

REPUBLIQUE ALGEROENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



En vue l'obtention du diplôme de
MASTER EN GENIE DES PROCEDES
Spécialité : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

*Etude de l'efficacité de traitement des eaux usées au niveau de la Station
d'Épuration de Beni Mered (W de Blida)*

Présenté par :

Hafiane Fahima

Encadré par :

Pr. BADIS ABDELMALEK

Melle. BEAMIROUCHE

OUISSEM

Année Universitaire 2024-2025

Remerciements

Nous exprimons avant tout notre profonde reconnaissance envers ALLAH, qui nous a accordé la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce modeste projet de fin d'études.

Avant d'entamer ce mémoire, je souhaite adresser mes sincères remerciements à toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier particulièrement Pr. Badis Abdelmalek ainsi que notre Co-promoteur Mlle Benamirouche Ouissem pour leur encadrement précieux, leurs conseils avisés et leur disponibilité constante tout au long de ce projet.

Mes remerciements s'étendent également à l'ensemble des enseignants et du personnel administratif de l'Université Saad Dahlab Blida 1, pour la qualité de l'enseignement dispensé et leur soutien indéfectible durant toute ma formation.

Je n'oublie pas mes collègues et amis, notamment Rania, pour leur soutien moral, leurs conseils enrichissants et leur présence tout au long de cette aventure.

Enfin, je dédie une pensée toute particulière à ma famille, mon cher père et mon mari Rida et mes enfants, pour leur amour inestimable, leur patience et leur encouragement sans faille, qui m'ont porté jusqu'à l'achèvement de ce parcours.

À vous tous, merci du fond du cœur.

Dédicace

C'est avec une immense reconnaissance et des mots emplis d'émotion que je dédie ce travail :

À mes chers parents, à qui aucun cadeau, aussi précieux soit-il, ne saurait exprimer toute ma gratitude et l'amour profond que je leur porte.

À mon cher père, pilier de ma vie, qui m'a transmis la valeur du travail, de la persévérance et du courage. Ton soutien inébranlable et ta protection constante ont toujours été pour moi une source d'inspiration et de force. Que ce mémoire soit l'écho des prières que tu as formulées pour moi. Merci d'être mon modèle et ma fierté.

À mes chères sœurs, pour leur affection et leur soutien tout au long de ce parcours.

À mon mari, Rida, et à mes enfants, véritables sources de bonheur et de motivation, pour leur amour, leur patience et leur présence rassurante à chaque étape de ce chemin.

À toute ma famille, grands-parents, oncles, tantes, cousins et cousines, qui ont toujours cru en moi et m'ont encouragée avec bienveillance.

À Rania, amie fidèle, pour son amour, sa compréhension, ses conseils précieux et son soutien sans faille. Sans ta présence, atteindre mes objectifs aurait été bien plus difficile. Merci pour ta générosité et ta présence à chaque instant.

Et tout particulièrement, à mon amie Rania et à mon mari Rida, pour vos encouragements, vos conseils, et pour tous ces instants de bonheur partagés qui resteront à jamais gravés dans ma mémoire.

À vous tous, merci du fond du cœur.

ملخص

تهدف هذه الدراسة الاسترجاعية والاستشراافية إلى تقييم جودة المياه المعالجة في محطة التطهير ببني مراد خلال الفترة الممتدة من سنة 2021 إلى سنة 2025. وقد تم الاعتماد في التقييم على تحاليل فيزيائية-كيميائية ومكروبيولوجية أجريت وفقاً لمعايير منظمة الصحة العالمية. أظهرت النتائج أن المياه المعالجة تستوفي عموماً المعايير الدولية، إلا أنها تظل غير صالحة لإعادة الاستخدام الفعّال، خصوصاً في مجال الري الزراعي على نطاق واسع، مما يستدعي اعتماد معالجة ثالثة إضافية لتعزيز إمكانية إعادة استعمالها.

الكلمات المفتاحية: دراسة استرجاعية واستشراافية، مياه الصرف الصحي المعالجة، محطة معالجة مياه الصرف الصحي، التحاليل الفيزيائية والكيميائية والمكروبيولوجية، منظمة الصحة العالمية، الري الزراعي.

Abstract

This retrospective and prospective study aims to assess the quality of wastewater treated at the Béni Mared treatment plant over the period 2021 to 2025. The evaluation is based on physicochemical and microbiological analyses conducted in accordance with World Health Organization (WHO) standards. The results show that although the treated water generally meets international standards, it remains unsuitable for effective reuse, particularly for large-scale agricultural irrigation. These findings highlight the need for an additional tertiary treatment to enhance its reuse potential.

Key words: retrospective and prospective study, wastewater, wastewater treatment plant, physico-chemical and microbiological analyses, World Health Organization, agricultural irrigation.

Résumé

Cette étude rétrospective et prospective vise à évaluer la qualité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Béni Mared entre 2021 et 2025. L'analyse repose sur des paramètres physico-chimiques et microbiologiques, conformément aux normes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Les résultats révèlent que, bien que les eaux traitées respectent globalement les standards internationaux, elles ne répondent pas aux exigences nécessaires pour une réutilisation efficace en irrigation agricole à grande échelle. Ces limites soulignent la nécessité d'un traitement tertiaire complémentaire pour améliorer leur potentiel de valorisation.

Mots-clés : étude rétrospective et prospective, eaux usées, station d'épuration des eaux usées, analyses physico-chimiques et microbiologiques, l'organisation de la santé mondiale, irrigation agricole.

TABLE DES MATIERES

Résumé :

Remerciements :

Dédicace

Introduction Générale..... 1

CHAPTER 1 : PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

1 Introduction	3
1.2 Définition des eaux usées.....	4
1.3 Origine des eaux usées	4
1.3.1 Origine domestique	4
1.3.2 Origine umbrine	5
1.3.3 Origine industrielle.....	5
1.3.4 Origine agricole.....	5
1.3.5 Origine pluviales	6
1.4 Composition des eaux usées	6
1.4.1 Pollution microbiologique.....	6
1.4.2 Pollution thermique.....	7
1.4.3 Pollution chimique	7
1.4.4 Pollution physique.....	7
1.5 Caractéristiques des eaux usées.....	9
1.5.1 Les paramètres physico-chimiques.....	9
1.5.2 Les paramètres de pollution.....	11
1.5.3 Les paramètres microbiologiques.....	15
1.5.3.1 Germes totaux (GT)	15
1.5.3.2 Coliformes totaux (CT).....	15
1.5.3.3 Coliformes fécaux (CF)	15
1.5.3.4 Streptocoques fécaux (SF)	15
1.5.3.5 Clostridium sulfito-réducteur (CSR).....	15
1.5.3.6 Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR).....	16
1.5.3.7 Escherichia coli (E. coli).....	16
1.6 Types de traitement des eaux usées	16

TABLE DES MATIERES

1.6.1 Le traitement primaire.....	17
1.6.2 Le traitement secondaire	18
1.6.3 Le traitement tertiaire	18
1.6.4 Le traitement avancé	18
1.6.5 Le traitement des boues.....	19
1.7 Station d'épuration des eaux usées STEP (Beni Merad)	19
1.7.1 Introduction	19
1.7.2 Principe de fonctionnement de la STEP.....	20
1.7.3 Fiche caractéristique.....	21
1.7.4 Acheminement des eaux	21
1.8 Étapes de traitement	22
1.8.1 Le prétraitement.....	22
1.8.1.1 Le Dégrillage.....	23
1.8.1.2 Déshuilage, dessablage.....	23
1.8.3 décanteur primaire.....	24
1.8.4 bassin biologique.....	25
1.8.5 Décanteur secondaire (clarificateur).....	27
1.8.6 Traitement tertiaire (Chloration).....	28
1.8.7 Traitement des boues.....	29
Réutilisation Agricole.....	30
1.9 Conclusion.....	30

CHAPITRE 02: MATERIEL ET METHODES

2 Introduction	31
2.1 MATÉRIEL ET MÉTHODES	31
2.1.1 Matériel pour les analyses physicochimiques	32
2.1.1.1 Appareillages et verreries.....	32
2.1.2 Matériel pour les analyses microbiologiques	35
2.2 Méthode d'analyses physicochimiques, analyses des tests spécifiques et microbiologiques...36	
2.2.1 Paramètres physicochimiques.....	36
2.2.1.1 Mesure de la température	36
2.2.1.2 Mesure du potentiel d'hydrogène (pH) NF T 90-008.....	36
2.2.1.3 Mesure de la conductivité électrique.....	37

TABLE DES MATIERES

2.2.1.4 Mesure de l'oxygène dissous	37
2.2.2 Analyses Bactériologiques	42
2.2.2.1 Préparation des dilutions	42
2.2.2.2 Recherche et dénombrement des bactéries indicatrices de contamination fécale	43
2.2.2.3 Recherche et dénombrement des Coliformes totaux	44
2.2.2.4 Le test de confirmation ou test de Mac-Kenzie.....	45
2.2.2.5 Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux.....	47
2.2.2.6 Recherche des Salmonelles	50
CHAPITRE 3: RÉSULTATS ET DISCUSSION	
3 Introduction	55
3.1 Etude prospective des analyses physicochimiques au cours de l'année 2025.....	55
3.1.1 Discussion des résultats des analyses physicochimiques des prélèvements au cours de l'année 2025	56
3.1.1.1 le débit.....	56
3.1.1.2 Température.....	59
3.1.1.3 Ph.....	62
3.1.1.4 Conductivité électrique.....	64
3.1.1.5 Oxygène dissous (O2).....	67
3.1.1.6 Variation de la DBO5, DCO et MES.....	70
3.2. Etude rétrospective des analyses de quatre années 2021, 2022 ,2023,2024 et 2025.....	72
3.2.1. Paramètres physicochimiques : DCO, DBO 5 et MES.....	72
3.2.1.1 Pour le cas de l'année 2021.....	72
3.2.1.2 Pour le cas de l'année 2022.....	74
3.2.1.3 Pour le cas de l'année 2023.....	75
3.2.1.4 Pour le cas de l'année 2024.....	76
3.3 Évolution annuelle des paramètres physico-chimiques des eaux usées (DCO, DBO5, MES) de 2021 à 2024	77
3.1.2 Discussion des résultats des analyses bactériologiques des prélèvements au cours de l'année 2025	78
Conclusion	85
Références	87

Listes des figures

Figure 1.1 : l'eau usées déversée dans la nature issue d'une station d'épuration et dans	3
Figure 1.2 : déversement des eaux usées dans la nature.....	4
Figure 1.3 : schéma de fonctionnement d'une station d'épuration.....	17
Figure 1.4 : Station d'épuration (Beni mared).....	20
Figure 1.5 : acheminement d'une eau usée.....	22
Figure 1.6 : dégrilleurs fins	23
Figure 1.7 : bassin déshuilage dessablage.....	24
Figure 1.8 : décanteur primaire	25
Figure 1.9 : bassin d'aération.....	26
Figure 1.10 : Clarificateur	28
Figure 1.11 : Bassin de désinfection à chicane	29
Figure 2.1 : Station d'épuration de Béni Mered (Photo originale) année2025	32
Figure 2.2 : analyse du pH par pH-mètre HACH sensION	34
Figure 2.3 : Méthode d'analyse de Coliformes	36
Figure 2.4 : Méthode d'analyse de Streptocoques.....	36
Figure 2.5 : détermination de MES par la technique de filtration.....	38
Figure 2.6 : détermination de MES par la technique de centrifugation	39
Figure 2.7 : détermination de la DCO par kit LCK.....	41
Figure 2.8 : Détermination de la DBO5 par le DBO mètre	42
Figure 2.9 : Principe de la dilution.....	43
Figure 2.10 : Recherche et dénombrement des coliformes en milieu liquide (Test de présomption).....	46
Figure 2.11 : Recherche et dénombrement des coliformes en milieu liquide (Test de confirmation).....	4
Figure 2.12 : Recherche et dénombrement des streptocoques (Test de présomption).....	49
Figure 2.13 : Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux (Test de confirmation)	50
Figure 2.14 : Recherché de Salmonelles.....	52
Figure 2.15 : Recherche de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	54
Figure 3.1 : Variation de la DBO5, DCO, MES dans les eaux épurées de l'année 2021.....	73
Figure 3.2 : Variation de la DBO5, DCO, MES dans les eaux épurées de l'année 2022...	74
Figure 3.3 : Variation de la DBO5, DCO, MES dans les eaux épurées de l'année 2023.....	75
Figure 3.4 : Variation de la DBO, DCO5, MES dans les eaux épurées de l'année 2024.....	76
Figure 3.5 : les résultats de Comparaison des paramètres DCO, DBO5 et MES (2021–2024).....	77

Listes des Tableaux

Tableau 03 : Echelle de valeur de DBO5	12
Tableau 02 : Classification des eaux selon la conductivité	11
Tableau01 : Classification des eaux d'après leur pH	10
Tableau 2.3 : Produits chimiques utilisés pour analyses microbiologiques	33
Tableau 2.2 : Matériel chimiques utilisés pour analyses microbiologiques.....	34
Tableau 2.1 : Produits chimiques utilisés pour analyses physicochimiques	35
Tableau 3.1 : les résultats de débit des eaux entrantes et sortantes de la STEP de Beni Mered.....	56
Tableau 3.2 : les résultats de Température des eaux brutes et épurées des jours de stage.....	59
Tableau 3.3 : les résultats de pH des eaux brutes et épurées.....	62-63
Tableau 3.4 : les résultats de La conductivité électrique des eux brutes et épurées	65
Tableau 3.5 : les résultats d'Oxygène dissous (OD) des eaux brutes et épurées	67-68
Tableau 3.6 : les résultats de DBO5, DCO et MES de l'année de 2025 (les jours de stage)	70-71
Tableau 3.7 : Évolution annuelle des paramètres physico-chimiques des eaux usées (DCO, DBO5, MES) de 2021 à 2024.....	77
Tableau 3.8 : les résultats des analyses bactériologiques des prélèvements au cours de février l'année 2025.....	78-79
Tableau 3.9 : les résultats des analyses bactériologiques des prélèvements au cours de mars 2025.....	80-81

LISTE DES ABREVIATIONS

- ASR** : Anaérobie Sulfito-Réducteurs
- BCPL** : Bouffion Lactosé au Pourpre de Bromocrésol
- CF** : Coliformes Fécaux
- CMB** : Concentration Minimale Bactéricide
- CMI** : Concentration Minimale Inhibitrice
- CT** : Coliformes Totaux
- D/C** : Double Concentration DBO5 : Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours
- DCO** : Demande Chimique en Oxygène
- EB** : Eau Brute
- EE** : Eau Epurée
- EH** : Equivalent Habitant
- GN** : Gélose Nutritive
- IPO** : Indice de Pollution Organique
- JORA** : Journal Officiel de la République Algérienne
- MES** : Matière En Suspension
- NPP** : Nombre Plus Probable
- OD** : Oxygène Dissous
- ODC** : Ornithine Décarboxylase
- OMS** : Organisation Mondial de la Santé
- ONA** : Office Nationale d'Assainissement
- PH** : Potentiel d'hydrogène
- S/C** : Simple Concentration
- SF** : Streptocoques Fécaux
- SFB** : Bouillon Sélénite-Cysteine
- STEP** : Station d'Épuration des Eaux Usées
- TFC** : Unité Formant Colonie
- H2S** : Sulfure d'hydrogène
- LCK** : Kit de Cuvettes Lange

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une ressource essentielle à la vie, dont la gestion durable représente aujourd'hui un défi majeur, en particulier face à l'augmentation des besoins en eau potable et à la pression croissante exercée par les pollutions d'origine anthropique [1]. Dans ce contexte, le traitement des eaux usées constitue une solution incontournable pour préserver la qualité de l'environnement et protéger les ressources hydriques.

Les stations d'épuration (STEP) jouent un rôle central dans ce processus, en assurant l'élimination des polluants avant le rejet ou la réutilisation des eaux traitées. L'évaluation de la performance de ces installations est primordiale pour optimiser leur fonctionnement et minimiser les impacts environnementaux, notamment sur les écosystèmes aquatiques [2].

Malgré les investissements considérables consacrés à la construction de barrages, les eaux de surface restent exposées à de multiples sources de pollution. Elles contiennent fréquemment des charges élevées en matières organiques naturelles, telles que les substances humiques, ainsi qu'en composés organiques issus des rejets industriels, domestiques ou agricoles [3].

Le déversement direct d'eaux usées non traitées dans le milieu naturel engendre de graves déséquilibres écologiques, altérant la qualité de l'eau et menaçant la biodiversité. Ces perturbations peuvent avoir des répercussions notables sur les ressources en eau destinées à l'usage humain. Ainsi, un traitement rigoureux des eaux usées en amont s'avère indispensable pour limiter ces effets néfastes. Le processus de traitement vise à éliminer les matières solides en suspension, les polluants organiques et inorganiques, ainsi que les contaminants dissous, tels que l'azote, le phosphore et les agents pathogènes. Ces opérations sont réalisées au sein de stations spécialisées, dotées de technologies adaptées à la purification de l'eau et à la gestion des boues résiduelles.

La présente étude s'inscrit dans cette problématique et porte sur l'évaluation de l'efficacité du traitement des eaux usées au niveau de la station d'épuration de Beni Mered, située dans la wilaya de Blida. Elle repose à la fois sur une analyse rétrospective et prospective, afin de mieux cerner les performances de cette station en matière d'élimination des polluants, à travers l'étude de paramètres physico-chimiques et microbiologiques, et d'identifier les axes d'amélioration potentiels.

Le travail développé dans ce manuscrit est structuré en trois chapitres :

- Le **premier chapitre** présente une étude bibliographique abordant les généralités relatives à l'origine et aux caractéristiques des eaux usées, ainsi que les différentes étapes de traitement mises en œuvre à la station de Beni Mered.
- Le **deuxième chapitre** décrit le matériel et les méthodes utilisés pour la réalisation de ce travail expérimental.
- Le **troisième chapitre** est consacré à l'analyse et à l'interprétation des résultats obtenus, incluant une étude comparative des paramètres physico-chimiques sur les quatre dernières années, ainsi qu'une évaluation des résultats de l'année en cours par rapport aux normes réglementaires relatives à l'irrigation.

Enfin, une conclusion générale vient clore ce travail en synthétisant les principaux résultats obtenus et en proposant quelques perspectives d'amélioration, notamment en soulignant l'intérêt d'un traitement tertiaire adapté pour permettre une réutilisation durable des eaux épurées, en particulier dans le cadre de l'irrigation agricole à l'échelle régionale.

Chapitre 01 : matériel et méthodes

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.1 Introduction

L'usage excessif et irrationnel de l'eau dans les activités humaines quotidiennes et industrielles introduit des substances polluantes compris une variété de contaminants chimiques, pharmaceutiques, et micropolluants... peuvent entrainer la pollution des milieux aquatiques dont l'impact sur la santé humaine, la faune et la flore est très important.

Dans la première partie, nous avons exploré les caractéristiques des eaux usées et les différentes techniques d'épuration, en mettant particulièrement l'accent sur les procédés biologiques de décontamination par boue activée.

Cette section vise à fournir une compréhension approfondie des mécanismes de traitement des eaux usées.

Les figures 1.1 et 1.2 représentent le déversement des eaux usées dans une station d'épuration et dans la nature.



Figure 1.1 : l'eau usées déversée dans la nature issue d'une station d'épuration et dans la nature.



Figure 1.2 : déversement des eaux usées dans la nature

1.2 Définition des eaux usées

Les eaux usées désignent les effluents provenant des activités industrielles ou domestiques, évacués après usage. Ayant perdu leur pureté initiale en raison de leur utilisation, elles deviennent impropres à toute réutilisation sans traitement préalable. Afin de prévenir la pollution de l'environnement, ces eaux ne doivent pas être rejetées directement dans le milieu naturel sans avoir subi un traitement approprié au sein d'une station d'épuration, où les polluants indésirables sont éliminés [5].

1.3 Origine des eaux usées

1.3.1 Origine domestique

Les eaux usées domestiques englobent les eaux ménagères et les eaux de vannes. Elles sont principalement chargées de polluants organiques, tels que les glucides, lipides et protides, ainsi que de matières minérales, notamment les chlorures, phosphates et sulfates [6].

Les eaux ménagères proviennent des salles de bains et des cuisines. Elles contiennent des matières organiques biodégradables, comme les glucides, lipides et protides, ainsi que des

détergents contenant du soufre ou du phosphore, des graisses et des solvants. Les eaux de vannes, issues des sanitaires (urines et matières fécales), sont riches en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés et phosphatés, ainsi qu'en germes fécaux [7].

1.3.2 Origine umbrine

Elles englobent à la fois les eaux de pluie et celles issues du nettoyage des espaces publics. [8]

1.3.3 Origine industrielle

Contrairement aux eaux usées domestiques, les effluents industriels présentent une composition plus spécifique, dont la qualité et le niveau de pollution dépendent directement du type d'industrie concernée. Les eaux résiduaires industrielles proviennent notamment des processus de refroidissement, de lavage, de rinçage des machines, des produits divers ou des matières premières. En plus des matières organiques, azotées et phosphorées, elles contiennent diverses substances chimiques, qu'elles soient organiques ou métalliques. Selon leur origine, elles peuvent également inclure des composés chimiques utilisés dans les processus de fabrication, tels que les graisses, hydrocarbures, acides, bases, métaux ou encore des matières radioactives [9].

Les eaux usées industrielles doivent être traitées avant leur rejet dans les réseaux de collecte. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne représentent plus un danger pour ces réseaux et n'interfèrent pas avec le fonctionnement des stations d'épuration [10].

