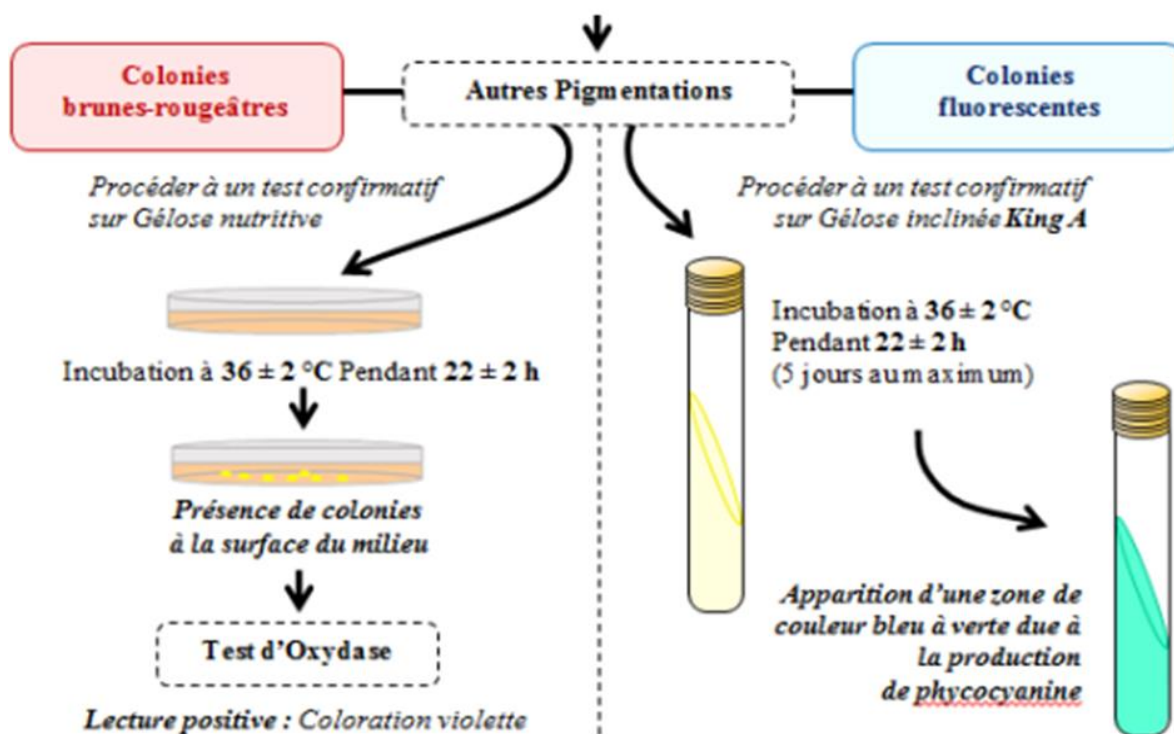
Le milieu de King A est un milieu de culture permet la détection de la synthèse de pyocyanine, pigment élaboré spécifiquement par *Pseudomonas aeruginosa*, utilisé en parallèle avec le milieu de King B (détection de la pyoverdine), il permet d'orienter l'identification de *Pseudomonas aeruginosa* (KING et al., 1954).

#### ➤ Mode opératoire :

Ensemencer en faisant une strie médiane à la surface de la gélose avec une öse de culture pure et fraîche prise sur le milieu gélosé SS d'une colonie brune suspicion des *Pseudomonas*. Incuber pendant 24 à 48 heures à 30°C.

#### ➤ Lecture :

La production de pyocyanine se manifeste en colorant le milieu de culture en bleu (King A). Si le pigment pyoverdine est synthétisé, le milieu se colore en vert ou jaune-vert (Figure 23).



**Figure.23.** Schéma du test King A pour la recherche des *Pseudomonas*.

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

### d) Test d'urée indole :

Sert à l'identification des germes, particulièrement des entérobactéries, par la recherche d'une enzyme appelée uréase ce qui provoque une réaction acidifiant le milieu qui fait virer l'indicateur coloré. C'est un milieu utilisé comme test biochimique lors de l'identification des entérobactéries (JOFFIN & LEYRAL, 2001).

#### ➤ Mode opératoire :

Prendre un inoculum de la solution bactérienne est le mettre dans le bouillon, puis incubé à 37°C pendant 24h.

#### ➤ Lecture :



*Aspect du test négatif*



*Aspect du test positif*

**Figure.24.** Test urée indole.

Ce milieu sert à voir si:

- La bactérie consomme l'urée, donc la bactérie produit l'indole.
- La bactérie consomme l'urée, ça va produire des bases qui vont à leur tour changer la couleur de l'indicateur coloré de pH au rose pétant. Sinon, ça ne va pas changer de couleur.

### e) Le Mannitol-Mobilité Nitrate / Gélose :

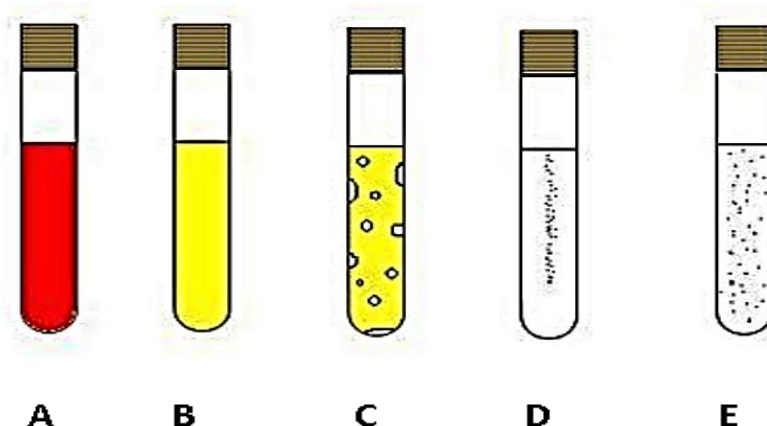
C'est un milieu utilisé lors de l'identification biochimique des entérobactéries et des coliformes. Le principe du milieu repose sur l'aptitude de certaines entérobactéries à fermenter le mannitol (virage au jaune) et à éventuellement réduire les nitrates en nitrites (SINGLETON & SAINSBURY, 1984).

#### ➤ Mode opératoire :

- Faire un pique avec pipette pasteur et mettre les colonies bactériennes, puis incubé à 37°C pendant 24h.
- Ajouter les réactifs nitrites 1 et Nitrites 2 et observer le virage de couleur.

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

➤ **Lecture : Milieu jaune : mannitol positif /Milieu rouge : mannitol négatif**



**Figure.25.** Les renseignements principaux de la gélose mannitol-mobilité.

**A :** pas de dégradation du mannitol.

**B :** dégradation du mannitol.

**C :** dégradation du mannitol avec production de gaz.

**D :** bactéries non mobil.

**E :** bactéries mobile.

### **f) Identification par la méthode des galeries API 20 :**

Les galeries API 20 comportent 20 micro-tubes contenant des substrats sous forme déshydratée. Les tests sont inoculés avec une suspension bactérienne d'une densité adéquate qui reconstitue les milieux. Les réactions produites pendant la période d'incubation se traduisent par des virages colorés spontanés ou révélés par l'addition de réactifs. La lecture de ces réactions se fait à l'aide du tableau de lecture et l'identification est obtenue à l'aide du tableau d'identification (**RODIER, 1996**).

➤ **Mode opératoire :**

#### **1-Préparation de la galerie API 20 E :**

- Réunir fond et couvercle d'une boîte d'incubation et répartir environ 5ml d'eau dans les alvéoles (avec pipette graduée) pour créer une atmosphère humide.
- Incrire les références de la souche bactérienne sur la languette latérale de la boîte avec la date et initiales de l'opérateur.
- Déposer la galerie dans la boîte d'incubation.

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 2-Préparation de l'inoculum :

Il faut préalablement avoir développé une bactérie en colonies isolées dans une boîte de Pétri.

- Ouvrir une ampoule de « Suspension Medium » ou introduire quelques ml d'eau distillée stérile (avec une pipette Pasteur) dans un tube à vis stérile.
- Avec la pipette Pasteur, prélever une seule colonie bien isolée sur milieu gélosé.
- Réaliser une suspension bactérienne en homogénéisant soigneusement les bactéries.
- Incuber à l'étuve de 37°C pendant 24h/48h.

### 3-Inoculation de la galerie API 20 E :

- Avec la suspension bactérienne et la pipette ayant servi au prélèvement, remplir tubes et cupules des tests.
- Remplir uniquement les tubes CIT, VP, Gel (et non les cupules) des autres tests.
- Créer une anaérobiose dans les tests ADH, LDC, ODC, H<sub>2</sub>S, URE en remplissant leurs cupules d'huile de paraffine.
- Refermer la boîte d'incubation et la placer dans l'étuve à 35 - 37°C pendant 24 à 48h.

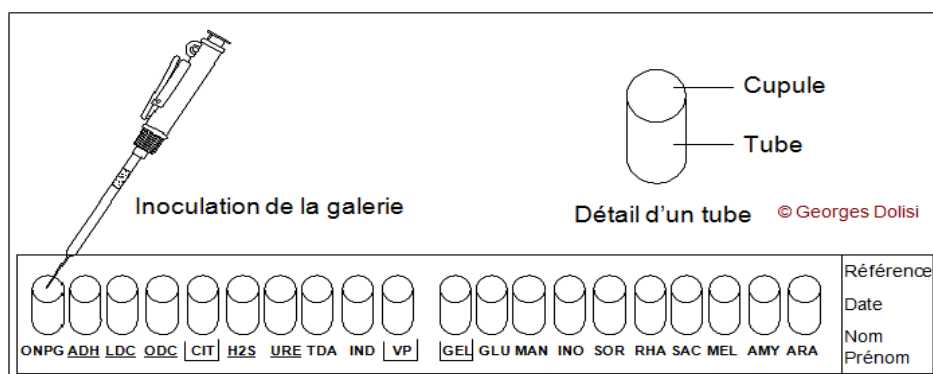


Figure.26. Schéma de la galerie API 20 E.

### 4-Lecture et identification :

- Après incubation, la lecture de la galerie doit se faire en se référant au catalogue de lecture (**Annexe / Tableau V**).
- Réaliser les tests nécessitant l'addition de réactifs.

## **Chapitre III : Résultats et Discussions**

1. Les analyses physico-chimiques de l'eau brute et épurée :

1.1. La température :

Les variations de la température de l'eau brute et épurée sont représentées dans la figure 27 :

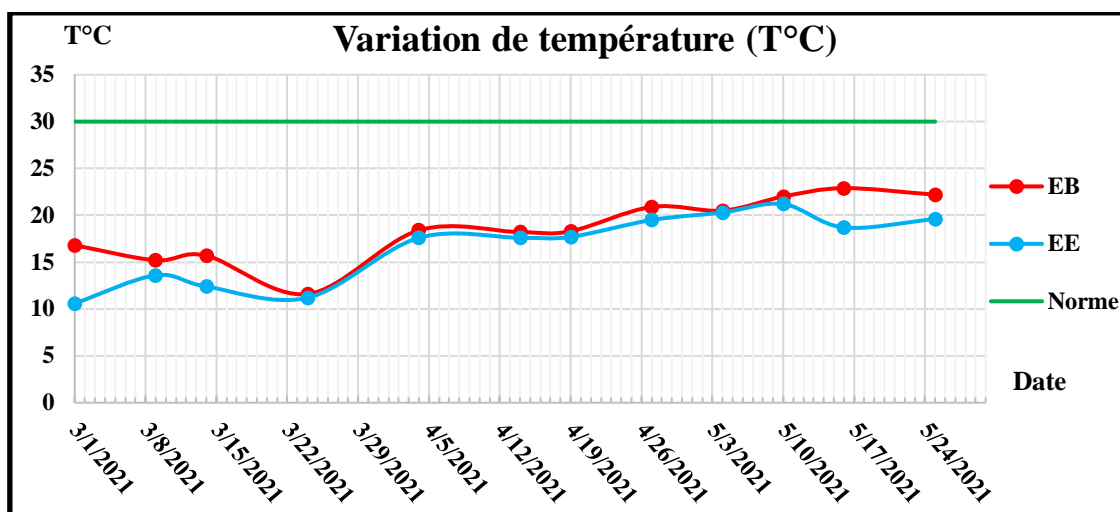


Figure.27. La variation de la température d'eau brute et épurée.

D'après les résultats obtenus, les valeurs de la température des échantillons testés se situent entre 11,6°C et 22,9°C pour l'eau brute. Cependant, les valeurs de l'eau épurée varient entre 10,6°C et 21,2°C.

Les valeurs de la température des échantillons étudiés sont inférieures à 30°C, ils sont donc conformes à la norme (OMS).

La température est un facteur physiologique qui joue un rôle dans le métabolisme et la croissance de la plupart des microorganismes présents dans l'eau (WHO, 1987). Elle est liée à la vitesse de dégradation de la matière organique (MARA et al., 1979).

1.2. La conductivité électrique (CE) :

La figure 28 ci-dessous montre les valeurs de la conductivité mesurée pour les échantillons testés :

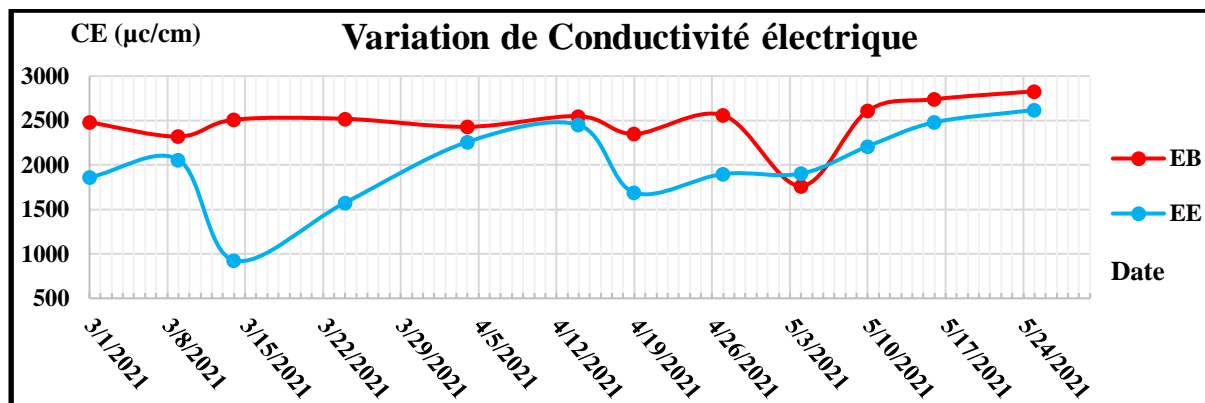


Figure.28. La variation de la conductivité électrique de l'eau brute et épurée.

