

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة البليدة 1

Université Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie et Physiologie Cellulaire

Mémoire

*Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master 2 en :
Ecosystèmes aquatiques*

Thème

**Analyse bibliographique des boues résiduaire de la
STEP de Baraki (W. Alger)**

Soutenu par :

M^{elle} Benyahia Rim, M^{elle} Said Abdessameud Yasmina et M^{elle} Berbache Samia

Devant le Jury :

<i>Mme Hamaidi F</i>	<i>Professeur</i>	<i>U.S.D. Blida1</i>	<i>Présidente</i>
<i>Mme Mohamed Mahmoud F</i>	<i>MCB</i>	<i>U.S.D. Blida1</i>	<i>Examinatrice</i>
<i>Mme Belmeskine H</i>	<i>MCA</i>	<i>U.S.D. Blida1</i>	<i>Promotrice</i>

Le 16 /09 /2020

Dédicace

Au nom d'Allah le clément et miséricordieux

Je dédie ce travail à :

A tous ceux qui m'ont consacré temps, patience et conseils surtout dans les moments difficiles.

La plus chère à mon cœur, la bougie qui a éclairé ma vie et qui a contribué à ma réussite, qui m'a toujours aidé avec ses prières, ses conseils précieux et j'espère rendre tout ce qu'elle a fait pour moi.

Merci de tout cœur ma chère mère Ghenima, que Dieu vous accorde santé et longue vie.

A ma deuxième chère mère Zina pour son amour sa tendresse, et pour son soutien.

Le plus grand amour dans mon cœur, à la prunelle de mes yeux, le meilleur guide dans ma vie et qui n'a jamais cessé de m'encourager le meilleur père.

Et je dédis ce travail à ma chère sœur la source du sourire dans ma vie qui me donne l'espoir de vivre et de réussite dans mes études Wassila et ses petits enfants Ali et Massine.

A mon chère frère, le symbole de fidélité et de largesse et de paix le meilleur frère dans le monde Rafik

A toute mes tantes Tassaidit, Malika, Djazira et mes oncles Khaled et Hocine.

A mes belles amies les plus près dans mon cœur : la belle rose Najla, Rim, Aya et toute la promotion d'écosystèmes aquatiques 2019-2020.



Yasmina

Dédicace

Je remercie avant tout le bon Dieu, le tout puissant qui m'a éclairé mon chemin tout au long de mes études

Je dédie ce modeste travail à:

*A mon père **Said**, qui a été toujours mon guide et mon repère, que Dieu le compte parmi ses biens aimés.*

*A l'être le plus chère à mon cœur, ma mère **Souad** pour ses prières, ses encouragements et soutient tout le long de ma vie.*

*À l'âme de ma chère grand-mère: **Rym***

*A mon chère grand-père: **Amer***

*À l'âme de mon chère grand-père: **Rabeh***

*A ma chère grand-mère: **Bouchra***

*A mon chère frère: **Abderaouf** et sa femme **Dikra**.*

*A mes chères sœurs: **Imen, Asma**.*

*A mes chères tantes à l'entête: **Badra, Fella, Meriem**.*

A tous mes chers oncles

*A ma chère nièce: **Asil***

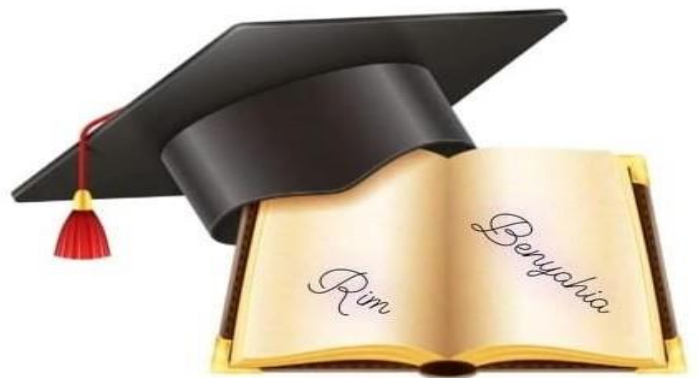
*A mes chères copines: **Amina, Hadjer, Samia, Yasmina***

*Et à toute la famille: **Benyahia et Hebbaz***

Aux personnes chères à mon cœur

*À toute la Promotion de master 2
Ecosystèmes aquatiques 2019-2020.*

A tous ceux qui m'aiment et que j'aime.



Dédicace

À Dieu le tout puissant

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

*A mes chères sœurs, Sarah,
Amira et Madina, pour
leurs encouragements permanents,
et leurs soutien Moral.*

*A mes chers frères, Hamza et Amine pour leurs
appui et leurs encouragements,*

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de
votre soutien infaillible.*

Merci d'être toujours là pour moi.



BERBACHE Samia

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous tenons à remercier notre bon Dieu le tout puissant qui nous a donné le courage et la force pour mener à bout ce modeste travail dans des conditions aussi difficiles pour nous et pour toute l'humanité suite à la pandémie du COVID-19.

Au terme de ce travail, nous voudrions tout d'abord adresser toute notre reconnaissance à notre promotrice Dr.BELMESKINE Hayet, maitre de Conférences A à l'université Blida 1 qui a suivi fidèlement notre travail. Nous tenons à la remercier pour son encadrement et son soutien, pour la confiance qu'elle nous a témoignée en nous confiant ce travail. Nous apprécions sa grande chaleur humaine.

Nous remercions aussi Monsieur TAHRI TAHER, Ingénieur-Chercheur au niveau de la STEP de Baraki (Alger) pour sa patience et ses judicieux conseils qui ont contribué à alimenter nos réflexions.

Nous remercions aussi Professeur Hamaidi Fella, enseignante-chercheuse à l'université Blida 1, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance de ce mémoire ainsi que les différents conseils que nous avons reçu de sa part.

Nous voudrions aussi remercier vivement Dr. Mohamed Mahmoud Fadhila, maitre de conférences B à l'université Blida 1, pour avoir accepté de faire partie de ce jury.

Nous désirons aussi remercier tous nos enseignants à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université de Blida-1, qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires.

Nous voudrions exprimer également nos reconnaissances envers les amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral tout au long de notre démarche.

Un grand merci à Monsieur HEBBAZ Ali et Madame ROUABHI pour leur assistance.

Enfin, nous tenons à remercier toute personne ayant participé à l'élaboration de ce présent mémoire.

Table des matières

Remerciements

Résumés

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

Chapitre 1 : Revue bibliographique

I.1.	Définition des bouesrésiduaires	2
I.2.	Origine et formation des boues résiduaires	2
I.2.1	Les bouesprimaires.....	2
I.2.2.	Les boues secondaires.....	2
I.3.	Les caractéristiques des bouesrésiduaires	3
I.3.1.	Matière organique.....	5
I.3.2.	Eléments fertilisants	5
I.3.3.	Contaminants chimiques inorganiques etorganiques.....	5
I.3.4.	Les micro-organismespathogènes.....	6
I.4.	Traitement des boues résiduaires	6
I.4.1.	Description.....	6
I.4.2.	Les types de traitements des bouesrésiduaires	7
I.5.	Les types de bouesrésiduaires	8
I. 5.1.	Selon l'état physique.....	8
I.5.2.	Selon l'origine.....	9
I.6.	Destination finale des bouesrésiduaires	10
I.6.2.	Valorisation énergétique	10
I.6.3.	Valorisation agricole	12
I.7.	Présentation de la STEP de BARAKI:.....	13
I.7.2.	Filière de traitement desboues.....	17
I.7.2. 1.	Recirculation et extraction des boues	17
I.7.2.2	.Epaississement.....	17

I.7.2.3. Déshydratation	18
-------------------------------	----

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

II.1. Analyses physico-chimiques des boues résiduelles	19
II.1.1. Procédure d'échantillonnage	19
II.1.2. Paramètres physiques	19
II.1.2. 1. Température	19
II.1.2.2. Matières en suspension:	19
II.1.3. Paramètres chimiques	21
II.1.3.1. Potentiel d'hydrogène	21
II.1.3.2. La conductivité électrique	22
II.1.3.3. Demande biologique en oxygène	22
II.1.3.4. La demande chimique en oxygène:	22
II.1.3.5. Dosage du carbone organique et de la matière organique	22
II.1.3.6. Les éléments fertilisants:	23
II.1.3.7. Dosage des métaux lourds	28
II.2. Analyses bactériologiques	29
II.2.1. Échantillonnage	29
II.2.2. Méthodes analytiques	29
II.2.2.1. Méthode de filtration sur membrane	30
II.2.2.2. Ensemencement	30
II.2.3. Recherche des indicateurs de contamination fécale	31
II.2.3.1. Recherche des coliformes totaux et fécaux	31
II.2.3.2. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux	34
II.2.3.3. Recherche et dénombrement des spores anaérobies sulfite-réducteurs:	36
II.2.3.4. Recherche des germes pathogènes	37
II.2.3.4.1. Salmonella	38

Chapitre 3 : Résultats et discussion

III. 1. Analyses physico-chimiques	41
III. 1. 1. pH	41
III. 1. 3. Matière organique (MO)	41

III. 1. 4. Rapport C /N.....	42
III. 1. 5. L'azote.....	42
III. 1. 6. Phosphore total	43
III. 1. 7. Métaux lourds	43
III. 2. Analyses bactériologiques	43
III. 2. 1. Recherche des indicateurs des contaminations fécales.....	44
<i>III. 2. 1. 1. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux</i>	<i>44</i>
<i>III. 2. 1. 2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux</i>	<i>45</i>
<i>III. 2. 1. 3. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux</i>	<i>46</i>
III. 2. 2. Recherche et dénombrement des anaérobies sulfito-réductrices	47
III. 2. 3. Recherche et dénombrement des Salmonelles	48

CONCLUSION

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

Liste des abréviations

ADH : Arginine Di hydrolase.

ASR : Anaérobies sulfito-réducteurs.

BCPL : Bouillon lactose au pourpre de bromocresol.

C : carbone.

°C : degré Celsius.

Ca : Calcium.

Cd : Cadmium.

CE: Conductivité électrique.

CEN: Comité Européen de Normalisation.

CF : Coliformes fécaux.

Co : monoxyde de carbone.

Cr : Chrome.

CT : Coliformes totaux.

Cu : Cuivre.

DBO : Demande biologique en oxygène

D/C: Double Concentration.

DCO: Demande Chimique en Oxygène

EH: Equivalent Habitat.

EPA : Eau peptonée alcaline.

ETM : Eléments traces métalliques.

FeS : Sulfure de fer.

GN : Gélose nutritive.

GNAB : Gélose nutritive alcaline biliée.

HAP : hydrocarbures aromatiques polycyclique.

Hg : Mercure.

H₂S : Sulfure d'hydrogène.

ISO : Organisation Internationale de Standardisation.

K : potassium.

LDC : Lysine Décarboxylase.

MES : Matière En Suspension.

Mg : Magnésium.

MO: Matière organique.

MV : Matière volatile.

MVS : Matière en Suspension Volatile.

N : Azote.

Ni : Nickel.

NO : Monoxyde d'azote.

NPP : Nombre le plus probable.

ODC : Ornithine Décarboxylase.

P : Phosphore.

Pb : Plomb.

PCB : polychlorobiphényles.

PH : Potentiel d'hydrogène.

PR1 : poste de relevage 1.

PR2: poste de relevage 2.

S/C : Simple concentration.

SF : : Streptocoque fécaux.

SFB : Bouillon Sélénite Cystéine.

SO : Monoxyde de soufre.

SS : Salmonella-Shigella.

STEP : Station d'épuration des eaux usées.

TSI : triple sugar iron.

UFC : Unité formant colonie.

µm : Micromètre.

VF : Viande Foi.

Zn : zinc.

Liste des Figures

Figure 1: Schéma des différents types de boues dans un procédé par boues activées	03
Figure 2: Evacuation des boues résiduelles de STEP	11
Figure 3: La STEP de Baraki(Source Google Earth)	13
Figure 4: PR1 et PR2 (photo originale)	14
Figure 5: Dégrilleur (photo originale).....	15
Figure 6: Bassin dessablage/ déshuilage (photo originale).....	15
Figure 7: Décanteur primaire (photo originale).....	16
Figure 8: Bassin d'aération (photo originale).....	16
Figure 9: Clarificateur (photo originale).....	17
Figure 10: Epaisseur (photo originale).....	18
Figure 11: Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux	30
Figure 12: Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux	32
Figure 13: Recherche et dénombrement des ASR	34
Figure 14: Recherche des Salmonella	37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques agronomiques des boues résiduaires	04
Tableau 2: Caractéristiques principales des boues	04
Tableau 3: Les opérations de traitement des boues et leurs objectifs.....	07
Tableau 4: Volume à introduire pour la préparation de solution d'étalonnage.....	27
Tableau 5 :Résultats de valeurs du PH	39
Tableau 6 : Résultats de CE.....	39
Tableau 7 :Résultats de Matière organique.....	40
Tableau 8 : résultats de rapport C/N.....	40
Tableau 9 : Résultats des taux d'Azote.....	40
Tableau 10 : Résultats des taux de Phosphore.....	41
Tableau 11 : Résultats de métaux lourds	41
Tableau 12 : Valeurs limités des éléments traces métalliques selon FOA.....	42
Tableau 13: Recherche et dénombrement des coliformes fécaux. (1-2-3).....	44
Tableau 14: Recherche et dénombrement des coliformes totaux.(1-2-3).....	45
Tableau 15: Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux.(1-2-3).....	46
Tableau 16: Recherche et dénombrement des anaérobies sulfito-réductrices.(1-2-3)	47
Tableau 17: Recherche et dénombrement des Salmonelles.....	48
Tableau18 :Valeurs des microorganismes selon AFNOR	48

Résumé

Ce travail de recherche a pour objectif de déterminer les propriétés physico-chimiques et microbiologiques des boues résiduaires issues de la station d'épuration des eaux usées de BARAKI, et la possibilité de les utiliser dans l'agriculture en tant qu'amendements, pour éliminer les résidus dans les conditions les plus économiques tout en respectant les contraintes liées à la protection de l'environnement et l'hygiène publique.

Ses études s'est basée sur plusieurs analyses : physico-chimique (MES, MVS, éléments fertilisants, pH, conductivité...), et bactériologiques (le dénombrement des germes indicateurs d'une contamination fécale (coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux, l'identification des germes en particulier les germes pathogènes.)

Les résultats conclus des études précédentes sur les propriétés bactériologiques montrent que la charge microbienne en germes indicateurs d'une contamination fécale est très variée d'un type de boue à l'autre (liquide, moyenne, sèche) et d'un mois à l'autre.

Les résultats conclus des études précédentes sur les propriétés physico-chimiques ont montré que la boue résiduaire issue de la station d'épuration, riche en éléments fertilisants, et en matière organique et présente une concentration en métaux lourds située dans la norme AFNOR. Ce qui permet la possibilité d'utilisation agricole de ces boues.

Mots clés : boues résiduaires, valorisation agricole, analyse physico-chimique, analyse bactériologique.

Abstract

The objective of this research work is to determine the physico-chemical and microbiological properties of the waste sludge from the BARAKI wastewater treatment plant, and the possibility of using it in agriculture as soil amendment, in order to dispose of the residues in the most economical conditions while respecting the constraints related to the protection of the environment and public health.

