UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Evaluation des performances du traitement biologique des eaux usées de la station d'épuration de Buterere

Mpawenayo, Jean Marie; Sous la direction de : Pr Bigumandondera Patrice

2024-03
UB, FS
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1040

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

MASTER EN SCIENCES ET GESTION INTEGREE DE L'ENVIRONNEMENT

Evaluation des performances du traitement biologique des eaux usées de la station d'épuration de Buterere

Par :

MPAWENAYO Jean Marie

MEMOIRE

Présenté en vue d'obtenir un Diplôme de Master en

Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement

Spécialité :

Eau et Assainissement

Sous la direction de :

Pr BIGUMANDONDERA Patrice

Bujumbura, Avril 2024

Membres de jury

Président : Dr NIYOYITUNGIYE Lambert

Secrétaire : Pr BUNANI Samuel

Directeur : Pr BIGUMANDONDERA Patrice

Membre : Dr NIHORIMBERE Manassé

DEDICACES

A ma Mère,

A mon Regretté Père,

A mes Frères et Sœurs,

A tous les amis,

A tous ceux qui me sont chers,

A tous ceux qui m'aiment,

A tous ceux que j'aime.

Je dédie ce travail

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, je remercie le bon Dieu Tout Puissant de m'avoir donné le courage, la patience et la volonté pour atteindre mon objectif.

A l'issue de ce travail, je tiens à adresser mes

Remerciements à :

- Mon Directeur de mémoire, Pr BIGUMANDONDERA Patrice, qui a dirigé ce travail. Ca ne sera jamais suffisant pour lui exprimer ma grande reconnaissance pour la confiance qu'il m'a accordée pour faire avancer ce travail, pour sa patience, sa gentillesse, et son esprit responsable, critique et rigoureux.
- Les responsables de la station d'épuration de Buterere, pour m'avoir accordé l'accès à la station d'épuration, ainsi qu'à toute l'équipe de la station.
- Le personnel de laboratoire de STEP Buterere, pour m'avoir aidé à faire des analyses et me fournir des informations et des données m'ayant permis de poursuivre l'objectif principal de mon travail de mémoire.
- On remercie également tous les responsables et les personnels des laboratoires de l'Université du Burundi (laboratoire de Chimie et d'analyses environnementales, laboratoire de Chimie Physique et laboratoire de Chimie analytique) ainsi que ceux du laboratoire de microbiologie du Bureau Burundais de Normalisation (BBN) qui nous ont offert la possibilité d'exploiter leurs laboratoires pour effectuer nos tests expérimentales, et qui, par leur compréhension et leur aide surtout la mise à disposition de leurs documentations, on a pu faire accomplir notre travail de recherche.

En fin un grand merci à l'endroit de mes enseignants, de tout le personnel de la Faculté des Sciences de l'Université du Burundi de m'avoir permis d'acquérir notre savoir-faire et savoir-être.

Merci à tous ceux qui ont participé de loin ou de près à l'élaboration de ce travail.

RESUME

La station de traitement des eaux usées de Buterere est une station de type lagunage qui reçoit les eaux usées d'égout et des boues de vidange. Le traitement se fait essentiellement à l'aide de la biomasse bactérienne qui dégrade la matière organique contenue dans les eaux usées. L'élimination des pollutions microbiologiques, indicatrices d'une contamination d'origine fécale, doit répondre à la norme de rejet. C'est dans ce contexte que ce mémoire intitulé « Evaluation des performances du traitement biologique des eaux usées de la station d'épuration de Buterere » a été mené.

Des échantillons d'eaux usées ont été prélevés à différentes stades de traitement et analysés au laboratoire de Chimie et d'analyses environnementales, de Chimie Physique et de Chimie analytique de l'Université du Burundi, au laboratoire physicochimique de la STEP Buterere et au laboratoire microbiologique du BBN pendant une période d'un mois. Certaines analyses physico-chimiques (température, pH, Conductivité, MES, MVS, DBO5) et microbiologiques (bactéries et helminthes) ont été mesurées. Les résultats des valeurs moyennes pour différents paramètres et à différents stades de traitement sont :

Au niveau du dessableur, les résultats des paramètres physicochimiques sont : DBO5 (124,4mg/), MES (921,75 mg/l…), Conductivité (1769,25 µs/cm), Température (26,2°C), les paramètres bactériologiques: E Coli ($1{,}097.10^5$ UFC/ml),Staphylococcus aureus ($5{,}375.10^3$UFC/ml) et Coliformes ($2{,}925.10^3$ UFC/ml), et pour les paramètres parasitologiques: Amibes (105,25 kystes/l), Nématodes (666 œufs/l), Cestodes (156 œufs/l) et Trématodes (278 œufs/l).

Au niveau de la sortie BA, les résultats des paramètres physicochimiques sont : DBO5 (68,45 mg/ml), MES (250,75 mg/l), Conductivité (1599,5 µs/cm),Température (25,15°C), les paramètres bactériologiques: E Coli ($7{,}47.10^4$ UFC/ml), Staphylococcus aureus ($2{,}535.10^3$ UFC/ml), Coliformes ($1{,}03775.10^5$UF C/ml), et pour les paramètres parasitologiques: Amibes (187,25 kystes/l), Nématodes (219 œufs/l), Cestodes (50,75 œufs/l) et Trématodes (465,25 œufs/l).

A la sortie BF, les résultats des paramètres physicochimiques : DBO5 (38,975 mg/l), MES (301,875 mg/l), Conductivité (1524,5 µs/cm), Température (25,2°C), pour les paramètres bactériologiques: E Coli (12 UFC/ml), Staphylococcus aureus (5 UFC/ml), Coliformes (3,25 UFC/ml) et la valeur nulle pour les paramètres parasitologiques.

A la sortie BM, les résultsa paramètres physicochimiques sont : DBO5 (38,975 mg/ml), MES (153 mg/ml), Conductivité (1415,25 µs/cm), Température (26,8°C), et seulement E Coli (2,75 UFC/ml) pour les paramètres bactériologiques. Les paramètres parasitologiques ne sont pas détectés.

L'analyse des données a montré que le rendement d'abattement de la step Buterere est de 68,66% pour la DBO5, de 83,40% pour les MES, de 99,99% pour E Coli et de 100% pour les coliformes, les staphylocoques et les parasites.

Mots clés : Lagunage naturel, eaux usées, taux d'abattement, caractéristiques physico-chimiques, assainissement.

SUMMARY

The Buterere wastewater treatment plant is a facility that uses lagoon-type technology to treat sewage and septage. Bacterial biomass is used to break down organic matter in wastewater treatment. Elimination of microbiological contamination, which is indicative of fecal contamination, is important for compliance with discharge standards. In this context, this work "Performance Evaluation of Biological Wastewater Treatment at Buterere Wastewater Treatment Plant" was conducted.

Wastewater samples were collected at various stages of treatment and analyzed at the University of Burundi's Chemistry and Environmental Analysis Laboratory, Physical Chemistry Laboratory, and Analytical Chemistry Laboratory; the Buterere WWTP's physicochemical laboratory; and the BBN's microbiological laboratory over a one-month period. A number of physico-chemical analyses (temperature, pH, conductivity, TSS, VSS, and BOD5) and microbiological analyses (bacteria and helminths) were measured. The results of the average values for different parameters and at different stages of treatment are presented below.

In the grit chamber level, physico-chemical parameter results are: BOD5 (124.4 mg/l), TSS (921.75 mg/l), conductivity (1769.25 µs/cm), temperature (26.2°C), bacteriological parameters: E Coli (1,097.105 CFU/ml), Staphylococcus aureus (5,375.103 CFU/ml) and Coliforms (2,925.103 CFU/ml) and parasitological parameters: Amoeba (105.25 cysts/l), Nematodes (666 eggs/l), Cestodes (156 eggs/l) and Trematodes (278 eggs/l).

At the BA outlet, physico-chemical parameter results are: BOD5 (68.45 mg/ml), TSS (250.75 mg/l), Conductivity (1599.5 µs/cm),Temperature (25.15°C), bacteriological parameters: E Coli (7.47.104 UFC/ml), Staphylococcus aureus (2.535.103 UFC/ml), Coliforms (1.03775.105UF C/ml), and parasitological parameters: Amoebae (187.25 cysts/l), Nematodes (219 eggs/l), Cestodes (50.75 eggs/l) and Trematodes (465.25 eggs/l).

At the BF outlet, physico-chemical parameter results are: BOD5 (38.975 mg/l), TSS (301.875 mg/l), Conductivity (1524.5 µs/cm), Temperature (25.2°C), bacteriological parameters: E Coli (12 CFU/ml), Staphylococcus aureus (5 CFU/ml), Coliforms (3.25 CFU/ml) and zero for parasitological parameters.

At the BM outlet, physico-chemical parameter results are: BOD5 (38.975 mg/ml), TSS (153 mg/ml), Conductivity (1415.25 µs/cm), Temperature (26.8°C), and only E Coli (2.75 CFU/ml) bacteriological parameters. Parasitological parameters were not detected.

The data analysis indicates that the Buterere step has an abatement efficiency of 68.66% for BOD5, 83.40% for TSS, 77.08% for E. coli, and 100% for coliforms, staphylococci, and parasites.

Key words: Natural lagoon, wastewater, abatement rate, physico-chemical characteristics, sanitation.

Table des matières

Membres de jury i

DEDICACES ii

REMERCIEMENTS iii

RESUME iv

SUMMARY vi

Table des matières viii

Liste des abréviations xii

Liste des figures xiii

Liste des tableaux xiv

Liste des photos xv

AVANT-PROPOS xvi

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I. GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DES EAUX USEES 3

I.1. GENERALITES SUR LES EAUX USEES 3

I.1.1. Introduction 3

I.1.2. Définition des eaux usées 3

I.1. 3. Origine des eaux usées 3

I.1.3.1. Eaux usées domestiques 3

I.1.3.2. Eaux usées industrielles 4

I.1.3.3. Eaux pluviales 4

I.1.3.4. Eaux usées agricoles 4

I.1.4. Caractéristiques des eaux usées 5

I.1.4.1. Caractéristiques physicochimiques 5

I.1.4.1.1. Température 5

I.1.4.1.2. Matières En Suspension (MES) 5

I.1.4.1.3. Matières volatiles en suspensions (MVS) 6
I.1.4.1.4. pH 6
I.1.4.1.5. Conductivité électrique 6
I.1.4.1.6. Demande Biochimique en Oxygène (DBO5) 7
I.1.4.2. Caractéristiques bactériologiques des eaux usées 7
I.1.4.2.1. Coliformes totaux et fécaux 7
I.1.4.2.2. Escherichia coli (E. Coli) 8
I.1.4.2.3. Staphylocoques 8
I.1.4.3. Caractéristiques parasitologiques (les helminthes) 9
I.2. TRAITEMENT DES EAUX USEES EN VILLE DE BUJUMBURA 9
I.2.1. Zones à assainissement collectif à Bujumbura 9
I.2.2. Système d'assainissement non collectif 9
I.2.3. Description de la station d'épuration de Buterere 10
I.2.3.1. Etapes de traitement des eaux usées à la station de Buterere 11
I.2.3.1.1. Traitement physique 12
I.2.3.1.2. Traitement biologique 14
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES 18
II.1. Matériel 18
II.1.1. Prélèvement et suivi des paramètres 18
II.1.1. 1. Echantillonnage 18
II.1.1.2. Bonnes pratiques des techniques de prélèvement 19
II.1.1.4. Transport et conservation des échantillons 20
II.2. Méthodes 20
II.2.1. Analyses physico-chimiques 20
II.2.1.1. Température (Hallouche Sarah, 2022) 21
II.2.1.2. pH 21

II.2.1.3. Conductivité 21

II.2.1.4. MES 22

II.2.1.5. MVS 23

II.2.1.6. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5) 23

II.2.2. Analyses microbiologiques 24

II.2.2.1. Analyses bactériologiques 25

II.2.2.1.1. Préparation des dilutions décimales 25

II.2.2.1.2. Lecture et expression des résultats 25

II.2.2.1.3. Recherche et dénombrement des coliformes totaux 25

II.2.2.1.4. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux 25

II.2.2.1. 5. Recherche et dénombrement des Staphylocoques 27

Figure 5 : Recherche des Staphylocoques 27

II.2.2.2. Paramètres parasitologiques 27

II.2.2.2.1. Méthode de concentration 27

II.2.2.2.2. Mode opératoire 28

CHAPITRE III. PRESENTATION, INTERPRETATION ET DISCUSSIONS DES RESULTATS 30

III.1. Variation de la concentration des paramètres physicochimiques et microbiologiques à différents stades de prélèvement. 32

III.1.1. Au niveau du dessableur 32

III.1.1.1. Paramètres physicochimiques 32

III.1.1.2. Paramètres bactériologiques 34

III.1.1.3. Paramètres parasitologiques (les helminthes) 35

III.1.2. Au niveau du bassin anaérobie 36

III.1.2.1. Paramètres physicochimiques 36

III.1.2.2. Paramètres bactériologiques 37

III.1.2.3. Paramètres parasitologiques (les helminthes) 38

III.1.3. Au niveau du bassin facultatif. 39

III.1.3.1. Paramètres physicochimiques 39

III.1.3.2. Paramètres microbiologiques 40

III.1.3.2. 1. Paramètres bactériologiques 40

III.1.3.2.2. Paramètres parasitologiques (les helminthes) 41

III.1.4. Au niveau bassin de maturation 42

III.1.4.1. Paramètres physicochimiques 42

III.1.4.2. Paramètres bactériologiques 43

III.1.4.3. Paramètres parasitologiques (les helminthes) 43

III.2. Evaluation du taux d'abattement des paramètres physicochimique et microbiologiques à différents stades de traitement des eaux usées 44

III.2.1. Paramètres physicochimiques 44

III.2.2. Paramètres bactériologiques 46

III.2.3. Paramètres parasitologues 48

III.3. Comparaison des valeurs obtenues à celles de la norme Burundaise de rejet des eaux traitées 51

CONCLUSION GENERALE 54

Références bibliographiques 56

Annexes 62

Liste des abréviations

BA : Bassin Anaérobie

BF : Bassin Facultatif

BM : Bassin de Maturation

CF : Coliforme Fécaux

D : Déssableur

DBO5 : Demande Biologique en Oxygène pendant cinq jours

E. Coli : Escherichia Coli

EH : Equivalent Habitant

EU : Eau Usée

MES : Matière en Suspension

MVS : Matière Volatil Sèche

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

pH : Potentiel d'Hydrogène

STEP : Station d'Epuration

TSH : Temps de Séjour Hydraulique

VRBL : Rouge Violet Bile Lactose Agar

Liste des figures

Figure 1 : Zones à assainissement collectif et non collectif en ville de Bujumbura 10

Figure 2 : Schéma d'illustration de la station d'épuration (STEP) de Buterere. 11

Figure 3. Points de prélèvement des échantillons 18

Figure 4 : Mode opératoire de recherche et dénombrement des Coliformes. 26

Figure 5 : Recherche des Staphylocoques. 27

Figure 6. Variation de DBO5, MES et MVS à la sortie du dessableur 33

Figure 7. Concentrations en microorganismes à la sortie du dessableur 34

Figure 8. Variation des parasites à la sortie du dessableur 36

Figure 9. Variation des DBO5, MES et MVS à la sortie du bassin anaérobie. 37

Figure 10. Concentration en microorganismes à la sortie du bassin anaérobie 38

Figure 11. Variation des helminthes à la sortie du bassin anaérobie 39

Figure 12. Variation du DBO5, MES et MVS à la sortie du bassin facultatif 40

Figure 13. Concentration en microorganismes à la sortie du bassin facultatif 41

Figure 14. Variation du DBO5, MES, et MVS en fonction du temps à la sortie du bassin de maturation 42

Figure 15. Variation des concentrations en microorganismes à la sortie du bassin de maturation 43

Figure 16. Evolution de la DBO5 et MES moyennes à différents stades de traitement 44

Figure 17. Abattement de la DBO5 et des MES à différents stades de traitement 45

Figure 18. Evolution de la concentration moyenne des microorganismes à différents stades de traitement 46

Figure 19. Taux d'abattement des bactéries à différents stades de traitement 47

Figure 20. Evolution de la concentration moyenne parasite à différents stades de traitement 49

Figure 21. Taux d'abattement des parasites à différents stades de traitement 50

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques géométriques des bassins de la STEP de Buterere 17

Tableau 2. Résultats des analyses physicochimiques..... 30

Tableau 3. Résultats des analyses bactériologiques 31

Tableau 4. Résultats des analyses parasitologiques 31

Tableau 5. Concentration des différents paramètres physicochimiques à la sortie du dessableur 32

Tableau 6. Dénombrement des bactéries à la sortie du dessableur 34

Tableau 7. Dénombrement des helminthes à la sortie du dessableur..... 35

Tableau 8. Résultats des analyses physicochimiques à la sortie du bassin anaérobie..... 36

Tableau 9. Dénombrement des bactéries à la sortie du bassin anaérobie..... 37

Tableau 10. Résultants du dénombrement des helminthes à la sortie du bassin anaérobie 38

Tableau 11. Résultats des analyses physicochimiques à la sortie du bassin facultatif..... 39

Tableau 12. Résultats du dénombrement des bactéries à la sortie du bassin facultatif..... 40

Tableau 13. Résultats des analyses des helminthes à la sortie du bassin facultatif..... 41

Tableau 14. Résultats des analyses physicochimiques à la sortie du bassin de maturation..... 42

Tableau 15. Résultats des analyses bactériologiques à la sortie du bassin de maturation 43

Tableau 16. Résultats des analyses des helminthes à la sortie du bassin de maturation..... 43

Tableau 17. Résultats des valeurs moyennes des analyses physico-chimiques 44

Tableau 18. Taux d'abattement de la DBO5 et des MES à différents stades de traitement 45

Tableau 19. Résultats des valeurs moyennes du dénombrement des microorganismes à différents stades de traitement..... 46

Tableau 20. Taux d'abattement des bactéries à différents stades de traitement..... 47

Tableau 21 : Résultats moyens des parasites à différents stades de traitement..... 48

Tableau 22. Taux d'abattement des parasites à différents stades de traitement..... 50

Tableau 23. Comparaison de la qualité des eaux usées de la STEP Buterere avec la norme burundaise de rejet des eaux usées domestiques et industrielles 51

Liste des photos

Photo 1 : Photographie de la station d'épuration (STEP) de Buterere 11

Photo 2 : Dégrillage grossier 13

Photo 3 : Dégrillage fin..... 12

Photo 4 : Dessablage 13

Photo 5: Vis d'Archimède..... 14

Photo 6 : Bassins Anaérobies de la STEP BUTERERE 15

Photo 7 : Bassins Facultatifs de la STEP BUTERERE..... 16

Photo 8 : Bassins de maturation de la STEP BUTERERE 16

Photo 9. Prélèvement à la sortie du bassin anérobie.....20

Photo 10. Prélèvements à la sortie des bassins..... 19

Photo 11 : Multi paramètre..... 21

Photo 12 : Rampe de filtration sous vide 23

Photo 13 : DBOmètre..... 24

AVANT-PROPOS

Cette étude a été réalisée en vue de l'obtention d'un diplôme de Master à l'Université du Burundi. Les analyses ont été effectuées aux laboratoires de la station d'épuration de Buterere, de BBN et de l'Université du Burundi.

Elle a été menée dans le cadre d'évaluer si les eaux rejetées après traitement sont conformes à la norme burundaise de rejets en milieu naturel. Elle a également été faite dans un contexte où la station d'épuration de Buterere est incapable de recevoir toute les eaux usées de la ville de Bujumbura et que son entourage est menacé par des constructions des maisons d'habitation. La station a été construite pour recevoir seulement les eaux d'égout mais actuellement elle reçoit aussi les boues de vidange.

Ce travail se rapporte sur l'évaluation de l'efficacité de traitement des eaux usées de la station d'épuration de Buterere du point de vue biologique.

En effet les eaux épurées doivent être conformes aux normes de rejets dans les milieux récepteurs. Il convient de signaler que jusqu'à l'heure la station ne possède pas de laboratoire microbiologique pour surveiller cette pollution sauf que quelques paramètres physicochimiques sont mesurés in situ. Elle possède un petit équipement pour les analyses physicochimiques.

Les conditions dans lesquelles la station a été construite ont changé suite à l'étalement de la ville. La capacité des eaux usées à traiter a augmenté d'une part, ainsi que les menaces des populations avoisinantes.

Des polluants autres que celles produites dans les ménages à assainissement collectif ou non peuvent ne pas suivre le procédé normal de traitement.

Afin d'évaluer que les eaux rejetées sont exemptes de pollution fécale, ce travail a conclu qu'à la sortie l'eau contient des microorganismes.

INTRODUCTION GENERALE

De toute substance, l'eau reste la matière la plus importante pour l'existence sur cette planète. Elle est indispensable pour la survie et pour le développement de la société moderne (Boudjatat *et al*., 2005)**.**

Les utilisations multiples de l'eau réduisent sa valeur (perte de pureté, changement de couleur, et d'odeur). Elle est alors qualifiée d'eau usée. Cette altération implique un traitement radical de ces eaux, car elles apportent plusieurs types de nuisances (Boudjatat *et al.*, 2005).

