

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Amar Telidji-Laghouat

Faculté des sciences
Département de biologie



Mémoire pour l'obtention d'un master en microbiologie
Intitulé

**Évaluation bactérienne des bassins d'activation des boues,
Et son lien avec les paramètres physico_chimiques et
environnementaux. Cas de la station d'épuration de
Laghouat**

Présenté par :

- HAMDI IKRAM
- BOUSSEBCI SIRINE
- KHENCHA NAIMA

Membre du jury

KHEDIM RABAH	MCB	Université de Laghouat	Président
MIHOUB REDOUANE	MCA	Université de Laghouat	Encadreur
BENAMAR IBRAHIM	MCB	Université de Laghouat	Co-encadreur
MESSAOUDI OMAR	MCA	Université de Laghouat	Examineur

Année universitaire 2024-2025

Remerciement

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
"وَأَجْرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ"

إلى أولئك الذين خطّوا أحلامهم على جدران الجامعات،
وحملوا دفاترهم بكل حب في طريقهم نحو التخرّج،
...إلى طلبة غزّة الجامعيين
...الذين رحلوا قبل أن تكتمل فرحتهم، وقبل أن يُنادَ بأسمائهم في يوم التتويج

صعدوا شهداء للعلم، للكرامة، وللأمل الذي لا يُطفأ.

سلامٌ على أرواحكم الطاهرة، وموعنا عند ربّ لا ينسى،
عند العدل الحق، الذي لا تغيب عنه التفاصيل ولا الأحلام المنكوبة.

Avant toute chose, nous remercions Allah Tout-Puissant, source de force, de patience et de persévérance, qui nous a permis d'accomplir ce travail.

Nous exprimons aussi notre gratitude à l'Université Amar Telidji - Laghouat, pour le cadre académique et les conditions favorables qu'elle nous a offertes pour la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à nos encadrants, Monsieur Mihoub et Monsieur Ben Amer, pour leur confiance, leur patience et leur accompagnement précieux tout au long de ce travail.

Un chaleureux merci à l'équipe de la station d'épuration de Laghouat, pour leur accueil généreux, leur collaboration et les informations essentielles qu'ils ont mises à notre disposition.

Nos remerciements vont également à l'équipe du laboratoire Yousfi, pour leur soutien technique et matériel, ainsi que pour leur présence à nos côtés durant toute la phase de travail.

Et enfin, merci du fond du cœur à toutes celles et tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail. Que Dieu vous récompense pour votre bienveillance et votre soutien.

Sirine , ikram, naima

Dédicace

Avant tout... الحمد لله! Celui qui m'a portée quand j'avais plus de force, Celui qui m'a donné la patience quand j'avais envie d'abandonner... Celui qui m'a toujours répondu, même dans mes silences. Sans Lui, rien, absolument rien, n'aurait été possible.

Aujourd'hui, je termine ce mémoire... les mains fatiguées, mais le cœur rempli. C'est beaucoup d'émotion, beaucoup de larmes gardées, de nuits blanches, de prières en cachette. Et je ne peux pas refermer cette étape sans dire merci... du fond du cœur.

Merci papa... merci maman.

Vous êtes mes piliers. Papa, tu ne dis pas beaucoup, mais dans ton regard, j'ai toujours lu la fierté et la force. Maman... je ne sais même pas par où commencer. Ton amour, je le ressens même quand tu ne dis rien. Tes prières, je les entends même quand tu les murmures. Ton cœur m'a portée plus que mes propres jambes. Ce mémoire, chaque ligne, chaque mot, c'est grâce à vous. Il est à vous avant d'être à moi.

Merci à Youcef, mon frère, mon bras droit. Ce mémoire, je l'ai fait avec toi. Tu m'as aidée, corrigée, soutenue, écoutée... même quand j'étais insupportable. Tu ne m'as jamais lâchée, même quand moi, j'avais envie de tout lâcher. Ton calme m'a sauvée plus d'une fois. Merci pour tout.

Merci à Meriem, ma sœur, ma complice, ma douceur. Quand tout devenait lourd, tu étais là. Parfois, tu ne disais rien, mais ton regard suffisait. Ta tendresse, ta manière d'être présente sans faire de bruit... c'était exactement ce dont j'avais besoin. Merci pour ton amour constant.

Un bisou énorme à mon petit Ahmed, mon rayon de soleil. Même quand j'étais à bout, ton sourire effaçait tout. Tu ne sais pas ce que t'as fait... mais t'as mis de la lumière dans mes journées.

Merci à Hadjer, mon amie, ma sœur de cœur. T'as été là dans les vraies galères. T'as écouté mes plaintes, séché mes larmes, supporté mes silences. Tu m'as tenue la main dans les moments où j'y croyais plus. Tu sais être là, vraiment là. Merci pour ta loyauté, ton cœur propre, et ta présence qui rassure.

Merci aussi à Naïma et Ikram, mes binômes de travail mais surtout mes amies. On l'a vécu ce mémoire, de A à Z. Les recherches, le stress, les coups de fatigue, les cafés à la hâte, les fous rires nerveux. Merci pour votre énergie, votre courage, et votre patience avec moi.

Un grand merci à Monsieur Benameur Ibrahim et Monsieur Mihoub, mes encadreurs. Merci pour votre bienveillance, votre écoute et vos conseils. Vous m'avez guidée sans jamais me juger. Merci de croire en moi.

Et à tous ceux qui ont, même sans le savoir, laissé un petit mot, un sourire, un geste... vous m'avez aidée. Merci.

Ce mémoire porte mon nom, mais il raconte un peu de chacun de vous.

Sirine

Avant tout, mes remerciements vont à Dieu, Lui seul qui m'a comblée de Ses bénédictions: la réussite, la santé, la force, la patience... C'est Lui qui a exaucé mes prières et m'a menée à ce moment tant rêvé.

À la petite Ikram. Sois fière de toi. Aujourd'hui, tu goûtes aux fruits de tes efforts et de ta persévérance tout au long de ton parcours.

À celui qui m'a dit un jour que j'étais la prune de ses yeux, celui qui a vu dans mes moindres réussites de grandes victoires...

À l'homme de ma vie, mon père Ahmed, modèle de force, de rigueur et d'engagement. Tout ce que je suis aujourd'hui, je te le dois.

À celle dont les paroles m'ont accompagnée depuis l'enfance, la première femme forte que j'ai connue, ma mère Fatima. Merci pour ton amour, ta patience et tes prières.

À mes sœurs et mon frère d'amour. Mon pilier, ma force, mes soutiens inconditionnels, mes sources d'encouragement et de réconfort.

À Soumia et sa petite famille.

À Abdelkader et sa petite famille.

À Mamma et sa famille.

À Salsabil, ma petite sœur et complice de tous les instants.

À ma chère grand-mère. Puisse Dieu lui accorder une longue vie remplie de paix et de sérénité.

À mes compagnes de cœur et d'âme - Naïma, Sirine et Hadjer - celles qui ont illuminé mes jours et apaisé mes nuits.

Avec Naïma et Sirine, j'ai partagé les bancs de la fac, les projets, les révisions, le stress... mais surtout tant d'éclats de rire et de confidences vraies. Vous avez été mes piliers dans cette aventure.

Hadjer, mon amie fidèle, mon refuge, mon oreille attentive et précieuse, mon soutien indéfectible dans tout.

A Naïma, ma cousine. Merci pour ta présence sincère, ton soutien tendre et ta bienveillance. Ton affection m'a portée plus que tu ne l'imagines.

Enfin, merci à toutes les personnes qui m'ont soutenue, guidée ou simplement cru en moi, notamment mes enseignants et mes encadrants.

Ikram

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu Tout-Puissant pour Sa miséricorde, Sa guidance et Sa force qui m'ont accompagné tout au long de ce parcours.

Je dédie ce travail à moi-même, en reconnaissance de mes efforts, ma persévérance et ma foi en l'accomplissement de ce projet.

A mon très cher père ABDERHMANE, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

À ma très chère mère FATOUME, source d'amour et de tendresse, pour ses prières, son soutien inconditionnel et constant, et surtout, pour m'avoir toujours donné la force et l'espoir de continuer, même dans les moments les plus difficiles.

A mon adorable grande mère zohra; Avec mes souhaits d'une longue vie.

À ma chère grand-mère Safia, qui nous a quittés pour la miséricorde de Dieu, Ton souvenir est gravé dans mon cœur et ton amour est éternel.

*A mes très chers frères Mokhtar , Salah ,
Abderrazake pour leur aide, leurs encouragements et leur bienveillance tout au long de ce parcours. Merci de tout cœur.*

Je remercie ma chère sœur Fatima et sa petite famille pour leur précieux soutien et leur présence tout au long de ce parcours.

À ma précieuse amie hadjer , pour sa bienveillance, son soutien moral et sa présence dans les moments les plus difficiles.

À mes binômes Sirine et Ikram, avec qui j'ai partagé ce parcours. Merci pour votre sérieux, votre complicité et ces moments de travail et de soutien mutuel qui ont enrichi ce mémoire et allégé son chemin.

A toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont apportée leurs aides.

A tous, du fond de mon cœur je vous dédie ce travail.

Naima

Résumé

L'épuration des eaux usées par boues activées en Algérie est un sujet qui demeure un sujet préoccupant, malgré les nombreuses initiatives entreprises jusqu'à ce jour. La station d'épuration à faible charge en stabilisation aérobie de la ville de Laghouat (Algérie), est un procédé de traitement qui a constitué un bel exemple de ce type de procédé.

Les objectifs de ces travaux visent à évaluer la population bactérienne qui caractérise les systèmes de biotraitement par boues activées et à contrôler la qualité de l'effluent. Ces travaux ouvrent la voie à deux prolongements. D'abord, un travail expérimental effectué au laboratoire est nécessaire pour déterminer et quantifier l'effet des paramètres bactériologiques qui affectent la décantation des boues et la dégradation de la matière organique. Par ailleurs, Le travail est basé sur l'analyse technique des paramètres physico-chimiques dans l'environnement des années (2020, 2021, 2022, et 2023). Le traitement de ces paramètres de pollution (DBO, DCO, MES, NO₂, NO₃, etc.), a été estimé et évalué à partir des données fournies par cette station.

Le fonctionnement de la station montre une bonne performance des bassins d'épuration dont l'activité bactérienne est importante et donc une dégradation importante de la matière organique avec un rendement parfait. Les résultats des tests ont été dans les normes, de sorte que les résultats correspondent à la présente normalisation algérienne, sauf parfois les arrêts inattendus et les travaux d'entretien de la station perturbent le bon fonctionnement de celle-ci.

Mots clés : Eaux usées, boues activées, épuration, Laghouat, bactérie.

Abstract

The purification of wastewater by activated sludge in Algeria is a subject that remains a worrying subject, despite the many initiatives undertaken to date. The low-load aerobic stabilization wastewater treatment plant in the city of Laghouat (Algeria), is a treatment process that has constituted a fine example of this type of process.

The objectives of this work are to evaluate the bacterial population that characterizes activated sludge biotreatment systems and to control the quality of the effluent. These works pave the way for two extensions. First, an experimental work carried out in the laboratory is necessary to determine and quantify the effect of the bacteriological parameters that affect the settling of sludge and the degradation of organic matter. Moreover, The work is based on the technical analysis of the physico-chemical and environmental

parameters of the years {2020,2021, 2022, and 2023}. The treatment of these pollution parameters {BOD, COD, MES, NO₂, NO₃, etc. }, has been estimated and evaluated from the data provided by this station.

The operation of the station shows a good performance of the purification basins whose bacterial activity is important and therefore a significant degradation of the organic matter with a perfect yield. The test results were within the standards, so that the results correspond to the present Algerian standardization, except sometimes unexpected stops and maintenance work of the station disrupt the proper functioning of it.

Keywords: Wastewater, activated sludge, treatment, Laghouat, bacteria.

