

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique

Université Abderrahmane MIRA- Bejaia

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique



جامعة عبد الرحمن ميرة – بجاية

كلية التكنولوجيا

قسم الري

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Mr. HAMAD Mustapha

Mr. KLOUL Fayçal

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER**

Filière : **Hydraulique**

Spécialité : **Ouvrages et aménagement Hydrauliques**

INTITULE :

Méthodologie Appliquée pour l'élimination des micropolluants dans les eaux usées de la STEP de Bejaia

Soutenu le **08 /07 /2025** devant le jury composé de :

- Président : Mr. NASRI Kaci
- Promoteur : Mr. BOUKERROUI Abdelhamid
- Examinatrice : Mme. BOUNAB-OUYAHIA Nadia

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions tout d'abord notre encadreur, le Professeur Abdelhamid BOUKERROUI, pour ses conseils avisés, son soutien constant et ses encouragements tout au long de ce travail.

Nous remercions également les membres de jury pour l'intérêt qu'ils portent à ce mémoire et leurs remarques constructives.

Nous souhaitons exprimer toute notre reconnaissance à l'Office National de l'assainissement (ONA) et le personnel de la station d'épuration de Bougie Plage, en particulier Mr. KHALDI Mahdi, pour nous avoir offert les moyens nécessaires à la réalisation de ce projet et pour leurs soutien logistique et technique.

Nos remerciements vont également à l'ensemble des enseignants et du personnel administratif du Département de l'Hydraulique de l'Université de Bejaia pour la qualité de la formation reçue et leur accompagnement durant notre cursus.

Enfin, Nous remercions Nos familles et nos amis pour leurs encouragements et leur soutien constant qui nous ont permis d'achever ce travail dans les meilleures conditions

Listes des abréviations et symboles

- **CE** : Conductivité électrique
- **DBO₅** : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours
- **DCO** : Demande Chimique en oxygène
- **E.P.I.C** : Etablissement Public national à caractère Industriel et Commercial
- **HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
- **MES** : Matière En Suspension
- **OD** : Oxygène Dissous
- **OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- **ONA** : Office National de l'Assainissement
- **pH** : Potentiel d'Hydrogène
- **PSHP** : Produits de Soins et d'Hygiène Personnelle
- **STEP** : Station d'Epuraton
- **UFC** : Unités Formant Colonies
- **UV** : Ultras Violet
- **WHO** : World Health Organization (Organisation Mondiale de la Santé)

Liste des figures

Figure 2.1 : Schéma global des différentes étapes de traitement d'une station d'épuration des eaux usées	14
Figure 2.2 : pré-dégrilleur	15
Figure 2.3 : Grille automatique	16
Figure 2.4 : Dessablage-déshuilage	17
Figure 2.5 : Bassin biologique	19
Figure 2.6 : Clarificateur	19
Figure 3.1 : Géolocalisation de la STEP de Bougie Plage (Google maps, 2025)	23
Figure 3.2 : préleveur automatique	25
Figure 3.3 : canne de prélèvement manuel	25
Figure 3.4 : équipement de mesure du pH, de la température, de la conductivité électrique et de l'oxygène dissout	26
Figure 3.5 : étuve	28
Figure 3.6 : balance électronique	28
Figure 3.7 : pompe à vide pour système de filtration	28
Figure 3.8 : flacons ambrés dotés de manomètre et réactifs utilisés pour la mesure de la DBO ₅	30
Figure 4.1 : Variation moyenne mensuelle de la conductivité des eaux brutes (E) et épurées (S)	31
Figure 4.2 : Variation moyenne mensuelle du ph des eaux brutes (E) et épurées (S)	33
Figure 4.3 : Variation moyenne mensuelle de la température des eaux brutes (E) et épurées (S)	34
Figure 4.4 : Variation moyenne mensuelle de l'oxygène dissous des eaux brutes (E) et épurées (S)	36
Figure 4.5 : Variation moyenne mensuelle des MES des eaux brutes (E) et épurées (S).....	37
Figure 4.6 : Variation moyenne mensuelle de la DBO ₅ des eaux brutes (E) et épurées (S).....	39

Liste des tableaux

Tableau 3.1 : Dimensionnement de la STEP de Bougie Plage	24
Tableau 3.2 : Caractéristiques des eaux brutes.....	24
Tableau 3.3 : Caractéristiques des eaux épurées.....	24
Tableau 3.4 : Facteur de conversion de la DBO ₅ en fonction du volume de prise d'essai.....	29
Tableau 4.1 : Variation moyenne mensuelle de la conductivité des eaux brutes (E) et épurées (S) (2024-2025)	31
Tableau 4.2 : Variation moyenne mensuelle du ph des eaux brutes (E) et épurées (S) (2024- 2025)	32
Tableau 4.3 : Variation moyenne mensuelle de la Température des eaux brutes (E) et épurées (S) (2024-2025)	34
Tableau 4.4 : Variation moyenne mensuelle de l'oxygène dissous des eaux brutes (E) et épurées (S) (2024-2025)	35
Tableau 4.5 : Variation moyenne mensuelle des MES des eaux brutes (E) et épurées (S) (2024-2025)	37
Tableau 4.6 : Variation moyenne mensuelle de la DBO ₅ des eaux brutes (E) et épurées (S) (2024-2025)	38

Remerciement

Dédicaces

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction1

Chapitre 1 : Généralités sur les eaux usées

1.1. Définition des eaux usées3

1.2. Les différentes catégories d'eaux usées et leurs polluants.....3

1.2.1. Eaux usées domestiques.....3

1.2.2. Eaux usées industrielles3

1.2.3. Eaux pluviales et de ruissellement.....4

1.3. Caractéristiques des eaux usées4

1.3.1. Caractéristiques physico-chimiques4

1.3.1.1. Demande biochimique en oxygène (DBO_s)4

1.3.1.2. Demande chimique en oxygène (DCO)4

1.3.1.3. Matières en suspension (MES)5

1.3.1.4. Température5

1.3.1.5. Potentiel d'Hydrogène (pH)5

1.3.1.6. Composés phosphorés6

1.3.1.7. Composés azotés6

1.3.2. Caractéristiques biologiques6

1.3.2.1. Les Coliformes fécaux et totaux6

1.3.2.2. Les Streptocoques fécaux7

1.3.2.3. Les Salmonelles7

1.3.2.4. Les clostridiums perfringens7

1.4. Définition des micropolluants	8
1.5. Origines des micropolluants	8
1.5.1. Sources domestiques	8
1.5.2. Sources industrielles	8
1.5.3. Activités agricoles	8
1.5.4. Eaux de ruissellement urbaines	9
1.6. Types des micropolluants	9
1.7. Impact des micropolluants sur l'environnement et la santé	10
1.7.1. Impact sur l'environnement	10
1.7.2. Impact sur la santé humaine	11
1.8. Difficultés de traitement des micropolluants	11

Chapitre 2 : Généralités sur le traitement des eaux usées

2.1. Historique du traitement des eaux usées	13
2.2. Importance du traitement des eaux	13
2.3. Les étapes de traitement des eaux usées.....	14
2.3.1. Les prétraitements des eaux	14
2.3.1.1. Dégrillage et tamisage	15
2.3.1.2. Dessablage	16
2.3.1.3. Déshuilage/ Dégraissage	16
2.3.2. Les traitement primaire, secondaire et tertiaire des eaux usées	17
2.3.2.1. Traitement primaire	18
2.3.2.2. Traitement secondaire (Biologique).....	18
2.3.2.2.1 Procédés les plus utilisés	18

2.3.2.3. Traitement tertiaire	21
-------------------------------------	----

Chapitre 3 : Etude expérimentale

3.1. Présentation de l'office national de l'assainissement	22
3.2. Eaux usées et traitement des eaux dans la région de Bejaia	22
3.3. Cas de la station de Bougie Plage	22
3.3.1. Historique	22
3.3.2. Dimensionnement et caractéristiques de la STEP	23
3.4. Caractérisation et analyses des eaux usées au niveau de la station de Bougie Plage.....	25
3.4.1. Échantillonnage	25
3.4.2. Analyses et mode opératoire	26
3.4.2.1. Le pH, température (°C), conductivité et oxygène dissout.....	26
3.4.2.2. Les matières en suspension (MES)	27
3.4.2.3. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	29

Chapitre 4 : Résultats et discussion

4.1. Résultats et discussion des analyses effectuées sur les eaux usées	31
4.1.1. La conductivité électrique (CE)	31
4.1.2. Le potentiel d'Hydrogène (pH)	32
4.1.3. La température (T)	34
4.1.4. L'oxygène dissous (OD)	35
4.1.5. Les matières en suspension (MES)	37
4.1.6. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	38

Conclusion générale	40
----------------------------------	-----------

Références bibliographiques	
------------------------------------	--

Commenté [H1]: La numérotation hiérarchique est mélangée (chiffres romains, arabes, avec points). Il serait plus clair d'utiliser une numérotation décimale cohérente (1., 1.1., 1.1.1., etc.).

Commenté [H2]: Mise en forme des références
: Adopter un style de référence uniforme (ex: Auteur, Année). Les parenthèses sont parfois mal placées.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La croissance démographique, l'industrialisation croissante et l'évolution des modes de consommation ont conduit à une augmentation significative de la pollution des ressources en eau. Parmi les contaminants émergents identifiés au cours des dernières décennies, les micropolluants suscitent une attention particulière. Ces substances, présentes à des concentrations faibles (de l'ordre du microgramme voire du nanogramme par litre), comprennent une grande variété de composés : résidus de médicaments, perturbateurs endocriniens, produits cosmétiques, pesticides, et métaux lourds, entre autres.

Bien que présents à de très faibles concentrations, les micropolluants peuvent avoir des effets significatifs sur les écosystèmes aquatiques et sur la santé humaine, en raison de leur persistance, leur bioaccumulation, et leur toxicité chronique. Les stations de traitement des eaux usées (STEP), conçues initialement pour éliminer les matières organiques, les nutriments et les solides en suspension, se révèlent généralement peu efficaces face à ces contaminants spécifiques. D'où la nécessité d'adapter ou de compléter les procédés classiques par des technologies plus avancées.

Dans ce contexte, la présente étude s'intéresse à la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Béjaïa, une infrastructure essentielle pour la protection de l'environnement dans la région. Le mémoire vise à analyser et évaluer la méthodologie appliquée pour l'élimination des micropolluants dans cette station, en mettant en évidence les procédés utilisés, leur efficacité, ainsi que les défis et perspectives d'amélioration.