Selon leur origine, les eaux usées sont susceptibles de contenir toute sorte de polluants d'origine biologique ou chimique. Le rejet de ces eaux constitue donc un élément fondamental en matière de pollution car elles sont le lieu de nombreuses réactions chimiques et de développement de nombreux facteurs de maladies (Hamsa *et al*., 2006**)**. Elles sont normalement toutes traitées dans des stations d'épuration (STEP). Le rôle de ces dernières est de débarrasser les eaux de leur charge polluante, avant de les déverser dans la nature, qui conservent ainsi leur équilibre écologique fondamental spécifique (Boudjatat *et al*., 2005)**.** Une station d'épuration est en fait une succession des dispositifs empruntés tour à tour par les eaux usées pour en extraire au fur et à mesure les polluants et pour rendre à la nature une eau suffisante propre à son utilisation future (Meribai and Boumelit, 2001).

Le traitement des eaux usées peut prendre différentes formes : processus physiques, chimiques ou biologiques, qui modifient les caractéristiques des déchets de manière à en réduire le volume ou le caractère dangereux, à en faciliter la manipulation ou à en favoriser les valorisations (Houasni Fethia, 2018)

Le traitement biologique des eaux usées est essentiellement développé comme un moyen adapté à l'épuration des eaux usées urbaines ou industrielles. Il repose sur le principe relatif à l'épuration naturelle en rivière, c'est-à-dire sur la dégradation des matières organiques à l'aides de micro-organismes (Boudjatat *et al.*, 2005).

Au Burundi, la seule station d'épuration (STEP) de type lagunage naturel qui existe est celle de Buterere située dans la zone urbaine de Buterere de la ville Bujumbura, capitale économique du Burundi. Cette station ne permet pas d'éliminer convenablement les différents types de pollution (Ntakiyiruta *et al.*, 2021, Buhungu *et al.*, 2018). En effet, l'étude de la qualité des eaux de la rivière Kinyankonge qui est un affluant du lac Tanganyika et aussi, exutoire direct des rejets de la station d'épuration (STEP) de Buterere, a montré que cette rivière est très riche en nutriments (Buhungu *et al*., 2018). Ces eaux usées constituent, en absence d'un traitement,

un danger croissant pour la santé humaine et le milieu naturel à cause de leurs charges en matières polluantes et de micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, parasites…) (El Ouali Lalami *et al*., 2014).

L'objectif global de ce travail consiste à évaluer les performances épuratoires de la station d'épuration Buterere en vue de préserver la santé environnementale des milieux récepteurs.

Spécifiquement, ce travail consiste à :

- Déterminer les taux d'abattement des paramètres de DBO5 et MES à différents stades de traitement,
- Déterminer les taux d'abattement des microorganismes (bactéries et hélminthes) pathogènes à différents stades de traitement,
- Evaluer les rendements épuratoires du traitement biologique pour différent paramètres.

La présente étude est organisée en trois chapitres :

Le *premier chapitre* présente des généralités sur le traitement des eaux. Le *deuxième chapitre* s'intéresse à la méthodologie suivie au cours de ce travail. Le *troisième chapitre* présente les résultats obtenus et la discussion de ses derniers. La conclusion générale clôture ce mémoire.

CHAPITRE I. GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DES EAUX USEES

I.1. GENERALITES SUR LES EAUX USEES

I.1.1. Introduction

Les eaux de surface constituent un écosystème où règne une communauté d'êtres vivants qui établissent des relations et interactions entre eux et leur milieu. Dans ce fragile équilibre, si un seul facteur de l'écosystème est modifié, et c'est tout l'équilibre qui est perturbé. C'est ainsi que la présence ou l'abondance d'un élément dans un écosystème dont il est normalement absent constitue une pollution. Les eaux usées contiennent de nombreux éléments polluants. Ces polluants s'ils se retrouvent directement dans les milieux naturels perturbent les écosystèmes. Les eaux usées nécessitent d'être traitées avant leur évacuation dans le milieu récepteur, la protection de l'environnement en dépend (Bouaoua *et al*., 2020).

I.1.2. Définition des eaux usées

L'eau est le vecteur choisi par l'homme pour éliminer la majorité de ses déchets, la multiple utilisation de l'eau par l'homme donne lieu à la formation des eaux usées (Koller, 2004**).** Ces eaux usées sont ainsi collectées dans un réseau d'égout, apparait comme un liquide trouble, généralement grisâtre, contenant des matières graves et des matières en suspension d'origine minérales et organiques à des teneurs extrêmement variables. A cette charge s'associent presque toujours des matières grasses et matières colloïdes du fait de la charge polluante de ces eaux.

Il est important d'épurer ces derniers, au niveau de station d'épuration, avant de les rejeter dans l'environnement ou le milieu récepteur (Rodier and Legube, 2005).

I.1. 3. Origine des eaux usées

Les activités humaines produisent une grande variété de déchets, dont beaucoup sont entraînés par l'eau, qui doit alors être traitée avant d'être rejetée dans le milieu. L'eau chargée de convoyer ces déchets est qualifiée d'eaux usées. Les eaux usées proviennent principalement de quatre sources (Bouaoua *et al*., 2020).

I.1.3.1. Eaux usées domestiques

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux usées domestiques se retrouvent dans les égouts. On distingue généralement deux « types » d'eaux usées domestiques qui arrivent toutes les deux dans le réseau d'assainissement (Aissaoui Moncef, 2020):

- Les eaux vannes, qui correspondent aux eaux de toilettes ;
- Les eaux grises qui correspondent à tous les autres usages : lave-linge, lave-vaisselle, douche/bain, lavages des ustensiles de cuisine, etc.

I.1.3.2. Eaux usées industrielles

Tous les rejets résultants d'une utilisation autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines/industries, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales. Ces eaux ont une grande variété et peuvent être toxiques pour la vie aquatique ou pour l'homme. Les liquides résiduaires sont des liquides résultant des fabrications ; c'est le cas des solutions de produits chimiques, des solutions de sous- produits, ou le cas des liquides acides provenant de la vidange des cuves de décapage des métaux (Baumont *et al.*, 2014).

I.1.3.3. Eaux pluviales

Elles correspondent aux eaux ruisselantes sur les routes et les toitures. Elles peuvent constituer la cause de pollution importante de cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. Ces eaux sont polluées soit au contact de l'air (fumées industrielles), soit en récupérant les résidus de toitures et de chaussées (huile vidange, carburant, morceau de pneu…). Elles sont de même nature que les eaux domestiques, avec en plus de métaux lourds et des toxiques (plomb, zinc, hydrocarbures) provenant essentiellement de la circulation automobile.

Lors des précipitations importantes, les eaux usées peuvent arriver en grande quantité au niveau de la station d'épuration. Des dispositions permettent d'en limiter l'impact sur la station notamment en préconisant le bassin d'orages, bassin d'étalement, chaussées filtrantes…..etc (Rejsek, 2002).

I.1.3.4. Eaux usées agricoles

L'agriculture est une source non négligeable de pollution de l'eau car elle apporte les engrais et les pesticides. Les eaux usées agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitratés et phosphatés, sous une forme ionique, leurs ruissellements causent un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des cours d'eaux (Metahri, 2012).

I.1.4. Caractéristiques des eaux usées

Les caractéristiques des eaux usées sont extrêmement variables en fonction de leurs origines (industrielle, domestique, etc.). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physique-chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques et les substances nutritive (Baumont *et al.*, 2014).

Ci-dessous sont développées principalement les caractéristiques physicochimiques et bactériologiques analysés dans ce travail de mémoire.

I.1.4.1. Caractéristiques physicochimiques

Elles résultent de l'introduction dans un milieu des substances conduisant à son altération, se traduisant généralement par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur.

I.1.4.1.1. Température

La température est le paramètre le plus important dans les analyses de l'eau. Elle a une influence directe sur le comportement de différentes substances contenues dans l'eau et à une grande influence sur l'activité biologique (Roux, 1987). La température de l'eau dépend des échanges thermiques avec l'air ambiant et du rayonnement solaire, influence des paramètres comme l'oxygénation, la conductivité, la solubilité de différentes substances.

La température de l'eau joue un rôle non négligeable dans l'intensité de la sensation de l'eau. Elle est le facteur le plus apprécié pour une eau destinée à la consommation humaine, et aussi dans l'augmentation de l'activité chimique bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol (Gregorio and Pierre-Marie, 2007; Rodier, 1996).

I.1.4.1.2. Matières En Suspension (MES)

Les matières en suspension sont dues à la présence de particules de grande taille, supérieure à 10 µm, en suspension dans l'eau. En fait, les MES ne sont des particules solides véritablement en suspension que dans des conditions moyennes d'écoulement des effluents correspondant à une vitesse minimale de 0,5 m/s. En fonction de la taille des particules, on distingue les matières

grossières ou décantables (diamètre supérieur à 100 μm) et les matières en suspension. On peut également prendre en compte une partie des matières colloïdales, de dimension inferieure, qui constitue la limite entre la phase solide et la phase dissoute (entre 1 et 10^{-2} μm) (Rejsek, 2002).

Le rejet des MES dans le milieu naturel réduit la limpidité de ce milieu et empêche la pénétration de la lumière, diminue l'oxygène dissous et perturbe la vie aquatique. La mesure des MES permet d'apprécier la charge solide en suspension dans une eau naturelle ou résiduaire (Rejsek, 2002).

I.1.4.1.3. Matières volatiles en suspensions (MVS)

Elles sont recueillies soit par filtration, soit par centrifugation, séchées à 105°c, puis pesées, ce qui fournit la teneur en MES (mg/l). Elles sont ensuite calcinées en deux heures entre à 550-600°C. La différence de poids entre les MES à 105°C et les MES à 550°C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau. Elles sont constituées par la partie organique des MES et présentent en moyenne 70% à 80% des MES (Bourrier *et al*., 2010).

I.1.4.1.4. pH

Le pH joue un rôle capital dans le traitement biologique, il exprime le degré d'acidité ou de basicité des eaux usées. Le pH des eaux usées urbaines est généralement près de la neutralité, entre 7 et 7,5 environ. Un pH diffèrent est l'indice d'une pollution industrielle (Djemame and Moumene, 1945)**.**

Le pH de l'eau traitée rejetée dans le milieu naturel va influencer la vie de la flore et de la faune ; c'est pour cette raison que l'ordonnance ministérielle conjointe n° 770 /468 du 25 mars 2014 portant fixation des normes de rejet des eaux usées domestiques et industrielles au Burundi impose que pour les rejets dans la nature des eaux traitées, le pH doit se situer entre 6 et 9.

I.1.4.1.5. Conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique entre deux électrodes (Zeghoud, 2014). La mesure de celle-ci permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau, elle donne une idée sur la salinité de l'eau. Des variations de la conductivité peuvent influencer sur le traitement biologique et la décantation, elle s'exprime en ms/cm *(*Hamimed *et al.*, 2018).

I.1.4.1.6. Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)

La demande biochimique en oxygène après cinq jours (DBO5) d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommée par les microorganismes aérobies présents dans un échantillon pour une oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques pendant cinq jours. Pratiquement, la demande biochimique en oxygène devrait permettre d'apprécier la charge du milieu considéré en substances facilement biodégradables, son pouvoir auto-épurateur et d'en déduire la charge maximale acceptable (Rodier *et al*., 2009)**.**

I.1.4.2. Caractéristiques bactériologiques des eaux usées

Dans les eaux usées, la charge bactérienne représentant la part des microorganismes pathogènes pour l'homme est généralement très élevée (soit 10^9 à 10^{10} germes/litres) (Gauthier and Pietri, 1989)**.** Le degré de pollution de ces eaux est cependant évalué par le dénombrement d'autres bactéries entériques, appelés indicateurs de pollution fécale en générale tels que des virus, des parasites ou des bactéries qui présentent un risque pour la santé humaine et animale. Ils sont très abondants dans les eaux usées (Djemame and Moumene, 1945).

Dans cette étude, les bactéries comme les coliformes, l'E coli et les staphylocoques ont été analysées. La raison de ce choix tient essentiellement au fait que la numération de ces bactéries est beaucoup plus simple et rapide (24 à 48 heures) à réaliser. La présence des coliformes et des entérocoques suffit par exemple à confirmer qu'il y a eu pollution par des matières d'origine fécales.

I.1.4.2.1. Coliformes totaux et fécaux

Les coliformes sont des micro-organismes que nous retrouvons partout dans notre environnement, par exemple dans le sol ou la végétation, ainsi que dans les intestins de mammifères, dont les êtres humains. L'ensemble de ces coliformes se nomme coliformes totaux. Certains groupes de coliformes fécaux se retrouvent dans les excréments des animaux à sang chaud (Hadji *et al*., 2020) .

Le terme « coliforme » correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance, capables de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 heures, à des températures de 35 à 37 °C. Les coliformes sont intéressants car un très grand nombre d'entre eux vivent en abondance dans les matières fécales des animaux à sang chaud et de ce fait, constituent des indicateurs fécaux de la première importance (Rodier, 2005).

Les coliformes fécaux (CF) sont appelés aussi les coliformes thermo-tolérants, ce sont des coliformes qui fermentent le lactose mais à 44 °C (Rodier, 2005; Rodier *et al,*. 1996).

Les coliformes fécaux ne se trouvent que chez les animaux, ce qui fait d'eux un indicateur intéressant. Leur présence dans l'eau traduit donc nécessairement une contamination fécale (Approfondies, 2006).

I.1.4.2.2. Escherichia coli (E. Coli)

Appelée aussi colibacille, il s'agit d'une bactérie présente de façon naturelle dans le tube digestif de l'être humain et de nombreux animaux. Elle est en temps normal non pathogène c'est-à-dire non responsable d'infection, mais peut le devenir dans certaines conditions. L'E. Coli appartient à la famille des Entérobactéries. Il s'agit d'un bacille Gram négatif, en forme de bâtonnet, sporulé, qui peut se déplacer au moyen de flagelles ou être non mobile (Khadidja, 2001).

Les bactéries E. coli sont considérées comme le meilleur indicateur de contamination fécale. Leur présence dans l'eau signifie que cette dernière est contaminée par une pollution d'origine fécale et qu'elle peut donc contenir des microorganismes pathogènes. Bien que la plupart de ces bactéries ne soit pas pathogènes, elles peuvent présenter des risques pour la santé, ainsi pour que la qualité de l'eau, provoquant des odeurs et saveurs désagréables (Abayahia and Chebouat, 2023).

I.1.4.2.3. Staphylocoques

Les staphylocoques sont des cellules sphériques de 0,5 à 25 µm généralement regroupés en amas. Ils sont immobiles et ne forment pas de spores. Ils sont aérobies ou anaérobies facultatifs, Gram(+), possèdent une catalase (+) qui permet de les différencier des Streptocoques, fermentent les sucres en produisant de l'acide lactique (Plata *et al*., 2009).

L'espèce *staphylococcus aureus* ou (staphylocoque doré) possède tous ces caractéristiques, ajoutant à cela qu'elle est coagulasse (+).Il est à noter que les staphylocoques sont ubiquistes, très largement distribués dans l'environnement (Leclerc *et al.*, 1995).

Le Staphylococcus aureus (S.aureus) est une bactérie commune ou germe qui peut vivre dans le nez, la peau ou dans l'intestin (Bendimerad, 2010) et colonise la peau et des surfaces muqueuses de l'être humain ainsi que de plusieurs espèces animales (Wertheim, 2005). S. aureus est équipé d'un grand nombre de facteurs de surface favorisant la colonisation de l'hôte (Baba *et al.*, 2008).

I.1.4.3. Caractéristiques parasitologiques (les helminthes)

Les helminthes sont des vers multicellulaires. Ce sont majoritairement des organismes parasites rencontrés dans les eaux résiduaires. Le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué 10^1 et 10^3 germes/l (Faby and Brissaud, 1997). Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs. Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour fixer les objectifs de traitement ou la réutilisation des eaux usées. En effet, la persistance de ces organismes a différentes conditions environnementales ainsi que leur résistance permet leur reproduction, ce qui constitue leur risque potentiel pour la santé de l'homme (Campos, 2008).

I.2. TRAITEMENT DES EAUX USEES EN VILLE DE BUJUMBURA

En ville de Bujumbura, deux types de traitement d'eaux usées sont utilisés: traitement par système d'assainissement collectif et par système d'assainissement non collectif (Bigumandondera, 2014).

I.2.1. Zones à assainissement collectif à Bujumbura

Dans la ville de Bujumbura, l'assainissement collectif concerne principalement le centre-ville. Dans cette localité, les eaux usées collectées sont acheminées par un réseau d'égout vers la station d'épuration (STEP) de Buterere (Figure 2), une station de type lagunage naturelle. Sur treize zones, reparties actuellement en trois communes, seulement cinq (Ngagara, Buyenzi, Bwiza, Nyakabiga et Rohero) sont partiellement raccordées à la STEP de Buterere (Bigumandondera, 2014).

I.2.2. Système d'assainissement non collectif

Les technologies d'assainissement non collectif utilisent dans la plupart des cas le sol en place pour stocker, traiter et évacuer les eaux usées domestiques (Musy and Soutter, 1991). Les boues qui s'accumulent dans les installations d'assainissement non collectif devront à un certain moment subir une vidange, suivie d'un transport vers un site de traitement/valorisation afin de prévenir les risques sanitaires et environnementaux liés à ces boues de vidange (Bigumandondera, 2014).

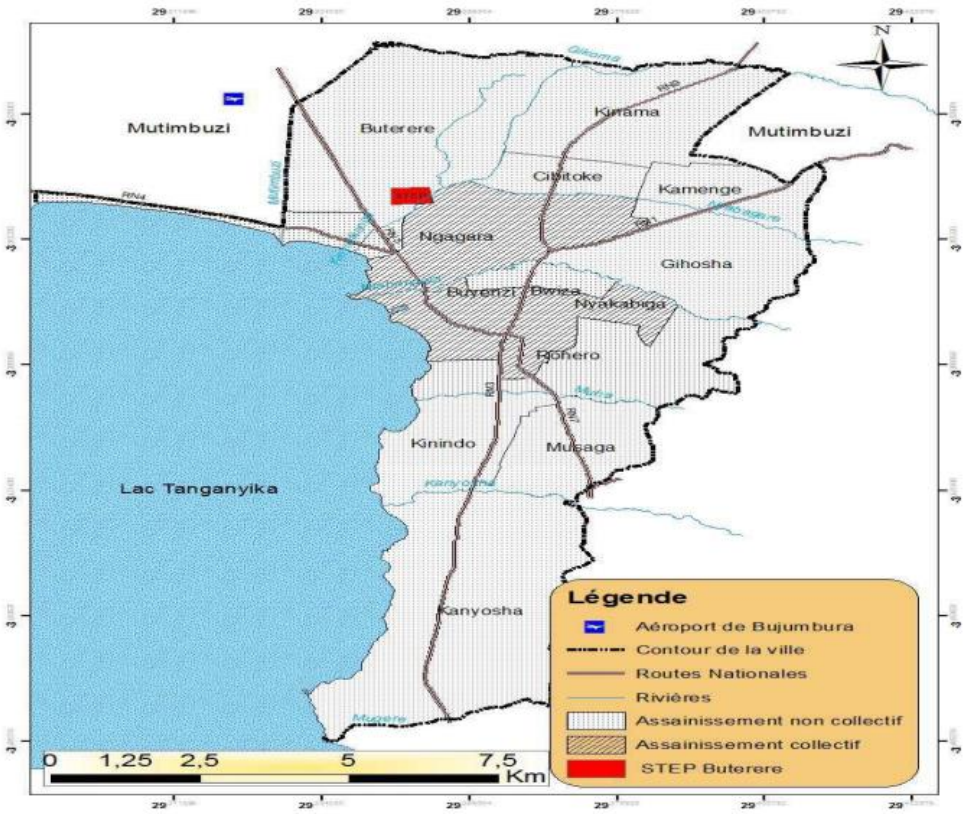


Figure 1 : Zones à assainissement collectif et non collectif en ville de Bujumbura (Bigumandondera, 2014)

I.2.3. Description de la station d'épuration de Buterere

La station d'épuration de Buterere, est une station d'épuration de type lagunage naturel (Figure 2). Elle a été implantée en zone urbaine de Buterere et elle est située à environ deux kilomètres du lac Tanganyika. Elle s'étend sur une superficie d'environ 64 hectares et avait été dimensionnée pour une charge nominale de 266 667 Equivalent-Habitants (EH), calculée sur la base du débit journalier maximal à traiter de 40 000 m^3/J et d'un volume de rejet par EH de 150 L/J (Niyongabo, 2006). Son exploitation date de l'année 1994 et le projet avait été réalisé dans le but de collecter, d'évacuer et de traiter toutes les eaux usées générées dans la zone du projet (Niyongabo, 2006). Cette STEP rejette ses effluents dans la rivière Kinyankonge qui est située tout près de celle-ci.