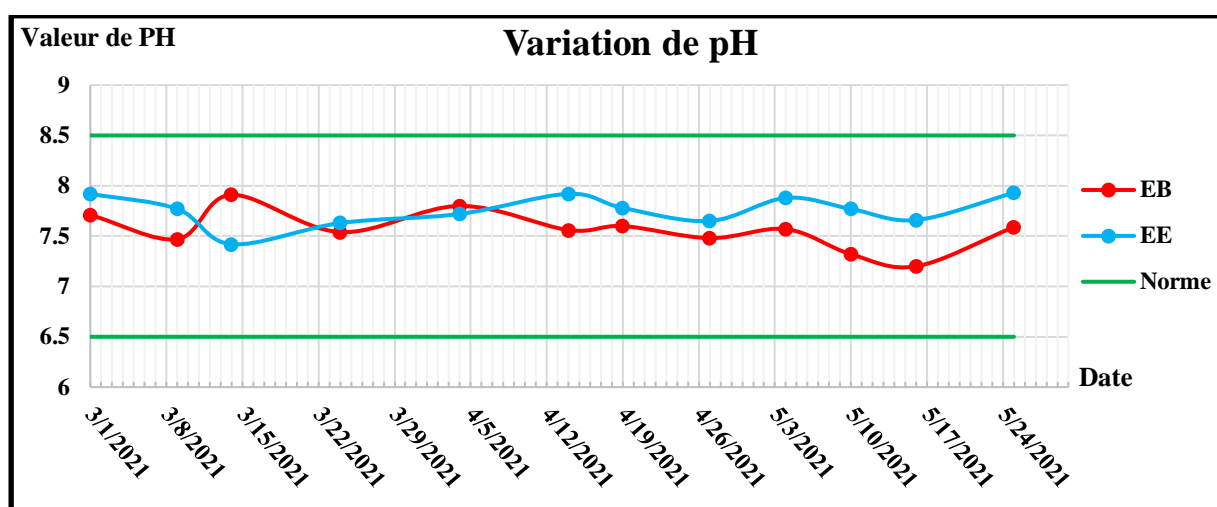
## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Selon la figure 28, les valeurs de la conductivité varie entre 972  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 2830  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour l'eau brute. En ce qui concerne l'eau épurée, les valeurs de la conductivité enregistrées sont comprises entre 926  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 2620  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Ces valeurs enregistrées au cours de cette étude indiquent que la conductivité électrique des eaux usées se caractérise par des valeurs relativement élevées due à la présence des charges polluantes. Selon **REJSEK (2002)**, tout rejet polluant s'accompagne d'un accroissement de la conductivité.

### 1.3 Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Les résultats du pH sont présentés par la figure 29 suivante :



**Figure.29.** Les variations du pH de l'eau brute et épurée.

D'après la figure 29, Nous remarquons que le pH mesuré durant la période d'étude varie entre 7,2 et 7,9 pour l'eau brute et entre 7,4 et 7,9 pour l'eau épurée.

Le pH des échantillons étudiés est relativement stable, proche de la neutralité avec une légère tendance à l'alcalinisation comme c'est le cas pour la plupart des eaux usées domestiques. Il se situe dans la fourchette de la norme exigée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et la réglementation algérienne.

Il est important pour la croissance des micro-organismes qui ont généralement un pH optimal variant entre 6,5 et 8,5 (**MARA, 1980 ; WHO, 1987**).

1.4. Matières en suspensions (MES) :

Les résultats obtenus sont illustrés par la figure 30 ci-dessous :

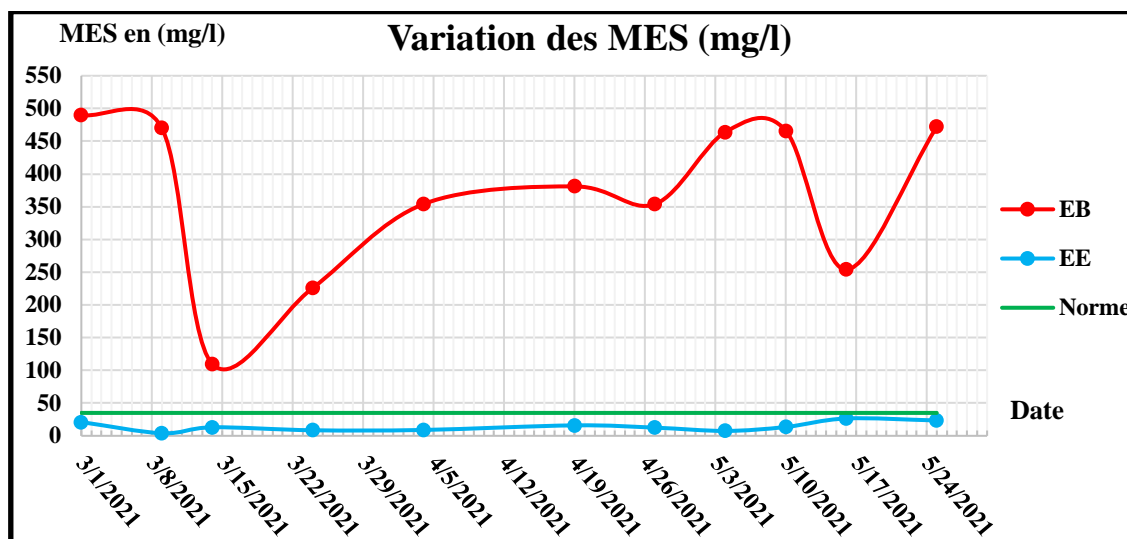


Figure.30. Les valeurs des MES de l'eau brute et épurée.

D'après la figure 30, les valeurs enregistrées révèlent une réduction importante des MES entre l'eau brute et l'eau épurée. Elle est d'une moyenne de 376,6 mg/l pour l'eau brute et de 14,8 mg/l pour l'eau épurée.

Elles restent cependant inférieures à la norme de rejet de l'OMS qui est de 30 mg/l et à celle du journal officiel algérien limitée à 35 mg/l.

Ces faibles valeurs de l'eau épurée sont dues à la décantation des matières en suspension (JORA, 2006).

1.5. Demande chimique en oxygène (DCO) :

Les résultats d'analyses de la DCO sont illustrés par la figure 31 suivante :

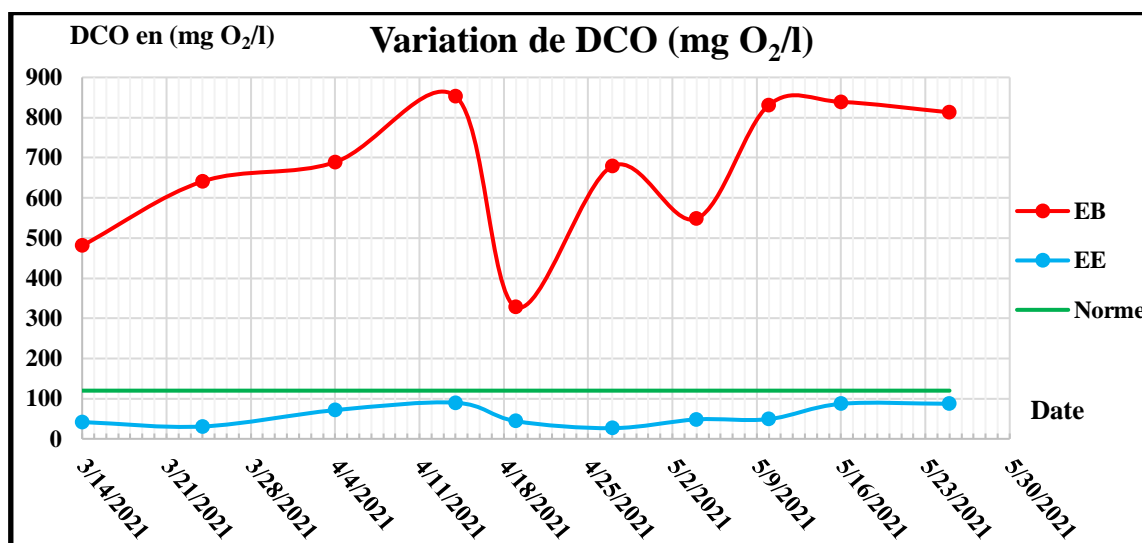


Figure.31. La variation de la DCO dans l'eau brute et épurée.

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Selon la figure 31, nous observons des valeurs variables de la DCO de l'eau brute avec une moyenne de 643,9 mg O<sub>2</sub>/l. Cependant, les valeurs enregistrées de l'eau épurée ont une moyenne de 55,8 mg O<sub>2</sub>/l. Ces valeurs de l'eau épurée obtenus sont conformes à la norme algérienne de rejet qui est de 120 mg O<sub>2</sub>/l, ainsi que celle de l'OMS qui est inférieure à 90 mg O<sub>2</sub>/l.

La demande chimique en oxygène est une indication sur les quantités de substances organiques chimiquement oxydables, présentes dans l'eau (ATTAB, 2011).

### 1.6. Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) :

Les valeurs de la DBO<sub>5</sub> sont représentées par la figure 32 ci-dessous.

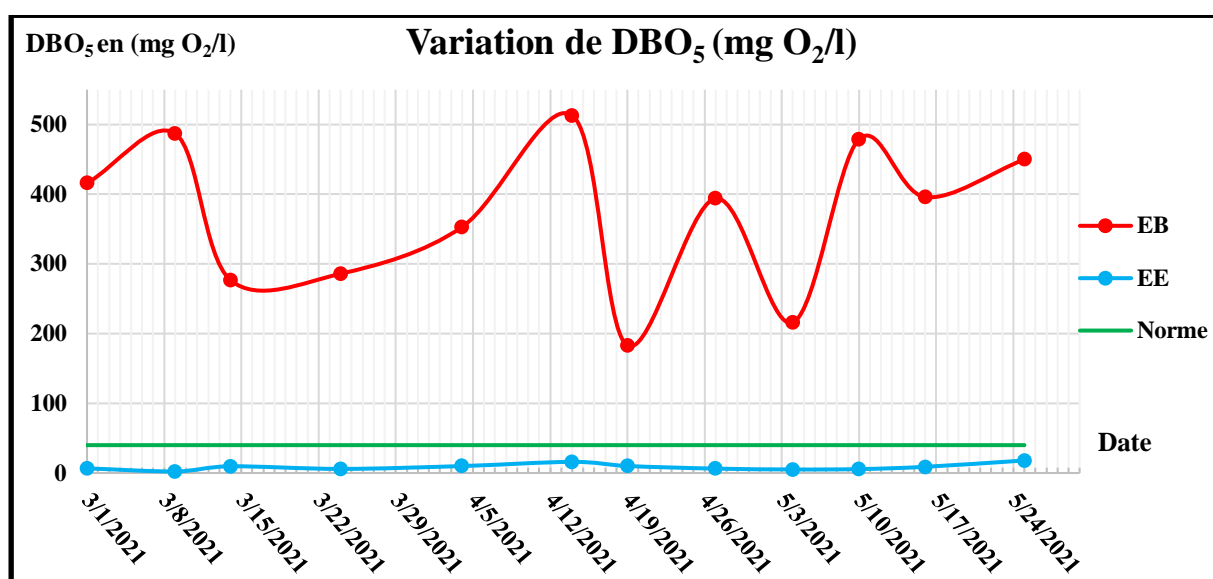


Figure.32. La variation de la DBO<sub>5</sub> dans l'eau brute et épurée.

La valeur moyenne mesurée de la DBO<sub>5</sub> dans l'eau brute reçue par la station est de 352,4 mg O<sub>2</sub>/l. Cependant, les valeurs de DBO<sub>5</sub> de l'eau épurée est d'une moyenne de 8,3mg O<sub>2</sub>/l. Ces valeurs sont inférieures à la norme algérienne de rejet qui est de l'ordre de 40 mg O<sub>2</sub>/l et à celle de l'OMS qui est < 30 mg O<sub>2</sub>/l.

La valeur élevée de la DBO<sub>5</sub> au niveau de l'entrée de la STEP est tout à fait compréhensible, car les eaux usées domestiques sont chargées en matières organiques biodégradables.

➤ **Rapport de biodégradabilité (DCO/DBO<sub>5</sub>) :**

La figure 33 ci-dessous représente la variation du rapport DCO/DBO<sub>5</sub> de l'eau brute :

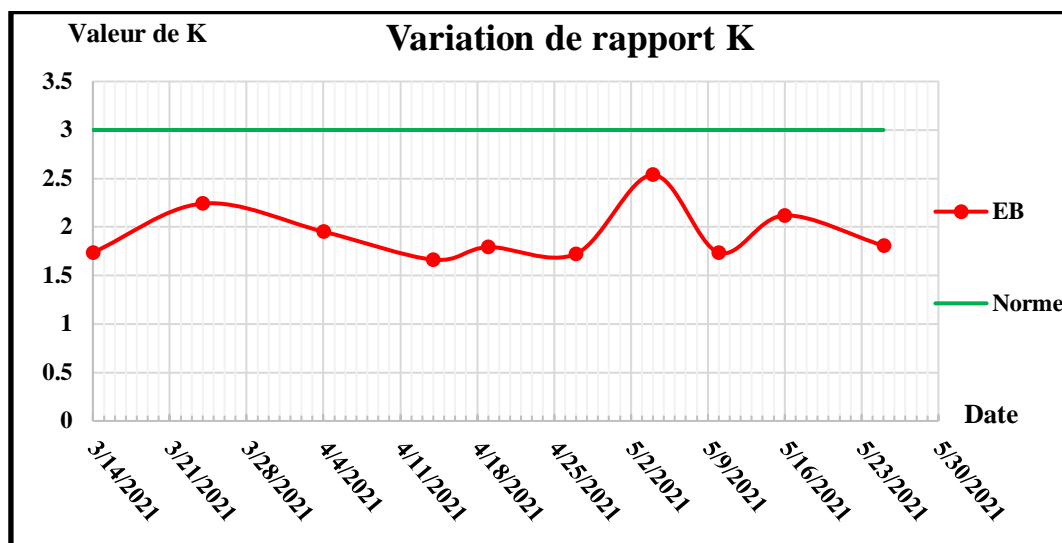


Figure.33. Le rapport de biodégradabilité (DCO/DBO<sub>5</sub>) dans l'eau brute.