L'objectif de cette étude est de fournir une compréhension approfondie des traitements en place à la STEP de Béjaïa d'une part, et d'autre part, proposer des pistes d'optimisation à partir de références scientifiques et de comparaisons avec des technologies innovantes utilisées à l'échelle internationale. Ce travail s'inscrit dans une démarche de gestion durable de l'eau, contribuant à la protection des ressources hydriques et de la santé publique.

Notre présent travail s'articulera autour de quatre axes principaux : les deux premiers chapitres seront consacrés à une synthèse bibliographique sur les eaux usées, leurs propriétés et quelques généralités sur les procédés de traitement. Le troisième chapitre se focalisera sur la description de la station d'épuration de boue de plage et les protocoles analytiques suivis

Commenté [H3]: Ajoutez un court paragraphe d'introduction au début du chapitre pour en présenter les objectifs et le plan.

INTRODUCTION

pour mesurer les paramètres physico-chimiques des eaux usées aux cours du traitement.
Enfin, dans le quatrième chapitre nous présenterons les principaux résultats de notre stage pratique.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les eaux usées et les micropolluants

Commenté [H4]: Modifier le titre du chapitre I par exemple : "**Chapitre I : Généralités sur les Eaux Usées et les Micropolluants**".

Ce chapitre a pour objectif de présenter de manière globale les eaux usées, leurs origines, leurs caractéristiques et les différents types de polluants qu'elles contiennent, avec un accent particulier sur les micropolluants. Il vise d'abord à définir les eaux usées et à distinguer leurs principales catégories (domestiques, industrielles et pluviales), avant de détailler leurs caractéristiques physico-chimiques et biologiques essentielles à la compréhension des procédés de traitement. Une attention particulière est ensuite portée aux micropolluants : leur définition, leurs origines, leurs types, ainsi que leurs impacts sur l'environnement et la santé humaine. Enfin, le chapitre met en évidence les principales difficultés liées au traitement de ces contaminants émergents, afin de souligner les enjeux actuels et les limites des systèmes d'assainissement conventionnels.

1.1. Définition des eaux usées :

Les eaux usées désignent l'ensemble des eaux ayant été altérées par des activités humaines, qu'elles soient domestiques, industrielles ou issues du ruissellement pluvial. Elles contiennent divers polluants physiques, chimiques et biologiques, et nécessitent un traitement approprié avant d'être rejetées dans l'environnement.

1.2. Les différentes catégories d'eaux usées et leurs polluants

1.2.1. Eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques proviennent des activités ménagères telles que la cuisine, la lessive, la vaisselle, la toilette et le nettoyage. Elles contiennent principalement des matières organiques biodégradables (exprimées en DBO₅), des matières en suspension (MES), des nutriments (azote, phosphore), des graisses, des détergents, des savons, ainsi que des résidus médicamenteux et des microplastiques issus des produits d'hygiène et des textiles synthétiques. Ces composés peuvent altérer la qualité des milieux aquatiques récepteurs s'ils ne sont pas correctement traités. (Metcalf & Eddy, Inc. (2014)).

Commenté [H5]: Corriger la référence

1.2.2. Eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles varient fortement selon le type d'industrie. Elles peuvent contenir des hydrocarbures, des solvants organiques, des métaux lourds (plomb, mercure, cadmium, zinc), des substances toxiques, des phénols, des colorants (dans le cas des industries textiles), des huiles minérales, ainsi que des composés organochlorés. Ces polluants présentent un

risque élevé pour les écosystèmes aquatiques et la santé humaine si les effluents ne sont pas préalablement traités avant rejet dans le milieu naturel. (Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. (2003))

1.2.3. Eaux pluviales et de ruissellement

Les eaux pluviales et de ruissellement sont générés par les précipitations s'écoulant sur des surfaces imperméables telles que les toits, les voiries, les parkings et les zones industrielles. Elles peuvent transporter des polluants divers : hydrocarbures (issus des carburants et huiles de véhicules), métaux lourds (plomb, cuivre, zinc) provenant de l'usure des pneus, des freins et des matériaux de construction, pesticides et engrais en provenance des surfaces agricole,

Ainsi que des matières en suspension, qui peuvent altérer la qualité des eaux de surface.

(Fletcher, T.D., Andrieu, H., Hamel, P.(2008)).

1.3. Caractéristiques des eaux usées

1.3.1. Caractéristiques physico-chimiques

1.3.1.1. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène sur cinq jours (DBO₅) représente la quantité d'oxygène dissous nécessaire aux microorganismes aérobies pour décomposer la matière organique biodégradable présente dans une eau usée, pendant une période de cinq jours à 20 °C. Ce paramètre est un indicateur clé de la pollution organique d'origine biologique. Une DBO₅ élevée signifie une forte concentration de matières organiques, ce qui peut entraîner un appauvrissement de l'oxygène dans les milieux récepteurs (rivières, lacs), compromettant la vie aquatique. En assainissement, la DBO₅ est utilisée pour dimensionner les systèmes de traitement biologique, notamment les boues activées ou les lagunes. (Rodier, J. et al.(2016)).

1.3.1.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement l'ensemble des substances oxydables contenues dans un échantillon d'eau, qu'elles soient biodégradables ou non. Elle est mesurée à l'aide de réactifs oxydants forts, comme le dichromate de potassium en milieu acide. Contrairement à la DBO₅, la DCO tient compte des composés difficilement dégradables par voie biologique, ce qui en fait un

indicateur global de la pollution organique. La comparaison DBO₅/DCO permet de déterminer le degré de biodégradabilité d'un effluent : un rapport élevé (>0,5) indique une pollution principalement biodégradable. (Degremont (2005)).

Commenté [H6]: Corriger la référence

1.3.1.3. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) désignent les particules solides non dissoutes présentes dans l'eau, pouvant être d'origine organique (résidus alimentaires, boues) ou minérale (sable, argile). Elles sont responsables de la turbidité et peuvent entraîner un engorgement des milieux aquatiques lorsqu'elles sont rejetées sans traitement. Les MES sont éliminées principalement lors des phases de décantation ou de filtration dans les stations d'épuration. Une concentration excessive de MES nuit à la pénétration de la lumière, affecte la photosynthèse des plantes aquatiques et transporte des polluants adsorbés (métaux lourds, micro-organismes). (Tchobanoglous, G. et al. (2003)).

1.3.1.4. Température

La température joue un rôle fondamental dans le traitement des eaux usées, car elle influence directement la vitesse des réactions biochimiques et la solubilité de l'oxygène dans l'eau. Une température élevée accélère l'activité des microorganismes dans les procédés biologiques (comme les boues activées), favorisant la dégradation de la matière organique. Toutefois, si la température dépasse certaines limites (en général >35 °C), elle peut inhiber la flore bactérienne. À l'inverse, des températures basses ralentissent les réactions, ce qui réduit l'efficacité du traitement. La température affecte également les propriétés physiques de l'eau, comme la viscosité, influençant la décantation et la sédimentation. (Tchobanoglous, G. et al. (2003)).

1.3.1.5. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une eau usée. Il est un paramètre clé pour le bon fonctionnement des procédés biologiques et physico-chimiques. La plupart des bactéries épuratrices fonctionnent de manière optimale dans un intervalle de pH compris entre 6,5 et 8,5. Un pH trop bas (acide) peut tuer ou inhiber les micro-organismes, tandis qu'un pH trop élevé (alcalin) peut perturber la solubilité des nutriments et provoquer la précipitation de certains composés. Dans les traitements chimiques, le pH conditionne aussi l'efficacité des coagulants et la précipitation des métaux. (Rodier, J. et al. (2016)).

1.3.1.6. Composés phosphorés

Les composés phosphorés, principalement les orthophosphates (PO_4^{3-}), proviennent des détergents, des rejets alimentaires et des effluents industriels. Ils sont une source essentielle de nutriments pour les micro-organismes, mais en excès, ils favorisent le phénomène d'eutrophisation dans les milieux aquatiques récepteurs (croissance excessive d'algues, diminution de l'oxygène dissous). Dans les stations d'épuration, le phosphore est éliminé par précipitation chimique (avec du fer, de l'aluminium ou du calcium) ou par traitement biologique via des bactéries accumulatrices de phosphore dans des conditions anaérobies/aérobies alternées. (Henze, M., van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A., & Brdjanovic, D. (2008)).

1.3.1.7. Composés azotés

Les composés azotés dans les eaux usées comprennent principalement l'ammoniaque (NH_4^+), les nitrites (NO_2^-), les nitrates (NO_3^-) et les matières organiques azotées. L'azote est un nutriment essentiel mais, en concentrations excessives, il peut causer l'eutrophisation et produire des substances toxiques (comme les nitrites) pour la faune aquatique. Le traitement de l'azote implique plusieurs étapes biologiques : l'ammonification (dégradation de la matière organique azotée), la nitrification (oxydation de NH_4^+ en NO_3^-) par des bactéries nitrifiantes, et la dénitrification (réduction des nitrates en azote gazeux, N_2) sous conditions anoxiques. Ces processus sont essentiels pour éviter la pollution des nappes et des rivières. (Metcalf & Eddy (2004)).

1.3.2. Caractéristiques biologiques

1.3.2.1. Les Coliformes fécaux et totaux

Les coliformes sont un groupe de bactéries présentes naturellement dans l'intestin des humains et des animaux à sang chaud. Parmi eux, *Escherichia coli* est l'espèce la plus connue et souvent utilisée comme indicateur de contamination fécale récente. Leur présence en grande quantité dans les eaux usées témoigne d'une pollution d'origine domestique ou animale. Les concentrations dans les eaux usées brutes peuvent atteindre 10^5 à 10^7 unités formant colonies (UFC) par 100 ml. La mesure des coliformes est essentielle pour évaluer l'efficacité des traitements et garantir la sécurité sanitaire des eaux traitées (Bitton, (2005) ; OMS, (2003)).

1.3.2.2. Les Streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux, aujourd'hui souvent regroupés sous le terme d'entérocoques, sont des bactéries du genre *Entérocoque*. Ils se trouvent aussi dans l'intestin humain et animal, mais se distinguent par leur capacité à survivre plus longtemps dans l'environnement que les coliformes. Leur présence indique une contamination fécale plus ancienne ou persistante. Leur concentration dans les eaux usées peut varier de 10^4 à 10^6 UFC/100 ml. Leur détection complète celle des coliformes et améliore la précision du diagnostic de pollution (Edberg et al, (2000) ; OMS/UNICEF, (2017)).