Le système lagunage naturel de Buterere comprend deux (2) séries de bassins montées en parallèle et fonctionnant en alternance (Figure 5). Chacune de ces séries est donc constituée : (i) d'un bassin anaérobie (BA), (ii) d'un bassin facultatif (BF) et (iii) d'un bassin de maturation (BM). Chacun de ces bassins joue un rôle spécifique et il est dimensionné de manière à accomplir sa tâche. Le principe d'épuration est basé sur l'activité des microorganismes qui

dégradent la matière organique (Ntakiyiruta, 2021). La station d'épuration de Buterere est exactement située au nord-ouest de la ville de Bujumbura à cheval entre les zones de Ngagara et de Buterere.

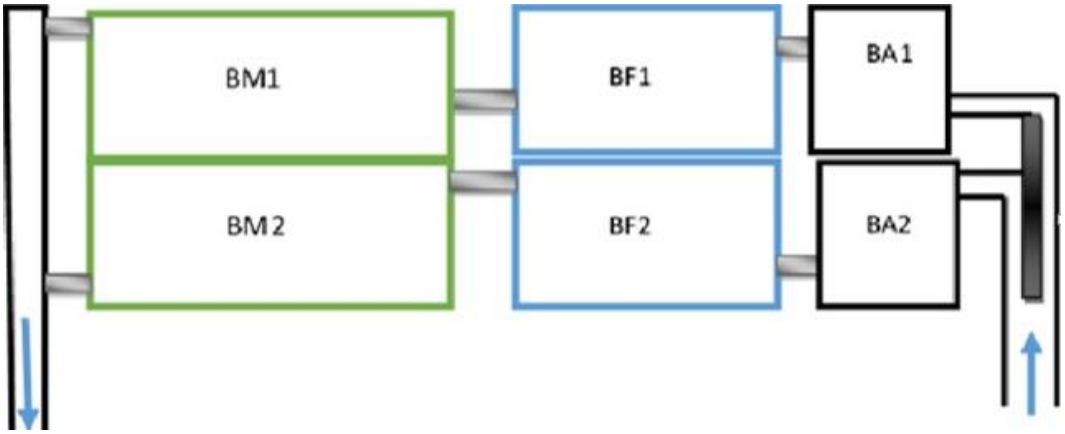


Figure 2 : Schéma d'illustration de la station d'épuration (STEP) de Buterere.



Photo 1 : Photographie de la station d'épuration (STEP) de Buterere

I.2.3.1. Etapes de traitement des eaux usées à la station de Buterere

Du point de vue technique, une station d'épuration a pour principale tâche de dégrader et de séparer les polluants de l'eau (boues, particules, substances dissoutes) par des procédés chimiques, physiques et biologiques (Djemame Akila, 2011).

I.2.3.1.1. Traitement physique

✓ **Prétraitement**

Le prétraitement a pour objectif de séparer les matières grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement. Il comprend quatre principaux modes de traitement des eaux usées :

- Le dégrillage pour retenir les déchets volumineux,
- Le dessablage pour retenir le sable et éviter l'abrasion des équipements
- Le dégraissage et le déshuilage a pour but d'éliminer les huiles et les graisses *(*Bouaoua *et al.*, 2020).

La STEP Buterere comprend les opérations suivantes : le dégrillage, le dessablage et le relevage

✓ **Dégrillage**

Il consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille ou une série de grilles composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale. L'espacement des barreaux varie de 6 à 100 mm, cela permet de retenir les éléments les plus grossiers. La vitesse moyenne de passage entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s, juste ce qu'il faut pour provoquer l'application des matières sur la grille, sans pour autant provoquer une perte de charge trop importante ou faire passer des matières avec le flux d'eau (Boumansour et Smahi, 2020).

L'efficacité de ce traitement dépend essentiellement de l'écartement des barreaux des grilles qui sont de deux types :

- Dégrillage fin (écartement 3 à 10 mm) ;
- Dégrillage grossier (écartement 50 à100 mm).(Marc and Bechir, 2006)



Photo 2 : Dégrillage grossier



Photo 3 : Dégrillage fin

✓ **Dessablage**

Après le dégrillage, il reste encore dans l'eau des fragments qui peuvent décanter facilement, mais dont la dureté et la taille sont relativement importantes, supérieure à 0,2 mm de diamètre, et qui pourraient conduire à l'abrasion de certains éléments de la station et particulièrement les pompes, on élimine ces matériaux facilement décantables dans de petits bassins rectangulaires ou circulaires (Belgiorno *et al.*, 2007)

Réalisé par décantation, le dessablage vise à éliminer le sable et les graviers. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé « dessableur » entraine leur dépôt au fond de l'ouvrage.



Photo 4 : Dessablage

✓ **Relevage**

Le passage des eaux usées du dégrillage au dessablage se fait par gravité. Le niveau des eaux usées du dessablage étant en général plus bas que les bassins de traitement. Une station de relèvement permet d'assurer leur pompage en tête de station afin d'acheminer les eaux usées dans les bassins lorsque ces derniers sont à un niveau plus bas que les installations de prétraitement grâce à des vis d'Archimède (Guergour, 2018).



Photo 5: Vis d'Archimède

I.2.3.1.2. Traitement biologique

Les étapes de traitement primaire (Prétraitement) permettent l'enlèvement des matières en suspension, l'eau n'est pour autant pas traitée complètement. Une quantité non négligeable de matière organique dissoute est toujours contenue dans l'eau.

Le traitement secondaire (biologique), qui fait suite au traitement primaire dans le déroulement séquentiel des procédés d'épuration des eaux usées, vise à épurer l'eau, en se basant sur les méthodes d'autoépuration existant naturellement. Les bactéries présentes dans l'eau vont, en effet, être mises à contribution pour dégrader la matière organique. Il existe différents systèmes de traitement biologique :

- ✓ **Bassins anaérobies**

Les deux (2) bassins anaérobies sont placés en amont du système et sont montés en parallèle. Ils sont dimensionnés de manière à favoriser la dégradation anaérobie de la matière organique, c'est à dire que ce sont les bactéries anaérobies qui dégradent la matière organique (Edeline, 1997). Il est par conséquent dépourvu d'oxygène et d'algues. L'entrée et la sortie d'eaux dans le bassin sont situées dans des coins diagonaux de celui-ci et l'objectif est d'augmenter, dans les bassins, le temps de séjour hydraulique (TSH). Quant aux caractéristiques géométriques de chacun d'eux, elles sont présentées dans le Tableau 1.

Suivant les normes proposées par l'OMS, un bassin anaérobie doit être caractérisé par un temps de séjour hydraulique (TSH) de 1 à 5 jours avec une profondeur de 2,5 à 5 mètres (Mara, 2013).



Photo 6 : Bassins Anaérobies de la STEP BUTERERE

- ✓ **Bassins facultatifs**

Les deux (2) bassins facultatifs montés en parallèle viennent après les bassins anaérobies. Ils sont dimensionnés de manière à favoriser la décomposition aérobie, c'est à dire que ce sont les bactéries aérobies qui dégradent la matière organique (Edeline, 1997). Dans de tels bassins, la présence d'oxygène dissous est obligatoire dans les couches supérieures pour que les bactéries aérobies et/ou facultatives ainsi que les algues puissent assurer convenablement leur rôle épurateur. Dans les couches inférieures, il n'y a pas évidement d'oxygène dissous. Mais du fait que ces bassins sont moins profonds, la couche inférieure est très négligeable de sorte que son influence ne se fait pas remarquer. Techniquement, les bassins facultatifs reçoivent les effluents qui sortent des bassins anaérobies, c'est à dire dont une partie de pollution a été déjà éliminée.

L'entrée et la sortie d'eaux dans le bassin sont situées dans des coins diagonaux de celui-ci et l'objectif est d'augmenter le temps de séjour hydraulique (TSH). Les normes de l' OMS envisagent qu'un bassin facultatif doit être caractérisé par un temps de séjour hydraulique (TSH) de 5 à 50 jours avec une profondeur de 1 à 1,5 mètres (Mara, 2013).



Photo 7 : Bassins Facultatifs de la STEP BUTERERE

✓ **Bassins de maturation**

Les deux (2) bassins de maturation montés en parallèle viennent après les bassins facultatifs. Ces bassins sont placés en aval du système et sont également appelés bassins de finition. Leur principe de fonctionnement est basé sur la décomposition aérobie et leur rôle principal est l'élimination des agents pathogènes, la réduction des nutriments (azote et Phosphore), l'élimination des matières en suspension et des matières organiques biodégradables n'ayant pas été éliminées lors des étapes précédentes (Mara, 2013). L'entrée et la sortie d'eaux dans le bassin sont situées dans des coins diagonaux de celui-ci et l'objectif est d'augmenter le temps de séjour hydraulique (TSH) (Mara, 2013).



Photo 8 : Bassins de maturation de la STEP BUTERERE

Les caractéristiques géométriques de chacun des bassins de la STEP de Buterere sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques géométriques des bassins de la STEP de Buterere (Niyongabo, 2006).

Bassins	**BA_1**	**BA_2**	**BF_1**	**BF_2**	**BM_1**	**BM_2**
Longueur (m)	90	90	528	528	731	731
Largeur (m)	150	150	150	150	150	150
Surface (m^2), (L*l)	13500	13500	79200	79200	109650	109650
Profondeur(m)	2	2	1,5	1,5	1	1
Volume (m^3)	27000	27000	11880	118800	109650	109650
TSH(j)	1,35	1,35	5,94	5,94	5,48	5,48
Début théorique (m^3/j)	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

Sachant que les eaux usées constituent un élément fondamental en matière de pollution car elles sont le lieu de nombreuses réactions chimiques et de reproduction de nombreux facteurs de maladies, le traitement de ces eaux doit être efficace pour protéger l'environnement du risque de pollution.

Afin d'analyser les performances de la station d'épuration de Buterere, des analyses physicochimiques et microbiologiques ont été effectuées dans le but d'évaluer l'efficacité de traitement biologique de la STEP de BUTERERE et surtout de l'élimination des parasites et de microorganismes patogènes.

II.1. Matériel

II.1.1. Prélèvement et suivi des paramètres

II.1.1. 1. Echantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération à laquelle le plus grand soin doit être apporté avec plus d'homogénéité et de représentativité.

L'échantillonnage s'est fait à la sortie de chaque bassin de la STEP Buterere dans la période du 5 Juin 2023 au 26 Juin 2023. Au total, 4 prélèvements ont été effectués à différents points (Figure 11) à raison d'une fois par semaine. La figure 11 montre les différents points de prélève.

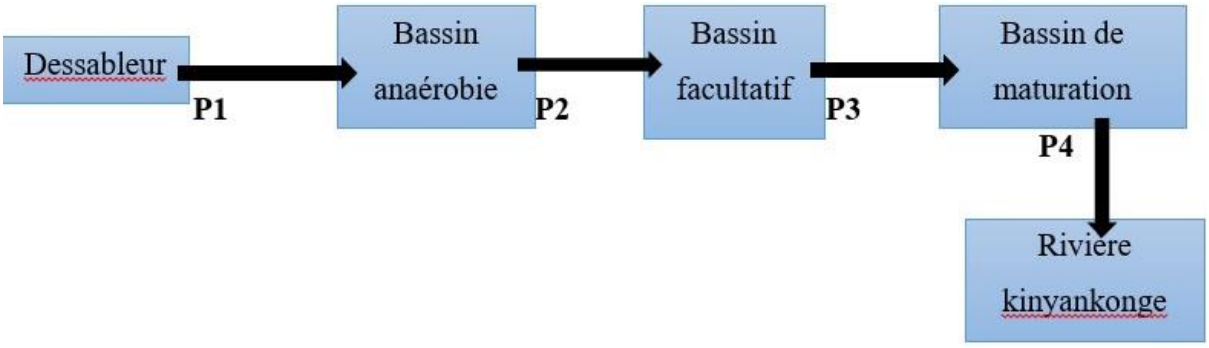


Figure 3. Points de prélèvement des échantillons

Avec :

P1 : Sortie du dessableur

P2 : Sortie du bassin anaérobie

P3 : Sortie du bassin Facultatif

P4 : Sortie du bassin de maturation

Les points P2, P3, P4 représentent les échantillons prélevés à la sortie de deux bassins parallèles à raison de 50% pour obtenir un mélange homogène de l'échantillon global. La fréquence d'échantillonnage est de l'ordre d'une fois par semaine.

II.1.1.2. Bonnes pratiques des techniques de prélèvement

Avant de commencer le prélèvement, il a été nécessaire de nettoyer le matériel de l'eau de robinet et du détergent puis le rincer à l'échantillon, afin de réduire le minimum de risque de contamination. Le préleveur doit se laver les mains avant chaque prélèvement et utiliser des gants jetables.

Les échantillons d'eaux usées ont été prélevés manuellement au niveau de chaque point de prélèvement à quelques centimètres de la surface libre d'eau et les précautions suivantes ont été observées :

- Eviter de prélever dans les zones mortes, les obstacles et en évitant la remise en suspension des dépôts.
- Pour les analyses bactériologiques, les eaux doivent être prélevées dans des flacons stériles en verre de 1000 ml. Ces flacons une fois bouchés assurent une protection totale contre toute contamination extérieure.
- Etiqueter les flacons pour les identifier: (date et heure de prélèvement, point de prélèvement et l'origine de l'échantillon).



Photo 9. Prélèvement à la sortie du bassin anaérobie.



Photo 10. Prélèvements à la sortie des bassins

II.1.1.4. Transport et conservation des échantillons

La teneur initiale en germes des eaux risque de subir des modifications dans le flacon, après le prélèvement. C'est pour cela que toute analyse doit être effectuée le plus rapidement possible. L'évolution est d'ailleurs assez difficile à prévoir et dépend de nombreux facteurs : température, concurrence bactérienne des espèces présentes, composition chimique de l'eau (Rodier *et al*. 1996).

Pour les analyses in situ, les échantillons ont été transportés vers le laboratoire de la STEP Buterere dans un temps ne dépasse pas 30 min pour réaliser les analyses physico-chimiques.

Les échantillons d'eaux usées destinés aux analyses ex situ en laboratoire ont été recueillis dans des bouteilles en plastique stérilisées. Placés dans des boîtes isothermes à une température de 4 et 6°C, les échantillons ont été immédiatement transportés aux laboratoires de l'UB et de BBN) pour la réalisation des analyses microbiologiques et parasitologiques. L'analyse bactériologique doit débuter dans un délai maximal de huit heures, après le recueil de l'échantillon. En aucun cas l'analyse ne doit être effectuée lorsque le délai dépasse 24 heures (Rodier *et al.*, 1996).

II.2. Méthodes

II.2.1. Analyses physico-chimiques

Les paramètres analysés sont ceux relatif aux matières en suspension et volatiles (MES et MVS), au potentiel hydrogène (pH), à la conductivité électrique, à la température et à la Demande Biochimique en Oxygène (DBO5).

A part les paramètres de DBO5, MES et MVS, les autres ont été mesurés in situ.

La mesure du pH, de la température, de la conductivité ont été déterminées par un appareil multi-paramètres de type Consort C6010

Les méthodes utilisées sont brièvement décrites ci-dessous.

II.2.1.1. Température (Hallouche Sarah, 2022)

Pour mesurer la température il faut rincer l'électrode avec de l'eau usée à analyser, l'introduire dans l'échantillon et lire la température relative à cet échantillon directement sur le multi paramètre (photo 11) en °C.



Photo 11 : Multi paramètre

II.2.1.2. pH

Le potentiel hydrogène (pH) est une mesure de l'acidité. C'est à dire la concentration des ions hydrogène présent dans l'eau ou les solutions (Sergma et al., 2022). Il est mesuré à l'aide d'une électrode de pH liée au multi paramètres (photo 11).

✓ **Monde d'emploi** (Hallouche Sarah, 2022)

- Allumer le pH mètre ;
- Vérifier les diverses connexions : secteur, électrodes, etc. ;
- Rincer et essuyer soigneusement l'électrode ;
- Immerger l'électrode dans l'eau à analyser qui se trouve dans un bécher ou erlenmeyer ;
- La lecture se fait directement après la stabilisation de la valeur affichée du pH.

II.2.1.3. Conductivité

La conductivité électrique est probablement une des mesures les plus simples et les plus importantes pour le contrôle de la qualité des eaux usées. Elle traduit le degré de minéralisation globale, et renseigne sur le taux de salinité, elle est composée par une sonde de conductivité électrique liée au multi paramètre (N'diaye et al., n.d.) (photo 11) ; le mode opératoire est le suivant :

L'analyse s'effectue sur un prélèvement d'eau usée dont le volume doit être suffisant pour prolonger la sonde de conductivité.

- Allumer l'oxymètre ;
- Vérifier les diverses connexions : secteur, électrodes, cellule, etc. ;
- Rincer et essuyer soigneusement l'électrode ;
- Plonger l`électrode dans l'échantillon à analyser ;
- La lecture se fait directement après la stabilisation de la teneur en oxygène dissous affichée sur l'appareil.

II.2.1.4. MES

Les MES sont des matières fines organiques ou minérales insolubles, visibles à l'œil nu et qui sont à l'origine de la turbidité de l'eau. Elles limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, diminuent la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique.

Ces matières sont en relation avec la turbidité. Leur mesure donne une première indication sur la teneur en matière colloïdale d'origine minérale ou organique (Sihem and Hadjer, 2010).

✓ **Monde d'emploi** (Rodier, 1996)

- Mettre les membranes filtrantes dans une étuve à 105 °C pendant 20 minutes.
- Laisser refroidir dans le dessiccateur.
- Ensuite les peser, soit (M0).
- Placer les membranes dans la rampe de filtration et faire passer 50 ml d'eau à analyser à travers.
- Placer les membranes à l'étuve avec une température réglée à 105°C afin de les sécher pendant 20 minutes.
- Laisser-les refroidir au dessiccateur puis les peser une 2ème fois (M1)

✓ **Expression des résultats**

Le rapport entre la différence des masses et le volume filtré donne la concentration des Matières en suspension dans l'échantillon. On applique la formule suivante :

$$C_{MES} = \frac{(M1 - M0) * 1000}{V}$$

Avec :

C_{MES} : concentration de MES en mg/l ;

M0 : masse de la membrane avant filtration ;

M1 : masse de la membrane après filtration et séchage à l'étuve ;

V : volume d'échantillon filtré.



Photo 12 : Rampe de filtration sous vide

II.2.1.5. MVS

Pour la détermination des MVS, le filtre et les matières sèches sont mis dans un four réglé à 550°C. Deux heures plus tard, ils sont sortis et placés dans un dessiccateur pour les ramener à la température ambiante. Ils sont alors pesés et la masse m2 est obtenue. Le calcul des MVS se fait par l'intermédiaire de l'équation (Ayaicha Marw Bahloul Aicha, 2016):

$$MVS = \frac{(M1 - M2) * 1000}{V}$$

Avec

MVS = concentration des matières volatiles en suspension (mg/ml)

M1= masse du filtre après filtration et passage à l'étuve (mg)

M2 = masse du filtre après filtration et passage à l'étuve et au four (mg)

V = volume d'échantillon filtré (ml)

II.2.1.6. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5)

L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermostat est mis sous incubation. On fait la lecture de la concentration en mg/l d'oxygène, nécessaire aux microorganismes pour la dégradation de la matière organique biodégradable en cinq (5) jours. Les microorganismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par l'oxygène de l'air, contenu dans le flacon provoquant une diminution de la pression au-dessus de l'échantillon (Benazia and Maiassi, 2021).



Photo 13 : DBOmètre

II.2.2. Analyses microbiologiques

La bactériologie de l'eau est basée sur la recherche des germes du groupe coliforme, en particulier Escherichia coli, et de quelques autres germes sporulés qui sont des indicateurs d'une pollution par matières fécales. En effet, les bactéries aquatiques sont extrêmement diverses et variées.

L'analyse microbiologique doit permettre de quantifier dans l'échantillon une flore particulière. Le résultat d'une telle analyse quantitative est rendu sous forme d'une concentration en micro-organismes (appartenant à une flore particulière) par unité de masse ou de volume d'échantillon.

Les paramètres bactériologiques ont été déterminés par Numération microscopique. Il s'agit d'un dénombrement par observation directe sous microscope optique; la numération cellulaire est réalisée par comptage au microscope, à l'aide d'une lame de comptage spéciale ou cellule de numération ou hématimètre (Cellule de Malassez) (Yamina, 2022).

II.2.2.1. Analyses bactériologiques

II.2.2.1.1. Préparation des dilutions décimales

Les dilutions décimales sont réalisées pour faciliter le dénombrement des germes. A partir de l'eau de l'échantillon, 1ml est introduit dans un tube contenant 9ml d'eau distillée à l'aide d'une pipette graduée stérile, C'est la dilution 1/100 (10^{-2}). La dilution 1/1000 (10^{-3}) sera préparée de la même façon mais à partir de la dilution précédente. Les dilutions décimales successives sont effectuées afin de diminuer la charge bactérienne.