Le rapport entre la DCO et la DBO<sub>5</sub> permet de caractériser la nature de l'effluent. Il varie entre 1,66 et 2,91.

La diminution des deux paramètres DCO et DBO<sub>5</sub> de l'eau d'entrée et de l'eau de sortie de la station est due à la bonne tendance de la biodégradabilité des eaux reçues par la STEP qui se traduit par un rapport de biodégradabilité toujours inférieur à 3 (CARDOT, 1999).

**1.7. Les matières azotées :**

➤ **Azote total (NT) :**

La teneur en azote total de l'eau brute et épurée est représentée par la figure 34 ci-dessous :

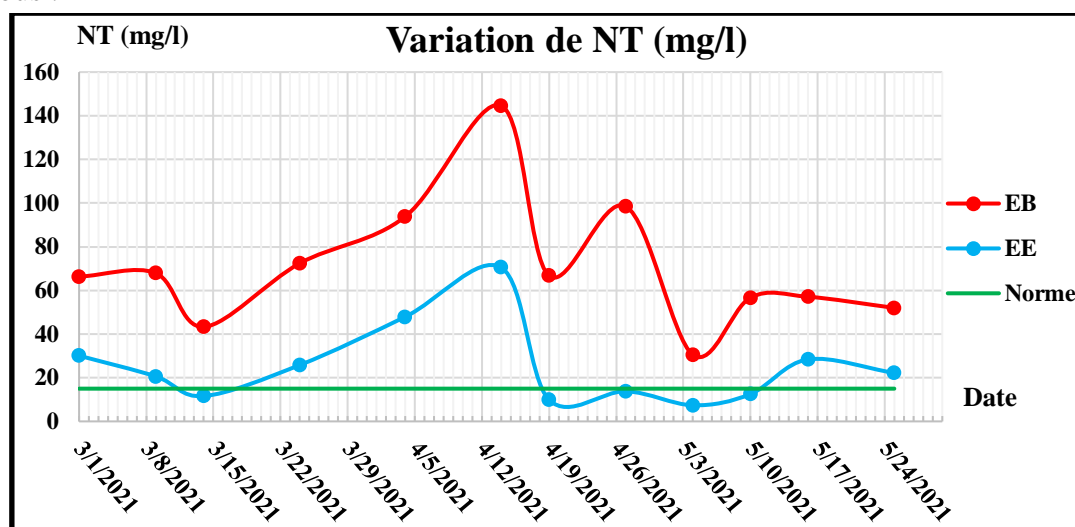


Figure.34. La teneur en azote total dans l'eau brute et l'eau épurée.

### CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de l'azote total (NT) de l'eau brute sont comprises entre 30,5 mg/l et 144,6 mg/l. Par contre, les valeurs de NT varient entre 7,4 mg/l et 70,5 mg/l pour l'eau épurée.

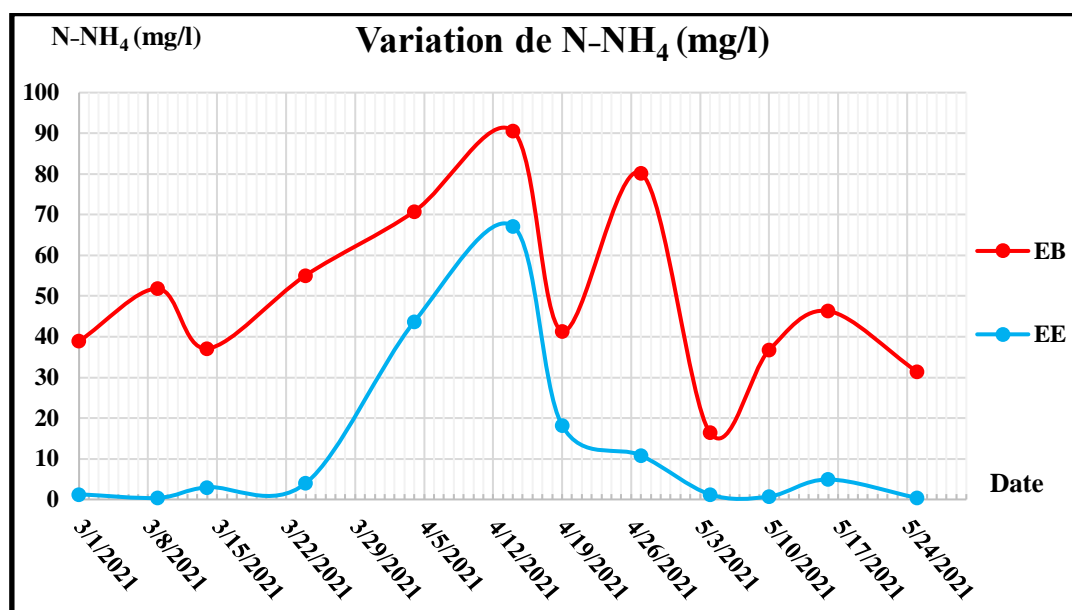
Nous remarquons, une augmentation forte de la concentration des matières azotées dans l'eau brute pendant toute la période d'étude et un pic de 70,5mg/l pour l'eau épurée durant le mois d'avril. Ces valeurs ne concordent pas avec la norme OMS et à la norme algérienne qui est inférieure ou égale à 15 mg/l.

Le pic observé des concentrations d'azote total dans l'eau brute au cours du mois d'avril correspond au même pic observé pour la DBO<sub>5</sub> et la DCO.

La variation observée nous permet de conclure qu'au mois d'avril, la STEP a reçu une quantité d'eau très chargée de polluants. Par conséquent, l'efficacité des processus de nitrification et de dénitrification diminuera avec la surcharge des eaux usées brutes en matières azotées.

#### ➤ Azote ammoniacal (N-NH<sub>4</sub>):

La figure 35 suivante présente la variation moyenne de la concentration en azote ammoniacal dans l'eau brute et épurée :



**Figure.35.** La teneur en azote ammoniacal dans l'eau brute et épurée.

D'après les résultats présentés dans la figure 35, nous constatons que les valeurs en azote ammoniacal à l'entrée de la STEP sont instables, variant entre 9,2 mg/l et 90,6 mg/l, alors qu'à la sortie, ces valeurs sont entre 0,04 mg/l et 67,2 mg/l.

### CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Selon NISBET et VERNAUX (1970), l'augmentation de la teneur en  $\text{NH}_4^+$  de l'eau usée après traitement traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique puisque la quantité d'oxygène est insuffisante pour assurer sa transformation (nitrification).

#### ➤ Nitrites d'azote ( $\text{N-NO}_2$ ) :

La figure 36 ci-dessous montre la teneur en nitrites d'azote dans l'eau brute et l'eau épurée :

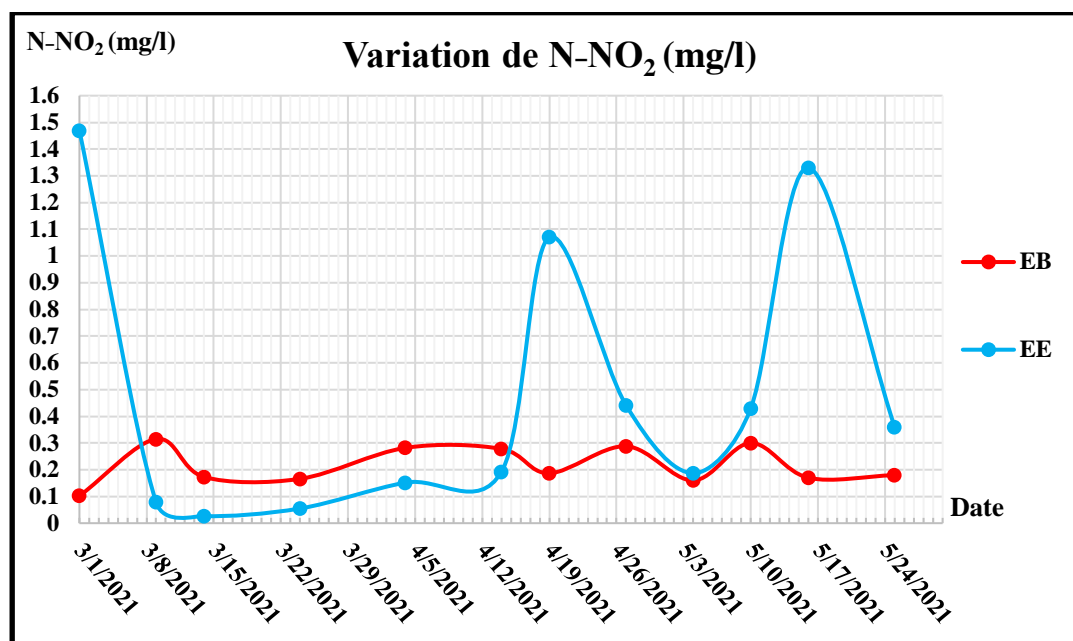


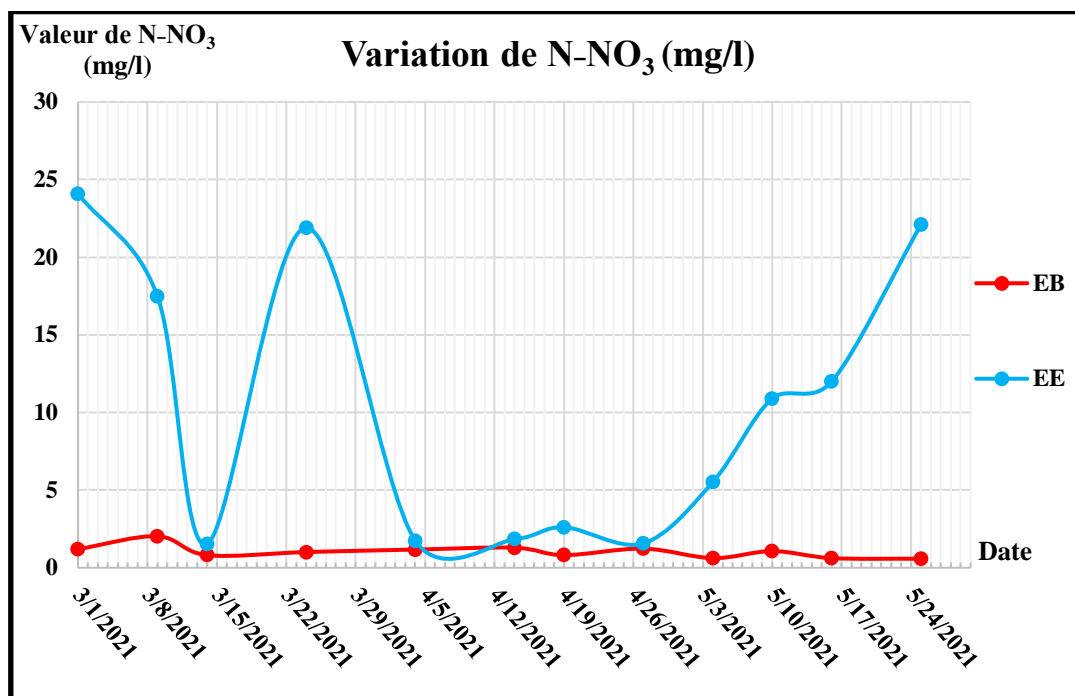
Figure.36. La teneur en  $\text{N-NO}_2$  dans l'eau brute et épurée.

Les résultats obtenus après l'analyse des nitrites d'azote ( $\text{N-NO}_2$ ) varient entre 0,1 et 1,02 mg/l pour l'eau brute et entre 0,03 et 1,5 mg/l pour l'eau épurée.

Les faibles concentrations en nitrites rencontrées dans l'eau usée étudiée, pourraient être expliquées par le fait que l'ion nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) est un composé intermédiaire, instable en présence de l'oxygène, dont la concentration est généralement très inférieure à celle des deux formes qui lui sont liées, les ions nitrates et ammonium (BELGHYTI et al.,2009).

### ➤ Les nitrates d'azote (N-NO<sub>3</sub>) :

Cette figure 37 représente la variation de la teneur en N-NO<sub>3</sub> dans l'eau brute et épurée :



**Figure.37.** La teneur en N-NO<sub>3</sub> dans l'eau brute et épurée.

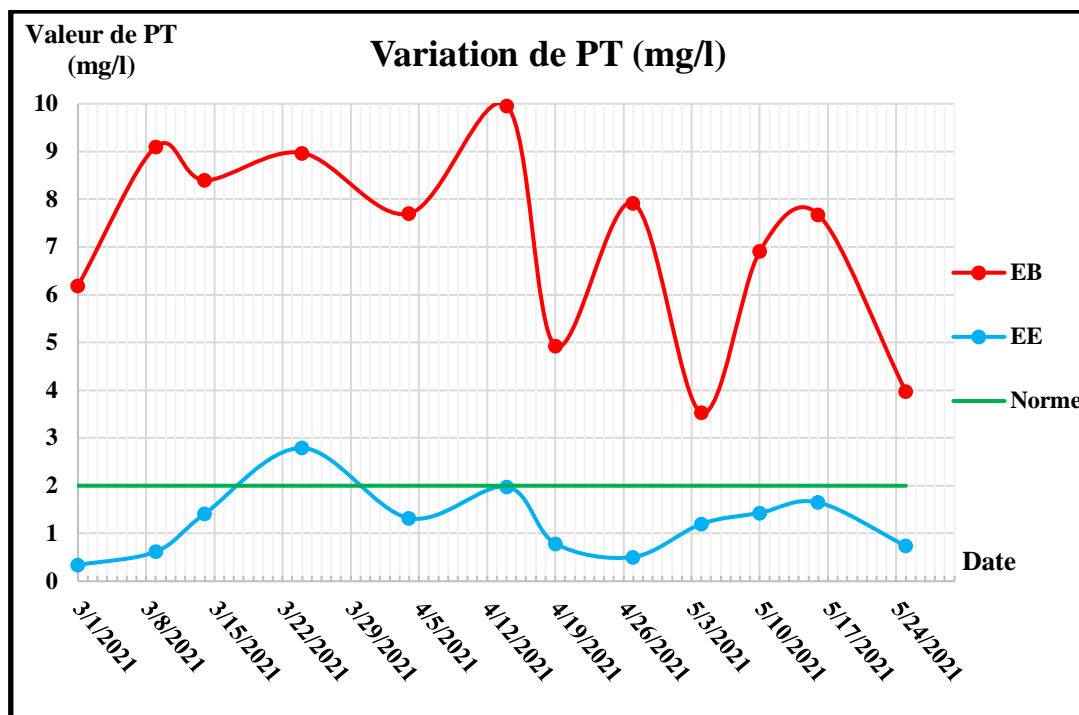
Les teneurs relevées après analyse des nitrates (N-NO<sub>3</sub>) sont comprises entre 0,6 et 4,5 mg/l à l'entrée de la station de traitement et entre 0,8 et 24,1 mg/l à la sortie de la STEP.