المخلص

تُعد معالجة مياه الصرف الصحي من التحديات البيئية الأساسية في الجزائر، خاصةً في المناطق الجافة وشبه الجافة كولاية الأغواط. وقد تم اعتماد محطة المعالجة التي تعتمد على نظام بيولوجي منخفض الحمل وتهوية مستمرة كنموذج فعال وملائم للظروف المناخية والاقتصادية لهذه المنطقة

يرتكز هذا العمل على تقييم مدى كفاءة هذه المحطة من الناحية البكتريولوجية والفيزيوكيميائية، من خلال تحليل نوعية المياه المعالجة ومقارنتها بالمعايير البيئية المعتمدة. شمل التقييم تحاليل مخبرية دقيقة تم إجراؤها خلال ثلاث حملات ميدانية، إضافة إلى دراسة تقنية لبيانات (2020-2023) المحطة المسجلة خلال أربع سنوات متتالية

أظهرت النتائج أن النشاط البكتيري في خزانات الأكسدة كان فعالاً، وأسهم في إزالة نسبة معتبرة من المواد العضوية، مما يدل على أداء جيد للمعالجة. كما بينت المتابعة الفيزيائية والكيميائية للمياه المعالجة احتراماً مقبولاً للمعايير التنظيمية، رغم بعض التذبذبات التي لوحظت خلال فترات التوقف المفاجئ أو أعمال الصيانة

يسلط هذا البحث الضوء على أهمية تحسين شروط التشغيل والمتابعة الدورية للمحطات المشابهة، ويؤكد دورها الحيوي في الحد من تأثيرات التلوث على البيئة والصحة العامة في المناطق ذات الحساسية البيئية العالية

الكلمات المفتاحية

مياه الصرف الصحي، المعالجة البيولوجية، محطة المعالجة، التلوث البيئي، الأغواط، بكتيريا

Liste des figures

Figure 1 . Localisation géographique de la wilaya de Laghouat.	21
Figure 2 . Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Laghouat(DHW, 2023).....	24
Figure 3 . Vue d'ensemble sur la station d'épuration de Laghouat.	Error! Bookmark not defined.
Figure 4 . Degrilleur.....	27
Figure 5 . Dessableur	28
Figure 6 . Déshuileur.....	29
Figure 7 . Bassins d'activation de boues	30
Figure 8 . Bassins clarificateur	31
Figure 9 . Séchage des boues.	32
Figure 10 . Fonctionnement globale de la station d'épuration.	33
Figure 11 .Les échantillons des trois points de prélèvement.	34
Figure 12 . Préparation des milieux des cultures.	36
Figure 13 . Collage des boîtes Pétri	36
Figure 14 . Incubation des boîtes	37
Figure 15 . Histogrammes de variation de la DBO des années 2020,2021,2022 et 2023.	44
Figure 16 . Histogrammes de variation de la DCO des années 2020, 2021,2022 et 2023.....	46
Figure 17 . Histogrammes de variation du coefficient de biodégradabilité K des années 2020 et 2021.	47
Figure 18 . Histogrammes de variation du coefficient de biodégradabilité K des années 2022 et 2023.....	47
Figure 19 . Histogrammes de variation des matières en suspension des années 2020,2021,2022 et 2023.....	49
Figure 20 . Histogrammes de variation des Nitrites des années 2022 et 2023.....	51
Figure 21 . Histogrammes de variation des Nitrates des années 2020,2021 2022 et 2023.....	52
Figure 22 . Histogrammes de variation des NH ₄ des années ,2022 et 2023.	52
Figure 23 . Histogrammes de variation des Températures des années 2020 et 2021.....	53
Figure 24 . Histogrammes de variation des T températures des eaux des années 2022 et 2023.....	54
Figure 25 . Histogrammes des concentrations moyennes des principaux groupes microbiens recherchés (coliformes totaux, entérocoques fécaux, streptocoques fécaux, entérobactéries).	57
Figure 26 . Histogrammes de corrélation bactérienne.....	58
Figure 27 . Plots de variation.	58
Figure 28 . Test de comparaison multiple de Tukey.	59
Figure 29 . Projection des différentes observations.	60
Figure 30 . Graphique de corrélation (coefficient de Biodégradabilité (K), groupes bactériens).	61
Figure 31 . Bassins d'activation de boues.	62

Liste des Tableaux

Tableau 1. Découpage administrative de la wilaya de Laghouat.....	20
Tableau 2. Données climatiques de Laghouat – Algérie , (ONM 2020).....	22
Tableau 3 . Normes de rejets internationales pour la classification des eaux usées.	25
Tableau 4 . Valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérienne, 2006).	25
Tableau 5 . Caractéristiques des grilles.....	27
Tableau 6. Analyses des paramètres physicochimiques et environnementaux des eaux de la station d'épuration de Laghouat.....	40
Tableau 7. Résultats du dénombrement initial des unités.	54
Tableau 8. Résultats détaillés des analyses de confirmation réalisées.	55
Tableau 9. concentrations moyennes des principaux groupes microbiens recherchés.....	55

Tables des matières

<i>Remerciement</i>	ii
<i>Dédicace</i>	iii
Résumé	vi
Abstract	vi
<i>Introduction</i>	1
Introduction	2
<i>Chapitre I</i>	4
1. Généralités sur l'eau et les eaux usées	5
1.1. Définition des eaux	5
• Eau de pluie	5
• Eaux souterraines	5
• Eaux de surface	5
1.2. Les eaux usées	6
1.3. L'eau : ressource vitale et enjeux globaux	7
1.6. Enjeux de l'assainissement dans les pays en développement	9
2. Microbiologie des eaux usées	10
2.1 .Communautés microbiennes dans les eaux usées	10
2.2. Pathogènes hydriques et indicateurs de contamination fécale	11
2.3 .Risques sanitaires liés eaux usées non traitées	12
3. Physico-chimie des eaux usées	13
3.1. Paramètres physico-chimiques clés	13
3.2. Impact des paramètres physico-chimiques sur le traitement	14
3.3. Micropolluants émergents	14
4. Méthodes d'épuration des eaux usées	14
4.1. Traitements conventionnels	14
4.2. Innovations récentes en traitement des eaux	15
4.3. Désinfection des effluents	16
5. Défis et perspectives	16
6. Limites des systèmes actuels	17
6.1. Solutions prometteuses	18
<i>Chapitre II</i>	19
<i>Matériels et Méthodes</i>	19
1.1. Localisation de la wilaya de Laghouat	20
1.2. Géologie de la région	21
1.3. Climatologie de Laghouat	21
1,4. Classification des différentes zones	23

1.5. Rayonnement solaire et durée d'insolation.....	23
1.6. Réseau hydrographique de la région	23
2. Description théorique du procédés d'épuration biologique	26
2.1. Description de L'ONA de Laghouat	Error! Bookmark not defined.
2.2. Description de la station d'épuration de Laghouat.....	Error! Bookmark not defined.
2.3. Prétraitement.....	27
3.3. Traitement biologique	29
3.4. Traitement des boues.....	31
3. Méthodes et Prélèvement.....	34
3.1.Objectif de l'analyse	34
3.2.Echantillonnage	34
3.3. Préparation des dilutions	34
3.4 .Préparation des milieux de culture et méthodes d'ensemencement	35
3.5 .Dénombrement bactérien	37
<i>Chapitre III</i>	38
<i>Résultats et Discussion</i>	38
1. Analyses physico chimiques et environnementales	39
1.1. Demande chimique en oxygène (DBO ₅).....	44
1.2. Demande chimique en oxygène (DCO)	44
1.4. Matières en suspension (MES)	48
1.5. pH.....	49
1.6. Oxygène dissous.....	49
1.7. NO ₂ , NO ₃ et NH ₄	50
1.8. Température	53
2. Analyse bactériologique	54
2.1. Présentation des tableaux de résultats	54
2.2. Analyse de corrélation	57
2.3. Interprétations et discussion	62
<i>Conclusion</i>	64
Conclusion et recommandations.....	65
<i>Références bibliographiques</i>	67
<i>Annexes</i>	70

Introduction

Introduction

La pollution des eaux de surface et des nappes souterraines résulte principalement des rejets d'eaux usées domestiques, industrielles et agricoles, notamment ceux issus de l'élevage intensif, riches en nitrates. Cette situation fait peser un risque réel sur la disponibilité de l'eau, ressource déjà rare et difficilement renouvelable en Algérie. L'augmentation constante de la population, combinée à l'expansion urbaine et aux nouveaux modes de consommation, engendre une croissance importante des volumes d'eaux usées, souvent déversées sans traitement dans le milieu naturel, compromettant la qualité des ressources hydriques et la santé publique. Dans la région de Laghouat, les activités agricoles de la plaine et certaines installations industrielles exercent une influence directe sur la qualité chimique des eaux souterraines, affectant particulièrement leur potabilité.

L'assainissement des eaux usées est devenu un enjeu environnemental et sanitaire crucial, notamment dans les régions arides à semi-arides. L'un des procédés les plus adaptés à ces zones est l'épuration biologique par boues activées, en particulier à faible charge et en aération prolongée. Ce procédé permet non seulement d'éliminer les composés organiques biodégradables, mais aussi de réduire significativement les microorganismes pathogènes issus des matières fécales humaines, tels que les coliformes fécaux, les entérocoques, les streptocoques et d'autres agents microbiens. Bien que la majorité de ces bactéries ne soient pas pathogènes, leur présence excessive dans les effluents peut représenter un danger environnemental non négligeable.

Dans ce contexte, la station d'épuration de Laghouat constitue une solution technique bien adaptée. Dotée d'un système de traitement biologique à faible charge, elle fonctionne selon un modèle économique et écologique favorable au climat saharien, avec un ensoleillement élevé et une disponibilité en espace. Elle traite actuellement un débit moyen d'environ 2 400 m³/jour. Cependant, selon les projections de l'Office National de l'Assainissement (ONA, 2023), la station pourra atteindre une capacité de traitement de 49 050 m³/j à l'horizon 2033, correspondant à une population équivalente de 250 500 habitants.

Ce rejet incontrôlé et cette épuration incomplète ne s'arrêtent pas à la station : ils génèrent un effet domino environnemental. Les eaux insuffisamment traitées sont déversées dans les oueds ou infiltrées dans les nappes, altérant la qualité des sols, contaminant les plantes, affectant la faune, puis impactant directement l'homme, au sommet de la chaîne alimentaire. Ainsi, une boucle écologique néfaste se crée, où la nature polluée finit toujours par retourner ses effets sur l'humain, soulignant l'urgence d'un traitement rigoureux et durable.

Le présent travail s'inscrit dans la dynamique d'évaluation de la performance de cette station, en étudiant la relation entre les paramètres physico-chimiques et environnementaux d'une part, et la charge bactérienne d'autre part. Pour ce faire, une analyse comparative a été réalisée sur trois points de prélèvements (entrée, bassin biologique, sortie), à travers des campagnes menées sur site, associées à des analyses en laboratoire. L'approche adoptée comprend l'étude des paramètres microbiologiques (coliformes totaux et fécaux, entérocoques fécaux, entérobactéries) ainsi que les paramètres physico-chimiques (DBO_5 , DCO, MES, pH, nitrates, nitrites, ammonium...), le tout renforcé par des outils statistiques (corrélations, ANOVA, ACP) afin d'identifier les liens possibles entre les différentes variables. Le mémoire est structuré en trois chapitres : une synthèse bibliographique, une partie matérielle et méthodologique, puis une section dédiée à l'analyse des résultats, divisée en deux volets – bactériologique et environnemental – couvrant la période de 2020 à 2023, avant de conclure par des recommandations utiles à l'optimisation du système.

Chapitre I
Synthèse Bibliographique

1. Généralités sur l'eau et les eaux usées

1.1. Définition des eaux

L'eau est un corps incolore, inodore et insipide qui constitue un élément fondamental dans la vie de tous les êtres vivants (Larousse, 2002). L'eau que l'on trouve sur terre est rarement un composé chimique pur, l'eau courante étant une solution d'eau, de sels minéraux et d'autres impuretés. Les eaux usées, ou les eaux résiduaires, sont des eaux chargées de résidus, solubles ou non provenant de l'activité humaine industrielle ou agricole et parvenant dans les canalisations d'évacuation des eaux usées. Elles représentent, une fraction du volume des ressources en eaux utilisables mais leur qualité très médiocre exige une épuration avant leur rejet dans le milieu naturel (Thomas, 1995).

Il y a au total trois sources d'eaux naturelles. Ils sont classés comme suit :

- Eau de pluie

L'eau de pluie comprend d'autres sources telles que la neige et d'autres types de précipitations. Les précipitations qui tombent sur la Terre constituent une partie importante du cycle de l'eau car elles réapprovisionnent les sources d'eau de surface et souterraines.