II.2.2.1.2. Lecture et expression des résultats (Lotfi, 2020)

Retenir pour comptage, les boîtes de Pétri contenant un nombre de colonies compris entre 10 et 300.Le nombre N de microorganismes dénombrés par ml, est calculé à l'aide de l'équation suivant :

$N= \sum c/ (n1 + 0,1\times n2) \times d$

c : Somme totale des colonies comptées.

n1 : Nombre de boîtes comptées dans la première dilution.

n2 : Nombre de boîtes comptées dans la seconde dilution.

d : Facteur de dilution à partir duquel les premiers comptages ont été obtenus.

II.2.2.1.3. Recherche et dénombrement des coliformes totaux

1. Ensemencement en profondeur sur le milieu VRBL« Rouge Violet Bile Lactose Agar »
- On met 1ml dans un boite de pétri vide et stérile
- Verser le milieu de culture
- Circulation sous la forme 8 pour l'homogénéisation
- Laisser la boite sur la paillasse jusqu'à la solidification
2. Incubation à 37°C pendant 24 heures.

II.2.2.1.4. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux

1. Ensemencement en profondeur :
    - On prend 1 ml des échantillons à l'aide d'une pipette pasteur dans une boite pétrie
    - Verser le VRBL et laisser sur la paillasse jusqu'à la solidification ensuite en ajoute la gélose nutritif.
2. Homogénéiser les boites par la circulation de forme 8
3. Laisser les boit jusqu'au refroidissement.
4. Incuber les boites pétries dans l'étuve pendant 24-48 heures à 44C°.

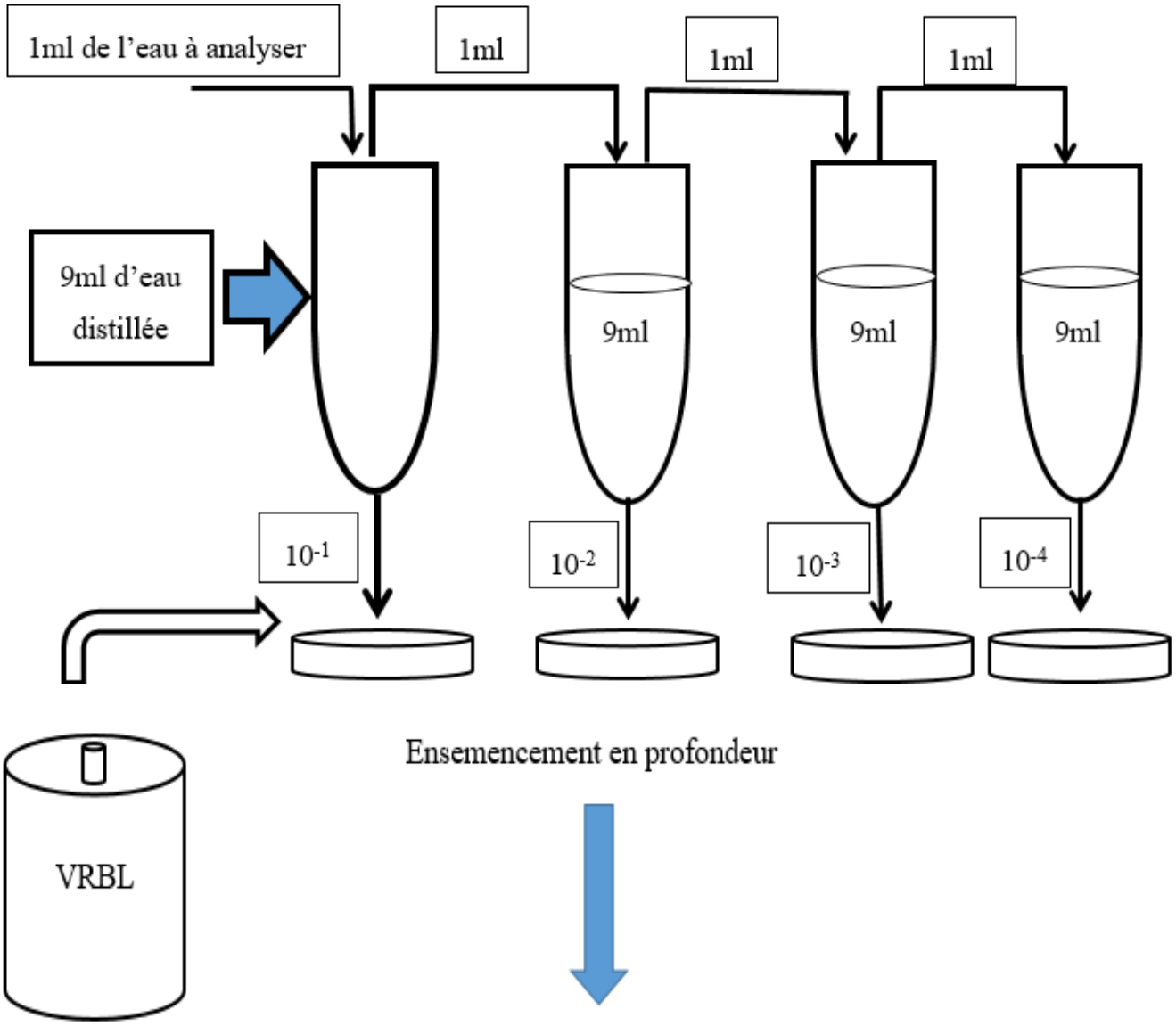


Figure 4 : Mode opératoire de recherche et dénombrement des Coliformes.

II.2.2.1. 5. Recherche et dénombrement des Staphylocoques

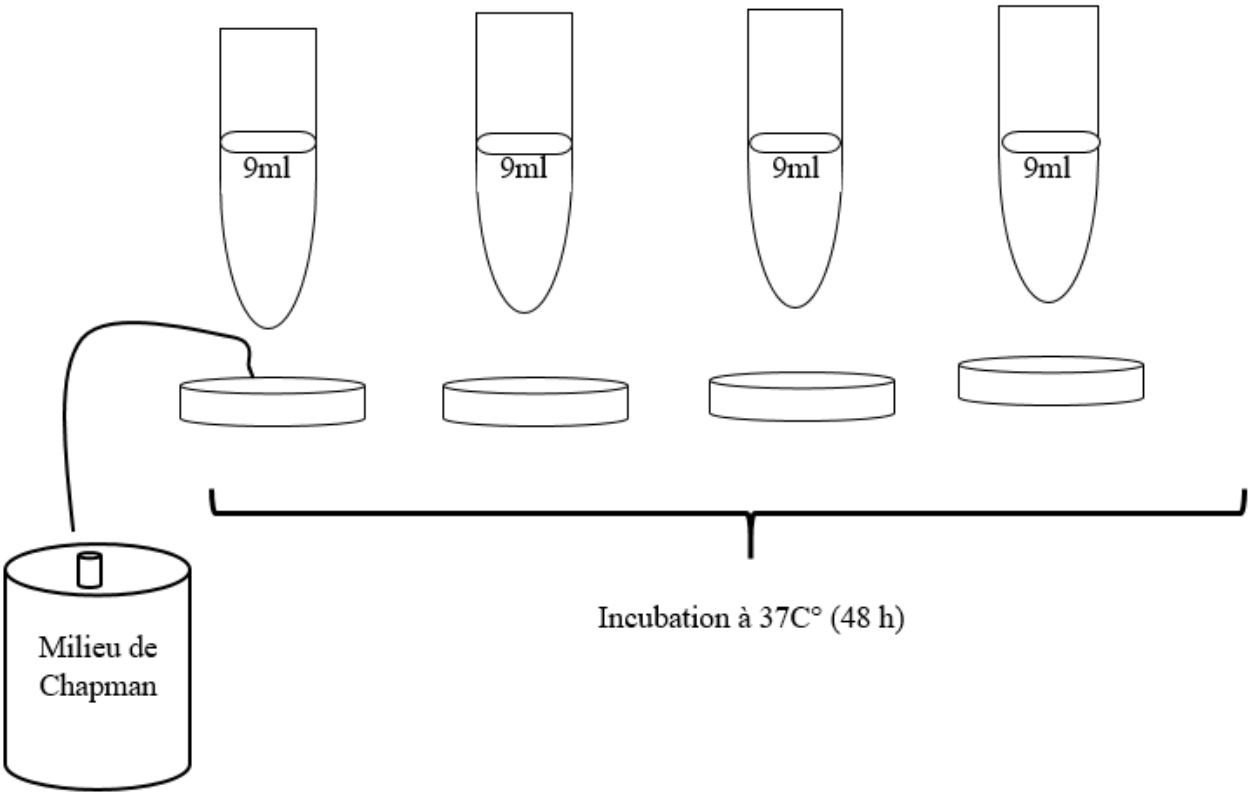


Figure 5 : Recherche des Staphylocoques.

II.2.2.2. Paramètres parasitologiques

A chaque échantillonnage, 1l d'eaux usées ont été prélevés à l'aide des récipients ou des flacons stériles (PVC). Ces échantillons ont été fixés au formol 10%, étiquetés et acheminées au laboratoire pour les analyses parasitologiques.

II.2.2.2.1. Méthode de concentration

Il existe de nombreuses techniques qui permettent l'étude et la numération des parasites présents dans les eaux usées. Chacun a ses propres avantages et inconvénients : certains ont un taux de récupération élevé mais s'étendent très longtemps ; un grand nombre d'autres sont non reproductibles en raison d'un manque de précision suffisante, et leur taux de récupération est indéterminé ; les autres nécessitent cependant des produits chimiques coûteux ou inadaptés aux laboratoires mal équipés. D'autres, enfin, ne permettent que la concentration d'un ensemble limité d'espèces. Il est clair qu'il n'y a pas de méthode qui puisse être utilisée pour tous les œufs d'helminthes médicalement importants (Ayres *et al*., 1997).

La méthode repose sur une seule méthode de concentration permettant l'étude de la qualité de parasites pouvant être présents dans les eaux résiduaires, il s'agit de celle de « BAILANGER

modifiée » qui est largement utilisée dans les laboratoires d'analyse parasitologique (Assia, 2022).

Cette technique d'enrichissement est suivie de l'identification et de la quantification des œufs d'helminthes (Idrissi A *et al*., 2020), fortement recommandée par l'OMS. Elle est intéressante par sa rapidité, sa simplicité, son efficacité et sa reproductibilité grâce aux caractères constants des réactifs qui sont non toxiques et pas onéreux. Cette méthode a pour but la concentration des éléments parasitaires par élimination des débris sous l'effet de forces attractive qu'exercent les deux phases non miscibles acéto-acétique et éther sur les particules hérissées des groupements hydrophiles et lipophiles (Hamaidi-Chergui *et al*., 2016).

II.2.2.2.2. Mode opératoire (Ayres *et al*., 1997)

Les diverses étapes sont les suivantes :

- Après avoir prélevé un échantillon d'eaux usées de volume connu, généralement 1 litre.
- Laisser reposer 1 à 2 heures.
- Retirer 90 % du surnageant avec une pompe aspirante ou une pompe à main (siphon)
- Transférer délicatement le sédiment dans un ou plusieurs tubes à centrifuger, selon le volume, et centrifuger pendant 15 min.
- Eliminer le surnageant et centrifuger pendant 15 min.
- Suspendre le culot dans son volume de tampon acéto-acétique à pH 4,5
- Ajouter deux volumes d'acétate d'éthyle ou d'éther et bien mélanger la solution avec un mélangeur vortex vibrant.
- Centrifuger pendant 15 min. L'échantillon comprend alors trois phases distinctes. Tous les débris lourds de nature non grasse, y compris les œufs et les larves d'helminthes et les protozoaires, sont collectés dans la couche inférieure. Ci-dessus se trouve le tampon, qui doit être clair. Les graisses et autres ont migré dans l'acétate d'éthyle ou l'éther et forment un bouchon épais de couleur foncée au-dessus de l'échantillon.
- Noter le volume du culot contenant les œufs, puis jeter le surnageant restant en une seule fois en inclinant délicatement le tube.
- Remettre en suspension le culot dans 5 fois son volume de solution de sulfate de zinc. Enregistrer le volume du produit final. Bien mélangé, de préférence à l'aide d'un mélangeur vortex vibrant.
- Prélevez rapidement une fraction avec une pipette Pasteur et placez-la sur une lame McMaster pour l'examen final.

- Laisser reposer la lame McMaster remplie sur une surface plane pendant 5 minutes avant de l'examiner. Cela donne le temps à tous les œufs de flotter à la surface.
- Placez la lame McMaster sur une platine de microscope et examinez-la à un grossissement de 10x ou 40x. Comptez tous les œufs visibles dans le micromètre dans chaque cellule de la lame McMaster. Pour plus de précision, répétez le comptage sur deux lames, ou de préférence trois, et notez le nombre moyen trouvé.

Calculer le nombre d'œufs par litre à l'aide de la formule ci-dessous :

N = AX/PV

Où :

N = nombre d'œufs par litre d'échantillon

A = nombre d'œufs comptés sur la lame McMaster ou moyenne des nombres trouvés dans deux ou trois lames

X = volume du produit final (ml)

P = Contenance de la lame McMaster (0,3 ml)

V = volume de l'échantillon initial (litres).

Ne pas oublier que, si l'on utilise une lame McMaster à une seule cellule, P = 0,15 ml

CHAPITRE III. PRESENTATION, INTERPRETATION ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

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

Afin d'évaluer les performances de l'épuration des eaux usées au niveau de la STEP de Buterere, une étude sur l'évolution des paramètres physicochimiques et microbiologiques à différents stades de traitement a été réalisée durant une période d'un mois (Juin 2023).

Les résultats des paramètres physicochimiques, parasitologiques et bactériologiques des eaux usées prélevées à ces différents endroits ci haut cités sont présentés dans les tableaux 2,3 et 4

Tableau 2. Résultats des analyses physicochimiques

	Paramètres	**Unités**	**Sortie D**	**Sortie BA**	**Sortie BF**	**Sortie BM**
1ère semaine	T°	°C	26,3	26	25,9	26,4
	pH	-	9,3	8,7	8,2	9
	CE	(µs/cm)	1778	1562	1637	1498
	DBO5	mg d'O2/l	118,7	59,7	40,5	32,8
	MES	mg/l	846	150	122	128
	MVS	mg/l	758	144	116	128
2ème semaine	T°	°C	26,3	25,8	25,2	25,9
	pH	-	9,2	8,8	8,5	8,9
	CE	µs/cm	1598	1678	1543	1482
	DBO5	mg d'O2/l	145	112,7	34,8	34,6
	MES	mg/l	203	478	124	250
	MVS	mg/l	1984	210	124	182
3ème semaine	T°	°C	26,1	26,4	25,2	26,8
	pH	-	8,5	8,9	9,3	9,6
	CE	µs/cm	1812	1486	1221	1092
	DBO5	mg d'O/l	123,5	51,8	46,7	43,3
	MES	mg/l	388	300	432	170
	MVS	mg/l	334	218	192	162
4ème semaine	T°	°C	26,1	26,4	25,2	26,8
	pH	-	8,5	8,9	9,3	9,6
	CE	µs/cm	1889	1672	1697	1589
	DBO5	mg d'O2/l	110,4	49,6	48,3	45,2
	MES	mg/l	423	75	529,5	64
	MVS	mg/l	379	72	58	64

Tableau 3. Résultats des analyses bactériologiques

Semaine	**Point de prélèvement**	**Unité**	**E. Coli**	**Staphylococcus aureus**	**Coliformes**
1ère semaine	Sortie D	UFC/ml	$1{,}27.\ 10^5$	$6{,}2.10^3$	$2{,}8.10^3$
	Sortie BA	UFC/ml	$5{,}8.10^3$	$2{,}8.10^2$	$12.\ 10^1$
	Sortie BF	UFC/ml	16	5	3
	Sortie BM	UFC/ml	3	0	0
2ème semaine	Sortie D	UFC/ml	$1{,}23.10^5$	$5{,}8.10^3$	$1{,}6.10^3$
	Sortie BA	UFC/ml	$1{,}08.10^5$	$3{,}8.10^3$	$3{,}1.10^3$
	Sortie BF	UFC/ml	$1{,}2.10^1$	5	3
	Sortie BM	UFC/ml	3	0	0
3ème semaine	Sortie D	UFC/ml	$8{,}6.10^4$	$3{,}2.10^3$	$3{,}2.10^3$
	Sortie BA	UFC/ml	$8{,}2.10^4$	12	8
	Sortie BF	UFC/ml	$1{,}0.10^1$	4	4
	Sortie BM	UFC/ml	3	0	0
4ème semaine	Sortie D	UFC/ml	$1{,}03.10^5$	$6{,}3.10^3$	$4{,}1.10^3$
	Sortie BA	UFC/ml	$1{,}03.10^5$	$6{,}3.10^3$	$4{,}1.10^3$
	Sortie BF	UFC/ml	$1{,}0.10^1$	6	3
	Sortie BM	UFC/ml	2	0	0

Tableau 4. Résultats des analyses parasitologiques

1ère semaine	**Classe**	**Unité**	**Sortie D**	**Sortie BA**	**Sortie BF**	**Sortie BM**
	Amibes	Kystes/l	98	45	0	0
	Nématodes	Œufs/l	528	240	0	0
	Cestodes	Œufs/l	192	96	0	0
	Trématodes	Œufs/l	361	197	0	0
2ème semaine	Amibes	Kystes/l	129	590	0	0
	Nématodes	Œufs/l	312	108	0	0
	Cestodes	Œufs/l	144	48	0	0
	Trématodes	Œufs/l	374	926	0	0
3ème semaine	Amibes	Kystes/l	115	72	0	0
	Nématodes	Œufs/l	384	192	0	0
	Cestodes	Œufs/l	0	0	0	0
	Trématodes	Œufs/l	97	42	0	0
4ème semaine	Amibes	Kystes/l	79	42	0	0
	Nématodes	Œufs/l	1440	336	0	0
	Cestodes	Œufs/l	288	59	0	0
	Trématodes	Œufs/l	280	230	0	0

Les résultats des tableaux 2,3 et 4 montrent des concentrations différentes et varient d'une semaine à une autre à différents stades de traitement. Pour certaines périodes, les résultats sont élevés alors que dans d'autres cas, ils diminuent. Cela est probablement dû aux boues de

vidange des ménages non connectés directement à la station. Ces boues sont plus chargées en matières organiques.

Au jour d'échantillonnage, il peut arriver plusieurs camions vidangeurs et la grande partie d'échantillons d'eaux usées est constituées par les boues de vidange d'une part et d'autre part les échantillons sont des eaux usées des ménages connectés à la station le jour où il n'y a pas de boues de vidange. Donc, la concentration est différente.

La pollution industrielle envahi la station en raison d'une absence prétraitement adéquat des eaux usées produites dans les industries. Cela augmente la concentration de certains paramètres car la pollution industrielle n'est totalement pas éliminée au préalable.

Ci-dessous, nous allons présenter et discuter l'évolution, des paramètres analysés, en fonction du temps de prélèvement et à différents stades de traitement.

III.1. Variation de la concentration des paramètres physicochimiques et microbiologiques à différents stades de prélèvement.

III.1.1. Au niveau du dessableur

III.1.1.1. Paramètres physicochimiques

Le tableau 5 présente les résultats obtenus à la sortie du dessableur durant les 4 semaines d'échantillonnage

Tableau 5. Concentration des différents paramètres physicochimiques à la sortie du dessableur

	T° en °C	**pH**	**CE** en µs/cm	**DBO5** en mg/l	**MES** en mg/l	**MVS** en mg/l
1ère sem.	26,3	9,3	1778	118,7	846	758
2ème sem.	26,3	9,2	1598	145	203	1984
3ème sem.	26,1	8,5	1812	123,5	388	334
4ème sem.	26,1	8,5	1889	110,4	423	379
Moyenne	26,2		1769,25	124,4	465	863,75

Les principaux paramètres d'intérêt dans le bon fonctionnement d'une station d'épuration biologique sont : la température, le pH, les MES, la DCO et la DBO5. La température et le pH influencent la multiplication des bactéries. Un excès de matières en suspension peut être à l'origine du colmatage du système de prétraitement. Aussi, les eaux usées trop chargées en matières organiques seront incomplètement épurées, car nécessitant une activité microbienne plus intense. Les MVS aussi permettent de connaitre la charge minérale contenue dans les MES.