La figure ci-dessus montre que le processus de nitrification est déjà présent avant le traitement. Nous remarquons une variation importante de la teneur en nitrates dans l'eau épurée. Ceci peut s'expliquer par une mauvaise réaction de nitrification au niveau du bassin d'aération et une mauvaise dénitrification au niveau du bassin anoxie, de l'azote organique présent dans l'effluent entrant dans la STEP (HAMAIDI *et al.*, 2012).

### 1.8. Les matières phosphatées :

#### ➤ Le phosphore total (PT) :

La figure 38 suivante montre la concentration en phosphore total dans l'eau brute et épurée :



**Figure.38.** La concentration en phosphate total dans l'eau brute et épurée.

Selon les résultats obtenus, nous constatons qu'à l'entrée de la STEP, les valeurs de phosphate total sont comprises entre 2,5 mg/l et 9,9 mg/l.

Ces variations sont dues à la richesse des eaux entrantes de la STEP en composés phosphorés (engrais, détergents) (TAMRABET, 2011).

En ce qui concerne l'eau épurée, ces concentrations varient entre 0,3 mg/l et 2,8 mg/l avec une moyenne de 1,3 mg/l, cette valeur est conforme à la norme (OMS) qui est égale à 2 mg/l.

Les valeurs obtenues de l'eau épurée sont inférieures à celle de l'entrée, ceci est dû à l'activité des micro-organismes qui participent à la dégradation du phosphate organique (déphosphatation).

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### ➤ Les orthophosphates ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) :

La figure 39 suivante décrit la variation des orthophosphates dans l'eau brute et l'eau épurée :

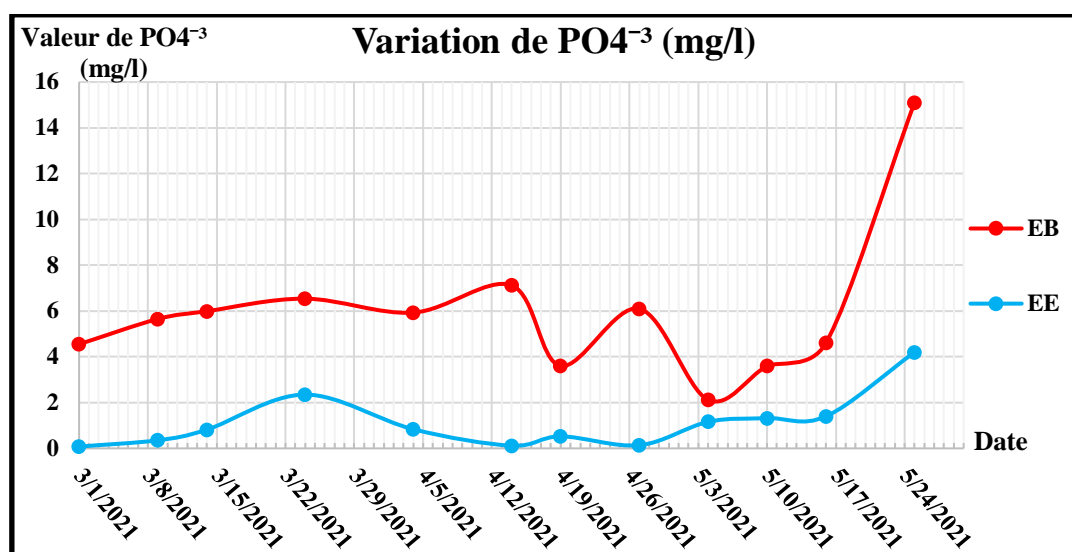


Figure.39. La teneur en orthophosphates dans l'eau brute et l'eau épurée.

L'eau usée brute est caractérisée par des niveaux élevés d'orthophosphates qui varient entre 1,57 mg/l et 15,1 mg/l avec une moyenne de 5,57 mg/l. Dans l'eau épurée, les concentrations varient entre 0,079 mg/l et 4,2 mg/l avec une moyenne de 1,21 mg/l. ces résultats montrent que la déphosphatation est complète (SEAAL, 2006).

## 2. Les analyses physicochimiques des boues :

### 2.1. La matière sèche :

La figure 40 suivante décrit la variation du pourcentage de la matière sèche contenue dans la boue épaissie et déshydratée :

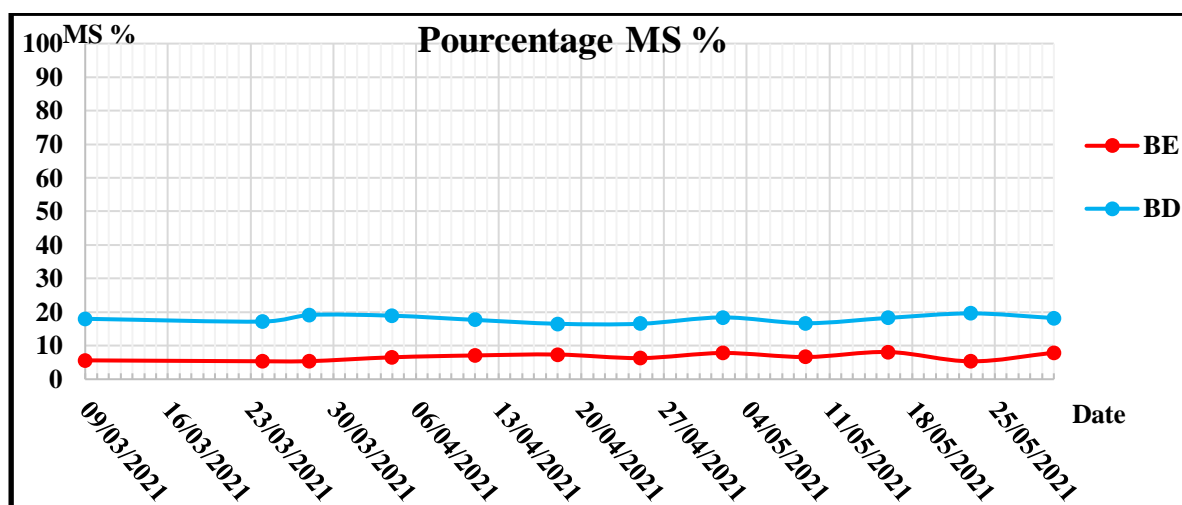


Figure.40. La variation de la matière sèche.

### CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

D'après les résultats de la figure 40, nous constatons que la siccité de la boue déshydratée est de 17,93%, elle est plus élevée que celle de la boue épaissie qui est de 6,62%. Cela nous permet de déduire que le processus de déshydratation des boues épaissies est très efficace (SEAAL, 2006).

#### 2.2. La matière volatile sèche :

La figure 41 suivante présente la variation du pourcentage de matière volatile sèche dans les boues épaissies et déshydratées :

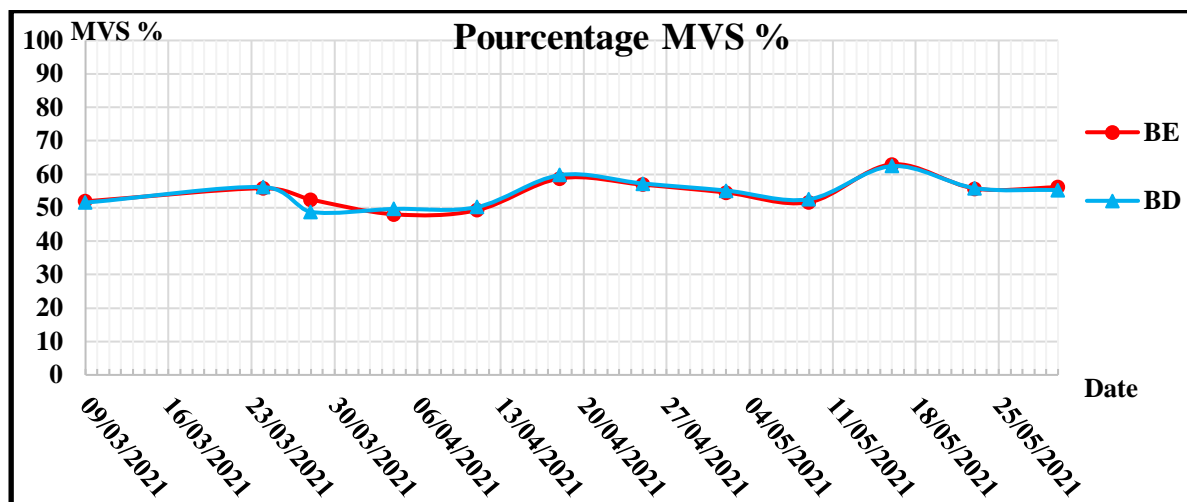


Figure.41. La variation de la matière volatile sèche.

Selon les résultats de la figure 41, nous observons que les valeurs des MVS pour les boues épaissies et déshydratées sont presque les mêmes. Donc la quantité de matières organiques contenues dans la boue épaissie et déshydratées est identique.

Le procédé de déshydratation sert donc à éliminer les matières minérales mais pas les matières volatiles sèches (matières organiques) (SEAAL, 2006).

#### 3. Résultat d'analyse de la température durant le compostage :

La figure 42 suivante décrit la variation de la température durant le processus de compostage au mois de mai :

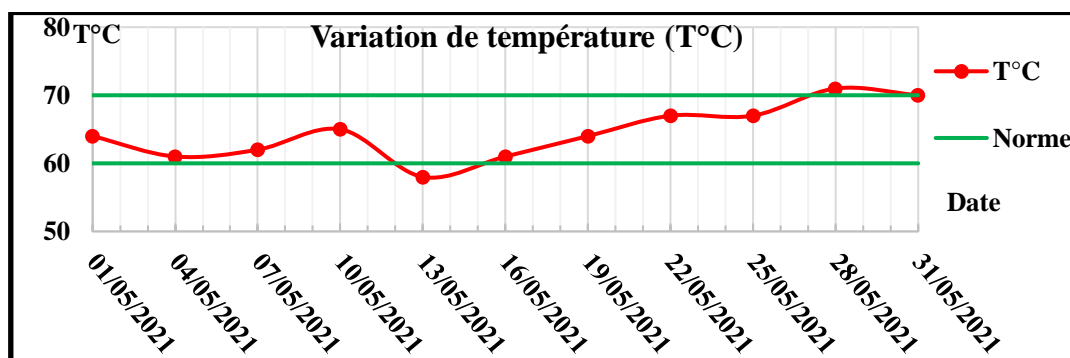


Figure.42. La variation de la température durant le compostage.

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

D'après les résultats de la figure 42, nous constatons que la valeur moyenne de la température pendant les procédés de compostage est de 64,54°C.

Donc elle est conforme aux normes algériennes qui varient entre 60 et 70°C.

### 4. Les analyses bactériologiques de la boue et du compost:

Dans notre étude 02 échantillons ont été choisies de chaque matrice (boue et compost) pour l'analyse bactériologique.

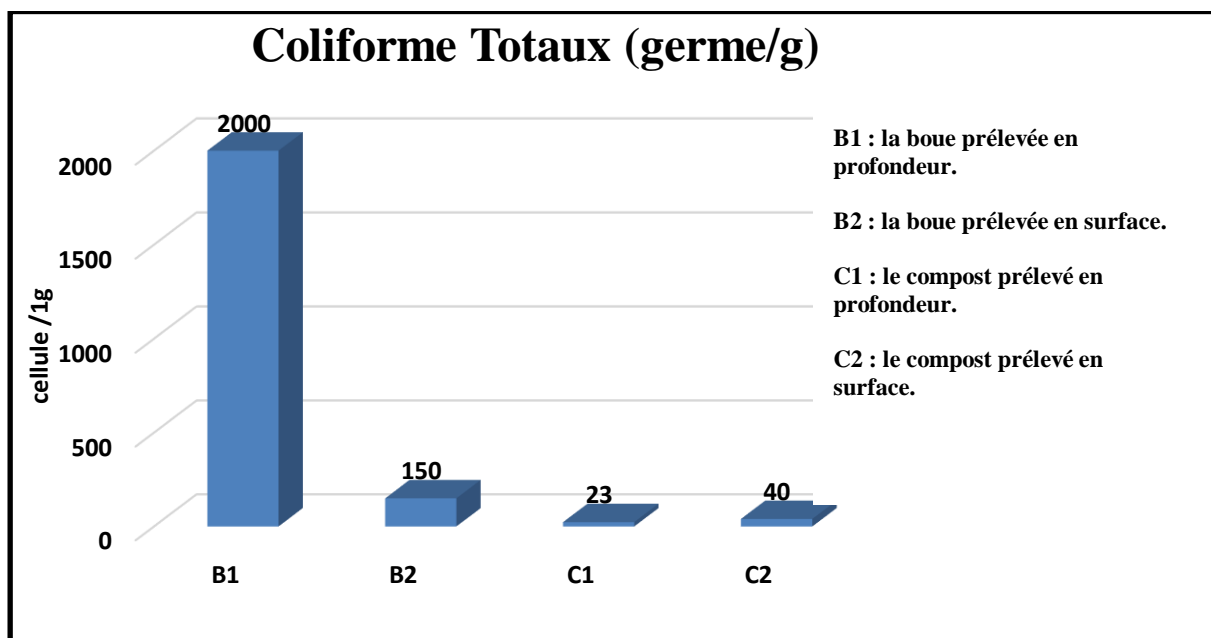
#### 4.1. Résultat de recherche et estimation des germes indicateurs de pollution :

L'évaluation de la qualité bactériologique des sédiments (boue & compost) a été réalisée par la méthode de fermentation en tubes multiples, nommée aussi la méthode du nombre le plus probable (NPP).