- Eaux souterraines

Ce sont les sources d'eau que vous ne pouvez pas voir ou auxquelles vous ne pouvez pas accéder facilement. Le rôle important que jouent les sources d'eau souterraines dans le cycle de l'eau est qu'elles sont les principales sources de consommation humaine. Ces masses d'eau souterraines sont souvent accessibles par des puits et lorsque la pression sous la surface est trop forte, cette eau est poussée vers le haut et vers l'extérieur par des sources.

- Eaux de surface

Faciles à voir et à utiliser, les eaux de surface constituent de loin la source d'eau naturelle la plus abondante. L'inconvénient est que la majeure partie de l'eau de surface de la planète est de

l'eau salée, elle n'est donc pas idéale pour la plupart des espèces vivantes. L'eau de surface joue un rôle important dans notre vie quotidienne en plus d'être une source d'eau potable. L'eau de surface est utilisée pour produire de l'énergie hydroélectrique en tant que source d'énergie propre qui est également renouvelable. L'eau de surface est fournie par les précipitations, les sources et la fonte des glaces provenant des altitudes plus élevées et des glaciers.

1.2. Les eaux usées

Les eaux usées sont théoriquement composées de 99% d'eau et de 1% de matières en suspension colloïdales et dissoutes. Bien que la composition exacte des eaux usées varie naturellement entre différentes sources et au fil du temps, l'eau demeure de loin son constituant principal.

Les eaux usées issues d'activités industrielles et minières ainsi que de la gestion des déchets solides (par exemple le lixiviat des sites de décharge), peuvent également contenir des composés organiques toxiques tels que les hydrocarbures, les biphénylespolychlorés (BPC), les polluants organiques persistants (POP), les composés organiques volatils (COV) et les solvants chlorés. De très petites quantités de certains composés organiques peuvent contaminer d'importantes quantités d'eau.

Les conséquences du rejet d'eaux usées non traitées ou traitées de façon inadéquate peuvent être classées en trois catégories : les effets indésirables sur la réduction de la qualité de l'eau, les effets environnementaux

L'eau est un corps dont l'unité de base est une molécule, notée H₂O, formée d'un atome d'oxygène relié à deux atomes d'hydrogène par des liaisons covalentes: chaque atome d'hydrogène partage ainsi avec l'atome d'oxygène une paire d'électrons (Densité 1 g/cm³, Point d'ébullition 100°C, Formule H₂O, Point de fusion 0°C, Masse molaire 18,01528 g/mol.)

1.2.1. Principaux types d'eaux usées

- **Eaux domestiques**

Ces eaux sont constituées par les eaux usées ménagères provenant des usages domestiques (eaux de bain et de lessive) et les eaux vannes (urines et fèces). En général, ces eaux sont chargées en matières organiques, graisses et produit d'entretiens ménagers. Elles présentent une bonne biodégradabilité (Majouri et Amouria, 2000).

- **Eaux industrielles**

Elles sont représentées par les rejets des exploitations industrielles et semi-industrielles (station de lavage et graissage, station d'essences, etc.) qui sont caractérisés par une grande diversité de la composition chimique, présentant ainsi un risque potentiel de pollution (Khadraoui et Talab, 2008).

- **Eaux pluviales**

Ces eaux proviennent des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées, surtout en début de pluie par deux mécanismes : l'un est le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées et l'autre est de la remise en suspension des dépôts des collecteurs (Franck, 2002).

- **Eaux urbaines**

Les eaux usées urbaines sont d'abord formées par un mélange d'eau usées domestiques et d'eaux usées industrielles. Il s'y ajoute une troisième composante formée par les eaux de pluie et les effluents des installations collectives (hôpitaux, commerces, casernes...etc.) (Bontoux , 1993).

- **Eaux de drainage**

C'est l'eau de lessivage récupérée après irrigation grâce à un système de drainage. Les pollutions dues aux activités agricoles sont de plusieurs natures :

Apport aux eaux de surface de nitrates et de phosphates utilisées comme engrais, par suite de lessivage de terres perméables. Ces composés minéraux favorisent la prolifération des algues (phénomène d'eutrophisation) qui en abaissent la teneur en oxygène des eaux courantes compromettent la vie des poissons et des animaux aquatiques.

- Apport des pesticides chlorés ou phosphores de désherbants et d'insecticides.
- En région viticole, apport des sulfates de cuivre, de composés arsenicaux destinés à la protection des vignes.
- En région désertique, c'est particulièrement le problème de salinité des eaux de drainage qui se pose (Richard, 1996).

1.3. L'eau : ressource vitale et enjeux globaux

L'eau est essentielle à la vie, à la santé et au développement économique. Plus de 2 milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à une eau potable sécurisée. L'utilisation mondiale

de l'eau a été multipliée par six au cours des 100 dernières années et continue d'augmenter de 1 % par an, en raison de la croissance démographique et économique. Cela souligne l'urgence d'une gestion durable de cette ressource vitale (UNESCO, 2024).

1.4..Cycle de l'eau et importance des écosystèmes aquatiques

Le cycle hydrologique est le processus naturel par lequel l'eau circule continuellement entre l'atmosphère, la surface terrestre et le sous-sol. Il comprend plusieurs étapes essentielles, notamment :

- Évaporation : L'eau des océans, des lacs et des rivières se transforme en vapeur sous l'effet de la chaleur solaire.
- Condensation : La vapeur d'eau se refroidit en altitude et forme des nuages.
- Précipitations : L'eau condensée tombe sur la Terre sous forme de pluie, de neige ou de grêle.
- Infiltration : Une partie de l'eau pénètre dans le sol pour alimenter les nappes phréatiques.
- Ruissellement : L'eau qui ne s'infiltré pas s'écoule à la surface vers les cours d'eau, les lacs et les océans. Ce mécanisme maintient l'équilibre hydrique de la planète, assure l'approvisionnement en eau douce.

En ce qui concerne le rôle des écosystèmes aquatiques, les rivières, les lacs et les zones humides jouent un rôle crucial dans le cycle hydrologique. Ils contribuent à la purification naturelle de l'eau, au maintien de la biodiversité et à la régulation du climat. Leur dégradation perturbe l'équilibre de l'eau douce et augmente la vulnérabilité des populations face aux changements climatiques. (I A,1993).

1.5. Pollution de l'eau : impacts sur la santé et l'environnement

La pollution de l'eau, causée par l'agriculture, l'industrie et l'urbanisation, représente une menace importante pour la santé publique et l'environnement.

- Impacts sur la santé : La pollution de l'eau est responsable de 4,1 millions de décès par an dus à la diarrhée, principalement dans les pays en développement. Les métaux lourds

et les pesticides présents dans l'eau potable peuvent également provoquer des cancers et des troubles neurologiques (UNESCO, 2017) et (W H O, 2022).

- Impacts sur l'environnement : L'eutrophisation provoque la prolifération d'algues nuisibles dans environ 50 % des lacs et réservoirs du monde. Ces algues dégradent les écosystèmes aquatiques et diminuent les niveaux d'oxygène dissous. Les polluants chimiques, tels que les métaux lourds, nuisent à la biodiversité marine. (U S E P A,2020).

1.5.1. Source et origine

Origine domestique : Proviennent des habitations (cuisine, salle de bain, toilettes), et contiennent des matières organiques, des détergents, des graisses et des germes fécaux.

Origine industrielle : Générées par les activités industrielles (usines, ateliers), elles peuvent contenir des métaux lourds, des solvants, des hydrocarbures et d'autres substances toxiques.

Origine agricole : Résultent des pratiques agricoles, telles que l'irrigation et l'élevage, et contiennent des pesticides, des engrais et des matières organiques.

1.5.2. Composition des eaux usées

Selon OMS (2017), EPA (2020) et Shiklomanov (1993). Les eaux usées sont riche en :

- Matières organiques : Résidus alimentaires, graisses et huiles.
- Produits chimiques : Détergents, solvants, métaux lourds.
- Micro-organismes : Bactéries, virus et champignons.
- Substances en suspension : Particules solides et boues.

1.6. Enjeux de l'assainissement dans les pays en développement

L'assainissement est un défi majeur pour les pays en développement, où de nombreuses personnes n'ont pas accès à des services adéquats de gestion des eaux usées. Cette situation pose des risques pour la santé publique et l'environnement, et est directement liée aux Objectifs de Développement Durable (ODD) de l'ONU.

1.6.1. Défis techniques et économiques (exemple de l'Algérie)

Pour les Défis techniques il est à signaler que :

- Infrastructures insuffisantes : De nombreuses régions, notamment rurales, manquent de stations d'épuration modernes.
- Systèmes d'assainissement non adaptés : Les solutions doivent être flexibles pour s'adapter à la diversité géographique et climatique.
- Gestion des eaux pluviales : Les périodes de sécheresse et de fortes pluies rendent difficile la gestion des eaux pluviales, provoquant des inondations.

Pour les Défis économiques il est à signaler que :

- Coût des infrastructures : Les investissements pour installer et entretenir des réseaux d'assainissement modernes sont élevés.
- Manque de financement public : Les budgets limités des gouvernements rendent difficile le financement de ces projets.

1.6.2. Objectifs de développement durable (ODD)

L'ODD 6 vise à garantir un accès universel à l'eau et à l'assainissement d'ici 2030 (B M, 2021), (UNICEF,2020) et (Nations Unies,2021).

- Accès universel à l'assainissement : Assurer des services sûrs et hygiéniques pour tous.
- Réduction de la pollution de l'eau : Minimiser la pollution des sources d'eau.
- Protection de l'environnement : Réduire les déchets solides et les micropolluants dans l'eau.
- Les pays en développement, y compris l'Algérie, doivent adopter des politiques d'assainissement alignées sur les ODD pour garantir un environnement sain.

2. Microbiologie des eaux usées

2.1 .Communautés microbiennes dans les eaux usées

La communauté microbienne des eaux usées est un groupe de micro-organismes qui vivent dans cette eau et jouent un rôle fondamental dans son traitement et sa purification. Cette communauté comprend différents types d'organismes, notamment :

Bactérie : microorganismes unicellulaires procaryotes (0.1 à 1), qui sont les plus nombreuses, décomposent la matière organique et la transforment en composés plus simples. (INRAE, 2020).

Virus : Les virus sont des entités biologiques acellulaires, de très petite taille, qui ne peuvent se répliquer qu'à l'intérieur des cellules vivantes d'un hôte spécifique

Protozoaires : organismes eucaryotes unicellulaires, consomment les bactéries et aident à

purifier l'eau. (INRAE, 2020).

Helminthes : Vers parasites multicellulaires (plats ou ronds), vivant dans les intestins. Ils se transmettent par ingestion d'œufs résistants ou par pénétration des larves à travers la peau. (INRAE, 2020).

Rôle des microorganismes dans la dégradation de la matière organique

Les microorganismes jouent un rôle clé dans la dégradation des matières organiques présentes dans les eaux usées. Grâce à des processus biologiques tels que la respiration aérobie et anaérobie, ces microorganismes (bactéries, champignons, protozoaires) décomposent les composés organiques en substances plus simples. Les méthodes biologiques telles que les boues activées et les filtres biologiques exploitent ces capacités naturelles pour assainir les eaux usées de manière efficace et durable. (Santé publique France, 2023).

2.2. Pathogènes hydriques et indicateurs de contamination fécale

Ce sont des micro-organismes présents dans l'eau et responsables de maladies, souvent liées à une contamination fécale :

- Bactéries :

E. coli : est souvent utilisé comme un indicateur de la contamination fécale. Certaines souches d'E.Coli sont pathogènes et causent des maladies graves, notamment des infections intestinales, diarrhées. (World Health Organization, 2022).

Salmonella : c'est une bactérie pathogène et provoque des maladies telles que la salmonellose, elle provoque des symptômes comme la diarrhée, la fièvre et des douleurs abdominales. (World Health Organization, 2022).

- Virus :

Les entérovirus (tels que le poliovirus, les coxsackievirus et les echovirus) sont souvent présents dans les eaux usées en raison de la contamination fécale humaine et peuvent causer des maladies respiratoires, des infections digestives, des éruptions cutanées. (Centers for Disease Control and Prevention, 2023).

Parasites : Les parasites sont des organismes qui vivent aux dépens d'un hôte et peuvent causer des maladies, transmis par l'eau, la nourriture ou le contact direct, Giardia (Giardia lamblia ou Giardia intestinales) : C'est un parasite protozoaire qui cause la giardiase, une infection intestinale caractérisée par des diarrhées, crampes abdominales et ballonnements. (Centers for Disease Control and Prevention, 2023).