1.3.4 Origine agricole

L'agriculture constitue une source importante de pollution des eaux, notamment à travers l'utilisation d'engrais et de pesticides, ce qui en fait la principale cause des pollutions diffuses.

Les eaux agricoles provenant des terres cultivées sont souvent chargées en engrais nitrates et phosphates, sous forme ionique ou en quantités excédant la capacité du sol à les retenir et des plantes à les absorber. Par ruissellement, ces substances enrichissent les nappes phréatiques superficielles ainsi que les cours d'eau en matières azotées et phosphatées [11].

1.3.5 Origine pluviales

Les eaux pluviales, issues des précipitations, sont une composante essentielle du cycle de l'eau. Elles contribuent à l'alimentation des nappes phréatiques, des cours d'eau et des écosystèmes. En milieu urbain, leur gestion est primordiale pour prévenir les inondations et limiter la pollution, grâce à des systèmes de collecte et d'infiltration. Considérées comme une ressource précieuse, ces eaux jouent également un rôle clé dans l'agriculture et la recharge des sols, notamment dans les régions dépendantes des précipitations saisonnières.

Il s'agit des eaux de pluie qui emportent avec elles divers déchets minéraux, comme les limons, ainsi que des déchets organiques tels que les résidus végétaux. Elles peuvent également transporter des micropolluants, notamment des hydrocarbures, des pesticides, des détergents et d'autres substances [12].

1.4 Composition des eaux usées

La composition des eaux usées varie en fonction de leur origine (domestique, industrielle ou agricole) et des activités humaines ou des procédés qui y sont associés. Voici une description générale :

1.4.1 Pollution microbiologique

La pollution microbiologique des eaux usées résulte de la présence de micro-organismes pathogènes tels que des bactéries (*Escherichia coli*, *Salmonella*), des virus (hépatite A, rotavirus), des parasites (*Giardia*, *Cryptosporidium*) et des champignons. Ces agents contaminent l'eau principalement par les rejets domestiques, industriels et agricoles, notamment lorsque les eaux usées ne sont pas correctement traitées. Lorsqu'elles sont déversées dans les rivières, les lacs ou les nappes phréatiques, ces eaux polluées favorisent la propagation de maladies hydriques telles que le choléra, la dysenterie et les gastro-entérites. Cette forme de pollution constitue un risque

majeur pour la santé publique et l'environnement, soulignant l'importance d'un traitement efficace des eaux usées avant leur rejet [13].

1.4.2 Pollution thermique

La pollution thermique des eaux usées se produit lorsque des eaux réchauffées, souvent issues des processus industriels ou des centrales électriques, sont rejetées dans les milieux aquatiques, provoquant une élévation soudaine de la température de l'eau. Ce phénomène, principalement causé par l'utilisation de l'eau pour le refroidissement des équipements industriels, perturbe les écosystèmes aquatiques en réduisant la quantité d'oxygène dissous, ce qui nuit à la faune et à la flore, notamment aux espèces sensibles à ces variations de température. De plus, cela peut favoriser la prolifération d'algues toxiques et nuire à la biodiversité. Une gestion appropriée de ces rejets thermiques est cruciale pour limiter les effets sur l'environnement [13].

1.4.3 Pollution chimique

La pollution chimique des eaux usées est causée par la présence de substances dangereuses telles que des métaux lourds, des produits chimiques industriels, des résidus de pesticides, des solvants et des médicaments, qui proviennent principalement des activités industrielles, agricoles et domestiques. Lorsque ces polluants ne sont pas correctement éliminés dans les stations d'épuration, ils sont rejetés dans les cours d'eau, les lacs et les nappes phréatiques, ce qui compromet la qualité de l'eau et menace la santé des écosystèmes aquatiques. Ces contaminants peuvent provoquer des intoxications, des troubles hormonaux et des cancers chez les humains et les animaux. Un traitement adéquat des eaux usées est essentiel pour limiter les risques de contamination [14].

1.4.4 Pollution physique

La pollution physique des eaux usées se manifeste par la présence de particules solides, de matières en suspension ou de déchets organiques qui rendent l'eau trouble et affectent sa qualité.

Ces polluants proviennent essentiellement des rejets industriels, agricoles et domestiques, ainsi que des eaux usées non traitées. Les déchets solides, tels que les plastiques, métaux, fibres et boues, peuvent obstruer les canalisations, perturber les processus biologiques des écosystèmes aquatiques et nuire à la faune et la flore. Par ailleurs, la turbidité élevée de l'eau réduit la photosynthèse des plantes aquatiques et altère l'habitat des poissons. Un traitement efficace des eaux usées est crucial pour préserver la qualité de l'eau et protéger les écosystèmes aquatiques [15].

□ **Bactéries**

Les bactéries sont des microorganismes procaryotes unicellulaires, dont la taille varie entre 0,1 et 10 µm. Elles sont les plus couramment présentes dans les eaux usées [16] [17].

La concentration de bactéries pathogènes dans les eaux usées est d'environ 10^4 UFC pour 1000 ml. Parmi les plus fréquemment détectées figurent les Salmonelles, responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et de divers troubles intestinaux [18].

□ **Virus**

Les virus sont de minuscules agents infectieux composés d'une coque protéique renfermant du matériel génétique (ADN ou ARN). Ne pouvant se reproduire de manière autonome, ils envahissent les cellules hôtes pour se multiplier.

Les virus sont des parasites intracellulaires obligatoires qui ne peuvent se reproduire qu'à l'intérieur d'une cellule hôte. Leur concentration dans les eaux usées urbaines est estimée entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans ces eaux demeurent complexes, ce qui conduit probablement à une sous-estimation de leur nombre réel [19].

Parmi les virus entériques humains les plus significatifs, on retrouve les entérovirus, les rota virus et les rétrovirus [20].

□ **Helminthes**

Les helminthes sont des vers parasites multicellulaires qui vivent à l'intérieur du corps d'un hôte. Sont des vers multicellulaires, soit plats (plathelminthes), soit ronds (némathelminthes). Ils sont couramment présents dans les eaux usées urbaines, où le nombre d'œufs d'helminthes peut

varier entre 10 et 10^3 œufs/L [13]. Parmi les helminthes pathogènes trouvés dans ces eaux, on trouve : *Ascaris lumbricoides*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichiura* et *Taenia saginata* [21].

□ Protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires eucaryotes, plus complexes et plus grands que les bactéries. Ils se trouvent généralement dans les eaux, où ils se nourrissent de matière organique ou de bactéries. Certains protozoaires prennent, au cours de leur cycle de vie, une forme résistante, appelée kyste (par exemple, l'oocyste pour *Cryptosporidium* et le kyste pour *Giardia*).

Cette forme leur permet de résister aux traitements des eaux usées [22] [23].

1.5 Caractéristiques des eaux usées

1.5.1 Les paramètres physico-chimiques

Température

La température de l'eau influence significativement la solubilité des sels et des gaz, tels que l'oxygène essentiel à l'équilibre des écosystèmes aquatiques [17]. En tant que paramètre écologique clé des milieux aquatiques, une élévation de la température peut provoquer des perturbations majeures de la vie aquatique, connues sous le nom de pollution thermique [18]. De plus, une augmentation de 10 °C de la température double ou triple la vitesse des réactions chimiques et biochimiques, ce qui accélère également l'activité métaboliques des organismes aquatiques. Ce paramètre est déterminé non seulement par la température ambiante, mais aussi par des rejets potentiels d'eaux résiduaires chaudes. Enfin, des variations soudaines de température supérieure à 3 °C peuvent être pa [24].

Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH, ou potentiel d'hydrogène, correspond au logarithme décimal de l'inverse de la concentration en ions hydrogène (H^+). Sa valeur indique si l'eau est acide (pH inférieur à 7) ou basique (pH supérieur à 7). Bien qu'il n'ait pas de signification hygiénique directe, le pH joue un rôle essentiel dans l'évaluation de l'agressivité de l'eau et dans les processus [25].

Le pH des eaux est classifié dans le tableau 01.

Tableau1.1: Classification des eaux d'après leur pH

pH < 5	Présence d'acides minéraux ou organiques dans l'eau naturelle
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte

Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique de l'eau reflète sa capacité à conduire un courant électrique, dépendant de la concentration en ions dissous, tels que les sels minéraux, les acides et les bases. Plus cette concentration est élevée, plus la conductivité augmente.

La conductivité mesure la capacité de l'eau à transmettre un courant électrique entre deux électrodes, en raison de la présence d'ions chargés issus des matières dissoutes. Elle permet ainsi d'évaluer la concentration des sels dissous dans l'eau. La conductivité varie également avec la température, toujours à mesure que celle-ci s'élève. Elle est exprimée en micro siemens [26].

La conductivité de différentes eaux est classée dans le tableau 02.

Tableau 2.2 : Classification des eaux selon la conductivité.

Type d'eaux	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{Cm}$)	Résistivité ($\Omega. \text{m}$)
Eau pure	< 23 > 30000	> 30000
Eau douce peu minéralisée	100 à 200	5000 à 10000
Eau de minéralisation moyenne	250 à 500	2000 à 40000
Eau très minéralisée	1000 à 2500	400 à 1000

Matières en suspension (MES)

Ce sont de fines particules solides, généralement visibles à l'œil nu, qui ne sont ni dissoutes ni à l'état colloïdal. Elles influencent la turbidité de l'eau en réduisant la pénétration de la lumière, en diminuant la teneur en oxygène dissous et en impactant négativement la vie aquatique. Étroitement liées à la turbidité, leur mesure fournit une première indication sur la présence de matières colloïdales d'origine minérale ou organique. L'évaluation des matières en suspension (MES) permet d'estimer la charge solide présente dans une eau naturelle ou résiduaire [27].

Oxygéné dissout

La teneur en oxygène dissous dans l'eau dépasse rarement 10 mg/L et varie en fonction de l'origine de l'eau. Les eaux usées domestiques, par exemple, peuvent contenir entre 2 et 8 mg/L [31]. La concentration en oxygène dissous est un paramètre crucial pour soutenir la vie microbienne, favoriser la dégradation de la matière organique et faciliter la photosynthèse [28].

1.5.2 Les paramètres de pollution

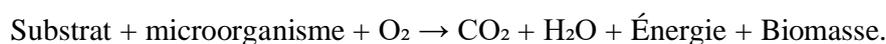
Demande Biochimique en Oxygène (DBO)

La DBO₅ représente la quantité d'oxygène nécessaire à la minéralisation des composés organiques biodégradables présents dans un échantillon d'eau, réalisée par des microorganismes

aérobies via un processus biochimique d'oxydation. Elle permet d'estimer, dans un effluent complexe, la quantité de matière organique biodégradable [29].

La minéralisation est un processus lent qui dure en moyenne de 20 à 28 jours, correspondant à la DBO ultime, également appelée DBO₂₁ ou DBO₂₈. Par convention, on mesure cependant la quantité d'oxygène consommée après cinq jours d'incubation à 20 °C et dans l'obscurité, soit la DBO₅ [30].

Cette réaction peut être représentée de la manière suivante :



La concentration de la DBO₅ varie en fonction de la nature de l'eau (voir tableau 03).

Tableau 3.3 : Echelle de valeur de DBO5

Situation	DBO5 (mg d'O2/l)
Eau naturelle pure et vive C<1	C<1
Rivière légèrement polluée	1<C<3
Egout	100<C<400
Rejet station d'épuration efficace	20<C<40

Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est une méthode d'analyse qui détermine la quantité d'oxygène consommée par l'ensemble des matières oxydables présentes dans un effluent, qu'elles soient biodégradables ou non [31]. La mesure de la DCO est réalisée en seulement 2 heures [32].

Chlorures (Cl⁻)

Les chlorures sont des anions inorganiques essentiels présents à des concentrations variables dans les eaux naturelles, principalement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium

(KCl). Ils servent fréquemment d'indicateurs de pollution et influencent la faune et la flore aquatiques ainsi que la croissance des végétaux [33].

Sulfures

Les sulfures, notamment l'hydrogène sulfuré, sont produits dans les eaux usées principalement par la décomposition des matières organiques et les processus industriels. Ces composés peuvent provoquer des odeurs désagréables et, à des concentrations élevées, être toxiques pour les organismes aquatiques. De plus, l'hydrogène sulfuré étant un gaz inflammable, il représente également un risque de sécurité dans les installations de traitement des eaux usées [34].

Tensioactifs

Les tensioactifs, présents dans les détergents et autres produits de nettoyage, réduisent la tension superficielle de l'eau, perturbant ainsi les écosystèmes aquatiques. Ces substances affectent la respiration des poissons en altérant le fonctionnement de leurs branchies. De plus, elles sont difficiles à éliminer dans les processus de traitement des eaux usées, ce qui nécessite des méthodes de gestion appropriées [35].

Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates, issus principalement des engrais agricoles et des eaux usées domestiques, sont un des principaux agents de pollution des eaux. Leur concentration élevée dans les cours d'eau peut entraîner des phénomènes d'eutrophisation, favorisant la prolifération d'algues et la diminution de l'oxygène dissous. De plus, des niveaux élevés de nitrates dans l'eau potable représentent un danger pour la santé humaine, notamment en provoquant la méthémoglobinémie [36]

Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites, produits intermédiaires de la transformation de l'azote, sont également présents dans les eaux usées. À des concentrations élevées, ils peuvent être toxiques pour la faune aquatique et perturber les écosystèmes aquatiques. Ils représentent également un risque pour la santé humaine en interférant avec la capacité du sang à transporter l'oxygène, en particulier chez les nourrissons [37].

Azote

L'azote, sous diverses formes comme les nitrates, les nitrites et l'ammonium, est l'un des principaux contributeurs à la pollution des eaux usées. Il provient des effluents agricoles, des eaux usées domestiques et industrielles. Un excès d'azote peut entraîner une eutrophisation des plans d'eau, altérant la biodiversité et la qualité de l'eau. De plus, l'azote joue un rôle majeur dans la dégradation biologique des eaux usées [38].

Phosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates, qui proviennent principalement des engrais et des détergents, sont une autre cause importante de la pollution des eaux usées. Leur présence excessive peut entraîner une eutrophisation des lacs et rivières, favorisant la croissance d'algues et réduisant l'oxygène disponible pour les organismes aquatiques. Cela affecte la biodiversité et la qualité des écosystèmes aquatiques [39].

Ammonium (NH_4^+)

L'ammonium est un ion azoté présent dans les eaux usées, principalement à cause de la dégradation des matières organiques. À des concentrations élevées, l'ammonium devient toxique pour de nombreuses espèces aquatiques. De plus, il peut se convertir en nitrates, exacerbant ainsi la pollution de l'eau et réduisant la quantité d'oxygène dissous disponible [34].

Azote Kjeldahl

L'azote Kjeldahl est une mesure de l'azote total dans les eaux usées, englobant à la fois l'azote ammoniacal et organique. Ce paramètre est essentiel pour évaluer la pollution azotée des eaux et déterminer les risques pour la qualité de l'eau. Il est également utilisé pour déterminer les besoins en traitements biologiques des eaux usées et comprendre l'impact à long terme sur les écosystèmes aquatiques [40].

1.5.3 Les paramètres microbiologiques

1.5.3.1 Germes totaux (GT)

Il s'agit de micro-organismes qui se développent dans des conditions aérobies. Leur présence constitue un indicateur de pollution bactérienne et leur dénombrement permet d'évaluer la qualité hygiénique de l'eau destinée à la consommation humaine [41]

1.5.3.2 Coliformes totaux (CT)

D'après l'Organisation internationale de normalisation, ce sont des bacilles Gram négatifs (BGN) non sporulés, oxydase négative, pouvant se développer en conditions aérobies ou anaérobies facultatives. Ils sont capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures, à une température comprise entre 36 °C et 37 °C [42].

1.5.3.3 Coliformes fécaux (CF)

Également appelés coliformes thermo-tolérants, les CF forment un sous-groupe des coliformes totaux (CT) capables de se développer à 44 °C. Ils sont considérés comme de meilleurs indicateurs de contamination fécale que les CT. Ce groupe est principalement constitué d'*Escherichia coli*, mais inclut également des bactéries telles que *Klebsiella*, *Enterobacter* et *Citrobacter* [43].

1.5.3.4 Streptocoques fécaux (SF)

Les streptocoques fécaux proviennent majoritairement d'origine humaine, bien que certaines espèces soient également présentes dans les fèces animales ou sur les végétaux. Ils sont utilisés comme indicateurs de pollution fécale en raison de leur résistance à la dessiccation, ce qui les rend particulièrement utiles pour détecter une contamination. L'identification des streptocoques fécaux fournit une confirmation importante du caractère fécal de la pollution [44].

1.5.3.5 Clostridium sulfito-réducteur (CSR)

Les spores de *Clostridium*, un bacille Gram positif, anaérobie et sporulé, se retrouvent habituellement dans les matières fécales humaines et animales. Ces spores peuvent survivre dans l'eau et dans l'environnement pendant plusieurs mois et résistent souvent à des traitements tels

que le chlore et les rayons ultraviolets, ce qui en fait un indicateur persistant de contamination fécale [45].

1.5.3.6 Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)

Les anaérobies sulfito-réducteurs sont des micro-organismes anaérobies sporulés appartenant à la famille des *Bacillaceae* et au genre *Clostridium*. Leurs spores sont largement répandues dans l'environnement et se retrouvent dans les matières fécales humaines et animales, ainsi que dans les eaux usées et le sol.

Contrairement aux coliformes, ces spores survivent longtemps dans l'eau, grâce à leur résistance accrue aux facteurs chimiques et physiques par rapport aux formes végétatives. Cela leur permet de fournir des indications sur une pollution ancienne ou intermittente [46].

1.5.3.7 *Escherichia coli* (*E. coli*)

Escherichia coli est une bactérie présente couramment dans le tractus gastro-intestinal des humains et des animaux à sang chaud. En raison de sa forte prévalence dans l'intestin et les fèces, *E. coli* est considéré comme un indicateur de choix pour détecter une contamination fécale lors de l'évaluation de la qualité de l'eau.

Bien que la majorité des *E. coli* soient des organismes commensaux inoffensifs lorsqu'ils demeurent dans leur habitat intestinal naturel, certaines souches peuvent être des agents pathogènes gastro-intestinaux dangereux pour les humains, tandis que d'autres représentent une menace pour les jeunes animaux d'élevage [47].

1.6 Types de traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées est essentiel pour préserver l'environnement et la santé publique en éliminant les contaminants de l'eau avant qu'elle ne soit rejetée ou réutilisée. Ce processus est généralement divisé en trois grandes étapes : le traitement primaire, secondaire et tertiaire ainsi que le traitement des boues, ces étapes sont représenté en schéma dans la figure 1.3.



Figure 1. 3 : schéma de fonctionnement d'une station d'épuration

1.6.1 Le traitement primaire

Le traitement primaire constitue la première phase du processus, principalement axée sur la séparation des solides en suspension et des matières lourdes présentes dans l'eau. Cette opération se réalise par décantation, où les particules solides se déposent au fond, et par filtration, permettant d'éliminer les impuretés plus fines. De plus, cette étape inclut la séparation des graisses et des huiles à l'aide de séparateurs à air ou de bacs de dégraissage. Bien qu'efficace pour éliminer les solides visibles, elle ne permet pas de retirer les substances dissoutes ou les polluants organiques.

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) souligne que le traitement primaire est essentiel pour réduire la charge polluante avant d'entrer dans les étapes de traitement plus sophistiquées [48].

1.6.2 Le traitement secondaire

Le traitement secondaire repose sur des procédés biologiques visant à éliminer les matières organiques dissoutes. Parmi les méthodes les plus répandues, on trouve le traitement par boues activées, qui consiste à aérer l'eau pour permettre aux micro-organismes de dégrader les polluants organiques. On utilise également des filtres biologiques, où des biofilms de micro-organismes décomposent les matières organiques. Par ailleurs, les lagunes, qu'elles soient aérées ou non, permettent aux bactéries de décomposer les polluants dans de vastes zones aquatiques. L'efficacité de ces techniques a été largement prouvée dans diverses études, notamment celles menées par l'United States Environmental Protection Agency (EPA), qui met en avant leur rôle crucial dans l'épuration des eaux usées domestiques et industrielles [49].

1.6.3 Le traitement tertiaire

Le traitement tertiaire constitue une étape avancée visant à perfectionner le processus de purification en éliminant des éléments tels que l'azote, le phosphore et les micro-polluants qui peuvent subsister après les étapes antérieures. Cette phase inclut des techniques comme la filtration fine, l'adsorption et la désinfection par chloration, ozonation ou irradiation UV. Ces procédés garantissent que l'eau traitée est pratiquement dépourvue de contaminants et respecte les normes environnementales pour son rejet dans les cours d'eau ou sa réutilisation, comme le met en évidence une étude de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie [50].

1.6.4 Le traitement avancé

Le traitement avancé est destiné à des situations où l'eau est fortement polluée ou nécessite un traitement approfondi pour des applications spécifiques. L'osmose inverse, par exemple, permet d'éliminer une large variété de contaminants, y compris les sels dissous. D'autres méthodes, comme la distillation ou l'électrocoagulation, sont également employées, notamment pour traiter les eaux industrielles ou celles contenant des produits chimiques spécifiques. Bien que ces techniques soient coûteuses, elles sont indispensables pour satisfaire les normes strictes relatives aux eaux de consommation ou pour des usages industriels nécessitant une grande pureté [51].