D'après les histogrammes, il existe des variations des valeurs des masses bactériennes en fonction de la matrice étudiée (boue et compost) et aussi en fonction du processus de compostage utilisé afin de diminuer la quantité des germes indicateurs de pollution.

#### ➤ Les coliformes totaux :

Cette figure 43 montre un histogramme qui représente la variation de quantité des coliformes totaux (cellule/1g) en fonction de l'échantillon prélevé (**Annexe/Tableau IV**) :



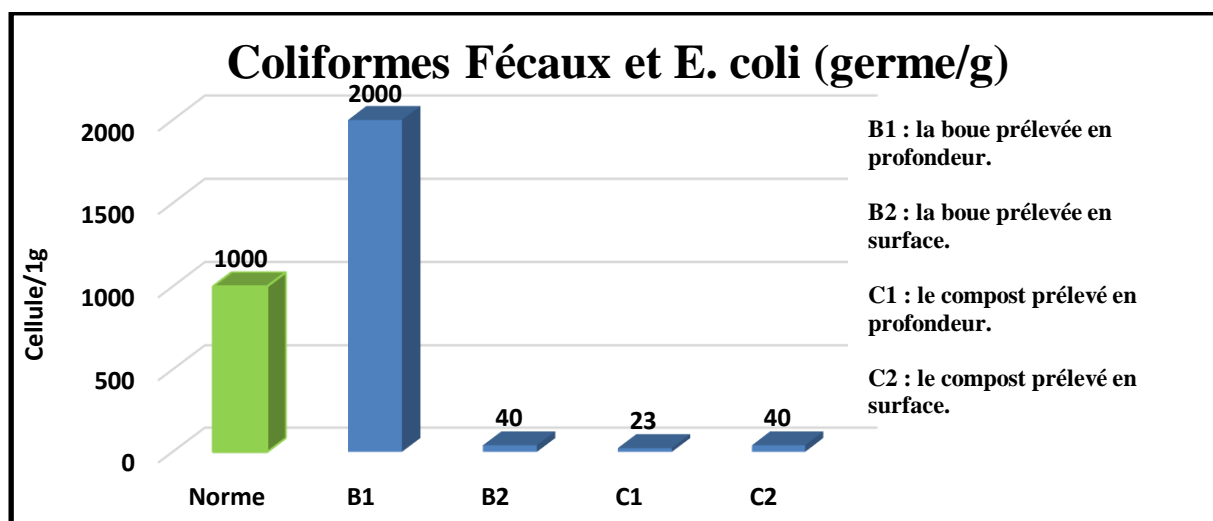
**Figure.43.** La variation de la quantité des coliformes totaux (cellule/1g) en fonction de l'échantillon prélevé.

D'après la figure 43, la valeur la plus élevée est enregistrée au niveau de l'échantillon B1 et la plus faible est observée au niveau de l'échantillon C1.

### CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

#### ➤ Les coliformes fécaux et *E. coli* :

Cette figure 44 présente un histogramme qui exprime la variation de la quantité des coliformes fécaux (cellules/1g) en fonction de l'échantillon prélevé (Annexe/Tableau IV) :

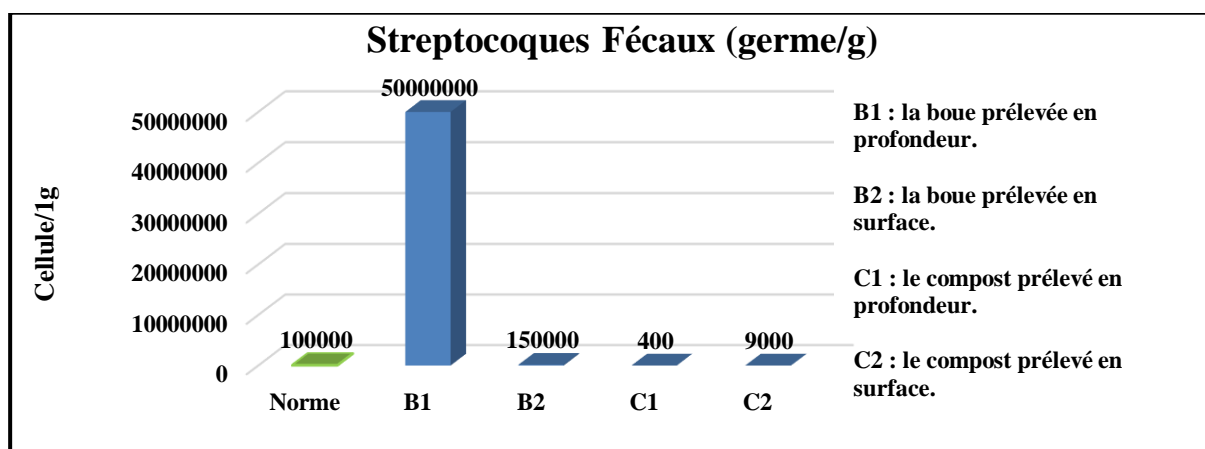


**Figure.44.** La variation des coliformes fécaux (cellules/1g) en fonction de l'échantillon prélevé.

Selon la figure 44, l'échantillon B1 a enregistré les taux les plus élevés de coliformes fécaux 2000 cellules/1g, qui ne concordent pas avec les normes algériennes (< 1000/g M.B), et les taux les plus faibles sont enregistrés aux niveaux de l'échantillon C1 400 cellules/1g, avec la présence d'*Escherichia coli* dans tous les échantillons.

#### ➤ Les streptocoques fécaux :

Cette figure 45 montre l'évolution de la quantité des streptocoques fécaux (cellules/1g) en fonction de l'échantillon prélevé (Annexe/Tableau IV) :



**Figure.45.** La variation de la quantité des streptocoques fécaux (cellules/1g) en fonction de l'échantillon prélevé.

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les mêmes observations sont rapportées en ce qui concerne les streptocoques fécaux, les concentrations les plus élevées se trouvent également à B1 et B2 qui sont supérieures à la norme algérienne ( $< 10^5/g$  M.B). D'autre part, de faibles concentrations sont observées en C1 et C2 qui sont inférieures aux normes.

Nous remarquons qu'avant le compostage la boue déshydratée stockée est riche en coliformes totaux, fécaux, *Escherichia coli* et streptocoques fécaux. Cela explique que les conditions étaient favorables pour le développement de ces bactéries (disponibilités des nutriments).

Par contre dans le compost, on remarquant qu'il y a une diminution importante de la masse bactérienne delà on peut dire que le compost est à l'état de maturation où les bactéries diminuent avec la diminution des matières organiques. Ainsi que cette diminution est due à la présence des déchets vert dans le compost qui contribuent à la bonne aération du milieu (mélange et homogénéisation du compost) (RODIER *et al.*, 2005).

### 4.2. Profils biochimiques de quelques bactéries identifiées grâce à la galerie

#### biochimique API 20 E : (Annexe/Tableau VI)

##### ➤ Echantillon B1 (la boue de la profondeur) :

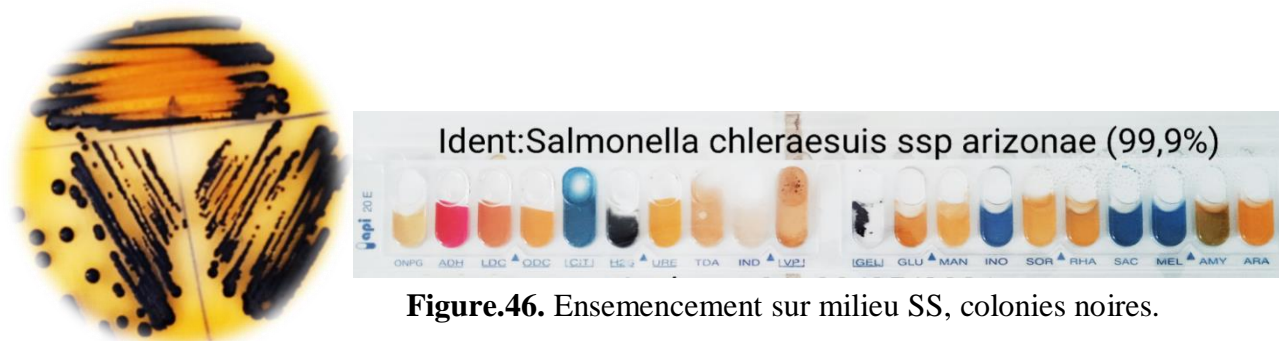


Figure.46. Ensemencement sur milieu SS, colonies noires.

##### ➤ Echantillon B2 (la boue de surface) :

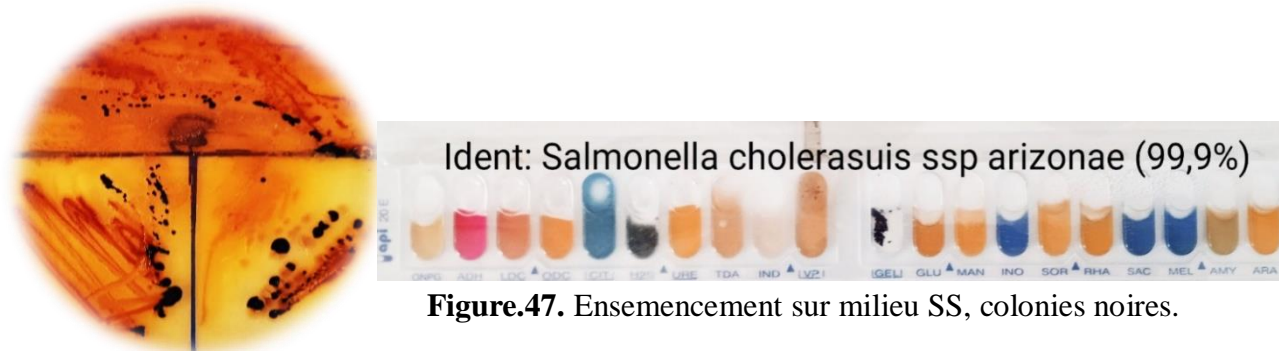
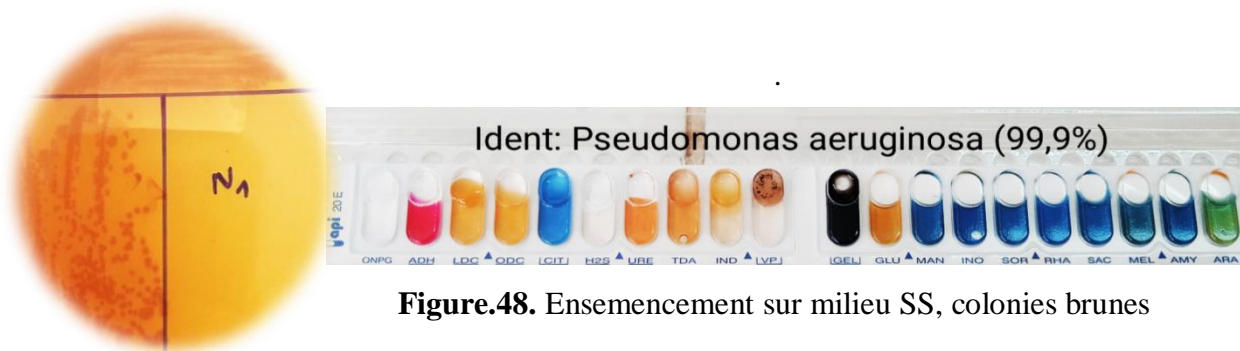


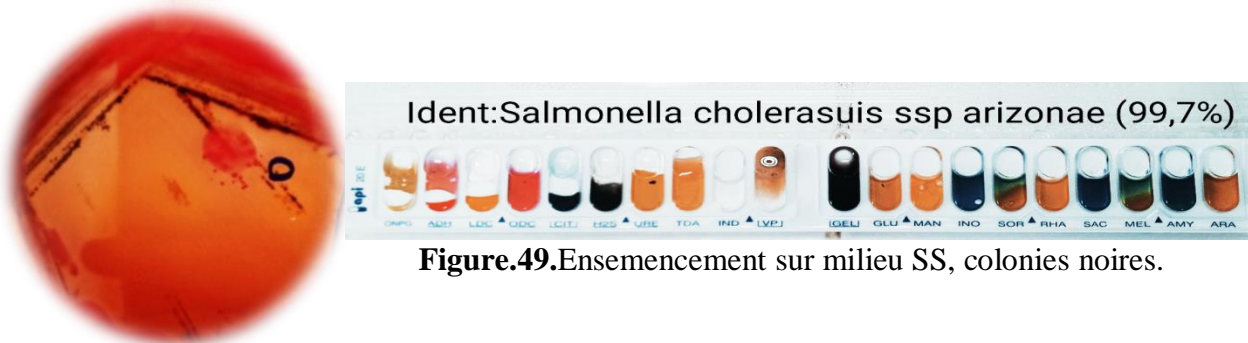
Figure.47. Ensemencement sur milieu SS, colonies noires.