Our study was based on several analyses: physico-chemical (MES, MVS, fertilizing elements, pH, conductivity...), and bacteriological (enumeration of germs indicative of faecal contamination (total coliforms, faecal coliforms, faecal streptococcus, identification of germs specially pathogenic germs).

The results of previous studies on bacteriological properties showed that the microbial load of germs indicative of faecal contamination varied greatly from one type of sludge to another (liquid, medium, dry) and from one month to another.

The results of previous studies on the physico-chemical properties have shown that the waste sludge from the wastewater treatment plant is rich in fertilizing elements and organic matter, and has a heavy metal concentration within the AFNOR standard. This allows the possibility of agricultural use of this sludge.

Keywords: sewage sludge, agricultural valorization, physico-chemical analysis, bacteriological analysis.

الملخص:

الهدف من هذا العمل البحثي هو تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحماة الميكروبيولوجية من محطة معالجة مياه الصرف الصحي البراكي ، وإمكانية استخدامها في الزراعة كتعديلات ، على التخلص من المخلفات في ظل الظروف الأكثر اقتصادا مع احترام القيود المتعلقة بحماية البيئة والصحة العامة. استندت دراساته إلى عدة تحليلات: فيزيائية كيميائية (MVS ، MES) ، عناصر الأسمدة ، ودرجة الحموضة ، والموصلية ، وما إلى ذلك) ، والجراثيم (عدد الجراثيم المؤشر التلوث البرازي (القولونيات الكلية ، القولونيات البرازية ، العقدية البرازية ، تحديد الجراثيم ، ولا سيما مسببات الأمراض). النتائج من الدراسات السابقة على الخصائص البكتريولوجية تبين أن الحمل الجرثومي للبكتيريا يدل على تلوث البراز شديد اختلفت أنواع الطين من نوع إلى آخر (سائل ، متوسط ، جاف) ومن شهر لآخر. النتائج المستخلصة من الدراسات السابقة على الخصائص الفيزيائية والكيميائية لها تبين أن الحماة المتبقية من محطة معالجة مياه الصرف الصحي غنية بالعناصر المخصبة، و مادة عضوية ولها تركيز معادن ثقيلة ضمن المعيار أفنور. وهذا يسمح بإمكانية الاستخدام الزراعي لهذه الحماة. الكلمات المفتاحية: الحماة المتبقية ، الاسترداد الزراعي ، التحليل الفيزيائي والكيميائي ، التحليل الجرثومي.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Dans le contexte actuel de protection de l'environnement, l'élimination des boues d'épuration constitue un des enjeux majeurs pour notre pays. L'accroissement du nombre de stations d'épuration des eaux usées (STEP) en Algérie s'accompagne de production de quantités non négligeables de boues d'épuration. L'objectif du traitement est de réduire le volume des boues produites, mais également de les valoriser par une réutilisation à des fins agricoles permettant ainsi d'enrichir les sols sans recourir à des engrais chimiques ou par une valorisation de leur potentiel énergétique sous forme de biogaz et contribuer ainsi au développement durable (**Ladjel et Abbou, 2016**). Le compostage est l'un des procédés de valorisation de déchets puisqu'il permet d'obtenir, à partir de déchets organiques, un produit stable, hygiénisé et pouvant être utilisé comme amendement agricole.

Cependant, les boues d'épuration sont riches en substances chimiques et en micro-organismes venant de la contamination des eaux par plusieurs produits chimiques et des agents pathogènes. Ces substances ont des effets indésirables soit pour la conservation des sols, soit pour la qualité alimentaire des cultures, soit pour la santé de l'homme et des animaux. Elles peuvent également être chargées en divers polluants à savoir les éléments traces métalliques ainsi que les substances organiques. La présence de ces micropolluants, réglementés ou non, dans les boues de stations de traitement des eaux usées doivent être connus afin de bien traiter et valoriser les boues (**Fertas et al., 2015**).

Dans le cadre de notre projet de fin d'études de master, nous avons envisagé un stage au niveau de la STEP de Baraki à Alger afin de réaliser une étude analytique dont le but est d'évaluer les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des boues résiduelles de cette station. Cette étude vise surtout une estimation de la possibilité de valorisation de ces boues comme amendements pour les sols en alternative aux engrais chimiques. Malheureusement suite à la pandémie du COVID-19, il nous a été impossible de réaliser notre stage pratique au sein de la STEP, sauf deux visites sur terrain avant le confinement. Mais ceci n'empêche que nous avons rédigé notre mémoire qui est composé de trois chapitres:

- Le premier chapitre est une revue bibliographique contenant des notions générales sur notre thématique qui aide à la bonne compréhension du reste du rapport.
- Le deuxième chapitre décrivant le matériel et les protocoles adéquats pour la réalisation des différentes analyses.
- Le troisième chapitre est une synthèse des résultats attendus.

Chapitre 1

Revue bibliographique

Chapitre 1: Revue bibliographique

I.1. Définition des boues résiduaires

Selon le Comité Européen de Normalisation (CEN), les boues sont définies comme « un mélange d'eau et de matières solides, séparé par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui le contiennent ». Donc les boues sont des matières issues du traitement des eaux usées où l'épuration de ces eaux usées, domestiques et/ou industrielles, s'effectue dans une station d'épuration (STEP) en différentes étapes selon des techniques appliquées. Ce résidu est constitué de matières minérales inertes, d'azote, de phosphore et de matières organiques (JARDI, 2002).

I.2. Origine et formation des boues résiduaires

A la sortie d'une station d'épuration, on trouve de l'eau épurée (rejetée dans le milieu naturel) et des résidus d'épuration, constitués notamment de boues contenant des substances minérales et organiques. Dans les stations d'épuration conventionnelles, les boues apparaissent à deux niveaux résumés en **Figure 1**.

I.2.1 Les boues primaires

Les boues de traitement des eaux primaires sont produites dans les bassins par simple décantation des matières en suspension (MES) organiques et minérales contenues dans les eaux usées.

I.2.2. Les boues secondaires

Ces boues proviennent généralement de la séparation de cette biomasse bactérienne et l'eau épurée dans le décanteur secondaire. On peut rencontrer deux types des boues secondaires :

- Les boues de traitement secondaire physico-chimique proviennent de l'agglomération des matières organiques particulaires ou colloïdales contenues dans les eaux usées, par addition d'un réactif coagulant (sels de fer ou d'aluminium) qui sont ensuite séparées par décantation.
- Les boues de traitement secondaire biologique sont essentiellement composées des résidus de bactéries épuratrices « cultivées » dans les bassins d'épuration biologique aérobie des stations d'épurations (ADDU, 2009).

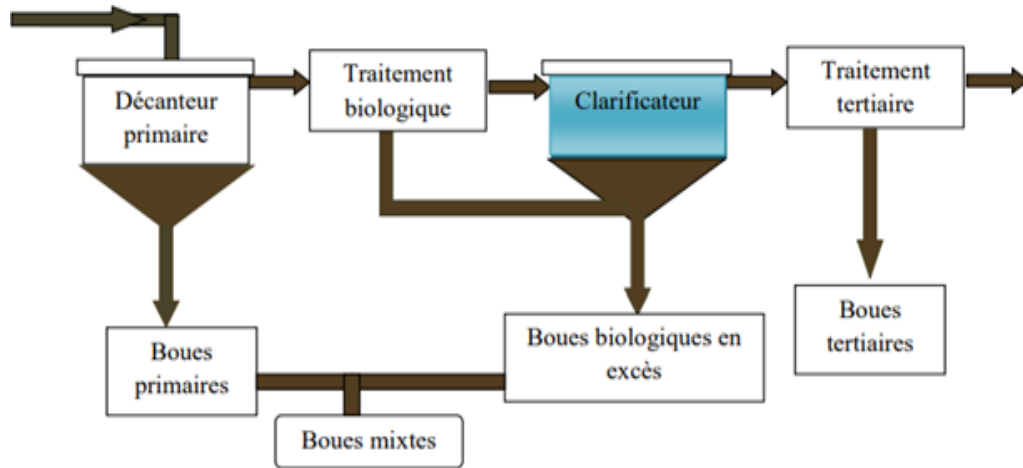


Figure .1 : Schéma des différents types de boues dans un procédé par boues activées

(TELLI, 2013)

I.3. Les caractéristiques des boues résiduelles

Les boues sont caractérisées par un certain nombre de critères définissant leur composition physique et chimique (tableaux 1 et 2) :

-La siccité qui est la concentration en matières sèches, exprimée en grammes de matière par litre de boues (ou en pourcentage).

-La teneur en matière volatile ou matière organique : la teneur en matières volatiles s'exprime en pourcentage du poids des matières sèches. Elle permet d'évaluer le degré de stabilisation des boues et leur aptitude à subir divers traitements (digestion, incinération,).

- La teneur en matière minérale : c'est la différence entre la matière sèche et la matière volatile.

-Le pouvoir calorifique inférieur qui permet d'évaluer leur aptitude à l'incinération. Il correspond à la quantité de chaleur pouvant être dégagée par une certaine masse de boue.

-La composition en matières fertilisantes (carbone organique, phosphore, azote, oligo-éléments), en éléments indésirables (traces métalliques et en composés traces organiques) et en micro-organismes.

Chapitre 1: Revue bibliographique

Tableau 1 : Caractéristiques agronomiques des boues résiduaires (Boutin, 1982)

Éléments	Azote	Phosphore	Potassium	Matière organique
Boue fraîche	3.5 / 4.5	2 / 3	0.5 / 1	60 / 80
Boue digérée	2 / 2.5	1 / 2	0.2 / 0.5	40 / 65

Tableau 2 : Caractéristiques principales des boues (FNDEA, 1990)

Procédé	Matière sèche (g/l)	Matière organique (%)
Boue activée en aération prolongée	20 à 50	60 à 70
Lit bactérien	40 à 70	50 à 60
Lagunage aéré	40 à 60	60 à 70
Lagunage naturel	50 à 100	30 à 60
Décanteur/digesteur	70	40 à 60

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement appliqué. Les boues sont très riches en matière organique (50 à 70 % de la matière sèche), ce qui favorise la prolifération des microorganismes qui se multiplient et décomposent la matière organique. En absence d'une aération suffisante, la décomposition libre des composés organiques nauséabonds, ainsi que le gaz à effet de serre (gaz carbonique, méthane, ...).

La décomposition des boues d'épuration libère également de grandes quantités d'azote (principalement sous forme de nitrate) et de phosphore. Les métaux lourds représentent, en moyenne, moins de 0,15 % de la matière sèche. La réglementation évolue avec l'efficacité croissante de la gestion des déchets et les avancées techniques de leur traitement (KOLLER, 2004).

Les boues d'épuration peuvent contenir des composés dont les effets sont indésirables, pour la santé de l'homme et des animaux. Ces composés, au-dessus d'un certain seuil, peuvent rendre certaines boues impropres à l'épandage agricole (BELAID, 2015). Les boues des stations d'épuration sont constituées généralement de :

-Particules minérales (argiles, carbonates, silicates, phosphate...);

Chapitre 1: Revue bibliographique

- Débris organique grossiers (fibres textiles, résidus végétales, matières plastiques) ;
- Biomasse morte (résidus de cellules bactérienne, d'algues...) ;
- Polymère organique issu de l'activité de biomasse (polysaccharides, protéines...) ;
- Constituants minéraux et organiques solubles (**KAROUNE, 2008**)

La composition exacte des boues dépend de la source des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration.

Les boues résiduaires représentent avant tout une matière première composée de différents éléments : Matière organique, éléments fertilisants (N et P ...), d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes.

I.3.1. Matière organique

La concentration en matière organique peut varier de 30 à 80 %. La matière organique des boues est constituée de matières particulaires éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, stabilisation).

I.3.2. Eléments fertilisants

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, phosphore, magnésium, calcium et en soufre ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception de celle en potassium. Les éléments en traces tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux (**AMIR, 2005**).

I.3.3. Contaminants chimiques inorganiques et organiques

Ces mêmes éléments traces métalliques (cuivre, le zinc, le chrome et le nickel) indispensables au développement des végétaux et des animaux peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses. D'autres, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels. Aussi, dans les boues, une multitude de polluants organiques (HAP, Phtalates, PCB, etc) peut se trouver en concentrations en général de l'ordre de $\mu\text{g}/\text{kg MS}$. La nature et la concentration des eaux usées en polluants organiques et inorganiques sont très dépendantes des activités raccordées au réseau. L'essentiel des contaminations chimiques vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques (utilisation de solvants, déchets de

Chapitre 1: Revue bibliographique

bricolage...). Du fait de la décantation lors du traitement, ces contaminants chimiques se retrouvent dans les boues à de très grandes concentrations par rapport aux eaux usées.

I.3.4. Les micro-organismes pathogènes

Les boues contiennent des milliards de microorganismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration. Une grande partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes, etc.) et provient en majorité des excréments humains ou animaux. La concentration d'une eau usée en germes pathogènes dépend du secteur d'activité d'origine : les eaux provenant d'abattoirs ou de toute industrie traitant de produits d'animaux sont très largement contaminées. Ainsi, par mesure de précaution, et afin d'éviter de propager la maladie de la vache folle, il est interdit d'utiliser les boues d'épuration provenant des eaux usées des abattoirs ou des équarrissages pour fabriquer de la fumure ou du compost (arrêté n°2210 du 30 avril 2004 : Abattoirs). D'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture (AMIR, 2005)

I.4. Traitement des boues résiduaires

I.4.1. Description

Les traitements biologiques ou physico-chimiques utilisés pour l'épuration des eaux résiduaires génèrent une production importante de boues diluées (> 99% d'eau) et contenant de la matière organique fermentescible. Les principaux objectifs de la filière de traitement des boues seront donc (**tableau 3**) :

- 1- Des traitements d'épaississement et \ou déshydratation et le séchage, des traitements de réduction de la teneur en eau pour améliorer leurs caractéristiques physiques, et deconcentrer et diminuer le volume des boues à stocker et à épandre.
- 2- Des traitements de stabilisation (réduction de nuisance olfactive) pour réduire la fermentescibilité des boues afin de limiter ou d'éliminer les mauvaises odeurs.
- 3- Des traitements d'hygiénisation qui visent à éliminer la charge des microorganismes Pathogènes (DEROUICHE, 2012)

Chapitre 1: Revue bibliographique

Tableau 3 :Les opérations de traitement des boues et leurs objectifs (DUCHENE,1990)

Opération	But
Stabilisation	Stabiliser et Limiter les évolutions ultérieures s'accompagnant de nuisances.
Concentration	Eliminer une partie de l'eau interstitielle afin d'éviter son transport.
Stockage	Assurer une capacité tampon harmonisant les besoins d'extraction et les possibilités d'évacuation à l'extérieur.
Homogénéisation	Donner au destinataire finale un produit connu et relativement constant.
Conditionnement	Modifier les caractéristiques de la boue afin de faciliter la séparation des phases solides et liquides.
Déshydratation	Augmenter la siccité afin de rendre le produit solide ou pâteux.

