الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

N°Réf :……

Université El Moudjahid Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Biologiques et Agricoles

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Thème :

Etude comparative de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées avant et après le traitement à la station d'épuration Sidi Merouane Mila, Algérie

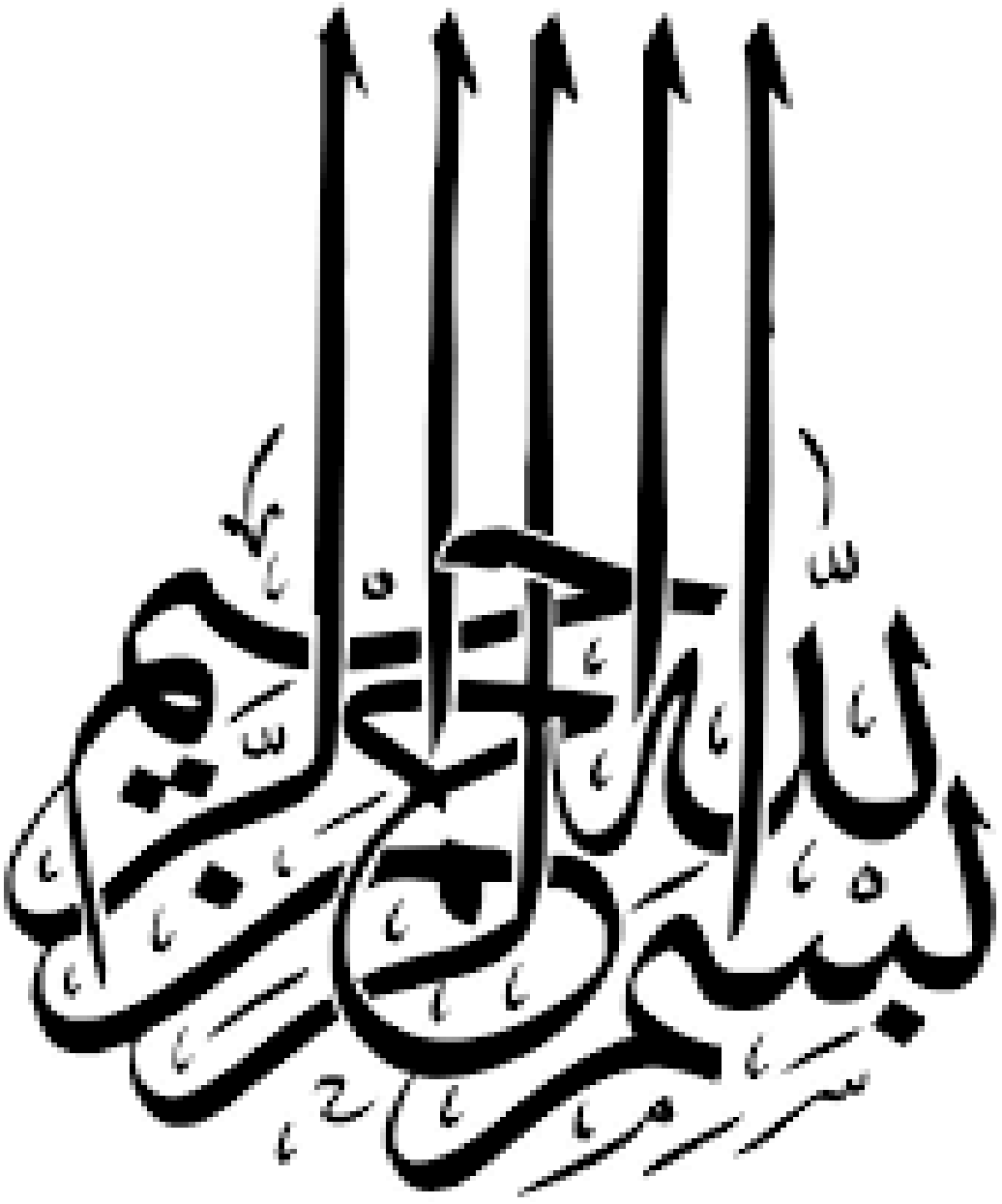
Présenté par :

- **AICHE FATIMA**
- **BEN ABELLAH AMANI**

Devant le jury :

Khennaoui Badis	**MCA**	**Président**
Harrieche Ouahiba	**MAA**	**Examinateur**
Lalaoui Meryem	**MCA**	**Promoteur**

Année Universitaire : 2025/2026


بسم الله الرحمن الرحيم

Dédicas

بسم الله الرحمن الرحيم

Au nom ***d'Allah***, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux.

Louange à Dieu dont les bienfaits accomplissent les bonnes œuvres,

Et louange à Lui pour ce parcours dont la fatigue fut un commencement

et la réussite une belle conclusion.

Après cela…

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ***Allah*** Tout-Puissant, qui m'a accordé la force et la réussite pour mener à bien ce travail.

❖ *À l'âme de mon père*

À celui dont j'ai tant souhaité la présence dans les plus beaux moments de ma vie, Qu***'Allah*** lui fasse miséricorde et fasse de ce succès une aumône continue pour lui. Sa place reste à jamais dans mon cœur, une place que nul ne peut remplacer.

❖ *À ma chère mère*

Au cœur dont les prières précédaient chacun de mes pas, Merci d'avoir été le soutien et la sérénité à chaque étape de ma vie, Ce succès est avant tout le tien.

❖ *À mes chères sœurs*

Chams, Amal, Zina…,

Votre présence à mes côtés a toujours été une source de force et de joie. Merci pour votre précieux soutien.

❖ *À mes neveux et nièces*

Ghaith, Kifah, Jouri, Haytham, Ishaq, Adam, Jihad et Ayoub …,

Vous êtes la joie qui illumine les jours et la douceur qui embellit la vie.

❖ *À mes chères amies*

Meriem, Inès, Aya, Hind,

Merci pour chaque moment de soutien et d'amitié sincère. Certaines rencontres restent à jamais gravées dans le cœur.

❖ *À ma cousine Chaïma*

Merci pour ta sincérité et ton affection, tu mérites une dédicace particulière.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à toute ma famille pour son soutien constant et ses encouragements tout au long de mes études.

À toutes les personnes qui m'ont soutenue par une prière

Sincère ou un mot bienveillant, je dédie ce travail avec toute ma gratitude et mon affection.

Aiche Fatima



Dédicas :

بسم الله الرحمن الرحيم

Avant toute chose, je remercie ***Allah*** le Tout-Puissant pour Sa grâce,

Son aide et Sa bénédiction qui m'ont permis d'achever ce travail.

.À mes très chers parents,

Pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices, leur soutien constant et leurs précieuses prières.
Aucun mot ne saurait exprimer ma profonde gratitude et mon immense reconnaissance envers eux.

.À mon frère et à ma sœur,

Pour leur affection, leurs encouragements et leur présence à mes côtés tout au long de mon parcours.

.À ma chère grand-mère paternelle,

Pour ses prières et son affection.

.À mes grands-parents maternels,

Que Dieu leur accorde Sa miséricorde.

.À ma chère cousine,

Pour son soutien et sa présence bienveillante.

.À mes chères tantes,

En témoignage de mon affection, de mon respect et de ma gratitude pour leur soutien et leur bienveillance.

À toutes les personnes qui m'ont soutenue de près ou de loin,

Par une parole encourageante, un conseil ou une prière sincère.

Je dédie ce modeste travail avec tout mon amour, mon respect et ma reconnaissance.

.Amani Ben .Abdallah



Remerciements

بسم الله الرحمن الرحيم

Nous tenons avant tout à remercier ***Allah*** le Tout-Puissant de nous avoir accordé la santé, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre promotrice ***Lalaoui Meriem*** pour son encadrement, sa disponibilité, ses précieux conseils et ses orientations tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous exprimons également notre profonde gratitude aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants du département ***des Sciences Biologiques et Agricoles*** pour la qualité de leur enseignement et les connaissances qu'ils nous ont transmises durant notre parcours universitaire.

Nous tenons à remercier chaleureusement l'ensemble du personnel de l'organisme d'accueil pour son accueil, sa disponibilité et sa collaboration durant notre stage.

Nous adressons un remerciement particulier à ***Mme Yasmina*** pour sa gentillesse, son aide précieuse, ses conseils et son accompagnement, qui ont grandement facilité la réalisation de ce travail.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire et nous ont apporté leur soutien tout au long de cette expérience.

À toutes ces personnes, nous exprimons notre profonde gratitude et notre sincère reconnaissance.



RESUME

Résumé :

Cette étude vise à réaliser une comparaison entre la qualité des eaux brutes et des eaux traitées au niveau de la station d'épuration des eaux usées de Sidi Marouane durant la période allant de Janvier à Mai. L'évaluation repose sur l'analyse des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques. L'étude s'est basée sur l'analyse d'un ensemble de paramètres physico-chimiques, notamment la température (**TC**°), le **pH**, la conductivité électrique , les matières en suspension (**MES**), la demande chimique en oxygène (**DCO**), la demande biochimique en oxygène sur cinq jours (**DBO_5**) et l'azote ammoniacal (**N-NH3+),** Nitrites (**N-NO2**-), Nitrates (**N-NO3**-), ainsi que sur des paramètres bactériologiques tels que les germes totaux , les coliformes totaux, les coliformes fécaux , ***Escherichia coli*** *(E. Coli*) et les ***streptocoques*** fécaux. Les résultats ont montré une amélioration significative de la qualité de l'eau après traitement, avec une diminution notable de la plupart des paramètres de pollution ainsi qu'une réduction importante de la charge bactérienne. L'étude a également mis en évidence des différences nettes entre les deux types d'eau, ce qui confirme l'efficacité du système de traitement adopté dans la station pour l'amélioration de la qualité de l'eau et la réduction de la pollution.

Mots-clés : eaux brutes, eaux traitées, station d'épuration, qualité de l'eau, paramètres physico-chimiques, paramètres bactériologiques.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى إجراء مقارنة بين جودة المياه الخام والمياه المعالجة على مستوى محطة تصفية المياه المستعملة بسيدي مروان خلال الفترة الممتدة من جانفي إلى ماي2026 ، وذلك من خلال تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية. وقد اعتمدت الدراسة على تحليل مجموعة من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية، منها درجة الحرارة (TC°)، والأس الهيدروجين (pH)، والناقلية الكهربائية ، والمواد العالقة (MES)، والطلب الكيميائي للأكسجين (DCO)، والطلب البيوكيميائي للأكسجين خلال خمسة أيام (DBO5)، والآزوت الأمونيومي (NH_3+)، و النيتريت (NO_2-)، والنيترات (NO_3-)، بالإضافة إلى المؤشرات البكتريولوجية المتمثلة في الجراثيم الكلية (Germe totaux)، والقولونيات الكلي (Coliformes totaux)، والقولونيات البرازية(Coliformes fécaux)، و*(E. Coli)*، والمكورات العقدية البرازية (Streptocoque fécaux).أظهرت النتائج تحسنًا واضحًا في جودة المياه بعد المعالجة، حيث سجلت المياه المعالجة انخفاضًا ملحوظًا في مختلف مؤشرات التلوث مقارنة بالمياه الخام، إضافة إلى تراجع كبير في الحمولة البكتيرية. كما بينت الدراسة وجود فروق واضحة بين نوعي المياه، مما يعكس فعالية نظام المعالجة المعتمد بالمحطة في تحسين نوعية المياه والحد من التلوث.

الكلمات المفتاحية: المياه الخام، المياه المعالجة، محطة التصفية، جودة المياه، المؤشرات الفيزيائية والكيميائية، المؤشرات البكتريولوجية.

ABSTRACT

Abstract:

This study aims to compare the quality of raw water and treated water at the wastewater treatment plant of Sidi Marouane during the period from January to May. The assessment is based on the analysis of physicochemical and bacteriological characteristics. The study considered several physic-chemical parameters, including temperature (**TC**°), **pH**, **electrical conductivity**, suspended solids(**MES**) , chemical oxygen demand (**COD**), biochemical oxygen demand over five days (**BOD_5**), and Ammoniacal nitrogen (**N-NH_3**+), Nitrites (N-**NO_2**-), Nitrates (**N-NO_3**-), as well as bacteriological indicators such as **total germs**, **total coliforms**, **fecal coliforms**, ***Escherichia coli*** (***E. Coli***), and **fecal streptococci**. The results showed a significant improvement in water quality after treatment, with a marked reduction in most pollution parameters and a strong decrease in bacterial load. The study also highlighted clear differences between raw and treated water, confirming the efficiency of the treatment system used at the plant in improving water quality and reducing pollution.

Keywords: raw water, treated water, wastewater treatment plant, water quality, physicochemical parameters, bacteriological parameters.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE: 1

Chapitre I : Concepts généraux sur l'eau et les eaux usées : 4

1.Généralités sur l'eau : 4

1.2 Cycle de l'eau: 4

2.Ressources hydriques 5

2.1 Types de ressources hydriques 5

2.2 Eaux de surface : 5

2.3 Eaux souterraines : 6

3. Distribution et disponibilité de l'eau : 6

4. Les eaux usées : 7

4.1 Définition 7

4.2 Les origines des eaux : 7

4.2.1 Les eaux usées domestiques: 7

4.2.2 Les eaux usées pluviales : 8

4.2.3 Les eaux usées industrielles : 8

4.2.4 Les eaux usées agricoles : 9

5. Les caractéristiques des eaux usées : 9

5.1 Les caractéristiques physiques : 9

5.2 Les caractéristiques chimiques : 10

5.3 Les caractéristiques bactériologiques : 10

6. Gestion durable des ressources hydriques : 10

7. Défis liés à la gestion des ressources hydriques : 11

Chapitre II : Procédés de traitement et évaluation de la qualité des eaux usées 14

1.Définition : 13

2. L'objectif de traitement des eaux usées : 13

3. Les étapes de traitement : 13

3.1 Prétraitement : (Dégrilleur grossier) 13

3.2 Le traitement primaire :(Dégrillage fin, Dessablage-déshuilage) 14

3.3 Le traitement secondaire :(Traitement biologique) 14

3.4 clarification 14

3.5 La désinfection : 15
4. Réutilisation et valorisation des eaux usées : 15
5. Les Paramètres de qualité des eaux : 16
5.1 Paramètres physico-chimiques : 16
5.1.1 La température : 16
5.1.2 Turbidité : 16
5.1.3 pH 16
5.1.4 La conductivité électrique : 16
5.1.5 Matières en Suspension(MES) : 16
5.1.6 Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours(DBO5) 17
5.1.7 Demande Chimique en Oxygène (DCO) : 17
5.1.8 L'ammoniac($N\text{-}NH_3^+$) : 17
5.1.9 Les nitrites($N\text{-}NO_2^-$) : 18
5.1.10 les nitrates ($N\text{-}NO_3^-$) : 18
5.1.11 Le phosphore (P) : 21
5.2 Paramètres bactériologiques 19
5.2.1 Flore Totale des Eaux : 19
5.2.2 Coliformes totaux : 19
5.2.3 Coliformes fécaux : 19
5.2.4 *E. coli* dans les Eaux : (indicateur de Qualité et Surveillance) 20
5.2.5 *Streptocoques* Fécaux :(Indicateur de Contamination de l'Eau et Risques Sanitaires) : 20
6. Normes et réglementation 21
6.1 Normes algériennes : 21
6.2 Normes OMS/FAO 21
7. Les risques sanitaires de la réutilisation des eaux traitées : 22
8. Les risques agricoles liés à la réutilisation des eaux traitées : 22
9. Les risques liés aux sols : 22
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude 25
1. Présentation de la wilaya de Mila : 25
2. Présentation de la ville de Sidi Merouane : 25
3. Présentation de la STEP de Sidi Merouane: 26
4. Les différents traitements réalisés dans la station étudiée : 27

4.1 Les prétraitements : 27
4.1.1 Poste de relevage : 27
4.2 Le dégrillage: 27
5. Traitement biologique: 30
6. Le Dégazage : 32
7. La clarification et la recirculation des boues : 33
7.1 La recirculation des boues: 33
7.2 Séchages des boues: 35
8. Echantillonnage 36
8.1 Nature et période du prélèvement : 36
8.2 Choix des points de prélèvement : 36
9. Etiquetage, Transport et conservation des échantillons avant l'analyse : 37
10. Analyses physico-chimiques 37
10.1 PH 37
10.2 Température (TC°) : 38
10.3 Conductivité électrique (CE) : 39
10.4 Dosage de La demande biochimique en oxygène (DBO5) : 39
10.5 Demande chimique en oxygène (DCO) : 41
10.6 La Matière en suspension(MES) : par méthode de centrifugation 42
10.7 Dosage de l'azote ammoniacal ($N\text{-}NH_3+$): 44
10.8 Dosage des nitrites ($N\text{-}NO_2$ -): 46
10.9 Dosage des nitrates ($N\text{-}NO_3$ -) : 47
11. Analyses bactériologiques : 48
11.1 Préparation des dilutions : 48
11.2 Recherche et dénombrement des Streptocoques en milieu liquide : 49
11.3 Recherche et dénombrement des germes totaux : 50
11.4 Recherche et dénombrement des coliformes totaux : 51
11.5 Recherche et dénombrement de coliformes fécaux : 52
Partie résultats et discussion : 55
1. Les analyses physico-chimiques : 55
1.1 Température 56
1.2 pH 57
1.3 La Matière en susponsion (MES) : 58

1.4 Dosage de La demande biochimique en oxygène (DBO5) **60**
1.5 Demande chimique en oxygène (DCO) **61**
1.6 Conductivité(CE) **62**
1.7 L'azote ammoniacal N- NH_3 +: **63**
1.8 Nitrites (N-NO_2^-): **64**
1.9Nitrates (N-NO_3 -) : **66**
2. Les analyses bactériologiques : **67**
Conclusion : **75**
Perspectives futures : **76**
Référence : **78**
Annexe 1 ..... **88**
Annexe 2 ..... **89**
Annexe 3 : **91**
Annexe 4 : **99**

Liste des Figure

Figure 1 : le cycle naturel de l'eau (consulté en mai 2026) 5
Figure 2: les eaux de surface(consulté en mai 2026) 6
Figure 3: les eaux souterraines(consulté en mai 2026) 6
Figure 4 : les eaux usées domestiques (consulté en mai 2026) 8
Figure 5: les eaux usées pluviales (consulté en mai 2026) 8
Figure 6: les eaux usées industrielles (consulté en mai 2026) 9
Figure 7 : les eaux usées agricoles (consulté en mai 2026) 9
Figure 8: les Etapes d'épuration des eaux usées (.consulté en 2026) 13
Figure 14: Situation géographique de la wilaya de Mila (Kadjoudj, 2022). 25
Figure 15: STEP Sidi Merouane (réalisation personnelle) 26
Figure 16: Dégrilleur grossier (1: automatique, 2: manuel). (Réalisation personnelle) 28
Figure 17: Dégrilleur fin (1 : automatique, 2 : manuel). (réalisation personnelle) 28
Figure 18: Déssableur (réalisation personnelle) 29
Figure 19: Déshuileur (réalisation personnelle) 30
Figure 20: basin de traitement biologique (réalisation personnelle) 31
Figure 21: La zone anoxie dans le chenal (réalisation personnelle) 32
Figure 22: La zone aérée dans le chenal (réalisation personnelle) 32
Figure 23: le dégazeur.(réalisation personnelle) 33
Figure 24: Le clarificateur. (Réalisation personnelle) 33
Figure 25: La recirculation des Boues. (Réalisation personnelle) 34
Figure 26 : La table d'égouttage. (Réalisation personnelle) 34
Figure 27: Le Filtre à Bande. (Réalisation personnelle) 35
Figure 28: Le séchage. (Réalisation personnelle) 36
Figure 29: Point 01 eau brute (1: prélèvement manuelle) (2: préleveur). 37
Figure 30: Point 02 eau épurée (1: prélèvement manuelle) (2 : préleveur automatique). (Réalisation personnelle) 37
Figure 31: Mesure de pH. (Réalisation personnelle) 38
Figure 32: Mesure de CE. (Réalisation personnelle) 39
Figure 34: Mesure de DBO5. (Réalisation personnelle) 41
Figure 35: Mesure de DCO l'eau brute (Réalisation personnelle) 41
Figure 36 : Mesure de DCO l'eau épurée. (Réalisation personnelle) 42
Figure 37 : Détermination de la MES des eaux brutes par centrifugation. 43
Figure 38 : Détermination de la MES des eaux épurées par filtration. 44
Figure 39: Mesure de l'azote ammoniacal N- NH_3 + l'eau brute. 45
Figure 40 : Mesure de l'azote ammoniacal N- NH_3 + l'eau épurée. 45
Figure 41 : Mesure de nitrites l'eau brute. (Réalisation personnelle) 46
Figure 42 : Mesure de nitrites l'eau épurée. (Réalisation personnelle) 47
Figure 43 : Dosage le Nitrate N-NO_3 - d'eau brute. (Réalisation personnelle) 48
Figure 44: Dosage le Nitrate N-NO_3 - d'eau épurée. 48
Figure 45: Préparation des dilutions (Réalisation personnelle) 49
Figure 46: Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux. (Réalisation personnelle) 50
Figure 47: Recherche et dénombrement des germes totaux. 51

Figure 48 : Recherche et dénombrement de coliformes totaux. (Réalisation personnelle)..... 52
Figure 49 : Recherche et dénombrement de coliformes fécaux. 53
Figure 50 : graphe d'évolution de résultats TC° 57
Figure 51: graphe d'évolution de résultats PH..... 58
Figure 52 : graphe d'évolution de résultats MES..... 59
Figure 53: graphe d'évolution de résultats DBO5..... 60
Figure 54: graphe d'évolution de résultats DCO 61
Figure 55 : graphe d'évolution de résultats de conductivité 62
Figure 56: graphe d'évolution de résultats d'N-NH_3^+ 63
Figure 57 : graphe d'évolution de résultats d'N-NO_2^- 65
Figure 58: graphe d'évolution de résultats d'N-NO_3^- 66
Figure 59: graphe d'évolution des paramètres bactériologiques de STEP (entrée) 70
Figure 60 : graphe d'évolution des paramètres bactériologiques de STEP (sortie) 71

Liste des tableaux

Tableau 1: Valeurs limites des paramètres physico-chimiques des eaux usées selon les normes algériennes (Décret exécutif n°06-141, 2006)..... 21

Tableau 2: Valeurs limites des paramètres physico-chimiques des eaux usées selon OMS/FAO (source : OMS/FAO(2006). Directives relatives à la réutilisation des eaux usées traitées)..... 21

Tableau 3: **le volume et le facteur d'échantillonnage**. (**Réalisation personnelle**) 41

Tableau 4 : résultats des paramètres physico-chimiques d'eau brute et épurée..... 55

Tableau 5 : calcul d'UFC/ml des résultats de l'eau brute (entrée) 69

Tableau 6 : calcul d'UFC/ml des résultats de l'eau épurée (sortie) 70

Tableau 7 : calcul de moyenne des résultats (entrée) 89

Tableau 8 : calcul de moyenne des résultats (sortie) 90

Tableau 9 : Matériels, appareils et produits utilisés pour les analyses bactériologiques..... 91

Tableau 10 : Matériel, appareils et produits utilisés pour les analyses physico-chimiques.....99

Liste des abréviations

C°: Degré Celsius

CE : Conductivité électrique.

DBO5 : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours.

DCO : Demande chimique en oxygène.

FAO : L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

M1: La masse du filtre avant filtration en mg.

M2 : La masse du filtre après filtration en mg.

MES: Matières en Suspensions.

MO: Matière organique.

N: Azotes.

$N\text{-}NH_3^-$: Azotes Ammoniac ale.

$N\text{-}NO_2^-$: Nitrite.

$N\text{-}NO_3^-$: Nitrate.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONA : Office National d'Assainissement

pH : Potentiel Hydrométrique.

STEP : Station d'épuration

T° : Température

V30 : volume du bassin d'aération: volume occupée 1 litre pendant 30 minutes de décantation

µS/cm : Micro siemens par centimètre.