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### ➤ Echantillon C1 (compost de profondeur) :

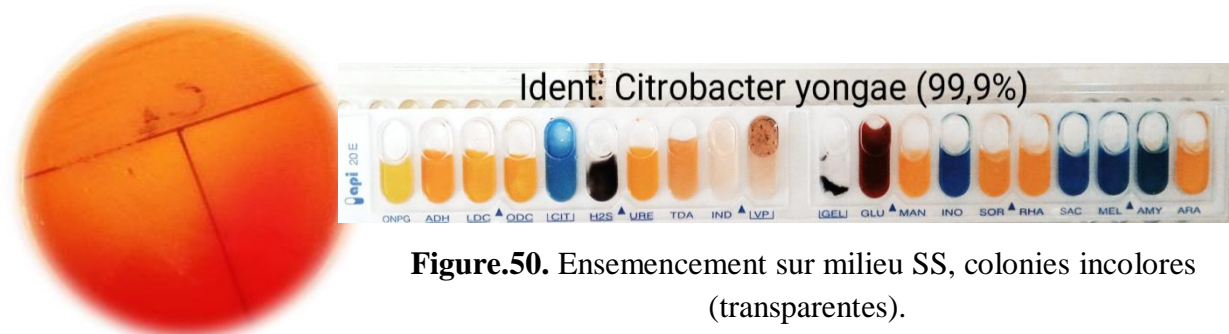


**Figure.48.** Ensemencement sur milieu SS, colonies brunes

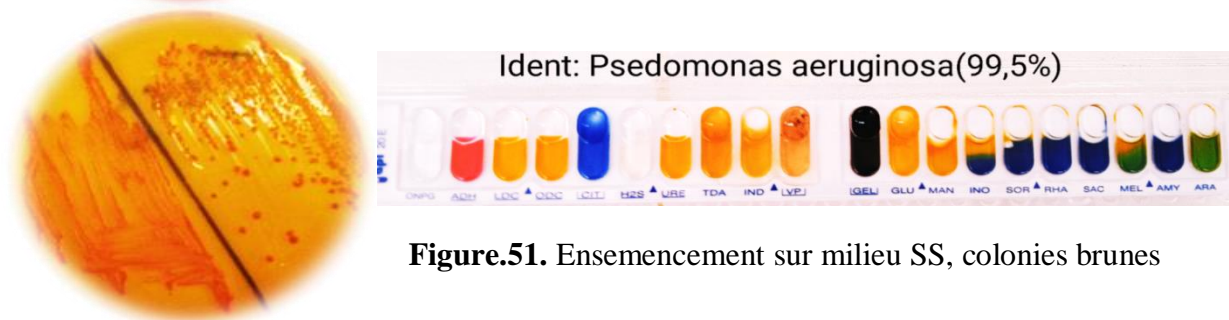


**Figure.49.** Ensemencement sur milieu SS, colonies noires.

### ➤ Echantillon C2 (compost de surface) :



**Figure.50.** Ensemencement sur milieu SS, colonies incolores (transparentes).



**Figure.51.** Ensemencement sur milieu SS, colonies brunes

**Tableau III :** Les germes existant dans la boue et dans le compost.

Germes recherchés	B1	B2	C1	C2
<i>Escherichia coli</i>	+	+	+	+
<i>Salmonella</i>	+	+	+	-

+ : La présence de germe dans un gramme d'échantillon.  
 - : L'absence de germe dans un gramme d'échantillon.

### CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Après l'isolement des bactéries et l'étape de purification des échantillons des 2 matrices étudiées, l'identification biochimique avec la galerie API 20 E a permis de mettre en évidence la présence de *Salmonella* dans différentes matrices et la présence des bactéries pathogènes indicateurs de pollution dans le compost telles que *Citrobacter* et *Pseudomonas*.

Le compost de boues, est fraîchement appliqué sur le sol qui contient des microorganismes pathogènes malgré le procédé de compostage, il est fort possible qu'ils ne survivent pas. Un faible degré d'humidité du sol et les radiations solaires sont les principaux facteurs environnementaux affectant la survie des bactéries et virus pathogènes (CARRINGTON, 1978 ; PAHREN *et al.*, 1979 ; PASSMAN, 1979). D'après, Le MENVIQ *et al.*, (1991), le mouvement des microorganismes pathogènes dans le sol est restreint. Ils survivent assez longtemps pour s'infiltrer dans le sol et peuvent cependant être adsorbés sur des particules ou atteindre la nappe phréatique (PASSMAN, 1979).

Pour améliorer le compostage dans le cas des bactéries pathogènes, les solutions sont les suivantes :

- le processus de compostage ne doit pas être appliqué directement sur le sol, afin d'éviter la contamination du compost par des micro-organismes pathogènes qui vivent dans le sol. Donc il est nécessaire d'avoir une couverture désinfectée sur le sol avant de commencer le processus de compostage.
- La destruction des microorganismes pathogènes ne sera efficace que si toute la masse est exposée à des températures létales et durant une période de temps suffisamment longue (FINSTEIN *et al.*, 1987).
- En plus de la température, l'humidité et l'aération jouent des rôles importants dans le processus de compostage (PEREIRA NETO *et al.*, 1987). Le contrôle de ces paramètres est primordial pour détruire les microorganismes pathogènes.
- MALOOF(1988) a proposé une technique pour éliminer tous les microorganismes pathogènes encore présents dans le compost de déchets domestiques ou de boues de stations d'épuration. Il s'agit du traitement aux électrons dont le niveau de radiations suggéré est de l'ordre de 400 krads. Le principe de cette technique repose sur la propulsion des électrons d'un accélérateur, leur permettant ainsi de pénétrer dans une matière liquide, semi-liquide ou solide. Cette technique s'avère efficace pour éliminées les bactéries et économique.
- Le compost ne doit pas être laissé à découvert sous les pluies ou au soleil. Il faut veiller à ce que le compost ne perde pas de sa fertilité pendant le stockage (INCKEL *et al.*, 1990).

# **Conclusion Générale**

## CONCLUSION GÉNÉRALE

L'installation de systèmes de traitement des eaux usées est une solution importante pour récupérer un volume apprécié d'eaux usées rejetées avec une capacité polluante remarquable. Le résidu du traitement «les boues» perdrait toute sa signification, s'il n'était pas éliminé de façon non polluante et éventuellement valorisante.

Notre travail a porté sur la qualité physico-chimique des eaux usées épurées biologiquement dans la STEP de Hadjout et la qualité chimique et microbiologique des boues issues de ce traitement, qui ont été recyclées par le procédé de compostage à partir de déchets de palmiers.

A travers cette étude, les résultats d'analyse des échantillons d'eau usée brute et épurée montrent que :

- La température, la conductivité électrique et le pH ne varient pratiquement pas.
- Les MES, la DCO, la DBO<sub>5</sub> et les matières phosphatées qui diminuent considérablement entre les eaux usées brutes (où les valeurs les plus élevées sont enregistrées) et les eaux usées épurées (où les valeurs les plus faibles sont enregistrées).
- Une moindre élimination des matières azotées.

Les conclusions suivantes ont été tirées :

- Une bonne efficacité épuratoire du traitement biologique par boues activées.
- Ces eaux épurées sont conformes aux normes de rejets, quelques soient d'OMS ou de la réglementation algérienne. Donc elles ne posent aucun problème sur l'environnement terrestre ou marin.

Par ailleurs, le contrôle de ces paramètres a révélé que :

- La station d'épuration des eaux usées de Hadjout fonctionne parfaitement en cas de faible charge surtout par rapport à l'élimination de la charge azotée.
- La forte charge polluante présente dans l'effluent entrant à la STEP et qui provient de 3 communes affecte l'efficacité du traitement.

Toujours dans le cadre de cette étude, les résultats de l'analyse chimique des échantillons des boues épaissies et déshydratées montrent que :

- La déshydratation des boues épaissies augmente la siccité des boues par l'évaporation d'eau et l'élimination de la MM.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

- La MVS reste dans la boue malgré que la déshydratation ait été faite.

Les conclusions suivantes ont été tirées :

- le processus de déshydratation est très efficace.
- Les boues déshydratées, qui contiennent principalement de la matière organique, sont importantes à valoriser par compostage.

Les résultats de l'analyse microbiologique de deux échantillons de la boue déshydratée et deux échantillons du compost produit de la même boue montrent que :

- La boue déshydratée, stockée en profondeur contient une quantité des germes plus élevée que la boue de surface, avec la présence de bactéries pathogènes (*Salmonella spp*).
- Après le processus du compostage, la quantité de germes présente dans le compost de surface et de profondeur diminue d'une bonne façon, avec toujours la présence de *Salmonella spp* et l'apparition de bactéries pathogènes qui sont *Citrobacter yongae* et *Pseudomonas aeruginosa*.

Les conclusions suivantes ont été tirées :

- Le processus de compostage fonctionne mal.
- Le compost final n'est pas conforme aux normes de la réglementation algérienne.
- Une contamination du compost final.

En outre, le contrôle de la qualité microbiologique de la boue déshydratée stockée et du compost final a révélé :

- La présence excessive des germes pathogènes ou non pathogènes dans la boue est tout à fait normale.
- L'apparition de nouvelles bactéries pathogènes dans le compost final est due au lieu où s'est déroulé le processus, car il a été en contact direct avec le sol, les oiseaux, les animaux, les insectes.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

On recommande :

- L'Algérie compte actuellement 1541 communes avec 171 stations d'épuration des eaux usées. Certaines communes partagent une seule STEP et d'autres non. Il est donc nécessaire de créer de nouvelles STEP afin de réduire la charge élevée de polluants entrant dans les stations et de protéger notre environnement terrestre et marin.
- Le compost bien réalisé est un engrais naturel très important pour l'environnement, il contribue à la reforestation et donc à la lutte contre la désertification et le changement climatique. Il est également nécessaire pour l'agriculture, il contribue à la culture de légumes et de fruits et donc à l'évolution vers un pays autosuffisant.
- Avec la crise de la sécheresse en Algérie, nous pouvons changer le mode d'assainissement unitaire vers un mode séparatif pour conserver les eaux de ruissellement afin de les réutiliser et réduire le coût d'épuration.
- Après une analyse bactérienne des eaux usées épurées, on peut les utiliser dans l'irrigation au lieu de les rejeter dans le milieu aquatique.
- La mesure de rapport CT/NT et L'analyse des métaux lourds et hydrocarbures dans la boue utilisée pour le processus de compostage ainsi que dans le compost final est nécessaire avant son utilisation en agriculture.

# **Références Bibliographiques**

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADDOU (2009).** *Traitement des déchets : valorisation, élimination.* France : ellipses. 288 p.
- ADEM (2001).** *Les boues chaulées des stations municipales : production, qualité et valeur agronomique.* France : Adem. 224 p.
- ADLER (2005).** *Eléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement.* France. 120 p.
- ALLEN (2001).** Containment landfills: the myth of sustainability. *Engineering Geology.* Vol. 60, n° 1-4, p.p. 3-19.
- ATTAB, Sarah (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 à sable local.* Thèse de doctorat : Biologie. Ouargla : Université Kasdi Merbah, 107 p.
- AUBAIN P et al. (2002).** Disposal and recycling routes for sewage sludge : Rapport de synthèse. *European Commission DG Environment-B2.* 137 p.
- AUSSEL Henri (2004).** *Le traitement des eaux usées. Institut national de recherche et de la sécurité.* Paris : Edition 5026. 58 p.
- BAUMONT Samuel et al. (2004).** Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île e-de-France. Rapport ORS. 220 p.
- BAUMONT, Samuel (2009).** Recyclage des eaux usées épurées : risques sanitaire et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS. 137 p.
- BELGHYTI Driss et al. (2009).** Caractérisation physico-chimique des eaux usées d'abattoir en vue de la mise en œuvre d'un traitement adéquat : cas de Kenitra au Maroc. *Afrique Science.* Vol. 5, n° 2, p.p. 199-216.
- BELINE Fabrice, DAUMER Marie-Line, GUIZIOU Fabrice (2004).** Biological aerobic treatment of pig slurry in France : nutrients removal efficiency and separation performances. *Transactions of the ASAE.* Vol. 47, n° 3, p.p. 857-864.
- BERAUD (2004).** *Le technician d'analyses biologiques.* Paris: Lavoisier. 2081 p.
- BERGEY et HOLT (1994).** *Sneath, Bergey's Manual of Determinative Bacteriology.* 9<sup>ème</sup> édition. Baltimore/Philadelphia/Hong Kong : Williams & Wilkins. 787 p.
- BERNE et CORDONNIER (1991).** *Traitement des eaux.- Epuration des eaux résiduaires de raffinage, conditionnement des eaux de réfrigération.* Paris : Technip. 306 p.
- BERTOLDI M, VALLINI G, PERA A (1983).** The biology of composting: A review. *Waste Management and Research.* Vol. 1, p.p. 157-176.
- BOLLERM, GUJERW, TSCHUIM (1994).** Parameters Affecting Nitrifying Biofilm Reactors. *Water Science and Ttechnology.* Vol. 29, n° 10-11, p.p. 1-11.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**BONGIOVANNI, Jean-Marc (1998).** *Traitement des boues résiduaires par l'association en série d'une déshydratation mécanique et d'un séchage thermique.* Thèse de doctorat : Physique. France : Université de Pau et des Pays de l'Adour, 248 p.

**BOUDJELAL, Ammar (2007).** *Détermination des besoins en eau des cultures à l'aide de logiciel.* Mémoire d'ingénieur : Hydraulique. Alger : Ecole nationale supérieure agronomique El- Harrach, 100 p.

**BOURRIER, SATIN, SELMI (2010).** *Guide technique de l'assainissement.* 4<sup>ème</sup> édition. Paris : le moniteur référence technique. 776 p.

**CARDOT (1999).** *Les Traitements de l'eau. Procédés physico-chimiques et biologiques.* Paris : ellipses. 247 p.

**CARRINGTON, E-G (1978).** The Contribution of Sewage Sludges to the Dissemination of Pathogenic Micro-organisms in the Environment : Technical report: TR 71. *Water Research Centre.* Marlow. 31 p.

**CHAUSSEPIED (1983).** *Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* France : CNEOX. Brest. 395 p.

**CORNICE (1992).** Conditionnement et traitement des boues des stations d'épuration des eaux résiduaires urbaines et des usines de production d'eau potable. Institut National Agronomique de Paris, cycle "Valorisation agricole des déchets des usines de traitement des eaux".

**DEGREMONT (1978).** *Mémento technique de l'eau.* 8<sup>ème</sup> édition. Paris : Degrémont. 1200 p.

**DEGREMONT (2005).** *Mémento technique de l'eau.* 10<sup>ème</sup> édition. Paris : Lavoisier. 1718 p.

**DELLARRAS et BERNARD (2003).** *Surveillance sanitaire et microbiologie des eaux.* Paris : Lavoisier. 246 p.

**DERONZIER (2004).** *Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées : Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique.* Lyon : Cémagref. 49 p.

**DIRECTIVE (1999/31/CE).** La directive concernant la mise en décharge des déchets est une législation de l'Union européenne qui doit être mise en application par les États membres. Conseil, du 26 avril 1999.

**DUCHENE (1990).** *Les systèmes de traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités.* 9<sup>ème</sup> édition. Paris : Cémagref. 84 p.