I.4.2. Les types de traitements des boues résiduaires

I.4.2.1. Traitement de stabilisation

Le rôle de la stabilisation est de réduire le pouvoir fermentescible de la boue. Elle est réalisée soit par injection de réactifs chimiques (Ex. : chaux vive) qui bloquent les réactions de fermentation, soit le plus souvent par des méthodes biologiques anaérobies ou aérobies (Ex. : Compostage), ou par séchage thermique (BENNALI, 2013). Ces traitements s'appliquent aux boues mixtes fraîches, aux boues secondaires ou à l'ensemble des boues afin de réduire leur fermentescibilité, et limiter voire annuler, les nuisances olfactives (KOLLER, 2004)

I.4.2.2. Réduction de la teneur en eau

Pour réduire les volumes de boues, différents procédés sont mis en œuvre, comprenant par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épaississement, la déshydratation et le séchage (JARDI, 2002). En amont de ces procédés, des traitements dits de conditionnement sont souvent utilisés pour favoriser la séparation liquide-solide. Ils utilisent des flocculants organiques de synthèse (poly électrolytes) ou minéraux (chaux, sels de fer ou d'aluminium).

Chapitre 1: Revue bibliographique

Le conditionnement peut aussi se faire par voie thermique (autoclavage) et consiste en une cuisson des boues à 180 - 220 °C pendant une demi-heure à deux heures pour casser les liaisons colloïdales propres à la rétention d'eau. Ce procédé est toutefois rarement utilisé en raison des difficultés d'emploi et d'un coût prohibitif (KAROUNE, 2008).

- **L'épaississement** : il vise à augmenter la cécité des boues (teneur en matière sèche) sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue. Cet épaississement peut se faire simplement par voie gravitaire dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques. (LÉONARD, 2002)
- **La déshydratation** : elle consiste à augmenter la siccité (30 à 40 % de matière sèche), et modifier l'état physique des boues. Celles-ci passent de l'état liquide à l'état pâteux ou solide. Généralement, une boue est jugée apte à être déshydratée lorsque sa concentration est au minimum de 15g/L. Les techniques de déshydratation sont soit mécaniques (décantation, filtration) ou naturelles (séchage).

I.4.2.3. Les traitements d'hygiénisation

L'hygiénisation est un "traitement qui réduit à un niveau non détectable les agents pathogènes présents dans les boues". Elle ne s'impose que dans certains contextes d'utilisation agronomique ; la plupart des boues épandues ne sont pas hygiénisées. La maîtrise du risque sanitaire reposant de façon satisfaisante sur l'application de règles de bonnes pratiques (DEROUICHE, 2012)

I.5. Les types de boues résiduaires

Il existe un grand nombre de types de boues selon des combinaisons de plusieurs critères (DEROUICHE, 2012) :

- La nature de l'effluent (urbain, laiterie, abattoir, papeterie...),
- le type du traitement des eaux (primaire, physico-chimique, biologique),
- Le procédé de stabilisation (aérobie, anaérobie, chaulage, compostage),
- L'état physique des boues (liquide, pâteuse, solide...),
- Le type de matériel de déshydratation (filtre-presse, centrifugation, table d'égouttage...).

I. 5.1. Selon l'état physique

- **Les boues liquides** (siccité variant de 1 à 10 %) : Elles sont très fréquentes sur les stations de très faible capacité et en zone rurale.

Chapitre 1: Revue bibliographique

- **Les boues pâteuses** (siccité variant de 10 à 30 %) : Actuellement majoritaires, elles proviennent des moyennes stations et correspondent à la siccité minimale demandée.
- **Les boues solides** : boues avec adjonction de chaux, appelées aussi boues chaulées, (siccité supérieure à 30 %). Elles proviennent des stations de moyenne ou grande taille et représentent plus de 30 % des tonnages de boues évacuées.
- **Les boues séchées** : (siccité supérieure à 60 - 90 %) (CANLER et PERRET, 2013)

I.5.2. Selon l'origine

Selon les différentes phases de traitement des eaux usées, on obtient des boues à caractéristiques différentes :

- **Les boues primaires** qui se forment par le dépôt des matières décantables contenues dans les eaux usées non traitées ; les boues fraîches sont conduites par une trémie à boues d'où elles peuvent être retirées avec une teneur en eau d'environ 90-95% (KOLLER, 2004)
- **Les boues physico-chimiques** résultantes d'un traitement physico-chimique, variante du type précédent, les matières organiques particulières ou colloïdales contenues dans les eaux usées sont agglomérées par addition d'un réactif coagulant (sels de fer ou d'aluminium) ; 90 % de MES peuvent ainsi être captées. Séparées par décantation, les boues obtenues renferment une partie importante de sels minéraux issus des eaux brutes et de l'agent coagulant (AZABI, 2012)
- **Boues biologiques**, encore appelées boues secondaires sont les boues issues du traitement biologique que ce soit en culture libre (boues activées) ou en culture fixée (lits bactériens, disques biologiques, etc.). Elles sont donc constituées essentiellement de corps bactériens et de leurs sécrétions. Très organiques, elles présentent, à la sortie du système d'épuration des eaux, des concentrations médiocres (autour de 10 g/l, soit une siccité de 1%).

Parallèlement, on distingue :

- **Boues mixtes : (boues primaires + boues biologiques)** qui sont issues de la quasi-totalité des filières de traitement complètes.
- **Boues d'aération prolongée** qui existent au niveau des STEP sans décantation primaire. Elles sont moins organiques et donc produisent moins de nuisances ultérieures (MAZOUNI et RAMDANI, 2017).

I.6. Destination finale des boues résiduaires

L'évacuation des boues d'épuration apparaît comme la phase la plus délicate de l'épuration des eaux usées. Il s'agit de se débarrasser de ces résidus par des procédés provoquant le minimum de nuisances tout en limitant les frais de l'opération (BENNALI, 2013). Pour la destination finale de boues déshydratées, on pourra (en fonction des propriétés économiques) envisager soit l'incinération, la valorisation énergétique ou la valorisation agricole (Figure 2).

I.6.1. L'incinération

Elle réalise la destruction de la matière organique des déchets par combustion à haute température (+ de 500 °C) produisant des fumées et des matières minérales résiduelles nommées cendres. Dans l'objectif d'une valorisation énergétique des déchets, la chaleur produite est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même ou pour le chauffage urbain ou industriel. Les résidus de l'incinération (Mâchefers) sont utilisables pour les travaux publics. Les boues seules ne sont pas auto combustibles, elles nécessitent des fours spéciaux et un mélange avec d'autres déchets ménagers.

L'élimination des cendres et des mâchefers exige une décharge contrôlée de classe 1 ou une unité d'inertie. Cette technique reste aussi néfaste de point de vue écologique et environnemental puisqu'elle contribue en plus du gaspillage de matières organiques utiles pour le sol à la diffusion de gaz très toxiques (NO, CO, SO, dioxine, etc.) qui ont fait l'objet de réglementation spécifique.

I.6.2. 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 ou pyrolyse) des boues participe de manière évidente à la protection de l'environnement.

Chapitre 1: Revue bibliographique

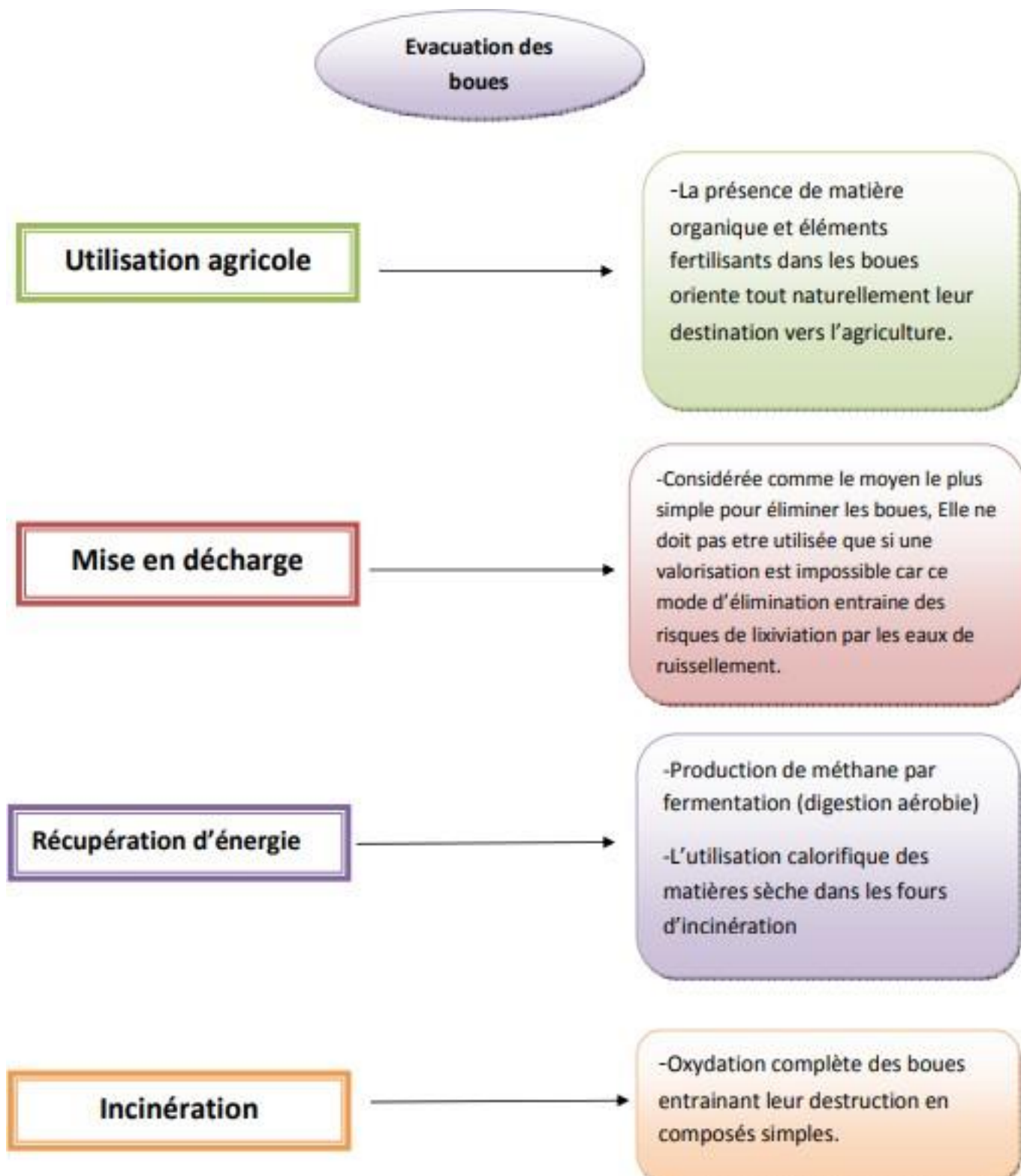


Figure 2 : Evacuation des boues résiduelles de STEP (BENNALI, 2013)

I.6.3. Valorisation agricole

La valorisation agricole des boues résiduares 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 résiduares peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux (MAZOUNI et RAMDANI, 2017). Cependant, deux contraintes principales peuvent limiter l'utilisation directe des boues résiduares comme amendements pour le sol soit ; les éléments traces métalliques et les microorganismes pathogènes. De plus, d'autres micropolluants peuvent se trouver dans ces boues tels que ; des résidus de pesticides, PCB, HAP, nanoparticules, etc. A cet effet, des prétraitements de boues avant épandage s'imposent comme par exemple le compostage et/ou vermicompostage qui prennent une considération particulière ces dernières décennies (BOUALLEGUE, 2010).

- **Le compostage** : Le compostage est un processus de décomposition et de transformation « contrôlées » de déchets organiques sous l'action de populations microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie (Sharma et al., 1997). L'utilisation du compost permet une amélioration de la qualité physique et chimique du sol et a des effets bénéfiques sur la faune du sol (Subler et al., 1998; Carpenter Boggs et al., 2000)

- **Le vermicompostage** : Le terme vermicompostage (lombricompostage) se réfère à l'utilisation de vers de terre pour composter les résidus organiques. Les vers de terre peuvent consommer pratiquement tous les types de matières organiques et peuvent absorber l'équivalent de leur propre poids par jour. Les excréments (turriculés) des vers de terre sont riches en nitrate, et en formes disponibles de P, K, Ca, Mg.

I.7. Présentation de la STEP de BARAKI :

La station est située dans la wilaya d'Alger, à Baraki à environ 18 km au sud-est d'Alger et à 35 km au nord-est de Blida, et s'étend sur une superficie de 10 km² (**Figure 3**). Elle est dimensionnée pour recevoir une quantité d'eau usée estimée à 150 000 m³/j pour une capacité nominale de 900 000 équivalents habitant (EH). Le bassin de traitement reçoit les eaux domestiques évacuées de la station de pompage d'El-Harrach (70%), et 30% qui arrivent gravitairement dans un collecteur de Baba Ali. Une fois l'eau épurée, elle est acheminée directement pour être versée dans l'oued. La chaîne de traitement est composée de deux lignes : une ligne d'eau (prétraitement mécanique, traitement biologique) et une ligne de boue (épaisseurs, digesteurs, conditionnement).

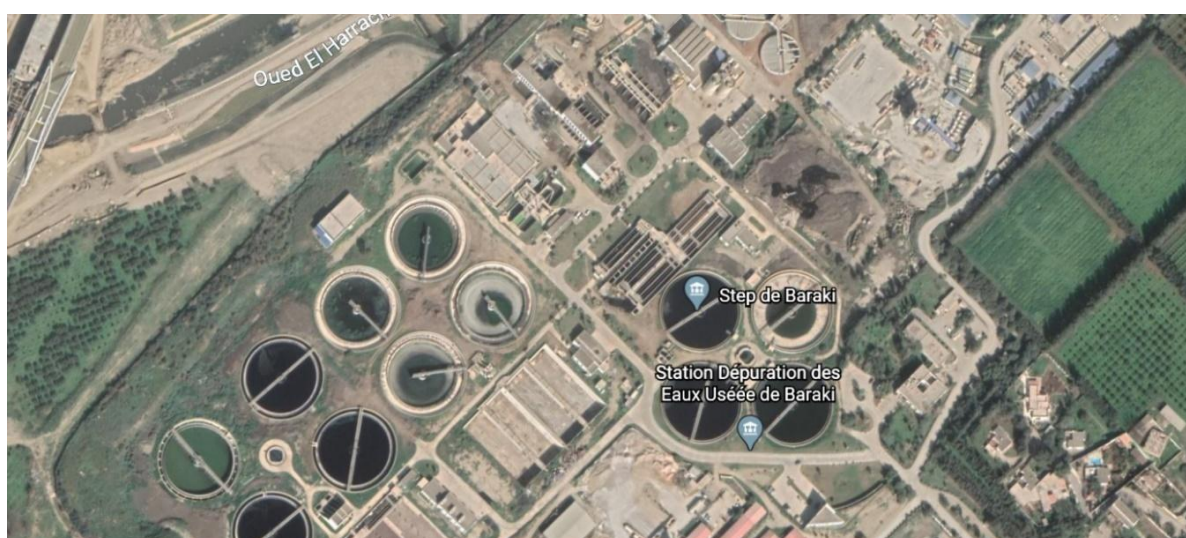


Figure 3 : La STEP de Baraki (Source Google Earth)

I.7.1. Description du procédé de fonctionnement de la station

La chaîne de traitement est composée de deux lignes : une **ligne eau** et une **ligne de boue**.