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE:

L'eau est une ressource naturelle essentielle à la vie et au développement humain. Elle est utilisée dans de nombreux secteurs tels que l'agriculture, l'industrie et l'alimentation en eau potable. Cependant, cette ressource connaît une dégradation progressive de sa qualité en raison des activités humaines, notamment les rejets industriels, les eaux usées domestiques, l'utilisation excessive d'engrais et de pesticides ainsi que l'expansion urbaine **(Akhtar et al., 2021).** Le rejet des eaux usées non traitées constitue ainsi l'un des principaux facteurs de détérioration des eaux de surface et des eaux souterraines, avec des conséquences néfastes sur l'environnement et la santé humaine **(Asghar et al., 2018).**

Dans un contexte marqué par l'augmentation de la demande en eau et la rareté des ressources hydriques en Algérie, liée à sa situation dans une zone aride à semi-aride, la gestion et la préservation des ressources en eau deviennent des enjeux majeurs nécessitant l'adoption de stratégies durables et efficaces **(Zerdoumi et Abramov, 2023).**

Dans ce cadre, les stations d'épuration des eaux usées jouent un rôle essentiel dans la collecte et le traitement des eaux provenant des activités domestiques, industrielles et agricoles. Ces eaux contiennent diverses substances organiques et minérales ainsi que des micro-organismes pathogènes, ce qui rend leur traitement indispensable avant leur rejet dans le milieu naturel **(Aghalari et al., 2020).** Les stations d'épuration contribuent ainsi à la réduction des polluants physiques, chimiques et biologiques, limitant les risques sanitaires et environnementaux associés **(Olabode et al., 2020).** Par ailleurs, la réutilisation des eaux usées traitées représente une ressource hydrique complémentaire particulièrement importante dans les régions confrontées à la pénurie d'eau **(Dimane et El Hammoudani, 2021).**

Afin d'évaluer la qualité des eaux usées et l'efficacité des procédés de traitement appliqués, les analyses physico-chimiques et bactériologiques constituent des outils fondamentaux. Elles permettent d'apprécier le niveau de pollution des eaux et de comparer les caractéristiques des eaux brutes et des eaux traitées (**Debassi et al., 2025**). Dans cette perspective, il apparaît nécessaire de s'interroger sur l'efficacité réelle des stations d'épuration dans l'amélioration de la qualité des eaux usées et sur la conformité des eaux traitées aux normes réglementaires en vigueur.

C'est dans cette optique que la station d'épuration de Sidi Merouane a été retenue comme cas d'étude. Située dans la wilaya de Mila, cette station assure le traitement des eaux usées provenant de plusieurs agglomérations voisines avant leur rejet dans le milieu récepteur,

dans le but de réduire la pollution et de préserver les ressources hydriques de la région (**Chebta et Zeghilet, 2014).**

Le présent travail a pour objectif de réaliser une étude comparative des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes et des eaux traitées au niveau de cette station, afin d'évaluer leur qualité et d'apprécier l'efficacité des procédés de traitement mis en œuvre.

Afin de répondre à cet objectif, ce mémoire est structuré en deux parties principales.

La première partie, consacrée à la synthèse bibliographique, comprend deux chapitres : le premier porte sur les concepts généraux liés à l'eau et aux eaux usées, tandis que le second traite des procédés de traitement des eaux usées et des paramètres d'évaluation de leur qualité.

La deuxième partie, dédiée à l'étude expérimentale, comprend également deux chapitres : le premier présente la zone d'étude, le matériel utilisé ainsi que les méthodes d'échantillonnage et d'analyse, alors que le second est consacré à la présentation, l'analyse et la discussion des résultats obtenus.

Enfin, une conclusion générale résume les principaux résultats de l'étude.

Chapitre I : Concepts généraux sur l'eau et les eaux usées

1. Généralités sur l'eau :

L'eau est une ressource essentielle au fonctionnement de la vie et au développement des activités humaines. Même si elle est abondante à l'échelle de la planète, seule une petite partie est réellement exploitable sous forme d'eau douce, estimée à environ **2,5 % (organisation des Nations Unies, 2020).** Cette disponibilité, limitée devient de plus en plus préoccupante avec les changements climatiques et la croissance démographique, qui exercent une pression importante sur les ressources hydriques.

Dans le cas de l'Algérie, la situation est encore plus sensible, notamment dans les régions sahariennes où les conditions climatiques rendent l'accès à l'eau difficile. Pour répondre à ces contraintes, plusieurs solutions ont été adoptées. Parmi elles, le dessalement de l'eau de mer joue aujourd'hui un rôle important dans l'alimentation en eau potable, en particulier dans les zones côtières **(agence Nationale des Ressources en Eau, 2021).**

Face à cette pression croissante, il devient nécessaire de repenser la gestion de l'eau. Le recours au traitement et à la réutilisation des eaux usées représente, dans ce contexte, une solution intéressante. Ces approches permettent non seulement de préserver les ressources naturelles, mais aussi de répondre aux besoins en eau dans différents secteurs.

1.2. Cycle de l'eau:

Le changement climatique représente aujourd'hui un facteur majeur de perturbation du cycle naturel de l'eau. L'augmentation des températures influence directement les phénomènes d'évaporation et de précipitation, ce qui modifie progressivement l'équilibre hydrique à l'échelle mondiale **(Wang & Liu, 2023).**

Ces modifications ne se manifestent pas de la même manière selon les régions. Dans certaines zones, on observe une augmentation des précipitations pouvant provoquer des inondations, tandis que d'autres régions subissent des périodes de sécheresse plus longues. Cette variabilité affecte aussi bien les ressources en eau de surface que les nappes souterraines, rendant leur disponibilité plus incertaine.

Dans ce contexte, la gestion des ressources en eau devient plus complexe. Il est donc nécessaire d'adopter des approches adaptées, notamment en développant des solutions comme le traitement et la réutilisation des eaux usées, afin de mieux faire face aux déséquilibres liés au changement climatique.



Figure 1 : le cycle naturel de l'eau ,mai 2026 (1)

2. Ressources hydriques

2.1 Types de ressources hydriques

Les **ressources** en eau peuvent être classées en deux grandes catégories : l'eau de **surface** et l'eau **souterraine**. Chacune joue un rôle **fondamental** dans le cycle de l'eau.

2.1.1 Eaux de surface :

Les eaux de surface regroupent principalement les rivières, les lacs et les retenues artificielles. Elles constituent une ressource hydrique importante pour l'alimentation en eau potable, l'agriculture ainsi que pour diverses activités industrielles. Cependant, leur qualité et leur disponibilité restent fortement influencées par plusieurs facteurs, notamment la pollution, l'urbanisation croissante et les effets du changement climatique.

Dans plusieurs régions du monde, ces ressources subissent une pression importante. Le cas du fleuve Nil illustre bien cette situation, puisqu'il fait face à des contraintes multiples liées à la variabilité climatique ainsi qu'aux en jeux de gestion entre les pays qu'il traverse. Selon **Mekonnen et al., (2022),** ces changements pourraient affecter durablement l'équilibre hydrique de ce bassin et compromettre l'accès à l'eau pour une large partie de la population.

Par ailleurs, la répartition des eaux de surface demeure inégale à l'échelle mondiale. Cette situation est particulièrement marquée dans les zones arides, où la rareté de ces ressources impose la mise en place de stratégies de gestion plus efficaces, notamment à travers une meilleure valorisation des ressources non-conventionnelles comme les eaux usées traitées.



Figure 2: les eaux de surface ,Consulté en mai 2026 (2)(3)

2.1.2 Eaux souterraines :

Les eaux souterraines, stockées dans les nappes phréatiques et aquifères, sont une source d'eau durable et relativement protégée des influences extérieures. Elles sont essentielles dans les régions arides où l'accès aux eaux de surface est limité. Cependant, leur surexploitation et la pollution croissante les rendent vulnérables. Par exemple, au Moyen-Orient, l'eau souterraine est souvent la seule ressource pour les populations rurales, mais son épuisement rapide représente un défi majeur pour la sécurité de l'eau **(Al-Mulla et al., 2021).**

Malgré leur relative protection, les aquifères sont sensibles à l'infiltration de polluants et aux effets du changement climatique qui affectent leur recharge et leur qualité.

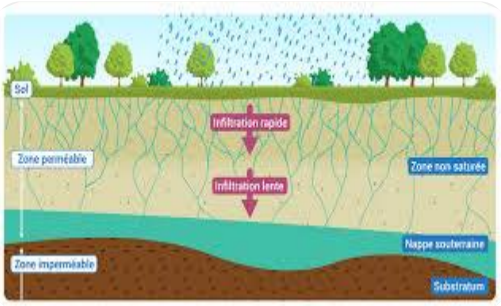


Figure 3: les eaux souterraines ,consulté en mai 2026 (4)

3. Distribution et disponibilité de l'eau :

La répartition des ressources en eau douce à l'échelle mondiale reste très inégale. Certaines régions, notamment les zones tropicales, bénéficient de disponibilités relativement importantes, alors que d'autres, comme le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord, souffrent d'un déficit hydrique marqué. Dans plusieurs pays de ces régions, la disponibilité en eau par habitant peut atteindre des niveaux critiques, insuffisants pour couvrir les besoins essentiels **(UNESCO, 2020).**

Cette situation est davantage aggravée par les effets du changement climatique. L'augmentation de la fréquence des événements extrêmes, tels que les sécheresses et les inondations, accentuent les déséquilibres déjà existants et fragilisent l'accès à l'eau dans les zones les plus vulnérables **(Mekonnen et al., 2021).**

Dans ce contexte, la recherche de solutions alternatives devient indispensable. Le recours au traitement et à la réutilisation des eaux usées apparaît ainsi comme une option pertinente pour réduire la pression sur les ressources conventionnelles et améliorer la sécurité hydrique.

4. Les eaux usées :

4.1 Définition

Les eaux usées correspondent à des eaux déjà utilisées, issues d'une ou de plusieurs sources telles que les activités domestiques, agricoles et industrielles. Leur composition varie en fonction de l'origine des pollutions et du degré de dilution, et elles renferment divers contaminants, notamment des agents pathogènes ainsi que des matières organiques, inorganiques et des composés chimiques, pouvant représenter un risque pour la santé humaine et l'environnement **(FAO, 2019).**

4.2 Les origines des eaux :

Les eaux usées peuvent être classées en plusieurs catégories selon leur origine et la nature des activités qui en sont responsables.

4.2.1 Les eaux usées domestiques:

Les eaux usées domestiques regroupent les effluents issus de l'utilisation quotidienne de l'eau dans les habitations et les zones urbaines. Elles proviennent des activités d'hygiène, de préparation des aliments, de lavage ainsi que de l'utilisation des installations sanitaires. Leur composition est variée et comprend des matières organiques, des nutriments, des micro-organismes pathogènes et des résidus de produits ménagers. En raison des volumes générés, elles constituent une source importante de pollution et nécessitent des systèmes de collecte et de traitement adaptés afin de protéger les milieux naturels et la santé publique **(Etsuyankpa et al., 2024).**



Figure 4 : les eaux usées domestiques ,consulté en mai 2026 (5)

4.2.2 Les eaux usées pluviales :

Les eaux pluviales proviennent des précipitations atmosphériques, comme la pluie ou la fonte des neiges. En milieu urbain, l'imperméabilisation des sols favorise leur écoulement en surface. Lors du ruissellement, elles se chargent en polluants présents sur les surfaces, tels que des particules solides, des matières organiques et des hydrocarbures. Elles peuvent ainsi altérer la qualité des milieux récepteurs, comme les cours d'eau et les nappes souterraines, ce qui nécessite des dispositifs de gestion pour limiter leur impact environnemental **(EPA, 2026).**



Figure 5: les eaux usées pluviales ,consulté en mai 2026 (6)

4.2.3 Les eaux usées industrielles :

Les eaux usées industrielles sont générées par les activités de production et de transformation dans les différents secteurs industriels. Elles résultent des procédés utilisés au sein des unités de fabrication. Leur composition, variable selon ces procédés, peut inclure des métaux lourds, des composés organiques, des solvants ainsi que diverses substances toxiques, susceptibles de représenter un risque pour l'environnement. Leur traitement repose sur des techniques adaptées visant à réduire la charge polluante avant tout rejet ou toute réutilisation **(Etsuyankpa et al., 2024).**



Figure 6: les eaux usées industrielles, consulté en mai 2026 (7)

4.2.4 Les eaux usées agricoles :

Les eaux usées agricoles proviennent des activités agricoles telles que l'irrigation, l'élevage et la production agricole. Leur composition dépend des pratiques culturales et des conditions environnementales. Elles contiennent des matières organiques, des nutriments tels que l'azote et le phosphore, ainsi que des résidus de produits phytosanitaires et des micro-organismes. Leur rejet peut altérer la qualité des eaux et perturber les écosystèmes, ce qui nécessite la mise en place de solutions de gestion adaptées, telles que le traitement, la réutilisation contrôlée ou l'élimination sécurisée **(Abonyi et al., 2024).**



Figure 7 : les eaux usées agricoles ,consulté en mai 2026 (8)

5. Les caractéristiques des eaux usées :

Les caractéristiques des eaux usées sont généralement regroupées en trois catégories principales : physiques, chimiques et biologiques, incluant notamment les aspects bactériologiques, ce qui permet de décrire leur composition ainsi que leur état global.

5.1 Les caractéristiques physiques :

Les caractéristiques physiques des eaux usées correspondent aux propriétés perceptibles par les sens. Elles sont essentiellement liées à la présence de matières solides, qui influencent la couleur et la turbidité des eaux usées. Elles comprennent également la

température et les odeurs, considérées comme des paramètres physiques importants permettant de décrire l'état général des eaux usées **(Hashemet Qi, 2021).**

5.2 Les caractéristiques chimiques :

Les caractéristiques chimiques des eaux usées concernent leur composition et leur nature chimique. Elles sont principalement liées à la présence de substances organiques et inorganiques. Ces substances se présentent sous forme dissoute ou en suspension dans l'eau, et incluent également des éléments nutritifs ainsi que des traces de composés potentiellement toxiques présents à faibles concentrations **(Hashemet Qi, 2021).**

5.3 Les caractéristiques bactériologiques :

Les caractéristiques bactériologiques des eaux usées concernent la présence des micro-organismes d'origine principalement fécale, introduits dans le milieu à travers différents rejets. Elles sont évaluées à l'aide de bactéries indicatrices telles qu'*Escherichia coli*. Leur détection permet d'estimer le degré de contamination et de caractériser l'état sanitaire global des eaux usées, tout en apportant des indications sur leur qualité microbiologique **(Folorunso, 2025).**

6. Gestion durable des ressources hydriques :

La gestion durable des ressources en eau s'impose aujourd'hui comme une priorité face aux pressions croissantes liées aux changements climatiques, à l'augmentation de la population et au développement industriel. Dans ce contexte, la gestion intégrée des ressources en eau vise à assurer une coordination entre les différents usages, notamment l'agriculture, l'industrie et l'alimentation en eau potable, afin de garantir une utilisation plus équilibrée et efficace **(Wang et al., 2021).** Parmi les actions mises en œuvre, l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau occupe une place importante. Cela passe par l'adoption de techniques modernes, telles que l'irrigation goutte à goutte en agriculture ou encore le recyclage de l'eau dans le secteur industriel **(Zhang et al., 2020).**

Dans les régions les plus touchées par le stress hydrique, le recours au dessalement de l'eau de mer constitue également une solution de plus en plus utilisée pour sécuriser l'approvisionnement en eau **(Müller & Möller, 2020).**

Par ailleurs, la réutilisation des eaux usées s'inscrit comme une alternative essentielle dans une démarche de gestion durable. Après traitement, ces eaux peuvent être valorisées dans plusieurs domaines, notamment l'agriculture et certaines activités industrielles. Cette approche

permet de réduire la dépendance aux ressources en eau douce tout en limitant les rejets dans l'environnement **(Perez et al., 2020).**

7. Défis liés à la gestion des ressources hydriques :

La gestion des ressources en eau fait face à plusieurs défis majeurs qui compliquent sa durabilité. Parmi les facteurs les plus importants, le changement climatique joue un rôle central en perturbant les régimes de précipitations. Cela entraîne, selon les régions, des épisodes de sécheresse prolongée ou des inondations plus fréquentes, rendant la gestion des ressources hydriques, plus difficile **(Sadoff et al., 2021).** À cela, s'ajoute l'augmentation continue de la demande en eau, liée principalement à la croissance démographique et au développement des activités humaines. Cette pression accrue s'exerce une contrainte importante sur les ressources disponibles, notamment dans les zones déjà en situation de stress hydrique **(Vörösmarty et al., 2020)**.

Par ailleurs, d'autres problèmes viennent aggraver cette situation, comme la surexploitation des nappes phréatiques et la dégradation de la qualité de l'eau due aux rejets industriels et agricoles. Dans certains cas, la gestion de l'eau dépasse même le cadre environnemental et devient une question géopolitique, notamment dans les bassins transfrontaliers où l'eau constitue une source de tension entre pays **(Gleick et al., 2021).**

Chapitre II : Procédés de traitement et évaluation de la qualité des eaux usées

1. Définition :

Le traitement des eaux usées est essentiel pour protéger l'environnement et limiter la pollution des milieux aquatiques, surtout avec l'augmentation des activités humaines **(Díaz et al., 2023).** Il permet aussi de valoriser ces eaux en récupérant l'eau traitée et d'autres ressources, ce qui contribue à une gestion plus durable **(Zhang et al., 2025).**

2. L'objectif de traitement des eaux usées :

Le traitement des eaux usées vise principalement à réduire la pollution en éliminant les contaminants tels que les agents pathogènes, les métaux lourds set les substances chimiques, afin de protéger la santé publique et l'environnement **.** Il permet également la réutilisation des eaux traitées, notamment pour l'irrigation ou certains usages industriels, ce qui contribue à réduire la pression sur les ressources en eau douce **(Sadoff et al., 2021).**

Par ailleurs, ce processus offre la possibilité de récupérer certaines ressources, comme l'énergie issue des boues d'épuration, renforçant ainsi l'efficacité globale du traitement **(Müller & Möller, 2020).**

Enfin, il joue un rôle essentiel dans la protection des milieux naturels en limitant la contamination des rivières et des nappes phréatiques.

3. Les étapes de traitement :

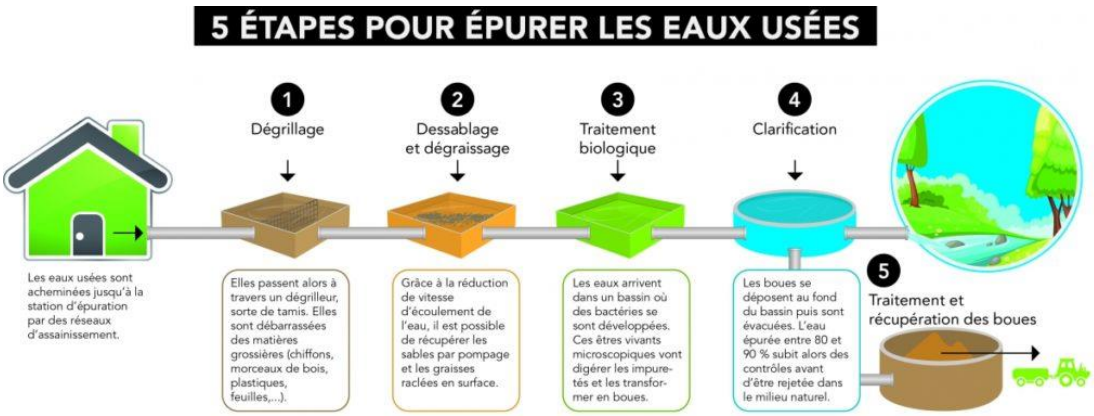


Figure 8: les Etapes d'épuration des eaux usées ,consulté en 2026 (9)

3.1 Prétraitement : (Dégrilleur grossier)

Le prétraitement repose sur des mécanismes physiques de séparation mécanique. À l'entrée de la station d'épuration, les eaux usées passent à travers des grilles et des tamis dont le rôle est de retenir les matières solides de grande taille. Ce mécanisme fonctionne par simple interception physique: les éléments dont la taille est supérieure aux ouvertures des grilles sont

bloqués, tandis que l'eau continue son chemin. Cette étape permet de protéger les équipements en aval contre l'obstruction et de réduire la charge initiale en polluants solides **(Tchobanoglous et al., 2023).**

3.2 Le traitement primaire :(**Dégrillage fin, Dessablage-déshuilage)**

Le traitement primaire est basé sur un mécanisme de décantation gravitaire. Dans les bassins de décantation, l'eau est mise en repos relatif afin de permettre la séparation naturelle des phases. Les particules solides, plus denses que l'eau, se déposent progressivement au fond sous l'effet de la gravité, formant des boues. À l'inverse, les matières légères comme les huiles et les graisses remontent à la surface grâce à leur faible densité et sont éliminées par écrémage.

Ce mécanisme physique permet de réduire une partie importante des matières en suspension et de la charge organique **(Sharma & Sanghi, 2021**).

3.3 Le traitement secondaire :(**Traitement biologique)**

Le traitement secondaire repose sur des mécanismes biologiques de dégradation de la matière organique. Dans les bassins d'aération, l'oxygène est injecté afin de maintenir un milieu aérobie favorable à l'activité des micro- organismes. Les bactéries consomment la matière organique dissoute et la transforment par oxydation biologique en composés simples tels que le dioxyde de carbone, l'eau et une nouvelle biomasse. Ce mécanisme dépend fortement de l'équilibre entre oxygène, substrat organique et population microbienne, et permet une réduction importante de la DBO et de la DCO **(Tchobanoglous et al., 2023).**

3.4 clarification :

Le traitement tertiaire combine plusieurs mécanismes avancés :

Les mécanismes physiques, comme la filtration membranaire, permettent la séparation des particules très fines grâce à des membranes à pores très réduits.

Les mécanismes chimiques interviennent par ajout de réactifs permettant la précipitation du phosphore sous forme insoluble.

En parallèle, des mécanismes biologiques spécifiques assurent l'élimination de l'azote à travers la nitrification **(transformation de NH_3 en nitrates)** suivie de la dénitrification (conversion des nitrates en azote gazeux). Ces mécanismes combinés permettent d'atteindre une qualité d'eau élevée **(Tchobanoglouset al., 2023).**

3.5 La désinfection :

La désinfection repose sur des mécanismes d'inactivation des micro- organismes pathogènes. Le chlore agit par oxydation des structures cellulaires, ce qui perturbe les fonctions vitales des bactéries. L'ozone possède un pouvoir oxydant plus élevé et détruit rapidement les membranes cellulaires. Les rayons ultraviolets **(UV)** agissent différemment en altérant l'ADN des micro-organismes, empêchant ainsi leur reproduction. Ces mécanismes permettent de garantir une eau microbiologiquement sûre avant son rejet ou sa réutilisation (**Tchobanoglous et al., 2023).**

Les rayons UV, par exemple, n'ajoutent aucun résidu chimique dans l'eau, ce qui les rend particulièrement favorisés dans les zones soucieuses de l'impact environnemental des traitements chimiques.

4. Réutilisation et valorisation des eaux usées :

Après les différentes étapes de traitement, les eaux usées peuvent être valorisées et réutilisées dans plusieurs domaines. En effet, le traitement tertiaire permet d'obtenir une eau de qualité suffisante pour être réutilisée dans des applications non potables, telles que l'irrigation agricole, les usages industriels ou encore la recharge des nappes phréatiques. Cette réutilisation constitue une solution efficace pour réduire la pression sur les ressources en eau douce, en particulier dans les régions confrontées à une pénurie d'eau (**Metcalf & Eddy, 2014)**.

Par ailleurs, le traitement des eaux usées offre également des possibilités de valorisation des sous-produits générés. Les boues issues des différentes étapes de traitement peuvent être transformées en biogaz par un processus de méthanisation, permettant ainsi la production d'une énergie renouvelable et la réduction de l'empreinte carbone des stations d'épuration **(Gleick et al., 2021).** Cette approche s'inscrit dans une logique d'économie circulaire, visant à optimiser l'utilisation des ressources disponibles.

En outre, la réutilisation des eaux traitées contribue à la protection de l'environnement, en limitant le rejet de polluants dans les milieux naturels, notamment les métaux lourds et les résidus pharmaceutiques susceptibles d'affecter les écosystèmes aquatiques (**Qadir et al., 2020).** Ainsi, la valorisation et la réutilisation des eaux usées représentent une stratégie essentielle pour une gestion durable des ressources hydriques.