1.3.2.3. Les Salmonelles

Les salmonelles sont des bactéries pathogènes responsables d'infections gastro-intestinales, telles que les salmonelloses, et de maladies graves comme la fièvre typhoïde. Elles proviennent principalement des excréments humains ou animaux et peuvent se retrouver dans les eaux usées. La présence de salmonelles est un indicateur de risque sanitaire important, car même en faible quantité, elles peuvent entraîner des épidémies si les eaux contaminées sont utilisées sans traitement adéquat. Les normes exigent généralement l'absence totale de salmonelles dans les eaux destinées à un usage potable ou à l'irrigation de cultures alimentaires (WHO, 2004 ; Leclerc et al, (2001)).

1.3.2.4. Les clostridiiums perfringens

Les clostridiiums perfringens regroupent des bactéries naturellement présentes dans l'intestin de l'homme sans lui nuire et des bactéries pouvant être pathogènes. Les infections qu'elles peuvent provoquer sont généralement peu fréquentes et sans gravité.

Dans les eaux, ces espèces de clostridium sont des germes indicateurs de contaminations fécales. Les entérites provoquées par les germes C1. Perfringens sont des maladies caractérisées par une toxémie générale et une bactériémie qui se produisent après une multiplication intensive dans l'intestin des germes C1. Perfringens. (Rodier, (2009))

1.4. Définition des micropolluants

Les micropolluants désignent un ensemble de substances chimiques présentes à très faible concentration (de l'ordre du microgramme par litre voire moins) dans l'environnement, notamment dans les eaux usées, les eaux de surface et les eaux souterraines. Ces composés, bien que présents en quantités infimes, peuvent avoir des effets significatifs sur les écosystèmes aquatiques et la santé humaine en raison de leur persistance, de leur toxicité ou de leur capacité à s'accumuler dans les organismes vivants.

Ils regroupent des familles variées telles que les métaux lourds (plomb, mercure, cadmium), les pesticides, les produits pharmaceutiques, les résidus d'hormones, les composés perfluorés (PFAS), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les retardateurs de flamme bromés, ou encore certains plastifiants et nanomatériaux. (Choubert, J.M., et al. (2011)).

1.5. Origines des micropolluants

1.5.1. Sources domestiques

Les micropolluants d'origine domestique proviennent principalement des rejets de produits pharmaceutiques non métabolisés, des produits d'hygiène (shampoings, gels douche, cosmétiques) et des détergents. Lors du lavage, les textiles synthétiques libèrent également des microplastiques qui rejoignent les eaux usées. Ces substances échappent souvent aux traitements classiques des stations d'épuration et contribuent à la contamination des milieux aquatiques. (Luo et al, (2014)).

1.5.2. Sources industrielles

Les activités industrielles, notamment chimiques, pharmaceutiques, textiles et agroalimentaires, émettent une large gamme de micropolluants : métaux lourds (plomb, mercure, cadmium), solvants, plastifiants comme les phtalates, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et retardateurs de flamme bromés. Ces substances sont souvent persistantes, bioaccumulables et toxiques pour la faune et la flore aquatiques. (Schwarzenbach et al., (2006)).

1.5.3. Activités agricoles

L'usage intensif de pesticides, herbicides et engrais azotés et phosphorés dans l'agriculture contribue de manière importante à la pollution diffuse des eaux. Ces substances atteignent les

cours d'eau par ruissellement ou infiltration, provoquant notamment l'eutrophisation, qui déséquilibre les écosystèmes aquatiques en réduisant l'oxygène dissous et en favorisant la prolifération d'algues. (Stehle & Schulz, (2015)).

1.5.4. Eaux de ruissellement urbaines

Dans les zones urbaines, le ruissellement des eaux de pluie entraîne vers les milieux aquatiques des hydrocarbures, métaux lourds issus de l'usure des véhicules (freins, pneus) et divers résidus accumulés sur les surfaces imperméabilisées. Ces flux diffus représentent une source majeure de micropolluants difficile à contrôler car ils ne transitent pas toujours par des systèmes de traitement avant d'atteindre les rivières et plans d'eau. (Göbel et al., (2007)).

1.6. Types des micropolluants

Les micropolluants présents dans les eaux usées et les milieux aquatiques peuvent être classés selon leur nature chimique en deux grandes catégories : les micropolluants organiques et les micropolluants inorganiques.

D'une part, les micropolluants organiques regroupent de nombreuses substances issues de diverses activités humaines :

- Les produits pharmaceutiques et résidus de médicaments, qui comprennent les antibiotiques, anti-inflammatoires, antidépresseurs ou hormones, sont largement détectés dans les eaux usées domestiques (Kümmerer, (2009)).
- Les produits de soins et d'hygiène personnelle (PSHP) incluent des cosmétiques, écrans solaires, conservateurs comme les parabènes, et antimicrobiens tels que le triclosan, qui rejoignent les eaux lors du lavage corporel ou du nettoyage (Brausch & Rand, (2011)).
- Les pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) issus des activités agricoles et urbaines, comme l'atrazine ou le glyphosate, sont des micropolluants très répandus et souvent persistants (Fenner et al, (2013)).
- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et autres solvants organiques proviennent de la combustion incomplète des matières organiques et des processus industriels ; ils sont fortement toxiques et cancérogènes (Richardson & Ternes, (2011)).
- Les plastifiants tels que les phtalates ou le bisphénol A, ainsi que les retardateurs de flamme bromés, sont des micropolluants organiques associés à la production et l'usage de plastiques

et d'équipements électroniques.

D'autre part, les micropolluants inorganiques regroupent principalement :

-Les métaux lourds : comme le plomb, le cadmium, le mercure, le zinc et le cuivre, issus de rejets industriels, de l'usure de matériaux ou de la circulation automobile. Ces substances sont persistantes et peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire, représentant un risque majeur pour la santé humaine et l'environnement (He et al, (2015)).

-Les métalloïdes, tels que l'arsenic ou le sélénium, peuvent également être classés parmi les micropolluants inorganiques, en raison de leur toxicité même à faibles concentrations. Ce classement chimique est fondamental pour la compréhension des risques associés aux micropolluants, ainsi que pour la mise en place de stratégies de traitement adaptées selon la nature des contaminants présents dans les eaux usées.

1.7. Impact des micropolluants sur l'environnement et la santé

1.7.1. Impact sur l'environnement

Les micropolluants ont des effets variés et souvent néfastes sur les écosystèmes aquatiques :

Perturbation endocrinienne : Certains micropolluants, notamment les hormones et les composés pharmaceutiques, peuvent perturber le système hormonal des organismes aquatiques (poissons, amphibiens), entraînant des troubles de la reproduction, des malformations ou des changements de sexe (Kidd et al., (2007)).

Toxicité aiguë et chronique : Les métaux lourds et certains pesticides peuvent provoquer une toxicité directe sur les organismes aquatiques, réduisant leur survie, leur croissance et leur capacité de reproduction (Schwarzenbach et al., (2006)).

Bioaccumulation et biomagnification : Certains polluants persistants s'accumulent dans les tissus des organismes vivants et se concentrent dans la chaîne alimentaire, affectant les prédateurs supérieurs comme les oiseaux piscivores et les mammifères marins (Fisher et al., (2006)).

Altération des communautés microbiennes : Les antibiotiques présents dans les milieux aquatiques peuvent modifier la composition des communautés bactériennes, favoriser l'émergence de souches résistantes aux antibiotiques et perturber les cycles biogéochimiques naturels.

1.7.2. Impact sur la santé humaine

Les micropolluants représentent également un risque potentiel pour la santé humaine :

Exposition par l'eau potable : Certains composés (résidus pharmaceutiques, pesticides, sous-produits de désinfection) peuvent subsister dans l'eau potable malgré les traitements conventionnels et être ingérés quotidiennement en faibles quantités.

Effets cancérogènes et neurotoxiques : Des substances telles que les HAP, les PCB et certains solvants organiques sont classées comme cancérogènes ou neurotoxiques pour l'homme ([WHO, \(2017\)](#)).

Perturbateurs endocriniens : Les composés perturbateurs endocriniens (ex : bisphénol A, certains phtalates, nonylphénols) peuvent affecter le développement hormonal, la fertilité et augmenter le risque de maladies métaboliques.

Antibiorésistance : La présence d'antibiotiques dans les milieux aquatiques contribue à la sélection de bactéries résistantes, constituant une menace majeure pour la santé publique mondiale ([WHO, \(2017\)](#)).

1.8. Difficultés de traitement des micropolluants

Le traitement des micropolluants présente plusieurs contraintes majeures :

- *Faibles concentrations :* Les micropolluants sont souvent présents à l'état de traces (ng/L à µg/L), rendant leur détection et leur élimination difficiles.

- *Grande diversité chimique* : Les structures chimiques variées (métaux, composés organiques, hormones, antibiotiques) nécessitent des méthodes de traitement spécifiques.
- *Formation de sous-produits* : Certains procédés (ozonation, chloration) peuvent générer des sous-produits potentiellement plus toxiques.
- *Coûts élevés* : Les traitements avancés exigent des investissements importants en équipements et en énergie.
- *Risques d'antibiorésistance* : L'élimination insuffisante des antibiotiques peut favoriser la sélection de bactéries résistantes.

Conclusion

Ce chapitre a permis de mettre en évidence la complexité et la diversité des eaux usées, tant du point de vue de leurs origines que de leur composition. Les eaux usées, issues principalement des activités domestiques, industrielles et du ruissellement pluvial, contiennent une large gamme de polluants physiques, chimiques et biologiques susceptibles d'altérer les milieux aquatiques s'ils ne sont pas correctement pris en charge. L'analyse des caractéristiques physico-chimiques, telles que la DBO₅, la DCO, les MES, le pH, la température ainsi que les composés azotés et phosphorés, constitue une étape essentielle pour comprendre le comportement des effluents et orienter le choix des procédés de traitement. Par ailleurs, les indicateurs biologiques, notamment les bactéries d'origines fécales, permettent d'évaluer le risque sanitaire associé aux rejets.

Une attention particulière a été portée aux micropolluants, contaminants présents à l'état de traces mais dont les impacts environnementaux et sanitaires peuvent être majeurs. Leurs origines multiples (domestiques, industrielles, agricoles et urbaines), leur grande diversité chimique et leur persistance dans l'environnement en font un enjeu central de l'assainissement moderne. Les effets sur les écosystèmes aquatiques, la santé humaine et le développement de l'antibiorésistance soulignent la nécessité de renforcer les stratégies de surveillance et de traitement.