Utilisation des indicateurs (coliformes, entérocoques)

Les indicateurs microbiologiques sont utilisés pour évaluer la contamination fécale dans les eaux usées. Les plus courants :

Les coliformes totaux : sont un groupe de bactéries comprenant des espèces vivant dans l'intestin des animaux à sang chaud, mais aussi dans l'environnement (sols, végétation, eau). Ils sont utilisés comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau, car ils incluent des bactéries d'origine fécale, comme *Escherichia coli* (*E. coli*) (Institut national de santé publique du Québec, 2023).

Coliformes fécaux : Ces bactéries, comme *E. coli*, sont un indicateur clé de la présence de matières fécales dans l'eau. Leur présence signifie souvent que l'eau est contaminée par des agents pathogènes d'origine fécale.

Les entérocoques : sont des bactéries à Gram positif, présentes dans les intestins des humains et des animaux. Leur présence dans l'eau est un indicateur de contamination fécale. (Santé sur le net, 2023).

Avantages et limites

L'utilisation de ces indicateurs présente des avantages tels que leur présence en nombre généralement plus élevé que les pathogènes, leur facilité de détection et leur coût relativement faible. Ils permettent une surveillance régulière de la qualité de l'eau et l'évaluation de l'efficacité des traitements. (World Health Organization (WHO). 2022).

Limites : Ces indicateurs ne permettent pas d'identifier spécifiquement tous les agents pathogènes potentiellement présents. Certains pathogènes peuvent être absents ou présents à des niveaux trop faibles pour être détectés par ces indicateurs (United States Environmental Protection Agency (EPA)).

2.3 .Risques sanitaires liés eaux usées non traitées

L'eau contaminée et le manque d'assainissement sont liés à la transmission de maladies telles :

- Maladies diarrhéiques : La diarrhée constitue un symptôme d'infection par divers agents pathogènes bactériens, viraux ou parasitaires, principalement transmis par l'eau insalubre. (Solidarités International, 2022).
- Hépatite : Deux virus responsables de l'hépatite, à savoir les virus de l'hépatite A et E, transmise par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés. (Centers for Disease Control and Prevention, 2023).
- Infection cutanées : le contact avec de l'eau contaminée provoque des maladies de la peau comme des éruptions cutanées ou des démangeaisons. (World Health Organization, 2013).

- Résistance aux antibiotiques et gènes de résistance dans les eaux usées
- La résistance aux antibiotiques, ou antibiorésistance, est la capacité d'une bactérie à survivre aux effets des traitements antibiotiques. Ce phénomène, qui constitue une menace croissante pour la santé publique et l'environnement, est exacerbé par la pollution des eaux usées. En effet, les eaux usées représentent un réservoir important de bactéries résistantes, notamment les bactéries multirésistantes (BMR) et les gènes de résistance aux antibiotiques (ARGs). Issues principalement des rejets hospitaliers, domestiques et agricoles, elles contiennent souvent des résidus d'antibiotiques favorisant la sélection naturelle de ces bactéries.
- Ainsi, la gestion et le traitement efficace des eaux usées deviennent essentiels pour limiter la dissémination de la résistance aux antibiotiques dans l'environnement.

3. Physico-chimie des eaux usées

3.1. Paramètres physico-chimiques clés

Les eaux usées présentent une variété de paramètres physico-chimiques essentiels à surveiller pour évaluer leur qualité et leur aptitude au traitement. Parmi les principaux paramètres figurent :

- pH : Il influence fortement la solubilité des éléments chimiques et l'activité biologique. Un pH neutre à légèrement basique est optimal pour la plupart des processus biologiques de traitement.
- Température : Elle affecte directement la vitesse des réactions biochimiques et la solubilité de l'oxygène. Dans les climats arides, des températures élevées peuvent accélérer l'activité microbienne mais aussi entraîner une diminution de l'oxygène dissous.
- Oxygène Dissous (OD) : L'oxygène est essentiel pour les procédés d'épuration biologique. Un faible niveau d'OD peut indiquer une pollution organique importante.
- Conductivité : Elle mesure la concentration totale des ions dissous et donne une indication de la minéralisation de l'eau.
- Matières en Suspension (MES) : Les MES reflètent la quantité de particules solides non dissoutes et sont un indicateur clé de la turbidité et du besoin en traitement.
- Turbidité : Elle est associée à la présence de particules en suspension pouvant transporter des polluants pathogènes ou chimiques.
- Demande Biochimique en Oxygène (DBO5) : C'est un paramètre critique qui mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation biologique de la matière organique sur cinq jours.

3.2. Impact des paramètres physico-chimiques sur le traitement

La performance des stations d'épuration est étroitement liée aux conditions physico-chimiques de l'influent

- Effet de la température : Dans les climats arides, une température élevée peut accélérer la dégradation biologique mais réduit la solubilité de l'oxygène, nécessitant des adaptations dans l'aération.
- Relation DBO/DCO : Le rapport entre la DBO (Demande Biochimique en Oxygène) et la DCO (Demande Chimique en Oxygène) est utilisé pour évaluer la biodégradabilité des effluents. Un rapport DBO/DCO élevé indique une bonne biodégradabilité, facilitant le traitement biologique.

3.3. Micropolluants émergents

Outre les paramètres traditionnels, les eaux usées contiennent désormais des micropolluants émergents tels que :

- Médicaments : Antibiotiques, analgésiques, hormones synthétiques qui passent partiellement à travers les traitements classiques.
- Perturbateurs endocriniens : Substances chimiques capables d'interférer avec le système hormonal même à de très faibles concentrations.
- Microplastiques: Fragments de plastique inférieurs à 5 mm qui posent de nouveaux défis pour l'épuration.

Les stations d'épuration conventionnelles ne sont pas totalement équipées pour éliminer ces micropolluants, nécessitant ainsi des traitements avancés tels que l'ozonation, l'adsorption sur charbon actif ou l'utilisation de membranes de nanofiltration.

4. Méthodes d'épuration des eaux usées

4.1. Traitements conventionnels

- Traitement primaire

Dégrillage, dessablage, décantation. Le traitement primaire constitue la première étape essentielle dans l'épuration des eaux usées. Il vise à éliminer les matières solides grossières par dégrillage, les sables et les graviers par dessablage, et les particules fines en suspension par décantation gravitaire. Cette étape permet de réduire la charge polluante et de protéger les traitements ultérieurs.

- Traitement secondaire

Procédé des boues activées (mécanismes, bassins d'aération, clarificateurs). Le procédé des boues activées est une méthode biologique clé du traitement secondaire. Il repose sur l'activité d'une communauté microbienne complexe en suspension dans des bassins aérés, qui dégrade la matière organique biodégradable. L'oxygène dissous, maintenu par aération, est crucial pour le métabolisme de ces micro-organismes. Les boues activées sont ensuite séparées de l'eau traitée dans des clarificateurs, et une partie est recirculée pour maintenir une biomasse active suffisante. L'évaluation de la communauté bactérienne, comme envisagé pour la station de Laghouat, est vitale pour optimiser ce processus.

- Lagunage naturel

(Rôle des algues et des bactéries). Le lagunage naturel est une méthode extensive d'épuration qui utilise de grands bassins où les algues et les bactéries interagissent pour traiter les eaux usées. Les algues, par la photosynthèse, produisent de l'oxygène nécessaire aux bactéries aérobies qui décomposent la matière organique. C'est une méthode souvent adaptée aux zones rurales ou aux climats favorables.

4.2. Innovations récentes en traitement des eaux

- **Membranes**

Bioréacteurs à membranes (MBR), nanofiltration. Les technologies membranaires représentent des innovations significatives dans le traitement des eaux. Les bioréacteurs à membranes (MBR) combinent l'épuration biologique (similaire aux boues activées) avec une filtration membranaire, offrant une excellente qualité d'effluent.

La nanofiltration : quant à elle, est une technique de séparation membranaire capable de retenir des molécules organiques et certains ions, permettant d'éliminer des polluants plus spécifiques.

- **Procédés avancés**

oxydation avancée (ozonation, photocatalyse), charbon actif, zéolithes pour l'adsorption des micropolluants. Les procédés d'oxydation avancée (POA), tels que l'ozonation et la photocatalyse, génèrent des radicaux hydroxyles très réactifs capables de dégrader les micropolluants organiques persistants. L'adsorption sur charbon actif et zéolithes est une autre approche avancée pour éliminer ces micropolluants en les fixant sur la surface de ces matériaux poreux.

Biotechnologies : biofilms, bio-augmentation (ajout de souches spécifiques). Les biotechnologies offrent des approches innovantes pour améliorer l'épuration. Les biofilms,

communautés microbiennes fixées sur des supports, peuvent accroître l'efficacité de la dégradation des polluants. La bio-augmentation consiste à introduire des souches microbiennes spécifiques pour cibler certains contaminants ou améliorer des processus biologiques existants.

4.3. Désinfection des effluents

La désinfection est une étape cruciale pour éliminer les agents pathogènes avant le rejet des effluents

- Les méthodes chimiques : utilisent des désinfectants comme le chlore et l'ozone
- Les méthodes physiques : incluent le traitement par ultraviolets (UV)
- Le lagunage tertiaire : peut également contribuer à la désinfection biologique grâce à l'action des rayons solaires et des micro-organismes. (White, G. C., "Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants".)
- Efficacité contre les pathogènes et sous-produits toxiques (ex. trihalométhanes)
L'efficacité des méthodes de désinfection varie selon le type de pathogènes. Il est également important de considérer la formation potentielle de sous-produits de désinfection, tels que les trihalométhanes (THM) lors de la chloration, qui peuvent être toxiques. Le choix de la méthode de désinfection doit donc tenir compte de son efficacité et des risques .

5. Défis et perspectives

Défis : traitement des eaux usées est un processus crucial mais complexe, confronté à plusieurs défis majeurs :

Efficacité du traitement et qualité des effluents: Atteindre et maintenir des niveaux de qualité d'effluents stricts, notamment en ce qui concerne l'élimination des micropolluants (résidus pharmaceutiques, pesticides, etc.), des nutriments (azote et phosphore responsables de l'eutrophisation) et des microplastiques, représente un défi constant. Les procédés classiques peuvent montrer leurs limites face à ces contaminants émergents.

Coûts et infrastructures : La construction, l'entretien et l'amélioration des infrastructures de traitement des eaux usées nécessitent des investissements financiers considérables. De nombreux pays, en particulier les pays en développement, sont confrontés à des difficultés pour financer et mettre en place des systèmes adéquats, ce qui entraîne un rejet d'eaux usées non traitées dans l'environnement. (eau-industrie.com).

Résistance aux antibiotiques : Les stations d'épuration peuvent être des réservoirs de bactéries résistantes aux antibiotiques, qui se propagent dans l'environnement et compromettent l'efficacité des traitements médicaux. Des études ont observé des taux élevés de résistance dans

certaines installations.

Changement climatique et événements extrêmes : Les phénomènes climatiques extrêmes, tels que les inondations et les sécheresses, perturbent le fonctionnement des stations d'épuration et affectent la qualité de l'eau traitée. L'adaptation à ces changements nécessite des infrastructures plus résilientes.

Consommation d'énergie élevée : Les procédés de traitement des eaux usées, comme l'aération et les traitements biologiques, consomment beaucoup d'énergie, ce qui pose un défi en matière de durabilité. (World Health Organization ,2022).

Perspectives :

Technologies innovantes : Le développement de technologies de traitement plus efficaces, moins coûteuses et plus respectueuses de l'environnement (comme les traitements biologiques par microalgues) offre des perspectives prometteuses. (K E,2012).

Optimisation des procédés : existants : Recherche et développement pour améliorer l'efficacité des processus biologiques (aération optimisée, contrôle avancé des boues activées). (WEF Water Environment Federation, 2010) .

Adaptation des infrastructures: Moderniser et étendre les réseaux d'assainissement et les STEU pour faire face à l'augmentation de la population et aux nouvelles exigences environnementales.(Organisation des Nations Unies (ONU) - en particulier ONU-Eau et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE)).

Développement de systèmes décentralisés: Utilisation de solutions d'épuration adaptées aux petites communautés ou aux zones rurales, réduisant ainsi les coûts de transport des eaux usées.(C, 2014).