I.7.1. 1. Postes de relevage (PR1 et PR2) : L'alimentation de la station est assurée par trois collecteurs du réseau d'assainissement aboutissant en entrée de station (Figure 4):

- Les collecteurs Rive Gauche et Harrach Industriel, au poste de relèvement n° 1 au Nord de la station.
- Le collecteur Baba Ali qui arrive au Sud de la station et la traverse pour aboutir au poste de relèvement n° 2.

Chapitre 1: Revue bibliographique



A : PR1 (photo originale)

B : PR2 (photo originale)

Figure 4 : PR1 et PR2 (photo originale)

I.7.1. 2. Le prétraitement : il a pour objectifs d'éliminer les corps étrangers et une partie des matières en suspension (MES) dans l'eau brute, avant le traitement biologique et la filtration tertiaires. Il se divise en :

- **Dégrillage** : Automatique vertical en deux files parallèles équipées chacune d'une grille grossière et d'une grille fine. Evacuation automatique des refus de dégrillage par convoyeur dans une benne (Figure 5).



Figure 5 : Dégrilleur (photo originale)

- **Dessableur-Dégraisseur :** Un canal de sortie amena les eaux dégrillées vers le Dessableur. Ces deux phases sont ainsi combinées et réalisées dans un même ouvrage. Le dessableur permet d'extraire de l'eau les graviers, sables et particules minérales non traitables (figure 6).



Figure 6 : Bassin dessablage/ déshuilage (photo originale)

- **Décantation primaire :** c'est l'élimination des matières en suspension. Elle est assurée dans deux décanteurs circulaires avec racleurs de fond et de surface à entraînement périphérique. Un second ouvrage de by-pass des effluents est localisé en aval des décanteurs primaires (Figure 7).

Chapitre 1: Revue bibliographique



Figure 7 : décanteur primaire (photo originale)

I.7.1.3. Le traitement biologique : La chaîne de traitement est composée d'un bassin d'aération, d'un clarificateur et d'une boucle de recyclage des boues.

I.7.1.3. 1. Bassin d'aération : Le réacteur biologique ou bassin d'aération constitue le cœur du procédé, dans lequel s'effectue le métabolisme bactérien à l'origine du phénomène aboutissant à l'épuration (Figure 8).



Figure 8 : Bassin d'aération (photo originale)

Chapitre 1: Revue bibliographique

I.7.1.3.2. Clarificateur : La liqueur mélangée s'écoule dans l'un des quatre bassins de décantation secondaire disposés parallèlement les uns aux autres, où les boues activées tombent au fond du bassin et sont enlevées. Le rôle de la décantation secondaire est d'assurer une meilleure biomasse de l'eau traitée et de permettre par ailleurs un premier épaissement des boues biologiques décantées (Figure 9).



Figure 9 : Clarificateur (photo originale)

I.7.2. Filière de traitement des boues

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

I.7.2. 1. Recirculation et extraction des boues

La recirculation des boues est assurée par deux vis d'Archimède, dont une en secours. Le but de la circulation des boues du décanteur secondaire vers le réacteur biologique est d'y maintenir une concentration constante.

I.7.2.2. Epaissement: Il Consiste à réduire le volume de boues et l'augmentation de leur concentration par gravité (Figure 10).



Figure 10: Epaisseur (photo originale)

I723. Déshydratation

Elle s'opère sur des boues épaissies et conditionnées par des polymères et emploie un procédé de centrifugation. Ensuite ils sont déversés sur un tapis roulant perméable qui assure l'élimination de l'eau de ces boues au fur et à mesure de leur passage sur le tapis, obtenant à la fin une boue beaucoup plus sèche.

Chapitre 2

MATERIELS ET METHODES

II.1. Analyses physico-chimiques des boues résiduaires

La composition des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et de type de traitement pratiqué dans la station d'épuration (KAROUNE, 2008). En général, trois sortes d'éléments sont présents (ou susceptibles de l'être) dans les boues résiduaires (KAROUNE, 2008) :

- Des matières organiques,
- Des éléments fertilisants,
- Des composés indésirables

II.1.1 Procédure d'échantillonnage

Dans un premier temps, et pour évaluer les caractéristiques des boues, ils ont effectués des prélèvements d'une façon aléatoire à partir de l'aire de stockage.

Pour cela, il faut suivi le mode opératoire suivant :

- Pour obtenir un échantillon représentatif ils ont prélevés une quantité de boues à partir de différents endroits, de l'aire de stockage.
- Mélanger l'ensemble des boues prélevées.
- Déposer l'échantillon dans une coupelle.
- Passer ensuite au laboratoire, afin de réaliser les différentes analyses.

II.1.2 Paramètres physiques

II.1.2.1 Température

Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier O₂) dans l'eau ainsi que, la détermination du pH et la vitesse des réactions chimiques. La température agit aussi comme facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau (Alain, Laurence, 2001).

La mesure de la température est effectuée par l'utilisation d'une sonde thermométrique qui est trempée soigneusement dans la prise d'essai. La lecture est faite après stabilisation du thermomètre.

II.1.2.2. Matières en suspension :

Les matières en suspension (MES) sont en majeure partie, de nature biodégradable (FAO, 2003). Elles se subdivisent en 2 groupes :

Chapitre 2: Matériels et méthodes

✓ **La teneur en matière sèche** : il s'agit de mesurer le poids de résidus sec après chauffage à (105 °C) jusqu'au poids constant, on l'exprime généralement en pourcentage, celui-ci varie de 3 à 8% de matière sèche (**Jaroz, 1985**).

✓ **La teneur en matière volatiles**: On mesure cette teneur par la différence entre le poids de boue sèches (105 °C) et celui de cette même boue après chauffage jusqu'au poids constant à 550 °C, cette teneur varie de 60 à 85% des matières sèches (**JAMONET, 1987**).

Le protocole d'analyse :

- Le résidu sec obtenu lors de la mesure de la matière sèche est porté pendant 2 heures dans un four à moufle à 550 C°.
- Calculer par la suite la teneur en matières volatiles rapportées à la matière sèche, à partir de la masse initiale et la masse finale.
- On obtient alors :

$$\text{MVS (\%)} = \frac{M_2 - M_f}{M_2} \times 100$$

Avec :

M_2 : la masse de la coupe et du gâteau sec (après séchage à 105C°). M_f : la masse de la coupe du gâteau sec (après séchage à 550C°).

II.1.3 Paramètres chimiques

Les boues d'épuration contiennent des quantités importantes d'azote et de phosphore, ainsi que de potassium et de matière organique.

Afin de faciliter les opérations des analyses chimiques, l'échantillon de boue doit être préalablement sécher, broyer (dans un mortier) et tamiser afin d'éliminer les éléments grossiers.

➤ Préparation de l'échantillon :

- Séchage

Étaler toute la matière sur un plateau ne pouvant provoquer aucune contamination, en une couche dont l'épaisseur ne doit pas être supérieure à 5 cm, et la sécher dans une étuve à 105°C pendant 24 heures.

- Broyage et tamisage

-On prépare la poudre de boue en broyant l'échantillon dans un mortier, pour le tamiser ensuite afin d'éliminer les éléments grossiers. Cette poudre sera utilisée pour les différentes analyses chimiques

- Détermination de l'Azote total, du Phosphore, du potassium et du carbone organique.

II.1.3.1.Potentiel d'hydrogène

Le pH mesure la concentration des ions H^+ dans l'eau. La valeur du pH de l'eau représente son acidité et son alcalinité (LOUAGUENOUNI, 2017)

• Protocole d'analyse

a) Préparation de l'échantillon

- Peser 10g de boues dans une capsule tarée.
- Ajouter ensuite 100 ml de l'eau distillée.
- Homogénéiser la solution avec une agitation légère à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 30 minutes.

b) Réalisation de la mesure du pH

- Rincez l'électrode du pH-mètre avec de l'eau distillée puis l'essuyer avec du papier absorbant.

Chapitre 2: Matériels et méthodes

- Versez la solution à tester dans un bécher : remplissez environ la moitié du récipient.
- Trempez l'électrode du pH-mètre dans la solution.
- Après stabilisation de l'afficheur, relevez le pH.

II.1.3.2. 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 nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...).(Hamadech, 2006).

Le protocole d'analyse

-Dans un bécher, 50 ml d'eau distillée sont ajoutés à 10 g de boue sédiments secs broyés et tamisés à 2 mm (rapport 1/5).

-Après agitation pendant 1 heure à l'aide d'un agitateur réglé à la vitesse 6, et après un temps de repos d'environ 30 minutes, l'échantillon est centrifugé par la suite pendant 2 minutes à 2000 tours / minute.

-La mesure de la conductivité électrique s'effectue sur le surnageant obtenu après centrifugation à l'aide d'un conductimètre modèle (HI 2314 conductivités mètre HANNA instruments).

-Les lectures sont exprimées en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (BELMILOUD et SAIDI, 2015).

II.1.3.3.Demande biologique en oxygène

La demande biochimique en oxygène (DBO_5), exprimée en mgO_2/l , permet l'évaluation des matières organiques biodégradables dans les eaux à 20 °C et à l'obscurité, pendant 5 jours pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau usée (Rejesk, 2002).

II.1.3.4.La demande chimique en oxygène :

La demande chimique en oxygène traduit la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques contenues dans l'effluent (Gaid, 1984). La détermination de la DCO s'effectue par dosage colorimétrique avec le bichromate de potassium.

II.1.3.5.Dosage du carbone organique et de la matière organique

La méthode utilisée est celle de ANNE (1945), c'est la méthode par vois humide basée sur l'oxydation de la matière organique en gaz carbonique (CO_2) par le bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) en milieu sulfurique (H_2SO_4).

Chapitre 2: Matériels et méthodes

L'excès de bichromate de potassium est tiré par une solution de sel Mohr, en présence d'indicateur coloré la diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert.

- **Protocole d'analyse :**

- Placer une prise d'essai de 0.25g à 1g dans un ballon en verre pyrex de 150 ou 250ml, à col rodé adaptable sur une colonne réfrigérante.
- Ajouter 10ml de solution aqueuse de bichromate de potassium à 8% et 15ml de H₂SO₄ concentré pur.
- Porter le ballon sur une chauffe ballon électrique, le raccorder au réfrigérant ascendant.
- Obtenir une ébullition modérée. Poursuivre l'ébullition durant 5mn après la chute de la première goutte de condensation.
- Laisser refroidir lentement.
- Transvaser le contenu du ballon dans une fiole jaugée de 100ml.
- Ajuster à 100ml avec de l'eau de rinçage du ballon et laisser reposer pendant 30mn
- Prélever à l'aide d'une pipette, 20ml du contenu de la fiole, et les verser dans un bêcher en verre ordinaire de 400ml. Ajuster à 200ml avec de l'eau distillée.
- Ajouter dans le bêcher:
 - 1.5g de Na F
 - 3 à 4 gouttes de diphénylamine.
- Placer le bêcher sur un agitateur magnétique surmonté d'une burette graduée au 1/20 de ml.
- Agiter et doser l'excès de bichromate à l'aide d'une solution de Mohr à 0.2N. Au cours du titrage de solution passe successivement par les couleurs suivantes : brune noirâtre, violette puis verte.
- Soit (X) le nombre de ml de solution de Mohr versée.
- Pour chaque série d'analyses, procéder à un témoin soit (Y) le nombre de ml de solution de Mohr versée (AUBERT, 1978).

II.1.3.6. Les éléments fertilisants :

Les éléments fertilisants majeurs (N, P, K, Mg) présents dans la boue confèrent à cette dernière une valeur agronomique qui fait qu'elle peut être utilisée comme amendement du sol. (AMIR, 2005).

Chapitre 2: Matériels et méthodes

La disponibilité du phosphore, de l'azote, et du taux de matière organique des boues est conditionnée par le procédé de traitement utilisé dans la station (**DEROUICHE, 2011**).

II.1.3.6.1. L'azote

La nature et la teneur de l'azote varient beaucoup avec le type de boues (origine et mode de traitement) (**Duchene, 1990**). Cet azote est en partie sous la forme organique et en partie sous forme ammoniacale. Le dosage de l'azote total a été effectué selon la méthode de (KJELDAHL), l'azote transformé en ammoniac est fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammonium qui est déplacé par l'eau distillée et titré à l'acide borique et l'acide sulfurique (**AUBERT, 1978**).

Mode opératoire

Ils minéralisent les matières organiques contenues dans la boue en présence d'acide sulfurique et d'un catalyseur à base de sélénium :

- Entraînement à la vapeur de l'ammoniac libéré.
- Dosage par titrimétrie directe ou en retour par H₂SO₄.
- Prise d'essai de 50 ml d'échantillon (0.2 à 20 mg d'azote).

Pour cela, il faut suivi le mode opératoire suivant :

➤ Minéralisation

- Prise d'essai dans un ballon Kjeldahl (500 ml) muni d'un dispositif régulateur d'ébullition.
- Ajouter 1 g de catalyseur (mélange de 995 g de potassium K₂SO₄ et de 5 g de sélénium en poudre).
- Ajouter 10 ml d'acide sulfurique concentré.
- Placer un entonnoir.
- Porter lentement à ébullition et évaporer jusqu'à apparition de fumées blanches, forcer ensuite le chauffage pendant au moins 2 heures.
- Laisser refroidir à température ambiante.

Si la minéralisation est incomplète, diminuer la prise d'essai ou effectuer une dilution préalable.

➤ Distillation

- Transvaser si nécessaire dans l'appareil de distillation le contenu du ballon et les eaux de rinçage (200 à 250ml).
- Introduire 50 ml de NaOH (solution à 400 g/l).

Chapitre 2: Matériels et méthodes

➤ Dosage

- Transvaser 200 ml de distillat dans un récipient contenant 10 ml de solution d'acide borique (solution à 10 g/l) et 3 à 4 gouttes d'indicateurs (100 mg de rouge de méthyle et 500 mg de vert de bromocrésol dissous dans 500 ml d'éthanol à 95 %).
- Titrer en utilisant la solution titrée d'acide sulfurique.
- $C \left(\frac{1}{2} H_2SO_4 \right) = 0.1 \text{ mol/l}$ si la prise d'essai contient entre 2 et 20 mg de N.
- $C \left(\frac{1}{2} H_2SO_4 \right) = 0,02 \text{ mol/l}$ si la prise d'essai contient entre 0,2 et 2 mg de N.

Noter le volume V1 nécessaire.

➤ Résultats

$$N \text{ mg/l} = \frac{v_1 - v_0 \cdot c \times 1000 \times 14}{p}$$

En mg de N/kg de boue brute et

mg/ g de MS Avec

V1 : volume de H₂SO₄ utilisé pour le dosage (ml).

V2 : volume de H₂SO₄ utilisé pour l'essai à blanc (ml).

C : concentration en mol/l de H₂SO₄ de la solution titrée d'acide sulfurique utilisé pour le dosage.

N : en mg par litre de boue.