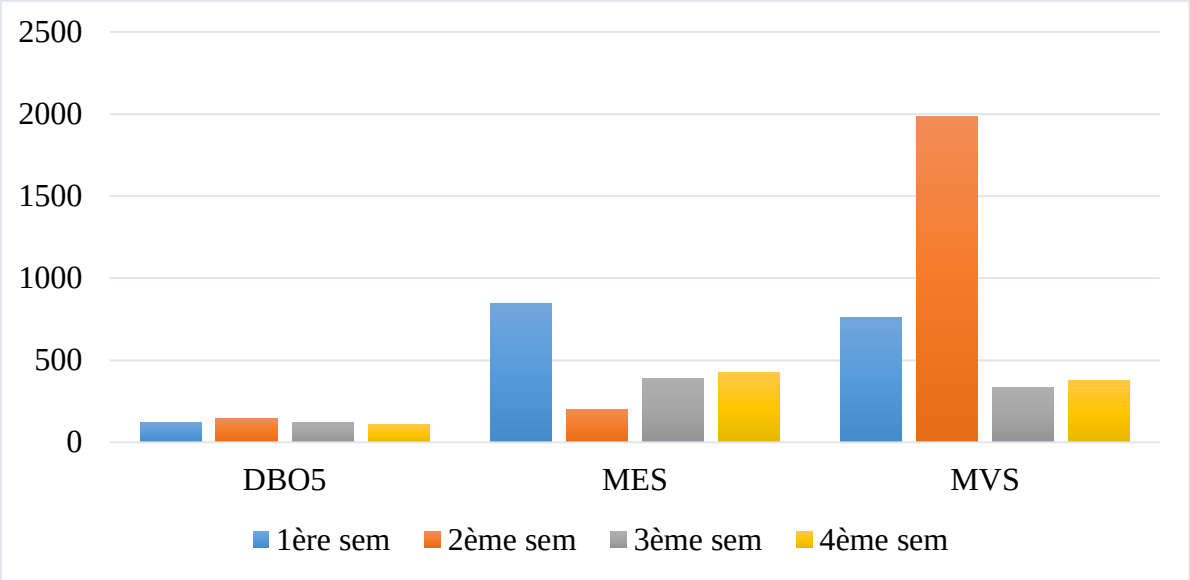


Figure 6. Variation de DBO5, MES et MVS à la sortie du dessableur

Les valeurs enregistrées pour la DBO5 durant les 4 semaines de prélèvement se situent entre 110,4 mg/l et 145 mg/l. La variation hebdomadaire de la DBO5, peut être expliquée par l'origine des eaux usées qui sont chargées en matières organiques biodégradables. Cela permet d'évaluer la charge organique globale contenue dans le dessableur.

Les MES, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux usées. L'abondance en MES dans l'eau occasionne la réduction de la luminosité et abaisse la production biologique du fait, en particulier, d'une chute de l'oxygène dissous consécutive à une réduction des phénomènes de photosynthèse (Tabet, 2014).

Les résultats obtenus, au cours des 4 semaines d'échantillonnage, montrent que les eaux usées brutes affichent une variabilité en MES assez considérable passant de 203 à 846 mg/l.

Les matières volatiles en suspension (MVS) désignent la partie des matières en suspension susceptibles d'être volatilisées. En effet, dans une station d'épuration, les valeurs en MVS trouvées dépendent de plusieurs facteurs dont notamment la nature des eaux usées reçues, le type d'échantillon (boues accumulées ou surnageant liquide) et probablement la période d'échantillonnage. Pour le cas qui concerne cette étude, les différents échantillons d'eaux usées ont été prélevés à quelques centimètres de la surface libre d'eau.

III.1.1.2. Paramètres bactériologiques

Le tableau 6 représente les résultats du dénombrement des bactéries dans le dessableur

Tableau 6. Dénombrement des bactéries à la sortie du dessableur

	Unités	E. coli	Staphylococcus aureus	Coliformes
1ère sem	UFC/ml	$1,27.10^5$	$6,2.10^3$	$2,8.10^3$
2ème sem	UFC/ml	$1,23.10^5$	$5,8.10^3$	$1,6.10^3$
3ème sem	UFC/ml	$8,6.10^4$	$3,2.10^3$	$3,2.10^3$
4ème sem	UFC/ml	$1,03.10^5$	$6,3.10^3$	$4,1.10^3$
Moyenne	UFC/ml	$1,097.10^5$	$5,375.10^3$	$2,925.10^3$

Les résultats des analyses bactériologiques au niveau du dessableur ont révélés la présence des bactéries durant toute la période d'étude. D'après le tableau 6, l'E. Coli possède des charges largement supérieures aux staphylocoques et aux coliformes toutes les 4 semaines.

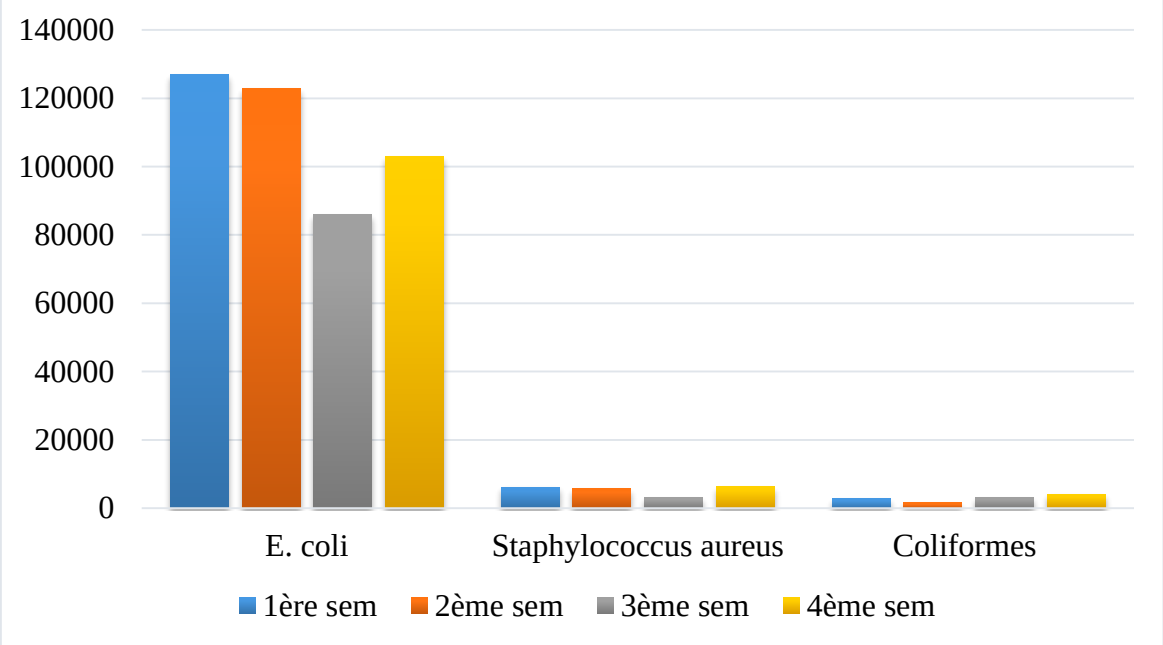


Figure 7. Concentrations en microorganismes à la sortie du dessableur

A la sortie du dessableur, pour les trois catégories de bactéries analysées, il se remarque une charge élevée des E. Coli avec une moyenne de $1,097.10^5$ UFC/ml suivi des staphylococcus aureus ($5,375.10^3$ UFC/ml). Les concentrations en coliformes sont les moins élevées avec une moyenne de $2,925.10^3$ UFC/ml.

La forte densité des E. coli, bactéries indicatrices les plus spécifiques d'une pollution fécale (CEAEQ, 2000 ; Edberg *et al*. 2000), dans les eaux analysées, indique clairement leur contamination par des germes fécaux (Servais *et al*. 2006). En effet, la présence d'E coli doit

faire sérieusement soupçonner celle de plusieurs autres microorganismes pathogènes (Elmund *et al,* 1999 ; Ajit *et al.*, 2009). Il en demeure plus élevé pour les coliformes et les staphylocoques qui constituent comme les E. coli, des indicateurs principaux d'une contamination fécale (Servais *et al.,* 2006). La recherche de ces microorganismes permettrait donc de juger la qualité bactériologique de leur biotope.

La variation des bactéries détectées durant les quatre semaines n'est pas importante, cela s'explique par le fait que le traitement biologique à cette étape n'est pas encore commencé. On remarque la présence de ces bactéries à la sortie.

III.1.1.3. Paramètres parasitologiques (les helminthes)

Le tableau 7 illustre les résultats obtenus par dénombrement des helminthes dans le dessableur

Tableau 7. Dénombrement des helminthes à la sortie du dessableur

	Unités	Amibes	Nématodes	Cestodes	Trématodes	Moyenne
1ère sem	Œufs/l	98	528	192	361	294,75
2ème sem	Œufs/l	129	312	144	374	239,75
3ème sem	Œufs/l	115	384	0	97	149
4ème sem	Œufs/l	79	1440	288	280	521,75
Moyenne	Œufs/l	105,25	666	156	278	

Les résultats du tableau 7 montrent la présence des helminthes et des protozoaires dans le dessableur mais on remarque l'absence des cestodes à la troisième semaine. Les nématodes sont dominants dans les eaux usées envoyés à la station.

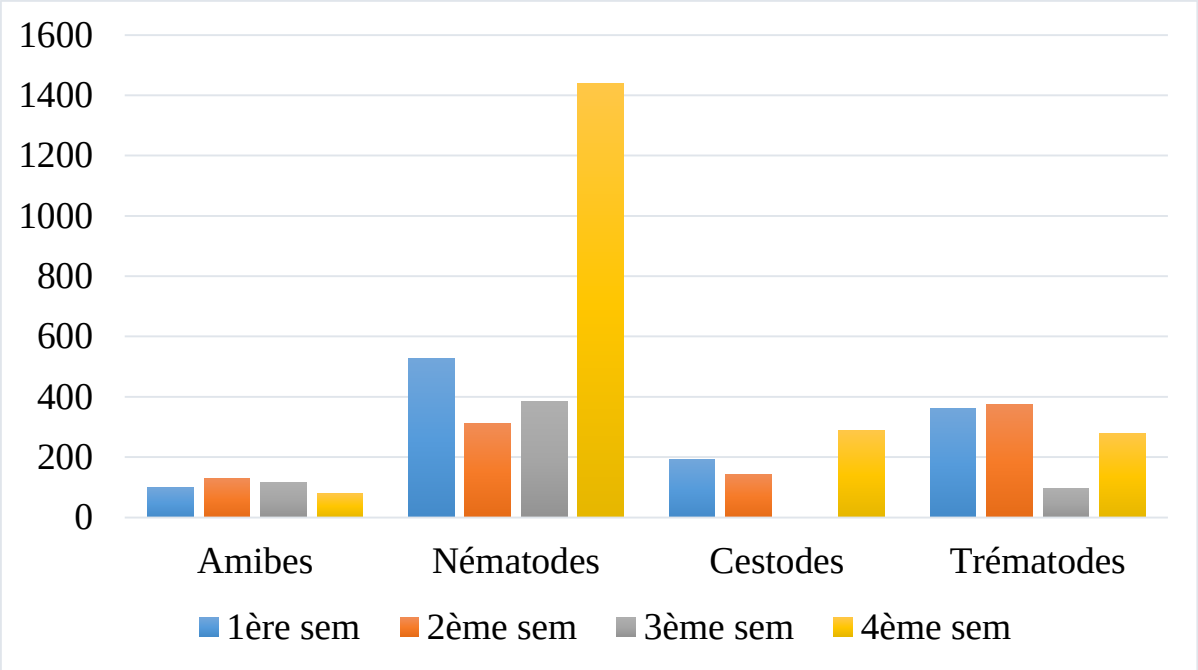


Figure 8. Variation des parasites à la sortie du dessableur

Dans le dessableur, les parasites sont présents à des concentrations variables. Cette variabilité s'observe aussi bien au sein d'un parasite pour différentes semaines qu'entre les parasites au sein de la même semaine. La présence des parasites dans les eaux usées témoigne du degré d'infectiosité de la population connectée à la STEP Buterere.

Les valeurs de la concentration des parasites dans les eaux usées rapportées dans la littérature sont très dispersées (BOUHOUM, 1987). Les résultats d'Oubiri A., (2013) montrent que 260 kystes/l ont été trouvé pour les kystes de protozoaires, 348,5 œufs/l pour les nématodes, 186,5 œufs/l pour les cestodes et l'absence des trématodes. Ces résultats sont variables en fonction de la période de prélèvement.

III.1.2. Au niveau du bassin anaérobie

III.1.2.1. Paramètres physicochimiques

Le tableau 8 montre les résultats physicochimiques trouvés à la sortie du bassin anaérobie

Tableau 8. Résultats des analyses physicochimiques à la sortie du bassin anaérobie

	T° en °C	pH	CE en µs/cm	DBO5 en mg/l	MES en mg/l	MVS en mg/l
1ère sem	26	8,7	1562	59,7	150	144
2ème sem	25,8	8,8	1678	112,7	478	210
3ème sem	26,4	8,9	1486	51,8	300	218
4ème sem	26,4	8,9	1672	49,6	75	72
Moyenne	26,15		1599,5	68,45	250,75	161

Le tableau 8 montre les résultats des paramètres DBO5, MES et MVS. En moyenne, les valeurs de la DBO5 sont 68,45mg/, 250,75mg/l pour les MES et 161mg/l les MVS. Pour tous ces paramètres, les valeurs les plus élevées ont été trouvées à la deuxième semaine pour la DBO5 et les MES.

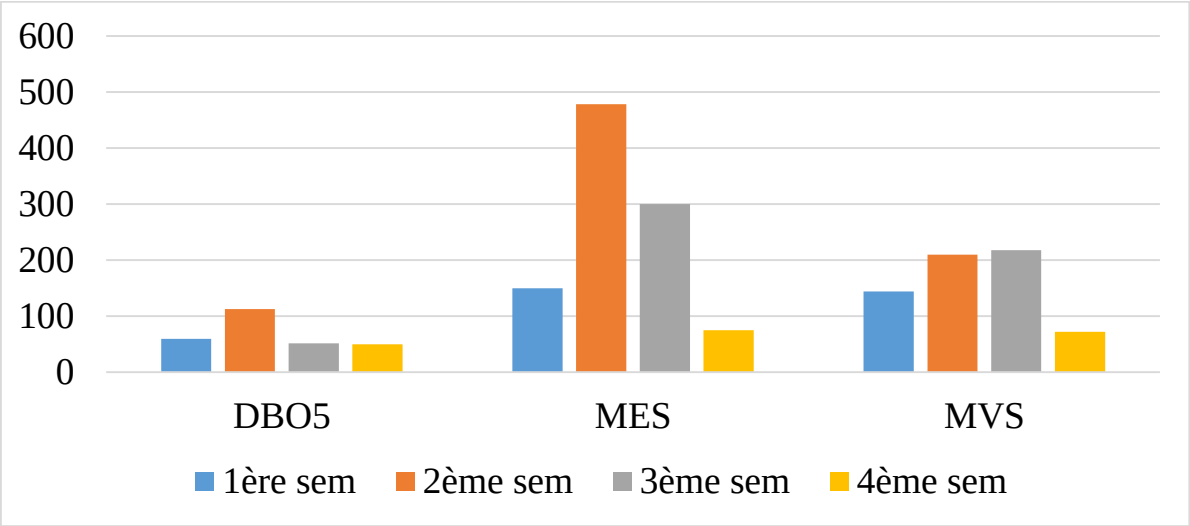


Figure 9. Variation des DBO5, MES et MVS à la sortie du bassin anaérobie.

A la sortie du bassin anaérobie, les paramètres DBO5, MES et MVS varient aussi d'une semaine à l'autre. Comparativement à celles du dessableur, il se remarque un abattement important des valeurs de MES et DBO5. En effet, dans le bassin anaérobie, les phénomènes de sédimentation sont importants. La teneur des MVS indique que les MES sont de nature biodégradable

III.1.2.2. Paramètres bactériologiques

Le tableau 9 représente les résultats des analyses bactériologiques effectués au niveau du bassin anaérobie.

Tableau 9. Dénombrement des bactéries à la sortie du bassin anaérobie

	Unités	E. coli	Staphylococcus aureus	Coliformes
1ère sem	UFC/ml	$5{,}8.10^{3}$	$2{,}8.10^{1}$	$1{,}2.10^{1}$
2ème sem	UFC/ml	$1{,}08.10^{5}$	$3\ {,}8.10^{3}$	$3{,}1.10^{1}$
3ème sem	UFC/ml	$8{,}2.10^{4}$	$1{,}2.10^{1}$	8
4ème sem	UFC/ml	$1{,}03.10^{5}$	$6{,}3.10^{3}$	$4{,}1.10^{3}$
Moyenne	UFC/ml	$7{,}47.10^{4}$	$2{,}535.10^{3}$	$1{,}03775.10^{5}$

De ce tableau, on remarque la présence des bactéries dans le bassin anaérobie durant toutes les quatre semaines. Les eaux usées à la sortie du bassin anaérobie ont des concentrations en E coli est plus élevé que d'autres bactéries.

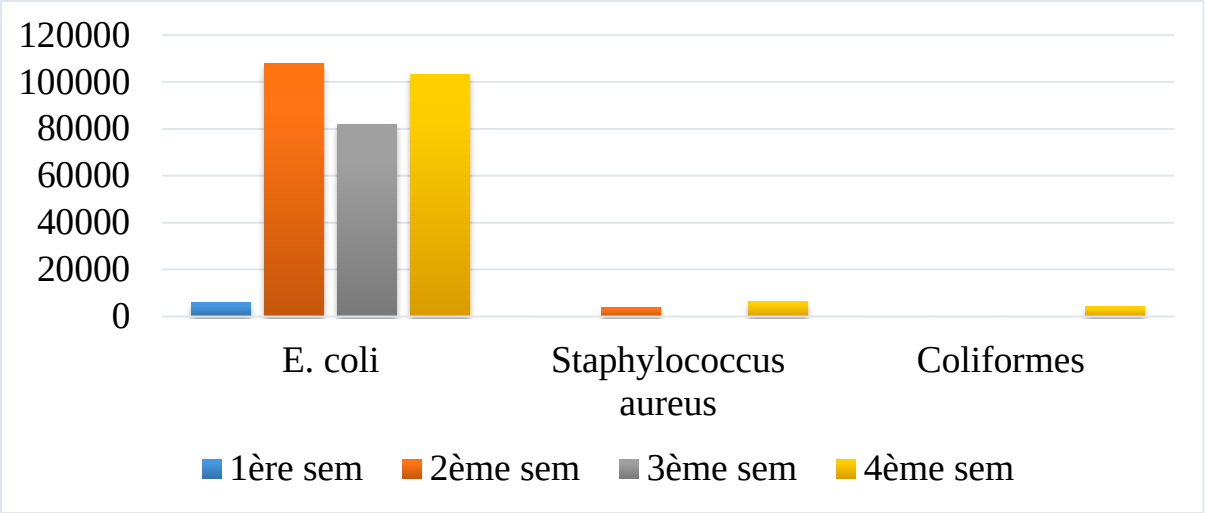


Figure 10. Concentration en microorganismes à la sortie du bassin anaérobie

De toutes les bactéries analysées, l'E. Coli se manifeste à des concentrations importantes pour toutes les semaines avec un pic à la 2ème semaine de $1{,}08.10^5$ UFC/l. La présence dans les eaux usées de ce microorganisme n'est pas étonnante si nous savons qu'il habite dans l'intestin de l'homme et qu'il est excrété avec les fèces.

A la lumière des résultats trouvés pour ces microorganismes analysés, on voit que les valeurs s'écartent de manière significative pour les 4 semaines d'échantillonnage. L'information qu'il faut tirer de ces résultats c'est que les bassins des lagunages naturels ne sont pas complétement mélangés et que pour espérer par exemple obtenir des valeurs qui pourront servir à des fins de redimensionnement des bassins, il faut réaliser plusieurs échantillons qui s'étalent sur une longue période.

III.1.2.3. Paramètres parasitologiques (les helminthes)

Les résultats présentés dans le tableau 10 sont des analyses parasitologiques effectués à la sortie du bassin anaérobie.

Tableau 10. Résultants du dénombrement des helminthes à la sortie du bassin anaérobie

	Unités	Amibes	Nématodes	Cestodes	Trématodes	Moyenne
1ère sem	Œufs/l	45	240	96	676	264,25
2ème sem	Œufs/l	590	108	48	926	418
3ème sem	Œufs/l	72	192	0	29	73,25
4ème sem	Œufs/l	42	336	59	230	166,75
Moyenne	Œufs/l	187,25	219	50,75	465,25	230,56

Les helminthes et les protozoaires ont été détectés à la sortie du bassin anaérobie. Sauf que les Cestodes n'ont pas été trouvés à la 3ème semaine. En moyenne, les trématodes sont plus

dominants à la sortie du bassin anaérobie et ce n'est qu'à la deuxième semaine qu'on a trouvé beaucoup de concentrations des helminthes et protozoaires.