5. Les Paramètres de qualité des eaux :

5.1 Paramètres physico-chimiques :

5.1.1 La température :

La température est un paramètre physique influençant les caractéristiques des eaux usées, en agissant notamment sur l'activité des micro-organismes. Elle affecte également les réactions biologiques, dont l'intensité augmente avec son élévation et diminue en cas de baisse, ce qui influence directement l'efficacité des procédés de traitement **(Alisawi, 2020).**

5.1.2 Turbidité :

La turbidité est un paramètre utilisé pour évaluer la qualité des eaux usées. Elle traduit le degré de transparence du milieu et est liée à la présence de particules fines en suspension, d'origine organique ou minérale. Elle reflète principalement la concentration en matières en suspension (**MES**), responsables de son augmentation **(Mohammed Said, 2012, cité dans Tabet, 2015).**

5.1.3 pH :

Le potentiel hydrogène **(pH)** est un indicateur permettant de caractériser l'équilibre acido-basique d'un milieu aqueux. Il s'agit d'une mesure logarithmique basée sur la concentration en ions hydrogène **(H^+),** permettant de situer le milieu sur une échelle allant de **0** à **14**. Cette échelle indique un état neutre pour une valeur égale à **7**, des conditions acides pour des valeurs inférieures et des conditions basiques pour des valeurs supérieures **(Tigga et Pandey, 2023 ; Woldeamanuale, 2017).**

5.1.4 La conductivité électrique :

La conductivité électrique correspond à la capacité d'un milieu aqueux à conduire le courant électrique en fonction de la concentration en ions issus des substances dissoutes. Elle dépend principalement de la teneur en sels et autres composés minéraux, et varie avec la température. Sa mesure est généralement effectuée à 25°C afin d'assurer la comparabilité des résultats **(Verma et al., 2025).**

5.1.5 Matières en Suspension (MES) :

Les matières en suspension (**MES**) désignent les particules solides présentes dans l'eau, qu'elles soient organiques ou inorganiques, et qui ne se dissolvent pas dans l'eau. Ces particules peuvent provenir de sources naturelles comme l'érosion, ou être issues de l'activité humaine,

principalement l'industrie et l'agriculture. Leur concentration est un indicateur important de la pollution de l'eau. Une concentration élevée de MES peut réduire la qualité de l'eau, obstruer les systèmes de filtration et perturber la faune et la flore aquatiques **(Benhamou, 2016).**

En outre, elles peuvent empêcher la pénétration de la lumière, affectant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques, et nuire à la vie marine **(Boudjenna, 2018).**

5.1.6 Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours(DBO5):

La Demande Biochimique en Oxygène sur **5** jours **(DBO5)** est une mesure importante pour évaluer la pollution organique dans les eaux. Elle représente la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes au cours de la dégradation de la matière organique sur une période de cinq jours. Une **DBO5** élevée peut indiquer une forte présence de matière organique dans l'eau, souvent liée à un déversement d'eaux usées ou à un faible niveau d'oxygénation dans les milieux aquatiques. Cela peut entraîner un manque d'oxygène dissous, essentiel pour la vie aquatique **(Gacem, 2017).** Cette mesure est donc cruciale pour la gestion de la qualité de l'eau, notamment dans les systèmes de traitement des eaux usées **(Mekhenni, 2019).**

5.1.7 Demande Chimique en Oxygène (DCO) :

La Demande Chimique en Oxygène **(DCO)** est un paramètre qui permet de mesurer la quantité d'oxygène nécessaire pour oxydation chimique de la matière organique et des polluants chimiques dans l'eau. Contrairement à la **DBO5**, la **DCO** est plus générale, car elle inclut aussi bien les matières organiques biodégradables que les substances non biodégradables. Un taux élevé de **DCO** dans l'eau est souvent associé à la présence de polluants industriels et agricoles **(Boudjemaa, 2020).** L'impact de la **DCO** sur la qualité de l'eau est significatif, notamment dans les régions industrielles, où la pollution chimique peut altérer gravement les écosystèmes aquatiques (**Chouikh, 2021).**

5.1.8 L'ammoniac (N-NH 3^{+}) :

L'ammoniac ($\mathbf{NH_3}$) est un paramètre important dans le contrôle de la qualité des eaux usées, car il provient principalement de la dégradation des matières organiques azotées. À des concentrations élevées, il peut perturber le fonctionnement biologique des stations d'épuration et avoir un effet toxique sur la vie aquatique, notamment en limitant le processus de nitrification **(European Environment Agency, 2023).**

Pour cette raison, son suivi est systématique dans l'évaluation des eaux traitées, afin de vérifier l'efficacité du traitement et la conformité des rejets. Une mauvaise élimination de l'ammoniac peut indiquer un dysfonctionnement du traitement biologique **(APHA, 2022).**

5.1.9 Les nitrites($N\text{-}NO_2^-$) :

Les nitrites (**$N\text{-}NO_2^-$**) constituent un paramètre intermédiaire important dans le cycle de l'azote au sein des eaux usées. Ils apparaissent généralement lors de la transformation de l'ammoniac en nitrates, dans le cadre des processus biologiques de nitrification. Cependant, leur présence à des concentrations élevées peut indiquer un déséquilibre du traitement biologique et représente un risque pour les écosystèmes aquatiques, en raison de leur toxicité **(European Environment Agency, 2023).**

Le suivi des nitrites permet donc d'évaluer le bon déroulement des réactions biologiques dans les stations d'épuration et d'assurer la stabilité du traitement. Une accumulation de **$N\text{-}NO_2^-$** est souvent liée à un dysfonctionnement des conditions d'aération ou à une activité bactérienne insuffisante **(APHA, 2022).**

5.1.10 les nitrates ($N\text{-}NO_3^-$) :

Le nitrate ($N\text{-}NO_3^-$) représente l'une des principales formes d'azote présentes dans les eaux usées et les eaux naturelles. Il est généralement produit lors de l'oxydation de l'ammoniac par les bactéries nitrifiantes au cours des traitements biologiques. Une concentration élevée en nitrates peut favoriser l'eutrophisation des milieux aquatiques et perturber l'équilibre des écosystèmes en réduisant la teneur en oxygène dissous dans l'eau **(Benhedid et al., 2019).** Le suivi du paramètre **$N\text{-}NO_3^-$** est important dans l'évaluation de la qualité des eaux usées traitées, car il permet d'apprécier l'efficacité des processus biologiques de nitrification et de dénitrification appliqués dans les stations d'épuration. En Algérie, plusieurs études ont montré que les concentrations en nitrates varient selon la qualité des rejets et les conditions de traitement des eaux usées **(Tounsi, 2022).**

5.1.11 Le phosphore (P) :

Le phosphore (P) :est un élément nutritif essentiel à tous les organismes vivants. Toutefois, une quantité importante de phosphore s'accumule dans les eaux usées en raison des activités humaines. Cette accumulation favorise l'eutrophisation des milieux aquatiques, ce qui peut entraîner une dégradation des écosystèmes. Ainsi, l'élimination et la récupération du phosphore à partir des eaux usées sont considérées comme des approches nécessaires pour

améliorer la qualité de l'eau et assurer une gestion durable de cette ressource (**Zheng et al., 2022).**

5.2 Paramètres bactériologiques

5.2.1 Flore Totale des Eaux :

La flore microbienne totale représente l'ensemble des micro-organismes présents dans les eaux usées, notamment les bactéries, les levures et certains champignons microscopiques. Sa présence est principalement lié aux rejets domestiques et aux matières organiques biodégradables transportées par les eaux usées. Une concentration élevée de cette flore peut indiquer une forte charge organique ainsi qu'un risque potentiel de contamination microbiologique des milieux récepteurs (**Khelifi et al., 2022).**

Le suivi de ce paramètre permet d'évaluer l'efficacité des différentes étapes de traitement au sein des stations d'épuration, en particulier les procédés biologiques et la désinfection. Une diminution de la flore microbienne après traitement traduit généralement une amélioration de la qualité microbiologique des eaux traitées et une réduction des risques sanitaires **(Benslama, 2021).**

5.2.2 Coliformes totaux :

Les coliformes totaux constituent un groupe hétérogène de bactéries en forme de bacilles, à Gram négatif et non sporulées. Ils regroupent des microorganismes capables de vivre aussi bien en présence qu'en absence d'oxygène. Leur identification repose principalement sur leur capacité à fermenter le lactose, entraînant la production simultanée d'acide et de gaz autour de **35 °C**. Ce groupe rassemble plusieurs genres de la famille des *Enterobacteriaceae*, tels *qu'Escherichia, Enterobacter, Klebsiellaet Citrobacter*. Bien que leur présence ne soit pas toujours liée à une contamination fécale directe, ils sont largement utilisés comme indicateurs globaux de la qualité microbiologique des eaux usées **(Naidoo et Olaniran, 2014 ; Verma et al., 2025).**

5.2.3 Coliformes fécaux :

Les coliformes fécaux, également appelés coliformes thermotolérants, représentent une sous-catégorie des coliformes totaux. Ils se distinguent par leur capacité à fermenter le lactose avec production de gaz à des températures élevées, proches de 44,5 °C. Ils sont majoritairement représentés par *Escherichia coli*, mais incluent également certaines espèces des genres *Klebsiella* et *Enterobacter*. Leur présence est fortement associée à une contamination d'origine intestinale,

qu'elle soit humaine ou animale, ce qui leur confère un rôle essentiel en tant qu'indicateurs fiables de pollution fécale dans les eaux usées (Naidoo et Olaniran, 2014 ; Verma et al., 2025).

5.2.4 *E. coli* dans les Eaux : (indicateur de Qualité et Surveillance)

Escherichia coli ***(E. coli)*** est une bactérie présente dans les eaux en cas de contamination fécale. Elle est largement utilisée comme indicateur de la qualité microbiologique de l'eau, car sa présence révèle une pollution d'origine humaine ou animale **(Benali et al., 2020).** Sa détection peut également signaler la présence de micro-organismes pathogènes dangereux pour la santé.

En Algérie, *E. coli* est fréquemment retrouvée dans les eaux superficielles, surtout près des zones urbaines et agricoles où le traitement des eaux usées reste parfois insuffisant. Ainsi, elle constitue un outil essentiel pour évaluer la qualité de l'eau destinée à différents usages (**Boudoukha et al., 2018).**

La surveillance de cette bactérie est indispensable pour prévenir les risques sanitaires et vérifier l'efficacité des traitements de l'eau, comme la filtration, la chloration ou les UV (**Kouadio et al., 2019).**

En résumé, *E. coli* est un indicateur clé de la qualité de l'eau et un signal d'alerte en cas de contamination, permettant de protéger la santé publique.

5.2.5 *Streptocoques* Fécaux :(Indicateur de Contamination de l'Eau et Risques Sanitaires) :

Les streptocoques fécaux, ou entérocoques, sont des indicateurs microbiologiques utilisés pour détecter la contamination fécale des eaux usées. Leur présence indique généralement une pollution d'origine humaine ou animale et peut être associée à un risque sanitaire lié à la présence possible de micro-organismes pathogènes **(WHO, 2021).** Ces bactéries sont particulièrement utiles dans l'évaluation de la qualité des eaux traitées, car elles présentent une bonne résistance aux conditions environnementales et à certains procédés de désinfection. Ainsi, leur suivi permet d'apprécier l'efficacité des traitements appliqués dans les stations d'épuration et de vérifier la sécurité sanitaire des eaux destinées à la réutilisation, notamment en agriculture **(US EPA, 2020).**

6. Normes et réglementation

6.1 Normes algériennes :

Les normes algériennes relatives aux rejet des eaux usées sont définies par le journal Officiel de la République Algérienne, notamment par le décret exécutif **n°06-141** du **19 avril 2006** .ce décret fixe les valeurs limites des paramètres physico-chimiques des effluents liquides rejetées dans le milieu naturel , tels que le **pH** , la **DBO5** , la **DCO** et les matière en suspension (**MES**) (décret exécutif **n°06-141,2006**)

Parmi les paramètres fixés par le décret exécutif **n°06-141**, seuls les paramètres étudiés dan ce travail ont été retenus :

Tableau 1: Valeurs limites des paramètres physico-chimiques des eaux usées selon les normes algériennes (Décret exécutif n°06-141, 2006).

N°	Paramètres	UNITE	Valeurs limits	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	DCO	"	120	130
5	DBO5	"	35	40

6.2 Normes OMS/FAO

Tableau 2: Valeurs limites des paramètres physico-chimiques des eaux usées selon OMS/FAO (source : OMS/FAO(2006). Directives relatives à la réutilisation des eaux usées traitées).

N°	Paramêtres	UNITE	Valeurs limites	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	$N\text{-}NH_3^+$	mg/L	0.2	≤0.5

2	$N\text{-}NO_2^-$	mg/L	0.5	1
3	$N\text{-}NO_3^-$	mg/L	25	50
4	Turbidité	NTU	≤1	5
5	Conductivité	µS/cm	700-3000	700-3000

7. Les risques sanitaires de la réutilisation des eaux traitées :

Les risques sanitaires associés à la réutilisation des eaux usées traitées sont principalement liés à la présence de micro-organismes pathogènes susceptibles de persister après le traitement, notamment les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes, responsables des affections digestives et parasitaires. Le niveau de risque dépend de la concentration des germes dans l'eau ainsi que de la dose infectieuse nécessaire à l'apparition de l'infection (**Guillaume-Ruty et al., 2024).**

Par ailleurs, l'exposition des populations lors des activités agricoles ainsi que le contact avec les produits irrigués augmentent le risque de contamination et favorisent la propagation des maladies hydriques **(Kouam Kenmogne et al., 2010).**

8. Les risques agricoles liés à la réutilisation des eaux traitées :

La réutilisation des eaux usées traitées en agriculture peut engendrer des risques liés à la présence de contaminants chimiques et microbiologiques, tels que les métaux lourds, les composés organiques et les agents pathogènes, susceptibles d'affecter les cultures ainsi que les écosystèmes agricoles. En outre, l'enrichissement de ces eaux en éléments nutritifs peut perturber l'équilibre des agro-écosystèmes et favoriser la prolifération de certains ravageurs, ce qui peut accroître l'usage des pesticides **(Trottaet al., 2024).**

9. Les risques liés aux sols :

La réutilisation des eaux usées en irrigation agricole peut entraîner des effets négatifs sur les sols, notamment l'augmentation de la salinité et l'accumulation du sodium, ce qui dégrade les propriétés physiques et chimiques du sol et réduit la perméabilité du sol **(Gatta et al., 2020).**

Par ailleurs, ces eaux peuvent contenir divers contaminants, tels que des composés organiques, des métaux lourds et des agents pathogènes, susceptibles de présenter des risques pour leur qualité **(Trotta et al., 2024).**

Chapitre III : Matériel et méthodes

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

1. Présentation de la wilaya de Mila :

La wilaya de Mila, située dans le nord-est de l'Algérie, couvre une superficie de **3 407** km², ce qui représente environ **0.13 %** du territoire national. Elle est bordée par plusieurs wilayas, à savoir la wilaya de Sétif à l'ouest, la Wilaya d' Oum El Bouagui au sud-ouest, la Wilaya de Batna au sud, et la Wilaya de Constantine à l'est, au Nord par la Wilaya de Jijel, au Nord Est par la Wilaya de Skikda. Elle se trouve à environ **400 km** d'Alger, la capitale, ce qui la place dans une zone accessible tout en restant éloignée des grandes agglomérations **(Ministère du Tourisme et de l'Artisanat, 2023).** Elle compte une population estimée à **1 006 199** habitants, comprenant **32** communes et **13** daïras. Elle possède de grands pôles économiques dans les villes de Chelghoum Laïd et Tadjnant, et a un caractère essentiellement agricole et pastoral **(Direction du commerce Mila,2020).**

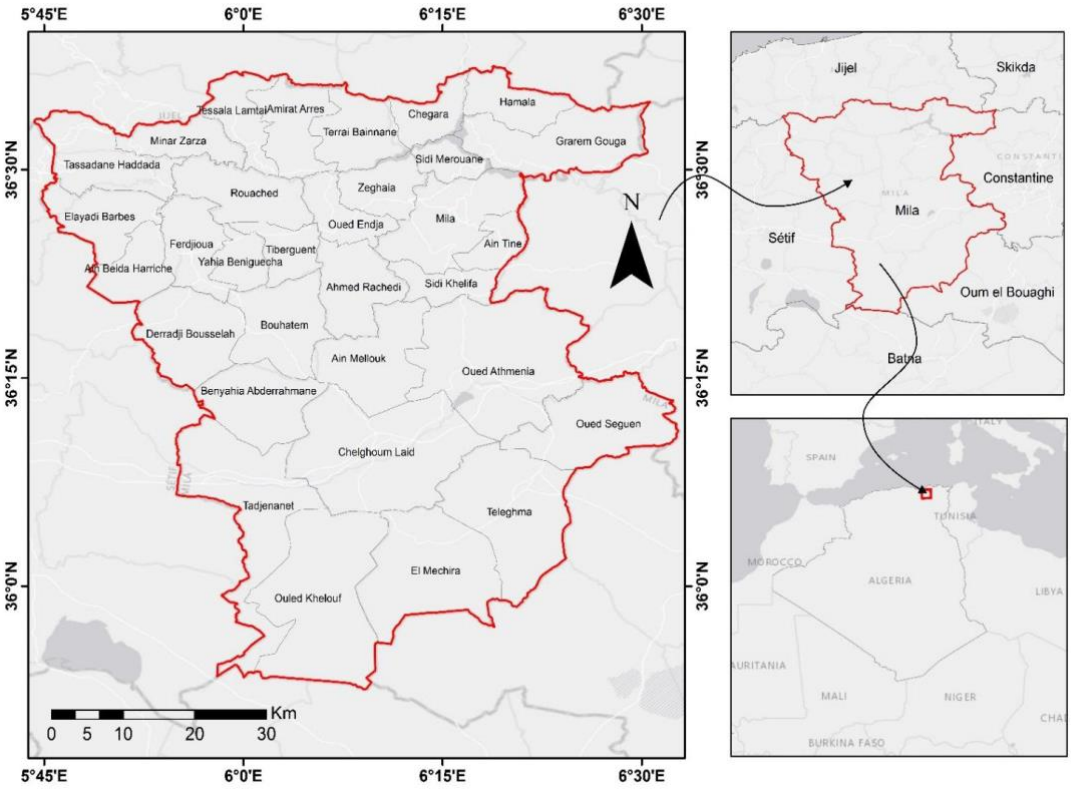


Figure 9: Situation géographique de la wilaya de Mila (Kadjoudj, 2022).

2. Présentation de la ville de Sidi Merouane :

La commune de Sidi Merouane est l'une des communes de la wilaya de Mila, située dans une position géographique privilégiée. Elle se trouve au nord-est de la capitale de la wilaya. Elle couvre une superficie d'environ **35,7 km²** et sa population est d'environ **41 783**

habitants city-facts.(city-facts , **2015**). La commune de Sidi Merouane est située au centre de plusieurs autres régions:

Au Nord par la commune de CHIGARA.

Au Sud par la commune de Mila.

À l'Ouest par la commune de ZEGHAIA.

À l'est par la commune de GRAREM GOUGA

3. Présentation de la STEP de Sidi Merouane:

La station d'épuration des eaux usées de Sidi Merouane est située à proximité du barrage de Beni Haroun, sur la rive gauche de son lac. Elle est implantée sur le territoire de la commune de Sidi Merouane et s'étend sur une superficie d'environ **16** hectares. Sa mise en service a eu lieu le **20 août 2009.**

La station reçoit les eaux usées provenant de plusieurs localités, notamment Mila, Grarem, Ferdoua, Sidi Merouane, Ras El Bir, Annouch Ali, Sibari 1 et Sibari **2**. Après traitement, les eaux épurées sont rejetées dans la cuvette du barrage de Beni Haroun, puis acheminées vers la station de traitement des eaux potables.

Cette station comprend une succession d'ouvrages et d'équipements conçus pour éliminer progressivement les différents polluants contenus dans les eaux usées. Elle constitue ainsi un élément essentiel du dispositif de protection du barrage de Beni Haroune et contribue à la préservation de la qualité de ses eaux **(Moudjed et Guerbaa, 2017).**



Figure 10: STEP Sidi Merouane (réalisation personnelle)

4. Les différents traitements réalisés dans la station étudiée :

4.1 Les prétraitements :

4.1.1 Poste de relevage :

Le débit maximal à prendre en compte pour ce poste est de **1 892 m³/h** lors de la première phase, ce qui représente **92 %** du débit total pendant les périodes de pluie. Les pompes de ce poste, dont l'une est en secours, sont toutes équipées de variateurs de fréquence. Cela garantit un fonctionnement stable sans risques de coups de bélier. Ce poste est conçu pour accueillir une pompe supplémentaire lors de la deuxième phase, afin de gérer le débit prévu pour **2030**. Il dispose aussi d'un déversoir de trop-plein, permettant de diriger les eaux excédentaires directement vers le rejet sans être relevées.

4.2 Le dégrillage:

Dégrilleur grossier :

La présence d'un dégrilleur grossier permet d'éliminer les déchets de taille supérieure à **40** mm dans les effluents, afin de protéger les pompes de relevage contre l'encrassement. Notre installation prévoit l'installation d'un dégrilleur grossier automatique à l'entrée du poste de relèvement des eaux brutes. Le dégrilleur automatique est commandé en fonction du fonctionnement des pompes et est couplé à un système de détection de niveau.





Figure 11: Dégrilleur grossier (1: automatique, 2: manuel). (Réalisation personnelle)

Dégrillage fin:

Après le dégrillage grossier et le relevage, les eaux brutes sont mélangées dans un ouvrage de répartition en amont. Elles passent ensuite par un dégrilleur fin (avec des barres espacées de **15** mm), conçu pour protéger l'ensemble des installations contre l'accumulation de filasse et de flottants de petite taille. Ces dégrilleurs sont installés dans des canaux en béton. Une troisième ligne est équipée d'une grille manuelle pour assurer une solution de secours en cas de panne de l'un des dégrilleurs fins automatiques.



Figure 12: Dégrilleur fin (1 : automatique, 2 : manuel). (réalisation personnelle**)**

Comptage des effluents:

Un comptage des effluents entrants dans la station est effectué en aval du dégrillage, dans un canal Venturi. Le niveau est mesuré par ultrason.

Un préleveur automatique d'échantillons réfrigéré permet de contrôler la qualité des eaux à l'entrée et à la sortie de la station.

Un by-pass de la station est possible en amont du dégrilleur ou à la sortie du dessablage et du déshuilage.

Dessablage-déshuilage:

Dessablage:

L'élimination du sable (Déssablage) vise à séparer les matériaux lourds tels que le sable et les gravillons des eaux usées. Cela se fait à l'aide de dispositifs spécialisés qui permettent de séparer ces matériaux de l'eau par un procédé de décantation, où les particules plus lourdes se déposent au fond des bassins. Cette opération aide à protéger les équipements comme les pompes et les canalisations dans les étapes ultérieures du traitement, en évitant leur obstruction ou leur usure dues au passage de solides. Elle contribue également à maintenir l'efficacité générale du fonctionnement de la station.



Figure 13: Déssableur (réalisation personnelle)

Déshuilage *:*

L'élimination des huiles (Déshuilage) vise à éliminer les huiles et les graisses qui flottent à la surface des eaux usées. Ce processus est réalisé par des techniques telles que les séparateurs ou les systèmes de flottation qui permettent d'isoler ces substances de l'eau, les faisant flotter à la surface pour être ensuite éliminées. L'élimination des huiles a un impact majeur sur l'amélioration de la capacité de l'eau à absorber l'oxygène dans le bassin d'aération, ce qui est crucial pour le traitement des eaux. Elle contribue également à réduire la pollution causée par les huiles et à améliorer la qualité de l'eau traitée.



Figure 14: Déshuileur (réalisation personnel**le)**

La désodorisation biologique:

Principe de fonctionnement :

Pour éviter les nuisances à l'extérieur de la station l'air vicié et collecté est orienté vers une unité de désodorisation avant rejets. Pour garantir un bon rendement d'élimination de polluant, la station de Sidi Merouane applique le procédé ALIZAR basé sur le traitement biologique par voie autotrophe. D'une façon générale, on peut distinguer deux étapes dans le fonctionnement d'un lit autotrophes ALIZAR est un bioréacteur à circulation d'air garni d'un matériau minéral biodagéne. Le flux de l'air à traiter est ascendant. Un plancher perforé soutient le matériau, permettant à l'air de s'infiltrer uniformément et à l'eau d'arrosage de s'écouler. ALIZAR nécessite peu d'investissement. Très économe en énergie, son cout d'exploitation reste faible **(ONA, 2005).**

5. Traitement biologique:

Le traitement biologique utilisé est un traitement par boue activée à faible charge, basé sur la nitrification et la dénitrification, associé à une déphosphoration biologique. Pour garantir une fiabilité maximale et une grande flexibilité d'exploitation, le traitement biologique **(boues activées + clarification)** est réalisée par deux lignes parallèles et isolables l'une de l'autre. Un répartiteur en amont permet de répartir l'eau de manière équilibrée entre les deux lignes, et il est également possible d'isoler une ligne par simple manipulation de Vannes ou de contourner le traitement biologique.