1.6.5 Le traitement des boues

En approfondissant mes recherches sur le fonctionnement des stations d'épuration, j'ai découvert que le traitement des boues est une étape aussi importante que celle des eaux usées. Ces boues, issues principalement des phases de décantation et du traitement biologique, sont riches en matières organiques et peuvent contenir des substances polluantes. Leur gestion ne peut pas être négligée : elle doit permettre de réduire leur volume, d'éliminer les agents pathogènes et, si possible, de les valoriser. Le processus passe par plusieurs étapes techniques. L'épaississement permet de concentrer les boues en diminuant leur teneur en eau. Ensuite vient la stabilisation, qui réduit les odeurs et les risques sanitaires grâce à des procédés aérobie ou anaérobie. On procède ensuite au conditionnement, qui prépare les boues pour la déshydratation, en les rendant plus faciles à traiter mécaniquement. La déshydratation elle-même, réalisée à l'aide de centrifugeuses ou de filtres, permet d'obtenir une boue solide et transportable. Selon leur qualité, ces boues peuvent ensuite être valorisées, par exemple en agriculture, ou éliminées de manière encadrée. Cette partie du traitement m'a permis de mieux comprendre l'importance d'une gestion complète et rigoureuse, indispensable pour limiter les impacts environnementaux et faire du traitement des eaux un véritable outil de développement durable.

1.7 Station d'épuration des eaux usées STEP (Beni Merad)

1.7.1 Introduction

La station d'épuration des eaux usées de Beni Merad fait partie des installations de l'office National d'assainissement, ce dernier est l'autorité dédiée à l'épuration des eaux usées en Algérie dans plusieurs régions, il est chargé de la gestion, l'exploitation et de la maintenance des ouvrages et infrastructures d'assainissement.

L'ONA assure, la maîtrise d'ouvrage et d'œuvre déléguée concernant les projets d'études, de réalisation, de réhabilitation, de diagnostics de stations d'épuration, de réseaux d'assainissement ainsi que des stations de relevage.

1.7.2 Principe de fonctionnement de la STEP

La station d'épuration des eaux usées (STEP) de Beni Merad a pour objectif de traiter les eaux usées du grand Blida (Beni Merad, Ouled Yaich, Blida, Bouarfa) avant leur rejet dans l'environnement ou leur réutilisation.

Son fonctionnement repose sur une succession de traitements physiques, biologiques et chimiques destinés à éliminer les polluants, réduire la charge organique et assurer la conformité de l'eau épurée aux normes environnementales en vigueur afin de protéger Oued Merad contre la pollution. Le processus de traitement se déroule en plusieurs étapes, allant du prétraitement à la déshydratation des boues, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité de l'eau et à la préservation des ressources hydriques locales.

La station d'épuration des eaux usées de Beni Merad est représentés dans la figure 1.4.



Figure 1. 4 : Station d'épuration (Beni mared)

1.7.3 Fiche caractéristique

Située à l'Est de la route nationale N°1 à proximité d'Oued Merad, Environ 05 km au nord-est de Blida et à environ 40 km au sud-ouest d'Alger et à environ 30 km au nord-est de Médéa. La station existait depuis 1989 elle a été rénovée et mise en service en 01/01/2021 et transférée de l'entreprise OTV à l'Office National d'assainissement ONA après deux ans.

Installant sur une superficie de six Hectare, Cette installation moderne dédiée au traitement des eaux usées par une gestion de processus épuratoire comportant les équipements de contrôle, d'exploitation et de pilotage adaptés. Sa capacité de traitement est de 383000 Eq/hab et débit nominal 51560 m³, permettant de traiter efficacement les effluents domestiques et industriels en précisant que la charge hydraulique journalière maximale autorisée pour les rejets industriels ne pourra, en aucun cas, dépasser 20% de la charge hydraulique totale de la station d'épuration en m³/jour.

La STEP procède le traitement par boue activée à moyenne charge en combinant des procédés biologiques et physico-chimiques afin d'assurer une épuration optimale.

En parallèle, la gestion des boues issues du traitement repose sur des procédés d'épaississement, de déshydratation et de valorisation, notamment pour un usage agricole.

1.7.4 Acheminement des eaux

Les eaux usées provenant de l'urbanisation du grand Blida, des terrains agricoles, des industries ainsi que des ruissèlements des pluies passent par des postes de relevages ou bien des station de pompage pendant leurs passage dans le réseau unitaire de Blida avant leur arrivée à la STEP de Beni Mered, en traversant des caniveaux, avaloirs et regards distribués sous terrainèment.

La figure 1.5 est un dessin représentatif de l'acheminement sous terrain des eaux usées a partir d'un domicile.



Figure 1.5 : acheminement d'une eau usée

1.8 Étapes de traitement

Le processus de traitement des eaux usées à la station STEP de Beni Mered suit plusieurs phases successives afin d'assurer une épuration efficace avant leur rejet dans le milieu récepteur ou leur réutilisation.

1.8.1 Le prétraitement

C'est l'étape initiale de chaque traitement Généralement, il est pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers et particules volumineuses afin d'éviter tout éventuel colmatage des modules ou endommagement des pompes hydrauliques de la STEP.

Dans le prétraitement de la STEP de Beni Mered, les effluents passent par deux opérations :

- Dégrillage ;
- Dessablage ;

1.8.1.1 Le Dégrillage

Tout d'abord, le prétraitement inclut un dégrillage fin permettant d'éliminer les déchets solides fins passé en amont par un dégrillage grossier avant d'arriver à la station,

Un ensemble de 4 dégrilleurs fins automatiques en chaînes continues de 10mm d'espacement dont un est en secours.

Les déchets extraits sont recueillis dans une vis convoyeuse puis dans une vis compacteuse à déchets.

Le procédé de dégrillage fin de La STEP de Beni Mered est représenté dans la figure 1.6.



Figure 1.6 : dégrilleurs fins

1.8.1.2 Déshuilage, dessablage

Les effluents traversent les dégrilleurs fins vers les ouvrages de dessablage déshuilage qui permettent la sédimentation des résidus les plus denses (sables) par gravité et la flottation des déchets plus légers (graisses, huiles), ce phénomène est favorisé grâce à l'injection d'air lift dans les bassins.

Cette opération est équipée de trois lignes de dessaleurs- déshuileurs permettant de recevoir un débit total de 4800 m³/h. cette unité est un ouvrage rectangulaire à flux longitudinal lent,

Actuellement, deux lignes sont exploitées avec un débit de pointe unitaire de 1600 m³/h, comme le présente la figure 1.7.

L'élimination du sable évite l'abrasion des équipements, et le dépôt ultérieur de ces particules qui pourrait provoquer des bouchages de canalisations et l'ensablement des ouvrages.

L'élimination des graisses favorise le transfert d'oxygène dans les bassins d'aération.



Figure 1. 7 : bassin déshuilage dessablage

1.8.3 décanteur primaire

Le traitement primaire repose sur une décantation qui favorise la séparation des matières solides en suspension, réduisant ainsi la charge polluante initiale par un abattement de MES (55%) DBO₅(30%) et DCO (30%). cela se traduit par l'accumulation des boues primaires au fond du décanteur.

Les boues primaires sont raclées vers un puit central au fond du décanteur, ensuite transférées vers la bêche de mélange (Boue mixtes).

Les eaux interstitielles sont surverses à travers les lames du périmètre et dirigées vers le bassin biologique.

Le décanteur primaire, est représenté dans la figure 1.8.



Figure 1.8 : décanteur primaire

1.8.4 bassin biologique

Le traitement secondaire consiste en un processus biologique basé sur l'utilisation de boues activées, permettant la dégradation de la matière organique et des contaminants biodégradables.

Cette épuration s'effectue grâce à la population des microorganismes épuratoires appelée biomasse ou une boue activée existants dans l'eau dégrade et assimile la pollution.

Ce mécanisme génère une croissance bactérienne qui permet un renouvellement et un développement continu des bactéries.

Des réactions de nitrification et dénitrification auront lieu selon la concentration d'oxygène dissoute dans l'eau.

Cette quantité d'oxygène est assurée grâce aux quatre aérateurs submergés dans le bassin et contrôlée en continu par des sondes détectrices d'O₂ ($0.2 < \text{mgO}_2 < 4$).

Le bassin biologique présente trois objectifs :

- Oxydation des produits carbonés ;
- Oxydation et réduction des produits azotés ; ☒ Oxydation et réduction du phosphore.

Et pour atteindre ces trois objectifs, trois actions sont nécessaires :

- Aération du bassin ; ☒ Recirculation des boues ;
- Extraction des boues en excès.

La biomasse peut contenir plusieurs micro-organismes épuratoires comme :

- Bactérie : Peudomanas, Aeromanas, Flavobacter, Alcaligenes...
- Protozoaires : Zooflagellés, Vorticelles, Sarcodines, Amibes...
- Métazoaires : Rotifères, Nématodes, Ciliés, Tardigrades...

Ce bassin essentiel dans le traitement par boue activée, il est représenté dans la figure 1.9.



Figure 1.9 : bassin d'aération

1.8.5 Décanteur secondaire (clarificateur)

Cette étape de traitement est primordiale pour garantir une qualité de rejet conforme aux normes Algériennes. Elle assure la séparation entre les boues et l'eau traitée dont elle dépend de la décantabilité des boues (liée à la nature des effluents) et de la capacité de l'ouvrage à atténuer de fortes variations de charges hydrauliques.

Les boues biologiques décantées au fond du bassin sont raclées et sucées pour être recyclé à la fois au bassin d'aération selon le besoin.

Les boues en excès de la concentration voulue sont acheminées vers la bache des boues mixtes ensuite vers le traitement des Boues. (épaississement , stabilisation et déshydratation).

Les matières flottantes à la surface des bassins décanteurs sont transportées eux aussi vers la bache des boues mixte.

La clarification des eaux se fait dans le décanteur secondaire représenté dans la figure 1.10.



Figure 1. 10 : Clarificateur

1.8.6 Traitement tertiaire (Chloration)

Afin d'affiner la qualité de l'eau, un traitement tertiaire est mis en œuvre, comprenant un procédé de désinfection par hypochlorite de sodium destiné à éliminer les microorganismes restants dans l'eau à 55°C, ce dernier est arrêté par les autorités de l'Ona depuis des années et cela revient au coup de consommation de l'hypochlorite de sodium ainsi qu'au risque des THM sur la santé publique.

Plusieurs études sont menées par l'ONA et des laboratoires de recherches en tant que projets de recherches sur une technique de désinfection efficace et rentable à la Step de Beni Mered afin de permettre réutiliser ses eaux à des fins municipales, agricoles et industrielles.

Le bassin de désinfection à chicane est représenté dans la figure 1.11.



Figure 1.11 : Bassin de désinfection à chicane

1.8.7 le traitement des boues

Enfin, la gestion des boues issues du traitement est une étape clé du processus. Les boues extraites sont épaïcies pour réduire leur teneur en eau et augmenter leur concentration, stabilisées afin de minimiser leur matière organique et dégager les gaz toxiques et mauvaises odeurs, séchées par une étape de déshydratation mécaniques sur des filtres à bandes et valorisées à la fin, soit pour une utilisation agricole, soit pour un stockage en décharge contrôlée.

1.8.8 Réutilisation agricole

Dans le cadre de la mise en œuvre des orientations stratégiques nationales, initiées par les hautes autorités de l'état, relatives à la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture allant à 60% plusieurs actions et décisions ont été tenues présentant un fort potentiel à cette initiative.

La réutilisation agricole de l'eau traitée par la station STEP de Beni Mared constitue une solution durable pour la gestion des ressources hydriques, notamment dans les régions confrontées à un stress hydrique. L'eau épurée peut être utilisée pour l'irrigation des cultures agricoles, à condition de respecter les normes sanitaires et environnementales en vigueur.

Cette pratique permet non seulement de préserver les ressources en eau potable en remplaçant l'eau conventionnelle par de l'eau recyclée, mais également d'enrichir les sols grâce aux nutriments contenus dans l'eau traitée, tels que l'azote et le phosphore. Cela contribue ainsi à améliorer la fertilité des terres agricoles et à réduire la dépendance aux engrais chimiques.

Cependant, afin d'assurer un usage sécurisé et durable, un suivi rigoureux de la qualité de l'eau est nécessaire. Des contrôles réguliers doivent être effectués pour prévenir la présence de contaminants susceptibles d'affecter la santé humaine, la qualité des sols et les cultures. De plus, une sensibilisation des agriculteurs aux bonnes pratiques d'irrigation avec des eaux usées traitées est essentielle pour maximiser les bénéfices de cette approche tout en minimisant les risques environnementaux et sanitaires.

1.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré divers aspects liés aux eaux usées, en commençant par leur origine et leurs sources, qu'elles proviennent des activités domestiques, industrielles ou agricoles. Nous avons ensuite analysé leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques, qui influencent leur impact sur l'environnement et les méthodes nécessaires pour leur traitement. Différents procédés de dépollution, comme le traitement primaire, secondaire et tertiaire, ont été présentés afin de mieux comprendre leur importance dans la préservation des ressources en eau. Enfin, nous avons abordé le cas spécifique de la station d'épuration STEP de Beni Mared, en mettant en lumière son rôle essentiel dans la gestion et la purification des eaux usées de la région.

Chapitre 02 : matériel et méthodes

CHAPITRE : 02 MATERIEL ET METHODES

Introduction

Ce chapitre présente de manière exhaustive les outils méthodologiques et les protocoles expérimentaux mobilisés pour évaluer l'efficacité du traitement des eaux usées à la station d'épuration de Beni Mered, située dans la wilaya de Blida. L'approche adoptée repose principalement sur une analyse rétrospective rigoureuse des données collectées sur une période définie comparée avec une étude prospective de l'année courante 2025, ce qui permet d'examiner en profondeur les performances du système de traitement installé.

Dans un premier temps, le chapitre détaille les procédures d'échantillonnage mises en œuvre, en insistant sur la fréquence, les points de prélèvement stratégiques, ainsi que les conditions de conservation et de transport des échantillons, afin de préserver l'intégrité des analyses ultérieures. Ensuite, sont décrits les protocoles analytiques appliqués aux paramètres physico-chimiques (tels que le pH, la turbidité, la demande biochimique en oxygène, les matières en suspension, etc.) et microbiologiques (nombre total de bactéries, indicateurs fécaux, agents pathogènes spécifiques), réalisés conformément aux normes internationales reconnues, notamment celles de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Par ailleurs, ce chapitre souligne l'importance de la validation des méthodes d'analyse et du contrôle qualité, garantissant la fiabilité et la reproductibilité des résultats obtenus. L'ensemble de cette méthodologie vise à fournir une évaluation complète, objective et rigoureuse de la qualité des eaux épurées, en tenant compte à la fois des variations saisonnières et des fluctuations potentielles liées aux opérations de la station.

Enfin, ce cadre méthodologique constitue un socle essentiel pour l'interprétation scientifique des résultats, permettant d'identifier les forces et les faiblesses du système de traitement. Il ouvre également la voie à la formulation de recommandations techniques et opérationnelles, visant à optimiser les performances du dispositif, à améliorer la qualité des effluents, et à assurer leur conformité avec les exigences sanitaires et environnementales en vigueur.

2.1 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Afin d'évaluer l'efficacité du traitement des eaux usées au sein de la station d'épuration de Beni Mered, ainsi que de déterminer le profil de résistance aux antibiotiques des bactéries potentiellement pathogènes isolées des eaux traitées, une étude physico-chimique et

microbiologique a été réalisée sur les effluents bruts et les eaux épurées.

Cette investigation, menée entre le 18 janvier et le 31 avril 2025, a impliqué des analyses physicochimiques effectuées au laboratoire de la station d'épuration de Béni Mered, et des analyses microbiologiques conduites au laboratoire d'hygiène de la wilaya de Blida et au laboratoire de prévention de Boufarik.



Figure 2.1 : Station d'épuration de Béni Mered (Photo originale) année 2025.

2.1.1 Matériel pour les analyses physicochimiques

2.1.1.1 Appareillages et verreries

- Balance.
- Balance de précision.
- Bêchers.
- Bloc chauffant HACH LT 200.
- Conductimètre HACH HQ430d.
- Creusets.
- Dessiccateur.
- DBO mètre HACH BOD Direct plus.
- Dispositif de filtration.
- Eprouvettes 100ml.
- Flacons avec bouchons pour DBO5.
- Incubateur pour DBO5 Lavibond.

- Micropipette.
- Oxymètre HACH HQ430d.
- Papier filtre.
- pH-mètre HACH sensION.
- Pompe à vide.
- Réfrigérateur.
- Sonde thermométrique Pocket pro(Hach).
- Spectrophotomètre HACH DR 3900.

Tableau 2.1 : Produits chimiques utilisés pour analyses physicochimiques

2-Colorants, réactifs et produits chimiques	• Eau distillée.
	• Inhibiteur de nitrification HACH LZQ087.
	• Solution d'hydroxyde de potassium N12.
	• LCK 238
	• LCK 303
	• LCK 314
	• LCK 338
	• LCK 339
	• LCK 341
	• LCK 348
	• LCK 350
	• LCK 514



Figure 2.2 : analyse du pH par pH-mètre HACH sensION

Tableau 2.2: Matériel chimiques utilisés pour analyses microbiologiques

1-Appareillages et verreries	Bain marie 80°C.
	Bec Bunsen.
	Boîtes de Pétri.
	Etuves.
	Glacière.
	Lame et lamelle.
	Pince stérile.
	Pipettes Pasteur.
	Portoir.
	Réfrigérateur.
	Tubes à essai.

2.1.2 Matériel pour les analyses microbiologiques

Tableau 2.3 : Produits chimiques utilisés pour analyses microbiologiques

2-Réactif, additifs et solution	Additif Hektoen.
	Additif SFB. •
	Eau de Javel.
	Fushine.
	Huile de vasline.
	Huile d'immersion.
	Lugol.
	Safranine.
	Sulfite de sodium.
	Réactif kovacs.
	Réactif VP1 et VP2 (Vosges-Proskauer).
	Rouge de méthyle.
	TDA (Tryptophane désaminase).
	Violet de Gentiane.



Figure 2.3: Méthode d'analyse de Coliformes **Figure 2.4:** Méthode d'analyse de Streptocoques

2.2 Méthode d'analyses physicochimiques, analyses des tests spécifiques et microbiologiques

2.2.1 Paramètres physicochimiques

2.2.1.1 Mesure de la température

La température de l'eau est un facteur clé qui influence la rapidité des réactions chimiques et biologiques ainsi que la dissolution des gaz. Exprimée en degrés Celsius (°C), elle a été mesurée à l'aide d'une sonde thermométrique Pocket Pro (Hach), soigneusement immergée dans l'échantillon. La lecture a été effectuée après stabilisation de la valeur affichée par l'appareil, assurant ainsi une mesure précise et fiable.

2.2.1.2 Mesure du potentiel d'hydrogène (pH) NF T 90-008

Principe

La mesure du pH consiste à évaluer la différence de potentiel entre une électrode de verre, sensible aux ions hydrogène, et une électrode de référence, toutes deux plongées dans la même solution. Cette méthode permet de déterminer le niveau d'acidité ou de basicité de l'échantillon. Le pHmètre SENS ION (Hach), équipé d'une électrode en platine, a été utilisé pour cette mesure.

Après avoir plongé l'électrode dans l'échantillon, la lecture est réalisée après stabilisation de la valeur. Le protocole est le suivant :

- Allumer le pH-mètre et rincer soigneusement l'électrode à plusieurs reprises avec de l'eau distillée afin d'éliminer toute poussière et impureté.
- Verser environ 100 mL de l'échantillon d'eau à analyser dans un bécher propre.
- Immerger l'électrode dans l'échantillon, puis agiter doucement pour assurer une mesure homogène.
- Attendre que la valeur affichée se stabilise, puis relever le pH mesuré.

2.2.1.3 Mesure de la conductivité électrique

La conductivité électrique mesure la capacité d'une solution à transmettre le courant électrique en fonction des ions qu'elle contient. Son évaluation est réalisée à l'aide d'un conductimètre HACH HQ430d, en suivant les étapes ci-dessous :

- Allumer le conductimètre et rincer la sonde avec de l'eau distillée.
- Prélever un volume approprié de l'eau à analyser et le verser dans un bécher.
- Immerger l'électrode dans l'échantillon, attendre la stabilisation de la valeur, puis relever la valeur de la conductivité.

2.2.1.4 Mesure de l'oxygène dissous

La mesure de l'oxygène dissous dans un échantillon d'eau s'effectue selon le protocole suivant :

- Ouvrir délicatement le flacon contenant l'échantillon sans l'agiter, afin d'éviter toute aération susceptible d'altérer la mesure.
- Insérer la sonde de l'oxymètre HQ 430d dans le flacon.
- Lancer la mesure en appuyant sur le bouton prévu à cet effet et attendre le signal sonore indiquant la fin de l'analyse.
- Lire et enregistrer la valeur affichée sur l'écran de l'oxymètre.

Détermination des matières en suspension

Méthode par filtration

La détermination des Matières en Suspension (MES) s'effectue par filtration en utilisant le principe de la double pesée. Un volume d'échantillon est filtré à travers un filtre en fibre de verre préalablement pesé à vide. La concentration en MES (mg/L) est calculée en rapportant la différence de masse du filtre avant et après filtration au volume d'eau traité.



Figure 2.5 : détermination de MES par la technique de filtration

Le protocole de cette analyse est le suivant :

- Rincer les filtres avec de l'eau distillée, les sécher dans une étuve, puis les stocker dans un dessiccateur.
- Peser les filtres à vide et noter cette masse sous Mo.
- Installer le filtre dans l'appareil de filtration, face plissée orientée vers le haut.
- Filtrer l'échantillon jusqu'à disparition complète des traces d'eau.
- Éteindre la pompe à vide, retirer délicatement le filtre avec une pince et le déposer sur une coupelle en aluminium.
- Sécher le filtre dans un four à 105 °C jusqu'à une masse constante.
- Peser le filtre après séchage et enregistrer la masse obtenue sous Mi.
- Calculer la concentration en MES en appliquant la formule appropriée :

$$P = \frac{V * (M1 - M0)}{V}$$

Où :

P : Teneur en matières en suspension en milligrammes par litre.