Enfin, les difficultés liées à l'élimination des micropolluants, telles que leurs faibles concentrations, la formation de sous-produits indésirables et les coûts élevés des technologies avancées, mettent en évidence les limites des filières conventionnelles. Ces constats justifient

CHAPITRE 1 : Généralités sur les eaux usées et les micropolluants

le recours à des procédés de traitement plus performants et innovants, qui seront abordés dans les chapitres suivants, afin d'assurer une protection durable des ressources en eau et de la santé publique.

Chapitre 2 :

Généralités sur le traitement des eaux usées

2.1. Historique du traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées a évolué au fil des siècles en réponse aux enjeux croissants de santé publique et de protection de l'environnement. Dans l'Antiquité, les civilisations comme celles de la Mésopotamie, de l'Égypte ou de Rome possédaient déjà des systèmes rudimentaires d'égouts pour évacuer les eaux usées, mais sans traitement : l'objectif principal était alors de limiter les mauvaises odeurs et l'insalubrité dans les villes.

Ce n'est qu'au XIX^e siècle, avec le développement de l'urbanisation et les grandes épidémies de choléra et de typhoïde en Europe, que la nécessité de traiter les eaux usées est apparue. En 1854, l'épidémiologiste britannique John Snow démontra le lien entre l'eau contaminée et la propagation du choléra à Londres, marquant un tournant majeur dans la prise de conscience des risques sanitaires liés aux eaux usées.

À la fin du XIX^e siècle, les premières stations de traitement apparaissent en Europe et aux États-Unis. Le traitement reposait initialement sur des méthodes physiques comme la décantation et des techniques naturelles telles que le lagunage ou l'infiltration dans le sol.

Au début du XX^e siècle, les progrès en microbiologie ont permis le développement des procédés biologiques. En 1914, l'invention du procédé des boues activées par Ardern et Lockett à Manchester révolutionna le traitement des eaux usées en introduisant un processus basé sur l'oxydation biologique accélérée par des micro-organismes.

Au cours du XX^e siècle, les procédés de traitement se sont diversifiés avec la généralisation des traitements secondaires (biologiques) et l'apparition des traitements tertiaires (désinfection, élimination de l'azote et du phosphore). Depuis les années 1980, de nouvelles technologies comme les filtres membranaires (MBR) et les procédés avancés de traitement chimique ou d'adsorption visent à éliminer les micropolluants, reflétant la prise en compte croissante des enjeux environnementaux.

Aujourd'hui, le traitement des eaux usées s'inscrit dans une logique d'économie circulaire, avec la valorisation des sous-produits (biogaz, compost) et la réutilisation des eaux épurées, notamment dans les régions à stress hydrique. (Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003)).

2.2. Importance du traitement des eaux

Les eaux usées ont été longtemps considérées comme un fardeau en matière d'assainissement, lorsqu'elles ne sont pas tout simplement ignorées. Avec la raréfaction de l'eau dans plusieurs régions, cette situation connaît une évolution, et on reconnaît de plus en plus l'importance de la collecte, du traitement et de la réutilisation des eaux usées. Ces trois dernières procédures

Chapitre 2 : Généralités sur le traitement des eaux usées

induisent à la réduction de la pollution ainsi que l'élimination de contaminants des flux d'eaux usées ce qui entraîne des avantages sociaux, environnementaux et économiques pour la société dans son intégralité, et contribue au bien-être général et à la santé, ainsi qu'au développement durable. ([Rapport mondial des nations unies](#)).

2.3. Les étapes de traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées est un ensemble de procédés destinés à éliminer les polluants physiques, chimiques et biologiques contenus dans les eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel ou leur réutilisation.

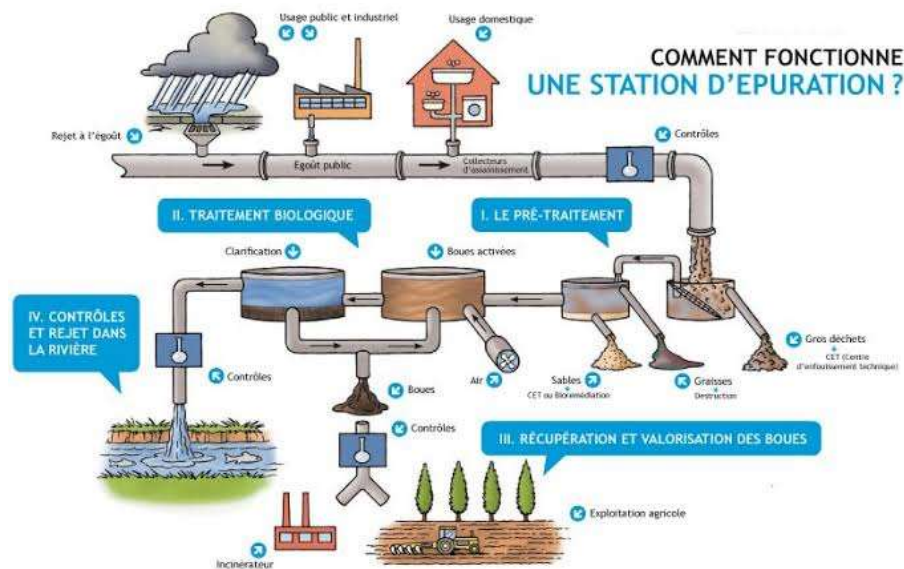


Figure 2.1 : Schéma global des différentes étapes de traitement d'une station d'épuration des eaux usées

2.3.1. Les prétraitements des eaux

Le prétraitement est la première étape essentielle du traitement des eaux usées. Il permet de retirer les matières les plus grossières, les graisses, le sable et autres éléments pouvant nuire au bon fonctionnement des installations de traitement biologique ou chimique situées en aval.

2.3.1.1. Dégrillage et tamisage

Le dégrillage a pour fonction de retenir les gros objets tels que les plastiques, lingettes, chiffons, ou branches, qui peuvent provoquer des obstructions ou endommager les pompes.

On distingue trois types principaux de grilles ou tamis :

- - Grilles grossières : ouvertures ≥ 6 mm
- - Grilles fines : ouvertures entre 1,5 et 6 mm
- Tamis très fins : 0,2 à 1,5 mm, capables d'atteindre un niveau de filtration équivalent à une décantation primaire. ([U.S. Environmental Protection Agency](#)).



Figure 2.2 : pré-dégrilleur



Figure 2.3 : Grille automatique

2.3.1.2. Dessablage

Le dessablage a pour objectif d'éliminer les particules lourdes et abrasives telles que le sable, les coquillages ou les graviers. Ces éléments provoquent des dépôts dans les conduites et usent prématurément les pièces mécaniques.

Parmi les dispositifs les plus courants :

- Dessableur à écoulement horizontal : contrôle de la vitesse ($\sim 0,3$ m/s) pour permettre la décantation.
- Dessableur aéré : injection d'air pour créer une rotation permettant la séparation par gravité.
- Dessableur vortex : chambre circulaire générant un vortex et favorisant la décantation continue. ([U.S.EPA, \(2012\)](#)).

2.3.1.3. Déshuilage/ Dégraissage

Le dégraissage élimine les corps gras flottants (huiles, graisses), très problématiques car ils se déposent sur les parois, bloquent les systèmes d'aération et perturbent les traitements biologiques.

Chapitre 2 : Généralités sur le traitement des eaux usées

Techniques employées :

- - Décantation gravitaire avec raclage de surface.
- - Injection d'air (bullage) pour favoriser la remontée des graisses.
- - Flottation à air dissous pour les eaux usées industrielles.

(He, X. et al,(2017)).



Figure 2.4 : Dessablage-déshuilage

Le prétraitement joue un rôle clé dans la performance globale de la station d'épuration. Il garantit non seulement la protection des équipements mécaniques, mais aussi l'efficacité des traitements biologiques et chimiques qui suivent.

2.3.2. Les traitement primaire, secondaire et tertiaire des eaux usées

Après le prétraitement, le procédé de dépollution des eaux usées se décline généralement en trois niveaux successifs : le traitement primaire, le traitement secondaire et le traitement tertiaire (souvent qualifié d'« avancé »). Chaque niveau vise à éliminer une fraction spécifique de la pollution : les matières décantables, la charge organique dissoute, puis les nutriments résiduels et les germes pathogènes.

Chapitre 2 : Généralités sur le traitement des eaux usées

2.3.2.1. Traitement primaire

Le traitement primaire consiste principalement en une décantation physique des matières en suspension (MES) et des flottants, parfois assistée de coagulation – floculation pour améliorer la sédimentation.

Unités et opérations courantes:

- Bassin de décantation primaire (clarificateur primaire) : temps de séjour typique 1,5–2,5 h ; capture 50–70 % des MES et 25–40 % de la DBO₅.
- Flottateur primaire : utilisé lorsque la charge en graisses est élevée.
- Coagulation–floculation (optionnelle) : ajout d'un coagulant (sels d'aluminium ou de fer) suivi d'un polymère pour accroître l'abattement des particules fines. (Metcalf & Eddy, 6^e éd., (2023)).

2.3.2.2. Traitement secondaire (Biologique)

Le traitement secondaire vise l'oxydation biologique de la charge organique dissoute (DBO₅) et la nitrification de l'azote ammoniacal. Il se compose d'un réacteur biologique suivi d'une décantation secondaire pour séparer les biomasses. La décantation secondaire (clarificateur final) assure la séparation des floccs biologiques et le recyclage partiel des boues. (U.S. EPA, (2021) – **Secondary Treatment Regulation**).

► Procédés les plus utilisés

- Système de boues activées

Dans les stations d'épuration à boues activées, le cœur du traitement biologique se déroule dans le bassin d'aération, appelé aussi réacteur biologique. Dans ce bassin, les eaux usées sont mélangées à une culture de micro-organismes en suspension, appelée « boues activées », sous une aération intense. L'apport d'oxygène, assuré par des diffuseurs d'air ou des turbines de surface, favorise l'oxydation biologique de la matière organique dissoute. Les micro-organismes — essentiellement des bactéries hétérotrophes — dégradent la pollution carbonée et azotée en utilisant la matière organique comme source de carbone et d'énergie.