6. Limites des systèmes actuels

Persistance des pathogènes et des résistances antibiotiques :

Les procédés conventionnels, tels que les boues activées, montrent des limites dans l'élimination complète des agents pathogènes (bactéries, virus, parasites) et des résidus d'antibiotiques. Cette insuffisance contribue à la prolifération de résistances antimicrobiennes, posant un risque majeur pour la santé publique.

Coût énergétique des technologies avancées :

Les nouvelles technologies (ozonation, filtration membranaire) permettent de meilleurs taux d'élimination mais sont très énergivores, augmentant les coûts d'exploitation et l'empreinte environnementale, limitant ainsi leur accessibilité dans de nombreux contextes.

6.1. Solutions prometteuses

Couplage boues activées + désinfection UV/ozone :

L'association des procédés biologiques classiques avec une désinfection par UV ou par ozonation permet d'atteindre une qualité d'eau supérieure, en réduisant efficacement la charge microbiologique.

Utilisation de biomarqueurs pour un suivi en temps réel :

Les biomarqueurs biologiques permettent un suivi dynamique de la performance des stations d'épuration, offrant une détection rapide des dysfonctionnements ou des contaminants émergents.

Approches circulaires (réutilisation des eaux, valorisation des boues) :

La réutilisation contrôlée des eaux traitées pour des usages non potables et la valorisation des boues (par méthanisation ou compostage) s'inscrivent dans une logique d'économie circulaire, réduisant la pression sur les ressources naturelles.

7.1. Description de L'ONA de Laghouat

L'Office National de l'Assainissement (ONA) est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), placé sous la tutelle du Ministère des Ressources en Eau depuis sa création en 2001. Il est chargé de la gestion des réseaux d'assainissement et du traitement des eaux usées, dans le but de préserver la santé publique et les ressources naturelles.

L'unité ONA de Laghouat s'inscrit dans cette mission au niveau local. Elle assure l'exploitation technique et administrative des infrastructures d'assainissement de la wilaya, en collaboration avec les autorités locales.

7.2. Description de la station d'épuration de Laghouat

La station de traitement des eaux usées de Laghouat est l'un des projets environnementaux les plus importants du sud de l'Algérie, représentant un modèle avancé dans le domaine de la durabilité environnementale et de la réutilisation des ressources.

La station située à 4 km au nord-est de la ville entre Kef Seridja et l'oued M'Zi, traite les eaux usées urbaines de Laghouat et Bordj Snoussi.

Conçue en deux phases, elle peut traiter jusqu'à 49 050 m³/j à l'horizon 2033, pour une population équivalente de 250 500 habitants. Les eaux traitées sont rejetées dans l'oued M'Zi. La station comprend des équipements modernes, des bassins de traitement, une unité de production d'énergie, ainsi que des espaces verts pour renforcer la sécurité environnementale.

Chapitre II
Matériels et Méthodes

1. Aperçu sur la région d'étude

1.1. Localisation de la wilaya de Laghouat

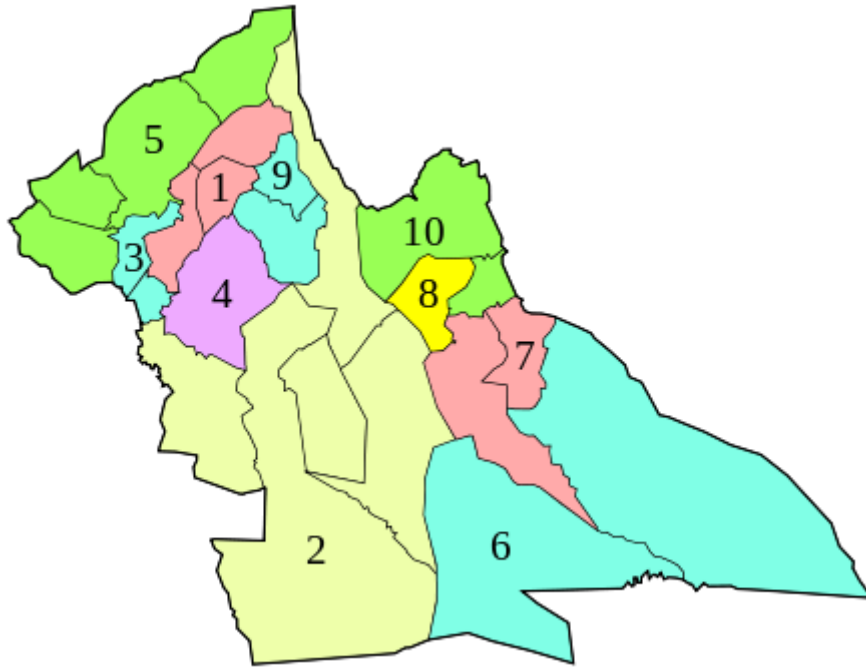
La wilaya de Laghouat comprend 24 communes, réparties sur 10 daïras (circonscriptions administratives). Issue du découpage administratif de 1974, Laghouat occupe une position centrale en Algérie reliant les hauts plateaux avec le Sahara. La wilaya couvre une superficie totale de 25 052 km² et fait partie du groupe des 12 wilayat pastorales du pays ainsi que des wilayat du Sud, de fait de sa position géographique et de ses caractéristiques climatiques. Elle est installée sur deux espaces de parcours, steppique et présaharien (Tableau 1). Elle est limitée :

- Au Nord par les wilayas de Djelfa et Tiaret.
- A l'Est par la wilaya de Djelfa.
- Au Sud par la wilaya de Ghardaia.
- A l'Ouest par la wilaya d'El Bayadh.

Tableau 1. Découpage administrative de la wilaya de Laghouat.

Dairates	Communes
Laghouat	Laghouat
Ksar el Hirane	Ksar el Hirane – Bennacer Benchohra
Hassi R'Mel	Hassi R'Mel – Hassi Delaa
Ain Madhi	Ain Madhi – Tadjmout – Tadjerouna – El Houita – Kheneg
Aflou	Aflou – Sidi Bouzid – Sebgag
Oued Morra	Oued Morra – Oued M'zi
Gueltet Sidi Saad	Gueltet Sidi Saad – Beidha – Ain Sidi Ali – Hadi Mesquine
Brida	Brida – Taouiala – Hadh Mesquine
Sidi Makhlouf	Sidi Makhlouf – El Assafia
El Ghicha	El Ghicha

La région de Laghouat est localisée dans une région de transition sur plusieurs plans. Physique, avec le passage entre les structures plissées de la chaîne Atlasique, les hamadas et le socle saharien. Climatique ensuite entre les hautes steppes arides et les espaces sahariens. Transition humaine entre une zone Nord peuplée et une zone Sud à faible densité de population (Houyou, 2015) figure 1.



1. Aflou • 2. Aïn Mahdi • 3. Brida • 4. El Ghicha • 5. Gueltet Sidi Saâd • 6. Hassi R'Mel • 7. Ksar El Hirane • 8. Laghouat • 9. Oued Morra • 10. Sidi Makhoulouf •

Figure 1 . Localisation géographique de la wilaya de Laghouat.

1.2. Géologie de la région

Le territoire de la wilaya s'étend sur deux domaines géologiques différents, notamment sur le plan de la structure et de l'évolution (Emberger, 1960 ; IAP, 1972 et Hannachi, 1981), ces domaines sont : L'Atlas Saharien au nord, formé par les monts des Amours et les monts des Ouled Nail ; La plate forme Saharienne au Sud, formée par un ensemble de plateaux subtabulaires diversifiés selon leurs structures, leurs positions et la nature de la roche qui les constituent. Ces plateaux sont communément désignés par les noms arabes (Hmada et Reg).

1.3. Climatologie de Laghouat

Le climat qui règne est de type présaharien. Il se caractérise par une faible pluviométrie, l'hiver très froid et l'été très chaud. Les écarts de températures restent des plus significatifs. Les vents dominants sont orientés à l'ouest et au sud-ouest .Le sirocco est plus fréquent dans les Hauts plateaux. Le maximum de fréquence sur l'atlas-saharien a eu lieu généralement en juin et juillet .Le nombre de jours de sirocco est de 7 jours à Laghouat .Découlant du relief. Le climat est de type continental au Nord-ouest avec une pluviométrie variant de 300 à 400 mm. Des

chutes de neige et des gelées blanches. Dans la région des hautes plateaux, le climat est de type saharien et aride .La pluviométrie varie entre 150mm au centre et 50 mm au sud. Les hivers sont caractérisés par des gelées les blanches et les étés par une forte chaleur accompagnée de vents de sables (Tableau 2).

Tableau 2. Données climatiques de Laghouat – Algérie , (ONM 2020).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Température minimale moyenne (°C)	2	4	7	9	13	18	21	20	17	12	6	3	310.9
Température moyenne (°C)	7.5	9.5	12.5	16	19.5	25	28.5	27.5	23.5	18	11.5	8	17.2
Température maximale moyenne (°C)	13	15	18	23	26	32	36	35	30	24	27	13	23.4
Précipitations (mm)	7	14	12	16	15	10	1	107	18	18	15	5	238

- **Température**

La région est soumise à des conditions climatique de type saharien se caractérisant par de fortes fluctuations entre l’hiver et l’été, le maximum de températures avoisine 38 en période estivale, l’hiver est très rigoureux, la température descend jusqu’à 2,38 en moi de décembre (ONM, 2020).

- **Précipitations**

Selon le graff, on remarque tout d’abord la rareté des précipitations annuelles (167mm) puis saisonnières et mensuelles. Le mois le plus arrose est septembre avec 23 mm et le mois le plus sec est juillet avec 5 mm, On remarque aussi qu’en plus de la rareté des précipitations, leur répartition est irrégulière durant l’année (ONM, 2020).

- **Humidité**

La station météorologique de la ville de Laghouat enregistre, le plus haut taux d’humidité (93%) pendant le mois décembre, et le plus bas (15%) pendant le mois de juillet. On constate

aussi que l'air est sec (au-dessous de 50%) pendant les mois, avril, mai, juin, juillet, août, octobre et septembre (ONM, 2020).

- **Vents**

Les vents dominant sont de direction Ouest ; le Sirocco souffle 65-70 jours par an à partir de mois du Mai, il est fréquent du côté Nord et Ouest, généralement en juillet sur les hautes terres du Nord et de l'Ouest, Ainsi que dans les mois de juin et juillet sur les basses terres. Le chehili venant du Sud, ces vents sont souvent violents et leur vitesse varie de 15 à 30 M/S soit 58 à 108 Km/h et de direction sud-ouest fréquence 687 heures/mois .le Sahraoui vient du Nord-Ouest/Sud-Ouest au printemps, tandis que le Bahri de direction Est-Ouest se manifeste d'Aout à Octobre, à partir de septembre, le vent de l'Est (Bahri) chargé d'humidité favorise la maturité des dattes (ONM, 2020).

1.4. Classification des différentes zones

La zones de l'Atlas saharien caractérisée par des altitudes allant de 1.000 à 1.700 m avec des pentes de 12.5 à 25% .Cette zone au Nord-Ouest de la wilaya (régions d'Aflou et Brida). Elle est constituée de vieux massifs forestiers d'une superficie de 47.095 Ha, de nappes alfatières couvrant une superficie de 315 .125 Ha ainsi que de pacage et parcours d'une superficie de 1.531.766 Ha. La zone des hauts plateaux et de plateaux saharien caractérisée par des altitudes allant de 700 à 1.000 m et des pentes de 0 à 3% .Cette zone est constituée de vastes étendues steppiques d'une superficie de 1.900.000 Ha dont une grande partie a été dégradée sous l'effet des sécheresses prolongées (DHW, 2023).

1.5. Rayonnement solaire et durée d'insolation

En effet, placée entre 830m d'altitude à l'ouest et 790 m d'altitude au nord, avec une latitude de 33°46' et une longitude de 2°56', la ville de Laghouat dispose d'une moyenne d'ensoleillement de 7 heures par jour, avec une énergie électrique de 6 kW/m² à une durée d'insolation de 2947,8 heures annuellement (ONM, 2020).

1.6. Réseau hydrographique de la région

L'hydrogéologie est une discipline qui recoupe l'hydrologie et la géologie. Il en résulte deux approches différentes mais complémentaires permettant de définir l'hydrogéologie : Une spécialisation de la géologie qui traite des propriétés des milieux portant notamment sur leur

capacité à contenir et à laisser l'eau souterraine s'écouler. Une spécialisation d'hydrologie qui traite l'eau souterraine en tenant compte des conditions géologiques. Dans l'étude hydrogéologique la première étape consiste à effectuer la synthèse des données existantes (forages, puits, piézomètres et sources) en les intégrant dans un système d'information géographique (SIG) figure 2 (DHW. 2023).