V : Volume de l'échantillon en millilitre.

M1 : La masse du filtre après filtration en milligrammes.

M0 : La masse du filtre avant filtration en milligrammes.

Méthode par centrifugation

La centrifugation est une technique couramment utilisée pour séparer les éléments solides d'une phase liquide en appliquant une force centrifuge. En microbiologie de l'eau, elle permet de concentrer les micro-organismes présents dans un échantillon en les regroupant sous forme de culot au fond d'un tube. Ce concentré facilite les étapes d'analyse suivantes, comme l'ensemencement sur milieu de culture ou l'examen microscopique. Cette méthode est rapide, efficace et essentielle pour améliorer la sensibilité des détections.



Figure 2.6 : détermination de MES par la technique de centrifugation

Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

La détermination de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) est effectuée par Spectrophotométrie à l'aide d'un spectrophotomètre et d'un kit de test spécifique LCK 514. La procédure se déroule selon les étapes suivantes :

Procédure de mesure

- Agiter le kit afin d'homogénéiser la solution.
- Prélever précisément 2 mL de l'échantillon d'eau (brute ou traitée selon l'analyse).
- Fermer hermétiquement la cuve et nettoyer soigneusement son extérieur.
- Mélanger à nouveau le contenu de la cuve.
- Placer la cuve dans un bloc chauffant et chauffer à 148 °C pendant 2 heures.
- Retirer la cuve chaude et l'agiter 2 à 3 fois pour homogénéiser.
- Laisser refroidir à température ambiante.
- Nettoyer l'extérieur de la cuve avant l'analyse.
- Insérer la cuve dans le compartiment du spectrophotomètre et effectuer la mesure.

Lecture des résultats

La concentration en DCO s'affiche automatiquement sur l'écran du spectrophotomètre en mg/L, indiquant la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique biodégradable et non biodégradable contenue dans l'échantillon.



Figure 2.7 : détermination de la DCO par kit LCK

Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La mesure de la Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours (DBO₅) est réalisée après une incubation de cinq jours à 20 °C, température optimale pour l'activité des micro-organismes dégradant la matière organique. L'incubation se fait dans l'obscurité pour éviter toute photosynthèse non souhaitée.

Le volume de l'échantillon à analyser est déterminé en fonction de la valeur de la Demande

Chimique en Oxygène (DCO), suivant la formule : $DBO_5 = 0.5 \text{ DCO}$, (dans notre cas à cause de l'entrée des eaux industrielles) ce qui permet de mesurer une plage de DBO allant de 0 à 4000 mg/L.

Protocole expérimental

- Mesurer avec précision la quantité d'échantillon nécessaire suivant la la plage calculée à partir de la formule en dessus à l'aide d'une fiole jaugée, puis verser dans un flacon d'échantillonnage.
- Ajouter un inhibiteur de nitrification dans le flacon.
- Insérer un baromètre magnétique dans le flacon.
- Sceller le flacon avec un bouchon en silicone.

- Ajouter le réacteur KOH dans le bouchon en silicone.
- Fermer le flacon et le placer dans un appareil de mesure de la DBO₅, tel qu'un Oxyton ou un DBO-mètre, à l'intérieur d'une armoire thermostatique.

Résultats

Les résultats sont obtenus après 5 jours d'incubation à 20 °C et peuvent être directement lus sur l'appareil.



Figure 2.8 : Détermination de la DBO₅ par le DBO mètre

Les dosages des autres paramètres de pollution (azote totale, azote amoniacal, phosphate total, ortho phosphate, nitrite et nitrate sont décrit

2.2.2 Analyses Bactériologiques

2.2.2.1 Préparation des dilutions

La réalisation des dilutions permet de diminuer la concentration de micro-organismes dans un échantillon d'eau, afin de faciliter leur mise en évidence après incubation. Cette étape est indispensable pour obtenir des résultats interprétables, que ce soit pour observer le développement microbien dans les tubes ou pour effectuer un dénombrement précis sur boîtes de Pétri.

Le niveau de dilution dépend de la nature de l'eau analysée : ainsi, pour une eau usée brute, on effectue généralement une dilution allant jusqu'à 10^{-5} , tandis qu'une eau épurée nécessite souvent une dilution moindre, autour de 10^{-3} .

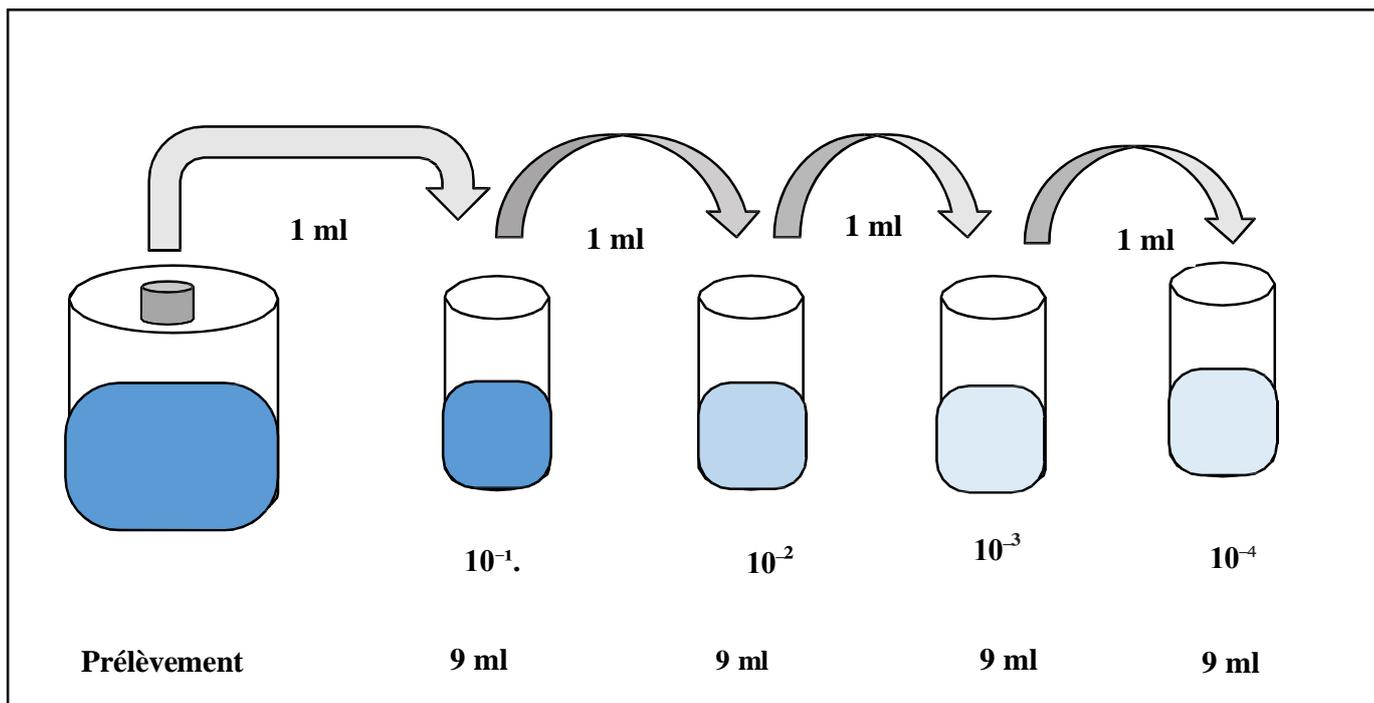


Figure 2.9 : Principe de la dilution

2.2.2.2 Recherche et dénombrement des bactéries indicatrices de contamination fécale

Dans le cadre de cette étude, des analyses microbiologiques supplémentaires ont été menées afin d'évaluer plus précisément la qualité sanitaire des eaux usées et traitées. Ces analyses ont été réalisées au laboratoire d'hygiène de Blida, en suivant les méthodes standardisées décrites par Rodier et al. [52].

Préparation des dilutions

Les dilutions ont pour objectif de diminuer la concentration en micro-organismes dans l'échantillon, afin de permettre, après incubation, une observation claire et exploitable de leur

développement, notamment dans les milieux de culture en tubes. Le niveau de dilution appliqué dépend directement de la charge microbienne initiale : ainsi, une eau fortement contaminée, comme une eau usée brute, nécessite une dilution élevée (par exemple 10^{-5}), tandis qu'une eau traitée ou épurée, contenant moins de germes, peut être analysée à des dilutions plus faibles (comme 10^{-1}).

2.2.2.3 Recherche et dénombrement des Coliformes totaux

La recherche et le dénombrement des coliformes totaux et des coliformes fécaux sont effectués par la méthode en milieu liquide, en appliquant la technique du Nombre le Plus Probable (NPP) (voir Annexe 1). Cette méthode comprend deux phases distinctes :

- Le test de présomption, qui permet de détecter et d'estimer la concentration en coliformes totaux.
- Le test de confirmation, également connu sous le nom de test de Mac Kenzie, qui vise à identifier spécifiquement les coliformes fécaux (ou thermo tolérants) à partir des tubes présomptifs ment positifs obtenus lors de la première étape.

Le test de présomption

À partir de l'échantillon d'eau à analyser, effectuer les ensemencements suivants de manière aseptique :

- 50 mL d'eau dans un flacon contenant 50 mL de milieu BCPL D/C, muni d'une cloche de Durham.
- 5 tubes contenant chacun 10 mL d'eau, ajoutés à 10 mL de milieu BCPL D/C, avec cloche de Durham.
- 5 autres tubes contenant 10 mL de milieu BCPL S/C, ensemencés avec 1 mL d'eau chacun, également munis de cloches de Durham.

Avant incubation, éliminer l'air résiduel dans les cloches de Durham et bien homogénéiser le contenu des tubes.

Incubation

Les milieux sont incubés à 37 °C pendant une durée de 24 à 48 heures.

Lecture des résultats

Un tube est considéré comme positif lorsqu'il présente simultanément :

- Un dégagement gazeux visible, occupant plus de 1/10 de la hauteur de la cloche de Durham.
- Un trouble microbien accompagné d'un virage de la couleur du milieu vers le jaune, traduisant la fermentation du lactose.

Ces deux critères sont les indicateurs d'un résultat positif, conformément aux conditions opératoires. La lecture finale s'effectue à l'aide de la table de calcul du Nombre le Plus Probable (NPP).

2.2.2.4 Le test de confirmation ou test de Mac-Kenzie

Le test de confirmation, ou test de Mac-Kenzie, permet de vérifier la présence de coliformes thermos tolérants, dont *Escherichia coli* est le représentant le plus préoccupant en raison de son origine fécale. Ce test repose sur deux propriétés caractéristiques de *E. coli* :

- Sa capacité à produire de l'indole à partir du tryptophane, à une température de 44 °C, et un résultat positif au test du rouge de méthyle, indiquant une fermentation stable.

Les échantillons positifs au test de présomption sont repiqués dans des tubes contenant le milieu de Schubert, chacun muni d'une cloche de Durham. Il est nécessaire d'expulser tout gaz éventuellement présent dans les cloches, puis d'agiter délicatement pour assurer une bonne homogénéisation.

Incubation

Les tubes sont incubés à 44 °C pendant 24 heures.

Interprétation

Un tube est jugé positif s'il présente :

Après l'ajout de 2 à 3 gouttes de réactif de Kovacs dans chaque tube incubé, l'apparition d'un anneau rouge en surface indique la présence d'indole, caractéristique d'*Escherichia coli*. La lecture finale des résultats s'effectue selon les indications de la table du Nombre le Plus Probable (NPP), en tenant compte du fait qu'*Escherichia coli* est une bactérie thermo tolérante capable de produire à la fois du gaz et de l'indole à 44 °C.

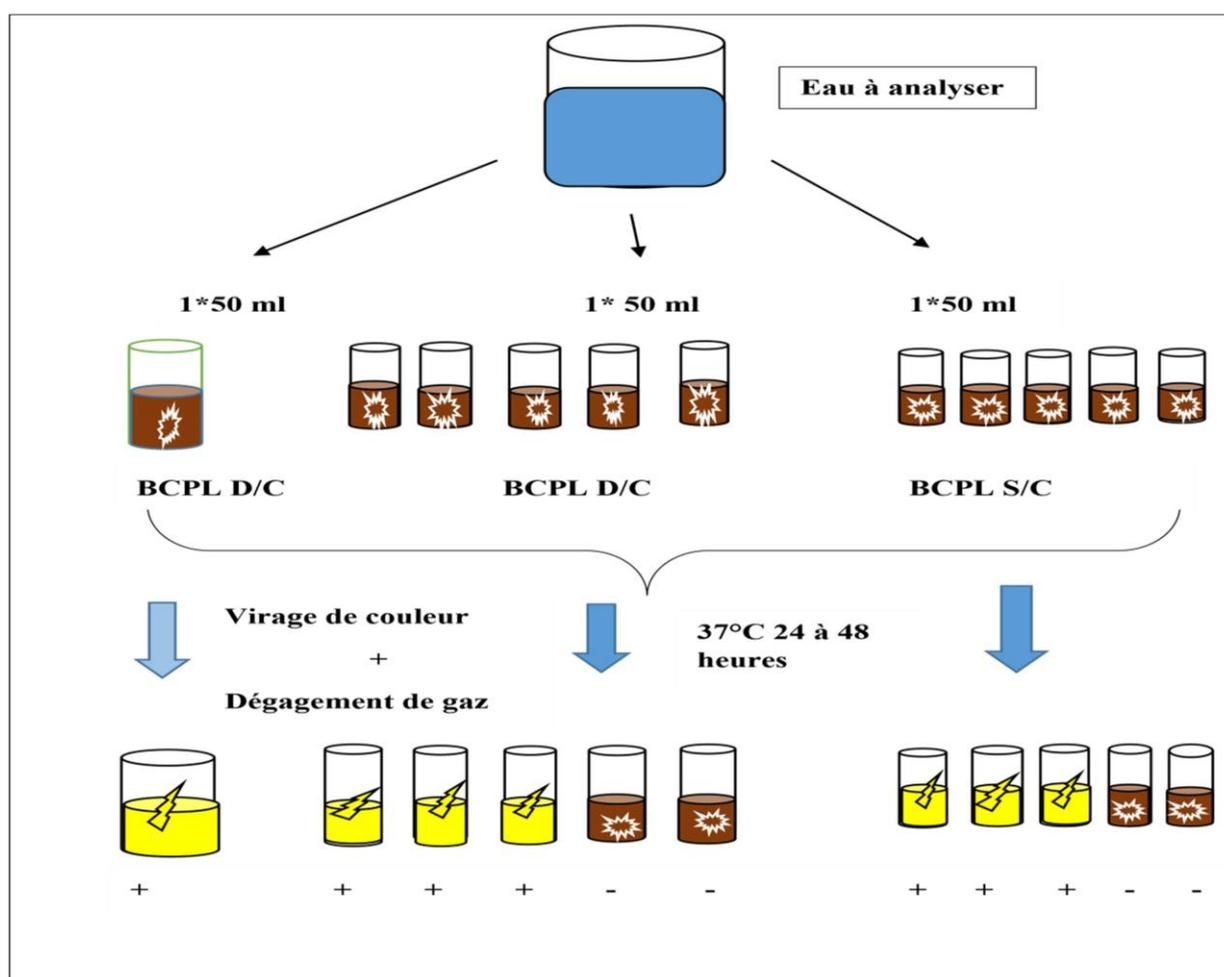


Figure 2.10 : Recherche et dénombrement des coliformes en milieu liquide (Test de présomption)

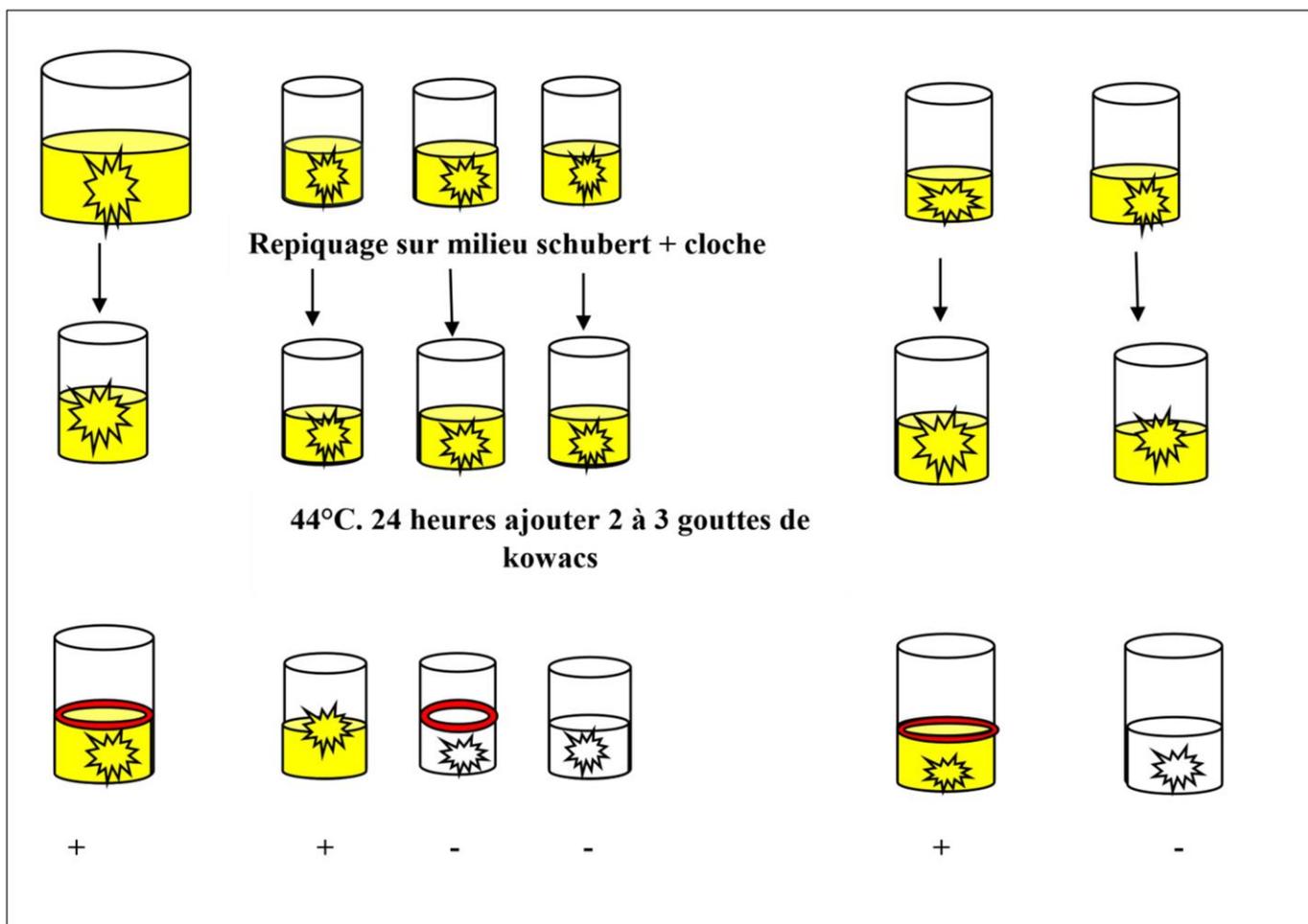


Figure 2.11: Recherche et dénombrement des coliformes en milieu liquide

(Test de confirmation)

2.2.2.5 Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

La méthode de recherche et de dénombrement des streptocoques fécaux suit un processus en deux étapes, similaire à celui utilisé pour les coliformes en milieu liquide.

Test de présomption

À partir de l'échantillon d'eau à analyser, procéder à un ensemencement aseptique des volumes suivants :

- 50 mL dans un flacon contenant 50 mL de milieu ROTHE D/C.
- 5 tubes contenant 10 mL de milieu ROTHE D/C.
- 5 tubes ajoutés de 1 mL d'échantillon dans 10 mL de milieu ROTHE S/C.

Bien mélanger chaque tube pour homogénéiser le milieu et l'inoculum.

Incubation

Les tubes sont incubés à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Lecture des résultats :

Un tube est jugé positif s'il présente un trouble microbien. Ces tubes ne doivent pas être dénombrés, mais doivent être repiqués sur un milieu EVA-LITSKY pour confirmation.

Test de confirmation

Les tubes de ROTHE positifs au test de présomption sont repiqués dans des tubes contenant milieu EVA-LITSKY. Bien mélanger le milieu et l'inoculum.

Incubation

L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 heures.

Lecture des résultats

Les tubes sont considérés comme positifs s'ils présentent simultanément :

- Un trouble microbien,
- Une pastille violette (ou blanchâtre) visible au fond du tube (voir figure).

La lecture finale des résultats suit les indications de la table NPP, disponible en Annexe.