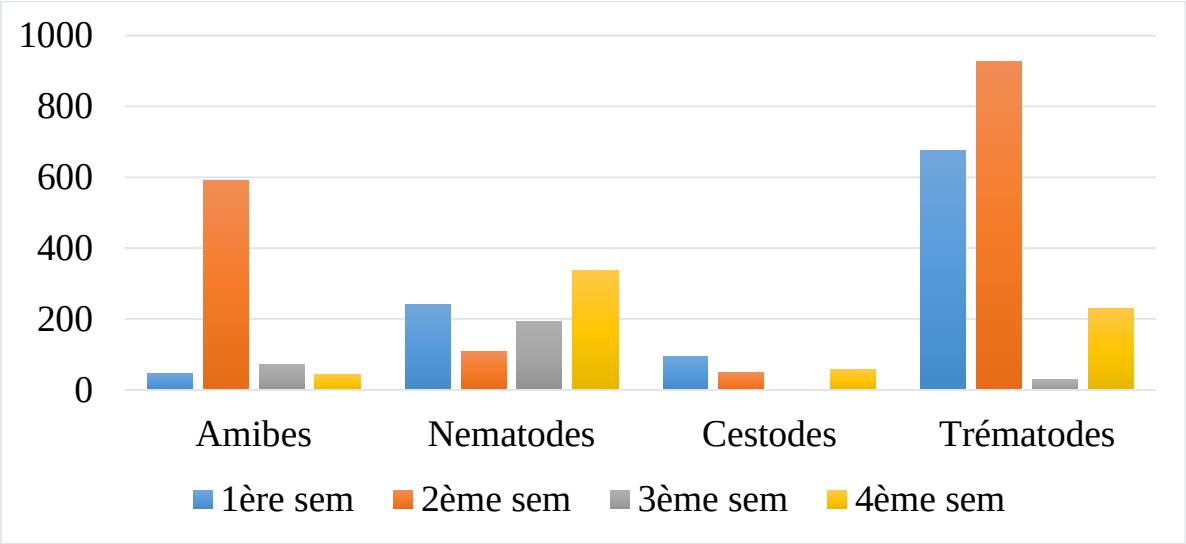


Figure 11. Variation des helminthes à la sortie du bassin anaérobie

A la sortie du bassin anaérobie, on voit que les concentrations des trématodes restent élevées. Cela n'est pas étonnant étant donné que nous sommes encore au début du processus de traitement des eaux usées. Tout de même, on voit que les amibes, les nématodes et les Cestodes sont présents à des concentrations faibles avec un pic des amibes à la 2ème semaine.

III.1.3. Au niveau du bassin facultatif.

III.1.3.1. Paramètres physicochimiques

Le tableau 11 représente les résultats des analyses physicochimiques effectués à la sortie du bassin facultatif.

Tableau 11. Résultats des analyses physicochimiques à la sortie du bassin facultatif.

	T° en °C	**pH**	**CE** en µs/cm	**DBO5** en mg/l	**MES** en mg/l	**MVS** en mg/l
1ère sem	25,9	8,2	1637	40,5	122	116
2ème sem	25,2	8,5	1543	34,8	124	124
3ème sem	25,2	9,3	1221	46,7	432	192
4ème sem	25,2	9,3	1697	48,3	529,5	58
Moyenne	25,2		1524,5	42,575	301,875	122,5

Les résultats obtenus (tableau 11) pour les paramètres physicochimiques varient d'une semaine à une autre. Cette variation se remarque lors d'une semaine. Les résultats des valeurs moyennes montrent qu'à la sortie du bassin facultatif, les MES sont plus élevées.

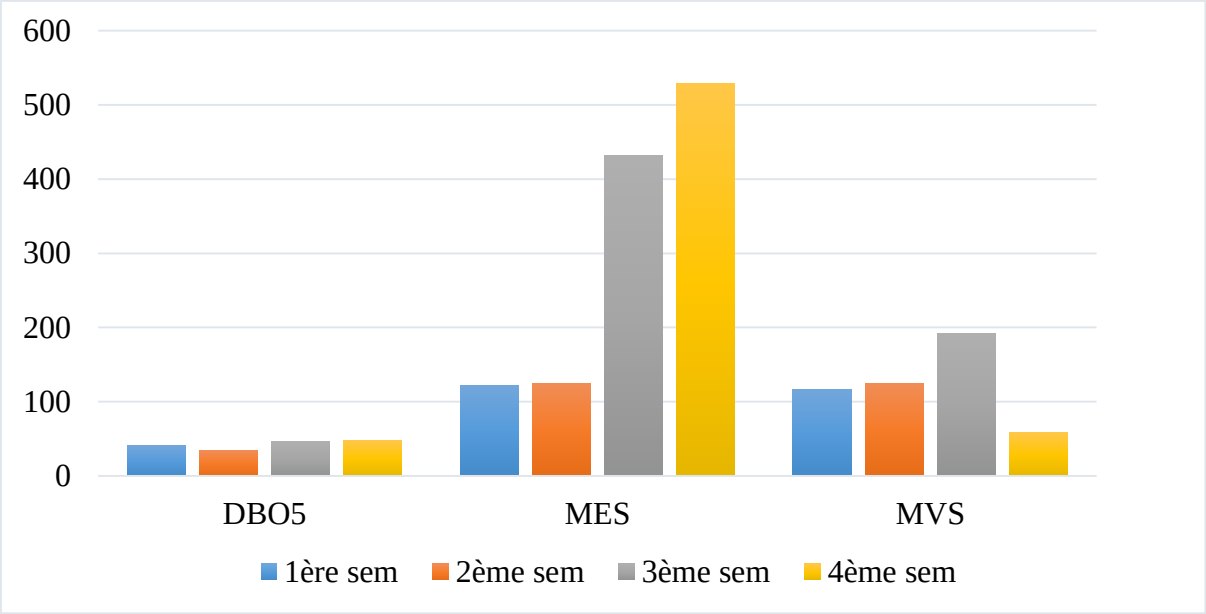


Figure 12. Variation du DBO5, MES et MVS à la sortie du bassin facultatif

A lumière de ces résultats (figure 12), on observe que les valeurs des MES restent élevées à la sortie du bassin facultatif. Il est cependant difficile d'obtenir des valeurs plus faibles par le procédé du lagunage, surtout parce qu'il est le siège d'une intense photosynthèse. Dans ce bassin, on observe une production importante d'une population algale. Les valeurs de la DBO5, MES et MVS indiquent que le bassin contient encore de la matière organique biodégradable.

III.1.3.2. Paramètres microbiologiques

III.1.3.2. 1. Paramètres bactériologiques

Les résultats des analyses présentés dans le tableau 12 ont été obtenus par dénombrement

Tableau 12. Résultats du dénombrement des bactéries à la sortie du bassin facultatif

	Unités	E. coli	Staphylococcus aureus	Coliformes
1ère sem	UFC/ml	16	5	3
2ème sem	UFC/ml	12	5	3
3ème sem	UFC/ml	10	4	4
4ème sem	UFC/ml	10	6	3
Moyenne	UFC/ml	12	5	3,25

De ce tableau, les résultats montrent une concentration des bactéries durant la période d'étude. Cette concentration est plus élevée pour L'E coli. En général, la charge bactérienne au niveau du bassin facultatif est plus faible par rapport au bassin anaérobie et dessableur.

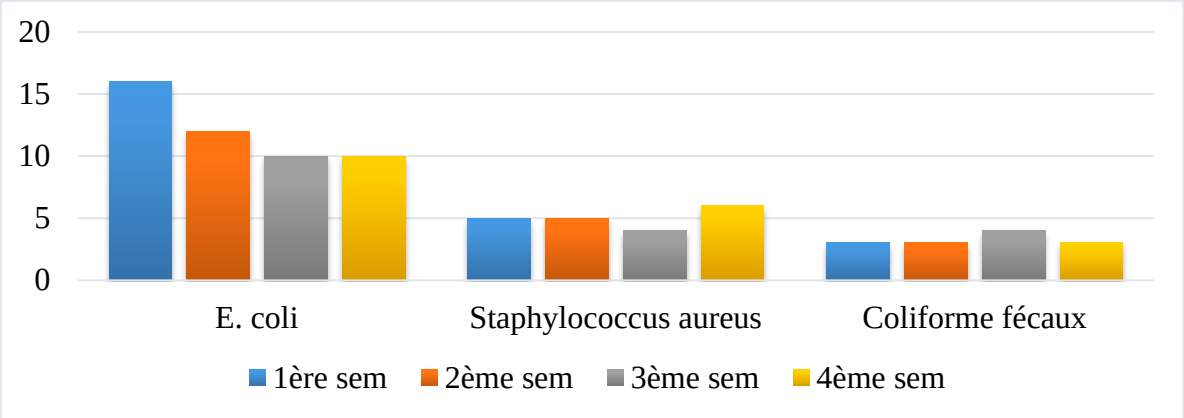


Figure 13. Concentration en microorganismes à la sortie du bassin facultatif

A la sortie du bassin facultatif, un fort abattement en microorganismes s'observe. Cela est interprété comme un indicateur du processus de traitement efficace des eaux usées du point de vu bactériologique. A différentes étapes, ils se produisent des phénomènes de décantation couplés à ceux d'inactivation des microorganismes. L'inactivation de microorganismes serait accélérée par la plus ou moins facilité de pénétration des rayons ultraviolets (UV) du soleil dans les premiers cm de la masse d'eau. Cette pénétration des rayons UV, au niveau du bassin facultatif, est conditionnée par le niveau de clarté des eaux usées après avoir subi une décantation au niveau du bassin anaérobie.

III.1.3.2.2. Paramètres parasitologiques (les helminthes)

Les résultats illustrés dans le tableau 13 ont été obtenus par dénombrement à la sortie du bassin facultatif.

Tableau 13. Résultats des analyses des helminthes à la sortie du bassin facultatif

	Unités	Amibes	Nématodes	Cestodes	Trématodes	Moyenne
1ère sem	Œufs/l	0	0	0	0	0
2ème sem	Œufs/l	0	0	0	0	0
3ème sem	Œufs/l	0	0	0	0	0
4ème sem	Œufs/l	0	0	0	0	0
Moyenne	Œufs/l	0	0	0	0	0

Il y a absence totale des différents helminthes et protozoaires dans les échantillons prélevés durant les quatre semaines.

III.1.4. Au niveau bassin de maturation

III.1.4.1. Paramètres physicochimiques

Le tableau 14 présentes les résultats physicochimiques.

Tableau 14. Résultats des analyses physicochimiques à la sortie du bassin de maturation

	T° en °C	**pH**	**CE** en µs/cm	**DBO5** en mg/l	**MES** en mg/l	**MVS** en mg/l
1ère sem	26,4	9	1498	32,8	128	128
2ème sem	25,9	8,9	1482	34,6	250	182
3ème sem	26,8	9,6	1092	43,3	170	162
4ème sem	26,8	9,6	1589	45,2	64	64
Moyenne	26,8		1415,25	38,975	153	134

Les concentrations des paramètres DBO5, MES et MVS varient d'une semaine à une autre. Les résultats pour la DBO5 prenne une allure croissante du dessabler au bassin de maturation mais pour les MES et MVS, ils varient d'une semaine à une autre.

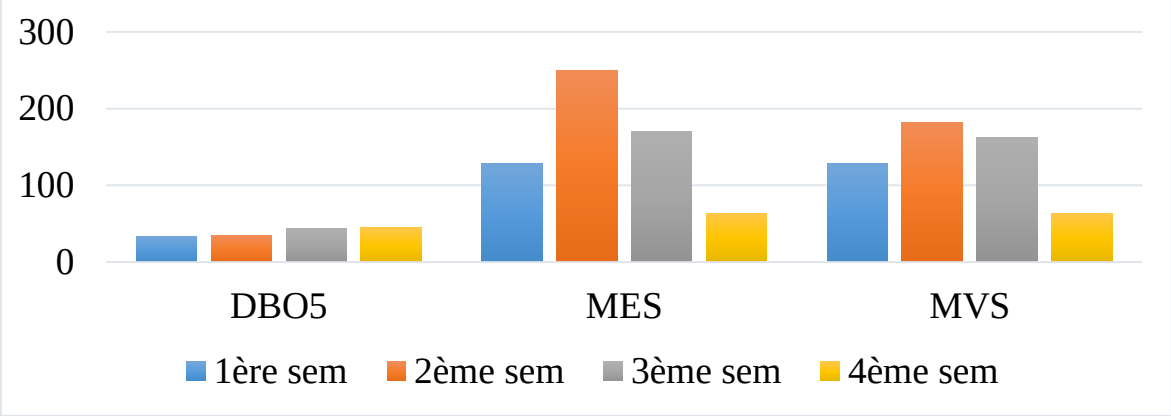


Figure 14. Variation du DBO5, MES, et MVS en fonction du temps à la sortie du bassin de maturation

La sortie du bassin de maturation correspond à la sortie de la STEP Buterere, les différentes valeurs des paramètres physicochimiques qui sont obtenues montrent les performances de ladite station pour le traitement de la pollution organique. Pour la DBO5 la concentration moyenne trouvée à l'issu des 4 semaines d'échantillonnage est de 30,78 mg/l tandis pour les MES, elle de 153 mg/l. Ces différentes valeurs sont à interprétées au regard de la norme Burundaise de rejet dans le milieu récepteur des eaux usées épurées. On y reviendra dans la section ultérieure.

III.1.4.2. Paramètres bactériologiques

Le tableau ci-dessous montre les résultats des analyses bactériologiques.

Tableau 15. Résultats des analyses bactériologiques à la sortie du bassin de maturation

	Unités	E. coli	Staphylococcus aureus	Coliformes
1ère sem	UFC/ml	3	0	0
2ème sem	UFC/ml	3	0	0
3ème sem	UFC/ml	3	0	0
4ème sem	UFC/ml	2	0	0
Moyenne	UFC/ml	2,75	0	0

Les résultats des analyses bactériologiques illustrés dans le tableau 15, montrent seulement la présence de l' E coli à la sortie du bassin de maturation. Pour les autres bactéries, on remarque l'absence totale. Cela montre qu'elles sont éliminées au niveau du bassin facultatif.

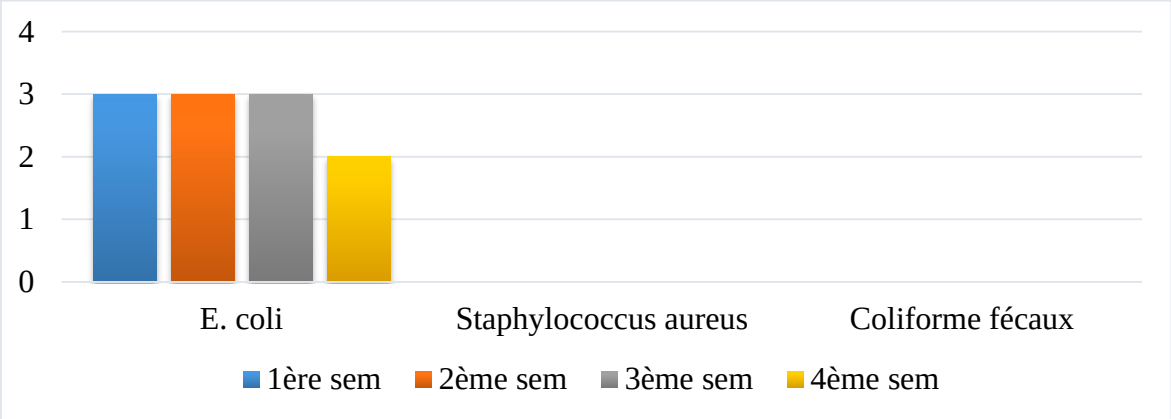


Figure 15. Variation des concentrations en microorganismes à la sortie du bassin de maturation

Seuls les E coli ont été identifiés dans les différents échantillons avec une moyenne de 2,75 UFC/ml.

III.1.4.3. Paramètres parasitologiques (les helminthes)

Le tableau 16 représente les résultats des helminthes.

Tableau 16. Résultats des analyses des helminthes à la sortie du bassin de maturation

	Unités	Amibes	Nématodes	Cestodes	Trématodes	Moyenne
1ère sem	Œufs/l	0	0	0	0	0
2ème sem	Œufs/l	0	0	0	0	0
3ème sem	Œufs/l	0	0	0	0	0
4ème sem	Œufs/l	0	0	0	0	0
Moyenne	Œufs/l	0	0	0	0	0

A la sortie du bassin de maturation, les résultats trouvés dans les 4 échantillons affichent une valeur nulle en différents parasites.

III.2. Evaluation du taux d'abattement des paramètres physicochimique et microbiologiques à différents stades de traitement des eaux usées

Pour évaluer la progression du processus d'élimination des polluants dans les eaux usées à différent stades de traitement, il a été nécessaire de déterminer les taux d'abattement des paramètres physico chimiques et microbiologiques. La sortie du dessableur, considéré comme l'entrée du bassin anaérobie et le début du traitement biologique, a été prise comme point de départ. Successivement, il a été déterminé les taux d'abattement à la sortie du bassin anaérobie, à la sortie du bassin facultatif et à la sortie du bassin de maturation.

III.2.1. Paramètres physicochimiques

Tableau 17. Résultats des valeurs moyennes des analyses physico-chimiques

	DBO5 (mg/l)	**MES** (mg/l)
Sortie D	124,4	921,75
Sortie BA	68,45	250,75
Sortie BF	42,575	301,875
Sortie BM	38,975	153

Les résultats trouvés montent des concentrations en DBO5 et en MES à chaque niveau de traitement. Les valeurs les plus élevées ont été trouvées au niveau du dessableur et les plus faibles au niveau du bassin de maturation.

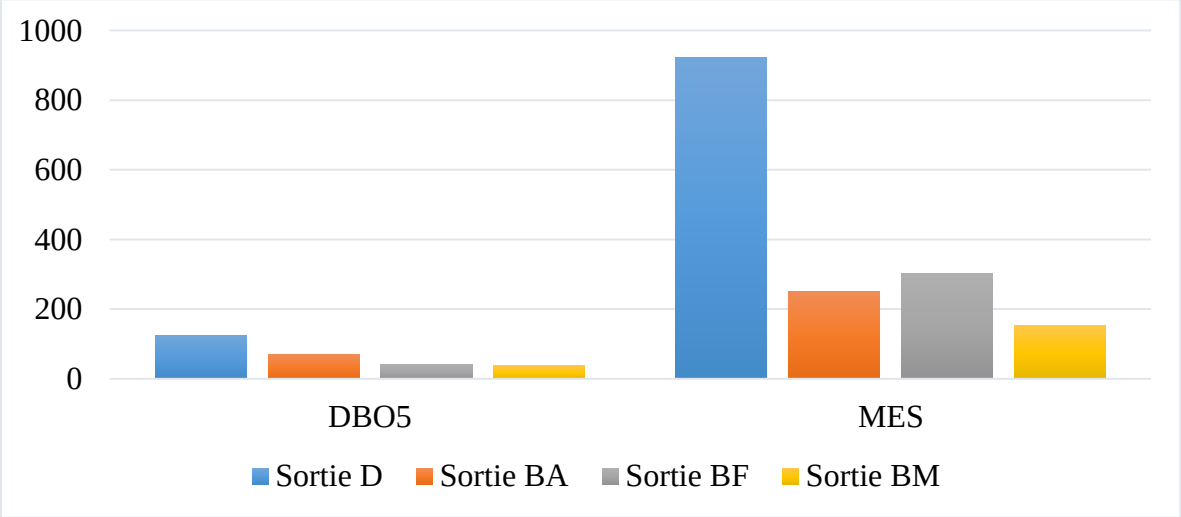


Figure 16. Evolution de la DBO5 et MES moyennes à différents stades de traitement

Les valeurs moyennes de la DBO5 et des MES obtenues à différents stades de traitement affichent une allure décroissante depuis le dessableur vers la sortie du bassin de maturation. Cela est tout à fait logique et correspond bien aux phénomènes attendus dans ce processus de traitement des eaux usées au niveau de la STEP Buterere. Les différentes étapes, au niveau de la station, sont conçues pour permettre un abattement progressif des pollutions. Cet abattement est dû notamment aux phénomènes de décantation et de l'activité bactérienne ayant eu lieu dans différents bassins.

Tableau 18. Taux d'abattement de la DBO5 et des MES à différents stades de traitement

	Taux d'abattement en DBO5 (%)	Taux d'abattement en MES (%)
Sortie BA	44,97	72,79
Sortie BF	65,77	67,24
Sortie BM	68,66	83,401

Le tableau ci représente le taux d'élimination des paramètres DBO5 et MES au niveau de chaque bassin. Au niveau du bassin de maturation, l'élimination est plus facile qu'aux deux autres précédents bassins.