La station comprend deux bassins biologiques en béton armé, chacun ayant une capacité de **13 000 m³.** Chaque bassin biologique est divisé en trois zones :

- Zone anoxique en amont

- Zone anaérobie

- Canal où alternent des zones anoxiques et aérées



Figure 15: basin de traitement biologique (réalisation personnelle**)**

La zone d'anoxie amont :

Cette cuve spécifique, située au début du traitement biologique, permet l'interaction entre la boue de recirculation et une charge polluante élevée. Cela facilite un contrôle local de la composition en substrat du milieu et favorise une sélection bactérienne qui limite la prolifération des filamenteuses. En parallèle, cette zone non aérée contribue à l'élimination des nitrates et assure une stricte condition anaérobie dans la deuxième section du processus.

La zone anaérobie :

Ce processus se déroule dans le deuxième compartiment du réservoir adjacent à chaque canal. La déphosphoration biologique consiste à transférer le phosphore de la phase liquide **(eaux usées**) vers la biomasse épuratrice, qui s'enrichit progressivement en phosphore. Après avoir éliminé les nitrates présents dans la recirculation des boues dans le premier compartiment anoxique en amont, les cellules épuratrices se retrouvent dans un environnement strictement anaérobie, c'est-à-dire sans aucune source d'oxygène **(O_2, N-NO_2, N-NO_3).**

L'élimination du phosphore par voie biologique ne se produit que dans des conditions anaérobies, c'est-à-dire en l'absence d'oxygène libre et également en présence de carbone facilement assimilable. Pour cela, l'effluent ne doit pas être aéré et doit contenir une quantité minimale de nitrates, afin d'éviter qu'une dénitrification partielle ne se produise dans cette zone.

Le chenal avec zone anoxie et aérée **:**

La zone anoxie dans le chenal :

La dénitrification est réalisée par la circulation de la liqueur mixte à l'intérieur du chenal à l'aide d'agitateurs lents de type "pale banane". Cette configuration, combinée aux alternances de phases aérée et non aérée, crée des conditions anoxiques favorables à la dénitrification.



Figure 16: La zone anoxie dans le chenal (réalisation personnelle)

La zone aérée dans le chenal :

En présence d'oxygène, il y a de l'oxydation de la pollution carbonée, nitrification et accumulation de phosphore dans les cellules bactériennes.



Figure 17: La zone aérée dans le chenal (réalisation personnelle)

6. Le Dégazage :

La station est équipée d'un dégazeur commun pour les files **1** et **2**. Cet ouvrage assure le dégazage de l'effluent avant la clarification. L'alimentation en liqueurs mixtes à dégazer se fait gravitairement depuis chaque chenal vers l'ouvrage de dégazage.

Le départ vers chaque clarificateur se fait depuis le bas de la bâche, où les flottants sont piégés à la surface. Une goulotte placée sous la surface de dégazage permet la récupération des flottants lors du passage du racleur circulaire situé à la surface de l'ouvrage **(ONA, 2005) .**



Figure 18: le dégazeur.(réalisation personnelle)

7. La clarification et la recirculation des boues :

La clarification des eaux s'effectue dans deux ouvrages indépendants. La liqueur mixte issue du traitement biologique est envoyée gravitairement vers les clarificateurs après dégazage.

Les boues se déposent au fond de l'ouvrage, puis elles sont aspirées par un ensemble de tubes verticaux qui balayent toute la surface de l'ouvrage à chaque rotation du pont. L'utilisation d'un pontracleur conventionnel entraînerait un temps de séjour plus long, surtout pour les boues qui se déposent en périphérie, lesquelles devraient être ramenées vers le centre de l'ouvrage avant leur extraction.

Les effluents traités seront comptabilisés et rejetés dans la cuvette du barrage de Beni Haroun.



Figure 19: Le clarificateur. (Réalisation personnelle)

7.1 La recirculation des boues:

Les boues extraites sont envoyées via le tube central de chaque ouvrage vers le puits à boues et sont recirculées par des pompes vers le bassin biologique afin de réensemencer en permanence en boues. D'autre part, les boues excédentaires sont envoyées vers le poste d'épaississement des boues.



Figure 20: La recirculation des Boues. (Réalisation personnelle)

7.2 Déshydratation des boues:

La table d'égouttage :

Les boues sont extraites des bassins de recirculation par quatre pompes, dont deux en secours, alimentant les tables d'égouttage.

Les boues extraites sont floculées par injection d'un polymère à l'entrée de chaque machine, ce qui améliore la formation des flocs.

La séparation gravitaire se fait dans la zone d'égouttage, où la majeure partie du liquide présent entre les matières en suspension s'écoule. La table est équipée de peignes (déflecteurs) qui drainent la boue et la répartissent sur la toile.



Figure 21 : La table d'égouttage. (Réalisation personnelle)

Préparation de polymère:

La station d'épuration de Sidi Merouane est équipée d'une centrale de préparation automatique utilisant un polymère en poudre. Le polymère actuellement utilisé, sous forme d'acide adipique penta sodium d'éthylène-triamine penta acétate et portant le nom commercial de **CROSEFLOC C-598**, est livré en poudre et stocké dans le local de traitement des boues. Il est ensuite dosé et dilué avec de l'eau potable.

Pour garantir une bonne dilution, la préparation automatique est équipée de deux agitateurs pendulaires.

Enfin, un apport en eau industrielle permet une dilution supplémentaire du polymère en ligne avant son injection au début des tables d'égouttage.

Filtres à bandes :

Ces filtres consistent en **2** bandes tendues par des rouleaux qui leur permettent d'envelopper la boue en une couche homogène pour la déshydrater sous l'action de la pression d'écrasement.



Figure 22: Le Filtre à Bande. (Réalisation personnelle)

Séchages des boues:

Lits de séchage :

Les boues déshydratées sont dirigées vers une benne de reprise par des tapis transporteurs pour être épandues sur des lits de séchage. Chaque lit de séchage est composé de :

- **Un revêtement bétonné en pente.**
- **Une bordure pour maintenir les boues.**
- **Un caniveau de drainage.**

Les boues sont amenées et épandues sur les lits de séchage par un tracteur équipé de sa benne après remplissage via un tapis transporteur installé en aval des filtres à bandes dans la zone d'épaississement. L'excédent d'eau est évacué par séchage naturel.

La siccité obtenue à la fin du séchage est en moyenne de **40%**.

La gestion des lits de séchage comprend plusieurs étapes, effectuées plusieurs fois par an pour chaque lit :

- **Épandage des boues déshydratées sur les lits.**
- **Séchage, notamment grâce au vent.**

- **Curage des boues séchées.**



Figure 23: Le séchage. (Réalisation personnelle)

8. Echantillonnage :

8.1 Nature et période du prélèvement :

Les prélèvements ont été réalisés une fois par mois pendant une campagne de trois (03) mois durant la période du 29/03/2026, 16/04/2026 et 11/05/2026 (pour les analyses bactériologiques) et durant la période de janvier 2026 à mai 2026 (pour les analyses physico-.(chimiques

8.2 Choix des points de prélèvement :

Deux points de la STEP ont été choisis, pour faire des analyses physico-chimiques et bactériologiques d'eau usée ceci à deux étapes différentes d'épuration :

Point 01 : entrée de la STEP (après dégrillage fin).

Point 02 : sortie de la STEP (sortie de clarificateur).

Pour les prélèvements destinés à l'analyse physico-chimique, ils sont réalisés dans des flacons en plastiques en polyéthylène, On utilisant un préleveur manuel de **2** à **3** m. Nous signalons que les analyses des paramètres physico-chimiques sont ramenées de la STEP de Sidi Merouane ont été effectuées au laboratoire local de la STEP.

Les prélèvements destinés à l'analyse microbiologique sont effectués dans des flacons en verre stériles à l'aide d'un préleveur manuel, sur une hauteur de **2** à **3** mètres. Il est important de préciser que les analyses des paramètres bactériologiques provenant de la STEP de Sidi Merouane ont été réalisées dans les laboratoires pédagogiques du département de biologie de l'Université de Mila.

En effet, un examen bactériologique ne peut être interprété de manière fiable que si l'échantillon est prélevé conformément à un protocole strict, afin d'éviter toute contamination

accidentelle, transporté correctement au laboratoire, puis analysé immédiatement ou après une courte période de conservation dans des conditions appropriées.



Figure 24: Point 01 eau brute (1: prélèvement manuelle) (2: préleveur).

(Réalisation personnelle)



Figure 25: Point 02 eau épurée (1: prélèvement manuelle) (2 : préleveur automatique).

(Réalisation personnelle)

9. Etiquetage, Transport et conservation des échantillons avant l'analyse :

Les échantillons sont systématiquement étiquetés immédiatement avant leur prélèvement, avec des étiquettes lisibles et solidement fixées. Après le prélèvement, les échantillons d'eau doivent être protégés de toute exposition à la lumière, en particulier à la lumière solaire, à toutes les étapes du transport. Ils sont transportés dans une glacière maintenant une température constante de **4** à **6 °C.** Les analyses doivent être réalisées dans les plus brefs délais, au maximum dans les huit heures suivant le prélèvement.

10. Analyses physico-chimiques

Méthodes utilisées :

10.1 PH :

Principe :

La mesure du pH se fait en plaçant deux électrodes dans le même liquide : une électrode en verre pour mesurer le pH et une électrode de référence. Ce système forme une pile qui génère un potentiel, qui change selon le pH de la solution. En mesurant ce potentiel, on peut connaître l'acidité ou l'alcalinité du liquide.

Mode opératoire :

Procède d'abord à l'étalonnage du dispositif de mesure en plaçant l'électrode de verre et l'électrode de référence dans deux solutions étalons. Faire la mesure du pH à l'abri de l'air, en particulier pour les eaux non tamponnées ou susceptibles de se modifier au contact de l'air, tout en veillant à protéger les eaux suffisamment tamponnées de toute altération.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en unités de pH, à la température de référence de **20 °C.**



Figure 26: Mesure de pH. (Réalisation personnelle)

10.2 Température (TC°) :

Principe :

Il est important de connaître la température de l'eau avec précision, en effet celle-ci Joue un rôle important dans la solubilité des sels dans l'eau, et surtout des gaz dans la Dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique de l'eau en réglant le bouton sur la température.

Mode opératoire :

La mesure de la température est effectuée sur le terrain, on utilise souvent dans ce but un thermomètre ou un multi-paramètre. La lecture est faite après une immersion de 10 Minutes.

10.3 Conductivité électrique(CE) :

Principe :

Conductivité électrique (**CE**) L'eau est légèrement conductrice, la mesure de la conductivité permet d'avoir très rapidement une idée sur la concentration de l'eau en sels dissous.

Mode opératoire :

La conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un conductimètre de terrain équipé d'un dispositif de régulation ou de compensation de température qui permet une lecture directe à la température de référence de **20 °C.**

Les résultats sont exprimés en µs/cm à **20 °C**.

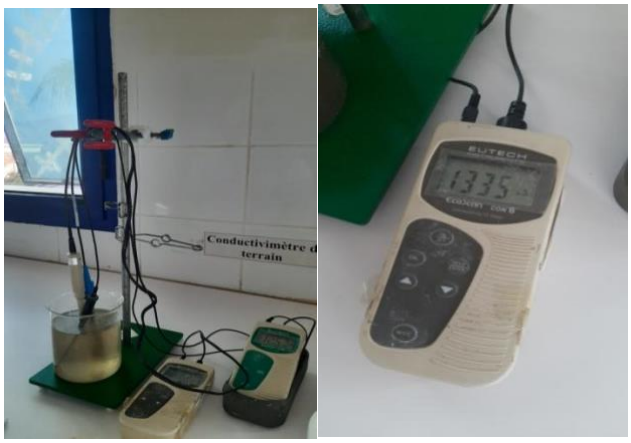


Figure 27: Mesure de CE. (Réalisation personnelle)

10.4 Dosage de La demande biochimique en oxygène (DBO5) :

Mode opératoire :

Choix du volume d'échantillon :

Volume de l'échantillon (mL)	Intervalle de musser (mg/l O_2)	Facteur F
432	0- 40	1
365	0_ 80	2
250	0 - 200	5

164	0 - 400	10
97	0 - 800	20
43.5	0 - 2000	50
22.7	0 - 4000	100

Tableau 3: le volume et le facteur d'échantillonnage. (Réalisation personnelle)

le calcul de la valeur réelle de DBO5 s'effectue par la relation :

DBO5 (mg/l O_2) valeur lue (Mano)* Facteur

Les échantillons ont été préparés en remplissant deux bouteilles de 500 mL. La première contenait 164 mL d'eau brute, tandis que la seconde contenait 365 mL d'eau épurée. Les deux bouteilles ont ensuite été placées dans un incubateur à 20 °C, munies d'un barreau magnétique afin d'assurer une agitation continue pendant l'incubation. Les échantillons ont été laissés ouverts pendant une heure, puis un inhibiteur de dénitrification a été ajouté dans chaque bouteille. Deux pastilles de NaOH ont été déposées dans les cupules en caoutchouc avant la fermeture des bouteilles à l'aide des têtes de mesure Oxitop. Le système de mesure a été initialisé en appuyant simultanément sur les boutons « S » et « M » jusqu'à l'apparition du chiffre « 00 » à l'écran. Les bouteilles ont ensuite été incubées pendant cinq jours à 20 °C. La lecture de la DBO_5 a été effectuée toutes les 24 heures à l'aide du bouton « S », permettant d'obtenir les valeurs quotidiennes de la DBO_5 exprimées en mg/L durant toute la période d'incubation.





Figure 28: Mesure de DBO5. (Réalisation personnelle)

10.5 Demande chimique en oxygène (DCO) :

Mode d'opératoire :

Eau brute : Code 131

[**DCO** MR par des tubes à essai varié : **0 – 1500 mg / l O2**].

La DCO a été déterminée à l'aide des tubes de réaction (gamme de mesure : 0–1500 mg/L O_2). Un tube blanc a été préparé en introduisant 2 mL d'eau distillée, tandis qu'un second tube d'essai a reçu 2 mL d'eau brute. Les tubes ont ensuite été soigneusement refermés et homogénéisés à plusieurs reprises afin d'assurer un bon mélange des réactifs. Ils ont été placés dans un thermo-réacteur à 150 °C pendant 120 minutes, en les homogénéisant plusieurs fois au cours du chauffage. À la fin de la digestion, les tubes ont été retirés du thermo-réacteur puis laissés à refroidir jusqu'à atteindre la température ambiante avant d'effectuer la lecture des valeurs de la DCO.



Figure 29: Mesure de DCO l'eau brute (Réalisation personnelle)

Eau épurée : Code 130

[**DCO** LR par des tubes à essai varié : **0 – 150 mg / L O2**)

La DCO de l'eau épurée a été déterminée selon le même protocole que celui appliqué à l'eau brute, en utilisant des tubes de réaction (gamme de mesure : 0–150 mg/L O_2). Un tube blanc a été préparé en introduisant 2 mL d'eau distillée, tandis qu'un second tube d'essai a reçu 2 mL d'eau épurée. Les tubes ont ensuite été soigneusement refermés et homogénéisés à plusieurs reprises afin d'assurer un bon mélange des réactifs. Ils ont été placés dans un thermo-réacteur à 150 °C pendant 120 minutes, en les homogénéisant plusieurs fois au cours du chauffage. À la fin de la digestion, les tubes ont été retirés du thermo-réacteur puis laissés à refroidir jusqu'à atteindre la température ambiante avant d'effectuer la lecture des valeurs de la DCO.

étapes de mode opération d'eaux épurée comme le mode d'opération de l'eau Brute



Figure 30 : Mesure de DCO l'eau épurée. (Réalisation personnelle)

10.6 La Matière en suspension (MES) : par méthode de centrifugation

L'eau brute :

Mode opératoire

Un échantillon d'au moins 1 L a été prélevé puis soigneusement homogénéisé. Après vérification de l'état de la centrifugeuse, l'échantillon a été réparti uniformément dans des flacons de centrifugation de manière à obtenir des volumes équivalents. Les flacons ont ensuite été centrifugés à 3 600 tr/min pendant 10 minutes. À l'issue de la centrifugation, le surnageant a été éliminé et le culot de boue a été récupéré dans un creuset en porcelaine préalablement taré (m_1). Le culot a ensuite été séché à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures. Après refroidissement

dans un dessiccateur, le creuset a été pesé (m_2), ce qui a permis de déterminer la teneur en matières en suspension (MES), exprimée en mg/L.

Refroidir au dessiccateur et peser, soit m2 teneur en matières en suspension en mg/l



Figure 31 : Détermination de la MES des eaux brutes par centrifugation.

(Réalisation personnelle)

L'eau épurée :

Mode opératoire

La membrane filtrante a d'abord été séchée à l'étuve à 105 °C pendant 15 minutes, puis refroidie dans un dessiccateur avant d'être pesée (m_1). Un volume d'eau (V), choisi de manière à retenir au moins 1 mg/cm² de matières sur la membrane et ne devant pas être inférieur à 100 mL, a ensuite été prélevé. La membrane a été placée sur le support de filtration, le système de filtration a été assemblé, puis l'échantillon d'eau a été filtré sous vide jusqu'à écoulement complet. Après filtration, la membrane a été rincée à l'eau distillée, retirée du dispositif, puis séchée à l'étuve à 105 °C jusqu'à l'obtention d'une masse constante (au moins 2 heures). Enfin, après refroidissement dans un dessiccateur, la membrane a été de nouveau pesée (m_2). La teneur en matières en suspension (MES) a ensuite été déterminée et exprimée en mg/L.



Figure 32 : Détermination de la MES des eaux épurées par filtration.

(Réalisation personnelle)

10.7 Dosage de l'azote ammoniaca (N-NH_3+):

-Mode opératoire :

Eau brute : **1-50 mg/l N .Code 66**.

La détermination de l'ammonium (NH_3) a été réalisée à l'aide de tubes de réaction. Un tube blanc a été préparé en ajoutant 0,1 mL d'eau distillée, tandis qu'un second tube d'essai a reçu 0,1 mL d'eau brute. Un sachet de salicylate d'ammonium F5 et un sachet de cyanurâtes d'ammonium F5 ont ensuite été ajoutés dans chaque tube. Après fermeture, les tubes ont été soigneusement homogénéisés par agitation afin d'assurer un bon mélange des réactifs, puis laissés au repos pendant 20 minutes pour permettre le développement de la réaction. Enfin, les résultats ont été obtenus à l'aide de l'appareil en sélectionnant le programme « Test » et ont été exprimés en mg/L de NH_3.





Figure 33: Mesure de l'azote ammoniacal N- NH_3 + l'eau brute.

(Réalisation personnelle)

Eau épurée : **0.02-2.5 mg/l N .Code 65**

La détermination de l'ammonium de l'eau épurée a été réalisée selon le même protocole que celui appliqué à l'eau brute. Un tube blanc a été préparé en ajoutant 2 mL d'eau distillée, tandis qu'un second tube d'essai a reçu 2 mL d'eau épurée. Un sachet de salicylate d'ammonium F5 et un sachet de cyanurâtes d'ammonium F5 ont ensuite été ajoutés dans chaque tube. Après fermeture, les tubes ont été soigneusement homogénéisés par agitation, puis laissés au repos pendant 20 minutes afin de permettre le développement de la réaction. Enfin, les résultats ont été obtenus à l'aide de l'appareil en sélectionnant le programme « Test » et ont été exprimés en mg/L de NH_3.

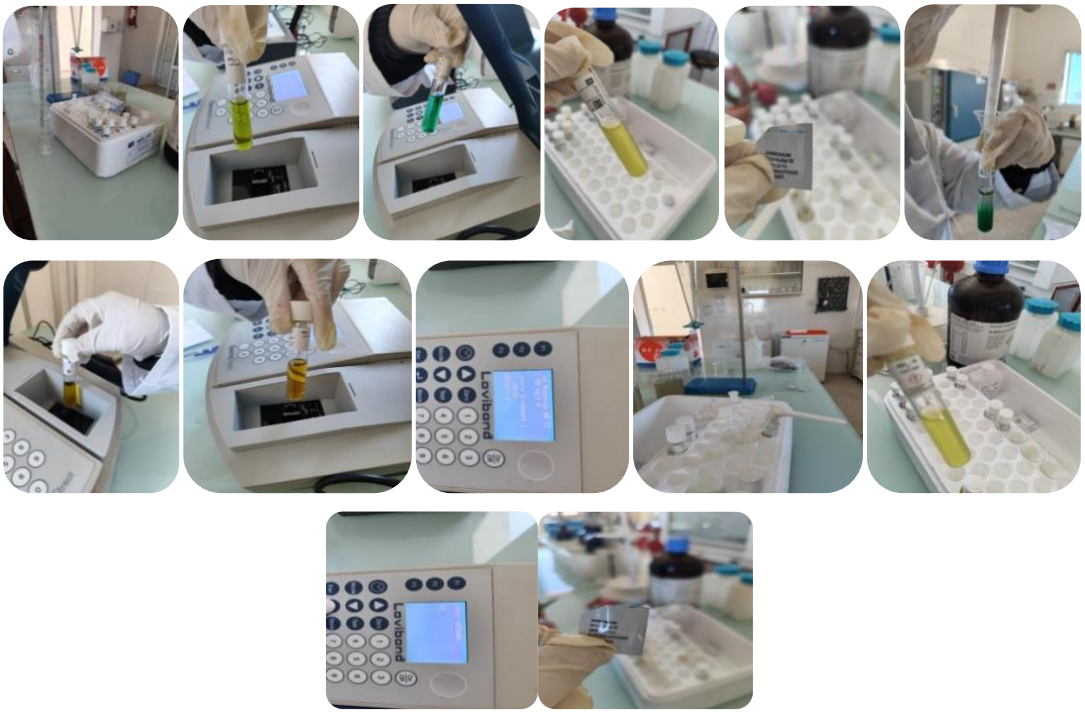


Figure 34 : Mesure de l'azote ammoniacal N- NH_3 + l'eau épurée.

(Réalisation personnelle)

10.8 Dosage des nitrites(N-NO_2 -):

Code 275-276.

Mode d'opératoire :

Eau brute : 0-0.5 mg/l N-NO_2.

La détermination des nitrites (NO_2^-) a été réalisée à l'aide de tubes de réaction. Un tube blanc a été préparé en introduisant 5 mL d'eau distillée, tandis qu'un second tube d'essai a reçu 5 mL d'eau brute. Les tubes ont ensuite été refermés puis soigneusement homogénéisés par agitation afin d'assurer un bon mélange des réactifs. Après un temps de réaction de 20 minutes, les résultats ont été obtenus à l'aide de l'appareil en sélectionnant le programme « Test » et ont été exprimés en mg/L de NO_2^-.



Figure 35 : Mesure de nitrites l'eau brute. (Réalisation personnelle)

Eau épurée : 0.003-0.5 mg/l N-NO_2.

La détermination des nitrites (NO_2^-) dans l'eau épurée a été réalisée selon le même protocole que celui appliqué à l'eau brute. Un tube blanc a été préparé en introduisant 5 mL d'eau distillée, tandis qu'un second tube d'essai a reçu 5 mL d'eau épurée. Les tubes ont ensuite été refermés et soigneusement homogénéisés par agitation afin d'assurer un bon mélange des réactifs, puis laissés au repos pendant 20 minutes pour permettre le développement de la réaction. Enfin, les résultats ont été obtenus à l'aide de l'appareil en sélectionnant le programme « Test » et ont été exprimés en mg/L de NO_2^-.



Figure 36 : Mesure de nitrites l'eau épurée. (Réalisation personnelle)

10.9 Dosage des nitrates(N-NO_3 -) :

Eau brute et eau épurée : Code 265.

1- 30 mg /l

Mode opératoire :

La détermination des nitrates a été réalisée à l'aide de trois tubes ronds. Un tube blanc a été préparé en introduisant 1 mL d'eau déminéralisée, tandis que deux tubes d'essai ont reçu respectivement 1 mL d'eau brute et 1 mL d'eau épurée. Un sachet de réactif nitrate chromotropique a ensuite été ajouté dans chaque tube. Les tubes ont été agités pendant une minute afin d'assurer une bonne homogénéisation, puis laissés au repos pendant 5 minutes pour permettre le développement de la réaction. Le tube blanc a ensuite été utilisé pour effectuer le réglage du zéro de l'appareil, avant d'introduire successivement les tubes d'essai pour la lecture des résultats. Les concentrations en nitrates ont été exprimées en mg/L.



Figure 37 : Dosage le Nitrate N-NO_3 - d'eau brute. (Réalisation personnel**le)**



Figure 38: Dosage le Nitrate N-NO_3 - d'eau épurée.