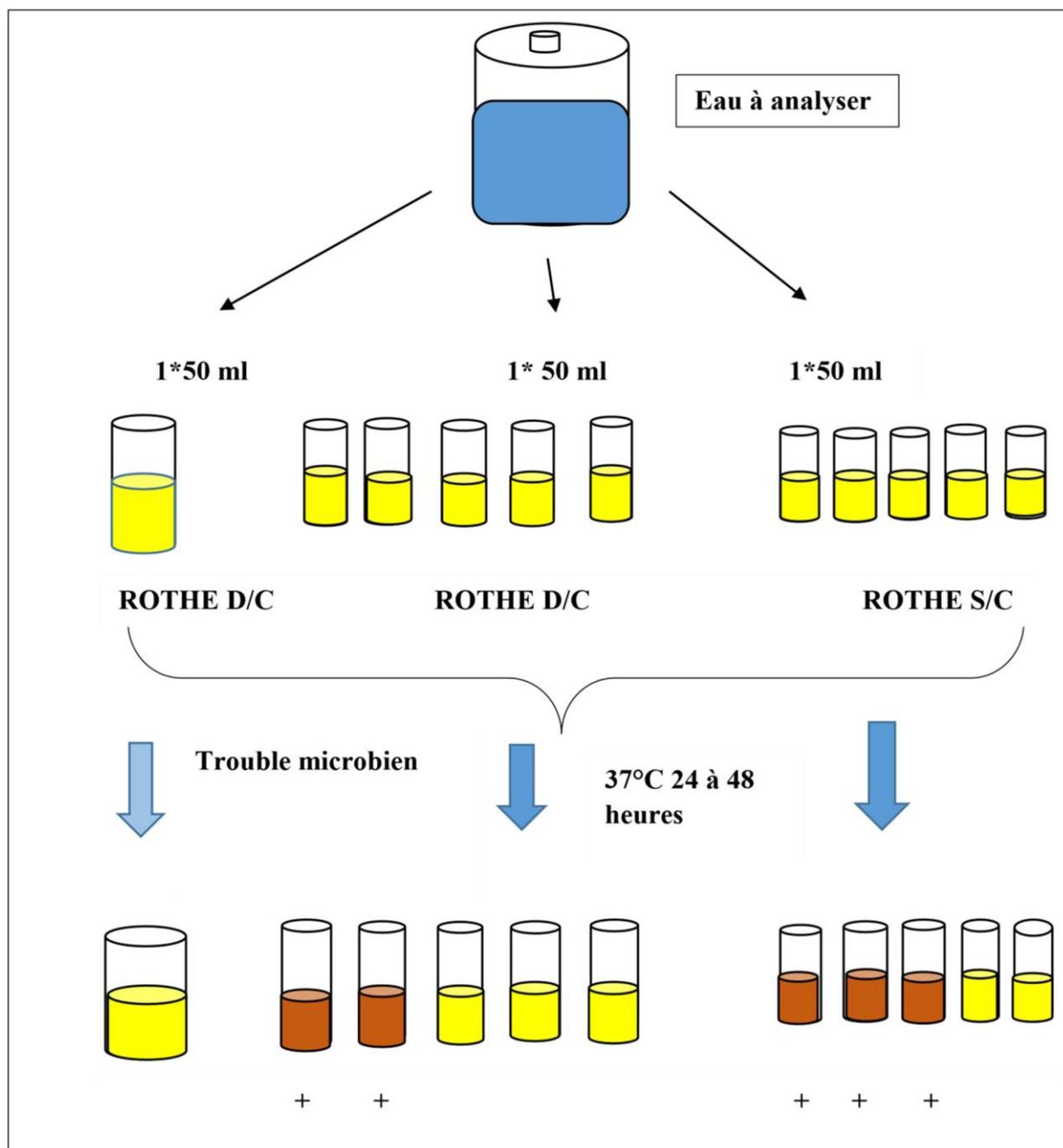


Figure 2.12 : Recherche et dénombrement des streptocoques (Test de présomption)

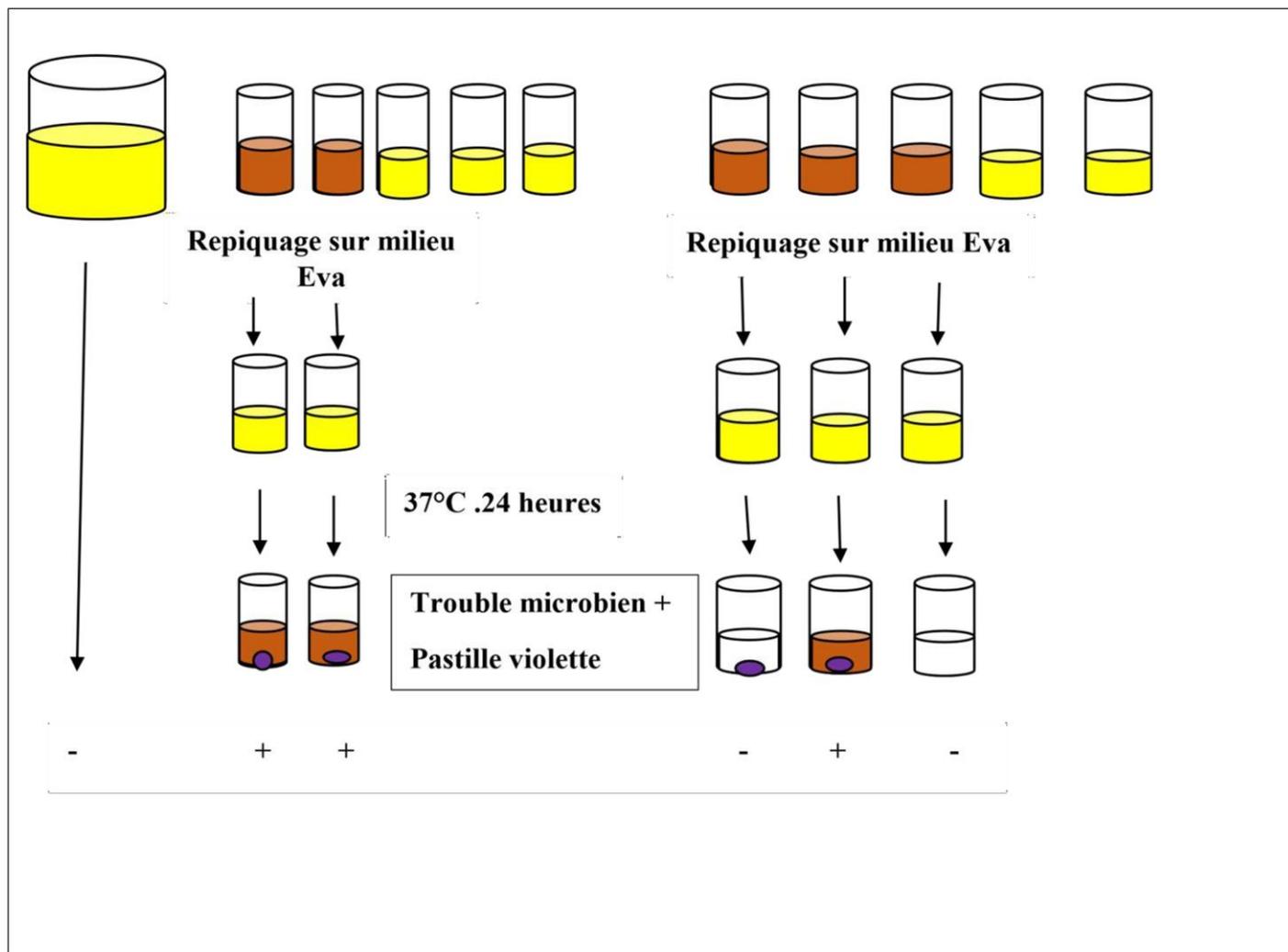


Figure 2.13 : Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux (Test de confirmation)

2.2.2.6 Recherche des Salmonelles

La recherche des Salmonelles se décompose en quatre étapes :

1ère étape : Enrichissement primaire

Procédure : Ajouter 50 mL de l'échantillon d'eau dans 100 mL de bouillon sélénite-cystéine D/C, ce qui donne la solution SFBI.

Incubation

Incuber à 37 °C pendant 18 à 24 heures.

2ème étape : Enrichissement secondaire et isolement

Procédure : Prélever 1 mL de SFBI et effectuer un second enrichissement dans un bouillon sélénite-cystéine (appelé SFBII) en tube. En parallèle, réaliser un isolement sur gélose Hecktoen.

Incubation

Incuber à 37 °C pendant 18 à 24 heures.

3ème étape : Isolement

Procédure : À partir du bouillon SFBII, procéder à un isolement sur gélose Hecktoen II.

Procédure complémentaire : Prendre 1 mL du SFBII et le transférer dans un bouillon sélénite cystéine en tube SFBIII, puis incuber à 37 °C pendant 18 à 24 heures.

Lecture : Examiner les boîtes de gélose Hecktoen pour identifier les colonies.

4ème étape : Lecture et identification

Procédure : Examiner la gélose Hecktoen II incubée.

Identification

Les colonies de Salmonelles apparaissent généralement sous forme de colonies grises, parfois avec un centre noir. Ces colonies seront ensuite soumises à une identification biochimique.

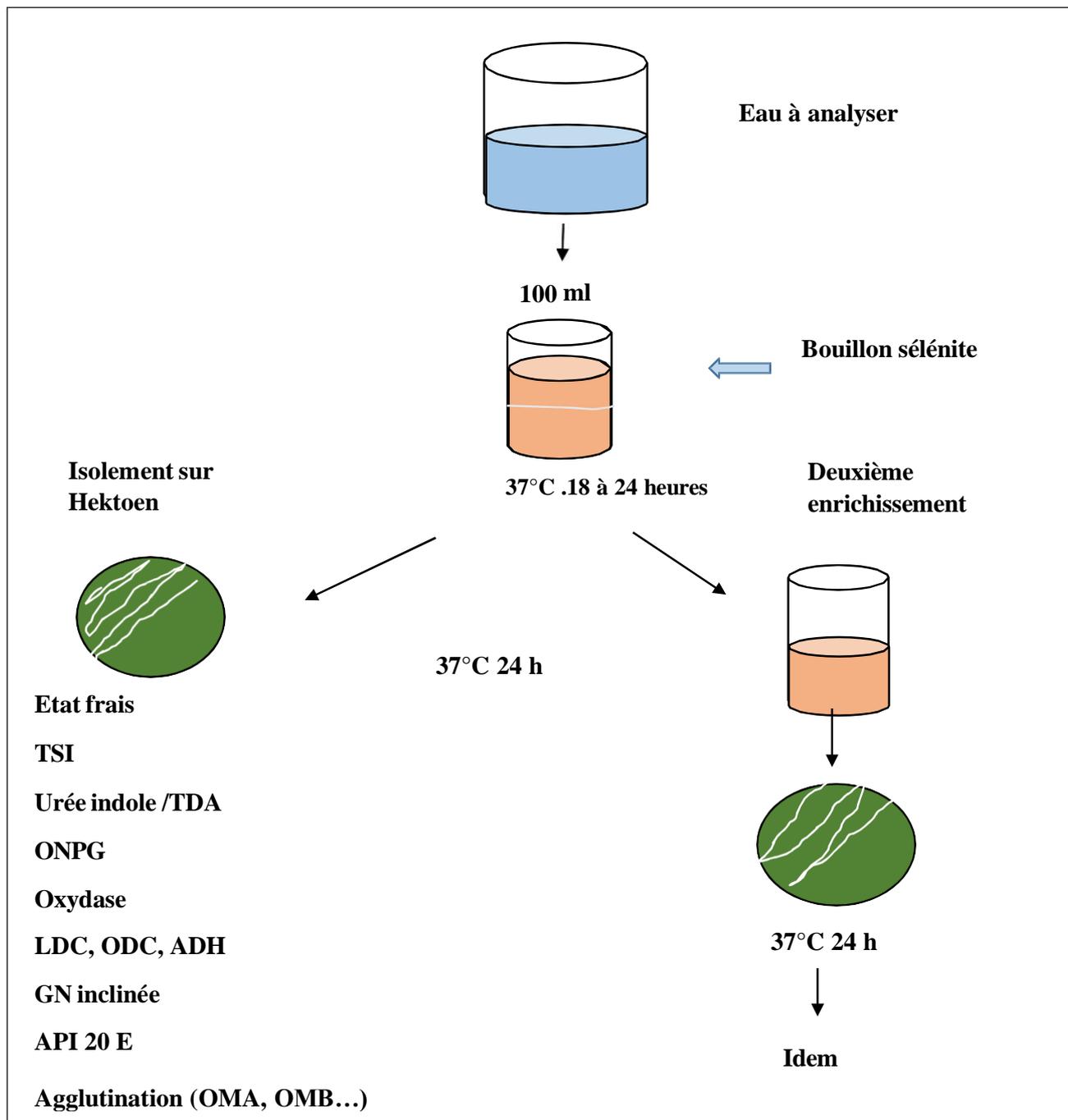


Figure 2.14: Recherche de Salmonelles

2.2.2.6 Recherche de Pseudomonas aeruginosa

Procédure : Mélanger soigneusement l'échantillon d'eau, puis étaler 0,5 mL de l'échantillon sur la surface d'une gélose au cétrimide.

Incubation

Incuber à 37 °C pendant 24 heures.

Lecture

- Les colonies de *Pseudomonas aeruginosa* présentent les caractéristiques suivantes :
- Diamètre de 1,5 à 2 mm,
- Contours circulaires, surface lisse et brillante,
- Couleur blanc crème avec un aspect muqueux,
- Elles peuvent également produire un pigment bleu-vert (pyocyanine) qui se diffuse et émet une fluorescence sous lumière UV.

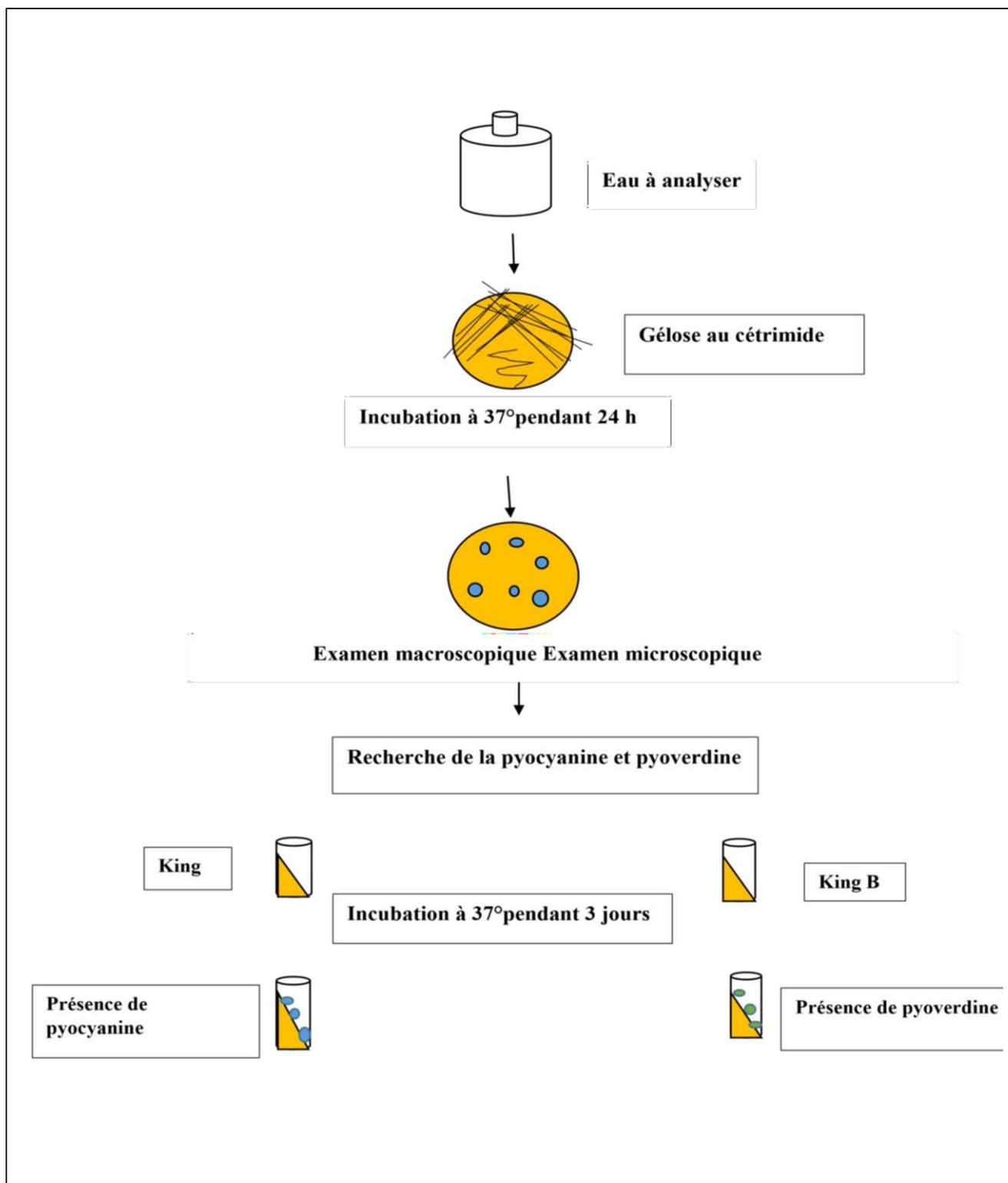


Figure 2.15 : Recherche de *Pseudomonas aeruginosa*

Chapitre 03 : Résultats et discussions

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSION

Introduction

Ce chapitre présente de manière approfondie les résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques réalisées sur les échantillons d'eaux usées traitées, suivies d'une interprétation critique et argumentée. Les données obtenues sont systématiquement confrontées aux normes de qualité en vigueur, en particulier celles établies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ainsi que par la réglementation nationale, afin d'évaluer le degré de conformité sanitaire des effluents.

L'analyse met en lumière les éventuels écarts entre les valeurs mesurées et les seuils réglementaires, permettant d'identifier les paramètres critiques susceptibles d'entraver la réutilisation sécurisée des eaux épurées. Une attention particulière est accordée aux indicateurs microbiologiques, en raison de leur rôle déterminant dans la prévention des risques sanitaires, notamment dans les usages agricoles ou environnementaux.

La discussion qui s'ensuit s'attache à replacer ces résultats dans le contexte des enjeux de santé publique, en insistant sur les conséquences potentielles d'une qualité d'eau insuffisamment maîtrisée. Elle offre également une comparaison avec les performances observées dans des stations similaires, tout en proposant des pistes concrètes d'amélioration, tant au niveau du processus de traitement que du dispositif de suivi de la qualité des eaux. Ces recommandations s'inscrivent dans une logique de gestion intégrée et durable des ressources en eau, indispensable dans un contexte marqué par une pression croissante sur cette ressource vitale.

3.1 Etude prospectives des analyses physicochimiques au cours de l'année 2025

Des analyses approfondies ont été menées afin d'évaluer l'efficacité du traitement par boues activées appliqué au sein de la station d'épuration de Béni Mered.

Les résultats des paramètres physico-chimiques analysés ont été comparés aux normes de rejet des eaux usées définies par l'OMS, le JORA, ainsi qu'aux seuils maximaux tolérés pour les eaux destinées à l'irrigation.

3.1.1 Discussion des résultats des analyses physicochimiques des prélèvements au cours de l'année 2025

3.1.1.1 le débit :

Le débit représente la quantité de fluide s'écoulant à travers une surface donnée pendant un intervalle de temps déterminé. Dans le cas présent, le débit étudié provient de l'agglomération urbaine de la ville de Blida et est refoulé vers la bache d'arrivée de la station d'épuration par l'intermédiaire de stations de relevage.

Le tableau 3.1 repère les résultats de stage des jours du 02, 06, 08, 13, 15, 21 et 27 Janvier, 02, 03, 12, 16, 19, 23, 24 Février et 03,18, 27 Mars de l'année 2025.

Tableau 3.1 : les résultats de débit des eaux entrantes et sortantes de la STEP de Beni Mered

Jours	Entre (m ³ /j)	Sortie (m ³ /j)
02/01/2025	11609	8821
06/01/2025	14954	11749
08/01/2025	9767	7151
13/01/2025	26960	20299
15/01/2025	13785	9903
21/01/2025	8970	6450
27/01/2025	11130	7726
02/02/2025	19397	15010
03/02/2025	12562	8645
12/02/2025	13288	6444
16/02/2025	9528	6111
19/02/2025	13116	10871
23/02/2025	12913	10074
24/02/2025	9710	7262
03/03/2025	10653	7972
18/03/2025	10830	8025
27/03/2025	8557	6716

L'analyse de l'évolution des débits au sein de la station d'épuration permet d'appréhender les variations de la charge hydraulique en fonction des saisons, des conditions météorologiques, ainsi que des dynamiques urbaines et industrielles. Ces fluctuations influencent directement les performances du traitement, la capacité des ouvrages, et la gestion opérationnelle de la station. Une attention particulière est portée aux périodes de surcharge hydraulique, qui peuvent compromettre l'efficacité des différentes étapes de traitement. L'étude comparative des débits sur plusieurs années permet ainsi d'identifier les tendances, d'évaluer la stabilité du système et de proposer des ajustements pour une meilleure maîtrise du processus global.

- **Début janvier (02 au 08/01/2025)**

Les débits observés au cours de la période étudiée restent globalement modérés, bien qu'ils présentent certaines fluctuations notables. Un pic significatif est enregistré le 6 janvier, avec un débit de **14 954 m³/j** à l'entrée de la station et **11 749 m³/j** à la sortie, traduisant une charge hydraulique élevée ce jour-là. À l'inverse, une baisse marquée est constatée le 8 janvier, où le débit chute à **9 767 m³/j** à l'entrée et **7 151 m³/j** à la sortie. Ces variations peuvent être attribuées à divers facteurs, tels que les conditions météorologiques, les activités domestiques ou industrielles, ou encore les interventions techniques sur le réseau. L'analyse de ces écarts est essentielle pour anticiper les périodes de surcharge ou de sous-charge et adapter en conséquence la gestion opérationnelle de la station.