Le brassage continu du mélange liquide (mélange eau usée + boues) permet un contact optimal entre les polluants et les micro-organismes. Sous l'effet de l'oxygène, ces derniers transforment la matière organique en biomasse nouvelle, en dioxyde de carbone et en eau. Une partie de la biomasse se regroupe sous forme de floccs qui facilitent la décantation ultérieure.

Le bassin biologique permet également, dans certaines configurations, la nitrification : des bactéries spécifiques, appelées nitrifiantes, oxydent l'ammoniac en nitrites puis en nitrates.

Chapitre 2 : Généralités sur le traitement des eaux usées

Dans d'autres systèmes intégrant des zones anoxiques, la dénitrification peut aussi se produire, transformant les nitrates en azote gazeux, qui s'échappe alors dans l'atmosphère.

Le processus dans le bassin biologique des stations à boues activées repose sur une synergie entre oxygénation, agitation et activité microbienne, permettant une épuration efficace des eaux usées. (Metcalf & Eddy, Inc. (2014)).



Figure 2.5 : Bassin biologique



Figure 2.6 : Clarificateur

- Filtres percolateurs

Dans les stations d'épuration à lits bactériens, également appelées filtres percolateurs, l'épuration biologique des eaux usées repose sur l'utilisation d'un lit constitué d'un matériau

Chapitre 2 : Généralités sur le traitement des eaux usées

filtrant (pierre, gravier, plastique) sur lequel se développe un biofilm de micro-organismes. Les eaux usées prétraitées sont réparties à la surface du lit grâce à un système de distribution (parfois rotatif) qui assure une irrigation uniforme.

En percolant lentement à travers le lit, les eaux usées entrent en contact avec le biofilm fixé sur le matériau. Ce biofilm, composé essentiellement de bactéries aérobies, d'algues et de protozoaires, dégrade la matière organique dissoute par oxydation biologique. L'oxygène nécessaire à ce processus provient de la ventilation naturelle ou forcée à travers le lit, ce qui maintient des conditions aérobies favorables.

Au fur et à mesure de l'épuration, le biofilm s'épaissit, puis des fragments se détachent naturellement, entraînant les floccs microbiens vers le clarificateur où ils sont séparés de l'eau épurée. Le système permet une réduction significative de la charge organique (DBO, DCO) grâce à la synergie entre le substrat fixe, qui offre un support stable, et l'activité intense des micro-organismes.

Ainsi, le processus dans un lit bactérien est basé sur l'épuration par contact prolongé entre les eaux usées et un biofilm microbien aérobie, permettant un traitement efficace avec un faible besoin en énergie et une grande simplicité d'exploitation. ([Metcalf & Eddy, Inc. \(2014\)](#)).

- Lagunage aéré

Le lagunage est une technique naturelle d'épuration des eaux usées, qui repose sur l'utilisation de vastes bassins peu profonds appelés lagunes ou étangs de stabilisation. Dans ces bassins, les eaux usées sont épurées grâce à un ensemble de processus biologiques et physico-chimiques qui s'effectuent sous l'action conjointe du soleil, de l'air et des micro-organismes.

Les principaux acteurs de l'épuration dans le lagunage sont les bactéries aérobies et anaérobies, ainsi que les algues. Dans les zones superficielles, les algues réalisent la photosynthèse, produisant de l'oxygène qui diffuse dans l'eau et favorise le développement des bactéries aérobies. Ces bactéries dégradent la matière organique dissoute en dioxyde de carbone, en eau et en biomasse. En parallèle, dans les zones plus profondes ou moins oxygénées, les bactéries anaérobies prennent le relais pour dégrader les sédiments et la matière organique particulaire, produisant du méthane et d'autres gaz.

La symbiose entre les algues et les bactéries est au cœur de l'efficacité du lagunage : les algues fournissent l'oxygène nécessaire aux bactéries, tandis que les bactéries libèrent du dioxyde de carbone utilisé par les algues pour la photosynthèse. Ce système permet une réduction progressive de la charge polluante, notamment la demande biologique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO).

Le temps de séjour prolongé des eaux usées dans les lagunes, souvent de plusieurs semaines, favorise également la décantation naturelle des matières en suspension et la réduction des

Chapitre 2 : Généralités sur le traitement des eaux usées

agents pathogènes sous l'effet combiné de l'exposition au rayonnement solaire, de la sédimentation et de la prédation par certains organismes aquatiques.

Ainsi, le processus dans une station à lagunage est un traitement extensif qui mise sur les interactions naturelles entre micro-organismes et environnement pour assurer une épuration efficace des eaux usées, avec un coût énergétique très faible. (Mara, D. D. (2004)).

2.3.2.3. Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire affine l'effluent pour répondre à des normes de rejet plus strictes (nutriments, micropolluants, pathogènes) ou pour des usages de réutilisation d'eau.

Opérations typiques :

- - Filtration mécanique : filtres à sable, filtres à disques, micro- to ultrafiltration membranes ; abatement supplémentaire des MES et du phosphore particulaire.
 - - Élimination de l'azote : nitrification ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$) puis dénitrification biologique ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$) ou par procédés physico-chimiques (stripping).
 - - Élimination du phosphore : précipitation chimique (sels d'Al ou Fe) ou déphosphatation biologique.
 - - Désinfection : chloration, dioxyde de chlore, ozonation ou irradiation UV pour réduire les pathogènes à $<200 \text{ UFC} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ (norme baignade).
- Adsorption sur charbon actif ou procédés d'oxydation avancée pour les micropolluants (pharmaceutiques). (Tchobanoglous et al., (2014)).

La combinaison séquentielle des traitements primaire, secondaire et tertiaire permet de réduire successivement les matières en suspension, la charge organique dissoute, puis les nutriments et les pathogènes. Le choix et la configuration des procédés dépendent des objectifs de rejet, de la capacité hydraulique et des contraintes d'exploitation de la station.

CHAPITRE 3 :

Matériel et méthodes

3.1. Présentation de l'office national de l'assainissement

Placé sous la tutelle du Ministère des Ressources en Eau, l'Office National de l'Assainissement (ONA) est un établissement public national à caractère industriel et commercial (E.P.I.C.), créé par décret exécutif n° : 01-102 du 21 Avril 2001 (ONA, 2020). Dans le cadre de la mise en œuvre de la politique nationale de l'assainissement, l'Office National de l'Assainissement est chargé sur le territoire national, de l'exploitation, de la maintenance, du renouvellement, de l'extension et de la construction des ouvrages et des infrastructures d'assainissement. Ainsi, il assure :

- La protection et la sauvegarde des ressources et environnement hydrique.
- La lutte contre toutes les sources de pollution hydrique.
- La préservation de la santé publique.

L'ONA assure également pour le compte de l'Etat, la maîtrise d'ouvrage et d'œuvre déléguée concernant les projets d'études, de réalisation de réhabilitation, de diagnostics des stations d'épuration, des réseaux d'assainissement et de collecte de l'eau pluviale ainsi que des stations de relevage. (ONA, 2020).

3.2. Eaux usées et traitement des eaux dans la région de Bejaia

L'unité d'assainissement de Bejaia a été créée le 1er septembre 2006 par décision N°460/ONA/ARA/KH/2006 et a pour mission de transférer à l'ONA les missions, moyens et actifs des régis et services de 52 communes de la wilaya moyennement une convention de transfert. Dans le cadre de la prise en charge de 52 communes, l'unité de Bejaia est organisée en sièges et huit (08) centres opérationnels (Bejaia, Aokas, Kherrata, El-kseur, Sidi-Aich, Amizour, Akbou, Tazmalt).

L'unité de Bejaia gère 23 communes regroupées en six (06) centres d'assainissement (Kherrata, Aokas, Bejaia, El-Kseur, Sidi-Aich et Amizour) (ONA (2015)).

3.3. Cas de la station de Bougie Plage

3.3.1. Historique

La STEP de Bougie Plage est une station d'épuration à boue activée faible charge, elle est conçue en 1983 pour protéger le littoral, lutter contre la prolifération des maladies à transmission hydrique et préserver l'environnement, elle est installée à l'extrémité du réseau de collecte de la ville (Figure II.2). Elle se situe à côté de la route de l'arrière port et s'étend sur un terrain de 5.25 hectares à 0.7 mètre d'altitude pour permettre la collecte gravitaire des

CHAPITRE 3 : Matériel et méthodes

eaux usées.

En 2008, la STEP de BEJAIA a été réhabilitée par l'entreprise EPPM et BONNA Tunisie, le bureau de contrôle et suivi était CTH d'ALGER dans un délai de 12 mois dont la gestion et exploitation étaient confiées pour la commune de BEJAIA.

En 2014, la STEP a été transférée à l'office national de l'assainissement ONA, ce dernier est devenu chargé de la gestion et de l'exploitation à ce jour. En 2017, la STEP a bénéficié de financement de la part du fond national de l'eau dont le projet a pour objet le réaménagement et le renouvellement des équipements pour la mise à niveau de la STEP, réalisé par la SARL HYDROPLUS dans un délai de 11 mois. Les travaux, fournitures et prestations dans le cadre du marché de ce dernier sont composés comme suit :

- Fourniture, installation et mise en service des équipements.
- Réalisation des travaux de génie civil : bloc d'exploitation, clôture et loge gardien.
- Fourniture de matériel, outillages et pièces de rechange pour l'exploitation.



Figure 3.1 : Géolocalisation de la STEP de Bougie Plage (Google maps, 2025)

3.3.2. Dimensionnement et caractéristiques de la STEP

La station de bougie plage est conçue pour traiter les eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Bejaïa. La construction et la mise en place des équipements électromécaniques de cette station devaient se faire en deux phases, permettant de traiter la pollution résultante d'une population équivalente à 80.000 EQ/H en 2014 et 160.000 EQ/H en 2030. Les données

CHAPITRE 3 : Matériel et méthodes

de bases de dimensionnement et caractéristiques d'eau brutes et épurées prévues de cette station sont présentées respectivement dans les tableaux III.1, tableau III.2 et tableau III.3.

Tableau 3.1 : Dimensionnement de la STEP de Bougie Plage

Horizon	2014	2030
Population	80.000 EQ.HAB	160.000 EQ.HAB
Débit de rejet	9.600 m ³ /j	19.200 m ³ /j
Débit de point par temps SEC	936 m ³ /h	1872 m ³ /h
Type de réseau	Unitaire	Unitaire

Tableau 3.2 : Caractéristiques des eaux brutes.