(Réalisation personnelle)

11. Analyses bactériologiques :

11.1 Préparation des dilutions :

La préparation des dilutions se fait en prélevant 1 ml de l'eau à analyser et en l'ajoutant à 9 ml de diluant stérile. Des dilutions décimales successives sont ensuite réalisées en transférant 1 ml de chaque dilution dans un autre tube contenant 9 ml de diluant, jusqu'à obtenir la dilution 10^{-3} **(Franck,2002).**

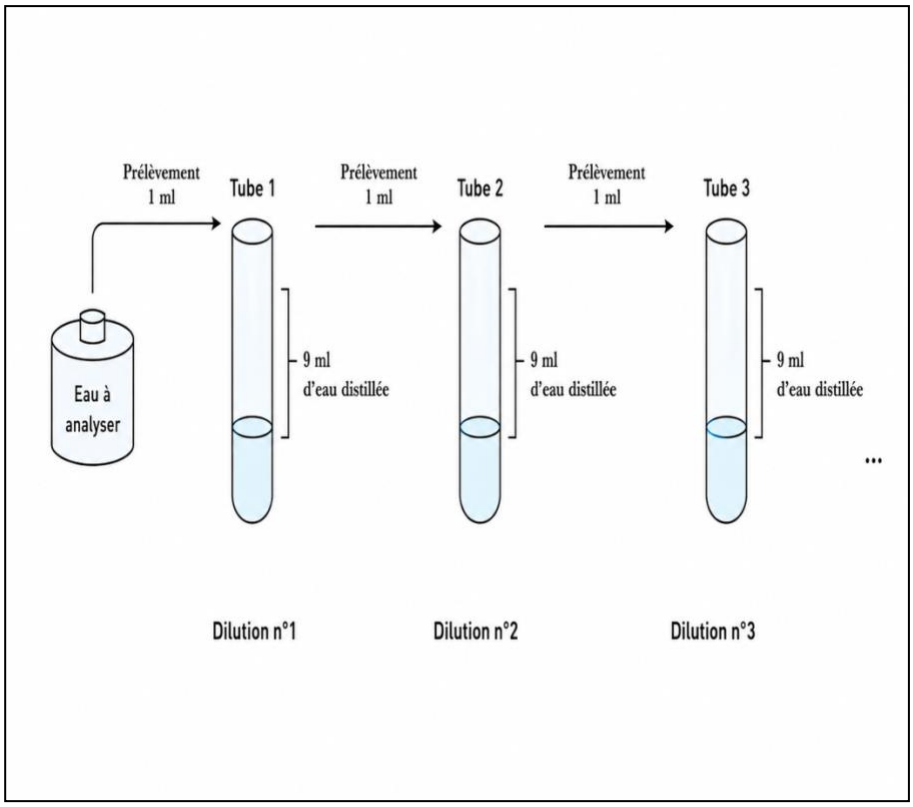


Figure 39: Préparation des dilutions (Réalisation personnelle)

11.2 Recherche et dénombrement des *Streptocoques* en milieu liquide :

La recherche des ***Streptocoques*** se fait en deux étapes : un test présomptif suivi d'un test confirmatif. Le test présomptif consiste à ensemencer l'eau à analyser dans des tubes de bouillon de Rothe à simple et double concentration, répartis en trois séries (10mL, 1 ml et 0,1 ml). Après incubation à **37 °C** pendant **24** à **48 heures**, les tubes présentant un trouble sont considérés comme positifs. Les tubes positifs sont ensuite repiqués dans un bouillon de Litsky pour confirmation. Après incubation, l'apparition d'un trouble homogène et ou d'une pastille violette au fond du tube indique la présence de ***Streptocoques*** **(Delarras, 2010).**

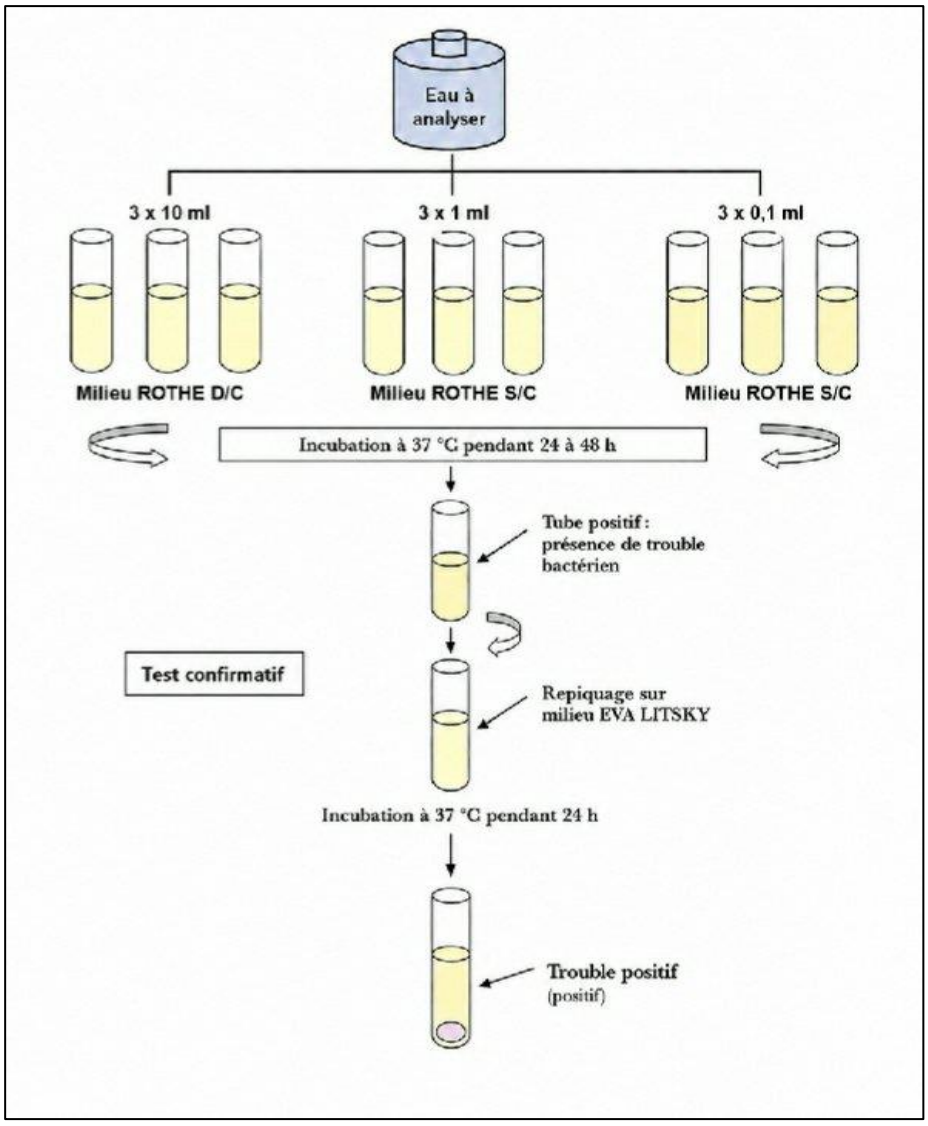


Figure 40: Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux. (Réalisation personnelle)

11.3 Recherche et dénombrement des germes totaux :

Le dénombrement des germes totaux sur **PCA** est réalisé par l'ensemencement de 1mL des dilutions de l'eau analysée, à l'aide de pipettes stériles, dans des boîtes de Pétri, suivi de l'ajout de la gélose **PCA** sans glucose. Les boîtes sont ensuite incubées à **36±2°C** pendant **44 ± 4 heures**. Après incubation, les colonies développées sont dénombrées selon la méthode normalisée (**Delarras, 2010).**

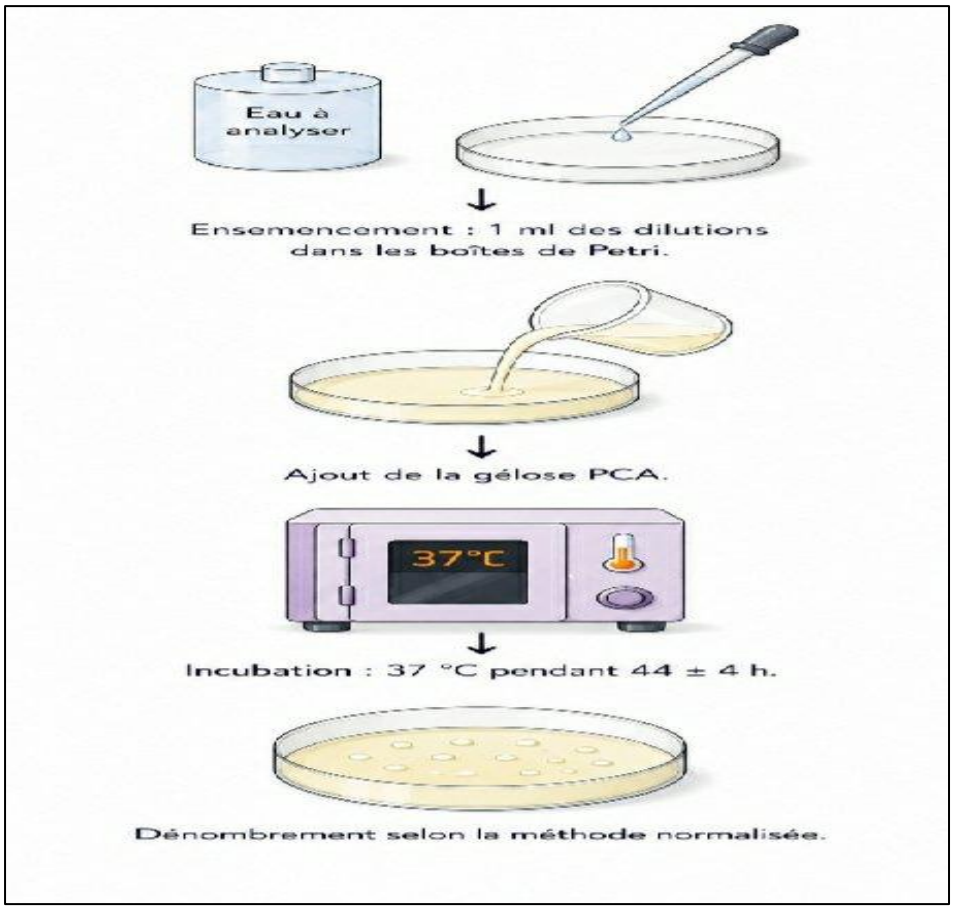


Figure 41: Recherche et dénombrement des germes totaux.

(Réalisation personnelle)

11.4 Recherche et dénombrement des coliformes totaux :

Le dénombrement des coliformes totaux sur gélose **VRBL** est réalisé par la méthode d'ensemencement en profondeur. À cet effet, 1 ml des différentes dilutions de l'eau analysée est introduit dans des boîtes de Pétri stériles, puis la gélose **VRBL** est ajoutée et homogénéisée par une légère agitation. Après solidification du milieu, les boîtes sont incubées à **37 °C** pendant **24** à **48 heures**. À l'issue de l'incubation, les colonies caractéristiques sont dénombrées.

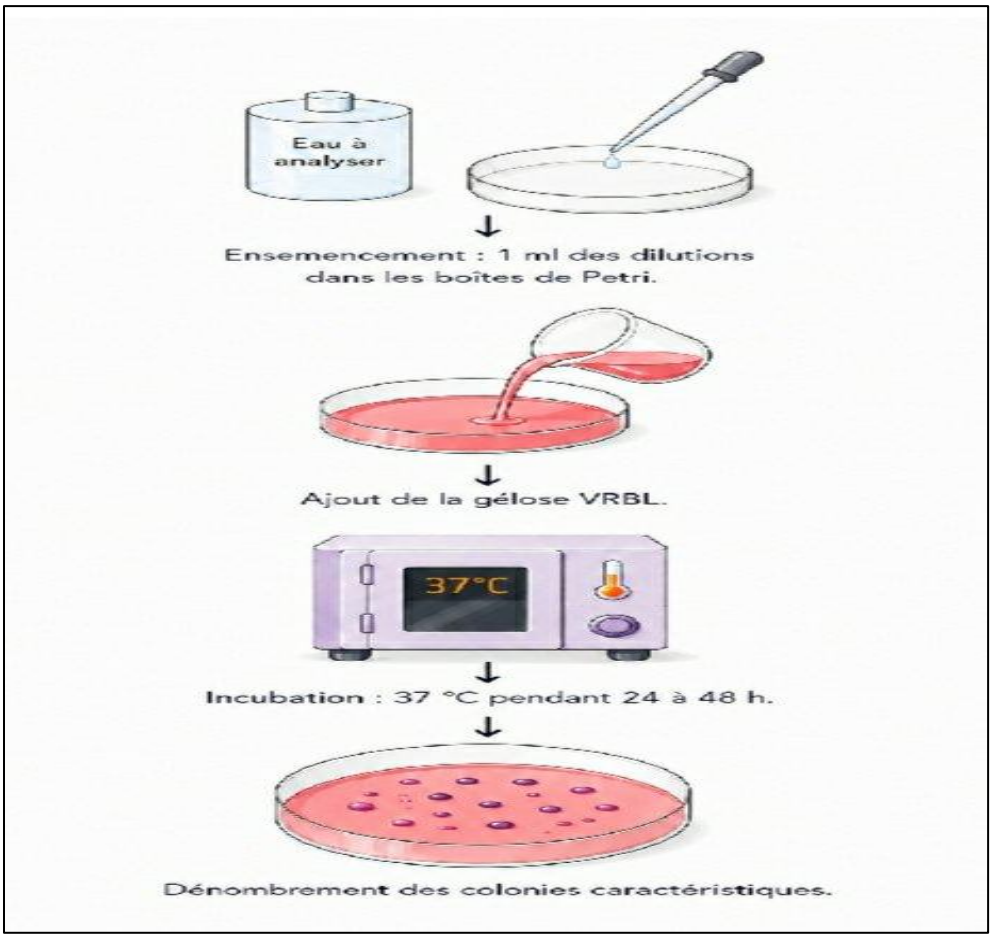


Figure 42 : Recherche et dénombrement de coliformes totaux. (Réalisation personnelle)

11.5 Recherche et dénombrement de coliformes fécaux :

La recherche des coliformes fécaux sur gélose **VRBG** est réalisée par ensemencement en profondeur. Les dilutions de l'eau analysée sont introduites à raison de 1 ml dans des boîtes de Pétri stériles, puis mélangées à la gélose **VRBG** fondue avec une légère agitation circulaire. Après solidification, les boîtes sont incubées à **44 °C** pendant **24à48 heures**.

À la fin de l'incubation, les colonies caractéristiques sont dénombrées.

Une colonie issue du test présomptif est ensemencée dans un tube à essai contenant un milieu à la peptone. Le tube est ensuite incubé à 37 °C pendant 24 heures. Après incubation, quelques gouttes du réactif de Kovacs sont ajoutées afin de mettre en évidence la production d'indole et de confirmer la présence d'Escherichia coli (***E. coli***). Une coloration rouge à la surface du milieu indique un résultat positif.

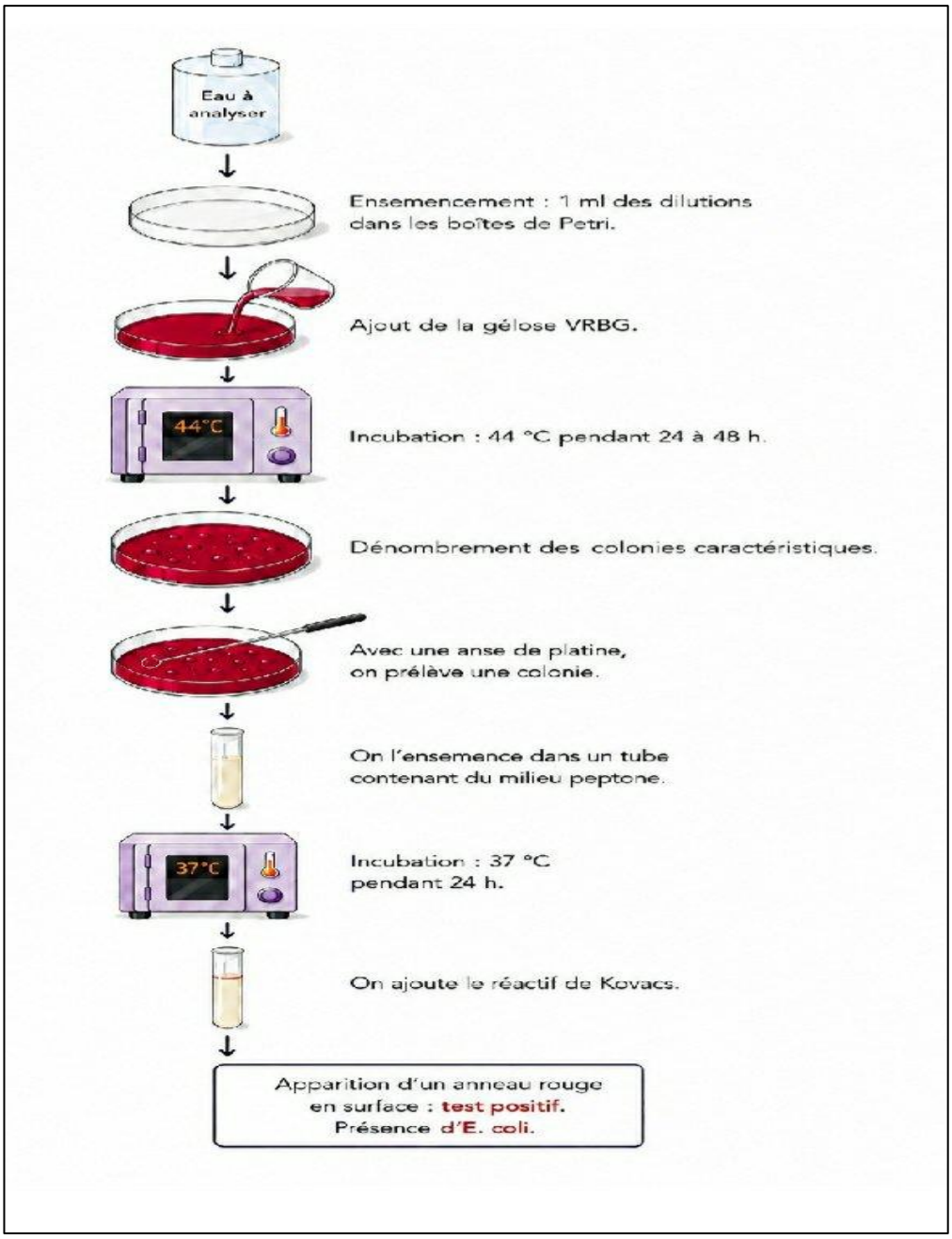


Figure 43 : Recherche et dénombrement de coliformes fécaux.

(Réalisation personnelle)

(Pour le dénombrement microbiologique, seules les boîtes présentant entre 30 et 300 colonies ont été retenues. Lorsque plusieurs dilutions répondaient à ce critère, la dilution retenue correspondait à la dilution la moins élevée (première dilution conforme), utilisée pour le calcul des UFC/mL.)

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Partie résultats et discussion :

1. Les analyses physico-chimiques :

Tableau 3 : résultats des paramètres physico-chimiques d'eau brute et épurée

Paramètres physico-chimiques	Mois de prélèvement / Type d'eau	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Norme
La température TC°	Brute	13.3	14.4	15.4	17.6	20.7	30
	Epurée	13.2	14.3	15.6	17.9	21.8	
pH	Brute	8.28	8.74	9.07	9.41	9.23	6,5-8.5
	Epurée	7.94	8.24	8.61	8.95	8.80	
MES	Brute	687.3	515.9	610.8	344.9	533.7	35-40 (mg/l)
	Epurée	58.0	30.6	30.8	25.7	30.1	
	Le rendement(R%)	92%	94%	95%	93%	94%	
DBO5	Brute	643.3	516	383.3	246.7	240.0	35-40 (mg/l)
	Epurée	71.3	34.0	23.0	24.7	27.0	
	Le rendement(R%)	89%	93%	94%	90%	89%	
DCO	Brute	3180.0	930.0	440.0	435.0	661.0	120-130
	Epurée	446.0	225.0	107.2	81.9	63.2	

	Le rendement(R%)	86%	76%	76%	81%	90%	(mg/l)
Conductivité	Brute	1879.9	1527.6	1654.0	1802.7	1659.7	700-3000
	Epurées	1429.0	1310.4	1366.0	1377.9	1401.9	
	Le rendement(R%)	24%	14%	17%	24%	16%	
$N\text{-}NH_3^+$	Brute	86.0	78.0	51.0	92.0	82.0	0.2-0.5 (mg/l)
	Epurée	22.1	34.4	32.6	39.2	35.8	
	Le rendement(R%)	74%	56%	36%	57%	56%	
$N\text{-}NO_2^-$	Brute	3.5	9.0	0.5	2.2	2.0	0.5-1 (mg/l)
	Epurée	1.10	0.80	0.90	1.7	1.3	
	Le rendement(R%)	69%	91%	-80%	23%	35%	
$N\text{-}NO_3^-$	Brute	10.0	10.0	10.0	11.0	10.0	25-50 (mg/l)
	Epurée	10.0	8.5	24.0	10.0	10.0	
	Le rendement(R%)	0%	15%	-140%	9%	0%	

1.1 Température :

Les résultats montrent que les valeurs de la température de l'eau brute et de l'eau épurée sont très proches durant toute la période d'étude. Une légère augmentation est observée à partir du mois de mars jusqu'au mois de mai. Les différences entre l'entrée et la sortie restent faibles, ce qui indique que le traitement n'a pas d'effet significatif sur ce paramètre.

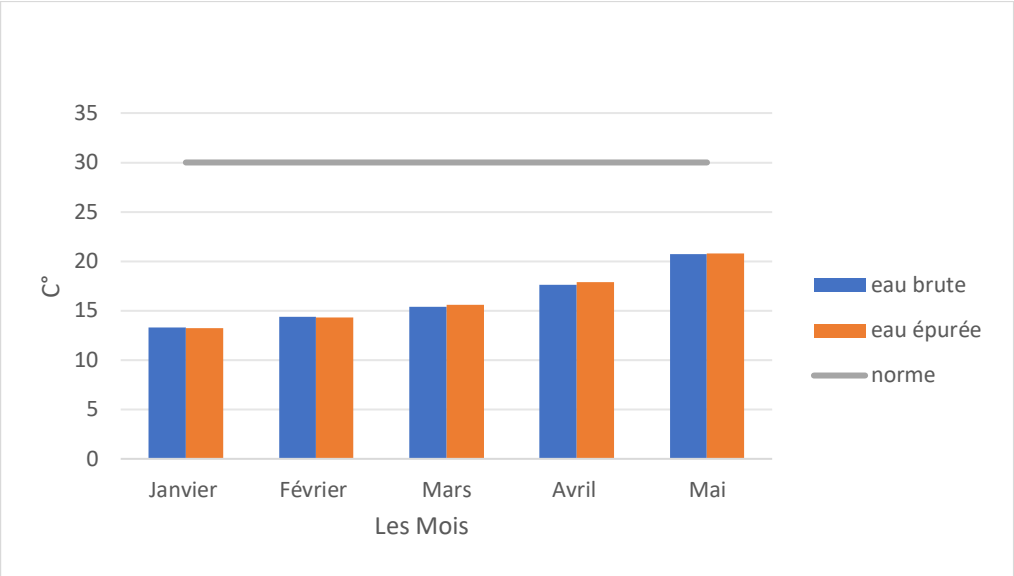


Figure 44 : Evolution de résultats TC°

Les températures enregistrées dans l'eau brute variaient entre 13,3 et 20,7 °C, tandis que celles de l'eau épurée variaient entre 13,2 et 21,8 °C. Les faibles variations observées entre l'entrée et la sortie indiquent que le traitement n'a pas eu d'effet significatif sur ce paramètre. Toutes les valeurs mesurées demeurent inférieures à la limite réglementaire fixée à 30 °C.

Des résultats comparables ont été rapportés par **Chhimi et al. (2025),** qui ont enregistré des températures comprises entre 19,9 et 28,3 °C dans une station d'épuration à boues activées. Ces observations sont également soutenues par **Chen et al. (2022)**, qui ont montré que la température constitue un facteur déterminant dans l'activité des communautés microbiennes impliquées dans le traitement biologique des eaux usées.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus montrent une bonne stabilité thermique du système de traitement. Les variations observées sont principalement liées aux conditions climatiques saisonnières plutôt qu'au procédé de traitement lui-même.