P : poids de la boue brute en g (**LASSEE, 1985**).

II.1.3.6.2. Phosphore :

Le dosage de cet élément est fait par colorimétrie après minéralisation à chaud et en milieu acide, il représente l'ensemble du phosphore organique et inorganique. (**HACH, 1978**).

Mode opératoire

- Peser 0.5g de boue, l'introduire dans un flacon puis ajouter 500ml d'eau distillée.
- Brasser énergiquement la boue de manière à obtenir une suspension, soit avec un

Chapitre 2: Matériels et méthodes

agitateur en verre, soit avec un agitateur magnétique durant quelques minutes.

- Filtrer la suspension.
- Prélever 25ml du filtrat que l'on versera dans un bêcher de 100ml.
- Ajouter dans ce dernier une gélule de persulfate de potassium et 2ml d'acide Sulfurique.
- Laisser chauffer pendant une demi-heure.
- Laisser refroidir lentement.
- Transvaser le contenu du bêcher dans un flacon colorimétrique (25ml de la solution)
- Ajouter dans un flacon 2ml d'hydroxyde de sodium à 0.5N puis bien mélanger.
- Introduire l'échelle graduée (phosphore) dans le galvanomètre et régler la longueur d'onde.
- Placer l'échantillon préparé dans la cellule de mesure.
- Lire la concentration de phosphate en mg /l.

II.1.3.6.3. Potassium

Le potassium a été dosé par spectrométrie d'absorption atomique.

Cette méthode d'analyse élémentaire impose que la mesure soit faite à partir d'un analyte transformé à l'état d'atomes libres. L'échantillon est porté à une température de 2000 à 3000 degrés pour que les combinaisons chimiques dans lesquelles les éléments engagés soient détruites. Elle nécessite d'utiliser pour chaque élément à doser une source caractéristique, technique d'analyse destructrice, domaine d'application limité presque exclusivement aux métaux (Cu, Zn, Pb, Cr, Fe, Cd, etc....), et nécessite d'avoir des concentrations assez faibles (**Elhadji, 2020**).

Le dosage du potassium au spectrophotomètre à flamme nécessite d'étalonner l'appareil de mesure. La gamme d'étalonnage est préparée de la façon suivante :

- Solution mère 1000ppm : introduire 1.907g de KCl dans une fiole jaugée de 1000 ml, bien agiter et compléter au volume.
- Solution fille à 100 ppm : prendre 100 ml de la solution mère, les introduire dans une fiole de 100 ml, compléter au volume.
- Solution d'étalonnage : prendre des fioles de 100 ml et introduire les volumes suivants :

Chapitre 2: Matériels et méthodes

Tableau 4 : Volumes à introduire pour la préparation des solution d'étalonnage

Solution N	Nombre de ml à prendre de la solution fille à 100 ppm	Concentrations obtenues en ppm
1	0.5	0.5
2	1	1
3	2	2
4	4	4
5	8	8
6	12	12

(LASSEE 1985)

-Compléter au trait de jauge avec la solution d'acétate d'ammonium ou avec de l'eau distillée.

-Passer la gamme d'étalonnage au spectrophotomètre et noter la lecture obtenue pour chaque concentration.

-Passer ensuite la solution de l'échantillon déjà préparer par minéralisation avec HCL-NO₃ au spectrophotomètre.

-Etablir la courbe d'étalonnage, et calculer les résultats avec :

$$K \text{ (ppm)} = X \cdot \frac{V \times I}{P}$$

X : lecture de potassium

V : volume d'extraction ml.

I : inverse de dilution.

P : prise d'essai (poids des boues en g)

II.1.3.6.4. Dosage des métaux lourds

Quel que soit la destination finale des boues, la connaissance des teneurs en éléments-traces Métalliques est primordiale, surtout en cas de la valorisation agricole. Divers éléments traces (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn...) ont été analysés par absorption atomique (AIT AYANE et SOUFIA, 2009).

Dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique après séchage, mise en solution acide et minéralisation, sauf pour le fer et Cr, qui ont été dosés par colorimétrie (HACH, 1978).

Mode d'emploi

- Mesurer 25ml du filtrat de la suspension déjà préparée pour le dosage du phosphore. Verser cet échantillon dans un flacon colorimétrique propre.
- Ajouter le contenu d'une gélule (Ferrover) et agiter pour mélanger. Laisser reposer pendant 02 minute, une coloration orange se développer en présence de fer.
- Placer le flacon colorimétrique contenant l'échantillon brut dans la cellule de mesure.
- Introduire l'échelle graduée (fer) dans le galvanomètre et régler la longueur d'onde à 510nm.
- Placer l'échantillon préparé dans la cellule de mesure.
- Lire la concentration de fer en mg /l.

II.2. Analyses bactériologiques des boues résiduaires

II.2.1. Echantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modification des caractéristiques de l'échantillon (RODIER *et al.*, 2009).

Les prélèvements sont réalisés à une période définie où les conditions climatiques sont optimales (représentativité des communautés microbiennes). Ces conditions correspondent à un prélèvement dans un temps où les boues ne sont ni trop sèches ni trop humides : en période de pluie, attendre 2-4 jours que la boue ressuie un peu (in VIOLLET, 2015).

Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière (RODIER *et al.*, 2009), un matériel propre, lavé à l'eau et stérilisé au préalable, pour éviter la contamination. Les divers prélèvements sont réalisés de préférence à l'aide d'une tarière, en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre, introduire la tarière dans la boue afin d'obtenir une "carotte" complète.

Entre chaque prélèvement, enlever au maximum la boue restante sur la tarière afin d'éviter la contamination avec le prélèvement suivant. Laver le matériel dès lors que l'on change de site de prélèvement.

Mettre la totalité de la "carotte" dans des boîtes en plastique correspondantes à usage unique (in VIOLLET, 2015).

Pour faciliter le travail de l'analyse et l'exploitation des résultats tout en évitant les erreurs, il convient d'étiqueter ou de numéroter les prélèvements. Chaque boîte doit être accompagnée d'une fiche signalétique permettant de rassembler les renseignements utiles au laboratoire (RODIER *et al.*, 2009).

Dès leur prélèvement, les échantillons doivent être en général maintenus entre +1 et +4 °C dans une glacière et analysés dans les 24 heures (DELARRAS, 2000).

Le prélèvement subira obligatoirement un certain temps de transport et une éventuelle attente au laboratoire avant la mise en route analytique. Ces temps devront être réduits au minimum (RODIER *et al.*, 2009).

II.2.2. Méthodes analytiques utilisées

La recherche et le dénombrement des bactéries dans un échantillon à analyser ou à contrôler

Chapitre 2: Matériels et méthodes

met en œuvre tout d'abord la technique générale des dilutions. Elle permet de préparer les dilutions décimales de la suspension mère d'échantillon (DELARRAS, 2014).

Suspension, solution ou émulsion obtenue après qu'une quantité pesée (10 g) de boue à analyser (l'échantillon) ait été mélangée pendant 20 min, si nécessaire en utilisant un homogénéisateur et en observant des précautions appropriées, avec 100 ml de diluant (eau distillée stérile : EDS) en laissant les grosses particules se déposer, si elles existent (J.O.R.A, 016).

Après nous effectuons une série de dilutions décimales par le transfert de 1 ml de la dilution à 1/10 dans 9 ml d'EDS jusqu'à 1/1000 (10^{-3}).

Nous évitons tout contact entre la pipette contenant l'inoculum et le diluant stérile. Bien homogénéiser chaque dilution pendant 5 à 10 secondes en utilisant de préférence un agitateur mécanique ; Nous changeons de pipettes entre chaque dilution (DELARRAS, 2014).

La recherche et le dénombrement des bactéries indicatrices d'une contamination fécale comprennent deux méthodes classiques ; l'une par filtration sur membrane et l'autre, par ensemencement.

II.2.2.1.Méthode de filtration sur membrane

Elle se fait à l'aide d'une rampe de filtration liée à une pompe selon les étapes suivantes :

- Préparer une zone stérile (à l'aide de bec bunsen)
- Placer autour du bec bunsen les boîtes des milieux de culture préparée préalablement.
- Stériliser la face supérieure (la plaque poreuse) et les entonnoirs de l'appareil à l'aide du bec bunsen.
- Procéder un refroidissement avec de l'eau distillé stérile.
- Placer la membrane stérile (membrane de 0.45 μm) sur le système de filtration avec une pince flamber et refroidie.
- Agiter le flacon par retournement.
- Verser le volume nécessaire de l'échantillon pour chaque paramètre

II.2.2.2.Ensemencement

Mise en culture en zone stérile.

- Retirer la membrane avec la pince.

Chapitre 2: Matériels et méthodes

-Déposer la membrane sur la gélose.

Les éléments nutritifs de la gélose traversant la membrane, ce qui permet le développement des bactéries en surface.

II.2.3 Recherche des indicateurs de contamination fécale

La recherche et la détermination de la présence ou l'absence des microorganismes dans les prélèvements des boues résiduaire sont été effectuées selon les normes **ISO** suivantes :

II.2.3.1 Recherche des coliformes totaux et fécaux

Les coliformes totaux sont des bacilles à Gram (-), non sporulé, oxydase (-), aérobic et anaérobic facultatifs. Ils se multiplient à 37°C pendant 48h. Ce type de germes peut être recherché et dénombré dans le milieu de culture BCPL (**Tefyeche, 2014**).

Le terme de « coliformes fécaux » ou de « coliformes thermotolérants » correspond à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés que les coliformes totaux après incubation à la température de 44 °C. Ce type de germes peut être recherché et dénombré dans l'eau peptonée exempte d'indole (**Rodier, 2009**).

Afin d'examiner ces 2 types de germes on réalise les 2 tests suivants :

A. Teste présomptif :

A partir de l'eau testée, on porte aseptiquement :

✓ 03 fois 10 ml, dans 03 tubes contenant 9ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham.

✓ 03 fois 01 ml, dans 03 tubes contenant 9 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.

✓ 03 fois 0.1 ml, dans 03 tubes contenant 9 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.

➤ Lecture :

Après 48 Heures d'incubation à 37°C et en absence d'air, les tubes qui présentent à la fois un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune et un dégagement gazeux se considèrent comme positifs. Le dénombrement des coliformes se fait selon les prescriptions

Chapitre 2: Matériels et méthodes

de la table du NPP (Rejsek, 2002).

B. Test confirmatif :

Les tubes de BCPL qui montrent un résultat positif après le test de présomption font l'objet d'un repiquage à l'aide d'un ose bouclé dans des tubes contenant le milieu eau peptonée exempte d'indole l'incubation se fait à 44 °C pendant 24 heures (Rejsek, 2002).

➤ **Lecture :**

Les tubes qui présentent à la fois un anneau rouge en surface (Témoin de la production d'indole par Escherichia Coli), après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs et un dégagement gazeux se considèrent comme positifs (Figure11).

Le dénombrement s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP (Rejsek, 2002).

Chapitre 2: Matériels et méthodes

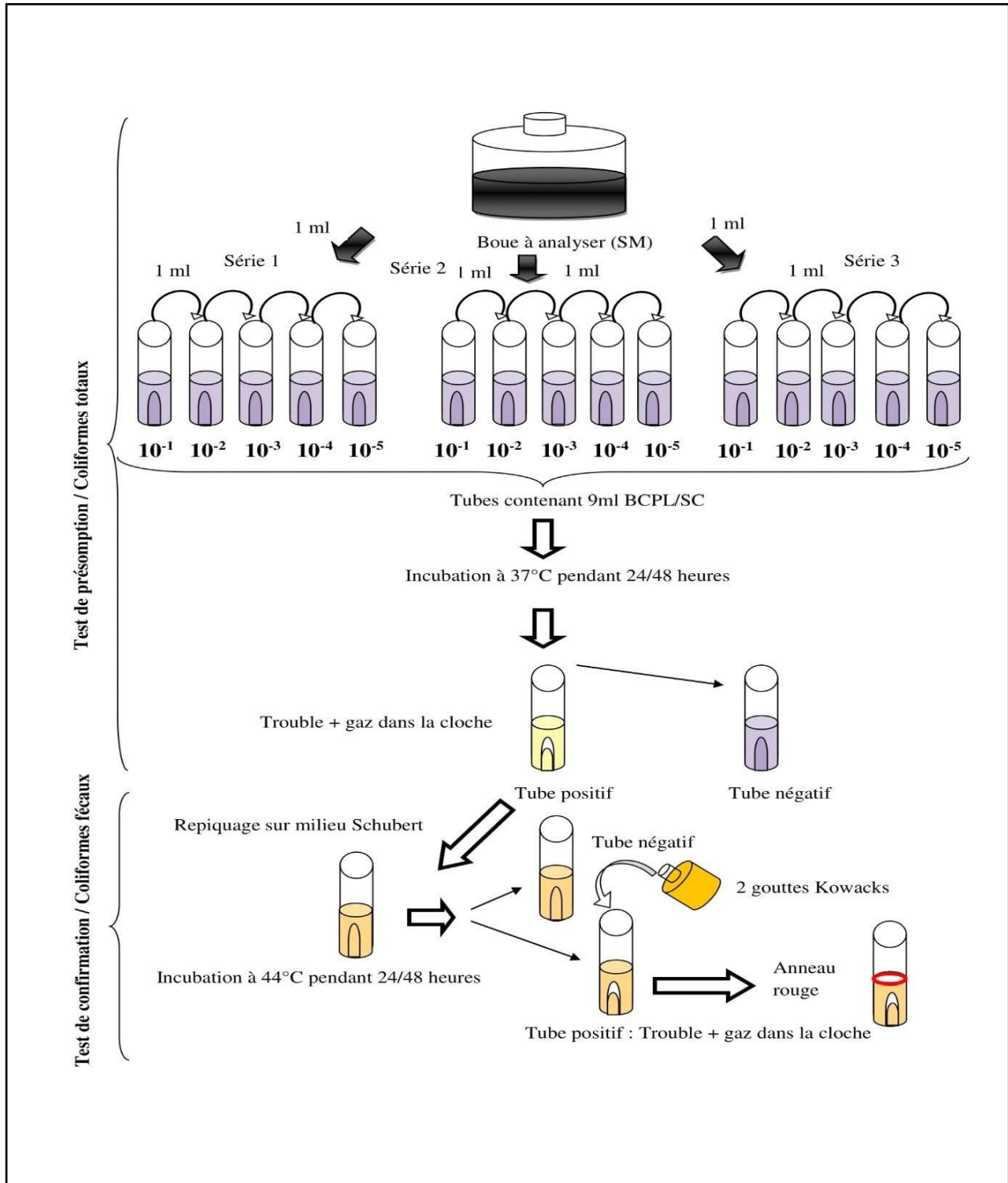


Figure 11: Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux(Maalem et al ;2018).

II.2.3.2. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

Les streptocoques du groupe D (possèdent l'antigène du groupe D) sont des coques à Gram (+), catalase (-), immobile, anaérobie facultatif, et non sporulant formant quand ils sont cultivés en milieu liquide des diplocoques et/ou des chainettes (Gillespi, 2006).

On fait 2 tests successivement : un test présomptif en milieu de Rothe, et un test confirmatif en milieu Eva-Litsky. L'incubation dans les 2 tests se fait en 37°C pendant 24 à 48h (Rodier, 2009).