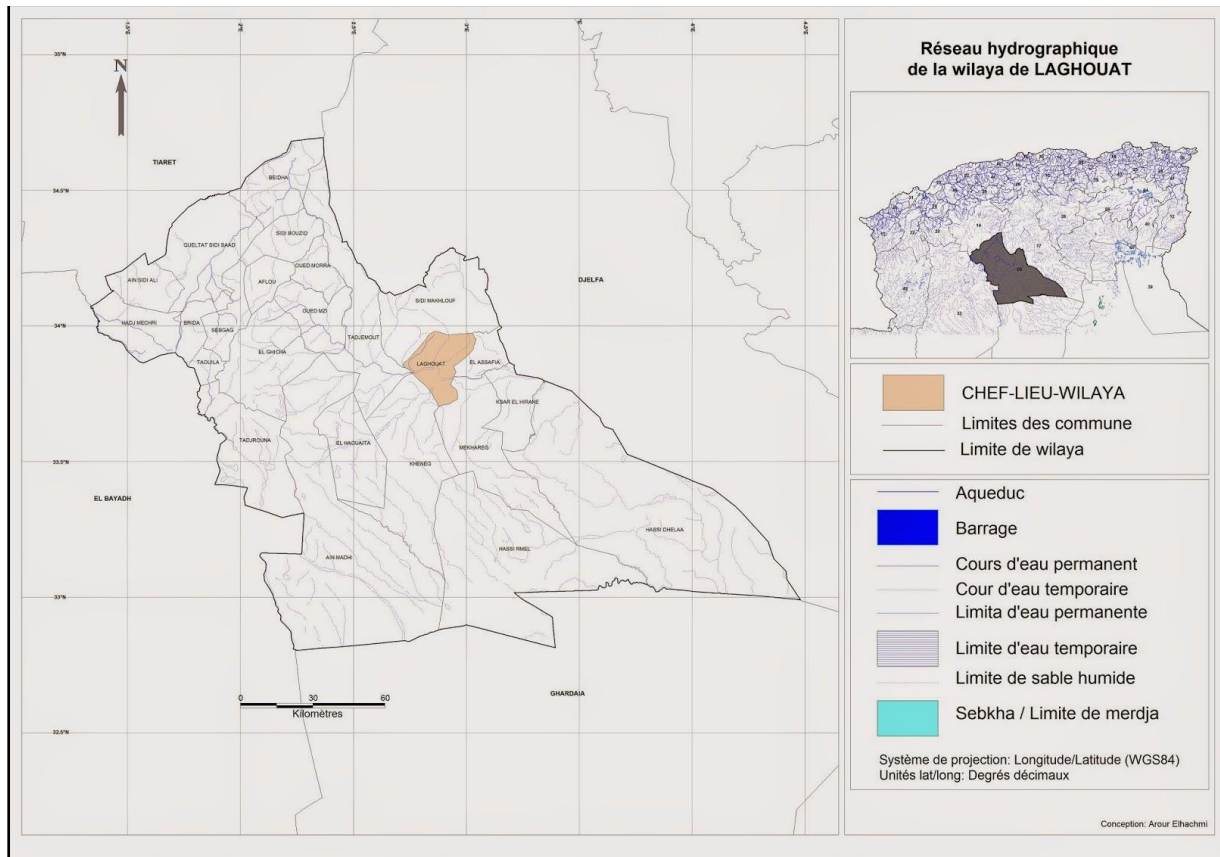


Figure 2 . Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Laghouat(DHW, 2023).

1.7. Paramètres de pollution des eaux usées

Dans toute station d'épuration des eaux usées, il est nécessaire d'effectuer des analyses de l'eau brute et de l'eau traitée afin de déterminer les différents paramètres physicochimiques et bactériologiques (T°, pH, CE, Salinité, DBO₅, DCO, O₂ dissous, MES...etc.) permettant d'évaluer le niveau de pollution dans chaque phase de traitement et le rendement d'élimination de la pollution pour donner une bonne appréciation des performances épuratoires de la STEP.

1.8. Normes internationales des eaux usées

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une

limite inférieure à respecter. Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret de loi. Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées sont représentées dans le tableau suivant (CSHPF, 1995).

- **Normes Algériennes**

Les eaux usées se caractérisent par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, qui permettent de déterminer leur éventuelle origine et de connaître l'importance de leur charge polluante. Avant qu'elles ne soient rejetées dans le milieu naturel et ne le dégradent, elles doivent impérativement obéir à des normes établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution. Pour cela, elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement. Selon les normes Algériennes les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont regroupées dans les tableaux 4 et 5.

Tableau 3 . Normes de rejets internationales pour la classification des eaux usées.

Paramètres	Unité	Normes utilisées (OMS)
PH	-	6,5-8,5
DBO5	mg/l	<30
DCO	mg/l	<90
MES	mg/l	<20
NH4 ⁺	mg/l	<0,5
NO2	mg/l	1
NO3	mg/l	<1
P2O5	mg/l	<2
Température T	°C	<30
Couleur	-	Incolore
Odeur	-	Inodore

Tableau 4 . Valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérienne, 2006).

PARAMÈTRES	UNITÉS	VALEURS LIMITES
Température	°C	30
pH		6,5 à 8,5
MES	mg/l	35
DBO5	mg/l	30
DCO	mg/l	125
AzoteKjeldahl	mg/l	20

Phosphoretotal	mg/l	2
Phosphates	mg/l	10
Cyanures	mg/l	0,1
Aluminium	mg/l	0,2
Cadmium	mg/l	0,01
Fer	mg/l	0,3
Manganèse	mg/l	0,1
Mercuretotal	mg/l	0,001
Nickeltotal	mg/l	0,2
Plombtotal	mg/l	0,1
Cuivretotal	mg/l	0,5
Zinctotal	mg/l	1
HuilesetGraisses	mg/l	10
Hydrocarburesaromatiques	mg/l	0,1
IndicePhénols	mg/l	0,001
Fluorecomposés	mg/l	1
Étaintotal	mg/l	0,2
Composésorganiques	mg/l	0,5
chlorés	mg/l	0,5
Chrometotal	mg/l	0,5
(*)ChromIII+	mg/l	0,3
(*)ChromeVI+	mg/l	0,05
(*)Solvantsorganiques	mg/l	1,0
(*)Chloreactif	mg/l	1,0

2. Description théorique du procédés d'épuration biologique

Le traitement est une technique biologique d'épuration des eaux usées, assuré par une combinaison de procédés aérobies et anaérobies, impliquant un large éventail de micro-organismes (essentiellement des algues et des bactéries). Les mécanismes épuratoires et les micro-organismes qui y participent sont, fondamentalement, les mêmes que ceux responsables du phénomène d'autoépuration des lacs et des rivières (Pearson, 2005).

Ce sont des bassins artificiels et imperméabilisés, de faible profondeur pouvant recevoir des effluents bruts ou prétraités et où la recirculation des boues biologiques décantées n'est pas réalisée, et la concentration de la biomasse épuratrice reste faible. Alimentées d'effluents à traiter (Koller, 2004), que l'on classe en fonction des filières de développement des bactéries en trois catégories : anaérobies, aérobies ou facultatifs (mixtes).

Différents assemblages de ces bassins sont possibles en fonction des conditions locales, des exigences sur la qualité de l'effluent final, du débit à traiter, ...

Parmi les divers procédés d'épuration des eaux usées, dont l'application dépend des

caractéristiques des eaux à traiter et du degré de dépollution souhaité. Mettez l'épuration biologique, un moyen rustique d'épuration des eaux usées, se distinct des autres techniques de traitement réputées intensives par de nombreux avantages.,. Ce procédé écologique, simple et peu onéreux se base sur les phénomènes responsables de l'autoépuration des cours d'eau.

2.1. Prétraitement

2.1.1. Dégrillage

Le dégrillage est une étape de prétraitement physique visant à éliminer les déchets solides grossiers (plastiques, papiers, débris organiques) à l'aide de grilles métalliques.



Figure 3 . Degrilleur

Cette opération prévient l'obstruction et l'endommagement des équipements en aval et conditionne l'efficacité des traitements microbiologiques ultérieurs tableau 6.

Tableau 5 . Caractéristiques des grilles

La charge	DCO (mg/l)	Prise d'essai (ml)	Facteur
Très faible	0-40	432	1
Faible	0-80	365	2
Moyenne	0-200	250	5
Plus que moyenne	0-400	164	10
Un peu chargée	0-800	97	20
Chargée	0-2000	43,5	50
Très chargée	0-4000	22,7	100

2.1.2. Dessablage

Le dessablage permet l'élimination des particules minérales lourdes (sables, graviers) par décantation rapide dans des canaux ou des bassins à écoulement lent figure 5.



Figure 4 . Dessableur

Cette étape limite l'abrasion mécanique des installations et empêche l'accumulation de matières inertes qui pourraient perturber les conditions physico-chimiques optimales à la croissance microbienne dans les traitements secondaires.

2.1.3. Déshuilage

Le déshuilage-dégraissage est une méthode d'élimination des huiles et graisses flottantes dans les eaux usées. Leur concentration est généralement entre 30 à 75 mg/L, mais peut atteindre 350 mg/L dans certains rejets industriels figure 6.



Figure 5. Déshuileur

La séparation se fait dans un bassin avec aération et zone de récupération, en 5 à 12 min, souvent combinée avec le dessablage.

3.3. Traitement biologique

3.3.1. Bassin d'activation de boues {bassin primaire}

Le bassin biologique à boues activées est un processus clé dans le traitement secondaire des eaux usées domestiques. Il s'agit d'un réacteur aéré où les eaux usées sont mélangées à une biomasse microbienne, principalement composée de bactéries hétérotrophes, qui dégradent la matière organique présente figure 7. L'oxygène est fourni par des systèmes d'aération pour permettre la respiration des micro-organismes, transformant les polluants organiques en composés



Figure 6. Bassins d'activation de boues

Simples. Le traitement est optimisé par un contrôle rigoureux des paramètres comme la température, le pH, l'oxygène dissous et la charge organique. Ce système imite les processus naturels d'auto-épuration, réduisant la pollution et préservant les ressources en eau.

3.3.2. Bassin clarificateur {bassin secondaire}

Le décanteur secondaire, ou clarificateur, intervient après le bassin biologique pour séparer les boues activées de l'eau épurée par décantation gravitaire. L'eau provenant du bassin biologique entre dans le décanteur, où les floccs biologiques se déposent au fond, tandis que l'eau clarifiée monte à la surface. Une partie des boues est recyclée vers le bassin biologique, et l'excédent est traité séparément. Le clarificateur est crucial pour obtenir une eau de qualité, et son efficacité dépend d'une bonne conception et gestion des débits figure 8.



Figure 7. Bassins clarificateur

La désinfection au chlore est la dernière étape du traitement des eaux usées, visant à éliminer les micro-organismes résiduels. Le chlore est ajouté aux eaux traitées après la phase biologique et de clarification. Il agit en détruisant les cellules microbiennes, perturbant leur structure génétique. La quantité de chlore est contrôlée pour garantir la sécurité sanitaire de l'eau avant son rejet ou réutilisation, tout en évitant tout impact environnemental.

3.4. Traitement des boues

Après le processus de traitement, l'eau épurée est généralement rejetée dans des milieux aquatiques tels que les oueds, conformément aux normes environnementales et dans le respect de l'équilibre naturel figure 9.



Figure 8 . Séchage des boues.

Les boues, quant à elles, sont traitées de manière particulière : une partie est séchée afin de réduire son volume et faciliter son évacuation, tandis que l'autre est compactée pour conserver les micro-organismes actifs, indispensables au bon fonctionnement biologique du système. Ce procédé contribue à la durabilité du traitement des eaux usées tout en limitant l'impact environnemental des boues résiduelles.