1.2 pH :

Les valeurs du pH de l'eau brute sont supérieures à celles de l'eau épurée durant toute la période d'étude. Une légère diminution est observée après traitement, ce qui traduit l'effet de la station d'épuration sur la stabilisation du pH. Cependant, les variations restent faibles entre l'entrée et la sortie.

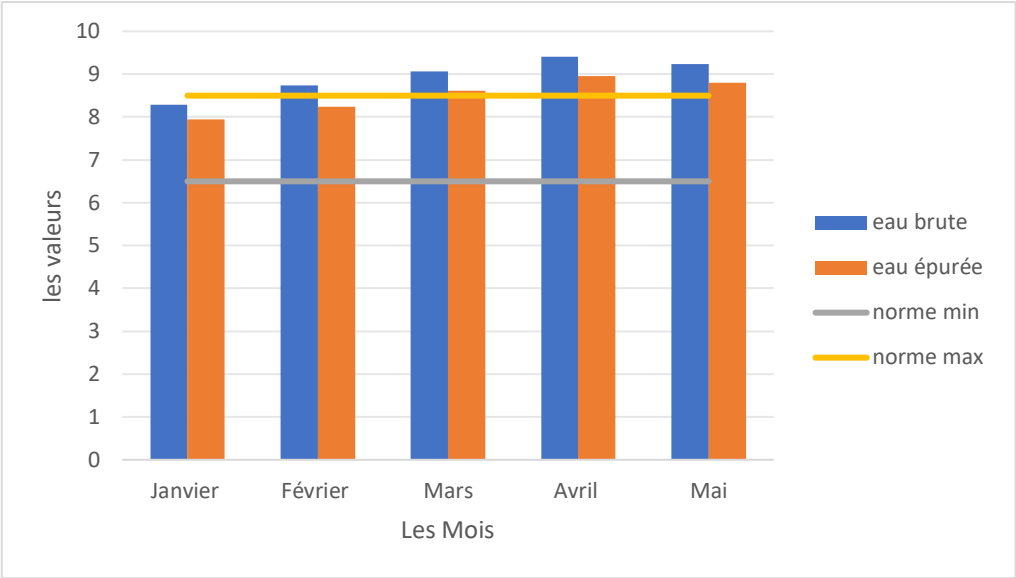


Figure 45: Evolution de résultats PH

Les valeurs du pH ont légèrement diminué après traitement, passant de 8,28–9,41 dans l'eau brute à 7,94–8,95 dans l'eau épurée. Les valeurs enregistrées à la sortie restent globalement proches de la norme de rejet comprise entre 6,5 et 8,5, malgré quelques légers dépassements observés durant certains mois. Des résultats similaires ont été rapportés par **Chhimi et al. (2025)**, qui ont observé des valeurs de pH comprises entre 7,1 et 8,3 avec une moyenne de 7,78.

Ces résultats sont également en accord avec ceux de **Kokina et al. (2022)**, qui ont souligné l'importance du maintien du pH dans une plage proche de la neutralité afin d'assurer le bon fonctionnement du procédé à boues activées et de préserver l'activité microbienne. Les légers dépassements observés dans certains échantillons pourraient s'expliquer par la nature alcaline des eaux usées influentes.

Une autre hypothèse serait liée aux réactions biologiques et physico-chimiques se produisant au cours du traitement, susceptibles de modifier l'équilibre acido-basique du milieu. Il est également possible que certaines fluctuations temporaires des conditions d'exploitation de la station aient contribué à ces variations.

Globalement, les résultats obtenus témoignent d'une bonne stabilité du pH au cours du traitement.

1.3 Matiere en suspension (MES) :

Les concentrations en MES sont nettement plus élevées dans l'eau brute que dans l'eau épurée. Une réduction importante est observée après traitement pour l'ensemble des mois

étudiés, ce qui témoigne d'une bonne élimination des matières en suspension par la station d'épuration.

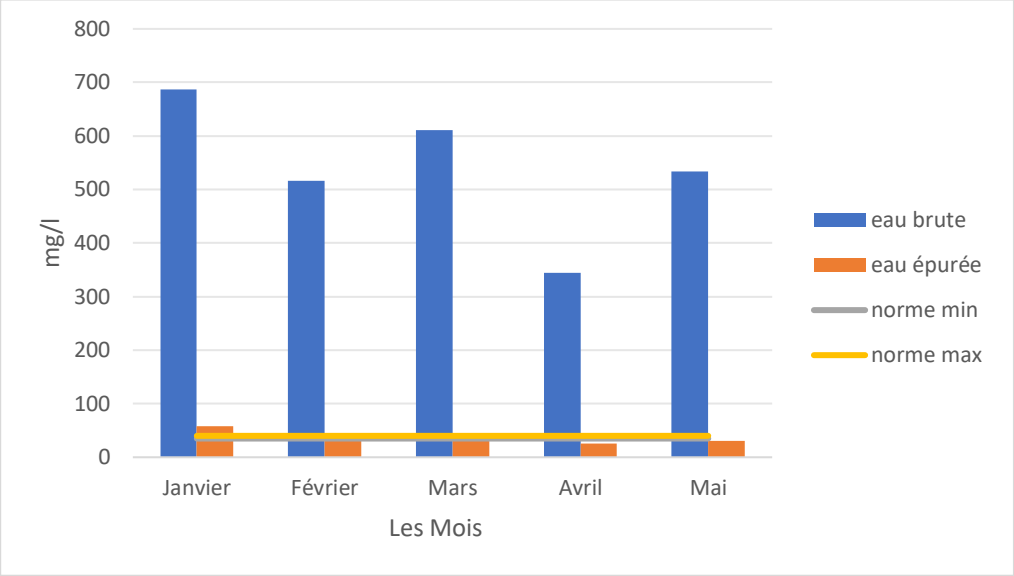


Figure 46 : Evolution de résultats MES

Les concentrations en MES ont fortement diminué après traitement, passant de 344,9–687,3 mg/L dans les eaux brutes à 25,7–58 mg/L dans les eaux traitées. Cette réduction traduit l'efficacité de la station dans l'élimination des matières en suspension grâce aux phénomènes de décantation et de floculation biologique, qui permettent l'agglomération puis la séparation des particules solides présentes dans les eaux usées. Les rendements d'élimination variaient entre 92 % et 95 %, ce qui témoigne d'une très bonne performance du procédé. Les valeurs de sortie respectent globalement la norme de rejet (35–40 mg/L) durant les mois de Février, Mars, Avril et Mai, tandis qu'un dépassement a été observé en Janvier où la concentration a atteint 58 mg/L.

Des résultats comparables ont été rapportés par **Bubalo et al. (2022),** qui ont observé des concentrations en MES dans l'effluent comprises entre 1,2 et 12 mg/L ainsi que des rendements d'élimination supérieurs à 89 %. De même, **Chhimi et al. (2025)** ont mis en évidence une élimination efficace des matières en suspension dans les stations d'épuration à boues activées. Le dépassement observé en Janvier pourrait s'expliquer par une charge élevée en matières en suspension à l'entrée de la station (687,3 mg/L).

Une autre hypothèse serait une décantation insuffisante ou un entraînement partiel des boues vers l'effluent. Des variations hydrauliques temporaires ou une surcharge ponctuelle du système pourraient également avoir affecté les performances d'élimination durant cette période.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus confirment la bonne efficacité du traitement appliqué pour l'élimination des matières en suspension.

1.4 Demande biochimique en oxygene (DBO5) :

Les valeurs de la DBO5 enregistrées dans l'eau brute sont largement supérieures à celles de l'eau épurée. Après traitement, une diminution significative des concentrations est constatée, indiquant une réduction importante de la charge organique biodégradable.

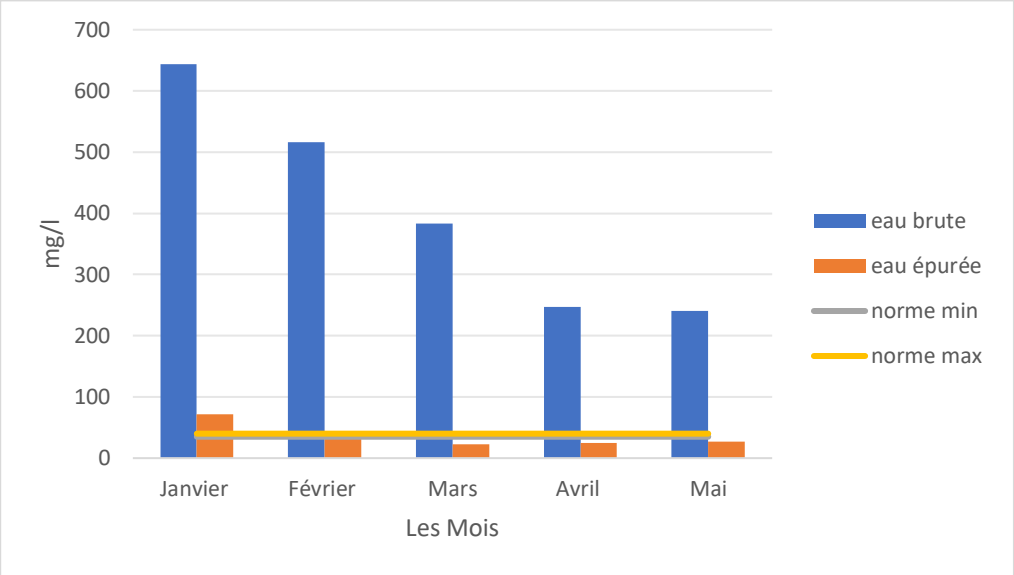


Figure 47: Evolution de résultats DBO5

Les valeurs de la DBO_5 ont fortement diminué après traitement, passant de 240–643,3 mg/L dans les eaux brutes à 23–71,3 mg/L dans les eaux traitées. Cette réduction met en évidence une élimination importante de la matière organique biodégradable grâce à l'activité des microorganismes présents dans les boues activées, qui utilisent cette matière comme source d'énergie et de croissance, entraînant ainsi sa dégradation progressive. Les rendements d'élimination variaient entre 89 % et 94 %, traduisant une bonne efficacité du traitement biologique. Les concentrations de sortie respectent la norme de rejet (35–40 mg/L) durant les mois de Février, Mars, Avril et Mai, tandis qu'un dépassement a été observé en Janvier où la concentration a atteint 71,3 mg/L.

Des résultats similaires ont été rapportés par **Bubalo et al. (2022)**, qui ont enregistré des concentrations de DBO_5 comprises entre 2 et 24 mg/L dans l'effluent ainsi que des rendements d'élimination dépassant 90 %. Ces observations sont également cohérentes avec celles de **Bachi et al. (2022)**, qui ont mis en évidence une réduction importante de la DBO_5 dans les systèmes biologiques de traitement des eaux usées.

Le dépassement observé en Janvier pourrait être attribué à une surcharge organique temporaire des eaux usées influentes ou à une diminution momentanée de l'activité microbienne. Une autre hypothèse serait un temps de séjour insuffisant dans le bassin d'aération ou des fluctuations des conditions d'exploitation ayant limité l'efficacité du traitement durant cette période.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus démontrent l'efficacité globale du traitement biologique appliqué au sein de la station.

1.5 demande chimique en oxygène (DCO) :

On observe que les valeurs du DCO sont plus élevées dans les eaux brutes que dans les eaux épurées durant toute la période d'étude, avec une diminution nette après traitement.

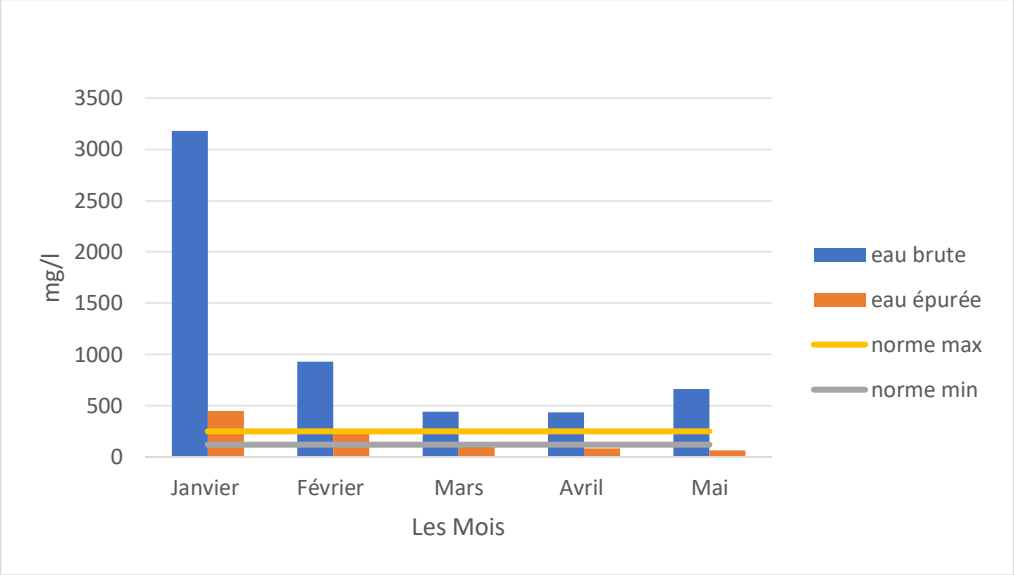


Figure 48: Evolution de résultats DCO

Les concentrations de la DCO ont diminué après traitement, passant de 435–3180 mg/L dans les eaux brutes à 63,2–446 mg/L dans les eaux traitées. Cette réduction traduit une élimination importante de la charge organique grâce à l'activité des microorganismes présents dans les boues activées, qui dégradent une partie importante de la matière organique biodégradable et oxydable présente dans les eaux usées. Les rendements d'élimination variaient entre 76 % et 90 %, ce qui témoigne d'une efficacité globalement satisfaisante du procédé de traitement.

Les concentrations de sortie respectent la norme de rejet (120–130 mg/L) durant les mois de Mars, Avril et Mai. En revanche, des dépassements ont été observés en Janvier (446 mg/L) et en Février (224 mg/L).

Des résultats similaires ont été rapportés par **Bubalo et al. (2022),** qui ont observé une diminution de la DCO de 316,56–563,21 mg/L à 27,66–34,38 mg/L après traitement dans une station à boues activées. De même**, Mahmoudabadi et al. (2026**) ont enregistré des concentrations comprises entre 515,41 et 578 mg/L dans les eaux brutes avec un rendement d'élimination élevé d'environ 96,35 %, confirmant l'efficacité des procédés biologiques dans la réduction de la charge organique.

Les dépassements observés en Janvier et Février pourraient être attribués à la forte charge polluante enregistrée à l'entrée de la station, notamment en janvier où la concentration de la DCO a atteint 3180 mg/L. Une autre hypothèse serait la présence d'une fraction importante de matière organique difficilement biodégradable, moins sensible au traitement biologique. Des variations des conditions d'exploitation ou une surcharge temporaire du système pourraient également avoir limité l'efficacité du traitement durant cette période.

Globalement, le procédé appliqué assure une réduction importante de la charge organique des eaux usées, bien que ses performances puissent varier en fonction des caractéristiques des effluents influents et des conditions de fonctionnement de la station.

1.6 Conductivité électrique (CE) :

On constate que la conductivité électrique est plus élevée dans les eaux brutes que dans les eaux épurées durant toute la période d'étude, avec une diminution après traitement.

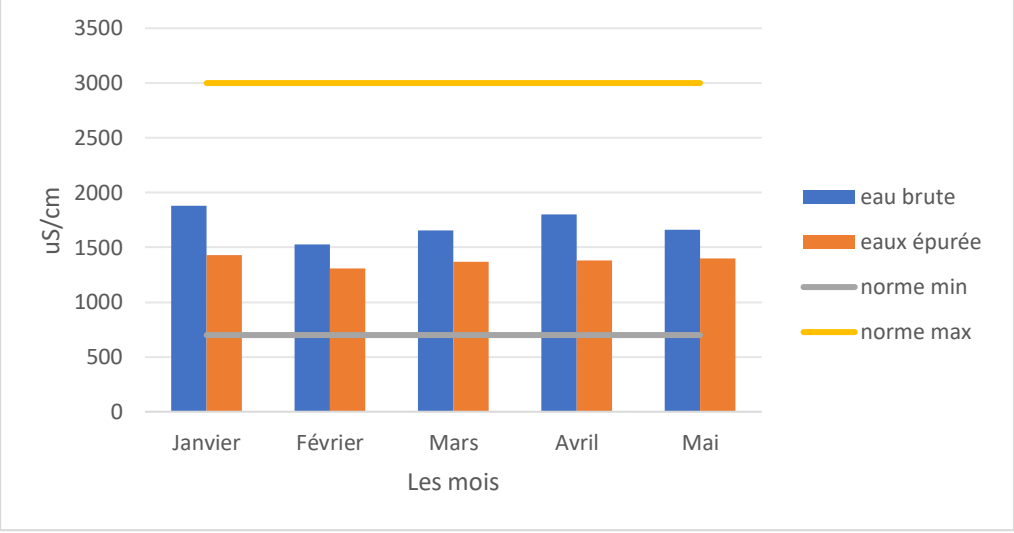


Figure 49 : Evolution de résultats de conductivité

Les valeurs de la conductivité électrique varient entre 1527,6 et 1879,9 µS/cm dans les eaux brutes et entre 1310,4 et 1429,0 µS/cm dans les eaux traitées. Par rapport à la norme de référence (700–3000 µS/cm), l'ensemble des valeurs enregistrées reste conforme durant la

période d'étude. La diminution observée après traitement semble traduire une réduction partielle des sels dissous au niveau de la station. Cette tendance est illustrée par les rendements d'abattement, qui varient entre 14 % et 24 %, ce qui indique une diminution modérée de la conductivité dans les eaux traitées.

Des résultats comparables ont été rapportés par **Hosseinipour Dizgah et al. (2018)**, qui ont observé des valeurs comprises entre 239,7 et 287,8 µS/cm dans les eaux brutes et entre 46,1 et 52,6 µS/cm dans les eaux traitées, tout en montrant la même tendance générale de diminution après traitement. En revanche, **Tanyol et Demir (2016)** ont rapporté des valeurs comprises entre 1055,75 et 1077,25 µS/cm dans les eaux brutes et entre 1010,75 et 1067,02 µS/cm dans les eaux traitées, proches des résultats obtenus dans la présente étude et confirmant la même tendance de légère diminution.

Globalement, les valeurs de conductivité montrent une diminution après traitement, avec des variations selon les périodes étudiées.

1.7 L'azote ammoniacal(N- NH_3^+) :

On observe que les concentrations de N- NH_3^+sont plus élevées dans les eaux brutes que dans les eaux épurées durant toute la période d'étude, avec une différence nette entre les valeurs de l'entrée et de la sortie

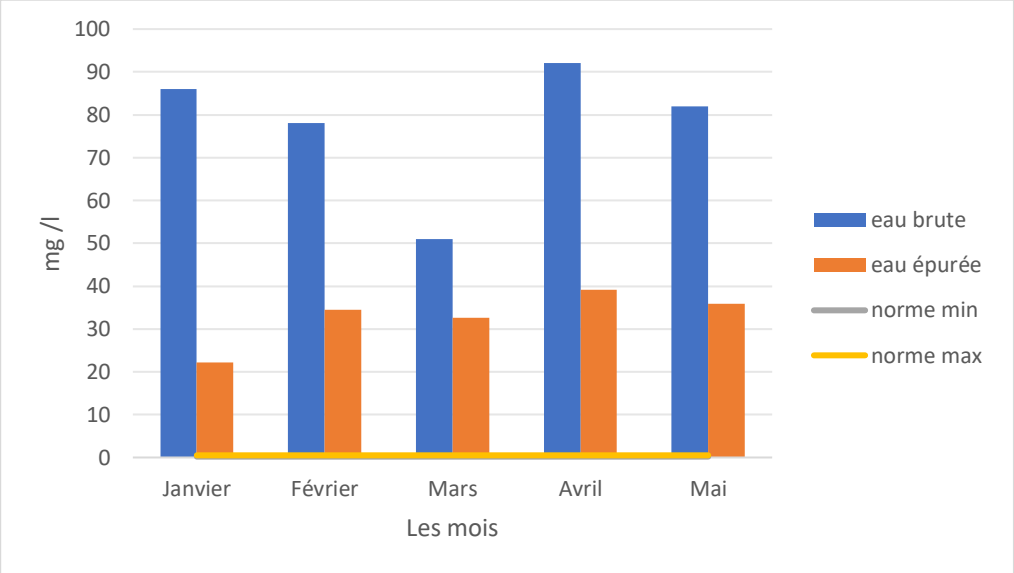


Figure 50: Evolution de résultats d'N-NH_3^+

Les concentrations de N- NH_3^+varient entre 51 et 92 mg/L dans les eaux brutes et entre 22,1 et 39,2 mg/L dans les eaux traitées. Par rapport à la norme de référence (0,2–0,5 mg/L),

les valeurs enregistrées en sortie restent largement supérieures aux limites admissibles durant toute la période d'étude.

La diminution observée après traitement semble refléter une activité biologique liée au processus de nitrification, permettant la transformation progressive de l'azote ammoniacal en formes oxydées. Cette tendance est illustrée par les rendements d'élimination, compris entre 36 % et 74 %, ce qui traduit une efficacité variable du procédé de traitement. Le fonctionnement observé pourrait être lié à une nitrification incomplète au sein de la station, probablement influencée par certaines conditions d'exploitation telles qu'une charge azotée élevée, une oxygénation insuffisante ou un temps de séjour hydraulique limité, pouvant réduire l'efficacité d'oxydation de l'azote ammoniacal.

Des résultats comparables ont été rapportés par **Aliyu et al. (2025**), qui ont observé des concentrations comprises entre 8 et 102 mg/L dans les eaux brutes et entre 0 et 39 mg/L dans les eaux traitées, tout en montrant une diminution après traitement malgré des valeurs résiduelles parfois élevées.

De même, **Nourmohammadi et al. (2013)** ont mis en évidence une réduction importante de 26,8 à 0,29 mg/L, ce qui confirme la tendance générale observée dans la présente étude malgré des niveaux différents entre les deux études.

Globalement, ces résultats confirment la diminution de l'azote ammoniacal après traitement, avec des niveaux encore variables selon les échantillons.

1.8 Nitrites ($N\text{-}NO_2^-$) :

On observe que les valeurs de $N\text{-}NO_2^-$ sont globalement similaires entre les eaux brutes et les eaux épurées durant la période d'étude, avec de faibles variations entre l'entrée et la sortie de la station.

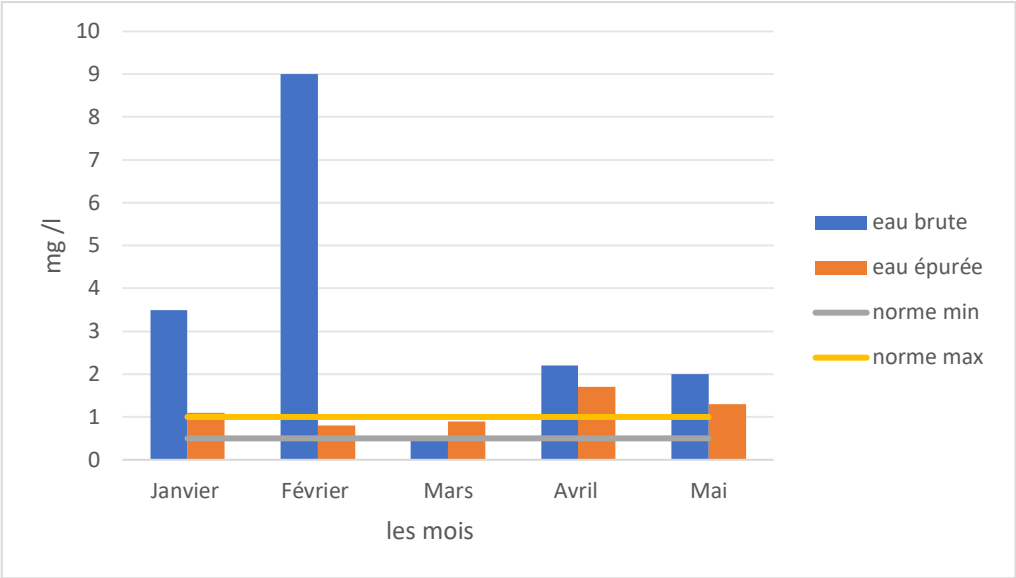


Figure 51 : Evolution de résultats d'N-NO_2^-

Les concentrations en N-NO_2^- variaient entre 0,5 et 9,0 mg/L dans les eaux brutes et entre 0,80 et 1,70 mg/L dans les eaux traitées. Comparées à la norme de rejet (0,5–1 mg/L), les concentrations enregistrées à la sortie de la station étaient conformes durant les mois de Février (0,80 mg/L) et Mars (0,90 mg/L), tandis que des dépassements ont été observés en Janvier (1,10 mg/L), Avril (1,70 mg/L) et Mai (1,30 mg/L).