A. Test présomptif

➤ Mode opératoire :

- ✓ A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement 1 ml dans un tube contenant 9 ml de milieu Rothe S/C pour obtenir la dilution 10^{-1} .
- ✓ Prélevé 1ml de tube précédent 10^{-1} et mettre dans le seconde tube contenant 9 ml de milieu Rothe S/C pour avoir la dilution 10^{-2} .
- ✓ Transférer 1ml de la dilution 10^{-2} dans un tube contenant 9 ml de milieu Rothe S/C, pour obtenir la dilution 10^{-3} .
- ✓ Refaire la technique pour les 2 autres séries.

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures (Rejsek, 2002 ; Délarras, 2008).

➤ Lecture :

Les tubes présentant un trouble microbien seront considérés comme positifs (Fig.24) et la lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP (Rejsek, 2002 ; Délarras, 2008).

B. Test confirmatif:

➤ Mode opératoire :

Le test de confirmation est basé sur la confirmation des streptocoques du groupe (D) éventuellement présents dans le test de présomption.

Les tubes de Rothe trouvés positifs feront donc l'objet d'un repiquage à l'aide d'un ose bouclé dans un tube contenant le milieu Eva-Litsky, bien mélangé le milieu et l'inoculum (Rejsek, 2002). L'incubation se fait cette fois ci à 37°C, pendant 24 heures (Délarras, 2003).

➤ Lecture :

Chapitre 2: Matériels et méthodes

Seront considérés comme positifs les tubes présentant à la fois :

- ✓ Un trouble microbien.
- ✓ Une pastille violette (blanchâtre) au fond de tube (**Figure 12**)
- ✓ La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP (**Lebres, 2006**).

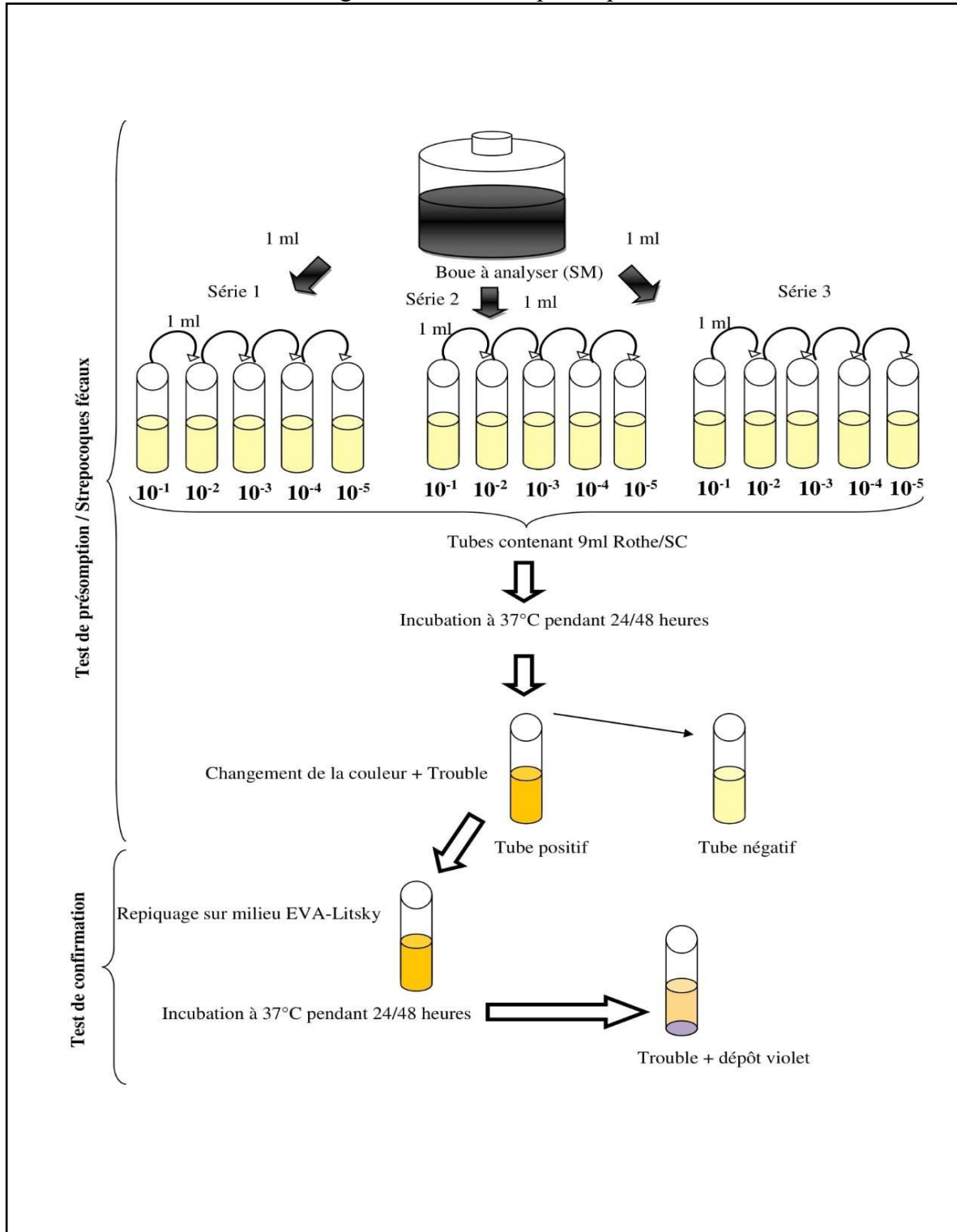


Figure 22: Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux(Maalem et al ;2018).

Chapitre 2: Matériels et méthodes

II.2.3.3 Recherche et dénombrement des spores anaérobies sulfito-réducteurs :

Cette recherche concerne les bactéries anaérobies strictes, parmi ces bactéries figure le genre *Clostridium* (Rejsek, 2002), il s'agit de bacille Gram (+) presque toujours mobile (Pilet et al., 1987) ; elles ont la possibilité de se transformer sous une forme de spores résistantes aux conditions défavorables. (Rejsek, 2002); elles se développent en 24 à 48 heures à une température de $36 \pm 2^\circ\text{C}$ (Lebres et Mouffok, 2008).

Les ASR se développent sur une gélose VF en donnant des colonies typiques de couleur noire en réduisant les sulfites en sulfures, et en présence de Fe^{2+} (ion de fer) donne FeS (Rejsek, 2002).

➤ Mode opératoire :

À partir de la solution mère :

✓ Prendre environ 20 ml dans un flacon stérile puis le soumettre à un chauffage à 80°C pendant 8 à 10 minutes dans le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes.

✓ Refroidir immédiatement le flacon sous l'eau de robinet.

✓ Répartir ensuite le contenu de ce flacon dans 4 tubes stériles, à raison de 5ml par tube.

✓ Ajouter environ 20 ml de gélose VF, fondue et additionnée d'une ampoule d'Alun de fer et d'une ampoule de Sulfite de sodium.

✓ Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant les bulles d'air.

Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes environ, puis incuber à 37°C , pendant 24 à 48 heures (Labres, 2006).

➤ Lecture :

✓ La lecture se fera après 24 heures et après 48 heures.

Dénombrer toute colonie noire d'environ 0,5 mm de diamètre, poussant en masse (**Figure 13**) (Rejsek, 2002).

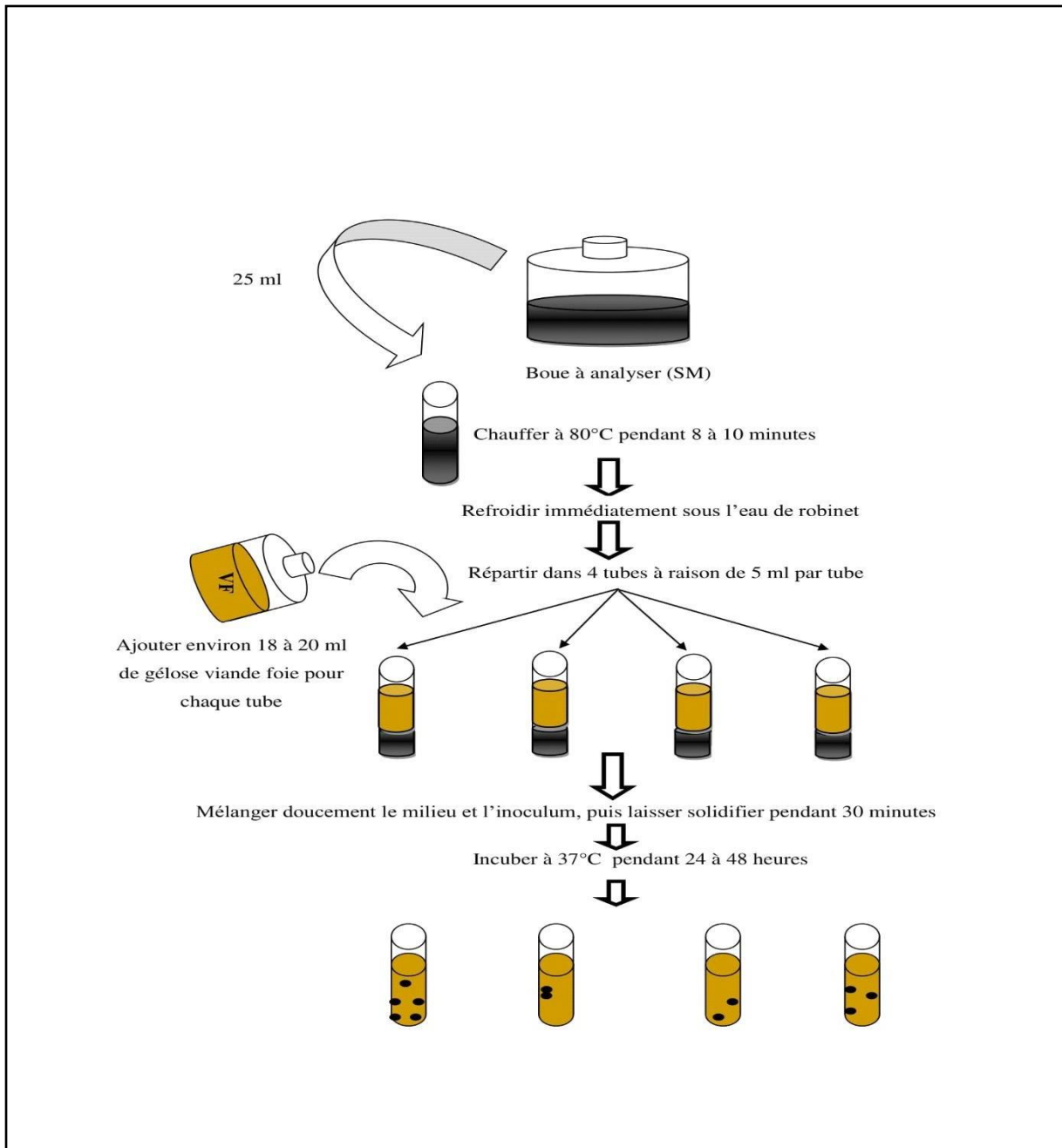


Figure 13: Recherche et dénombrement des ASR (Maalem et al ;2018).

II.2.4. Autres germes pathogènes

Il existe une grande variété de bactéries pathogènes ou potentiellement pathogènes pour l'homme. Celles-ci vivent ou survivent dans l'environnement, soit provenant des rejets humains, éliminées par des sujets malades ou des porteurs sains, soit étant autochtones et pouvant s'adapter à l'homme (RODIER et al., 2009).

Chapitre 2: Matériels et méthodes

Pour rechercher et identifier les bactéries, nous avons utilisé la technique d'ensemencement par râteau sur gélose coulée dans des boites de Pétri. Les milieux utilisés sont : GN, GNAB, Chapman, Hektoen, SS, Mac Conckey (**BOUCHAALA, 2010**).

II.2.4.1 Salmonella

Ce sont des bacilles à Gram (-), non sporulés, le plus souvent mobiles, elles fermentent le Glucose avec ou sans production de gaz et réduisent les nitrates en nitrites, elles sont oxydases (-), catalases (+) et aérobie-anaérobie facultative (**Souna, 2011**).

La recherche de Salmonella à partir des prélèvements de la SM est souvent compliquée par leur faible concentration, il est nécessaire de pratiquer une méthode d'enrichissement. Au début, les bactéries qui nous intéressent sont diluées dans une population beaucoup plus nombreuse et très hétérogène que nous éliminons peu à peu au fil de transferts successifs à l'aide d'un milieu sélectif adéquat. Les cellules les mieux adaptées se multiplient plus vite que les autres et tendent à devenir majoritaires. Un simple étalement sur boîte gélosée et la collecte d'une colonie isolée permettent facilement d'obtenir une souche présumée pure (**PELMONT, 1996**).

Mode opératoire (Figure 14):

- **Premier jour (Enrichissement):** Introduire 1ml de l'échantillon de l'eau à analyser dans 10ml de SFB puis incuber à 37°C (**Navoun, 2005**).
- **Deuxième jour (Isolement et identification) :** Trois géloses sélectives ont été utilisées : les géloses SS, Hektoen et Mac-conkey qui sont ensemencées par technique d'étalement en surface à raison de 0,2 ml puis incubées à 37°C (**Navoun, 2005**).
- **Lecture :** Après 24 heures, des salmonelles se présentent sous forme des colonies incolores à centre noir (H₂S positif) sur SS et colonies verdâtre ou bleuâtres à centre noir sur Hektoen) (**Navoun, 2005**).