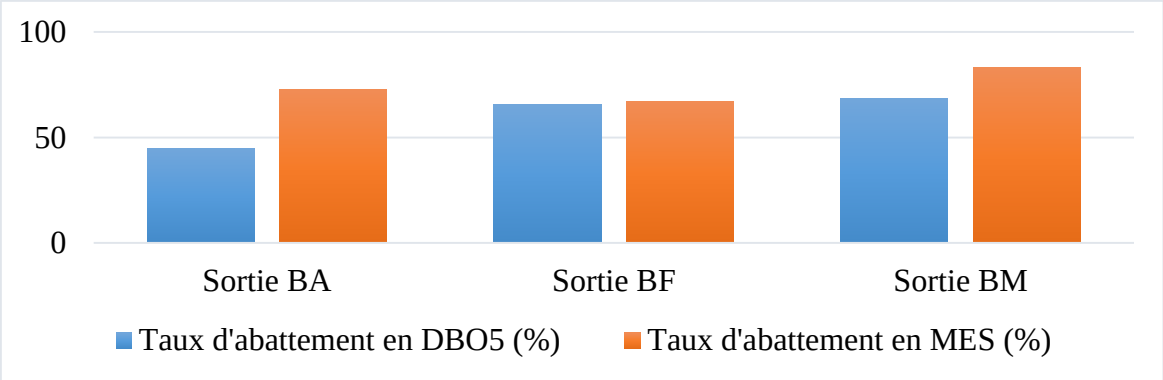


Figure 17. Abattement de la DBO5 et des MES à différents stades de traitement

La figure 32 montre que l'essentiel du taux d'abattement en DBO5 et MES concerne principalement le bassin anaérobie et celui de facultatifs, signe d'une efficacité du bassin anaérobie comme traitement primaire et du bassin facultatif comme traitement biologique. Au niveau du Bassin de maturation un faible pourcentage est éliminé de 2,9% et 6,9% respectivement pour la DBO5 et les MES. Les deux premiers bassins (anaérobies et facultatifs) sont en fait le siège d'intense activité bactérienne combiné à une meilleure décantation. S'il se remarque une élimination de la pollution en DBO5 et MES dans la phase eau, ce n'est pas le cas dans la phase boues accumulées où on observera au contraire une augmentation de la

concentration en ces paramètres. Dans le bassin anaérobie, il se passe une décantation primaire suivi d'une digestion anaérobie des boues accumulées et dans bassins facultatif, il y a un développement important de la biomasse épuratrice donc un abattement de la pollution dissoute biodégradable. Des phénomènes de décantation s'observe aussi dans le bassin facultatif participant ainsi à la diminution de la concentration en MES dans la phase eau.

III.2.2. Paramètres bactériologiques

Le suivi de la qualité bactériologique des eaux consiste à la recherche et au dénombrement des germes suivants: E. Coli, les coliformes et les staphylocoques fécaux (Lyes, 2014). Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 20.

Tableau 19. Résultats des valeurs moyennes du dénombrement des microorganismes à différents stades de traitement

	Unités	E. coli	Staphylococcus aureus	Coliformes
Sortie D	UFC/ml	94500	5375	2925
Sortie BA	UFC/ml	74700	2535	1037,75
Sortie BF	UFC/ml	12	5	3,25
Sortie BM	UFC/ml	2,75	0	0

Le tableau 19 représente la charge bactérienne au niveau de chaque bassin. Au niveau du dessableur, la charge est grande mais au niveau du bassin de maturation, elle diminue voire même nulle pour certaines bactéries.

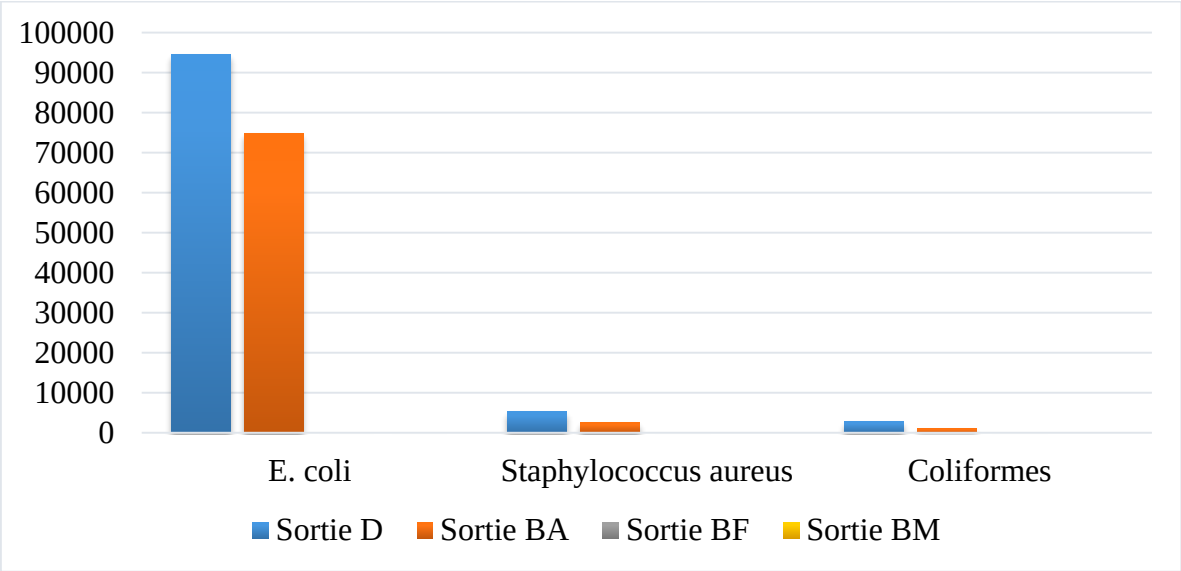


Figure 18. Evolution de la concentration moyenne des microorganismes à différents stades de traitement

Les valeurs bactériologiques trouvées à différents stades de traitement prennent une allure décroissante depuis le dessableur jusqu'au bassin de maturation. Les charges moyennes importantes ont été enregistrées pour les E coli au niveau du dessableur. Ce qui signifie que la pollution fécale des eaux usées est d'origine humaine ce qui est vrai car la station est conçue pour le traitement des eaux usées des collectivités. La concentration au niveau du dessableur est évidente car le traitement bactériologique n'est pas encore commencé. Il est éliminé au niveau du bassin anaérobie avec d'autres bactéries. À la sortie de la station, les bactéries analysées sont absentes. Il apparaît également que le traitement biologique utilisé dans la step est efficace pour l'abattement bactériologique.

Tableau 20. Taux d'abattement des bactéries à différents stades de traitement.

	Taux d'abattement E coli en %	Taux d'abattement de Staphylococcus aureus en %	Taux d'abattement Coliformes en %
Sortie BA	20,95	52,83	64,52
Sortie BF	99,98	99,90	99,88
Sortie BM	99,99	100	100

L'abattement microbiologique diffère d'un bassin à un autre. Il est plus élevé au niveau du bassin de maturation avec un taux d'élimination de 100% sauf pour l'E coli qui est éliminé à 99 %. Le taux d'élimination de la charge bactérienne augmente du dessableur au bassin de maturation.

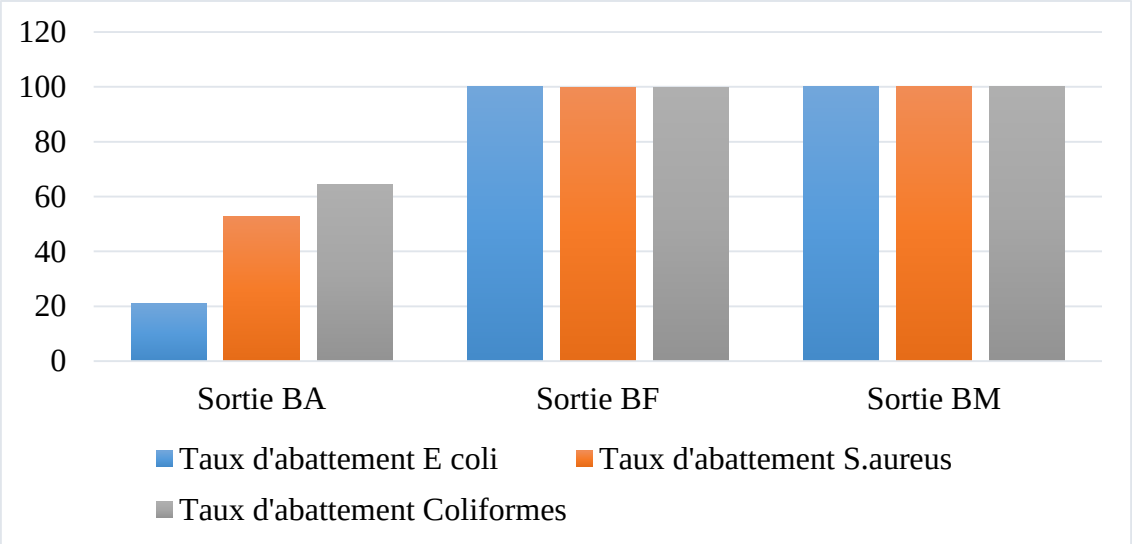


Figure 19. Taux d'abattement des bactéries à différents stades de traitement

L'analyse de l'abattement des bactéries a montré un effet significatif du traitement des eaux usées. Le taux d'abattement est de 100% à la sortie du bassin de maturation et cela confirme l'absence des bactéries dans l'eau rejetée dans la rivière kinyankonge.

(Rassam et al., 2012)) a montré dans son étude qu'une bonne performance épuratoire de la station est due au bon dimensionnement des bassins. Selon Rodier, (2009), cette efficacité est due à de multiples facteurs d'ordre physico-chimique ou biologique. L'épuration microbiologique dépend du temps de séjour mais aussi du nombre de bassins mis en œuvre. Trois bassins en série semblent en général un compromis acceptable pour un traitement principal par lagunage naturel.

III.2.3. Paramètres parasitologues

L'analyse parasitologique réalisée sur les échantillons des eaux usées de la STEP Buterere consiste à la recherche et au dénombrement des œufs d'helminthes.

Les résultats ont permis de mettre en évidence des kystes de protozoaires qui sont représentés par les Amibes (protozoaire) : Entamoeba histolytica. Aussi la présence d'helminthes qui sont représentés les Nématodes (helminthes) : Oxyure, Ankylostome, Ascaris et Trichocéphale ; par les Cestodes (Helminthes) : Teania ; et par les Trématodes (Helminthes) : Schistosome haematobium, Schistosoma mansoni. L'examen microscopique de ces parasites a permis de mettre en évidence 4 différentes classes de parasites, sous forme d'œufs ou de kystes appartenant respectivement aux Helminthes et protozoaires.

Les résultats sont présentés dans le tableau 21 suivant :

Tableau 21 : Résultats moyens des parasites à différents stades de traitement

	Unités	Amibes	Nématodes	Cestodes	Trématodes
Sortie D	Œufs/l	292,5	885	206,75	623,5
Sortie BA	Œufs/l	187,25	219	50,75	465,25
Sortie BF	Œufs/l	0	0	0	0
Sortie BM	Œufs/l	0	0	0	0

De ce tableau, les helminthes et les protozoaires ont été identifiés au niveau du dessableur et du bassin anaérobie. Depuis le dessableur, aucuns paraite n'a été trouvé.Il sont donc eliminé depuis le bassin anérobie.

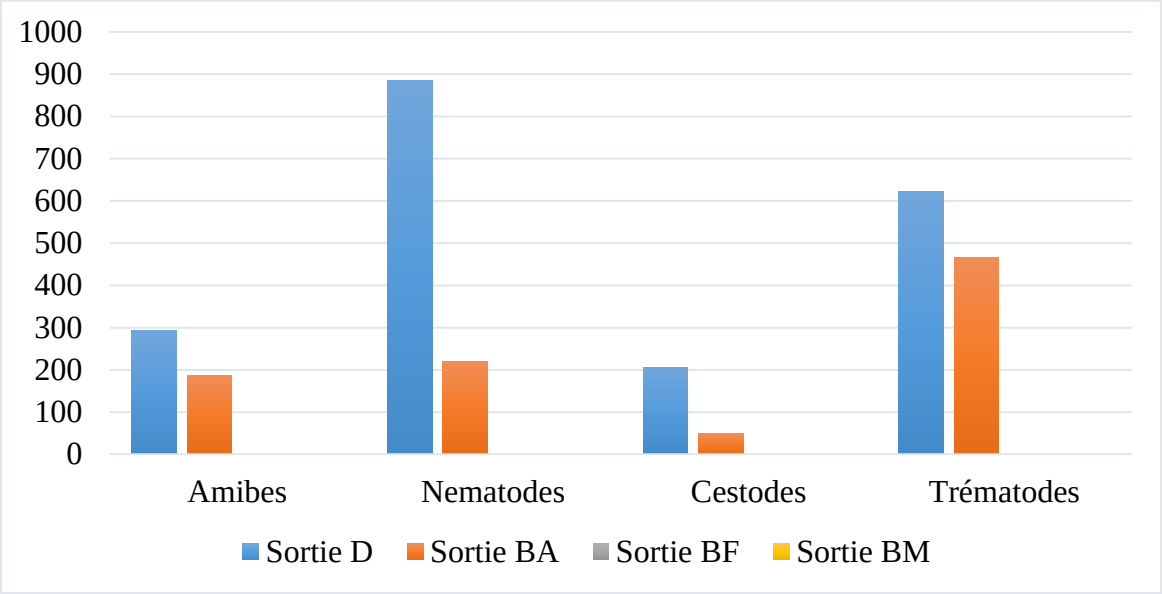


Figure 20. Evolution de la concentration moyenne parasite à différents stades de traitement

De nos résultats, il ressort que la concentration élevée en œufs d'helminthes et de protozoaires s'observe dans le dessableur et le bassin anaérobie. Ceci révèle que les eaux usées sont très chargées. Ces œufs proviennent essentiellement des matières fécales de l'homme et donc la population connectée à cette station d'épuration. Ainsi, cette forte concentration en œufs traduit le taux d'infestation de la population humaine des quartiers desservis par le réseau d'égout. Derbene and Aider (2020) indique que leur présence est un indicateur d'une contamination fécale véhiculée par les eaux usées. Les différents genres rencontrés dans les eaux usées pourraient traduire le polyparasitisme qui sévit dans la zone concernée (Akpo, 2006).

Cette répartition dans différents bassins montre une prédominance des œufs de nématodes dans le dessableur et les œufs des Trématodes dans le bassin anaérobie. Cette prédominance des œufs de nématodes a été également signalée par le même auteur et KHALLAAYOUNE (2001).

Pour le cas qui concerne cette étude, il a été remarqué l'absence des parasites dans le bassin facultatif et celui de maturation. Cette situation est conforme aux normes de l'O.M.S. qui préconisent une concentration d'au plus 1 œuf / l pour une eau épurées (Ayres *et al.*, 1997).

Tableau 22. Taux d'abattement des parasites à différents stades de traitement

	Taux d'abattement des Amibes en %	Taux d'abattement des Nématodes en %	Taux d'abattement des Cestodes en %	Taux d'abattement des Trématodes en %
Sortie BA	35,98	75,25	75,45	25,38
Sortie BF	100	100	100	100
Sortie BM	100	100	100	100

Le tableau ci-dessus illustre les concentrations des parasites dans les bassins d'épuration de la STEP Buterere. On constate que tous les parasites ont été éliminés au niveau du bassin anaérobie. A la sortie de la station, on note l'absence des parasites et le rendement est effectivement à 100%.

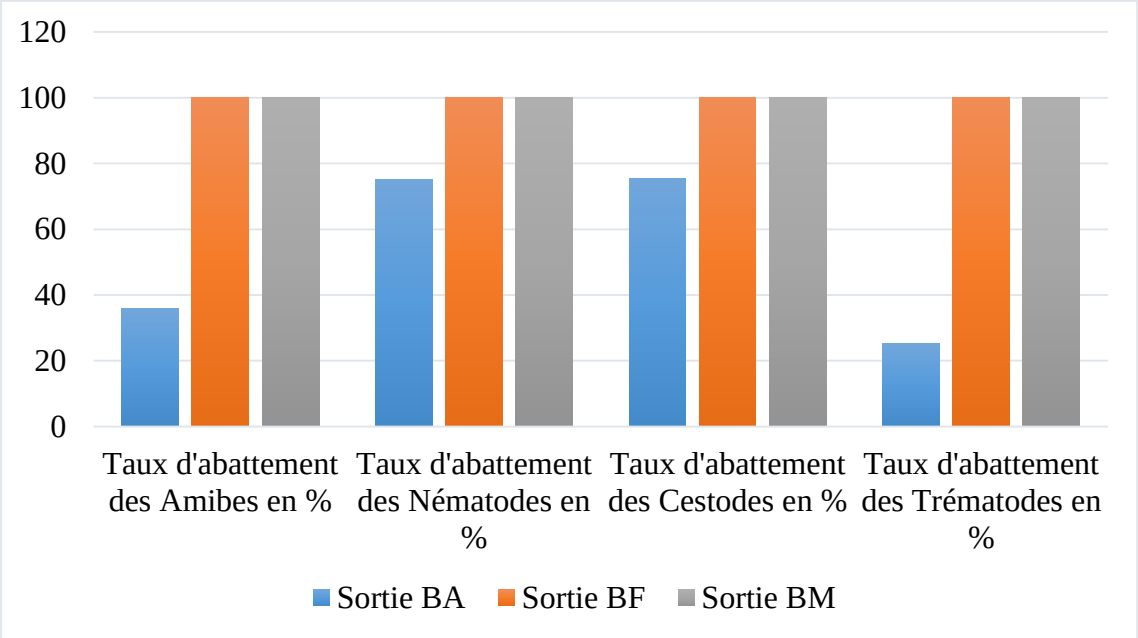


Figure 21. Taux d'abattement des parasites à différents stades de traitement

Les résultats de la figure 37 ont prouvé que tous les groupes des protozoaires et des helminthes rencontrés ont un taux d'abattement de 100% à la sortie. Sur la base des résultats obtenus nous constatons que la performance de la station est satisfaisante par rapport aux normes autorisées par l'Organisation mondiale de la santé (plus 1 œuf / l) et les valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Ayres *et al*., 1997).

Le rendement d'abattement des parasites est meilleur. Ceci s'explique que par le fait que le traitement par lagunage naturel est le procédé de traitement le plus efficace pour l'élimination des parasites dans les eaux usées.

III.3. Comparaison des valeurs obtenues à celles de la norme Burundaise de rejet des eaux traitées

La capacité épuratoire de la STEP Buterere a été évaluée en comparant les valeurs obtenues au niveau de la sortie du bassin de maturation aux valeurs relatives à la norme burundaise de rejet dans le milieu récepteur des eaux traitées.

L'ordonnance ministérielle conjointe de l'ancien Ministère de l'eau, de l'environnement, de l'aménagement du territoire actuellement du Ministère des Infrastructures, de l'Equipement et des Logements sociaux et de l'urbanisme et du Ministère de la Santé Publique et de la Lutte contre le Sida n°770/468 du 25/3/2014, fixe des valeurs limites spécifiques de rejet à ne pas dépasser actuellement, ainsi que des Valeurs Limites Spécifiques à respecter pour le rejet de eaux usées dans le milieu naturel.

Tableau 23. Comparaison de la qualité des eaux usées de la STEP Buterere avec la norme burundaise de rejet des eaux usées domestiques et industrielles

Paramètres	Concentration et valeurs limites de la norme	Résultats trouvés dans cette étude	Conclusion: conforme ou non à la norme burundaise de rejet
Température (°C)	≤35°C	26,8°C	Conforme
pH	6-9	8,6-9,6	Non conforme
CE	750-1300	1415,25	Non conforme
DBO5 (mg/l)	30	38,975	Non conforme
MES (mg/l)	50	153	Non conforme
E. Coli (par 100ml)	<1	2,75	Non conforme
Coliformes (par 100ml)	1000	0	Conforme

En examinant le tableau 23, on peut constater que les valeurs des paramètres physicochimiques et microbiologiques des eaux usées de la Step Buterere restent en général supérieures à la norme burundaise de rejet sauf pour la température et les coliformes qui sont inférieures à la norme. La réglementation burundaise se base plus particulièrement sur la qualité physicochimique et bactériologique et ne définit pas les normes de rejet pour la qualité parasitologique.

En comparaison, les résultats obtenus feront l'objet d'une interprétation afin de cibler les anomalies qui peuvent être existées dans le traitement de la step.

Durant notre étude des effluents de la STEP Buterere, nous avons remarqué qu'il n'existe pas un dépassement de la norme. L'évolution de la température de l'eau reste liée d'une part aux conditions locales (Arab Said and Refsi, 2021). Selon (Martin, 1979), au niveau des stations

d'épuration, la température des eaux usées influe beaucoup sur l'efficacité du procédé de traitement. De plus, l'activité biologique prenant place lors du traitement décroît avec le froid. La température agit favorablement sur les réactions chimiques et biochimiques, ainsi que sur le développement et la croissance des organismes vivants dans l'eau et particulièrement les micro-organismes (Rodier *et al.,* 2009). La température est un facteur écologique important du milieu. Elle permet de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment, quantité de gaz dissous (solubilité), pH…etc) (Rodier *et al,*. 1996).

Le pH de la STEP est compris entre 8,6 à 9,6 à la sortie, ce qui indique que le pH de la STEP est voisin de l'alcalinité donc il ne répond pas à la norme de rejet en vigueur. Cette alcalinité serait due à la composition des rejets domestiques (eau de savon, selles, urine, etc.) *(*Paliwal *et al.*, 1998). Dans le bassin de maturation, la hausse de la valeur du pH est due à la consommation du CO2 par les algues au cours de la journée pour assurer leur activité photosynthétique (EL HADDAD, 2001).

D'après SEVRIN REYSSAC *et al*., (1995) un pH alcalin et une température modérée constituent des conditions de milieu idéales pour la prolifération des microorganismes qui établissent un parfait équilibre biologique, permettant la dégradation de la matière organique ce qui conduit à la décontamination de l'eau.