Cette évolution s'explique par le fait que le nitrite constitue un composé intermédiaire du processus de nitrification. Sa concentration dépend de l'équilibre entre sa formation à partir de l'azote ammoniacal et son oxydation ultérieure en nitrate. Les rendements d'élimination variaient entre 23 % et 91 %, traduisant une efficacité variable du procédé de traitement. Toutefois, un rendement négatif de -80 % a été observé au mois de Mars, indiquant une production de nitrites au cours du traitement. Cette situation pourrait être liée à une nitrification partielle, favorisant temporairement l'accumulation des nitrites avant leur transformation complète en nitrates.

Des résultats similaires ont été rapportés par **Aliyu et al. (2025**), qui ont observé des concentrations comprises entre 0 et 4 mg/L dans les eaux brutes et entre 0 et 2 mg/L dans les eaux traitées, mettant en évidence la variabilité des concentrations en nitrites dans les systèmes biologiques. De même, **Mahmoudabadi et al. (2026)** ont montré que le nitrite est un composé intermédiaire formé lors de l'oxydation de l'azote ammoniacal avant sa conversion en nitrate.

Les dépassements observés en Janvier, Avril et Mai pourraient être attribués à une nitrification incomplète, à une oxygénation insuffisante ou à des fluctuations des conditions

d'exploitation de la station. Ces facteurs peuvent favoriser l'accumulation temporaire des nitrites dans l'effluent traité.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus confirment le comportement variable du nitrite au cours du traitement biologique et montrent que l'efficacité de son élimination dépend fortement des conditions de fonctionnement du système.

1.9 Nitrates($N\text{-}NO_3^-$) :

On constate que les concentrations de $N\text{-}NO_3^-$ sont globalement proches entre les eaux brutes et les eaux épurées durant la période d'étude. Les valeurs enregistrées dans les eaux brutes varient entre 10 et 11 mg/L, tandis que celles des eaux épurées varient entre 8,5 et 24 mg/L. Les concentrations les plus élevées dans les eaux traitées ont été observées au mois de Mars (24 mg/L), alors que les valeurs les plus faibles ont été enregistrées au mois de Février (8,5 mg/L). Pour les autres mois, les concentrations demeurent relativement stables entre l'entrée et la sortie de la station.

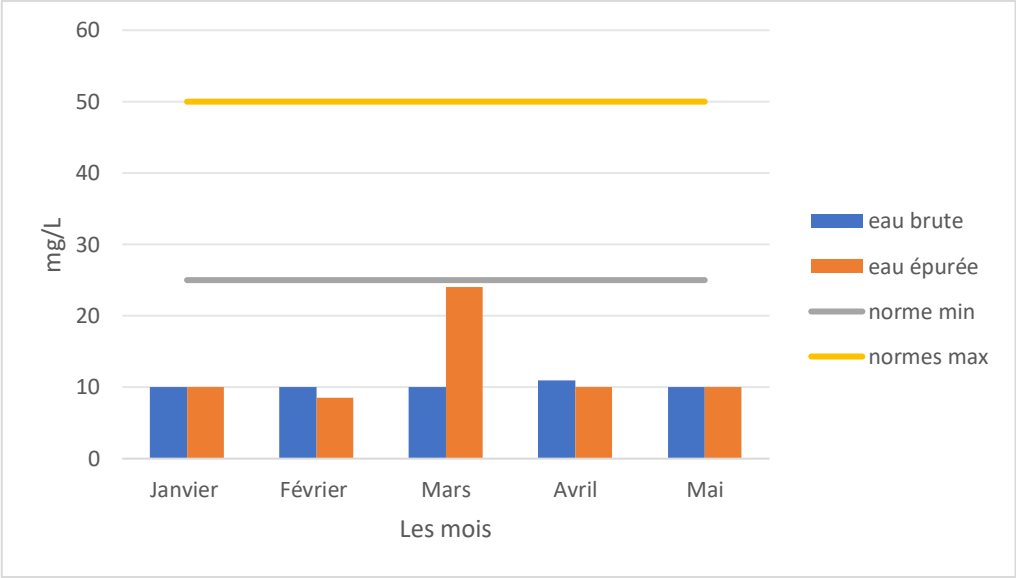


Figure 52: Evolution de résultats d'$N\text{-}NO_3^-$

Les concentrations en $N\text{-}NO_3^-$ variaient entre 10,0 et 11,0 mg/L dans les eaux brutes et entre 8,5 et 24,0 mg/L dans les eaux traitées. Comparées à la norme de référence (25–50 mg/L), toutes les valeurs enregistrées demeurent inférieures aux limites admissibles durant l'ensemble de la période d'étude.

Cette évolution peut être liée au fait que les nitrates constituent le produit final du processus de nitrification au sein du traitement biologique. Les rendements observés étaient variables, allant de 0 % à 15 %, tandis qu'un rendement négatif de -140 % a été enregistré au

mois de Mars. Cette situation traduit une augmentation de la concentration en nitrates après traitement, probablement due à une nitrification plus intense ayant favorisé la transformation de l'azote ammoniacal et des nitrites en nitrates.

Des résultats similaires ont été rapportés par **Aliyu et al. (2025**), qui ont observé des concentrations comprises entre 0 et 17 mg/L dans les eaux brutes et entre 0 et 13 mg/L dans les eaux traitées. Par ailleurs, **Mahmoudabadi et al. (2026**) ont mis en évidence une augmentation des concentrations en nitrates au cours des étapes de traitement biologique sous l'effet de la nitrification, avant leur éventuelle réduction lors de la dénitrification.

L'augmentation observée au mois de Mars pourrait s'expliquer par une activité accrue des bactéries nitrifiantes, favorisant l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrates. Une autre hypothèse serait une dénitrification incomplète ou insuffisante au sein du système, ce qui aurait limité l'élimination des nitrates formés et conduit à leur accumulation dans l'effluent traité.

Globalement, les résultats obtenus montrent que les concentrations en nitrates restent conformes aux normes de rejet et reflètent la dynamique des transformations biologiques de l'azote au sein de la station d'épuration.

De manière générale, les résultats de cette étude montrent une amélioration globale de la qualité des eaux après traitement au niveau de la station d'épuration. Le traitement biologique s'est révélé efficace dans la réduction de la charge organique et des matières en suspension, comme en témoignent les diminutions observées de la DCO et des MES.

Les paramètres physico-chimiques liés à la minéralisation et à la stabilité du système, notamment la conductivité et le pH, présentent des variations limitées et restent globalement conformes aux normes de rejet, traduisant un fonctionnement relativement stable de la station. Par ailleurs, les formes azotées montrent une diminution de l'azote ammoniacal et des fluctuations du nitrite et des nitrates, reflétant l'activité des processus biologiques de nitrification et de transformation de l'azote.

Dans l'ensemble, ces résultats confirment l'efficacité globale du procédé de traitement biologique appliqué à la station d'épuration, malgré des variations de performance selon les paramètres étudiés et les conditions d'exploitation.

2. Les analyses bactériologiques :

Les analyses bactériologiques constituent un outil essentiel pour évaluer la qualité sanitaire des eaux usées et l'efficacité des procédés d'épuration. Elles permettent de détecter la

présence de microorganismes indicateurs de contamination fécale, tels que les coliformes totaux, les coliformes fécaux, ***Escherichia coli*** et les ***streptocoques*** fécaux. Dans cette étude, des analyses microbiologiques ont été réalisées sur les eaux brutes et les eaux épurées de la STEP afin d'apprécier l'impact du traitement sur la réduction de la charge bactérienne et d'évaluer la qualité microbiologique des eaux traitées.

Les résultats détaillés des dénombrements microbiologiques (comptage des colonies, dilutions successives et calculs intermédiaires) sont présentés dans les annexes. Seuls les résultats finaux exprimés en UFC/mL ont été retenus dans cette partie afin de faciliter la lecture et l'interprétation des données.

Les calculs : méthode d'UFC/mL

(Le calcul des unités formant colonies par millilitre (UFC/ml) a été réalisé selon les recommandations de la norme ISO 7218 relative au dénombrement des microorganismes par comptage des colonies).

Calcul de la moyenne entre deux boites : (si les deux boites sont valides (entre 30 et 300 colonies) : N= (C1+C2)/ 2

C1 : le nombre des colonies dans la boite 1

C2 : le nombre des colonies dans la boite 2

N : la moyenne

Si une seule boîte est valide (l'autre présentant moins de 30 ou plus de 300 colonies), la valeur retenue correspond au nombre de colonies de la boîte valide.

N = nombre de colonies de la boite valide

Calcul de UFC/ml : (UFC/mL = (N ×10n)/V)

N : la moyenne

n : la dilution

V : le volume

	Coliformes totaux	Germe totaux	Coliformes fécaux	E. Coli	Streptocoque fécaux

Mois	Dilution retenue	Moyenne (N)	UFC /ml	Dilution retenue	Moyenne (N)	UFC /ml	Dilution retenue	Moyenne (N)	UFC /ml		
Mars	**10^{-3}**	**51.5**	51500	**10^{-2}**	237	23700	**10^{-2}**	251	21500	+	+
Avril	**10^{-1}**	**294**	2940	**10^{-2}**	140.5	14050	**10^{-2}**	88	8800	+	+
Mai	**10^{-3}**	286	286000	**10^{-1}**	262	2620	**10^{-3}**	64	64000	+	+

Tableau 4 : calcul d'UFC/ml des résultats de l'eau brute (entrée)

Le tableau présente les résultats bactériologiques de l'eau brute durant les mois de Mars, Avril et Mai. Les coliformes totaux montrent une variation importante au cours de la période d'étude, avec des valeurs de 51500 UFC/ml en Mars, 2940 UFC/ml en Avril et 286000 UFC/ml en Mai. La valeur la plus élevée est enregistrée au mois de Mai. Concernant les germes totaux, les concentrations obtenues sont de 23700 UFC/ml en Mars, 14050 UFC/ml en Avril et 2620 UFC/ml en Mai, indiquant une diminution progressive au cours des trois mois. Les coliformes fécaux présentent des valeurs de 2150 UFC/ml en Mars, 8800 UFC/ml en Avril et 64000 UFC/ml en Mai. Une augmentation notable est observée au mois de Mai. Par ailleurs, la recherche ***d'Escherichia coli (E. Coli)*** ainsi que celle des ***streptocoques*** fécaux a donné des résultats positifs pour l'ensemble des échantillons analysés.

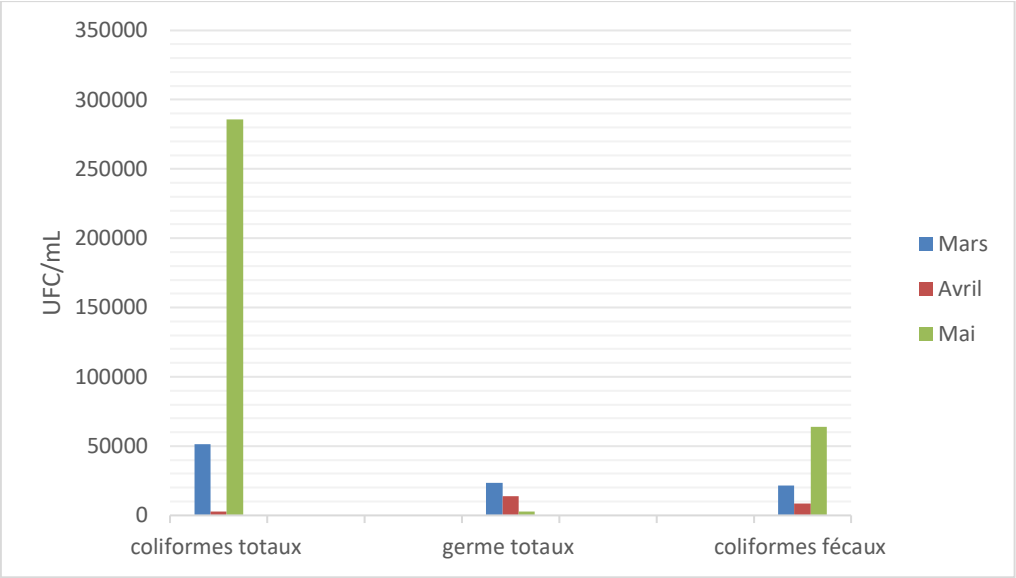


Figure 53: Evolution des paramètres bactériologiques de STEP (entrée)

	Coliformes totaux			Germe totaux			Coliformes fécaux			E. Coli	Streptocoque fécaux
Mois	Dilution retenue	Moyenne (N)	UFC/ml	Dilution retenue	Moyenne (N)	UFC/ml	Dilution retenue	Moyenne (N)	UFC/ml		
Mars	**10^{-1}**	**156**	1560	**10^{-1}**	39	390	**10^{-1}**	136	1360	+	+
Avril	**10^{-2}**	**142**	14200	**10^{-2}**	153.5	15350	**10^{-3}**	93	93000	+	+
Mai	**10^{-2}**	**210.5**	21050	**10^{-3}**	290	290000	**10^{-1}**	274.5	2745	+	+

Tableau 5 : calcul d'UFC/ml des résultats de l'eau épurée (sortie)

Les résultats bactériologiques de l'eau épurée révèlent la présence de différents groupes microbiens après traitement. Les coliformes totaux enregistrent des valeurs de 1560 UFC/ml en

Mars, 14200 UFC/ml en Avril et 21050 UFC/ml en Mai, avec une augmentation progressive au cours de la période étudiée. Les germes totaux présentent des concentrations de 390 UFC/ml en Mars, 15350 UFC/ml en Avril et 290000 UFC/ml en Mai. La valeur maximale est observée au mois de Mai. Pour les coliformes fécaux, les concentrations sont de 1360 UFC/ml en Mars, 9300 UFC/ml en Avril et 2745 UFC/ml en Mai. La valeur la plus élevée est enregistrée au mois d'Avril. La recherche ***d'E. Coli*** et des ***streptocoques*** fécaux a également montré des résultats positifs pour tous les échantillons analysés.

Les résultats présentés ont été calculés à partir de la dilution retenue, correspondant à la première dilution dont le nombre de colonies était compris entre 30 et 300.

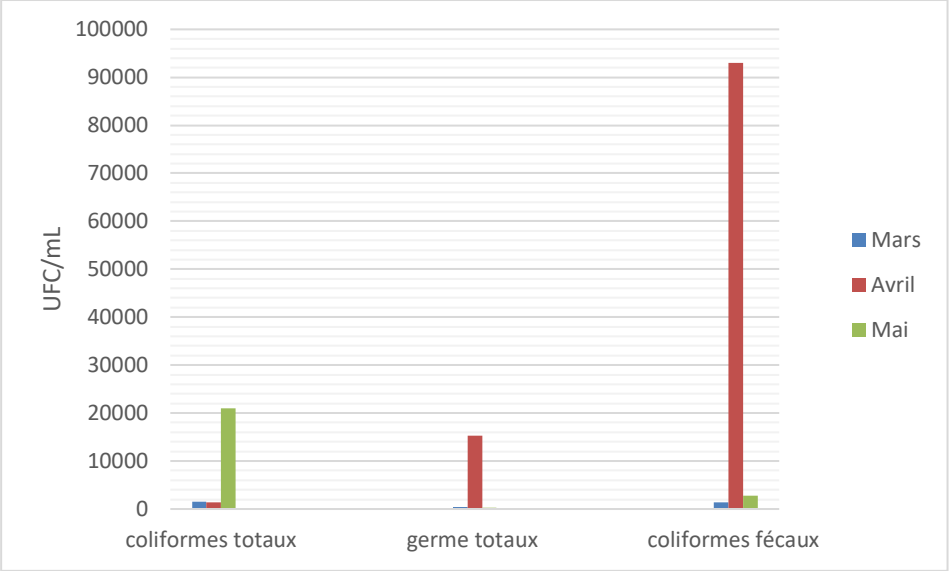


Figure 54 : Evolution des paramètres bactériologiques de STEP (sortie)

Les résultats bactériologiques obtenus montrent que le traitement appliqué au niveau de la STEP a permis une réduction partielle de la charge microbienne.

En effet, les concentrations des coliformes totaux et des coliformes fécaux diminuent globalement après traitement, ce qui traduit une certaine efficacité du procédé d'épuration. Les coliformes totaux constituent des indicateurs de contamination microbiologique et permettent d'évaluer l'efficacité globale du traitement. La diminution observée après épuration traduit une réduction de la charge bactérienne. Toutefois, leur persistance dans les eaux traitées peut indiquer une élimination incomplète des microorganismes ou une efficacité variable du procédé d'épuration.

Les coliformes fécaux montrent également une diminution après traitement, traduisant une réduction partielle de la contamination d'origine fécale. Cependant, leur présence dans les eaux traitées indique que l'élimination des bactéries n'est pas totale.

Par ailleurs, la recherche ***d'Escherichia coli*** a révélé des résultats positifs dans tous les échantillons d'eau brute et d'eau épurée. La persistance de cette bactérie constitue un indicateur important de contamination fécale récente et témoigne d'une élimination incomplète des microorganismes d'origine intestinale. La présence d'***E. coli*** dans l'eau épurée est particulièrement préoccupante car cette bactérie est considérée comme l'un des indicateurs les plus spécifiques de la pollution fécale. Cette situation pourrait être liée à une charge bactérienne élevée à l'entrée de la station, à un temps de séjour insuffisant des eaux dans les bassins de traitement, à une efficacité limitée de certaines étapes de l'épuration ou encore à l'absence d'une désinfection suffisamment efficace. La présence de matières en suspension peut également protéger les bactéries contre l'action du traitement, tandis que certaines d'entre elles peuvent survivre au sein de biofilms développés dans les ouvrages de la station.

De même, les streptocoques fécaux ont été détectés dans l'ensemble des échantillons analysés avant et après traitement. Leur persistance peut être expliquée par leur capacité de résistance relativement élevée aux conditions environnementales ainsi qu'aux procédés de traitement appliqués. Elle peut également être favorisée par l'accumulation des boues ou par une réintroduction des bactéries au cours du processus d'épuration. La présence simultanée des ***streptocoques*** fécaux et ***d'E. coli*** dans les eaux épurées confirme ainsi le maintien d'une contamination d'origine fécale malgré le traitement.

Concernant les germes totaux, une diminution importante est observée dans certains prélèvements, tandis qu'une augmentation marquée est enregistrée au mois de Mai dans l'eau épurée. Cette augmentation pourrait être liée à une surcharge hydraulique ou organique de la station, à une prolifération bactérienne au niveau des bassins de traitement, à une variation de la qualité des eaux usées reçues ou encore à un dysfonctionnement temporaire de certaines étapes de l'épuration. Les conditions environnementales, notamment l'élévation de la température, peuvent également favoriser le développement des microorganismes.

D'un autre côté, la persistance des coliformes fécaux, ***d'E. coli*** et des ***streptocoques*** fécaux dans les eaux traitées représente un risque potentiel en cas de réutilisation agricole. Ces microorganismes peuvent contaminer les sols et les cultures, particulièrement les légumes consommés crus, et favoriser ainsi la transmission de maladies d'origine hydrique aux

consommateurs. Les concentrations élevées des germes totaux observées dans certains échantillons témoignent également d'une activité microbienne importante pouvant affecter la qualité microbiologique des eaux réutilisées.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus montrent que la STEP assure une réduction partielle de la charge bactérienne, mais que l'élimination des microorganismes n'est pas totale, ce qui souligne l'importance d'un contrôle microbiologique régulier avant toute réutilisation des eaux traitées.

Conclusion

Conclusion :

Au terme de cette étude comparative de la qualité des eaux brutes et des eaux traitées sur le plan des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques au niveau de la station d'épuration de Sidi Merouane, les résultats obtenus ont mis en évidence des différences nettes entre l'eau à l'entrée et à la sortie de la station, traduisant ainsi l'effet du traitement sur l'amélioration de la qualité des eaux usées.

Les analyses ont montré une diminution notable de plusieurs indicateurs de pollution, notamment les matières en suspension et la charge organique, accompagnée d'une amélioration de certains paramètres physico-chimiques après traitement. Cela reflète l'efficacité du système de traitement mis en œuvre au sein de la station dans la réduction de la charge polluante des eaux usées.

Les rendements d'élimination ont montré une efficacité élevée pour plusieurs paramètres, avec des taux compris entre 92 et 95 % pour les MES, entre 89 et 94 % pour la DBO_5 et entre 76 et 90 % pour la DCO. La conductivité a également enregistré une diminution modérée, avec des rendements variant de 14 à 24 %. Concernant les composés azotés, l'azote ammoniacal (NH_3^+) a présenté des rendements d'élimination compris entre 36 et 74 %, tandis que les nitrites (NO_2^-) et les nitrates (NO_3^-) ont montré des rendements variables pouvant être négatifs (NO_2^- : -80 % ; NO_3^- : -140 %), traduisant une augmentation ponctuelle de leurs concentrations dans les eaux traitées liée aux processus biologiques de nitrification.

Sur le plan bactériologique, une diminution de certains indicateurs microbiologiques a été observée par rapport aux eaux brutes. Toutefois, la persistance de certains micro-organismes dans les eaux traitées indique que l'élimination n'est pas totalement complète et que l'efficacité du traitement peut être influencée par les conditions d'exploitation ainsi que par la qualité des eaux entrantes.

De manière générale, cette étude confirme que la station d'épuration de Sidi Merouane contribue efficacement à l'amélioration de la qualité des eaux usées traitées par rapport aux eaux brutes, à travers la réduction des différentes formes de pollution physique, chimique et biologique. Cependant, les variations observées dans certains résultats soulignent l'importance d'un suivi régulier des différentes étapes du traitement ainsi que l'amélioration des conditions d'exploitation et de maintenance, afin d'assurer des performances plus stables et durables et de contribuer à la protection de l'environnement et des ressources en eau.

Enfin, la station d'épuration de Sidi Merouane joue un rôle important dans la préservation des ressources en eau de la région.

Perspectives futures :

Dans le cadre de cette étude, plusieurs perspectives peuvent être envisagées afin d'approfondir les connaissances sur la qualité des eaux usées et d'améliorer l'évaluation des performances de la station d'épuration de Sidi Merouane.

Il serait tout d'abord intéressant d'étendre la durée du suivi à une période plus longue couvrant plusieurs années, afin de mieux apprécier l'évolution des performances de la station et l'influence des variations temporelles sur l'efficacité du traitement.

Il serait également pertinent d'intégrer d'autres paramètres physico-chimiques, bactériologiques et éventuellement microbiologiques, afin d'obtenir une évaluation plus complète de la qualité des eaux usées avant et après traitement.

Par ailleurs, l'étude de l'influence des facteurs saisonniers, climatiques et hydrauliques sur les performances épuratoires de la station permettrait de mieux comprendre les fluctuations observées pour certains paramètres au cours de la période de suivi.

Une autre perspective consiste à comparer les performances de la station d'épuration de Sidi Merouane avec celles d'autres stations utilisant des procédés de traitement similaires ou différents à l'échelle régionale et nationale, afin d'identifier les facteurs susceptibles d'améliorer l'efficacité du traitement.

Il serait également utile d'évaluer de manière plus approfondie les rendements d'élimination des différents polluants ainsi que les paramètres opérationnels influençant le fonctionnement de la station, dans le but d'optimiser les conditions d'exploitation et de maintenance.

Enfin, cette étude pourrait constituer une base pour de futurs travaux portant sur la réutilisation des eaux usées traitées dans l'irrigation agricole ou d'autres usages compatibles avec la réglementation en vigueur, contribuant ainsi à la préservation des ressources en eau et au développement durable.

Références

Références :

Abonyi, M. N., Obi, C. C., Nwabanne, J. T., et Aniagor, C. O. (2024). Emerging and ecofriendly biological methods for agricultural wastewater treatment. Environmental Systems Research, 13, 45. https://doi.org/10.1186/s40068-024-00373-4

(8) : AFP. (2023, 28 décembre). L'irrigation des champs avec des eaux usées appelée à se développer. Terre-net. **https://www.terre-net.fr**

Agence Nationale des Ressources en Eau. (2021). Rapport sur la situation des ressources en eau en Algérie. Algérie : Agence Nationale des Ressources en Eau.