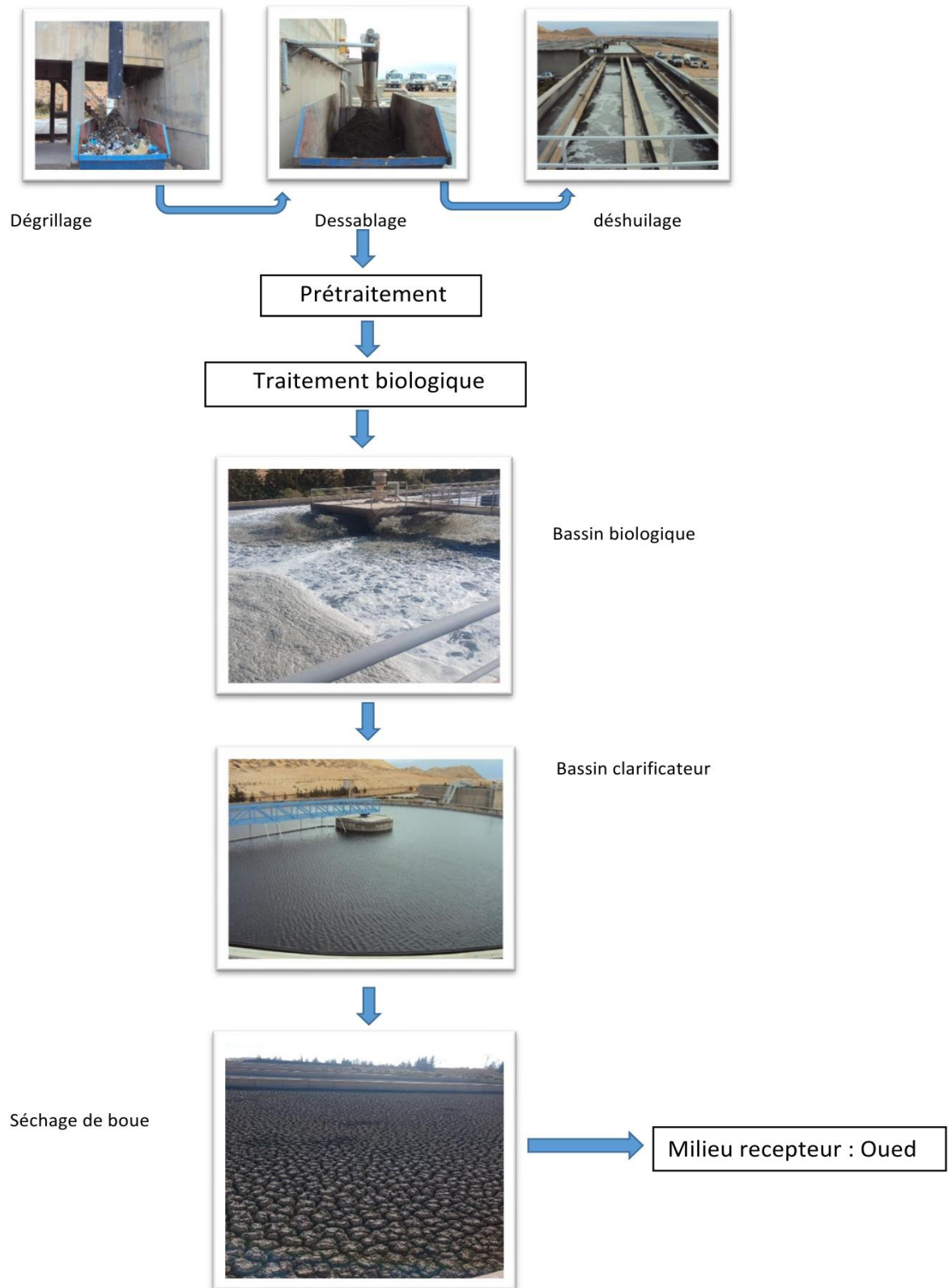


Figure 9. Fonctionnement globale de la station d'épuration.

3. Méthodes

3.1. Objectif de l'analyse

Cette étude vise principalement à estimer la charge bactérienne présente dans les eaux usées à différents stades du traitement, exprimée en unités formant colonies par millilitre (UFC/ml), tout au long du processus d'épuration.

3.2. Echantillonnage

Dans le cadre de l'évaluation bactériologique des eaux usées domestiques, trois lots de prélèvement ont été réalisés au niveau de la station d'épuration, à différents moments, afin de suivre l'évolution de la charge bactérienne dans le temps. Les échantillons ont été collectés dans des flacons stériles afin d'éviter toute contamination pouvant fausser les résultats microbiologiques. Après le prélèvement, ils ont été transportés directement au laboratoire pour y être analysés dans les meilleurs délais.

Trois points de prélèvement ont été définis au sein de la station d'épuration :

- Point 1 : à l'entrée, avant tout traitement
- Point 2 : au niveau du bassin biologique (milieu du traitement)
- Point 3 : à la sortie, après la décantation secondaire.

Pour les lots d'échantillonnage 2 et 3, deux séries ont été réalisées à des temps différents (T0 et T10 minutes). Chaque échantillon a été prélevé avec un volume d'un litre afin d'assurer la représentativité.



Figure 10 .Les échantillons des trois points de prélèvement.

3.3. Préparation des dilutions

Des dilutions décimales successives (10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5}) ont été réalisées à l'aide d'une solution

physiologique stérile

Prélèvement n°1 : seule la dilution 10^{-3} a été effectuée, mais les boîtes se sont révélées indénombrables en raison d'une surcharge bactérienne.

Prélèvements n°2 et n°3 : les dilutions 10^{-4} et 10^{-5} ont été utilisées afin d'obtenir un comptage fiable.

3.4 .Préparation des milieux de culture et méthodes d'ensemencement

Les milieux de culture ont été préparés à partir de poudre déshydratée, dissoute dans de l'eau distillée stérile, puis stérilisée en autoclave à 121 °C pendant 20 minutes. Les milieux solides ont été coulés dans des boîtes de Pétri stériles, tandis que les milieux liquides ont été distribués dans des tubes stériles selon les besoins spécifiques des bactéries étudiées.

- Recherche de la flore aérobie mésophile (milieu PCA – Plate Count Agar)

Le milieu PCA a été choisi pour le dénombrement général des bactéries aérobies mésophiles. Il permet une croissance non sélective favorisant le développement de nombreuses bactéries présentes dans les échantillons. Les échantillons ont été ensemencés en surface sur les boîtes PCA par étalement à l'aide d'une spatule stérile, puis incubés à 30 °C pendant 48 heures en conditions aérobies.

- Isolement des entérobactéries (milieu Mac Conkey)

Le milieu Mac Conkey, sélectif pour les entérobactéries, a été utilisé pour isoler ces bactéries souvent pathogènes et indicatrices de contamination fécale. Il contient des sels biliaires et du cristal violet qui inhibent les bactéries Gram-positives. Les échantillons ont été étalés en surface sur ce milieu, puis incubés à 37 °C pendant 24 heures.

- Détection de bactéries spécifiques (milieu Roth)

Le milieu Roth est employé pour détecter certaines bactéries spécifiques en fonction de leurs propriétés métaboliques. Les échantillons ont été inoculés en surface sur

- les boîtes Roth, ensuite incubées à 37 °C pendant 24 à 48 heures selon les bactéries recherchées. Isolement des entérocoques fécaux (milieu Slanetz-Bartley)

Ce milieu est sélectif pour les entérocoques fécaux, bactéries indicatrices de pollution fécale. Les échantillons ont été ensemencés en surface par étalement, puis les boîtes incubées à 37 °C pendant 48 heures.

- Identification des coliformes et bactéries lactiques (milieu BCPL)

Le milieu BCPL est utilisé pour identifier et différencier les coliformes et certaines bactéries

lactiques. Les échantillons ont été étalés sur la surface des boîtes, suivis d'une incubation à 37 °C pendant 24 heures.

- Culture des bactéries exigeantes en conditions anaérobies ou microaérophiles (milieu GVF – Gélose Viande Foie)

Le milieu liquide GVF a été préparé dans des tubes stériles et utilisé pour la culture en profondeur de bactéries anaérobies ou microaérophiles. Les échantillons ont été inoculés en profondeur dans les tubes, puis incubés à 37 °C pendant 48 heures en conditions anaérobies ou microaérophiles. Les répartitions des tubes pour les prélèvements ont été respectivement : 3 tubes pour le prélèvement n°1, et 12 tubes pour les prélèvements n°2 et n°3.



Figure 11. Préparation des milieux des cultures.



Figure 12. Collage des boîtes Pétri .

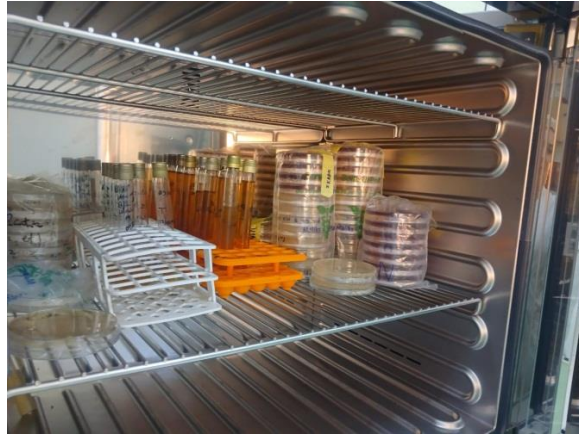


Figure 13. Incubation des boîtes

3.5 .Dénombrement bactérien

Le dénombrement des colonies bactériennes a été effectué manuellement. Les résultats ont été exprimés en UFC/ml, en tenant compte du facteur de dilution appliqué à chaque échantillon.

Chapitre III

Résultats et Discussion

1. Analyses physico chimiques et environnementales

Afin de déterminer la qualité des eaux usées de la station d'épuration, nous nous basons sur les analyses des différents paramètres physico chimique et environnementaux définies par : la température, le pH, la conductivité électrique, l'oxygène dissous (O_2), les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène (DBO_5), la demande chimique en oxygène (DCO), l'azote ammoniacal (NH_4), les nitrate (NO_3), la nitrite (NO_2), et ortho phosphate (PO_4).

Le tableau ci-dessous récapitule la variation des paramètres des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration des années 2020, 2021, 2022,2023.

Tableau 6. Analyses des paramètres physicochimiques et environnementaux des eaux de la station d'épuration de Laghouat.

Paramètres																		
Année	Mois	Lieu	Débit moyen (m ³ /l)	MES (mg/l)	DBO (mg/l)	DCO (mg/l)	N-NH ₄ (mg/l)	N-NO ₂ (mg/l)	N-NO ₃ (mg/l)	NTK (mg/l)	NT (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	PT (mg/l)	O ₂ dissous (mg/l)	Salinité (g/1000g)	Conductivité (µS/cm)	T (°C)	pH
2020	JAV	entrée	11 766	380	310	680	–	–	–	–	–	–	–	1,80	1,13	2 256	13,00	7,60
		sortie	11 266	22	44	–	–	–	–	–	–	–	4,20	1,10	2 190	12,50	7,44	25
	FEV	entrée	11 647	420	325	620	–	–	–	–	–	–	–	1,55	1,13	2 101	14,00	7,66
		sortie	11 147	21	16	34	–	–	–	–	–	–	–	4,22	1,10	2 080	14,50	7,51
	MAR	entrée	12 008	400	320	580	–	–	–	–	–	–	–	1,52	1,05	2 100	14,50	7,55
		sortie	11 508	18	15	30	–	–	–	–	–	–	–	4,10	1,02	2 050	15,00	7,42
	AVR	entrée	11 554	395	328	698	–	–	1,62	–	78,45	3,48	6,48	1,60	1,09	2 185	18,00	7,59
		sortie	11 054	26	28	47	–	–	1,98	–	23,22	1,23	4,52	4,40	1,06	2 120	16,00	7,54
	MAI	entrée	10 724	399	312	736	–	–	1,46	–	76,23	2,98	5,98	1,49	1,08	2 154	20,00	7,56
		sortie	10 224	28	26	52	–	–	1,68	–	25,78	1,54	3,88	4,25	1,04	2 082	19,00	7,48
	JUI	entrée	9 349	460	321	842	–	–	1,65	–	138,00	5,12	8,42	0,65	1,18	2 366	26,00	7,38
		sortie	8 849	29	32	67	–	–	1,72	–	54,17	3,65	4,85	3,14	1,08	2 163	23,00	7,62
	JULL	entrée	10 466	444	366	644	–	–	1,77	–	122,00	5,05	8,22	1,10	1,16	2 327	28,00	7,49
		sortie	9 966	21	20	35	–	–	1,07	–	41,00	3,22	4,16	3,55	1,13	2 271	26,00	7,45
	AOUT	entrée	10 902	495	309	859	–	–	0,61	–	104,20	6,48	9,79	0,90	1,17	2 334	33,70	7,15
		sortie	10 402	29	27	76	–	–	1,19	–	52,10	4,28	5,30	4,20	1,10	2 198	26,50	7,32
	SEP	entrée	8 738	383	298	647	–	–	0,72	–	98,30	5,42	7,78	1,08	1,19	2 378	25,00	7,58
		sortie	8 238	28	24	64	–	–	1,23	–	46,80	3,11	3,98	3,61	1,11	2 214	23,00	7,50
	OCT	entrée	7 935	378	244	618	–	–	0,88	–	82,13	4,36	6,54	1,46	1,20	2 391	25,00	7,57
		sortie	7 435	26	27	62	–	–	1,36	–	42,25	3,22	3,45	4,64	1,12	2 239	24,00	7,26
NOV	entrée	10 268	760	402	1383	–	–	1,02	–	94,22	5,34	8,12	1,35	1,24	2 476	21,00	7,44	
	sortie	9 768	32	34	82	–	–	1,57	–	48,14	3,64	4,22	3,92	1,14	2 279	19,00	7,34	
DEC	entrée	8 351	572	319	1026	–	–	1,17	–	88,14	4,28	7,28	1,08	1,19	2 380	18,00	7,49	
	sortie	7 851	29	24	87	–	–	1,63	–	42,23	2,87	3,94	3,49	1,13	2 265	16,00	7,52	