Chapitre 2: Matériels et méthodes

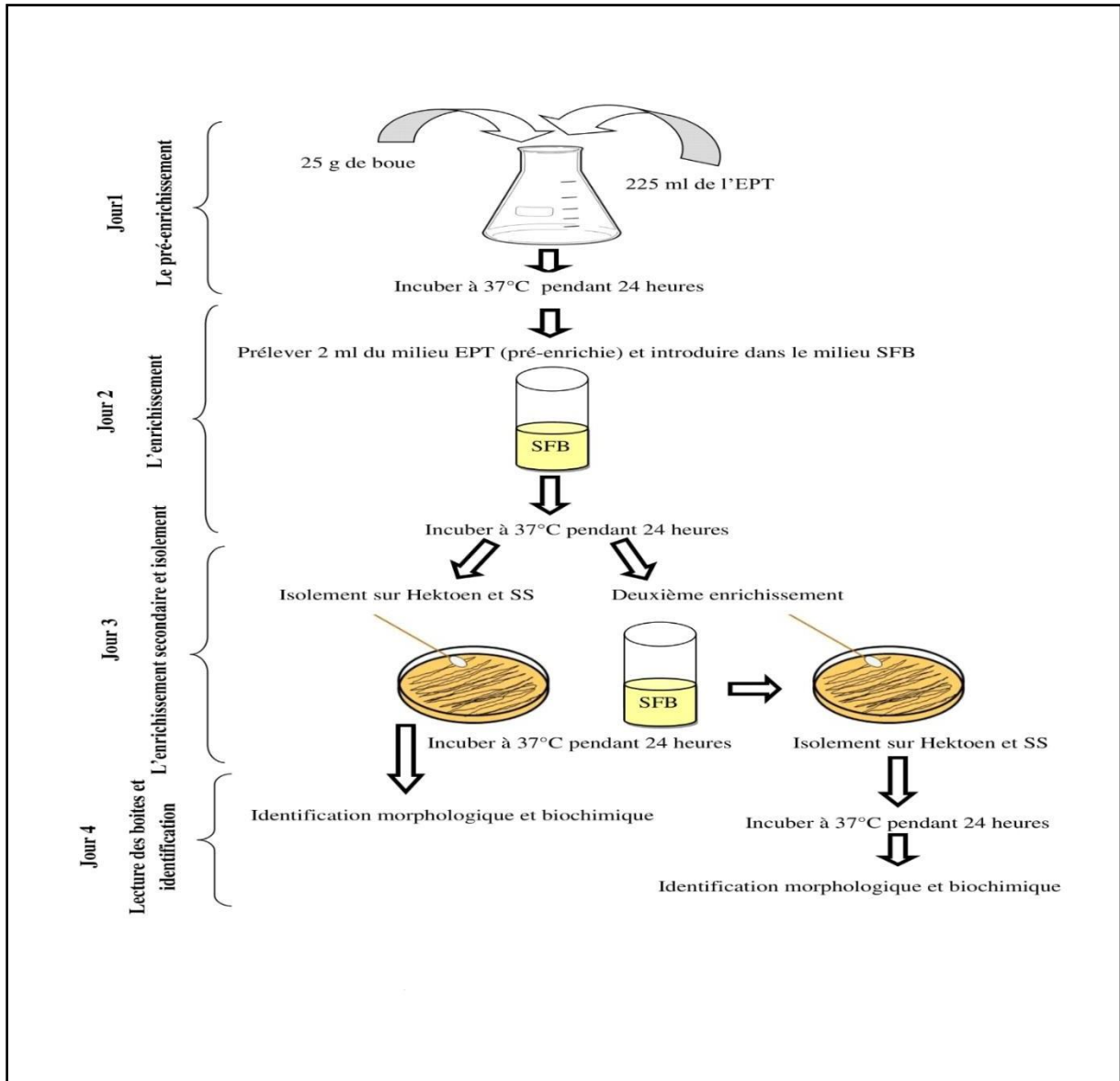


Figure 14: Recherche des Salmonella(Maalem et al ;2018).

Chapitre 3
Résultats attendus
Et
Discussion

Chapitre 3: Résultats attendus et Discussion

III. 1. Analyses physico-chimiques

Ce chapitre a pour objectif de synthétiser les résultats obtenus lors de l'interprétation des analyses physico-chimiques des boues résiduaire de deux travaux ; l'un est réalisé par **Derouiche (2012)** et l'autre, est réalisé par **Ouabed et Ouabed (2015)**, sur l'étude des boues résiduaire de la station d'épuration comme étant un amendement organique pour la croissance, le développement et le rendement dans l'agriculture.

Selon **Jardi (2002)**, pour la caractérisation de la valeur agronomique des boues, les propriétés physiques et chimiques sont toujours prises en compte.

III. 1. 1. pH

Le pH de la boue ne semble pas être, à priori, un facteur limitant pour son utilisation en agriculture ; au contraire il représente une condition favorable au développement de l'activité des micro-organismes dans le sol.

Les analyses effectuées par **Derouiche (2012)** ont montré que la valeur de pH moyen des boues est de l'ordre de 7,2. Par ailleurs les analyses effectuées par **Ouabed et Ouabed (2015)** ont montré un pH de valeur 7,7. Les résultats de pH des deux études considérés est neutre et relativement favorable à l'agriculture.

Tableau 5 : Résultats de valeurs du PH

Analyse	DEROUICHE	OUABED et OUABED
PH	7.2	7.7

III. 1. 2. Conductivité électrique (CE)

L'étude effectuée par **Derouiche (2012)** révèle une conductivité de 3,34 mS/cm. Par ailleurs, dans l'analyse effectuée par **Ouabed et Ouabed (2015)**, la valeur de CE est estimée de 72 µS/cm. La boue est considérée faiblement conductrice dénotant la faible salinité de cette dernière.

Tableau 6 : Résultats de CE

Analyse	DEROUICHE	OUABED et OUABED
Conductivité électrique	3,34ms/cm	72µs/cm

Chapitre 3: Résultats attendus et Discussion

--	--	--

III. 1. 3. Matière organique (MO)

Selon l'étude effectuée par **Derouiche (2012)**, le taux de MO était estimé à environ 25,11%. Par ailleurs, le résultat obtenu par **Ouabed et Ouabed (2015)** est d'environ 6,4%.

Tableau 7 : résultats de matière organique

Analyse	DEROUICHE	OUABED et OUABED
Matière organique	25,11%	6,4%

III. 1. 4. Rapport C\N

L'étude effectuée par **Derouiche (2012)**, révèle un rapport C/N de la boue de 10,20 à 11, tandis qu'**Ouabed et Ouabed (2015)**, ont trouvé un rapport C/N de la boue de 8,35 à 9. Ce qui signifie que la minéralisation de la matière organique s'effectue rapidement, et par conséquent la boue peut être utilisée comme amendement organique.

Tableau 8 : Résultats de rapport C/N

Analyse	DEROUICHE	OUABED et OUABED
Rapport C/N	10,20 %	8,35 %

III. 1. 5. L'azote

Selon les résultats obtenus par **Derouiche (2012)**, ont montré que les boues referment environ 1.3 % d'Azote total. De même, les résultats obtenus par **Ouabed et Ouabed (2015)**, ont montré que les boues referment environ 0.766 % d'azote total, donc les boues ne sont pas trop riches en azote.

Tableau 9 : Résultats de taux d'Azote

Analyse	DEROUICHE	OUABED et OUABED
Azote	1,3%	0,766%

Chapitre 3: Résultats attendus et Discussion

III. 1. 6. Phosphore total

D'après les résultats obtenus par **Derouiche (2012)**, la teneur en phosphore assimilable est très élevée, elle est de l'ordre de 290 ppm. Toutefois, d'après les résultats **d'Ouabed et Ouabed (2015)**, la teneur en phosphore assimilable est moyenne, elle est de l'ordre de 38.75 ppm.

Tableau 10 : Résultats de taux de Phosphore.

Analyse	DEROUICHE	OUABED et OUABED
Phosphore	290ppm	38,75ppm

III. 1. 7. Métaux lourds

Les analyses de métaux lourds (éléments traces métalliques (ETM)) dans les boues résiduelles des STEP de la ville de **Tiaret** et de **Sour El Ghozlane**, réalisées par **Derouiche (2012)** et **Ouabed et Ouabed (2015)**, respectivement, ont permis de conclure que les boues de la station d'épuration répondent aux normes FOA.

Les résultats de l'étude effectuée par **Derouiche (2012)**, ont montré que l'apport des boues a permis d'avoir des traitements riches en éléments fertilisants et en matières organiques facilement minéralisables. De plus ces boues résiduelles ne contiennent qu'une faible proportion de métaux lourds qui sont largement inférieurs aux normes FOA, par conséquent elles ne présentent aucun risque de toxicité.

Les résultats de l'étude réalisée par **Ouabed et Ouabed (2015)** ont montré que la boue issue de la station d'épuration des eaux usées présente des qualités et des caractéristiques permettant de la valoriser en agriculture. Son utilisation, en mélange pour la confection d'un Substrat de culture, pour ses éléments fertilisants, azote, phosphore, et la matière organique qu'elle apporte.

Chapitre 3: Résultats attendus et Discussion

Tableau 12 : Valeurs limitées des éléments traces métalliques selon FOA

ELEMENTS TRACES METALLIQUES	VALEURS LIMITEES (FOA)
Cadmium	85
Cuivre	4300
Nickel	420
Plomb	840
Zinc	7500
Mercure	57
Chrome	3000

A la lumière de ces études et ces résultats, nous pouvons dire que la réutilisation et le recyclage de ces boues résiduaires dans le domaine agricole semble à priori poser moins de problèmes dans l'agriculture, et préserver un environnement fragile. De plus, ces boues ont un intérêt économique très important compte tenu que ces dernières ne contiennent pas des quantités importantes de germes pathogènes, avec des proportions traces en métaux lourds n'influant aucunement le développement des cultures.

Ces résultats restent parcellaires et demandent à être poursuivies par d'autres études dans l'avenir afin de maîtriser l'influence de ces déchets sur le sol, la plante et l'environnement.

III. 2. Analyses bactériologiques

En se basant sur les résultats des différentes analyses bactériologiques des boues résiduaires qui sont effectuées dans différents travaux présents dans la littérature, nous avons réalisé une synthèse basée sur deux parties : une analyse quantitative qui comporte le dénombrement des germes, et une analyse qualitative qui consiste à rechercher tous les germes présents.

Chapitre 3: Résultats attendus et Discussion

III. 2. 1. Recherche des indicateurs des contaminations fécales

La recherche des coliformes est primordiale du fait qu'un grand nombre d'entre eux vivent en abondance sur les matières fécales des animaux à sang chaud et de ce fait constituent des indicateurs de première importance (**Aberkane et al, 2011**).

III. 2. 1. 1. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux

Les résultats trouvés par les différentes analyses ont montré une grande variation des concentrations de bactéries. Les analyses effectuées par **Fertas et al., (2015)** sur les boues résiduelles de la STEP de Guelma consistent à mesurer les concentrations des bactéries sur des échantillons pris d'une boue liquide, une boue solide après 6 mois, une boue solide après 1 an et une boue solide après 2 ans. Les résultats montrent la présence des coliformes fécaux dans tous les échantillons mais avec des concentrations différentes. L'échantillon pris de la boue solide après 6 mois présente la concentration la plus élevée des coliformes fécaux, tandis que la valeur minimale est enregistrée dans l'échantillon pris de la boue solide après 1 an (**tableau 13-1**).

Tableau 13-1 : Recherche et dénombrement des coliformes fécaux (**Fertas et al., 2015**)

	Boue liquide	Boue sèche (6mois)	Boue sèche (1an)	Boue sèche (2ans)
Coliformes fécaux (UFC/100ml)	2400	11000	4600	1200

Les analyses effectuées par **Maalem et al., (2018)** dans la STEP de Guelma sur 3 échantillons pris d'une boue liquide, une boue mixte et une boue sèche respectivement. Les analyses ont été réalisées pendant 3 mois consécutifs. Les résultats ont montré la présence des coliformes fécaux dans tous les échantillons après le troisième mois avec une forte concentration dans la boue mixte (**Tableau 13-2**).

Tableau 13-2 : Recherche et dénombrement des coliformes fécaux (**Maalem et al., (2018)**)

	Février	Mars	Avril
Boue liquide	11000	9000	25000
Boue Mixte	11000	10000	35000
Boue sèche	0	0	2000

Chapitre 3: Résultats attendus et Discussion

Les analyses effectuées par **Abessa et Tabet (2014)** sur des boues sèches et des boues liquides ont montré la présence des coliformes fécaux avec une forte concentration dans les boues sèches par rapport aux boues liquides (**Tableau 13-3**).

Tableau 13-3 : Recherche et dénombrement des coliformes fécaux (**Abessa et Tabet, 2014**)

	Boue liquide	Boue sèche
Coliformes fécaux	163333.3	493333.3

En analysant ces résultats, on peut déduire que les coliformes fécaux sont présents dans toutes les boues. En outre, elles se retrouvent avec une grande concentration dans les boues mixtes et les nouvelles boues sèche formées.

III. 2. 1. 2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux

Les analyses effectuées par **Fertas et al., (2015)** ont montré que les concentrations des coliformes totaux varient extrêmement dans les différents échantillons, dont les valeurs maximales sont enregistrées au niveau des boues solides âgées de 6 mois (**Tableau 14-1**).

Tableau 14-1 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux (**Fertas et al., 2015**)

	Boue liquide	Boue sèche (6mois)	Boue sèche (1an)	Boue sèche (2ans)
Coliformes totaux (UFC/100ml)	4600	11000	2100	11000

Les analyses effectuées par **Maalem et al., (2018)** ont montré la forte présence des coliformes totaux dans les échantillons prisent de la boue mixte. De plus, ils sont présents avec une forte concentration durant le troisième mois notamment dans la boue liquide et la boue mixte (**Tableau 14-2**).

Tableau 14-2 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux (**Maalem et al., 2018**)

	Février	Mars	Avril
Boue liquide	4500	20000	45000
Boue Mixte	15000	30000	45000
Boue sèche	0	0	15000

Chapitre 3: Résultats attendus et Discussion

Les résultats obtenus par **Abessa et Tabet, (2014)** ont montré la forte présence des coliformes totaux dans la boue sèche par rapport à la boue liquide (**Tableau 14-3**).

Tableau 14-3 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux (**Abessa et Tabet, 2014**)

	Boue liquide	Boue sèche
Coliformes totaux	112666.67	8033333.3

Les résultats permettent de déduire que les coliformes totaux peuvent être fortement observés dans les boues sèches.

III. 2. 1. 3. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont des excellents indicateurs de contamination récente par la matière fécale des animaux (**Rodier, 2009**).

Les résultats du dénombrement des Streptocoques fécaux effectué par (**Fertas et al., 2015**) ont montré que l'effectif le plus élevé a été représenté par les boues solides âgées de 2 ans (**Tableau 15-1**).

Tableau 15-1 : Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux (**Fertas et al., 2015**)

	Boue liquide	Boue sèche (6mois)	Boue sèche (1an)	Boue sèche (2ans)
Streptocoques fécaux (SF/l)	15×10^5	45×10^6	11×10^6	14×10^7

Les analyses réalisées par **Maalem et al., (2018)** montrent une augmentation de ces germes à partir du deuxième mois dans les boues solides (**Tableau 15-2**).

Tableau 15-2 : Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux (**Maalem et al., 2018**)

	Février	Mars	Avril
Boue liquide	6000	9500	9000
Boue Mixte	7000	9500	15000
Boue sèche	0	9	45

Ces résultats sont confirmés par les analyses de (ABESSA et TABET) qui ont trouvé une forte présence des Streptocoques fécaux dans les boues sèches (**Tableau 15-3**).

Chapitre 3: Résultats attendus et Discussion

Tableau 15-3 : Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux (Abessa et Tabet, 2014)

	Boue liquide	Boue sèche
Streptocoques fécaux (UFC/100ml)	273333.3	2000000

Donc, on peut conclure que les Streptocoques fécaux sont présents avec une forte concentration dans les boues sèches.

III. 2. 2. Recherche et dénombrement des anaérobies sulfito-réductrices

Les analyses effectuées par Fertas et al., (2015) ont montré que le nombre le plus élevé est au niveau des boues liquides alors que le nombre le plus faible est au niveau des boues solides âgées de 6 mois (Tableau 16-1).

Tableau 16-1 : Recherche et dénombrement des anaérobies sulfito-réductrices (Fertas et al., 2015)

	Boue liquide	Boue sèche (6mois)	Boue sèche (1an)	Boue sèche (2ans)
ASR (UFC/100ml)	3631	1019	1474	1379

Les analyses effectuées par Maalem et al., (2018) pour la recherche et le dénombrement des ASR ont présenté une forte charge de ces germes où les colonies ont été indénombrables pour les trois types des boues et dans les trois prélèvements (Tableau 16-2).