(9) : Agences de l'Eau. (2020, 23 novembre). Le prix de l'eau : les différentes étapes de l'assainissement. **https://www.lesagencesdeleau.fr/ressources/le-prix-de-leau-les-differentes-etapes-de-lassainissement**

Aghalari, Z., Dahms, H.-U., Sillanpää, M., Sosa-Hernandez, J. E., et Parra-Saldívar, R. (2020). Effectiveness of wastewater treatment systems in removing microbial agents: A systematic review. Globalization and Health, 16, 13. https://doi.org/10.1186/s12992-020-0546-y

Akhtar, N., Ishak, M. I. S., Bhawani, S. A., et Umar, K. (2021). Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review. Water, 13(19), 2660, 1–35. https://doi.org/10.3390/w13192660

Alisawi, H. A. O. (2020). Performance of wastewater treatment during variable temperature. Applied Water Science, 10, 89. https://doi.org/10.1007/s13201-020-1171-x

Aliyu, A., Tiar, S. M., ElSayed, N. B., Abdelbaki, C., Bessedik, M. et Kumar, N. (2025). Modeling Biological Nutrients Removal for Wastewater Treatment Plant (WWTP) Management: A Case Study of Ain El Houtz WWTP (Algeria). Water Air Soil Pollution, 236, 72. https://doi.org/10.1007/s11270-024-07735-9

Al-Mulla, J., Al-Khateeb, S., & Al-Hadhrami, H. (2021). Groundwater Depletion and Management in the Middle East: Challenges and Future Perspectives. Water Resources Management, 35(5), 1703-1716. https://doi.org/10.1007/s11269-021-02757-3

APHA, AWWA, WEF, 2023. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 24th Edition. American Public Health Association, Washington, D.C., USA.

(6) : AquaTris. Les eaux pluviales, c'est quoi ? **https://aquatiris.com/nos-conseils/les-eaux-pluviales-cest-quoi/**

Asghar, M. Z., Arshad, A., Hong, L., Riaz, M., et Arfan, M. (2018). Comparative assessment of physico-chemical parameters of wastewater effluents from different industries in Lahore, Pakistan. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 8(2), 99–112. http://www.iaees.org/publications/journals/piaees/online-version.asp

Bachi, O. E., Halilat, M. T., Bissati, S., et al. (2022). Wastewater Treatment Performance of Aerated Lagoons, Activated Sludge and Constructed Wetlands under an Arid Algerian Climate. Sustainability, 14, 16503..

Benali, M., Alloui, M., & Djaroud, B. (2020). Caractérisation microbiologique des eaux superficielles en Algérie : Cas des eaux potables et des eaux de baignade. Revue Algérienne des Sciences de l'Environnement, 34(4), 87-98.

Benhamou, A. (2016). Étude de la pollution des eaux superficielles par les matières en suspension (Thèse de doctorat, Université de Constantine, Algérie).

Benhedid, H. et al. (2019) – Impact des eaux usées sur la variabilité spatiale de la pollution azotée et phosphorée de l'aquifère superficiel de l'Oued M'Zab, Université Kasdi. Mémoire de Magister, Merbah Ouargla. dspace.univ-ouargla.dz

Benslama (2021) – Traitement biologique et contrôle microbiologique des eaux usées, thèse de doctorat

Boudjemaa, N. (2020). Impact des rejets industriels sur la DCO des eaux (Thèse de doctorat, Université de Sidi Bel Abbès, Algérie).

Boudjenna, N. (2018). L'impact des matières en suspension sur la qualité de l'eau en milieu naturel (Mémoire de Magister, Université d'Alger, Algérie).

Boudoukha, M., Taha, H., & Lounis, B. (2018). Impact de la pollution par les eaux usées sur la qualité des ressources en eau en Algérie. Revue des Sciences et Techniques de l'Eau, 17(1), 45-60.

Bubalo, M., Šumelj, I., Herceg, K., et Vukojević Medvidović, N. (2022). Assessment in treatment efficiency of a small-scale municipal wastewater treatment plant with activated sludge. Ekológia (Bratislava), 41(3), 272–282. https://doi.org/10.2478/eko-2022-0028

Chebta, K., et Zeghilet, H. (2014). L'analyse biochimique des eaux usées et des eaux épurées par la station d'épuration de Sidi Merouane (Mémoire de master, Centre Universitaire de Mila).

Chen, H., Chen, Z., Chu, X., Deng, Y., Qing, S., Sun, C., et al. (2022). Temperature mediated the balance between stochastic and deterministic processes and reoccurrence of microbial community during treating aniline wastewater. Water Research, 221, 118741. DOI: 10.1016/j.watres.2022.118741.

Chhimi, I., El Fathi, B., Ouallali, A., et al. (2025). Performance assessment of urban wastewater treatment of the low-load activated sludge system at Ain El Aouda, Morocco. Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration.

Chouikh, R. (2021). Les techniques de traitement de l'eau et leur efficacité dans la réduction de la DCO (Mémoire de Magister, Université de Tlemcen, Algérie).

City-facts.(2015). Sidi-Marouane-Mila-Algeria –Population et Demographie. https://fr.city-facts.com/sidi-marouane-mila-algeria/population

Debassi, B., Allaoua, N., Ghanem, N., Hafid, H., Benacherine, M., et Chenchouni, H. (2025). Assessment of water quality of groundwater, surface water, and wastewater using physicochemical parameters and microbiological indicators. Science Progress, 108(2). https://doi.org/10.1177/00368504251348544

Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006, fixant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels, Journal Officiel de la République Algérienne n°26 du 23 avril 2006.

Delarras, C. (2010). Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux (2e éd., pp. 205–221). EMD S.A.S. Dimane, F. et El Hammoudani, Y. (2021). Assessment of quality and potential reuse of wastewater treated with conventional activated sludge. Materials Today Proceedings. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.428

Díaz, J., et al. (2023). Wastewater treatment technologies: New developments and challenges. Water Research.

Direction du Commerce de Mila. (2020). Le développement économique et agricole de la wilaya de Mila. [https://www.dcwmila.dz/].

(1) : Eaufrance Nîmes Métropole. Cycles de l'eau et Agglo.nimes-metropole.fr

(4) : Eaufrance. Les eaux souterraines, des systèmes dynamiques. eaufrance.fr

Etsuyankpa, M. B., Augustine, A. U., Musa, S. T., Mathew, J. T., Ismail, H., Salihu, A. M., et Mamman, A. (2024). An overview of wastewater characteristics, treatment and disposal: A review. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 28(5), 1553–1572. https://doi.org/10.4314/jasem.v28i5.28

European Environment Agency (2023) – Urban Wastewater Treatment in Europe APHA (2022) – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

FAO. (2019). On-farm practices for the safe use of wastewater in urban and peri-urban horticulture: A training handbook for Farmer Field Schools (2e éd.). Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Folorunso, O. C. (2025). Microbial contamination in urban wastewater systems: Emerging health threats and mitigation strategies. International Journal of Science and Research Archive, 14(2), 1449–1463. https://doi.org/10.30574/ijsra.2025.14.2.0500

Food and Agriculture Organization. Water quality for agriculture – Irrigation and Drainage Paper 29

Gacem, A. (2017). La demande biochimique en oxygène : Un indicateur de la qualité de l'eau dans les zones urbaines (Thèse de doctorat, Université de Bejaia, Algérie).

Gatta, G., Libutti, A., Gagliardi, A., Disciglio, G., Tarantino, E., Beneduce, L., et Giuliani, M. M. (2020). Wastewater reuse in agriculture: Effects on soil-plant system properties. In S. Pérez

Gleick, P. H. (2021). The global water crisis and the role of transboundary cooperation. Water International, 46(2), 213-229.

Guillaume-Ruty, S., Meunier, A., Azais, A., et Lombard Latune, R. (2024). Réutilisation des eaux usées traitées : gestion des risques et performances des procédés de traitement au regard des nouvelles exigences réglementaires françaises. Techniques Sciences Méthodes, 119(10), 81–98.

Hashem, M. S., et Qi, X. (2021). Treated wastewater irrigation—A review. Water, 13(11), 1527. https://doi.org/10.3390/w13111527

Hosseinipour Dizgah, S., Taghavi, K., Jaafari, J., Roohbakhsh, E. et Ashrafi, S. D. (2018). Data on pollutants content in the influent and effluent from wastewater treatment plant of

Rasht in Guilan Province, Iran. Data in Brief, 16, 271–275. https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.11.042

ISO 7218. (2013). Microbiology of food and animal feeding stuffs — General requirements and guidance for microbiological examinations. International Organization for Standardization, Genève, Suisse.

Kadjoudj N. (2022), Etude bioécologique des insectes vecteurs des maladies parasitaires telles que la leishmaniose et virales à transmission vectorielle dans les régions subhumides et semi-arides, Thèse de Doctorat, Biodiversité et valorisation des ressources naturelles, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf Mila

Khelifi et al. (2022) – Évaluation de la qualité microbiologique des eaux usées urbaines

Kokina, K., Mezule, L., Gruskevica, K., Neilands, R., Golovko, K., & Juhna, T. (2022). Impact of Rapid pH Changes on Activated Sludge Process. Applied Sciences, 12(11), 5754. DOI: 10.3390/app12115754.

Kouadio, F., Mbaye, M., & Diallo, N. (2019). Pollution de l'eau et flore microbienne: Évaluation des risques pour la santé publique en Afrique du Nord. Journal of Environmental Science, 45(2), 123-135

Kouam Kenmogne, G. R., Rosillon, F., Mpakam, H. G., et Nono, A. (2010). Enjeux sanitaires, socio-économiques et environnementaux liés à la réutilisation des eaux usées dans le maraîchage urbain : cas du bassin versant de l'Abiergué (Yaoundé-Cameroun). VertigO, 10(2). https://doi.org/10.4000/vertigo.10323

Mahmoudabadi, T. Z., Teimouri, F., Bagheri, A. H. et Jambarsang, S. (2026). Efficacy and limitations of the A2O process in simultaneous removal of surfactants and nutrients from municipal wastewater. Scientific Reports, 16, 16196. https://doi.org/10.1038/s41598-026-45194-w

(7) : Maji Solutions. (s.d.). Eaux usées industrielles. Maji Solutions. **https://maji-solutions.com/fr/eaux-usees-industrielles/**

Mekhenni, A. (2019). Le rôle de la DBO5 dans la gestion des systèmes de traitement des eaux usées (Mémoire de Magister, Université d'Oran, Algérie).

Mekonnen, M., Hoekstra, A., & Zhang, J. (2021). The Impact of Climate Change on Water Scarcity in Africa and the Middle East. Water Policy, 23(6), 1124-1139. https://doi.org/10.2166/wp.2021.145

Mekonnen, M., Hoekstra, A., & Zhang, J. (2022). Impacts of Climate Change on River Systems: The Case of the Nile River Basin. Environmental Research Letters, 17(8), 084035. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac6c23

Metcalf & Eddy (2014) Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. 5th Edition, McGraw-Hill, New York.

Ministère du Tourisme et de l'Artisanat. (2023). La wilaya de Mila : géographie et accessibilité. [https://mila.mta.gov.dz/].

Moudjed, D.,Guerbaa, A.(2017). Extension de la station d'épuration de Sidi Merouane willaya de Mila (Mémoire de Master, Université de Mila, Algérie).

Müller, S., & Möller, G. (2020). Desalination technologies: trends and challenges in the context of sustainable water management. Desalination.

Naidoo, S., et Olaniran, A. O. (2014). Treated wastewater effluent as a source of microbial pollution of surface water resources. International Journal of Environmental Research and Public Health, 11, 249–270. https://doi.org/10.3390/ijerph110100249

(3) : nimes-metropole.fr NEWater. Traitement des eaux de surface : Transformation des eaux de surface en eau potable.: newater.com

Nourmohammadi, D., Esmaeeli, M. B., Akbarian, H. et Ghasemian, M. (2013). Nitrogen removal in a full-scale domestic wastewater treatment plant with activated sludge and trickling filter. Journal of Environmental and Public Health, 2013(1), Article ID 504705. https://doi.org/10.1155/2013/504705

Office National de l'Assainissement (ONA), 2005, Rapport et documents techniques relatifs à l'exploitation des stations d'épuration et à la qualité des eaux usées traitées, Ministère des Ressources en Eau, Algérie.

Olabode, G. S., Olorundare, O. F., et Somerset, V. S. (2020). Physicochemical properties of wastewater effluent from two selected wastewater treatment plants (Cape Town) for water quality improvement. International Journal of Environmental Science and Technology, 17, 4745–4758. https://doi.org/10.1007/s13762-020-02788-9

Organisation des Nations Unies. (2020). Rapport mondial sur l'eau. Nations Unies.

Perez, R., et al. (2020). Water reuse in agriculture: technological and management approaches. Water.

(2) : Pure Aqua, Inc. Traitement des eaux de surface. **https://fr.pureaqua.com/traitement-des-eaux-de-surface/**

Qadir, M., Drechsel, P., Jiménez Cisneros, B., Kim, Y., Pramanik, A., Mehta, P., & Olaniyan, O. (2020). Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. Natural Resources Forum, 44(1), 40-51. https://doi.org/10.1111/1477-8947.12187

Rejsek, F. (2002). Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques (p. 127). CRDP d'Aquitaine.

République Algérienne Démocratique et Populaire (RADP). Décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006 fixant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Journal Officiel de la République Algérienne, n°26, 23 avril 2006

Sadoff, C. W., et al. (2021). Water management and climate change: challenges and opportunities. Global Environmental Change.

Sharma, S., & Sanghi, R. (2021). Wastewater Reuse and Management. Springer.

Solsona, N. Montemurro, S. Chiron, et D. Barceló (Eds.), Interaction and fate of pharmaceuticals in soil-crop systems: The impact of reclaimed wastewater. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/698_2020_648

Tabet, M. (2015). Étude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration (Thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945 Guelma, Algérie).

Tanyol, M. et Demir, V. (2016). Correlations between some operation parameters and efficiency evaluation of domestic wastewater treatment plant in Tunceli (Turkey). Desalination and Water Treatment, 57, 28115–28121. https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1182082

Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., & Tsuchihashi, R. (2023). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Tigga, T. M., et Pandey, V. K. (2023). A review on physico-chemical parameters of the quality of water. International Journal for Multidisciplinary Research, 5(1), 1–8. https://www.ijfmr.com

Tounsi, H. (2022) – Élimination par électrocoagulation des ions nitrates présents dans les eaux usées, thèse de doctorat, USTHB Alger. dspace.usthb.dz

(5) : TP Demain. Les réseaux d'eaux usées.: **https://tpdemain.com/module/les-reseaux-deaux-usees/**

Trotta, V., Baaloudj, O., et Brienza, M. (2024). Risks associated with wastewater reuse in agriculture: Investigating the effects of contaminants in soil, plants, and insects. Frontiers in Environmental Science, 12, 1358842. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1358842

UNESCO. (2020). World Water Development Report 2020: Water and Climate Change. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

United States Environmental Protection Agency. (2026). Urbanization and stormwater runoff. https://www.epa.gov/sourcewaterprotection/urbanization-and-stormwater-runoff

US EPA (2020) – Wastewater Treatment and Reuse Guidance.United States Environmental Protection Agency.

Verma, S., Verma, S., Ramakant, R., Pandey, V., et Verma, A. (2025). Comprehensive assessment of physico-chemical and biological parameters in water quality monitoring: A review of contaminants, indicators, and health impacts. International Journal of Horticulture, Agriculture and Food Science, 9(2), 10–19. https://doi.org/10.22161/ijhaf.9.2.2

Vörösmarty, C. J., et al. (2020). Global water scarcity: challenges and solutions. Science.

Wang, R., et al. (2021). Integrated water resources management and its role in sustainable development. Environmental Science and Policy.

Wang, X., & Liu, L. (2023). The Impacts of Climate Change on the Hydrological Cycle and Water Resource Management. Water, 15(13), 2342. https://doi.org/10.3390/w15132342

WHO (2021) – Guidelines for safe use of wastewater and excreta in agriculture.

Woldeamanuale, T. B. (2017). Study on physico-chemical parameters of wastewater effluents from Kombolcha and Debreberhan industrial area, Ethiopia. International Journal of Rural Development, Environment and Health Research, 1(2), 10–17. http://www.aipublications.com

World Health Organization & Food and Agriculture Organization. (2006). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater – Volume II: Wastewater Use in Agriculture. Geneva: WHO. WHO Wastewater Guidelines Volume II

Zerdoumi, I. E., et Abramov, V. Y. (2023). Climate change and scarcity of water resources in Algeria. News of the Ural State Mining University, 1(69), 7–12. https://doi.org/10.21440/2307-2091-2023-1-7-12

Zhang, X., et al. (2020). Sustainable water resource management: strategies and challenges. Water Resources Management.

Zheng, Y., Wan, Y., Zhang, Y., Huang, J., Yang, Y., Tsang, D. C. W., Wang, H., Chen, H. et Gao, B. (2022). Recovery of phosphorus from wastewater: A review based on current phosphorous removal technologies. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 53(11), 1148–1172. **https://doi.org/10.1080/10643389.2022.2128194**

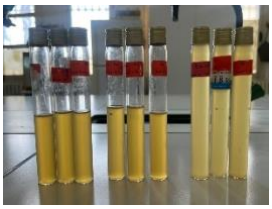
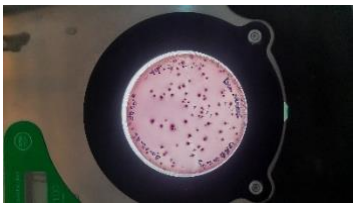
Zhang, X., et al. (2025). Technological innovations in wastewater management under climate change scenarios. Science of the Total Environment.

Annexes

Annexe 1

Tableau 5 : résultats des analyses bactériologiques d'eau brute (entrée)

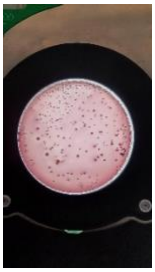
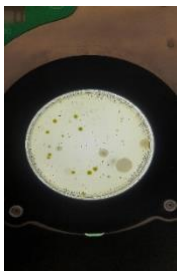
Mois	Mars						Avril						Mai					
Dilution	10^{-1}		10^{-2}		10^{-3}		10^{-1}		10-2		10^{-3}		10^{-1}		10^{-2}		10^{-3}	
Coliformes totaux	< 300	< 300	< 300	< 300	72	31	> 30000	294	41	< 300	< 300	< 300	> 30000	> 30000	> 30000	> 30000	286	> 30000
Germe totaux	> 30000	> 30000	> 30000	237	36	105	> 30000	< 300	228	53	36	49	262	> 30000	> 30000	> 30000	> 30000	> 30000
Coliformes fécaux	> 30000	> 30000	105	178	< 300	< 300	< 300	< 300	< 300	88	< 300	< 300	> 30000	> 30000	> 30000	> 30000	70	58
E . Coli	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Streptocoques fécaux	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Tableaux 6 : résultats des analyses bactériologiques d'eau épurée (sortie)

Mois	Mars						Avril						Mai					
Dilution	10^{-1}		10^{-2}		10^{-3}		10^{-1}		10-2		10^{-3}		10^{-1}		10^{-2}		10^{-3}	
Coliformes totaux	< 300	< 300	56	< 300	33	< 300	< 300	< 300	< 300	42	< 300	< 300	> 30000	203	270	151	39	143
Germe totaux	38	40	> 30000	> 30000	< 300	< 300	< 300	> 30000	263	44	< 300	< 300	> 30000	> 30000	> 30000	> 30000	280	3000

Coliformes fécaux	136	>3000	256	>3000	<300	<300	93	<300	<300	<300	<300	<300	250	299	70	65	<300	<300
E . Coli	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Streptocoques fécaux	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

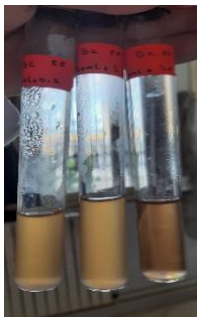
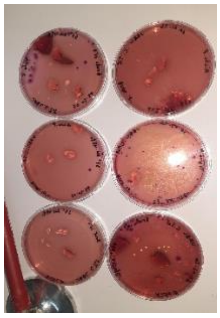
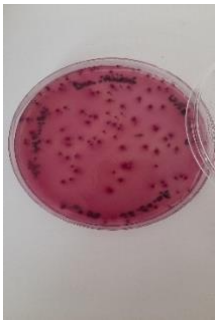




Annexe 2

Tableau 7 : calcul de moyenne des résultats (entrée)

Eau brute : (entrée)

	Prélèvement 1	Prélèvement 2	Prélèvement 3
Coliforme totaux	10^{-1} : /	10^{-1} : 294	10^{-1} : /
	10^{-2}: /	10^{-2}: 41	10^{-2}: /
	10^{-3} : 51.5	10^{-3} : /	10^{-3} : 286
Germe totaux	10^{-1} : /	10^{-1} : /	10^{-1} : 262
	10^{-2}: 237	10^{-2}:140.5	10^{-2}: /
	10^{-3} : 70.5	10^{-3} :42.5	10^{-3} : /
Coliforme fécaux	10^{-1} : /	10^{-1} : /	10^{-1} : /
	10^{-2}: 215	10^{-2}: 88	10^{-2}: /
	10^{-3} : /	10^{-3} : /	10^{-3} : 64
E .Coli	+	+	+
	+	+	+
	+	+	+
streptocoques fécaux	+	+	+
	+	+	+
	+	+	+

Eau épurée : (sortie)

Tableau 8 : calcul de moyenne des résultats (sortie)

	Prélèvement 1	Prélèvement 2	Prélèvement 3
Coliforme totaux	10^{-1} :156	10^{-1} : /	10^{-1} : 203
	10^{-2} : /	10^{-2} : 142	10^{-2}: 210.5
	10^{-3} : 33	10^{-3} : /	10^{-3} : 91
Germe totaux	10^{-1} : 39	10^{-1} : /	10^{-1} : /
	10^{-2}: /	10^{-2}: 153.5	10^{-2}: /
	10^{-3}: /	10^{-3} : /	10^{-3} : 290
Coliforme fécaux	10^{-1}: 136	10^{-1} : /	10^{-1} : 274.5
	10^{-2}: 256	10^{-2}: /	10^{-2}: 67.5
	10^{-3} : /	10^{-3} : 93	10^{-3} : /
E .Coli	+	+	+
	+	+	+
	+	+	+
Streptocoque fécaux	+	+	+
	+	+	+
	+	+	+

	Éléments
Appareils	Autoclave ; Étuve d'incubation ; Balance analytique ; Plaque chauffante.

Matériels	Micropipettes ; Boîtes de Pétri ; Tubes à vis ; Tubes à essai ; Pipettes graduées ; Flacons de prélèvement ; Portoir à tubes ; Béchers ; Spatule ; Anse d'ensemencement ; Bec Bunsen.
Produits et milieux de culture	Gélose PCA (Plate Count Agar) ; Gélose VRBL (Violet Red Bile Lactose Agar) ; Gélose VRBG (Violet Red Bile Glucose Agar) ; Bouillon de Roth ; Peptone ; Réactif de Kovacs ; Eau distillée.

Annexe 3 :

Tableau 9: **Matériels, appareils et produits utilisés pour les analyses bactériologiques**

Annexe 4 :

Tableau 10: Matériels, appareils et produits utilisés pour les analyses physico-chimique .

Paramètre	Matériel	Réactif
DCO	Thermo-réacteur, spectrophotomètre, pince à tube, portoir des tubes, poire pour pipette.	Tubes de réaction (0–150 mg/L O_2) pour l'eau épurée ; tubes de réaction (0–1500 mg/L O_2) pour l'eau brute.
MES	Appareil de filtration sous vide, membranes en fibres de verre borosilicaté (Millipore), balance analytique (±0,1 mg), étuve (105 °C), dessiccateur, pince, centrifugeuse, flacons de	

	centrifugation, creuset en porcelaine, pince à creuset.	
NH3-	Spectrophotomètre, pince à tube, portoir des tubes, poire pour pipette.	Tubes de réaction (0,02–2,5 mg/L) pour l'eau épurée ; tubes de réaction (0–50 mg/L) pour l'eau brute ; eau distillée ; sachets de salicylate d'ammonium F5 ; sachets de cyanurâtes d'ammonium F5
NO2+	Spectrophotomètre, pince à tube, portoir des tubes, poire pour pipette.	Tubes de réaction (0,003–0,5 mg/L $N\text{-}NO_2$) ; eau distillée.
NO3+	Spectrophotomètre, pince à tube, portoir des tubes, pipettes, poire pour pipette.	Tubes de réaction (1–30 mg/L $N\text{-}NO_3$) ; réactif Nitrate Chromotropic (Nitrate B) ; eau déminéralisée.