Horizon	2014	2030
Charge journalière en DBO ₅	8000 kg/j	16046 kg/l
Charge journalière en MES	9600 kg/j	3690 kg/l
Charge journalière DCO	6400 kg/j	21394 kg/l

Tableau 3.3 : Caractéristiques des eaux épurées.

Horizon	2014	2030
Charge journalière en DBO ₅	30 MG/L	/
Charge journalière en MES	60 MG/L	/
Charge journalière DCO	30 MG/L	/

La station d'épuration de Bougie Plage comprend une filière eau et filière boues. La première est composée d'un prétraitement, un traitement biologique et une désinfection. Quant à la deuxième elle est constituée d'un bassin d'épaississement suivi par deux installations parallèles :

- Des lits de séchage ;
- un bloc de déshydratation (filtre à bande presseuse, machine de préparation et de dosage de poly électrolyte).

3.4. Caractérisation et analyses des eaux usées au niveau de la station de Bougie Plage

En raison du manque de réactifs et de matériels au niveau du laboratoire de Bougie Plage, la caractérisation approfondie des eaux usées de cette station n'était n'a malheureusement pas été possible. Par conséquent, la station a opté pour les paramètres de pollution mesurables par avec les appareils existants et disponibles.

3.4.1. Échantillonnage

La prise d'échantillons au niveau de cette STEP s'effectue à l'entrée et à la sortie de la station de deux manières différentes :

- Manuellement, à l'aide d'une canne munie d'un flacon de prélèvement (figure 3.2)
- Automatiquement, à l'aide d'un dispositif automatique d'extraction doté de vingt-quatre (24) flacons, de telle sorte qu'il y ait un prélèvement chaque heure à l'entrée et à la sortie de la STEP (figure 3.3).



Figure 3.2 : préleveur automatique.



Figure 3.3 : canne de prélèvement manuel

3.4.2. Analyses et mode opératoire

Au cours de notre stage pratique au sein de la station, on a procédé à la détermination des paramètres effectués de routine sur les eaux usées dans cette station ; à savoir la température, la conductivité électrique (CE), le pH, l'oxygène dissous, les matières en suspension (MES) et la demande biochimique en oxygène (DBO₅). En dessous, le protocole analytique est présenté en détail pour chaque paramètre.

3.4.2.1. Le pH, température (°C), conductivité et oxygène dissout

Ces quatre paramètres sont mesurés simultanément à l'aide de trois sondes (toutes les sondes sont dotées d'un détecteur de température) (Figure III.4). Les électrodes sont plongées dans l'échantillon d'eau usée à analyser pendant quelques minutes ; après stabilisation des instruments, on fait la lecture et on note les valeurs affichées des paramètres en question.



Figure 3.4 : équipement de mesure du pH, de la température, de la conductivité électrique et de l'oxygène dissout

3.4.2.2. Les matières en suspension (MES)

Tout d'abord on prépare notre papier filtre, on le sèche en le mettant dans une étuve (figure III.5) à 105 °C pendant 30 minutes ; une fois la durée de séchage écoulée, on retire les filtres de l'étuve et on les place directement dans le dessiccateur jusqu'à refroidissement.

Dans le but d'assurer une déshumidification totale des filtres, ensuite on pèse ces derniers sur une balance de précision et on les place dans le dispositif de filtration sous vide (figure III.7). Entre-temps, on agite bien les échantillons et on les verse un après l'autre sur les filtres : un volume de 50 ml pour les eaux brutes et 100 ml pour les eaux épurées.

Une fois le processus de filtration terminé, on récupère les filtres et on recommence les opérations de séchage dans l'étuve (cette fois pendant 2 heures), de refroidissement dans le dessiccateur et de pesée, afin d'obtenir la différence des deux pesées (avant et après filtration).

Le calcul des MES se fait par la formule suivante :

$$\text{MES} = (m_1 - m_0) / V \times 100$$

MES = concentration en matières en suspension (mg l⁻¹)

m₀ = masse du papier filtre avant l'utilisation (mg)

m₁ = masse du papier filtre après l'utilisation (mg)

V = volume d'eau utilisé



Figure 3.5 : étuve



Figure 3.6: balance électronique



Figure 3.7: pompe à vide pour système de filtration

3.4.2.3. La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

Avant d'entamer l'analyse, on rince les flacons porte-échantillons (figure 3.8) à l'eau distillée ; d'autre part, on verse une quantité d'eau brute dans une fiole jaugée de 164 ml et une quantité d'eau épurée dans une fiole de 432 ml, 250 ml ou 365 ml. Deux gouttes d'inhibiteur de nitrification sont ajoutées dans chacune des deux fioles tandis qu'un barreau magnétique est placé dans chaque flacon ; deux pastilles de soude sont placées dans les godets en caoutchouc des flacons.

Une fois les flacons prêts, on les place directement dans l'incubateur réglé à 20 °C pendant 5 jours. À la fin de l'incubation, on relève le chiffre affiché sur les manomètres du flacon ambré, puis on choisit le facteur de conversion de chaque fiole en fonction du volume de la prise d'essai (Tableau 3.4).

Tableau 3.4 : Facteur de conversion de la DBO₅ en fonction du volume de prise d'essai

Volume de la prise d'essai (ml)	Intervalle de mesure	Facteur de multiplication
432	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10



Figure 3.8: flacons ambrés dotés de manomètre et réactifs utilisés pour la mesure de la DBO_5

CHAPITRE 4 :

Résultats et discussion

Commenté [H7]: •Harmonisation des termes (ex. « DBO₅ » au lieu de « DBO~5~ ») ;
Uniformisation de la présentation des tableaux et des figures.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Résultats et discussion des analyses effectuées sur les eaux usées

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats physico-chimiques en amont et en aval des étapes de traitement de la station de Bougie Plage. Ces résultats couvrent notre période de stage, complétés par des résultats antérieurs.

A cause de l'arrêt du fonctionnement de la station durant la période précédant notre période de stage, nous avons dû prendre les résultats d'avant l'arrêt pour compléter les nôtres.

4.1.1. La conductivité électrique (CE)

Tableau 4.1 : Variation moyenne mensuelle de la conductivité des eaux brutes (E) et épurées (S) (2024-2025)

Mois	Mars-24	Avril-24	Mai-24	Juin-24	Mai-25	Juin-25
La conductivité à l'entrée (µs/cm)	1904	1786	1961	2038	1967	2006
La conductivité à la sortie (µs/cm)	1992	1943	1987	2132	2083	2126
Normes (OMS)	2500					

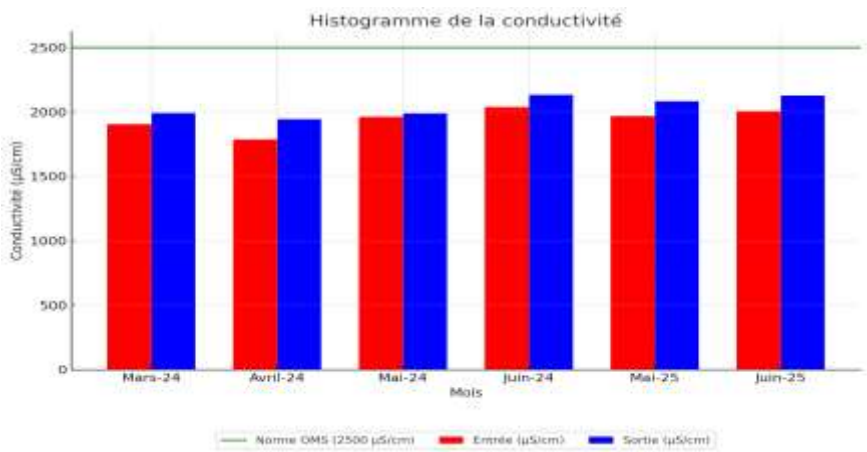


Figure 4.1 : Variation moyenne mensuelle de la conductivité des eaux brutes (E) et épurées (S)

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Le graphique de la figure 4.1 résume les résultats de la conductivité obtenue à l'entrée et à la sortie de la STEP. Entre Mars 2024 et Juin 2025 la conductivité à l'entrée varie entre 1786 et 2038 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et la sortie elle suit cette variation, oscillant entre 1943 et 2132 $\mu\text{s}/\text{cm}$. On remarque que la conductivité à la sortie est légèrement plus élevée que celle à l'entrée pour tous les mois, ce qui n'est pas attendu dans un traitement classique. Cela pourrait être lié à des facteurs saisonniers, comme l'évaporation accrue ou l'apport de polluants pendant les périodes chaudes, l'augmentation reste toutefois modeste (dans l'ordre de +50 à +150 $\mu\text{s}/\text{cm}$ selon le mois).

Dans tous les cas, les valeurs de la conductivité à la sortie restent inférieures à la limites OMS de 2500 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Cela signifie que le traitement est globalement efficace pour la maintenir dans les normes recommandées.

Cependant, le fait que la conductivité de l'eau épurée soit systématiquement plus élevée que celle de l'eau brute mérite une investigation plus approfondie. Il serait également intéressant de comparer ces données à d'autres paramètres (pH, Température, oxygène dissous...) pour évaluer la qualité globale du traitement.

4.1.2. Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Tableau 4.2 : Variation moyenne mensuelle du ph des eaux brutes (E) et épurées (S) (2024-2025)

Mois	Mars-24	Avril-24	Mai-24	Juin-24	Mai-25	Juin-25
pH à l'entrée	7,78	7,92	7,88	7,78	8,2	7,75
pH à la sortie	7,97	8,04	8,04	8,09	7,935	7,956
Normes (OMS)	[6.5-8.5]					

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

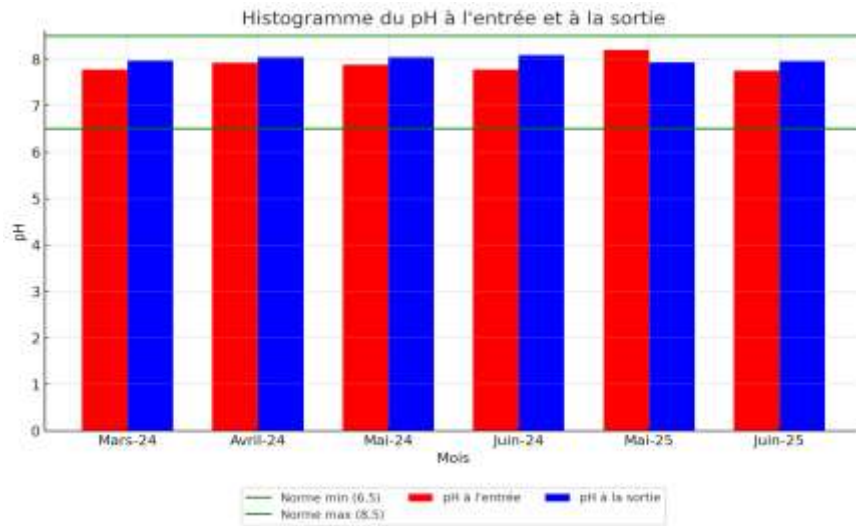


Figure 4.2 : Variation moyenne mensuelle du pH des eaux brutes (E) et épurées (S)

Le graphique de la figure 4.2 représente les variations moyennes mensuelles du pH pour chaque mois à l'entrée et à la sortie.