- **Mi-janvier (13/01/2025)**

Une augmentation marquée du débit est observée au cours de la période, atteignant **26 960 m³/j** à l'entrée de la station et **20 299 m³/j** à la sortie, représentant les valeurs les plus élevées enregistrées durant l'ensemble de la période étudiée. Ce pic exceptionnel suggère une surcharge hydraulique temporaire, susceptible de mettre à l'épreuve la capacité de traitement de la station et d'impacter l'efficacité globale du processus d'épuration. Une telle situation mérite une attention particulière, car elle peut entraîner un traitement incomplet des effluents si elle n'est pas anticipée par des ajustements opérationnels appropriés.

- **Fin janvier (15 au 27/01)**

Après le pic, les débits chutent nettement, se situant entre 8 000 et 13 000 (m³/j) à l'entrée. Le 21/01 présente un minimum notable avec seulement 8 970 L/h en entrée.

- **Début février (02 au 03/02)**

Nouvelle hausse importante le 02/02, avec 19 397 L/h à l'entrée et 15 010 L/h à la sortie, suivie d'une baisse modérée le jour suivant.

- **Mi-février (12 au 19/02)**

On observe une tendance générale à la baisse, atteignant un minimum de 9 528 L/h le 16/02. Cependant, une remontée est constatée le 19/02 avec 13 116 L/h à l'entrée.

- **Fin février (23 au 24/02)**

Les débits se stabilisent autour de 9 700 à 13 000 L/h à l'entrée, sans variations significatives.

- **Début à mi-mars (03 au 18/03)**

Les valeurs demeurent relativement stables, avec des débits d'entrée oscillant entre 10 000 et 10 800 L/h, et des débits de sortie proches de 7 900 à 8 000 L/h.

Entre janvier et mars 2025, les débits présentent des variations importantes, avec des pics notables les 13 janvier et 2 février, suivis de baisses et d'une stabilisation en mars. Ces fluctuations s'expliquent par des apports hydrauliques irréguliers (pluies, rejets ponctuels), une bonne capacité de rétention du système de traitement, ainsi que des ajustements possibles liés à la maintenance ou à l'exploitation de l'installation cela est assuré par la distribution du débit sur les trois filières de traitement.

Sur l'ensemble de la période analysée, les débits ont connu des variations marquées, avec des pics significatifs les 13 janvier et 2 février, suivis de phases de baisse puis de stabilisation en mars. Ces fluctuations peuvent être expliquées par des apports hydrauliques irréguliers (notamment dus aux précipitations ou à des rejets ponctuels), une capacité de rétention effective du système, ainsi que par des ajustements liés à la maintenance ou à l'exploitation. Il convient de souligner que la distribution du débit sur les trois filières de traitement semble avoir permis de maintenir une certaine stabilité et d'absorber les pics de charge sans compromettre durablement le fonctionnement de la station.

3.1.1.2 Température

La température est une mesure physique indiquant le niveau d'agitation des particules d'un matériau, ce qui correspond à son énergie thermique. Elle s'exprime en degrés Celsius (°C), Kelvin (K) ou Fahrenheit (°F). Essentielle en physique, chimie et biologie, la température influence les changements d'état, la rapidité des réactions et les équilibres thermiques.

Le tableau 3.2 exprime les résultats de température des jours de stages en mois de Janvier, Février et Mars.

Tableau 3.2 : les résultats de Température des eaux brutes et épurées des jours de stage.

Jours	Entrée (°C)	Sortie(°C)
02/01/2025	17.9	18
06/01/2025	17.7	17.3
08/01/2025	17.2	16.6
13/01/2025	15.1	15.4
15/01/2025	15	14.8
21/01/2025	16.3	15.4
27/01/2025	17.6	18.8
02/02/2025	15.4	15.1
03/02/2025	16.2	16.5
12/02/2025	16.5	17
16/02/2025	18.9	18.7
19/02/2025	18.6	19.1
23/02/2025	18.4	18.9
24/02/2025	17.6	17.2
03/03/2025	19.5	19.4
18/03/2025	19.2	18.6
27/03/2025	19.3	17.2

- **Début janvier (02 au 08/01/2025) :**

Les températures à l'entrée et à la sortie sont relativement stables, mais on observe une légère baisse progressive, passant respectivement de 17,9 °C à 17,2 °C, et de 18,0 °C à 16,6 °C.

- **Mi-janvier (13 au 15/01)**

Les températures chutent notablement, atteignant leur minimum à l'entrée avec 15 °C.

- **Fin janvier (21 au 27/01)**

On constate une reprise des températures, culminant le 27 janvier avec 17,6 °C à l'entrée et 18,8 °C à la sortie.

- **Début février (02 au 03/02)**

Les températures redescendent légèrement, se stabilisant entre 15,1 °C et 16,5 °C.

- **Mi-février (12 au 19/02)**

Une nouvelle hausse est observée, les températures approchant les 19 °C, signe d'un réchauffement.

- **Fin février (23 au 24/02)**

Les valeurs restent élevées, malgré une légère baisse, toutes au-dessus de 17 °C.

Début mars (03/03)

On enregistre le pic de température avec 19,5 °C à l'entrée et 19,4 °C à la sortie.

- **Fin mars (18 au 27/03)**

Les températures à l'entrée se maintiennent autour de 19 °C, mais on note une baisse marquée à la sortie le 27 mars, atteignant 17,2 °C.

Toutes les valeurs de températures enregistrées sont inférieures à 30°C et donc conforme à la norme réglementaire du décret exécutif du JORA 09-209.

L'analyse des enregistrements révèle une variabilité thermique saisonnière marquée, avec des températures oscillant entre 15,0 °C (minimum absolu mi-janvier) et 19,5 °C (pic début mars) à l'entrée, et entre 16,6 °C et 19,4 °C en sortie. Ces valeurs, toutes conformes à la norme JORA 09-

209 (< 30 °C), reflètent une interaction complexe entre facteurs externes (climat, rejets) et internes selon des mécanismes clés expliquant ces variations.

- Phase de refroidissement (Janvier) :

- **Mi-janvier** : La chute brutale à 15,0 °C (entrée) coïncide probablement avec une vague de froid et/ou une réduction des rejets industriels tièdes. La baisse plus modérée en sortie (16,6 °C) suggère une inertie thermique due au volume des bassins.

- **Fin janvier** : La remontée à 17,6 °C (entrée) et 18,8 °C (sortie) indique une reprise des rejets chauds et une possible activité biologique exothermique (dégradation accrue de la matière organique).

- Phase de réchauffement (Février-Mars) :

- **Mi-février à début mars** : L'augmentation progressive jusqu'à 19,5 °C (entrée) et 19,4 °C (sortie) suit probablement le réchauffement climatique saisonnier, amplifié par des rejets industriels plus chauds (ex. eaux de process).

- **Fin mars** : Le découplage entre entrée (~19 °C) et sortie (17,2 °C) met en évidence une dissipation thermique optimisée (aération, évaporation) ou un allongement du temps de séjour.

Les facteurs d'influence externes et internes sont :

- **Climat** : Corrélation probable avec les températures atmosphériques (à confirmer par des données météo locales).

- **Rejets industriels** : Les pics (ex. début mars) pourraient refléter des cycles de production.

- **Procédés de traitement** : L'activité des bactéries mésophiles, dont la croissance optimale se situe entre 20 et 40 °C, peut être ralentie par les températures inférieures à 20 °C enregistrées dans la STEP. Cette réduction d'activité microbienne pourrait diminuer l'efficacité de l'épuration biologique, notamment en période hivernale (ex. mi-janvier).

Par ailleurs, le système d'aération, essentiel pour l'oxydation de la matière organique, contribue également au refroidissement de l'effluent par évaporation. Ce phénomène est particulièrement visible fin mars, où une baisse marquée de la température en sortie (-1,8 °C par rapport à l'entrée)

suggère une dissipation thermique accrue, probablement liée à une intensification de l'aération ou à des conditions atmosphériques favorables (vent, faible humidité).

Bien que les rejets inférieurs à 30 °C minimisent les risques écologiques, des variations thermiques brutales ($\Delta > 2 \text{ °C}/24\text{h}$) peuvent induire un stress pour les écosystèmes aquatiques, nécessitant une analyse croisée des données météorologiques, des flux industriels et de la charge organique pour en identifier précisément les causes. Une modélisation prévisionnelle permettrait d'anticiper l'impact d'événements extrêmes (vagues de chaleur) sur les performances du traitement, tandis qu'un monitoring renforcé en amont des rejets industriels aiderait à quantifier leur contribution thermique spécifique. Si les variations enregistrées restent globalement cohérentes avec un fonctionnement normal de la STEP, leur stabilité masque des écarts ponctuels entre entrée et sortie qui justifient une investigation approfondie via une surveillance intégrée des paramètres climatiques, des apports industriels et des procédés afin d'écartier tout dysfonctionnement sous-jacent et d'optimiser la résilience du système.

3.1.1.3 pH

Le pH est un indicateur qui permet d'évaluer l'acidité ou la basicité d'une solution. Sur une échelle de 0 à 14, un pH inférieur à 7 signale une solution acide, égal à 7 une solution neutre, et supérieur à 7 une solution basique. C'est un paramètre clé en chimie, biologie et pour le contrôle de la qualité de l'eau.

Le tableau 3.3 représente les variations de pH des eaux entrantes et sortantes de la STEP pendant le stage du premier trimestre.

Tableau 3.3 : les résultats de pH des eaux brutes et épurées

Jours	Entrée	Sortie
02/01/2025	7.61	7.44
06/01/2025	7.6	7.57
08/01/2025	7.52	7.28
13/01/2025	7.32	6.93
15/01/2025	7.56	7.24
21/01/2025	6.71	6.64

27/01/2025	6.86	6.91
02/02/2025	6.94	6.64
03/02/2025	6.9	9.79
12/02/2025	8.26	7.41
16/02/2025	7	6.89
19/02/2025	6.99	6.82
23/02/2025	7.86	7.67
24/02/2025	6.89	6.92
03/03/2025	7.06	7.01
18/03/2025	6.68	7.12
27/03/2025	6.88	7.81

- **Commentaires sur l'évolution du pH**

- **Début janvier (02 au 08/01) :**

Le pH reste proche de la neutralité à l'entrée, autour de 7,5, avec une légère baisse à la sortie, atteignant 7,28 le 08/01.

- **Mi-janvier (13 au 15/01) :**

Une baisse plus marquée du pH est observée, surtout le 13/01, où le pH passe de 7,32 à 6,93 à la sortie, suggérant une légère acidification.

- **Fin janvier (21 au 27/01) :**

Le 21/01, les valeurs les plus basses sont enregistrées (6,71 à l'entrée et 6,64 à la sortie), avant une remontée vers la neutralité le 27/01.

- **Début février (02 au 03/02)**

Le pH reste stable autour de 6,9, sauf le 03/02, où un pic anormal à 9,79 est observé en sortie, indiquant une forte alcalinité.

- **Mi-février (12 au 19/02)**

Une hausse du pH est enregistrée à l'entrée, atteignant 8,26 le 12/02, avant de redescendre progressivement vers des valeurs plus neutres.

- **Fin février (23 au 24/02)**

Le pH reste bien équilibré entre 6,9 et 7,8, avec peu de variations.

- **Début à fin mars (03 au 27/03)**

Les valeurs de pH restent globalement stables autour de la neutralité, avec une légère remontée en sortie le 27/03 (7,81), indiquant une alcalinité plus marquée qu'à l'entrée.

Les variations de pH peuvent être influencées par divers facteurs. Les baisses de pH, pourraient résulter de l'arrivée d'effluents plus acides, potentiellement dus à des rejets industriels ou à des pluies acides. À l'inverse, des hausses brusques, comme celle du 03/02 (pH de 9,79 en sortie), suggèrent une arrivée anormalement chargée et alcaline due à des rejets de nettoyage de certains procédés industriels.

En règle générale, la différence entre les pH à l'entrée et à la sortie reste faible, ce qui indique une bonne stabilité du processus de traitement. Cependant, les écarts ponctuels, peuvent influencer négativement sur la nitrification, la dénitrification, la précipitation des métaux lourds ainsi que sur la biomasse qui dégrade la matière organique, un pH trop bas ou trop élevé peut inhiber son activité, réduisant ainsi l'efficacité du traitement. [53, 54]

3.1.1.4 Conductivité électrique

La conductivité électrique indique dans quelle mesure une solution peut transmettre un courant électrique. Elle varie selon la quantité d'ions présents et s'exprime en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ce paramètre est essentiel pour contrôler la qualité de l'eau et analyser des solutions en chimie et en environnement.

Le tableau 3.4 repère les conductivités obtenues les jours de stage au premier trimestre.

Tableau 3.4 : les résultats de La conductivité électrique des eux brutes et épurées

Jours	Entrée ($\mu\text{S/cm}$)	Sortie($\mu\text{S/cm}$)
02/01/2025	1395	1350
06/01/2025	1395	1238
08/01/2025	1330	1066
13/01/2025	1050	1012
15/01/2025	1048	623
21/01/2025	1396	1005
27/01/2025	1093	1243
02/02/2025	526	655
03/02/2025	617	691
12/02/2025	1915	712
16/02/2025	1034	817
19/02/2025	1162	1168
23/02/2025	893	1168
24/02/2025	1197	1061
03/03/2025	1468	1228
18/03/2025	1403	1120
27/03/2025	706	1012

- **Commentaires sur l'évolution de la conductivité électrique et interprétation des résultats :**
 - **Début janvier (02 au 08/01) :**

La conductivité reste relativement stable, avec une légère diminution entre l'entrée et la sortie, passant de 1395 ($\mu\text{S/cm}$) à 1350 $\mu\text{S/cm}$ le 02/01, puis une réduction plus marquée le 08/01 (entrée : 1330 $\mu\text{S/cm}$, sortie : 1066 ($\mu\text{S/cm}$). Cela peut indiquer une dilution des effluents ou un traitement efficace.

- **Mi-janvier (13 au 15/01) :**

La conductivité chute de manière significative le 13/01 (entrée : 1050 $\mu\text{S/cm}$, sortie : 1012 $\mu\text{S/cm}$). Le 15/01, elle diminue encore plus à la sortie, atteignant seulement 623 ($\mu\text{S/cm}$), suggérant une réduction importante des solides dissous, probablement due à un traitement chimique ou biologique efficace.

- **Fin janvier (21 au 27/01) :**

Le 21/01, une nouvelle augmentation de la conductivité à l'entrée est observée (1396 $\mu\text{S/cm}$), suivie d'une réduction à la sortie 1005 ($\mu\text{S/cm}$). Cependant, le 27/01, un pic de conductivité est enregistré à la sortie 1243 ($\mu\text{S/cm}$), ce qui pourrait indiquer des changements dans les effluents traités ou des variations du système.

- **Début février (02 au 03/02) :**

Le 02/02, la conductivité à l'entrée baisse fortement à 526 ($\mu\text{S/cm}$), suivie d'une légère hausse à la sortie 655 ($\mu\text{S/cm}$). Cela pourrait être dû à une dilution importante ou à une faible charge d'effluents. Le 03/02, la conductivité en sortie atteint 691 ($\mu\text{S/cm}$), ce qui reflète une légère variation.

- **Mi-février (12 au 19/02) :**

Le 12/02 présente un pic à l'entrée 1915 ($\mu\text{S/cm}$), suivi d'une réduction importante à la sortie 712 ($\mu\text{S/cm}$), suggérant l'arrivée d'effluents plus concentrés, probablement d'origine industrielle, traités efficacement par le système.

- **Fin février (23 au 24/02) :**

La conductivité reste relativement stable, oscillant entre 893 et 1168 ($\mu\text{S/cm}$), sans fluctuations majeures.

- **Mars (03 au 27/03) :**

La conductivité se maintient stable autour de 1400 $\mu\text{S/cm}$ à l'entrée, avec une légère baisse à la sortie. Une variation modérée est observée le 27/03 avec une conductivité de 1012 ($\mu\text{S/cm}$) en sortie.

Les variations de conductivité peuvent être dues à plusieurs facteurs. Les baisses importantes observées, notamment après le 15/01, indiquent probablement un traitement efficace, réduisant

les substances dissoutes dans l'eau ou une dilution des effluents. Les pics de conductivité, comme celui du 12/02 1915 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à l'entrée, suggèrent des effluents plus concentrés, notamment issus de rejets industriels, nécessitant un traitement spécifique.

Les différences de conductivité entre l'entrée et la sortie témoignent de l'efficacité du système de traitement. Toutefois, des pics à la sortie, comme ceux du 27/01, peuvent refléter des variations naturelles dans la composition des effluents traités. Globalement, bien que des fluctuations soient observées, elles restent relativement contrôlées.

3.1.1.5 Oxygène dissous (OD)

L'oxygène dissous (OD) représente la quantité d'oxygène dissoute dans l'eau, cruciale pour la respiration des organismes aquatiques. Il influence les processus biologiques et chimiques et est un indicateur clé de la qualité de l'eau. Sa concentration dépend de facteurs tels que la température, la salinité et les activités biologiques.

Le tableau 3.5 exprime les différentes concentrations d'oxygènes dissouts des eaux brutes et épurées les jours de stage.

Tableau 3.5 : les résultats d'Oxygène dissous (OD) des eaux brutes et épurées.

Jours	Entrée (mg/L)	Sortie (mg/L)
02/01/2025	0.32	4.23
06/01/2025	0.24	6.08
08/01/2025	0.25	5.16
13/01/2025	3.14	6.28
15/01/2025	1.34	4.58
21/01/2025	1.7	4.34
27/01/2025	0.37	5.46
02/02/2025	5.45	5.91
03/02/2025	5.95	5.64
12/02/2025	0.65	2.82
16/02/2025	5.43	6.04

19/02/2025	1.84	4.77
23/02/2025	1.31	5.3
24/02/2025	0.66	4.45
03/03/2025	0.94	4.59
18/03/2025	0.88	3.51
27/03/2025	1.11	6.09

- **Commentaires sur l'évolution de l'oxygène dissous (OD) :**

- **Début janvier (02 au 08/01) :**

Les niveaux d'oxygène dissous sont relativement faibles à l'entrée 0,32-0,25 (mg/L), mais montrent une forte augmentation à la sortie, atteignant jusqu'à 6,08 (mg/L) le 06/01. Cela suggère un traitement efficace d'oxygénation, ce qui est nécessaire pour favoriser la dégradation des matières organiques.

- **Mi-janvier (13 au 15/01) :**

Le 13/01, une augmentation notable de l'OD est observée (entrée : 3,14 mg/L) → sortie : 6,28 (mg/L), indiquant un bon fonctionnement du système. Toutefois, le 15/01, les valeurs d'OD à l'entrée sont plus faibles (1,34 mg/L), mais restent relativement élevées à la sortie (4,58 mg/L), montrant que le système de traitement assure une oxygénation adéquate.

- **Fin janvier (21 au 27/01) :**

Le 21/01, l'OD est faible à l'entrée 1,7 (mg/L), mais augmente à 4,34 mg/L à la sortie, ce qui reste dans une plage normale. Cependant, le 27/01, un faible niveau d'OD à l'entrée 0,37 (mg/L) est observé, bien qu'il y ait une augmentation à la sortie (5,46 mg/L), indiquant que le système fonctionne efficacement pour oxygéner les effluents.

- **Début février (02 au 03/02) :**

Les valeurs d'OD restent stables autour de 5,45-5,95 (mg/L) à l'entrée, avec une légère baisse à la sortie 5,64 (mg/L) le 03/02. Cela montre que l'oxygénation est maintenue, mais il peut y avoir de légères fluctuations.

- **Mi-février (12 au 19/02) :**

Le 12/02, un faible niveau d'OD est observé à l'entrée 0,65 (mg/L), avec une sortie qui ne dépasse que 2,82 (mg/L). Cela pourrait indiquer une faible charge d'effluents ou une inefficacité temporaire du système. Cependant, le 19/02 montre un léger rebond avec un OD plus élevé à l'entrée 1,84 (mg/L) et une sortie de 4,77 mg/L.

- **Fin février (23 au 24/02) :**

Les valeurs d'OD restent plutôt faibles à l'entrée 0,66-1,31 (mg/L), mais sont plus élevées à la sortie, autour de 4,45 à 5,3 (mg/L), ce qui reflète une bonne performance du système de traitement.

- **Mars (03 au 27/03) :**

Les niveaux d'OD à l'entrée fluctuent légèrement autour de 0,94-1,11 mg/L, mais l'oxygénation à la sortie reste stable, avec des valeurs comprises entre 3,51 et 6,09 mg/L, indiquant un traitement efficace tout au long du mois.

Les variations de l'oxygène dissous peuvent être attribuées à plusieurs facteurs. Les faibles valeurs à l'entrée (notamment en janvier, comme le 27/01 avec 0,37 mg/L) peuvent être dues à une faible concentration d'oxygène dans les effluents entrants à la STEP ainsi que dans le réseau d'assainissement non aéré. Cependant, les niveaux élevés d'OD à la sortie indiquent que le système de traitement fonctionne bien, permettant d'ajouter de l'oxygène pour dégrader efficacement les matières organiques.

Les pics d'OD à la sortie, comme le 06/01 (6,08 mg/L), montrent une oxygénation bien maîtrisée, tandis que les périodes de faibles valeurs de sortie (par exemple le 12/02) peuvent refléter des variations dans la composition des effluents ou des conditions temporaires influençant le système.

En conclusion, bien que des fluctuations existent, les niveaux d'oxygène dissous à la sortie restent généralement efficaces et montrent un système de traitement stable.