**DUDLEY, GUENTZEL, IBARRA, BARBARA (1980).** *Enumeration of potentially pathogenic bacteria from sewage sludges.* Paris : Eyrolles. 118p-126p.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- EIKELBOOM (2000).** *Process Control of Activated Sludge Plants by Microscopic Investigation*. London : Iwa Publishing. 150 p.
- EL-FADEL, Mutasem et KHOURY, Richard (2000).** Modeling Settlement in MSW Landfills : a Critical Review. *Critical reviews in environmental science and technology*. Vol. 30, n° 3, p.p. 327-361.
- FAO (2003).** *L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation*. Food and Agriculture Organisation. 73 p.
- FINSTEIN et al. (1987).** Analysis of EPA Guidance on Composting Sludge. *BioCycle*. Vol. 28, n° 1, p.p. 20-26.
- GALAF F et GHANNAM S (2003).** *Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin*. Mémoire d'ingénieur : Halieutique. Rabat, Maroc : Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, 101 p.
- GOMELLA et GUERREE (1978).** *Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées*. 2<sup>ème</sup> édition. Paris : Eyrolles. 262 p.
- GOUJAUS (1995).** *La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire*. 2<sup>ème</sup> édition. Paris : Tech & Doc Lavoisier. 220 p.
- GROSCLAUDE (1999).** *L'eau, usages et polluants, Tome II*. Paris : INRA. 203 p.
- GUIRAUD (1998).** *Microbiologie alimentaire*. Paris : Dunod. 651 p.
- HAMADECH, M (2006).** *Etude de la valorisation des eaux usées épurées et les possibilités de réutilisation dans l'industrie et l'agriculture*. Mémoire d'ingénieur : Biologie. Bab Ezzouar, Alger : USTHP, 89 p.
- HAMAIDI Fella et al. (2012).** Impact des rejets des eaux usées sur la qualité physico-chimique et bactériologique de l'oued Beni Aza (Blida, Algérie). *Lebanese Science Journal*. Vol. 15, n° 2, p.p. 39-51.
- HOOSHYARI B, AZIMI A, MEHRDADI N (2009).** Kinetic analysis of enhanced biological phosphorus removal in a hybrid integrated fixed film activated sludge process. *International Journal of Environmental Science and Technology*. Vol. 6, n° 1, p.p. 149-158.
- IDRISSI Youssef-Azami et al. (2015).** Caractérisation physico-chimique des eaux usées de la ville d'Azilal -Maroc-. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. Vol. 11, n° 3, p.p. 556-566.
- INCKEL Madeleine et al. (1990).** *La fabrication et l'utilisation du compost*. 6<sup>ème</sup> édition. Pays-Bas : Agromisa. 73 p.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- JARDE, Emilie (2002).** *Composition organique des boues résiduaires de station d'épuration Lorraines : Caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation.* Thèse de doctorat : Géochimie environnementale. Nancy, France : université Henri Poincaré, 267 p.
- JEAN et GUY (2001).** *Microbiologie technique.* 3<sup>ème</sup> édition. Bordeaux : Lanore J. 285 p.
- JENKINS (1993).** *The economics of solid waste reduction.* Washington : Edward Elgar. 168 p.
- JOFFIN et GUY (1996).** *Bactériologie médicale.* 2<sup>ème</sup> édition. Bordeaux : Canopé. 248 p.
- JOFFIN et GUY (2001).** *Dictionnaire des techniques Microbiologie.* Bordeaux : Canopé. 313 p.
- JORA (2006).** Journal officiel de la république algérienne. Décret Exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006, section 1, article 3.
- JOURAIPHY, Abdelmajid (2007).** *Compostage des boues activées-déchets verts : analyses physico-chimiques, microbiologiques, toxicologiques, bilan humique et valorisation agronomique.* Thèse de doctorat : Sciences agronomiques et environnement. Marrakech, Maroc : Faculté des sciences Semlalia, 128 p.
- KAROUNE, Samira (2008).** *Effets des boues résiduaires sur le développement des semis du chêne liège (Quercus suber L).* Thèse de doctorat : Biologie végétale. Constantine : Université Mentouri, 244 p.
- KING E-O, WARD M-K, RANEY D-E (1954).** Two simple média for the démonstration of pyocyanin and fluorescein. *The Journal of Laboratory and Clinical Medicine.* Vol. 44, n° 2, p.p. 301-307.
- KOLLER (2004).** *Traitement des boues issues de l'épuration.* Paris : Dunod. 115 p.
- KOLLER (2009).** *Traitement des pollutions industrielles.* 2<sup>ème</sup> édition. Paris : Dunod. 576 p.
- KRÜHNE, Ulrich (2000).** *Stabilisation of biological phosphorus removal from municipal wastewater.* Thèse de doctorat : Chemical Engineering. Copenhagen, Danemark : Université technique du Danemark, p.p. 51-53.
- LAMBKIN Denis, NORTCLIFF Stephen, WHITE Tim (2004).** The importance of precision in sampling sludge, biowaste and treated soils in a regulatory framework. *Analytical Chemistry.* Vol. 23, n° 10-11, p.p. 704-715.
- LARTIGES, Bruno-S (1994).** *Déstabilisation d'une suspension de silice colloïdale par un sel d'aluminium. Relation entre les phénomènes de surface, la structure et la granulométrie des floes.* Thèse de doctorat : Géosciences et matières premières. Lorraine, France : Institut National Polytechnique de Lorraine, 123 p.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- LEBBOUKH, Abdelkader (2003).** *Etude de la méthodologie de l'irrigation à partir des eaux épurées « pratiques et réglementations »*. Mémoire d'ingénieur : Hydraulique. Tlemcen : Université de Tlemcen, 93 p.
- LIBES (2010).** *Les eaux usées et leur épuration*. France. 17 p.
- MALOOF, S-R(1988).** Electron Inactivation of Pathogens in Sewage Sludge & Compost: A Comparative Analysis. *Civil Engineering Practice Fall*. Vol. 3, n° 2, p.p. 37-46.
- MARA (1980).** *Sewage treatment in hot climates*. 2<sup>ème</sup> édition. London : John Wiley and Sons. 168 p.
- MARA Duncan, CEBALLOS Beatriz-S, SALOMAO A-Salomao (1979).** Design verification for tropical oxidation ponds. *Journal of the Sanitary Engineering Division*.by. *American Society of Civil Engineering*. Vol. 105, n° 1, p.p. 151-155.
- MEKLATI, Abdelkader (2009).** *La mise en place d'un plan d'intervention en cas de sécheresse pour la wilaya d'Alger*. Mémoire de magister : Génie de l'environnement. Boumerdes : Université M'hamed Bougara, 105 p.
- MENVIQ, MER, MSSS (1991).** *Valorisation sylvicole des boues de stations d'épuration des eaux usées municipales*. Québec, Canada : Ministère de l'Environnement, ministère des Forêts et ministère de la Santé et des Services sociaux. 83 p.
- MESSAHEL Mekki et al. (2013).** *Etude et Valorisation des Eaux Usées épurées en irrigation (cas des périmètres agricoles de la Mitidja) : Rapport général du projet PNR*. Blida.
- METCALF et EDDY (2003).** *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. 4<sup>ème</sup> édition. New York : McGraw-Hill Education. 1819 p.
- METEOBLUE (1990-2020).** *Le climat de la daïra de Hadjout*. [Consulté le 06/04/2021], disponible sur le web : <[https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatmodelled/hadjout\\_alg%C3%A9rie\\_2494962](https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatmodelled/hadjout_alg%C3%A9rie_2494962)>.
- MININNI Giuseppe et al. (2004).** Dioxins and furans formation in pilot incineration tests of sewage sludge spiked with organic chlorine. *Chemosphere*. Vol. 54, n° 9, p.p. 1337-1350.
- MINOR et VÉRON (2007).** *Bactériologie médicale*. 2<sup>ème</sup> édition. Paris : Sciences Flammarion. 1107 p.
- MUSTIN (1987).** *Le compost gestion de la matière organique*. Paris : François Dubusc. 954 p.
- NAMMARI Diauddin-R et al. (2004).** Emissions from a controlled fire in municipal solid waste bales. *Waste Management*. Vol. 24, n° 1, p.p. 9-18.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- NISBET M et VERNAUX J (1970).** Composants chimiques des eaux courantes. *International Journal of limnology*. Vol. 6, n° 2, p.p. 161-190.
- OMS (1989).** Rapport succinct du Directeur régional. Quarantième session, treizième résolution. Bureau régional de l'Afrique.
- OTV (1997).** *Traiter et valoriser les boues*. France : Omnium de traitement et de valorisation. 457 p.
- PAHREN Herbert-R et al. (1979).** Health risks associated with land application of municipal sludge. *Journal Water Pollution Control Federation*. Vol. 51, n° 11, p.p. 2588-2600.
- PASSMAN (1979).** Composting municipal sludge. *Public health and legal implications. Harvard Environmental Law Review*. Vol. 3, n° 347, p.p. 381-398.
- PEREIRA NETO et STENTIFORD (1987).** *Comparative survival of pathogenic indicators in windrow and static pile*. Colorado : Elsevier Science Publishing. 295 p.
- PIMPEC P et al. (2002).** *Guide pratique de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatiques*. Paris : Cémagref. 159 p.
- PREVOT (2000).** La récupération de l'énergie issue du traitement des déchets. Paris. 124 p.
- REJSEK (2002).** *Analyse de l'eau : Aspects et règlementaire et technique*. Paris : CRDP d'Aquitaine. 358 p.
- RODIER (1996).** *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, les eaux usées résiduaires, eau de mer*. 8<sup>ème</sup> édition. Paris : Dunod. 1383 p.
- RODIER et al. (2005).** *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer*. 8<sup>ème</sup> édition. Paris, France : Dunod. 1383 p.
- RODIER, LEGUBE, MERLET (2009).** *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer*. 9<sup>ème</sup> édition. Paris : Dunod. 1526 p.
- ROUDIER (2004).** Techniques de réhabilitation des sites et sols pollués, 40 p.
- SARIGIANNIS Denis-A, HANSEN Ute (2012).** Considering the cumulative risk of mixtures of chemicals – A challenge for policy makers. *Environmental Health*. Vol. 11, n° 1, p.p. 2-12.
- SCHAECHTER (1999).** *Microbiologie et pathologie infectieuse*. Paris : Bruxelles de Boeck université. 973 p.
- SEAAL (2006).** *Epuraton des eaux*. [Consulté le 01/04/2021]. Disponible sur le web : <<http://www.seaal.dz/qui-sommes-nous/metiers/assainissement/epuration-des-eaux/>>.
- SILMAN, SY (2003).** *Etude de réhabilitation de la station d'épuration de Saly Portudal*. Mémoire d'ingénieur : Hydraulique. Dakar, Sénégal : Université Cheikh Antadiop, 119 p.
- SINGLETON et SAINSBURY (1984).** *Bactériologies*. Paris : Masson. 158 p.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**TAMRABET, Lahbib (2011).** *Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage*. Thèse de doctorat : Hydraulique. Batna : Université de Batna II, 146 p.

**TAUZIN et JUSTE (1986).** Effet de l'application à long terme de diverses matières fertilisantes sur l'enrichissement en métaux lourds des parcelles. Rapport du contrat 4084/93 ministère de l'environnement. 158 p.

**TICHADOU, Lucia (2014).** *Plateforme de compostage en milieu clos*. Mémoire d'ingénieur : Médecine agricole. Tlemcen : Université de Tlemcen, 80 p.

**WHO (1987).** Factors affecting treatment in ponds In Wastewater Stabilization pond : Principles of Planning and Practice, *FMRO Technical Publication*. 83 p.

**ZEGHOUD, Mohamed Seifeddine (2014).** *Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra*. Mémoire de master : Hydraulique. El-Oued : Université d'El-Oued, 90 p.

# **Annexes**

**Tableau I : Nombre le plus probable (NPP) dans le cas du système a trois tubes (BRISOU et DENIS, 1980)**

**La table de Mac Grady**

Nombre de tubes positifs au niveau des 3 taux de dilution retenus	NPP	Nombre de tubes positifs au niveau des 3 taux de dilution retenus	NPP
000	< 0,3	230	2,9
001	0,3	300	2,3
010	0,3	301	4
020	0,6	302	6
100	0,4	310	4
101	0,7	311	7
110	0,7	322	12
111	1,1	320	9
120	1,1	321	15
121	1,5	322	21
200	0,9	323	29
201	1,4	330	20
210	1,5	331	50
211	2,0	332	110
220	2,1	333	>110
221	2,8		

**Tableau II : Résultats des paramètres physico-chimiques.**

Paramètres/ Date		01/03/21	09/03/21	14/03/21	24/03/21	04/04/21	14/04/21	19/04/21	27/04/21	04/05/21	10/05/21	16/05/21	25/05/21
PH	EB	7,71	7,47	7,91	7,54	7,8	7,56	7,6	7,48	7,57	7,32	7,2	7,59
	EE	7,92	7,77	7,42	7,63	7,72	7,92	7,78	7,65	7,88	7,77	7,66	7,93
T (°C)	EB	16,8	15,2	15,7	11,6	18,4	18,2	18,3	20,9	20,5	22	22,9	22,2
	EE	10,6	13,6	12,4	11,2	17,6	17,6	17,7	19,5	20,3	21,2	18,7	19,6
COND (µc/cm)	EB	2480	2320	2510	2520	2430	2550	2350	2560	1764	2610	2740	2830
	EE	1861	2060	926	1577	2260	2450	1689	1900	1903	2210	2480	2620
MES (mg/l)	EB	490	470	110	226	354	NP	381	354	464	466	254	472
	EE	21	4	13	8,5	9	NP	16	12,5	7,5	13,5	26,5	23,5
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)	EB	416	487	277	286	353	513	183	394	216	479	396	450
	EE	6,7	2,3	9,6	5,9	10	16	10,1	6,3	5,1	5,6	8,9	18
DCO (mgO <sub>2</sub> /l)	EB	NP	NP	481	641	689	853	328	679	548	831	839	813
	EE	NP	NP	41,8	30,8	71,5	90	44,1	26,5	48,3	49,1	87,2	87,3
K	EB	NP	NP	1,7	2,2	1,9	1,6	1,7	1,73	2,5	1,7	2,11	1,8
MVS%	BE	NP	52	55,81	48	49,2	58,7	56,8	54,5	51,6	62,99	55,7	56,1
	BD	NP	51,5	56,1	49,6	50,1	59,7	57,2	55,1	52,5	62,4	55,8	55,2
MS%	BE	NP	5,65	5,3	6,5	7	7,35	6,2	7,8	6,6	8,09	5,3	7,9
	BD	NP	18	17,11	18,9	17,6	16,5	16,5	18,4	16,6	18,27	19,6	18,2
NT (mg/l)	EB	66,3	67,9	43,3	72,4	93,8	144,6	66,7	98,5	30,5	56,7	57,1	52
	EE	30,1	20,6	11,6	25,8	47,9	70,5	9,92	13,8	7,39	12,5	28,4	22,2
N-NH <sub>4</sub> (mg/l)	EB	38,9	51,8	37,1	55,1	70,8	90,6	41,4	80,2	16,4	36,7	46,3	31,4
	EE	1,27	0,4	1,11	0,087	43,7	67,2	18,2	10,8	1,24	0,718	4,91	0,384
N-NO <sub>3</sub> (mg/l)	EB	1,2	2,03	0,81	1,01	1,17	1,29	0,814	1,23	0,62	1,07	0,62	0,58
	EE	24,1	17,5	1,53	21,9	0,752	0,84	2,61	1,57	5,51	10,9	12	22,1
N-NO <sub>2</sub> (mg/l)	EB	0,1	0,315	0,173	0,166	0,282	0,28	0,19	0,288	0,16	0,3	0,17	0,18
	EE	1,47	0,078	0,027	0,055	0,152	0,192	1,07	0,441	0,187	0,43	1,33	0,36
PT (mg/l)	EB	6,19	9,1	8,4	8,97	7,7	9,96	4,93	7,92	3,53	6,91	7,68	3,97
	EE	0,34	0,622	1,41	2,79	1,32	1,98	0,791	0,507	1,2	1,43	1,65	0,74
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	EB	4,55	5,65	5,99	6,54	5,93	7,12	3,6	6,1	2,12	3,59	4,61	15,1
	EE	0,1	0,4	0,8	2,4	0,8	0,12	0,52	0,14	1,16	1,32	1,4	4,2

**Tableau III** : valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides et solides (**journal officiel de la république Algérienne N°26 : 24 Rabie Elaouel 427 23 Avril**).