Le pH à l'entrée est relativement stable, oscillant entre 7,75 et 8,20. A la sortie il est légèrement plus élevé que celui à l'entrée pour tous les mois sauf en Mai 2025 où il y a une légère diminution.

Le pH est toujours compris entre 6,5 et 8,5 tant à l'entrée qu'à la sortie. Cela montre que l'eau respecte en permanence les recommandations de l'OMS concernant l'alcalinité et l'acidité, évitant ainsi des problèmes pour la santé humaine et les réseaux de distribution. La légère augmentation du pH à la sortie est normale si elle est maîtrisée, mais il reste important de surveiller de près en cas de variations plus importantes. La stabilité du pH d'un mois à l'autre traduit un processus de traitement bien maîtrisé, malgré des fluctuations mineures possiblement liées aux variations saisonnières de la qualité de l'eau brute.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

4.1.3. La température (T)

Tableau 4.3 : Variation moyenne mensuelle de la Température des eaux brutes (E) et épurées (S) (2024-2025)

Mois	Mars-24	Avril-24	Mai-24	Juin-24	Mai-25	Juin-25
La température à l'entrée (°C)	18,96	19,98	22,05	24,92	22,6	24,2
La température à la sortie (°C)	18,31	19,7	21,93	24,82	22,58	25,26
Normes OMS	30					

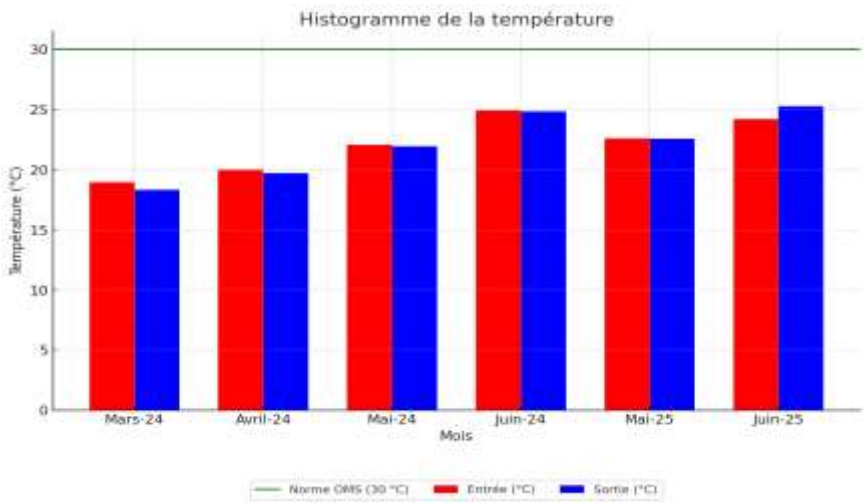


Figure 4.3 : Variation moyenne mensuelle de la température des eaux brutes (E) et épurées (S)

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de la température moyenne mensuelle mesurée à l'entrée et la sortie de la station sont représentés dans le graphique sur la figure 4.3.

On remarque que la température de l'eau suit une tendance saisonnière logique : elle est basse en Mars-Avril (18,31-19,7 °C) et augmente en Mai-Juin (Jusqu'à 25 °C). Les températures les plus élevées sont observées en Juin 2024 et Juin 2025, atteignant respectivement 24,82 °C et 25,26 °C à la sortie.

Les différences de température entre entrée et sortie sont faibles (moins de 1°C), ce qui montre que le processus de traitement n'entraîne pas de réchauffement significatif de l'eau. Dans le cas du mois de Juin 2025, la température à la sortie est légèrement supérieure à celle de l'entrée mais la différence reste minime et sans incidence notable.

Dans tous les cas, la température de l'eau à la sortie reste bien en dessous de la limite de 30°C. cela montre que le traitement et le rejet de l'eau ne créent pas de pollution thermique excessive susceptible de perturber le milieu aquatique.

4.1.4. L'oxygène dissous (OD)

Tableau 4.4 : Variation moyenne mensuelle de l'oxygène dissous des eaux brutes (E) et épurées (S) (2024-2025)

Mois	Mars-24	Avril-24	Mai-24	Juin-24	Mai-25	Juin-25
L'oxygène dissous à l'entrée (mg/l)	3,26	1,81	2,04	1,74	2,57	1,18
L'oxygène dissous à la sortie (mg/l)	6,75	5,38	5,22	5,45	3,923	5,306
Normes OMS	5					

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

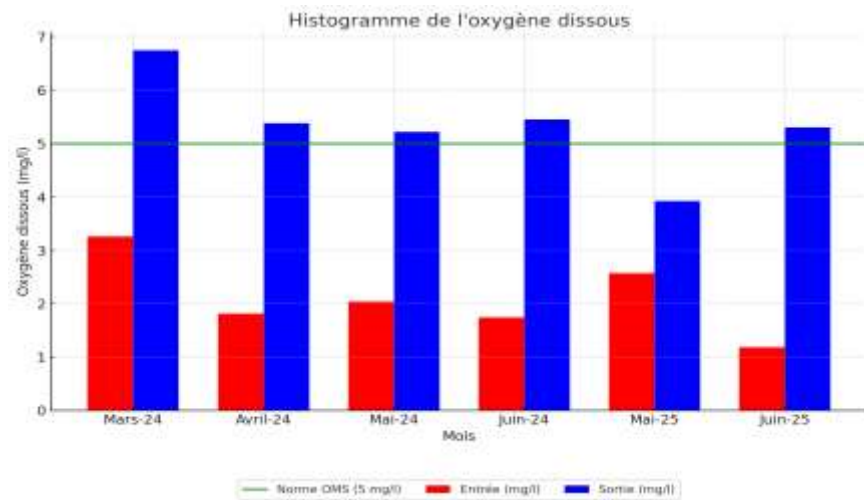


Figure 4.4 : Variation moyenne mensuelle de l'oxygène dissous des eaux brutes (E) et épurées (S)

L'OD à l'entrée est systématiquement faible ($<3,5$ mg/l) et chute même à 1,18 mg/l en juin 2025, comme on peut l'observer sur le graphique de la figure 4.4, traduisant une eau brute très appauvrie en oxygène, probablement en raison d'une forte pollution organique ou de température élevée favorisant la désoxygénation. Les valeurs à la sortie restent globalement stables et supérieures à 5 mg/l, sauf en Mai 2025, confirmant l'efficacité générale de l'aération ou de l'oxygénation pendant le traitement. En Mai 2025, la valeur de l'oxygène dissous à la sortie est en dessous de la norme ce qui indique un problème ponctuel dans le traitement ou une possible surcharge en matière organique, ayant entraîné une consommation accrue d'oxygène.

Le traitement parvient généralement à augmenter la concentration en oxygène dissous, ce qui est un signe positif de l'amélioration de la qualité de l'eau. Dans cinq des six mois l'oxygène dépasse la norme minimale de 5 mg/l fixée par l'OMS.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

4.1.5. Les matières en suspension (MES)

Tableau 4.5 : Variation moyenne mensuelle des MES des eaux brutes (E) et épurées (S)
(2024-2025)

Mois	Mars-24	Avril-24	Mai-24	Juin-24	Mai-25	Juin-25
MES à l'entrée (mg/l)	149	159,2	372,8	371	130	325
MES à la sortie (mg/l)	72,38	42,4	56,8	67	32,5	32,5
Rendement %	51,42	73,37	84,76	81,94	75	90
Normes (STEP)	30					

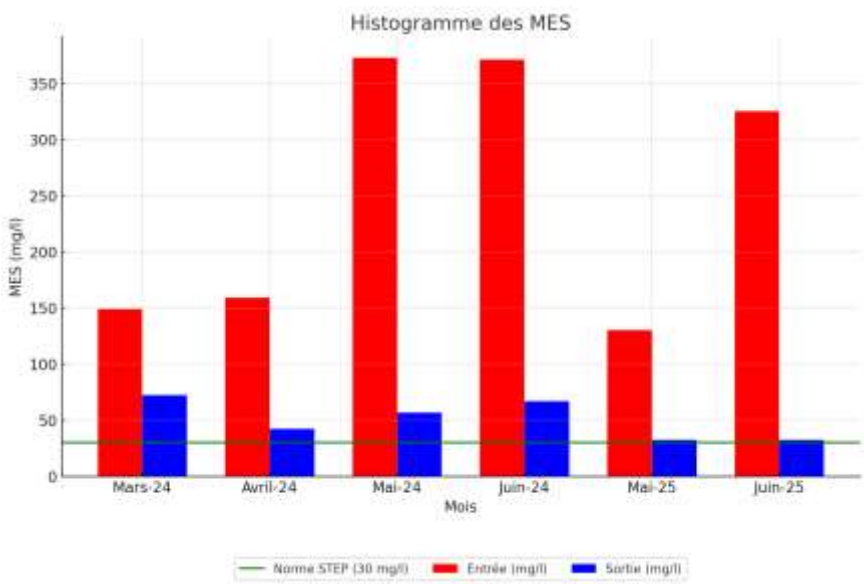


Figure 4.5 : Variation moyenne mensuelle des MES des eaux brutes (E) et épurées (S)

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

On observe dans le graphique de la figure 4.5 que la concentration en MES à l'entrée varie fortement selon les mois : de 130 mg/l (Mai 2025) à des pics de plus de 370 mg/l (Mai-Juin 2024), ce qui peut traduire des événements climatiques ou des apports de pollutions ponctuelles. Les valeurs de MES à la sortie sont relativement stable, autour de 30 à 70 mg/l, malgré la variabilité des charge d'entrée, ce qui démontre la capacité d'adaptation du traitement.