3.1.1.6 Variation de la DBO5, DCO et MES

Le tableau 3.6 regroupe les résultats d'analyse de la DBO5, DCO et MES, obtenus à partir des eaux brutes et épurées de la STEP de Beni Mered.

Tableau 3.6 : les résultats de DBO5, DCO et MES de l'année de 2025 (les jours de stage)

Paramètres	DBO		DCO5		MES	
	Eau brute	Eaux Épurée	Eau brute	Eaux Épurée	Eau brute	Eaux Épurée
02 /01/2025	716	107	221	10	556	11
06/01/2025	452	85.4	120	30	321	24
08/01/2025	513	102	149	8	140	14
13/01/2025	512	78	110	20	340	9
15/01/2025	457	77.7	139	10	457	77.7
21/01/2025	952	100	318	16	234	12
27/01/2025	1125	60	340	6	196	45
02/02/2025	350	106	62	19	172	27
03/02/2025	642	68	159	25	225	13
12/02/2025	712	79	190	25	201	21
16/02/2025	545	98	203	20	324	25
19/02/2025	632	85.6	184	16	215	14
23/02/2025	1166	162	405	23	410	33
24/02/2025	866	153	620	75	368	28
03/03/2025	1341	125	481	19	456	12

18/03/2025	892	120	320	20	1212	28
27/0/2025	850	90	296	8	450	18

L'analyse comparative entre les eaux brutes et les eaux épurées montre une réduction significative des concentrations en DBO5, DCO et MES, ce qui traduit une efficacité globale satisfaisante du traitement appliqué par la station.

Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours (DBO5) :

Les valeurs de DBO5 dans les eaux brutes sont très élevées, dépassant souvent les 500 mg/L, et atteignant un maximum de 1341 (mg/L) le 03/03/2025, ce qui reflète une forte charge en matière organique biodégradable. Après traitement, les concentrations chutent nettement entre 60 et 162 (mg/L), bien que certaines valeurs restent au-dessus de la norme réglementaire des rejets. Ces dépassements peuvent être liés à :

- Une surcharge biologique temporaire,
- Des rejets industriels non traités, riches en matière organique,
- Ou une diminution de l'activité microbienne, causée par la présence d'inhibiteurs (comme les phénols, tensioactifs ou graisses).

Demande Chimique en Oxygène (DCO) :

Les valeurs brutes de DCO varient fortement de 110 à 620 (mg/L), indiquant une présence variable de pollution organique totale, incluant des composés non biodégradables. Les valeurs dans les eaux épurées sont souvent inférieures à 30 mg/L, sauf quelques exceptions (jusqu'à 75 mg/L le 24/02), ce qui suggère :

- La présence de substances réfractaires au traitement biologique,
- Ou un traitement moins performant à certaines périodes, possiblement lié à un dysfonctionnement ou à une variation de charge inattendue.

Matières En Suspension (MES):

Les matières en suspension dans l'eau brute présentent de fortes fluctuations, atteignant un pic impressionnant de 1212 (mg/L) le 18/03/2025. Malgré cela, les niveaux dans les eaux épurées restent généralement maîtrisés (< 30 mg/L), bien que quelques pointes soient notées (ex. : 77,7 mg/L le 15/01). Ces pics peuvent s'expliquer par :

- Une turbidité excessive à l'entrée, (charge polluante importante, lessivage de pluies...etc.)
- Un débordement ou colmatage des décanteurs,
- Ou un défaut temporaire de séparation solide/liquide dans la filière physique.

La station assure une réduction notable de la pollution, mais certains dépassements dans les eaux épurées (surtout en février et mars) indiquent des surcharges hydrauliques ou organiques ponctuelles. Ces variations peuvent être corrigées par :

- Un meilleur prétraitement des rejets industriels,
- Un suivi plus fréquent des charges entrantes,
- Et un ajustement dynamique du processus de traitement en fonction des flux.

3.2. Etude rétrospective des analyses de quatre années 2021, 2022 ,2023 et2024 et 2025

3.2.1. Paramètres physicochimiques : DCO, DBO 5 et MES

3.2.1.1 Pour le cas de l'année 2021 :

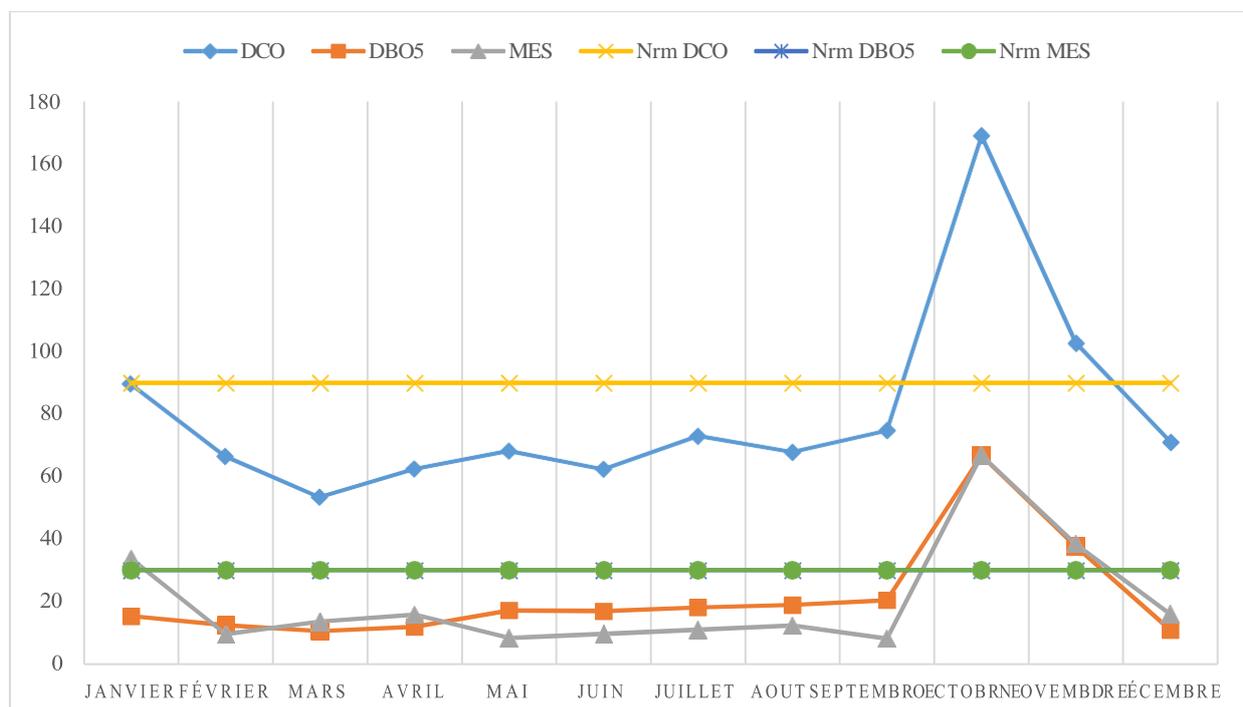


Figure 3.1: Variation de la DBO5, DCO, MES dans les eaux épurées de l'année 2021

Au cours de l'année 2021, les analyses ont révélé un dépassement des normes réglementaires en DCO, DBO5 et MES durant les mois d'octobre et de novembre. Ce dépassement peut être attribué à l'arrivée de rejets industriels non conformes à l'entrée de la station d'épuration. Durant cette période, qui correspond à la saison de production d'huile d'olive, la station reçoit de grandes quantités d'eaux usées issues des huileries. Ces effluents sont fortement chargés en matières grasses, margines (liquides issus de la décantation de l'huile) et débris d'olives. Ces éléments augmentent la concentration en matières en suspension (MES) et introduisent des composés organiques complexes comme les phénols. Ces substances perturbent l'équilibre du traitement biologique, car elles ont un effet bactériostatique et parfois bactéricide sur les micro-organismes responsables de l'épuration, ce qui explique la dégradation de la performance de la station durant cette période.

3.2.1.2 Pour le cas de l'année 2022

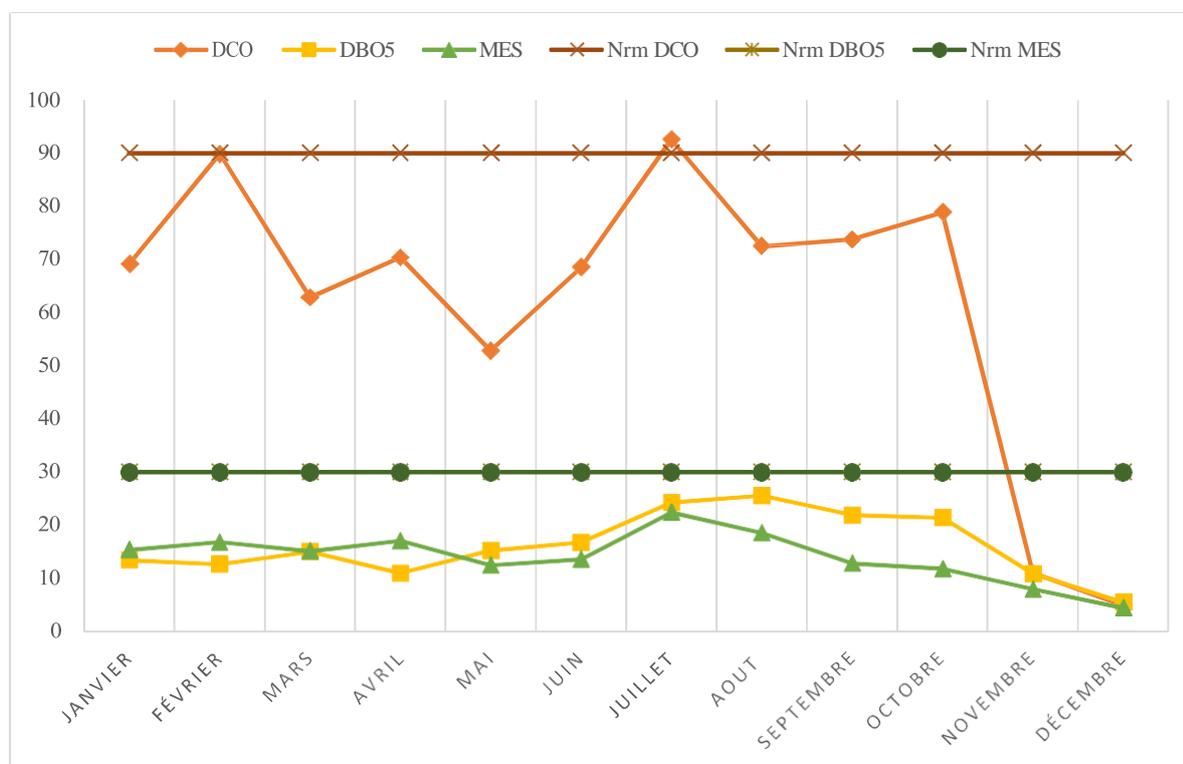


Figure 3.2: Variation de la DBO5, DCO, MES dans les eaux épurées de l'année 2022

L'analyse des résultats de l'année 2022 montre que les concentrations en DBO5 et MES sont restées en dessous des limites réglementaires tout au long de l'année. Cependant, une valeur anormalement élevée de la DCO a été enregistrée au mois de juillet, dépassant les seuils fixés. Cette hausse pourrait s'expliquer par la présence de rejets industriels non conformes, déversés dans le réseau d'assainissement sans traitement préalable. Ces effluents contiennent généralement des charges élevées en matière organique difficilement biodégradable. Par ailleurs, en période estivale, la rareté des pluies limite la dilution des eaux usées, ce qui accentue la concentration des polluants à l'entrée de la station. Ce manque de dilution combiné à une charge organique importante peut perturber le bon fonctionnement du traitement, rendant l'élimination de la pollution plus difficile, notamment en ce qui concerne la DCO.

3.2.1.3 Pour le cas de l'année 2023

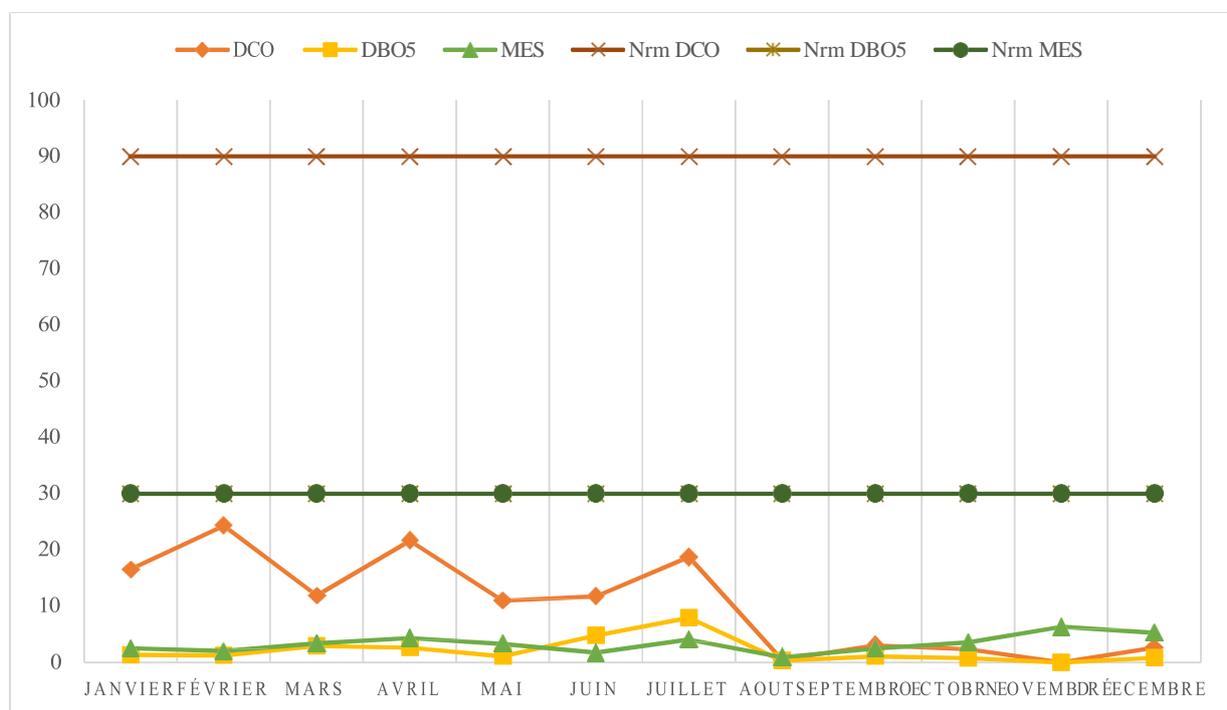


Figure 3.3: Variation de la DBO5, DCO, MES dans les eaux épurées de l'année 2023

L'analyse des résultats montre que les concentrations de la DBO5, de la DCO et de MES sont restées en dessous des valeurs limites fixées par la réglementation durant toute la période étudiée. Cela indique que l'eau a bénéficié d'un traitement efficace, traduisant une bonne maîtrise du fonctionnement de la station. Cette conformité peut s'expliquer par la stabilité des charges hydrauliques et organiques reçues par la station, l'absence de rejets industriels perturbateurs, ainsi qu'un bon suivi des différentes étapes du traitement, notamment la décantation, l'aération et la déshydratation des boues. L'optimisation de l'exploitation des installations et le respect des paramètres de fonctionnement (temps de séjour, oxygénation, etc.) ont permis d'assurer un rendement épuratoire satisfaisant sur l'ensemble des paramètres contrôlés.

3.2.1.4 Pour le cas de l'année 2024

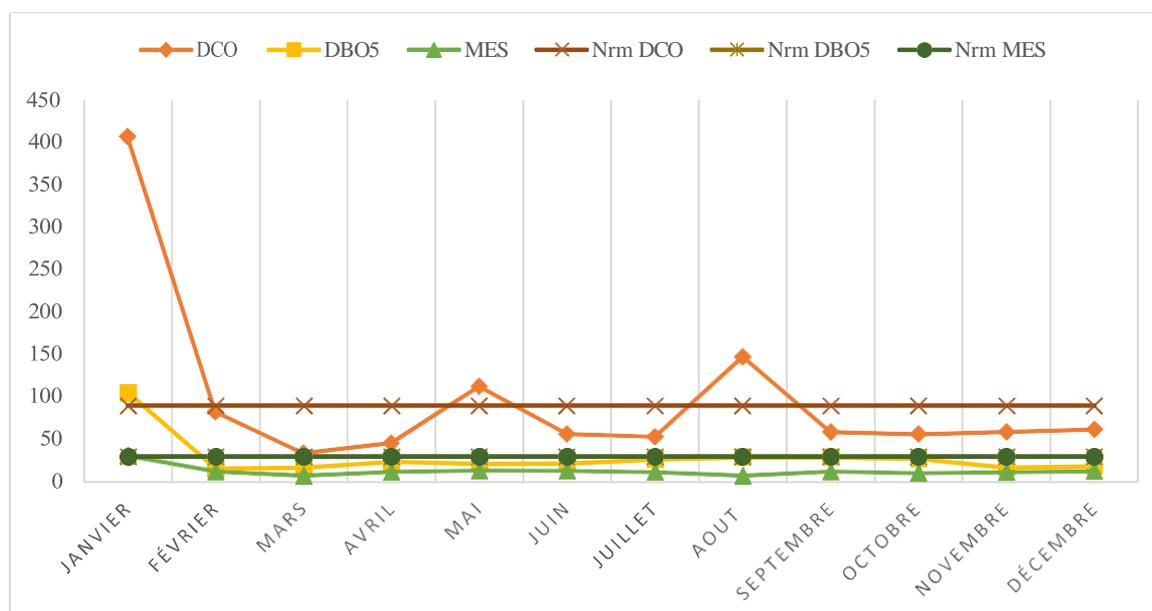


Figure 3.4: Variation de la DBO, DCO5, MES dans les eaux épurées de l'année 2024

L'analyse de la figure montre l'évolution mensuelle des paramètres DCO, DBO5 et MES sur l'année, comparée aux seuils réglementaires. On constate que seule la valeur de la DCO au mois de janvier dépasse largement la norme, atteignant un pic significatif, tandis que la DBO5 dépasse légèrement sa limite. En revanche, les MES restent conformes à la norme tout au long de l'année.

Ce dépassement en janvier peut être expliqué par l'arrivée de rejets exceptionnels fortement chargés en matière organique, probablement d'origine industrielle ou commerciale, n'ayant pas été prétraités avant leur déversement dans le réseau. Il est également possible que la station ait subi une surcharge hydraulique ou un dysfonctionnement temporaire (par exemple, une panne d'aération ou une défaillance du traitement biologique), réduisant la capacité d'élimination de la charge organique.

À partir du mois de février, les trois paramètres restent bien en dessous des normes réglementaires, ce qui reflète un bon rétablissement du fonctionnement de la station. L'efficacité du traitement est restée stable tout au long de l'année, avec une bonne gestion de la charge organique et des solides. Les faibles fluctuations de la DCO en mai et août, tout en restant dans les normes, peuvent être liées à des apports légèrement plus concentrés, ou à des conditions

climatiques comme les fortes chaleurs estivales, pouvant influencer la performance du traitement biologique.

3.3 Évolution annuelle des paramètres physico-chimiques des eaux usées (DCO, DBO5, MES) de 2021 à 2024

Tableau 3.7 : Évolution annuelle des paramètres physico-chimiques des eaux usées (DCO, DBO5, MES) de 2021 à 2024

	DCO	DBO 5	MES
2021	80.5	21.39	20.23
2022	61.62	16.1	14.02
2023	10.73	2.09	3.33
2024	98.07	29.3	13.05

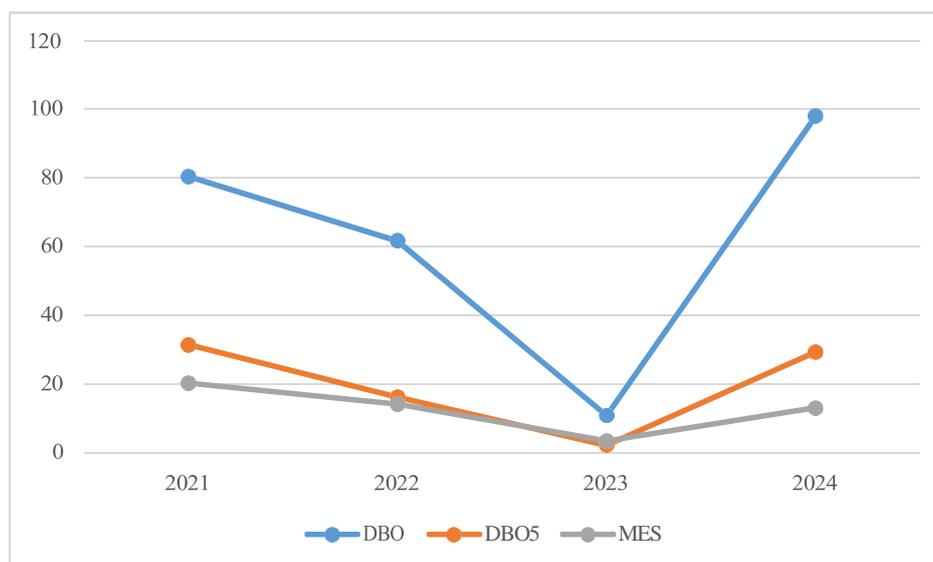


Figure 3.5: les résultats de Comparaison des paramètres DCO, DBO5 et MES (2021–2024)

Comparaison des paramètres DCO, DBO5 et MES (2021–2024) :

L'analyse comparative des trois paramètres révèle une évolution similaire entre la DCO et la DBO5, toutes deux indicatrices de la pollution organique des eaux usées. En 2021, leurs valeurs sont relativement élevées (80,5 mg/L pour la DCO et 21,39 mg/L pour la DBO5), traduisant une forte charge polluante. Une nette amélioration est observée jusqu'en 2023, avec une baisse importante des deux paramètres (respectivement 10,73 mg/L et 2,09 mg/L), témoignant d'une efficacité accrue du traitement des eaux ou d'une réduction des apports polluants.