Paramètre	Unité	Valeur limite
Température d'eau	° C	30
pH	/	6,5-8,5
MES	mg/L	35
Azote total	mg/L	15
Phosphore total	mg/L	2
DCO	mg/L	120
DBO <sub>5</sub>	mg/L	35
K	/	0-3
Température de composte	° C	60-70
Escherichia coli	Germes/g	10 <sup>4</sup>
Entérocoques	Germes/g	10 <sup>5</sup>
Aluminium	mg/L	3
Indice de phénol	mg/L	0,3
Hydrocarbure totaux	mg/L	10
Huile et graisse	mg/L	20
Cadmium	mg/L	0,2
Cuivre total	mg/L	0,5
Mercure total	mg/L	0,01
Plomb total	mg/L	0,5
Chrome total	mg/L	0,5
Etain total	mg/L	2
Manganèse	mg/L	1
Nickel total	mg/L	0,50
Zinc total	mg/L	3
Fer	mg/L	3
Composés organiques chlorés	mg/L	5
Détergents	mg/L	2

**Tableau IV : Résultats de dénombrements des germes indicateurs de pollution.**

La boue																											
Paramètre de germe		D 10 <sup>-1</sup>			D 10 <sup>-2</sup>			D 10 <sup>-3</sup>			D10 <sup>-4</sup>			D10 <sup>-5</sup>			D 10 <sup>-6</sup>			D10 <sup>-7</sup>			D 10 <sup>-8</sup>			NPP	Germe/g
B1 :	Coliformes	CFT (BLBVB)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	2*10 <sup>3</sup>		
		CFF E. Coli (EPI)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	2*10 <sup>3</sup>		
B2 :	Coliformes	CFT (BLBVB)	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	1.5*10 <sup>2</sup>		
		CFF E. Coli (EPI)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4*10		
B1 :	Streptocoques	SF (ROTH)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	110	1.1*10 <sup>8</sup>		
		SF (EVALIT SKY)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	50	5*10 <sup>7</sup>		
B2 :	Streptocoques	SF (ROTH)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	15	1.5*10 <sup>6</sup>		
		SF (EVALIT SKY)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	15	1.5*10 <sup>5</sup>		
Le compost																											
Paramètre de germe		D10 <sup>-1</sup>			D10 <sup>-2</sup>			D 10 <sup>-3</sup>			D10 <sup>-4</sup>			D 10 <sup>-5</sup>			D10 <sup>-6</sup>			D10 <sup>-7</sup>			D10 <sup>-8</sup>			NPP	Germe/g
C1 :	Coliformes	CFT (BLBVB)	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.3	2.3*10		
		CFF E. Coli (EPI)	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.3	2.3*10		
C2 :	Coliformes	CFT (BLBVB)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4*10		
		CFF E. Coli (EPI)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4*10		
C1 :	Streptocoques	SF (ROTH)	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4*10 <sup>2</sup>		
		SF (EVALIT SKY)	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4*10 <sup>2</sup>		
C2 :	Streptocoques	SF (ROTH)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9*10 <sup>3</sup>		
		SF (EVALIT SKY)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9*10 <sup>3</sup>		

**Tableau V** : Tableau de lecture de la galerie API 20 E.

TESTS	COMPOSANTS ACTIFS	QTE (mg/cup.)	REACTIONS/ENZYMES	RESULTATS	
				NEGATIF	POSITIF
ONPG	2-nitrophényl-βD-galactopyranoside	0,223	β-galactosidase (Ortho NitroPhényl-βD-Galactopyranosidase)	incolore	jaune (1)
<u>ADH</u>	L-arginine	1,9	Arginine DiHydrolase	jaune	rouge / orangé (2)
<u>LDC</u>	L-lysine	1,9	Lysine DéCarboxylase	jaune	rouge / orangé (2)
<u>ODC</u>	L-ornithine	1,9	Ornithine DéCarboxylase	jaune	rouge / orangé (2)
<u>[CIT]</u>	trisodium citrate	0,756	utilisation du CITrate	vert pâle / jaune	bleu-vert / bleu (3)
<u>H<sub>2</sub>S</u>	sodium thiosulfate	0,075	production d'H <sub>2</sub> S	incolore / grisâtre	dépôt noir / fin liseré
<u>URE</u>	urée	0,76	UREase	jaune	rouge / orangé (2)
TDA	L-tryptophane	0,38	Tryptophane DésAminase	jaune	<u>TDA / immédiat</u> marron-rougeâtre
IND	L-tryptophane	0,19	production d'INDole	incolore vert pâle / jaune	<u>JAMES / immédiat</u> rose
<u>[VP]</u>	sodium pyruvate	1,9	production d'acétoïne (Voges Proskauer)	incolore / rose pâle	<u>VP 1 + VP 2 / 10 min</u> rose / rouge (5)
<u>[GEL]</u>	gélatine (origine bovine)	0,6	Gélatinase (GELatine)	non diffusion	diffusion du pigment noir
GLU	D-glucose	1,9	fermentation / oxydation (GLUcose) (4)	bleu / bleu-vert	jaune / jaune gris
MAN	D-mannitol	1,9	fermentation / oxydation (MANnitol) (4)	bleu / bleu-vert	jaune
INO	Inositol	1,9	fermentation / oxydation (INOsitol) (4)	bleu / bleu-vert	jaune
SOR	D-sorbitol	1,9	fermentation / oxydation (SORbitol) (4)	bleu / bleu-vert	jaune
RHA	L-rhamnose	1,9	fermentation / oxydation (RHAmnose) (4)	bleu / bleu-vert	jaune
SAC	D-saccharose	1,9	fermentation / oxydation (SACcharose) (4)	bleu / bleu-vert	jaune
MEL	D-melibiose	1,9	fermentation / oxydation (MELibiose) (4)	bleu / bleu-vert	jaune
AMY	amygdaline	0,57	fermentation / oxydation (AMYgdaline) (4)	bleu / bleu-vert	jaune
ARA	L-arabinose	1,9	fermentation / oxydation (ARABinose) (4)	bleu / bleu-vert	jaune
OX	(voir notice du test oxydase)		cytochrome-OXYdase	(voir notice du test oxydase)	

**Tableau VI :** Résultats d'identification des bactéries par la galerie API 20 E.

Echantillon	B1	B2	C1		C2	
Famille	<i>Enterobact- ériaceae</i>	<i>Enterobact- ériaceae</i>	<i>Enterobact- ériaceae</i>	<i>Pseudo- monaceae</i>	<i>Enterobact- ériaceae</i>	<i>Pseudo- monaceae</i>
Espèces	<i>Salmonella Cheraesuiss Ssparizonae</i>	<i>Salmonella Cheraesuiss Ssparizonae</i>	<i>Salmonella Cheraesuiss Ssparizonae</i>	<i>Pseoudo- monace Fluo- rescensputid a</i>	<i>Citro- bacteryongae</i>	<i>Pseoudo- monace aeruginosa</i>
Pourcentage d'ident	<b>99.9%</b>	<b>99.9%</b>	<b>99.9%</b>	<b>99.7%</b>	<b>99.9%</b>	<b>99.5%</b>
Morphologie De Cellule	Bacille à coloration bipolaire	Bacille à coloration bipolaire	Bacille à coloration bipolaire	Bacille aérobies stricts	Bacille à coloration bipolaire	Bacille aérobies stricts
Gram	-	-	-	-	-	-
Catalase	+	+	+	-	+	-
Oxydase	-	-	-	+	+	+
Mobilité	+	+	+	+	+	+
Prod de gaz	+	+	+	+	+	+
OPNG	+	+	+	-	+	-
ADH	+	+	+	+	+	+
LDC	+	+	+	-	-	-
ODC	+	+	+	-	-	-
CIT	+	+	+	+	+	+
H2S	+	+	+	-	+	-
URE	-	-	-	+	-	-
TDA	+	+	+	-	-	-
IND	-	-	-	-	-	-
VP	-	-	-	-	-	-
GEL	-	-	-	+	+	+
GLU	-	-	-	-	+	+
MAN	+	+	+	-	-	+
INO	-	-	-	-	+	+
SOR	+	+	+	-	+	-
RHA	+	+	+	-	+	-
SAC	-	-	-	-	-	-
MEL	-	-	-	+	-	+
AMY	-	-	-	-	-	-
ARA	+	+	+	+	+	+
NO <sub>2</sub>	+	+	+	-	+	-
N <sub>2</sub>	-	-	-	+	-	+

**Tableau VII : La composition des milieux de culture utilisés :**

◆ **Milieu d'Evalitsky :**

<b>Composition</b>	<b>Quantité (g/l)</b>
Peptone	20
Glucose	5
Chlorure de sodium	5
Phosphate bipotassique	2,7
Phosphate monopotassique	2,7
Azohydrate de sodium	0,3
Ethylviolet	0,0005

pH final = 6,8-7. Autoclaver à 115°C pendant 20 minutes.

◆ **Milieu de Roth :**

<b>Composition</b>	<b>Quantité (g/l)</b>
Peptone	20
Glucose	5
Chlorure de sodium	5
Phosphate bipotassique	2,7
Phosphate monopotassique	2,7
Azohydrate de sodium	0,2

pH final = 6,8-7. Autoclaver à 115°C pendant 20 minutes.

◆ **Milieu TSI :**

<b>Composition</b>	<b>Quantité (g/l)</b>
Peptone	20
Extrait de viande	3
Extrait de levure	3
Chlorure de sodium	5
Citrate ferrique	0.3
Thiosulfate de sodium	0.3
Lactose	10
Saccharose	10
Glucose	1
Rouge de phénol	q.s.
Agar	12

pH = 7,4 (environ). Autoclaver à 121°C pendant 15min.

♦ **Bouillon lactosé bilié au vert brillant (BLBVB) :**

<b>Composition</b>	<b>Quantité (g/l)</b>
Peptone	10
Lactose	10
Bile	20
Vert brillant	0,013

pH = 7,4. Autoclaver à 121°C pendant 15 minutes.

♦ **Bouillon au sélénite de sodium (SFB) :**

<b>Composition</b>	<b>Quantité (g/l)</b>
Peptone de viande	5
Lactose	4
Sélénite de sodium	4
Phosphate dipotassique	3,5
Phosphate monopotassique	6,5

pH = 7,0±0,2 à 25°C. Ne pas autoclaver.

♦ **Gélose Salmonelles-Shigelles (SS) :**

<b>Composition</b>	<b>Quantité (g/l)</b>
Peptone	5
Extrait de viande de bœuf	5
Sels biliaires	4,2
Citrate de sodium	10
Citrate de fer	2
Lactose	10
Rouge neutre	0,025
Vert brillant	0,3(mg)
Thiosulfate de sodium	8,5
Agar	12

pH = 7,3±0,2 à 25°C. Ne pas autoclaver.

♦ **Eau Peptonée Exempte d'Indol (EPI) :**

<b>Composition</b>	<b>Quantité (g/l)</b>
Tryptone	9
NaCl	5
Extrait de levure	1

pH = 7,2. Autoclaver à 121°C pendant 15 minutes.

**Tableau VIII : Matériels utilisées.**

### **Matériels & équipements :**

- **Matériels :**
  - Glacière.
  - Eprouvette de 50ml pour l'eau brute.
  - Eprouvette de 200ml pour l'eau épurée.
  - Pipettes.
  - Flacons de l'appareil BODTrak.
  - La graisse et les cupules de flacons.
  - L'hydroxyde de potassium.
  - Dessiccateur.
  - Capsules en porcelaine.
  - Bec-Bunsen.
  - Boîtes de Pétris.
  - Pipettes Pasteur.
  - Pincés stérilisées.
  - Micropipette de 1ml.
  - Anse de platine.
  - Tubes à essai et leurs supports et Cloches de Durham.
  - Lames et lamelles de microscope.
  - Galerie API 20 E.
  - Huile de paraffine.
  - Eau distillée stérile.
- **Réactifs :**
  - KOVACS
  - VP 1 & 2
  - Nitrites 1 & 2
  - TDA
- **Appareillages :**
  - Thermostat.
  - PH-mètre.
  - Conductimètre.
  - Spectrophotomètre UV-visible.
  - DBO-mètre BODTrak.
  - L'incubateur à 20°C.
  - Balance analytique.
  - Pompe d'aspiration.
  - Equipement de filtration sous vide.
  - Four à moufle
  - Etuve 37°C et Etuve 44°C.
  - Microscope optique.
  - Autoclave.