Les rendements d'élimination de MES sont globalement élevés, variant de 51,42% à 90% montrant l'efficacité globale de la station d'épuration pour réduire la charge en MES.

Aucune valeur de MES à la sortie ne descend en dessous de la norme de 30 mg/l, ce qui signifie que le traitement n'atteint pas totalement les exigences réglementaires de qualité de rejet. Ces résultats soulignent la nécessité d'optimiser certaines étapes du traitement (clarification, décantation) pour assurer une conformité totale et réduire la variabilité des pe

4.1.6. La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

Tableau 4.6 : Variation moyenne mensuelle de la DBO₅ des eaux brutes (E) et épurées (S) (2024-2025)

Mois	Mars-24	Avril-24	Mai-24	Juin-24	Mai-25	Juin-25
DBO ₅ à l'entrée (mg/l)	/	/	/	/	175	403,3
DBO ₅ à la sortie (mg/l)	/	/	/	/	82,5	71,67
Rendement %	/	/	/	/	52,86	82,23
Normes (STEP)	20					

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION



Figure 4.6 : Variation moyenne mensuelle de la DBO₅ des eaux brutes (E) et épurées (S)

La Figure 4.6 présente un graphique des résultats du test de la DBO₅ en Mai 2025 et Juin 2025. Le manque de données des mois précédents est dû à l'absence des réactifs et matériels, au niveau de la station, pour effectuer les tests.

Les valeurs de la DBO₅ à l'entrée sont très variables : 175 mg/l en Mai 2025 et un pic extrême de 403,3 mg/l en Juin 2025, ce qui indique une arrivée massive de pollutions organiques à certains moments (ex. déversements accidentels, événement pluvieux lessivant des matières organiques...etc.).

Pour les mois où des données existent les rendements d'élimination sont respectivement de 52,86% et 82,23%. Cela montre une capacité du traitement à réduire la charge organique, mais de manière très variable selon la charge d'entrée.

Les DBO₅ mesurées à la sortie sont très largement supérieures à la norme fixée à 20 mg/l ce qui indique un rejet non conforme en matière de pollution organique. Ces niveaux élevés de DBO₅ à la sortie traduisent un risque environnemental pour le milieu récepteur, notamment un appauvrissement en oxygène susceptible d'affecter la vie aquatique. Il est nécessaire d'améliorer les capacités de traitement (augmentation du temps de séjour, renforcement des étapes biologiques...).

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

L'absence de mesure de Mars à Juin 2024 limite l'interprétation globale de la performance annuelle du traitement. La mise en place d'un suivi plus complet sur l'année permettrait une meilleure compréhension et optimisation du procédé.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

L'objectif de ce mémoire de fin d'études était de réaliser une étude approfondie des traitements en place à la station d'épuration de Bougi Plage afin de comprendre les méthodes utilisées pour l'élimination des micropolluants dans les eaux usées.

Commenté [H8]: de réaliser

Commenté [H9]: utilisées

L'analyse des paramètres physico-chimiques et biologiques des eaux brutes et épurées, réalisée de mars 2024 à juin 2025, a permis d'établir un bilan détaillé sur l'efficacité et les limites du système de traitement étudié.

Globalement, les résultats montrent que la station d'épuration parvient à maintenir certains paramètres essentiels dans les normes recommandées : le pH, la conductivité et la température des eaux épurées respectent constamment les seuils fixés par l'OMS, garantissant ainsi une qualité compatible avec les exigences environnementales et sanitaires. Les mesures d'oxygène dissous indiquent, dans la majorité des cas, une bonne oxygénation des eaux traitées, témoignant d'une efficacité correcte du traitement biologique.

Commenté [H10]: témoignant

Cependant, plusieurs résultats révèlent des insuffisances significatives : les matières en suspension (MES) restent systématiquement supérieures à la norme de 30 mg/l malgré des rendements élevés, indiquant un traitement partiel mais incomplet de cette pollution. La demande biochimique en oxygène (DBO₅) présente des concentrations très élevées en sortie lors des périodes mesurées (mai et juin 2025), dépassant largement la norme de 20 mg/l. Ces valeurs traduisent une capacité de traitement insuffisante face aux fortes charges organiques, notamment en période de surcharge. Les variations importantes des charges d'entrée (MES et DBO₅) témoignent d'une vulnérabilité du système aux apports polluants ponctuels ou saisonniers, limitant sa régularité de performance.

Ainsi, l'ensemble de ces résultats conduit à conclure que si le traitement est globalement efficace sur certains paramètres physico-chimiques, il reste insuffisant pour garantir une qualité épuratoire conforme aux normes réglementaires concernant la pollution organique et les matières en suspension. Ces insuffisances pourraient compromettre la protection du milieu naturel récepteur, notamment en période de fortes charges polluantes.

Il apparaît donc nécessaire de renforcer le traitement biologique et la clarification finale, et de mettre en place un suivi plus régulier et complet des paramètres de pollution, afin de mieux

Conclusion générale

anticiper et corriger les variations de la qualité des eaux usées. Ces améliorations sont indispensables pour garantir la conformité du système aux normes environnementales et assurer une protection efficace de l'écosystème.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie

- Bitton, G. (2005).** Wastewater microbiology (3rd ed.). Wiley-Liss.
- Brausch, J. M., Rand, G. M. (2011).** A review of personal care products in the aquatic environment: Environmental concentrations and toxicity. *Chemosphere*, 82 (11).
- Choubert, J.M., et al. (2011).** "Les micropolluants dans les eaux usées : connaissances et traitement." *Techniques Sciences Méthodes (TSM)*, 6, 39-50.
- Degremont (2005).** Mémento technique de l'eau. Lavoisier.
- Eldberg, S. C., Rice, E. W., Karlin, R. J., & Allen, M. J. (2000).** Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Symposium Series (Society for Applied Microbiology)*, (29), 106S–116S.
- Fenner, K. et al., 2013.** Evaluating Pesticide Degradation in the Environment: Blind Spots and Emerging Opportunities. *Environmental Science & Technology*, vol. 47.
- Fletcher, T.D., Andrieu, H., Hamel, P. (2008).** "Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art." *Advances in Water Resources*, 51, 261–279.
- Fisher, S.W., et al. (2006).** "Trophic transfer of PCBs from contaminated sediments through benthic food webs." *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25(11), 3107-3116.
- Göbel et al., 2007,** *Science of the Total Environment*, vol. 389, pp. 48–58.
- He, X., De los Reyes, F. L., & Ducoste, J. (2017).** A critical review of fat, oil and grease (FOG) in sewer systems. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*.
- He, Y. et al., 2015.** Occurrence of Heavy Metals in Surface Water of the Yangtze River and Their Potential Ecological Risks. *Water Research*, vol. 80.
- Henze, M., van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A., & Brdjanovic, D. (2008).** Biological Wastewater Treatment. IWA Publishing.
- Kidd, K.A., et al. (2007).** "Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(21), 8897-8901.
- Kümmerer, K., 2009.** Pharmaceuticals in the Environment. Springer.

Leclerc, H., Mossel, D. A. A., Edberg, S. C., & Struijk, C. B. (2001). Advances in the bacteriology of the coliform group: their suitability as markers of microbial water safety. *Annual Review of Microbiology*, 55(1), 201–234.

Luo et al., 2014, *Science of the Total Environment*, vol. 473–474, pp. 619–641

Mara, D. D. (2004). Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries. Earthscan.

Metcalf & Eddy (2004). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill.

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

Metcalf & Eddy, Inc. (2023). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (6^e éd.). McGraw-Hill.

Office National de l'Assainissement. (2015).

Office National de l'Assainissement. (2020).

Rapport mondial des nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau. (2020). L'eau et les changements climatiques.

Richardson, S.D. & Ternes, T.A., 2011. Water Analysis: Emerging Contaminants and Current Issues. *Analytical Chemistry*, vol. 83, pp. 4614–4648.

Rodier, J. et al. (2016). L'analyse de l'eau – 10e édition. Dunod.

Rodier, J. (2009). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Paris: Dunod.

Schwarzenbach, R.P., et al. (2006). "The challenge of micropollutants in aquatic systems." *Science*, 313(5790), 1072-1077.

Stehle & Schulz, 2015, *PNAS*, vol. 112, no 18, pp. 5750–5755

Tchobanoglous, G., Burton, F.L., & Stensel, H.D. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill.

Tchobanoglous, G., Stensel, H., & Burton, F. (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5^e éd.). McGraw-Hill.

United States Environmental Protection Agency (2012). Guidelines for water Reuse. Washington, DC.

U.S. Environmental Protection Agency (2012). Wastewater Technology Fact Sheet:
Screening and Grit Removal. Washington, DC.

U.S. Environmental Protection Agency (2021). Secondary Treatment Regulation (40 CFR
Part 133) – Guidance and Fact Sheet. Washington, DC.

World Health Organization (WHO) (2017). "Water Pollution and Health Risks." Geneva.

Résumé

Ce mémoire porte sur la méthodologie appliquée pour l'élimination des micropolluants dans les eaux usées de la STEP de Bejaia (Bougie Plage). L'objectif principal est de faire une étude approfondie des procédés en place afin de dresser un bilan détaillé sur l'efficacité et les limites des traitements utilisés. La méthodologie adoptée consiste à analyser les caractéristiques des eaux usées.

Les résultats obtenus montrent une efficacité pour maintenir certains paramètres dans les normes recommandées, tout en mettant en évidence des insuffisances, malgré des rendements élevés pour d'autres paramètres indiquant un traitement partiel mais incomplet de ces polluants. Cette étude contribue à proposer des solutions pour l'amélioration des traitements afin de neutraliser ces micropolluants et la protection des ressources Hydriques.

Mots clés: eaux usées, micropolluants, STEP, traitement, ressources Hydriques

Abstract

This thesis focuses on the applied methodology for the elimination of micropollutants from the wastewater of the Bejaia WWTP (Bougie Plage). The main objective is to conduct an in-depth study of the existing processes in order to establish a detailed assessment of their efficiency and the limitations of the treatments used. The adopted methodology consists in analyzing the characteristics of wastewater.

The results show an efficiency in maintaining certain parameters within the recommended standards, while also highlighting shortcomings, with high removal rates for some parameters indicating a partial but incomplete treatment for these pollutants. This study contributes to proposing solutions to improve treatment processes to neutralize these micropollutants and protect water resources.

Keywords: wastewater, micropollutants, WWTP, treatment, water resources