Cependant, en 2024, une dégradation brutale de la qualité de l'eau est enregistrée : la DCO dépasse même son niveau initial de 2021 pour atteindre 98,07 mg/L, tandis que la DBO5 grimpe à 29,3 mg/L. Cela indique un retour significatif de la pollution organique, probablement lié à un dysfonctionnement ou à une surcharge du système de traitement.

Les MES, quant à elles, affichent une évolution moins extrême. Elles diminuent régulièrement de 2021 à 2023, passant de 20,23 mg/L à 3,33 mg/L, puis augmentent modérément en 2024 pour atteindre 13,05 mg/L. Comparées à la DCO et à la DBO5, les fluctuations de MES sont plus contenues, ce qui suggère une meilleure stabilité du traitement des particules solides.

En résumé, bien que les trois paramètres suivent une tendance favorable jusqu'en 2023, seuls les MES restent relativement maîtrisées en 2024, contrairement à la DCO et la DBO5 qui connaissent une dégradation marquée.

3.1.2 Discussion des résultats des analyses bactériologiques des prélèvements au cours de l'année 2025

Tableau 3.8 : les résultats des analyses bactériologiques des prélèvements au cours de février l'année 2025

Les date	Bactéries	Nombre UCF /100	Normes eaux usées épurées(OMS)	Conforme	Non conforme
	Coliformes totaux	1200	<1000		/

17/02/2025	Coliformes fécaux	420	<100		/
	Streptocoques fécaux	96	<100	/	
	Pseudomonas aeruginosa	130	/		
	Salmonelles	0	0	/	
	Vibrien	0	0	/	
20/02/2025	Coliformes totaux	2700	<1000		/
	Coliformes fécaux	1300	<1000		/
	Streptocoques fécaux	123	<100		/
	Pseudomonas aeruginosa				
	Salmonelles	0	0	/	
	vibrien	0	0	/	

Les analyses bactériologiques réalisées le 17 et 20 février 2025 mettent en évidence plusieurs dépassements des normes applicables aux eaux usées épurées de l'OMS, en particulier pour les indicateurs de contamination fécale que sont les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux.

Lors du prélèvement du 17 février 2025, la concentration en coliformes totaux s'élève à 1200 UCF/100 mL, soit un dépassement modéré de la limite réglementaire fixée à <1000 UCF/100 mL, suggérant une probable non-conformité. La valeur enregistrée pour les coliformes fécaux

(420 UCF/100 mL) est nettement supérieure à la norme (<100 UCF/100 mL), traduisant une pollution fécale importante. En revanche, les streptocoques fécaux sont présents à 96 UCF/100 mL, restant ainsi dans les limites admissibles. La présence de *Pseudomonas aeruginosa* à 130 UCF/100 mL, bien qu'aucune norme précise ne soit fixée pour cette bactérie, peut être interprétée comme un indicateur de traitement insuffisant. L'absence de salmonelles et de vibrions constitue toutefois un point rassurant, témoignant de l'absence de pathogènes entériques majeurs.

Le 20 février 2025, une dégradation significative de la qualité microbiologique des eaux est constatée. Les coliformes totaux atteignent 2700 UCF/100 mL, soit près de trois fois la limite autorisée. Les coliformes fécaux affichent une valeur de 1300 UCF/100 mL et les streptocoques fécaux atteignent 123 UCF/100 mL, tous deux dépassant les seuils réglementaires. Ces résultats traduisent une non-conformité généralisée de l'échantillon. L'absence de résultats concernant *Pseudomonas aeruginosa* ce jour-là empêche une évaluation de ce paramètre. Toutefois, l'absence persistante de salmonelles et de vibrions reste un élément positif pour la sécurité sanitaire.

Le tableau 3.9 exprime les résultats bactériologiques des eaux épurées en Mois de Mars.

Tableau 3.9 : les résultats des analyses bactériologiques des prélèvements au cours de mars 2025.

Les date	Bactéries	Nombre UCF /100	Normes eaux usées épurées	Conforme	Non conforme
03/03/2025	Coliformes totaux	1500	<1000		/
	Coliformes fécaux	86	<100	/	
	Streptocoques fécaux	235	<100		/
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	130	/	/	
	Salmonelles	0	0	/	
	vibron	0	0	/	

13/03/2025 5	Coliformes totaux	1062	<1000		/
	Coliformes fécaux	45	<100	/	
	Streptocoques fécaux	125	<100		/
	Pseudomonas aeruginosa	73			/
	Salmonelles	0	0	/	
	vibrien	0	0	/	
24/03/2025 5	Coliformes totaux	1003	<1000		/
	Coliformes fécaux	38	<100	/	
	Streptocoques fécaux	100	<100	/	
	Pseudomonas aeruginosa				
	Salmonelles	0	0	/	
	vibrien	0	0	/	

Les analyses microbiologiques réalisées le 3, 13 et 24 mars 2025 ont mis en évidence plusieurs non-conformités, principalement liées à la présence de germes indicateurs de contamination fécale. Le 3 mars, une concentration très élevée de coliformes totaux (1500 UCF/100 mL) a été enregistrée, dépassant nettement la norme fixée à moins de 1000 UCF/100 mL. Cette situation laisse supposer un dysfonctionnement au niveau du traitement. Par ailleurs, une forte présence de streptocoques fécaux (235 UCF/100 mL) a également été constatée, ce qui renforce l'hypothèse d'une pollution d'origine fécale mal maîtrisée. La détection de *Pseudomonas aeruginosa* à 130 UCF/100 mL, bien qu'aucune norme ne soit imposée pour ce germe, reste préoccupante car elle peut indiquer une prolifération bactérienne dans les installations. Le 13 mars, les coliformes totaux (1062 UCF/100 mL) et les streptocoques fécaux (125 UCF/100 mL) dépassaient encore les seuils réglementaires, bien que dans une moindre mesure que précédemment, ce qui suggère une légère amélioration du traitement. La présence persistante de *Pseudomonas aeruginosa* (73 UCF/100 mL) confirme toutefois une désinfection toujours incomplète. Enfin, le 24 mars, les

coliformes totaux (1003 UCF/100 mL) ont franchi de justesse la limite de conformité, tandis que les streptocoques fécaux (100 UCF/100 mL) atteignaient exactement le seuil maximal autorisé. Aucune donnée n'a été renseignée pour *Pseudomonas aeruginosa* ce jour-là, ce qui limite l'évaluation de la qualité de l'eau. Globalement, ces résultats révèlent une efficacité instable du traitement, probablement liée à surcharge de la station ou un entretien technique insuffisant.

Et selon la norme Algérienne NA 17183 2014 qui s'intéresse à la réutilisation des eaux usées épurées agricoles, municipales et industrielles, la STEP de Beni Mered est classée en catégorie II (voir Annexe 7)

Comparant les résultats d'analyse avec l'Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation, on constate des fluctuations dans les coliformes fécaux et absence de nématodes, ce dépassement pourra être géré par l'agriculteur par une dilution des eaux au niveau du bassin de stockage pour atteindre le seuil autorisé avec analyse périodique de l'eau stockée.

Dans le cas de conformité plusieurs cultures sont autorisées on site:

Arbres fruitiers, cultures et arbustes fourragers, cultures céréalières, cultures industrielles, arbres forestiers, Plantes florales et ornementales.

Discussion générale :

L'eau constitue un élément indispensable à la survie des organismes vivants. Cependant, cette ressource vitale devient de plus en plus rare et vulnérable en raison de son utilisation excessive et souvent irrationnelle dans les activités humaines quotidiennes.

Le traitement des eaux usées dans les stations d'épuration représente donc un enjeu majeur pour la protection de la santé publique et de l'environnement. Plusieurs technologies et méthodes sont mises en œuvre pour améliorer la qualité des eaux rejetées.

Dans ce cadre, notre étude porte sur une évaluation rétrospective et prospective de l'efficacité de la station d'épuration de Beni Mered, située dans la wilaya de Blida.

Après analyse comparative des résultats des paramètres DBO5, DCO et MES pour les années 2021 à 2024, une tendance favorable est observée jusqu'en 2023. Toutefois, en 2024, seuls les

MES restent relativement maîtrisées, tandis que les valeurs de DCO et DBO5 connaissent une dégradation significative.

Cette détérioration pourrait être liée à plusieurs facteurs, notamment :

- une augmentation de la charge polluante due au développement industriel dans les environs ;
- la croissance démographique ;
- un dysfonctionnement ou une surcharge du système d'épuration.

En 2025, l'étude s'est élargie à l'analyse de plusieurs paramètres physicochimiques (pH, température, conductivité, oxygène dissous) et polluants (DBO5, DCO, MES), ainsi qu'à la recherche de microorganismes indicateurs de contamination.

Résultats physicochimiques :

Au cours du premier trimestre, plusieurs dépassements des normes ont été constatés, pouvant être attribués à :

- un dysfonctionnement technique ;
- une variation inattendue de la charge entrante ;
- des rejets industriels non traités ;
- la présence de substances toxiques affectant la biomasse épuratrice ;
- ou encore une surcharge biologique ponctuelle.

Par ailleurs, la présence de polluants réfractaires au traitement biologique ou une efficacité variable du traitement selon les périodes pourrait également expliquer ces écarts.

Résultats microbiologiques :

Les analyses ont mis en évidence plusieurs dépassements des normes de l'OMS, notamment pour les coliformes totaux, les streptocoques fécaux et les *Pseudomonas aeruginosa*, ainsi que des non-conformités aux normes d'irrigation concernant les coliformes fécaux. Ces résultats traduisent

une efficacité variable du traitement et soulignent un risque potentiel pour la santé publique, particulièrement en cas de réutilisation des eaux traitées.

Il est donc impératif de :

- renforcer les étapes de traitement, notamment la désinfection ;
- améliorer le suivi analytique régulier ;
- mettre en œuvre des mesures correctives pour garantir une qualité de l'eau conforme aux exigences réglementaires.

Réutilisation actuelle des eaux traitées :

Les eaux traitées secondairement par la STEP de Beni Mered sont actuellement utilisées pour :

- l'arrosage des espaces verts longeant l'autoroute entre Boufarik et Beni Tamou,
- l'entretien des espaces verts de la wilaya de Blida (Metidja Hadaik),
- le nettoyage interne de la station,
- et l'approvisionnement en eau du centre d'enfouissement technique attenant à la STEP.

Mesures de sécurité et précautions :

Pour assurer l'hygiène et la sécurité du personnel en contact avec ces eaux :

- Les travailleurs doivent porter gants, bottes et vêtements de protection appropriés.
- Ils doivent être informés de la qualité biologique des eaux usées traitées.
- Ils doivent avoir un accès permanent à de l'eau potable pour leur consommation et leur hygiène personnelle.
- L'irrigation des espaces publics à l'aide d'eaux usées traitées doit se faire en dehors des heures d'affluence.

D'autres exigences spécifiques sont précisées dans l'annexe 7.

Conclusion Générale

Cette étude rétrospective et prospective, couvrant la période de 2021 à 2025, a permis d'évaluer en profondeur l'efficacité du traitement des eaux usées assuré par la station d'épuration de Beni Mared, située dans la wilaya de Blida. Grâce à une série d'analyses physico-chimiques et microbiologiques réalisées conformément aux normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), elle a permis de mesurer de manière rigoureuse les performances du système de traitement en place.

Les résultats obtenus révèlent une conformité générale des eaux traitées aux standards internationaux, attestant du bon fonctionnement du traitement secondaire. Cependant, cette conformité s'avère insuffisante dans la perspective d'une réutilisation des eaux épurées, notamment pour l'irrigation agricole à grande échelle, domaine dans lequel les exigences sanitaires sont plus strictes. La persistance de certaines charges microbiologiques, ainsi que la variabilité de la qualité des effluents traités, mettent en évidence les limites du dispositif actuel.

Dans ce contexte, l'introduction d'un traitement tertiaire s'impose comme une nécessité. L'adoption de procédés complémentaires tels que la désinfection avancée ou la filtration membranaire permettrait d'élever significativement la qualité de l'eau traitée, la rendant apte à des usages sécurisés et durables. Cette amélioration s'inscrit dans une logique de valorisation des ressources en eau non conventionnelles, particulièrement stratégique face à la pression croissante sur les ressources hydriques en Algérie.

L'étude insiste également sur l'importance d'un suivi rigoureux et continu de la qualité des eaux épurées, ainsi que sur la nécessité de mettre en place un cadre réglementaire clair et adapté à leur réutilisation. Elle plaide pour une gestion intégrée et durable des ressources en eau, dans laquelle les stations d'épuration jouent un rôle central, à la fois comme leviers de protection environnementale et comme outils de soutien au développement durable.

En conclusion, bien que les performances actuelles de la station soient globalement conformes aux exigences réglementaires, elles demeurent insuffisantes pour permettre une réutilisation en toute sécurité. L'intégration d'un traitement tertiaire, combinée à un encadrement réglementaire renforcé et à une vision stratégique de la gestion de l'eau, constitue une orientation incontournable pour faire face aux défis environnementaux et socio-économiques à venir.

Perspectives :

Afin de répondre aux exigences sanitaires plus strictes liées à la réutilisation des eaux usées, plusieurs axes de recherche méritent d'être approfondis :

- L'intégration et l'évaluation de traitements tertiaires innovants, tels que la désinfection avancée (ozonation, UV) ou la filtration membranaire, afin de garantir une amélioration significative de la qualité des eaux traitées.

- La mise en place d'études comparatives sur l'efficacité de ces technologies dans différents contextes régionaux, tenant compte des spécificités des eaux usées et des conditions climatiques.
- L'élaboration de protocoles de suivi à long terme pour mieux comprendre la dynamique des contaminants microbiologiques et physico-chimiques post-traitement.
- L'analyse socio-économique et environnementale des scénarios de réutilisation des eaux épurées, notamment en agriculture, pour assurer la durabilité des pratiques.

Recommandations :

Sur la base des résultats obtenus, il est recommandé :

- D'intégrer un traitement tertiaire dans le processus de la station d'épuration de Beni Mared, en privilégiant des technologies adaptées et éprouvées, afin d'atteindre une qualité d'eau compatible avec la réutilisation agricole sécurisée.
- D'instaurer un cadre réglementaire national clair, spécifique à la réutilisation des eaux usées traitées, incluant des seuils stricts de qualité et des protocoles de contrôle périodique.
- De renforcer la surveillance continue et systématique des effluents traités, en mettant en place un système de gestion intégrée des données, accessible aux autorités compétentes.
- De sensibiliser les acteurs locaux (agriculteurs, collectivités, décideurs) à l'importance de la gestion durable des ressources en eau non conventionnelles, pour favoriser l'adoption de pratiques responsables.

Références

- [1] Benabdallah et al., 2019 – Gestion et traitement des eaux usées en Algérie : défis et perspectives
- [2] Moussaoui et al., 2020 – Évaluation de l'efficacité des stations d'épuration dans le traitement des eaux usées urbaines
- [3] Fondation nationale de la santé_Manuel pratique d'analyse de l'eau_4eme édition
- [4] Zeroual et al., 2021 – Impact de la pollution des eaux usées sur l'environnement et l'importance du traitement dans les stations d'épuration
- [5] <https://www.aquaportail.com/definition-4161-eaux-usees.html> consulter le 27/05/2019.
- [6] Vaillant, J.R. (1974). Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Ed Eyrolles, (Paris), 413p.
- [7] Rejsek, F. (2002). Analyse des eaux ; aspect réglementaires et technique. Ed CanopéCRDPde Bordeaux, (France).
- [8] M. Yasmin, “contribution a la conception de la station d'épuration d'ISOLA 2000,” 2007.
- [9] Baumont, S., Camard, J.P., Lefranc, A., and Franconi, A. (2004). Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Ed Ecole nationale supérieure agronomique de Toulouse, (Toulouse), 220.
- [10] Crites, R., and TCHOBANOGLOUS, G., 1998. Small and Decentralized Wastewater Management Systems, 4th edition.. McGraw-Hill, New York, N.Y. 1064 p
- [11] Mohammed Saïd M. (2012) Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la Step Est de la ville de Tizi Ouzou. Thèse de doctorat, Université mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 172p

- [12] Amorce (2012). Boues de station d'épuration : technique de traitement, valorisation et élimination. DT51 série technique, 5, 6.
- [13] Organisation Mondiale de la Santé, 2023.
- [14] United States Environmental Protection Agency, 2023.
- [15] Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis, 2023.
- [16]. Faby J. A., et Brissaud, F. L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation.-: Office International de l'Eau, 1997.
- [17]. Toze.S. PCR and the detection of microbial pathogens in water and wastewaters // Water Research.. - 1999.
- [18] Belaid N. (2010). Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax : salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques, thèse de doctorat, Université de Limoges, 236p
- [19] Campos C. (2008). New perspectives on microbiological water control for wastewater reuse. Desalination, 218, 34-42.
- [20] Blanc R. and Nasser A. (1996). Effect of effluent quality and temperature on the persistence of viruses in soil. Water Science and Technology, Volume 33, Issues 10-11. 237- 242.
- Blumenthal...
- [21]. OMS L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquiculture // recommandations à visée sanitaires ,série de rapport techniques,. - Genève : organisation mondiale de la santé, 1989.
- [22]. Baumont S., Camard, J.P., Lefranc, A., Franconi, A Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France : Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-deFrance..

- [23].Vandermeersch S. Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes, en vue de l'obtention du grade académique de diplômé d'Etudes Spécialisées en gestion de l'environnement : Université libre de Bruxelles, 2006.
- [24] De Villers, J., Squilbin, M., & Yourassowsky, C. (2005). Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général. Fiche. 2, pp. 158-162. Ducement interne de l'ONA. 2011)
- [25] HAMED Mahmoud et GUETTACHE Akram et BOUAMER Lemya, étude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA Bechar, mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en biologie, Université de Bechar, 2012,134 pages.
- [26] BELAID Saàd et REDJIMI Moufida, Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de Barrage Zit-Emba (W.Skikda),Université 8 Mai 45-Guelma-, mémoire de Master, 2013, 90 pages.
- [27] Y.Bara, « Etude comparative de la qualité physicochimique et bactériologique de l'eau du barrage de Hammam Debagh avant et après traitement Cas de la station de traitement de Hammam Debagh –Guelma ».Mémoire de master. Université 8 Mai 1945 Guelma, 2016.
- [28]. Hamoda.M.F Water strategies and potential of water reuse in the south Mediterranean countries. Desalination. - 2004. - 165, 31-41
- [29] Ouali, M.S. (2001). Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. Officedes publications universitaires. (Algérie).
- [30] Ramade, F. (2002). Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences De l'environnement. 2° Ed DUND, (Paris), 1075.
- [31] Chocat.B Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et assainissement. - PARIS.FRANCE : Edition Techniques et documentations,, 1997.
- [32] Duncan.M. Domestic wastewater treatment in devlopingcontries. - UK : [s.n.], 2003.

- [33] Makhoukh M. 2011. Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles del'oued Moulouya. Maroc
- [34] Environmental Protection Agency, 2023
- [35] European Environment Agency, 2023
- [36] Food and Agriculture Organization, 2023)
- [37] World Health Organization, 2023
- [38] United Nations Environment Programme, 2023
- [39] International Water Management Institute, 2023
- [40] American Public Health Association, 2023
- [41] SARI Hassiba, Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source « Attar » (Tlemcen), mémoire de Master, Université ABOU-BEKR BELKAID Tlemcen, 2014, 92 pages.
- [42] BENTOUNES Amina Habiba, Etude de la qualité microbiologique de l'eau potable et l'eau des puits de la wilaya de Mostaganem, mémoire de Master en biologie, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, 2017 ,82 pages.
- [43] ATTAB Sarah, Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration HAoud BERKAoui par l'utilisation d'un filtre à sable local, mémoire de Magister, Université KASDI MERBAH-Ouargla, 2011, 152 pages.
- [44] BENTOUNES Amina Habiba, Etude de la qualité microbiologique de l'eau potable et l'eau des puits de la wilaya de Mostaganem, mémoire de Master en biologie, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, 2017 ,82 pages.

- [45] ATTAB Sarah, Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration HAUD BERKAOUI par l'utilisation d'un filtre à sable local, mémoire de Magister, Université KASDI MERBAH-Ouargla, 2011, 152 pages.
- [46] MOUAZ Nasreddine et BENTCHICH Khedidja, Caractérisation physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de l'oued de Cheliff, mémoire de Master, Université de KhemisMiliana, 2017, 64 pages.
- [47] MOUAZ Nasreddine et BENTCHICH Khedidja, Caractérisation physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de l'oued de Cheliff, mémoire de Master, Université de KhemisMiliana, 2017, 64 pages.
- [48] OMS. (2017). Directives pour la qualité de l'eau potable. Organisation mondiale de la santé.
- [49] EPA. (2021). Wastewater Treatment. United States Environmental Protection Agency.
- [50] ADEME. (2019). Traitement des eaux usées et réutilisation de l'eau. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.
- [51] Jönsson, H., et al. (2020). Advanced water treatment technologies. Water Research Journal.
- [52] OMS WHO guidelines for the safe use of waste water // excreta and grey water.: wastewater use in agriculture, 2006.
- [53] Site internet <https://fr.hach.com/parameters/ph>
- [54] Site internet Officiel de l'entreprise JMARK systems A WTRBOX company.