Tableau 16-2 : Recherche et dénombrement des anaérobies sulfito-réductrices (Maalem et al., 2018)

	Février	Mars	Avril
Boue liquide	Forte presence	Forte presence	Forte presence
Boue Mixte	Forte presence	Forte presence	Forte presence
Boue sèche	Forte présence	Forte présence	Forte présence

Les résultats obtenus par Abessa et Tabet, (2014) ont montré la présence des germes anaérobies sulfito-réductrice dans les boues sèches et liquides (Tableau 16-3).

Chapitre 3: Résultats attendus et Discussion

Tableau 16-3 : Recherche et dénombrement des anaérobies sulfito-réductrices (Abessa et Tabet, 2014)

	Boue liquide	Boue sèche
ASR	14.33	36.33

Ces résultats permettent de conclure que les ASR sont présents avec une forte concentration dans tous types de boues.

III. 2. 3. Recherche et dénombrement des Salmonelles

Les résultats obtenus par Abessa et Tabet, (2014) ont montré une forte présence des salmonelles dans les boues liquides par rapport aux boues sèches (**Tableau 17**).

Tableau 17 : Recherche et dénombrement des Salmonelles (Abessa et Tabet, 2014)

	Boue liquide	Boue sèche
Salmonelles	1490	1243.33

Tableau 18 : valeurs des contamination des indicateurs fécales selon FOA

Micro-organismes	Normes (germes/100ml)
Coliforme totaux	10³ à 10⁴
Streptocoque fécaux	10⁴ à 10⁵
ASR	10 à 10³

CONCLUSION

CONCLUSION

L'objectif de cette étude est l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des boues de la station de traitement des eaux usées de Baraki (W. Alger). En fait, le but essentiel de ce travail est de faire sortir les boues de la STEP de leur réputation de déchets pour en faire un produit utilisable en agriculture par sa valorisation en un substrat sain, sans danger pour la santé et l'environnement et contenant une matière organique régénérée. C'est un travail qui s'inscrit donc dans le cadre du développement durable et plus particulièrement dans la bioraffinerie environnementale.

Les résultats des analyses physico-chimiques dans de nombreuses études montrent que les boues présentent des qualités et des caractéristiques permettant de les valoriser en agriculture. En effet, son utilisation en mélange pour la confection d'un substrat de culture pour ses éléments fertilisants, azote, phosphore et la matière organique qu'elle apporte.

Toutefois, d'après les analyse des résultats obtenus par d'autres études réalisées en Algérie, ils ont constatés que les boues des STEP sont chargées en bactéries d'origine fécale surtout dans les températures plus ou moins élevées notamment dans les boues âgées de plus d'un mois. Ils ont aussi constatés la présence des germes pathogènes (Salmonella) remarquées notamment dans les boues qui commence à devenir sèches. En outre, ils ont constatés la présence des métaux lourds à l'état de traces mais qui peuvent aggraver le problème de leur valorisation agricole, par accumulation.

Ils suggèrent de compléter les analyses physico-chimiques des boues et un suivi de la qualité bactériologique au niveau de la station afin d'assurer la réutilisation de ces boues dans l'agriculture .

Il est important aussi de prendre en considération des biotraitements des boues tels que ; le compostage / vermicompostage avant leur utilisation comme amendement. En effet, le compostage et/ou vermicompostage est une filière de recyclage prometteuse qui, à partir de ces boues, peut fournir un produit de qualité et d'aspect acceptable par le marché tant du point de vue économique que environnemental du fait de l'hygiénisation et de la stabilisation.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques :

A

- ⌘ ABERKANE M., HARKAT R., MEKHALFI M. (2011). Evaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux d'un écosystème lacustre cas de Garaet Hadj Tahar (Skikda). Mémoire de Master. Université 8 Mai de Guelma.76p.
- ⌘ ABESSA , R., TABET ,S.,(2014). Étude microbiologique et génotoxique des boues des eaux usées de la ville de Guelma. Mémoire de Master. Université 8 Mai de Guelma, 101p.
- ⌘ ADDOU, A., (2009).traitement des déchets, valorisation, élimination, éditions ellipses,284.
- ⌘ AIT AYANE, K., SOUFIA, D.,(2009). Valorisation agricole et énergétique des boues issues de l'épuration des eaux usées de la ville de Marrakech, université Cadi Ayyad Faculté des Sciences et Techniques Marrakech.83p.
- ⌘ ALAIN, B., LAURENCE, B., (2001).Pollution de l'eau et santé humaine. Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale. Université Euro Méditerranée TEHYS.
- ⌘ AMIR, S.(2005). Contribution a la valorisation de boues de station d'épuration par compostage: devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost, L'institut national Polytechnique de Toulouse,341p.
- ⌘ AUBERT, G.,(1978). Méthode d'analyses des sols. Contre nationale de documentation pédagogique. Marseille, 198p.
- ⌘ AZABI, A., (2012). Influence des boues résiduelles sur le comportement d'une culture sous-jacente à Touggourt. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en sciences agronomiques, Université Kasdi Merbah, Ouargla. 90 p.

B

- ⌘ BASSOMPIERRE C., (2007). Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèles. Thèse de Doctorat. Institut national polytechnique de Grenoble .232p.
- ⌘ BELAID, D., (2015). Utilisation des boues résiduelles de station d'épuration en Algérie, Dossier agronomiques. Algérie. 22 p.
- ⌘ BELMILOUD, H., SAIDI, k.,(2015). Traitement chimique de la boue de l'industrie de textile, Université des sciences et de la technologie Houari BOUMEDIENE.
- ⌘ BENNALI, N., (2013)..Mise en évidence des œufs d'helminthes dans les boues d'épuration de la station de Béni Messous et Baraki en vue de leurs valorisations agricoles, Université de Blida,57p.
- ⌘ BERCHE P., GAILLARD J.L. et SIMOUETM. (1988) : Bactériologie, Les Bactéries Des Infections Humaines. Flammarion Médecine Sciences. 660p.
- ⌘ BETTACH, A. (2013). Traitement des eaux usées domestiques par biodénitrification : effet du nitrate. Mémoire de licence, Université Chouaib Doukkali. Maroc.

☞ BOUALLEGUE, M., (2010). Synthèse technique ” Des métaux dans les boues de stations d’épuration ? Conséquences, origines et prévention ”. Institut des sciences et industries de l’environnement.

☞BOUCHAALA L., (2010). Contribution à l’étude de la qualité microbiologique et physicochimique de l’eau de l’Oued-Zénati(Guelma). Mémoire de magister. Université 8Mai 1945 de Guelma, 135p.

☞BOUTIN,1982.Risques sanitaires provenant de l’utilisation d’eau polluée ou de la boue de la station d’épuration en agriculture. Ed ELLIPSES.Paris,247p.

C

☞ CANLER., PERRET., (2013).La réduction de boues par voie biologique par la procédé MycET.thème de recherche, département écotechnologie de LYON ,51p.

☞CARBONELLE D. et KOUYOUMDJIAN S., (1988). Bactériologie médicale techniques usuelles. Méd. Mal Inf. 251p.

☞CARPENTER-BOGGS L., REGANOLD J.P., KENNEDY A.C., 2000c. Effects of biodynamic preparations on compost development. Biological Agriculture and Horticulture, 17, 313-328

☞ CHIBANI, S.,(2010). Analyses physico-chimique et rhéologique des boues d’épuration des eaux usées de la ville de Guelma, UNIVERSITE 08 Mai 1945 de GUELMA.

D

☞ DELARRAS C., 2000. Microbiologie de l’environnement avec législation travaux pratiques commentés. Gaetanmorin Europe, Canada. 388 p.

☞DELARRAS C., 2008. Microbiologie pratique pour le laboratoire d’analyse et de contrôle sanitaire. Tec & doc/Lavoisier, France. 476 p

☞DELARRAS C., 2010. Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux, 2ème. ed. Lavoisier, France. 588 p.

☞ DEROUICHE F., 2011. Contribution a l’étude des boues résiduaires comme amendement organiques pour les cultures maraichères. Université d’Oran. Mémoire de Magister. Université d’Oran, 126 p.

☞DEROUICHE, F., (2012).Contribution à l’étude des boues résiduaires comme amendement.

☞DUCHENE,(1990). Traitement des boues des stations d’épuration des petites collectivités. TEC et DOC, 1^{ère} éd, éd CEMAGREF.paris,30p.

E

⌘ ELHAITE, H. (2010). Traitement des eaux usées par les réservoirs opérationnels et réutilisation pour l'irrigation. Thèse de doctorat en sciences et génie de l'Environnement, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

⌘ ELHAJI/Module Techniques Spectroscopiques 34p

F

⌘ FERTAS, LAOUISSI, ZOUAIMIA, (2015). Etude microbiologique des boues des eaux usées de la ville de Guelma

⌘ FNDEA, 1990. Elimination de l'azote dans les stations d'épuration biologiques des petites collectivités. Document technique n°10, 57p.

⌘ FAO, (2003). L'irrigation avec des eaux usées traitées. Manuel d'utilisation, pp 73.

G

⌘ GAID, A., (1984). Epuration biologique des eaux usées urbaines. T1. Edition place centrale de ben Aknoun (Alger). P 259.

⌘ GILLESPIE, H., HAWKEY P. M., (2006). Principles and Practice of Clinical Bacteriology. 2ème édition. John Wiley & Sons. England. 620 p.

⌘ GRAINI L. (2011). Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique. Mémoire de magister en optique appliquée, Université Ferhat Abbas Sétif.

H

⌘ HACH, (1978) Spectrophotométrie mode d'emploi mallette laboratoire DRE1/2, U S A. (Analyse SONELEC

⌘ HAMADECH M., (2006). Etude de la valorisation des eaux usées épurées et les possibilités de réutilisation dans l'industrie et l'agriculture. Mémoire ingénieur., USTHP Bab Ezzouar, Alger, 73p.

J

⌘ JAMONET, B., (1987). le traitement des boues résiduaire. Université des sciences et techniques du Languedoc. Montpellier.

⌘ JARDI, E., (2002). Composition organique de boues résiduaire de stations d'épuration lorraines : Caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré, Nancy I, France. 287P.

⌘ JAROSZ, J., (1985). le traitement des boues des stations d'épuration, centre de formation et de documentation sur l'environnement industriel, Paris 06 – France.

⌘ JOFFIN J., LEYROL I G., (2001). Microbiologie technique 1: dictionnaire des techniques, 3 -ème édition. CRDP d'aquitaine, 320p.

K

☞KAROUNE, S., 2008. Effets des boues résiduelles sur le développement des semis du chêne liège (*Quercus suber* L.) Mémoire de Magister. Mentouri Constantine, 244 p.

☞ KHELIFA.M 2008, Evaluation des eaux usées traitées de la station d'épuration d'Ain Sfiha (Sétif) en vue d'une utilisation dans le domaine de l'irrigation. Mémoire ingénieur ENSH BLIDA.

☞ KOLLER, E., 2004. Traitement des pollutions industrielles eau, air, déchets, sols, boues, 2nd ed. L'Usine nouvelle. 569 p.

L

☞LADJEL, .,ABBOU, .,2016. Perspectives de valorisation agricole et énergétique des boues issues de STEP en Algérie.p58.

☞ LASSEE, C. 1985. Analyse des boues « analyse physico-chimique ». A F E E.

☞LEBRES E., (2006). Cours D'hygiène et De Microbiologie Des Eaux (Manuel De Travaux Pratiques Des Eaux). Institut Pasteur d'Algérie. 60p.

☞ LEBRES et MOUFFOK F., (2008). Le cours national d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson. Manuel des travaux pratique des eaux. Institut Pasteur d'Algérie. 53p.

☞ LÉONARD, A.,2002. Étude du séchage convectif de boues de station d'épuration suivi de la texture par microtomographie à rayons x. thèse doctorat, Université de liège, p5.

☞LOUAGUENOUNI, k., 2017.Suivi de la qualité des eaux usées traitées de la STEP de BARAKI pour une réutilisation agricole, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou Faculté des sciences Biologiques et Agronomiques Département d'Agronomie.

M

☞MAALEM,T,SAIDIA,C,TOGO,I,(2018). Caractérisation bactériologique des boues résiduelles des stations d'épuration des eaux usées : cas de la station de Guelma,121p.

☞MAZOUNI, A., RAMDANI, A.,2017. Traitement et valorisation des boues de station d'épuration d'Oued D'Hous.la ville de Bouira, Université de Bouira,71p.

N

☞NAVOUN S., (2005).Thermorésistante de trois sérotypes de salmonella dans l'œuf et les gésiers de poulets. Université Cocody d'Abidjan.87p.

O

☞OUABED,D ;OUABED,F; 2015 . VALORISATION DES BOUES DE LA STATION D'EPURATION DE SOUR EL GHOZLANE COMME AMENDEMENT AU SOL, université de bouira, 92p.

P

☞PATRICK B., Gaillard J.L et Simonet M., 1988. Bactériologie, collection de la biologie à la clinique, Flammarion, France, 660 p.

☞PECHERE J.C., ACAR J., GRENIER B. et NIHOUL E., 1982. Reconnaître, comprendre et traité les infections. 4ème édition. Edisem ST-Hyacinthe. Québec. 509 p.

☞PELMONT J., 1996. Bactéries et environnement : adaptations physiologiques, Grenoble sciences. EDP, France

☞Pilet C., Bourdon J.L., Toma B., MAERCHAL N., Balbastre C. et Person J.M. (1987) : Bactériologie médicale et vétérinaire. Systématique bactérienne. Doin, France. 371p.

R

☞REJESK F., (2002). « Analyse des eaux ; aspects réglementaires et techniques » ; centre régional de documentaires techniques pédagogique d'aquitaine (CRDP). Bordeaux. 358p.

☞ RODIER J. (2005) : L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Résiduaires. Eau de mer.8ème édition. Dunod. P :138-145.

☞RODIER J et al. (2009).l'analyse de l'eau : eau naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer.9 ème édition. Dunod. Paris.1579p.

S

☞SHARMA, V., CANDITELLI, M., Fortuna, F., CORNACCHIA, G.,1997. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: Review. Energy Conversion and Management 38, 453-478.

☞SOUNA D., (2011). Epidémiologie de la résistance aux antibiotiques au niveau du C.H.U de sidi Bel Abbas. Université Abou bekr belkaid- Tlemcen.148p.

☞SUBLER, S., EDWARD, C.A., & METZGER, J.D., 1998. Composting vermicomposts and com- post. Biocycle 39: p63-66.

T

☞TEFYECHE L., (2014). Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées d'Ouargla au cours de leur traitement.70p.

☞ TELLI S.M., 2013. Etude sur la valorisation par séchage solaire Des boues d'épuration des Eaux urbaines – cas de la station d'Office Nationale d'Assainissement (ONA)- Tlemcen Mémoire de Master. Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, 174 p.

Site web :

<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0405/beiere/4/html/binome2/Dessablage degraissage.html>

<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0405/beiere/4/html/binome2/Dessablage degraissage.html>