Les valeurs de la conductivité montrent qu'elle est de 1415,25 µs/cm. Les valeurs obtenues rendent compte de la présence d'espèces ionisées dans les effluents collectés. Ces valeurs moyennes sont supérieures à celles compris entre 750-1300 µs/cm, considérée comme valeur limite de rejet direct dans le milieu récepteur, recommandée par la norme burundaise. Il ressort de ces analyses que la conductivité électrique varie entre 1092-1589 µs/cm dans le bassin de maturation durant la période d'étude. Les valeurs enregistrées au cours de cette étude indiquent que la conductivité électrique des eaux usées se caractérise par des valeurs relativement élevées dues probablement aux charges polluantes. Selon FRANCK (2002), tout rejet polluant s'accompagne d'un accroissement de la conductivité. Sa mesure est très utile car au-delà de la valeur limite de la salinité, la prolifération de microorganismes peut être réduite, d'où une baisse du rendement épuratoire.

La teneur de la DBO5 des eaux usées de la Step Buterere est 38,975 de mg/L. Cette teneur est supérieure à la norme burundaise de rejets directs. Etant donné que la DBO5 mesurée est élevée, on conclut que les valeurs élevées sont dues à l'importante prolifération des algues à l'origine de l'augmentation de la biomasse algale dans le bassin de maturation. Oudra (1990) signale également l'énorme production microplanctonique dans le système de lagunage comme

principal facteur responsable de la charge élevée en matière organique (DBO5) de l'effluent final. D'après Bliefert and Perraud (2007), l'augmentation de la concentration de la DBO5 de l'eau épurée est en relation avec la charge en matières organiques biodégradables.

Les matières en suspension représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux usées. Leurs effets sur les caractéristiques physicochimiques de l'eau sont très néfastes (modification de la turbidité des eaux, réduction de la pénétration de la lumière mettant en péril photosynthèse) (Salama *et al.,* 2012). Dans cette étude, les valeurs des MES est de 153 mg/l à la sortie du bassin de maturation. Les résultats obtenus montrent que les eaux usées sont caractérisées par des concentrations moyennes en MES assez élevées. Ces résultats sont liés souvent à la charge importante en matières organiques des eaux usées qui arrivent dans le bassin de maturation. Cependant, l'expérience montre que le maintien d'une concentration importante en matières en suspension dans les eaux usées gène considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes (Bazza and Xanthoulis, 2003).

Du point de vue bactériologique, la seule recherche des bactéries témoins de contamination fécale en vue d'évaluation des performances épuratrices a permis d'identifier la présence des E coli à la sortie du bassin de maturation. En effet, l'existence des bactéries témoins de contamination fécale à la sortie du bassin de maturation est due à des déjections d'animaux ou des personnes qui habitent au tour des bassins et qui jettent les déchets directement dans les bassins. Ces déchets sont même jetés dans le bassin de maturation et par conséquent échappent au processus normal de traitement.

Les autres bactéries comme les coliformes et les staphylocoques sont éliminés au niveau du bassin facultatif. Ceci est expliqué, en plus de l'importante prolifération algale à ce niveau de la station, par la faible profondeur du bassin (1,5 m) et le long temps de séjour, qui est d'une moyenne de 5 jours dans notre cas.

Du point de vue parasitologique, à la sortie, l'eau traitée ne contient plus d'œufs. La station de traitement des eaux usées de Buterere assure donc une élimination totale des œufs d'helminthes. Ces résultats correspondent à ceux rencontrés dans la littérature (El Halouani, 1991 ; 1995 ; Dsoulli, 2001). En effet, les œufs d'helminthes, caractérisés par une importante densité, sont éliminés généralement au niveau du premier bassin par simple décantation.

CONCLUSION GENERALE

Les eaux usées traitées par la station d'épuration de Buterere sont essentiellement d'origine domestique. Une fois ces eaux traitées, elles sont acheminées vers le lac Tanganyika via la rivière Kinyankonge.

Dans ce travail, les performances de traitement biologique des eaux usées à différents stades d'épuration de la STEP Buterere ont été étudiées. Les échantillons ont été prélevés à partir de quatre sites différents (site 1 : sortie du déssableur, site 2 : sortie du bassin anaérobie, site 3 : sortie du bassin facultatif, site 4 : sortie du bassin de maturation).

L'objectif de cette étude a consisté à suivre l'abattement de la pollution physicochimique et microbiologique des eaux usées de la STEP Buterere.

Les résultats des paramètres physicochimiques (DBO5 et MES) ont montré que les échantillons d'eaux usées contiennent des concentrations variables en différents paramètres. Ces résultats également ont montré que tous ces paramètres ont pratiquement connu une diminution après chaque phase, montrant ainsi l'efficacité de tous les procédés de traitement. Mais à la sortie du bassin de maturation, on constate une élimination de la DBO5 et des MES avec des rendements respectifs de 68,66% et 83,40%. Leurs concentrations dépassent la norme burundaise de rejet. Ce dépassement s'explique par la présence des algues dans le bassin de maturation.

Du point vu bactériologique, les résultats que nous avons obtenus montrent que les eaux usées véhiculent une charge bactérienne importante, témoignant d'une contamination fécale. L'analyse a porté principalement sur le dénombrement des bactéries à savoir les coliformes et l'Escherichia coli et la recherche de bactéries pathogènes à savoir les staphylocoques à différents stades de traitement avec des concentrations variables. Néanmoins, cette charge est éliminée au cours du traitement avec un abattement de 100% pour les coliformes et les staphylocoques. On remarque une présence d'Escherichia coli à la sortie de la station. Cependant le traitement a permis un abattement de 99,99%. La détection des espèces dans les eaux usées à la sortie de la Step est probablement liée aux matières fécales jetées soit par les animaux qui y broutent ou les personnes étrangères qui fréquentent la station. De plus, la station habite l'hipopotame.

Sur le plan parasitologique, nous avons trouvé les œufs d'helminthes et les kystes des protozoaires seulement dans le dessableur et bassin anaérobie. L'absence totale des helminthes dans le bassin facultatif et de maturation montre que les résultats obtenus sont très satisfaisants avec des rendements d'abattement de 100%.

La nature des eaux épurées ne répond pas exactement à la qualité physicochimique préconisée par la norme Burundaise de rejet dans le milieu naturel et un effort devrait être fourni pour se conformer à la norme en vigueur.

A la lumière de la conclusion rapportée précédemment, nous recommandons quelques perspectives comme suit :

- Observer et contrôler tous les rejets liquides urbains et industriels ;
- Mise en place par les pouvoirs publics de mécanismes financiers et techniques pour la mise en place d'un laboratoire de contrôle de la pollution microbiologique ;
- Augmenter la capacité du traitement de la station d'épuration afin de pouvoir respecter le temps de séjour des eaux usées dans les bassins par agrandissement des bassins ;
- Construire des stations d'épuration qui traite les eaux industrielle avec un traitement spécifique ;
- Développement des dispositifs techniques d'installation des projets de cultures des bactéries nécessaires pour un traitement biologique des eaux usées ;
- Raccorder toutes les agglomérations par un système d'assainissement orienté vers la station ;
- Sensibiliser et faire participer les populations et les collectivités locales des actions primordiales pour préserver notre station ;
- Prendre et mettre en œuvre les mesures pour réduire les effets anthropiques notamment les déversements des déjections animales et humaines dans les bassins de la station ;
- Un suivi régulier de la qualité des eaux épurées en faisant des analyses physico- chimiques et biologiques.

Références bibliographiques

Abayahia, M., Chebouat, S., n.d. Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux épurées dans la région de Ouargla (Doctoral Dissertation). Universite Kasdi Merbah-Ouargla.

Aissaoui Moncef, T.E., 2020. Quelle culture choisir et pour quel système d'irrigation doit on opter s'il s'agit des eaux usées épurées? (Doctoral Dissertation).

Akpo, Y., 2006. Evaluation de la pollution des eaux usées domestiques collectées et traitées à la station d'épuration de campèrent (Dakar). Mémoire de diplôme d'études approfondies de productions animales, École Inter-états des Sciences et Médecine Vétérinaires de Dakar, p, 31.

Approfondies, D.D., 2006. Etude de la qualité microbiologique des eaux de boisson conditionnées en sachet et vendues sur la voie publique dans la région de Dakar.

Arab Said, S., Refsi, T., 2021. Évaluation du rendement épuratoire de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou (Doctoral Dissertation). Université Mouloud Mammeri.

Assia, T.A.-K., 2022. Etude bibliographique sur la qualité parasitologique des eaux usées. Mémoire de Master, Université de Biskra.

Ayaicha Marw Bahloul Aicha, F.H., 2016. Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées (STEP-Guelma).SNV.STU.

Ayres, R.M., Mara, D.D., Organization, W.H., 1997. Analyse des eaux résiduaires en vue de leur recyclage en agriculture: manuel des techniques de laboratoire en parasitologie et bactériologie. Organisation mondiale de la Santé.

Baba, T., Bae, T., Schneewind, O., Takeuchi, F., Hiramatsu, K., 2008. Genome Sequence of *Staphylococcus aureus* Strain Newman and Comparative Analysis of Staphylococcal Genomes: Polymorphism and Evolution of Two Major Pathogenicity Islands. Journal of Bacteriology 190, pp 300–310.

Baumont, S., Camard, J.-P., Lefranc, A., Franconi, A., santé (Ile-de-France), O. régional de, d'Île-de-France (1976-2019), I. d'aménagement et d'urbanisme, 2014. Réutilisation des eaux usées épurées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. ORS Ile-de-France.

Bazza, M., Xanthoulis, D., 2003. Irrigation avec les eaux usées traitées: manuel d'utilisation. User Manual; FAO: Roma, Italy.

Belgiorno, V., Rizzo, L., Fatta, D., Della Rocca, C., Lofrano, G., Nikolaou, A., Naddeo, V., Meric, S., 2007. Review on endocrine disrupting-emerging compounds in urban wastewater: occurrence and removal by photocatalysis and ultrasonic irradiation for wastewater reuse. Desalination 215, pp166–176.

Benazia, A., Maiassi, Z., 2021. Contribution à la connaissance de la composition des eaux usées urbaines de la ville de Biskra (Oued Biskra).

Bendimerad, A., 2010. Effet de la supplémentation en sélenim sur la réponse immune au cours de l'infection à sarm (Doctoral Dissertation). Thesis of Master II, Molecular Biology moléculaire, University of Abou Bekr.

Bigumandondera, P., 2014. Etude de l'assainissement non collectif en Afrique Subsaharienne: Application à la ville de Bujumbura. Thèse de Doctorat, Université de Liège, Belgique. Faculté des Sciences, Unité Assainissement et Environnement.

Bliefert, C., Perraud, R., 2007. Chimie de l'environnement: air, eau, sols, déchets. De Boeck Superieur. Université, Paris, 436 p.

Bouaoua, A., Nafi, R., Boutebba, K.E., 2020. Évaluation de la performance épuratoire de la station d'épuration d'El Rabta Jijel (Doctoral Dissertation). Université de Jijel.

Boudjatat, S., Khalouche, K., Zerarka, M.L., Khaled K, S.E., 2005. La qualité microbiologique des boues activées de la station d'épuration biologique de Hamma Bouziane (Doctoral Dissertation). Université de Jijel.

Bourrier, R., Satin, M., Selmi, B., 2010. Guide technique de l'assainissement. Éd. le Moniteur.

Buhungu, S., Montchowui, E., Barankanira, E., Sibomana, C., Ntakimazi, G., Bonou, C.A., 2018. Spatio-temporal characterization of the water quality of Kinyankonge river, a tributary of Lake Tanganyika, Burundi. International Journal of Biological and Chemical Sciences 12, 576–595.

Campos, C., 2008. New perspectives on microbiological water control for wastewater reuse. Desalination 218, pp 34–42.

Crini, G., Montiel, A.J. and Badot, P.M., 2007. *Traitement et épuration des eaux industrielles polluées: Procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique*. Presses Univ. Franche-Comté.

Derbene, R., Aider, C., 2020. Suivi parasitologique des eaux usées traitées de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou (Doctoral Dissertation). Université Mouloud Mammeri.

Djemame, A., Moumene, S., 1945. Contribution à l'étude du traitement des eaux usées de la ville de Guelma. Mémoire de master. Université 8, mai 45 Guelma p 3-4.

Djemame Akila, M.S., 2011. Contribution à l'étude du traitement des eaux usées de la ville de Guelma, SNV.STU.

Edeline, F., 1997. Théorie et technologie des réacteurs. L'épuration biologique des eaux, 4ème édition. Editions CEBEDOC, Liège, 303 p.

El Ouali Lalami, A., Zanibou, A., Bekhti, K., Zerrouq, F., Merzouki, M., 2014. . Journal of Materials and Environmental Science 5, 2325–2332.

Faby, J.A., Brissaud, F., 1997. L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'eau. Formation aux métiers de l'assainissement, CFMA, Boumerdes, 76p.

Gauthier, M., Pietri, C., 1989. Devenir des bactéries et virus entériques en mer. Microorganismes dans les écosystèmes océaniques. Edit. Masson, 447 p.

Guergour, S., 2018. Elimination des polluants organiques contenus dans les eaux usées par électro-fenton (Doctoral Dissertation).Université Ferhat Abbas-Setif-1.

Hadji, F., Sari, F., Khiat, A., 2020. Wastewater Reuse for Irrigation Purposes: The Case of Aïn Témouchent Region, in: Negm, A.M., Bouderbala, A., Chenchouni, H., Barceló, D. (Eds.), Water Resources in Algeria - Part II, The Handbook of Environmental Chemistry. Springer International Publishing, Cham, pp. 59–78.

Hallouche Sarah, R.A., 2022. Evaluation des performances et rendement épuratifs de la station d'épuration de Ain Taghrout-Bordj Bou Arreridj (Doctoral Dissertation), Université Mohammed El Bachir Ibrahimi B.B.A.

Hamaidi-Chergui, F., Zoubiri, A.F., Hamaidi, M.S., Debib, A., Kais, H., 2016. Evaluation de l'efficacité de la station d'épuration de Médéa (Algérie).Larhyss Journal, ISSN 112-3680,n°26,Juin 2016:113-128.

Hamimed, A., Idder, W., Kalloum, S., Nasri, B., 2018. Étude des performances épuratoires (Doctoral Dissertation). Spécialité: Chimie de l'Environnement, Université Ahmed Draïa Adrar.

Hamsa, A.A.K., Miura, M., Inokuma, S., Nishimura, Y., 2006. Evaluating the Living Environment in Residential Areas at Taman Melati, Kuala Lumpur. Journal of Asian Architecture and Building Engineering 5, 377–384.

Houasni Fethia, B.S., 2018. Evaluation de la performance épuratoire de la station de traitement des eaux usées de Ain Defla. Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana.

Idrissi, YA., Mansouri, D., El Yemli, A., Kherrati, I., Berrid, N., Ghachoui, E.H., K Hussein, A., El Kharrim, K., Belghyti, D., 2020. Parasitological assessment of the purifying performance of the wastewater station by natural lagoon of Azilal, Morocco. Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries 24, 299–309.

Khadidja, K.M., 2021. L'évolution des Paramètres Physicochimiques et Bactériologiques des Eaux Usées de la Ville de Biskra (Oued Z'mour). Master's Thesis, Université de BISKRA, Biskra, Algeria,

Koller, E., 2004. Traitement des pollutions industrielles: eau, air, déchets, sols, boues. Dunod Paris, France.

Leclerc, H., Gaillard, J.L., Michel, S., 1995. Microbiologie générale: La bactérie et le monde bactérien, Doin ed. Paris 517.

Lotfi, L., 2020. Microbiologie alimentaire, Travaux pratiques. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Batna 2.

Lyes, T., 2014. Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées de Ouargla au cours de leur traitement, p 1-70.

Mara, D., 2013. Domestic wastewater treatment in developing countries. (3rd éd) Earthscan : London, UK.

Marc, S., Bechir, S., 2006. Guide technique de l'assainissement. 3eme édition, le Montier. Paris .Guide for sewerage. 3rd édition, le Montier, Paris, P389- 406.

Martin, G., 1979. Le problème de l'azote dans les eaux, Ed. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris 231–246.

Meribai, S., Boumelit, S., 2001. Etude microbiologique des eaux usees cas de la station d'épuration de la tannerie de jijel (Doctoral Dissertation). Université de jijel.

Metahri, M. S. (2012). Elimination simultané de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitée, par des procédés mixtes. Cas de STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse doctorat en Agronomie, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, pp. 5-7

Musy, A., & Soutter, M. (1991). Physique du sol.Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, Suisse 335pp.

N'diaye, A., El kory, M., Cheikh, M., Kankou, M., Namr, K.I., n.d. Qualité des eaux usées traitées réutilisées en agriculture. Le siaap redonne à l'eau son futur 40.

Ntakiyiruta, P., 2021. Traitement tertiaire par phytoremediation des eaux issues des stations d'epuration et valorisation energetique des macrophytes (eicchornia crassipes et pistia stratiotes) en biogaz,Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUËT-BOIGNY de YAMOUSSOUKRO et de l'Université du Burundi.

Paliwal, K., Karunaichamy, K., Ananthavalli, M., 1998. Effect of sewage water irrigation on growth performance, biomass and nutrient accumulation in Hardwickia binata under nursery conditions. Bioresource Technology 66, 105–111.

Plata, K., Rosato, A., Węgrzyn, G., 2009. Staphylococcus aureus as an infectious agent: overview of biochemistry and molecular genetics of its pathogenicity. Acta Biochimica Polonica 56, 597–612.

Rassam, A., Chaouch, A., Bourkhiss, B., Bourkhiss, M., 2012. Performances de la dégradation de la matière organique par lagunage aéré dans la station d'épuration des eaux usées de la ville d'Oujda (Maroc oriental). Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège.

Rejsek, F., 2002. Analyse des eaux: Aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, France.

Rodier, J., 2005. L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème Edition DUNOD technique.

Rodier, J., Geoffray, C., Rodi, L., 1996. L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux residuaires, eau de mer: chimie, physico-chimie, bacteriologie, biologie. Dunod.

Rodier, J., Legube, B., 2005. L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 8e Éd, Dunod, Paris.

Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., 2009. L'Analyse de l'eau 9e édition Entierement Mise AJour Dunod Paris.

Roux, M., 1987. Office International De L'eau: L'analyse Biologique De L'eau. TEC& DOC. Paris. 229p.

Salama, Y., Mountadar, M., Rihani, M., Assobhei, O., 2012. Evaluation physicochimique et bactériologique des eaux usées brutes de la ville d'El Jadida (Maroc). ScienceLib Editions Mersenne 4.

Sergma, I., Mezaouli, K., Behilil, A., 2022. Synthèse et caractérisation de matériaux poreux (Thèse Doctoral). Universite Ahmed Draia-Adrar.

Sihem, B., Hadjer, B., 2010. Etude microbiologique et physico-chimique de l'eau rejetée par la station d'épuration de la ville de Guelma.

Tabet, M., 2014. Etude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration (thèse Doctoral).

Wertheim, H., 2005. Staphylococcus aureus infections; Lead by the nose. Doctoral Dissertation, Erasmus MC: University Medical Center Rotterdam.

Yamina, M., 2022. Technique de Contrôle Microbiologique.Université d'USTO-MB.

Zeghoud, M.S., 2014. Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra. Mémoire de Master, Université El-Oued,p 120.

Annexes

Annexes 1 : Quelques bactéries

Les Coliformes



Escherichia Coli



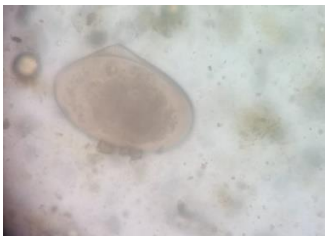
Les staphylocoques



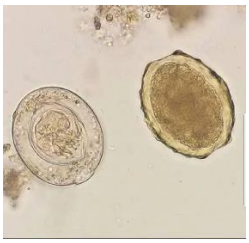
Annexe 2. Quelques parasites



Œuf de Trichocéphale



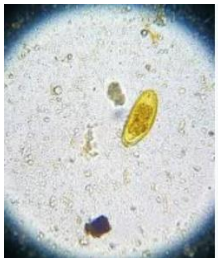
Œuf de schistosome mansoni



Œuf d'ascaris



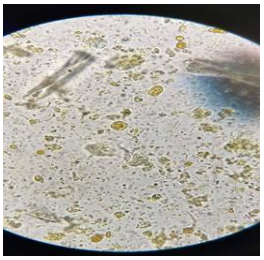
Œuf de tænia



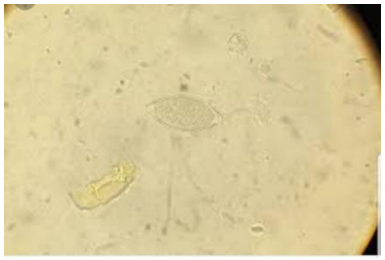
Œuf d'oxyure



Œuf d'ankylostome



kyste d'Entamoeba histolytica



Œuf de Schistosome haematobium