2021	JAV	entrée	7 628	453	304	845	–	–	1,23	–	84,20	4,16	6,83	1,23	1,22	2 432	16,50	7,54
		sortie	7 128	29	27	77	–	–	1,34	–	43,50	2,77	3,82	3,38	1,18	2 351	14,70	7,25
	FEV	entrée	9 216	425	285	795	–	–	1,20	–	79,00	4,05	6,77	1,19	1,07	2 150	16,20	7,61
		sortie	8 716	24	20	67	–	–	1,29	–	39,00	2,61	3,65	3,45	1,04	2 090	15,00	7,28
	MAR	entrée	9 300	442	296	766	–	–	1,33	–	82,50	4,12	6,77	1,25	1,16	2 315	18,50	7,66
		sortie	8 800	31	28	67	–	–	1,12	–	38,50	2,65	3,75	3,50	1,14	2 280	18,10	7,32
	AVR	entrée	9921	518	466	753	–	–	1,32	–	102,00	5,15	7,05	0,45	1,19	2380	21,00	7,39
		sortie	9464	32	35	61	–	–	1,13	–	60,00	2,82	3,94	4,12	1,15	2295	20,00	7,42
	MAI	entrée	8008	700	417	1362	–	–	1,45	–	96,00	5,11	7,66	0,55	1,21	2424	24,00	6,87
		sortie	7536	22	15	52	–	–	1,11	–	55,00	2,77	4,05	4,10	1,13	2261	23,00	6,68
	JUI	entrée	9921	518	466	753	–	–	1,32	–	102,00	5,15	7,05	0,45	1,19	2380	21,00	7,39
		sortie	9464	32	35	61	–	–	1,13	–	60,00	2,82	3,94	4,12	1,15	2295	20,00	7,42
	JUL L	entrée	8000	580	388	860	–	–	–	–	–	–	–	0,52	1,15	2311	28,00	7,21
		sortie	7000	18	14	43	–	–	–	–	–	–	–	4,05	1,10	2200	27,00	7,35
	AOU T	entrée	7500	560	403	780	–	–	1,55	–	90,00	5,02	7,05	0,77	1,18	2356	28,50	7,38
		sortie	7000	21	17	39	–	–	1,15	–	49,00	2,62	4,15	4,55	1,10	2205	27,50	7,05
	SEP	entrée	7500	560	403	780	–	–	1,55	–	90,00	5,02	7,05	0,77	1,18	2356	28,50	7,38
		sortie	7000	21	17	39	–	–	1,15	–	49,00	2,62	4,15	4,55	1,10	2205	27,50	7,05
	OCT	entrée	8958	530	322	635	–	–	–	–	–	–	–	0,63	1,14	2277	24,00	7,33
		sortie	8500	16	13	31	–	–	–	–	–	–	–	4,66	1,09	2185	24,00	7,22
NOV	entrée	7903	510	398	791	131,00	0,20	–	–	204,00	7,25	9,15	0,70	1,24	2473	17,00	7,64	
	sortie	7403	23	15	38	23,00	0,10	–	–	50,00	3,03	4,13	5,20	1,04	2070	17,00	7,45	
DEC	entrée	6724	421	315	754	116,00	0,17	–	–	160,00	6,88	8,12	0,65	1,19	2380	16,00	7,55	
	sortie	6274	16	12	34	21,00	0,08	–	–	42,00	2,77	4,05	5,34	1,06	2115	16,00	7,41	

2022	JAV	entrée	7068	402	306	688	107.00	0.15	-	-	155.00	6.76	8.07	0.70	1.15	2305	15.00	7.61
		sortie	6668	14	12	30	17.00	0.07	-	-	33.00	2.55	3.88	5.22	1.08	2160	15.00	7.52
	FEV	entrée	7015	380	300	632	105.00	0.12	-	-	144.00	6.55	7.88	0.70	1.14	2288	16.00	7.68
		sortie	6615	13	11	27	15.00	0.06	-	-	37.00	2.48	3.77	5.22	1.05	2103	16.00	7.51
	MAR	entrée	7100	476	310	677	109.00	0.14	-	-	152.00	6.45	7.66	0.68	1.14	2288	17.00	7.65
		sortie	6700	16	13	28	19.00	0.06	-	-	36.00	2.58	3.98	6.12	1.06	2130	17.00	7.48
	AVR	entrée	7079	388	310	677	110.00	0.15	-	-	142.00	6.55	7.98	0.80	1.11	2220	17.50	7.61
		sortie	6700	14	11	26	18.00	0.07	-	-	32.00	2.44	3.79	5.33	1.05	2106	18.00	7.52
	MAI	entrée	6407	425	333	605	112.00	0.10	-	-	194.00	5.66	7.15	0.81	1.15	2298	24.00	7.68
		sortie	6000	13	11	25	12.00	0.06	-	-	22.00	2.33	3.44	5.66	1.08	2155	24.00	7.52
	JUI	entrée	5059	320	304	672	110.00	0.10	-	-	190.00	4.12	5.55	0.78	1.14	2287	28.00	7.58
		sortie	4849	13	10	33	13.00	0.05	-	-	21.00	1.88	2.05	5.52	1.13	2271	27.00	7.56
	JUL L	entrée	4322	345	288	666	109.00	0.12	-	-	195.00	4.11	5.66	0.81	1.48	2950	28.50	7.33
		Sortie	4000	17	11	28	15.00	0.06	-	-	23.00	1.78	2.04	5.61	1.26	2514	30.00	7.45
	AOU T	entrée	4856	248	233	580	-	0.11	-	-	189.00	-	-	0.79	1.38	2766	29.00	7.59
		sortie	4400	12	9	22	-	0.07	-	-	21.00	-	-	4.89	1.20	2413	29.00	7.42
	SEP	entrée	4918	253	240	600	-	0.11	-	-	-	-	-	0.75	1.33	2660	28.00	7.77
		sortie	4543	13	10	25	-	0.07	-	-	-	-	-	4.77	1.16	2311	28.00	7.35
	OCT	entrée	5380	240	219	580	118.00	0.08	2.38	142.54	145.00	3.22	4.14	0.82	1.33	1933	25.00	7.09
		sortie	5000	11	10	21	15.00	0.07	2.11	18.82	21.00	2.95	3.66	4.82	1.16	2733	25.00	7.45
NOV	entrée	7989	244	231	533	89.00	0.08	2.44	119.00	122.00	3.22	4.22	0.69	1.21	2420	21.00	7.45	
	sortie	7650	12	9	21	9.00	0.07	2.03	10.90	13.00	2.98	3.77	4.66	1.05	2100	21.00	7.39	
DEC	entrée	9148	469	394	797	82.00	0.09	2.34	127.00	130.00	3.16	4.15	0.66	1.10	2186	17.00	7.51	
	sortie	8748	16	15	37	8.00	0.07	2.03	13.00	15.00	2.76	3.66	4.62	1.16	2326	17.00	7.27	

2023	JAV	entrée	8894	487	477	655	78	0,07	3,33	116	120	3,02	3,88	0,66	0,98	1962	17	7,07
		sortie	8694	18	16	29	7	0,06	2,25	8,74	11	2,66	3,44	4,62	1,16	2322	16	7,31
	FEV	entrée	9150	423	481	667	80	0,06	3,25	121	125	2,98	3,81	0,68	1,03	2050	18	7,25
		sortie	8800	15	17	31	8	0,06	2,21	9,73	12	2,56	3,35	4,93	1,11	2222	18	7,44
	MAR	entrée	9184	414	-	644	75	0,06	-	118	121	2,77	3,84	0,66	1,03	2096	20	7,41
		sortie	8850	14	-	29	7	0,06	-	9.50	11	2.44	3,32	5,01	1,12	2242	20	7,28
	AVR	entrée	1050	161	155	266	50	0,06	-	85	88	1,59	2,36	0,21	1,26	2525	18	7,48
		sortie	920	61	52	98	42	0,06	-	64	66	1.36	2.21	0,98	1,21	2430	18	7,61
	MAI	entrée	8238	409	401	690	88	0,06	-	120	142	2,66	3,69	0,65	1,01	2035	23	7,31
		sortie	7888	16	16	33	7,5	0,06	-	9.50	14	2,29	3,08	4,98	1,1	2214	23	7,24
	JUI	entrée	1050	115		370	46	0,06	-	66	71	1.51	2,4	0,16	1,13	2276	30	7,35
		sortie	920	91		292	33	0,06	-	53	58	1.21	2,18	1.02	1,24	2480	30	7,51
	JUL L	entrée	6382	411		643	75	0,06	-	-	131	2.48	3,52	0,59	1.03	2064	34	7,61
		sortie	6082	39		59	11	0,07	-	-	16	2.18	3,08	4,76	1.12	2240	34	7,32
	AOU T	entrée	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		sortie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SEP	entrée	9921	405	-	625	83	0,06	-	-	149	2,35	3,38	0,66	1,13	2255	32	7,52
		sortie	9521	36	-	46	17	0,07	-	-	22	2,07	3,05	4,51	1,2	2249	32	7,54
	OCT	entrée	10127	425	-	678	68	0,06	-	-	125	2,41	3,45	0,65	1,05	2110	22	7,49
		sortie	9727	37	-	61	6	0,07	-	-	12	2,15	3,09	4,92	1,05	2107	22	7,34
NOV	entrée	1050	128	-	355	53	0	-	-	80	1	2	0	1	2188	36	8	
	sortie	920	99	-	271	41	0	-	-	65	1	2	1	1	2210	36	8	
DEC	entrée	1050	119	-	396	42	0	0	-	2	2	1	1	2	3582	16	8	
	sortie	920	109	-	237	36	0	0	-	1	2	2	1	2	3687	14	8	

1.1. Demande chimique en oxygène (DBO₅)

Le tableau des analyses et les diagrammes tracés représentent la variation de la DBO₅ de l'eau brute [entrée] et de l'eau traitée [sortie], notons que l'eau brute à l'entrée de la station présente une DBO₅ qui varie entre 402 et 244 mg /L en 2020, 466 et 285 mg /L en 2021, 394 et 219 mg /L en 2022 et 401 et 155 mg /L en 2023, ces valeurs qui représentent la charge polluante sont inférieures aux normes de la charge des eaux usées domestiques (≤ 500 mg/L), cette diminution est marquée à cause de la dégradation de la charge polluante importante dans le réseau à l'entrée de la station. Par contre, pour l'eau traitée, on remarque que la DBO₅ à la sortie de la Station d'épuration pendant l'année 2020 varie entre 44 et 15mg/ L, en 2021 varie entre 35 et 12 mg/L, en 2022 varie entre 15 et 9 mg/L et en 2023 varie entre 52 et 16 mg/L. Ces valeurs sont conformes à la norme (≤ 35 mg/L) sauf pour l'année 2023 dont les valeurs dépassent la norme en mois de janvier précisément (figure 15).

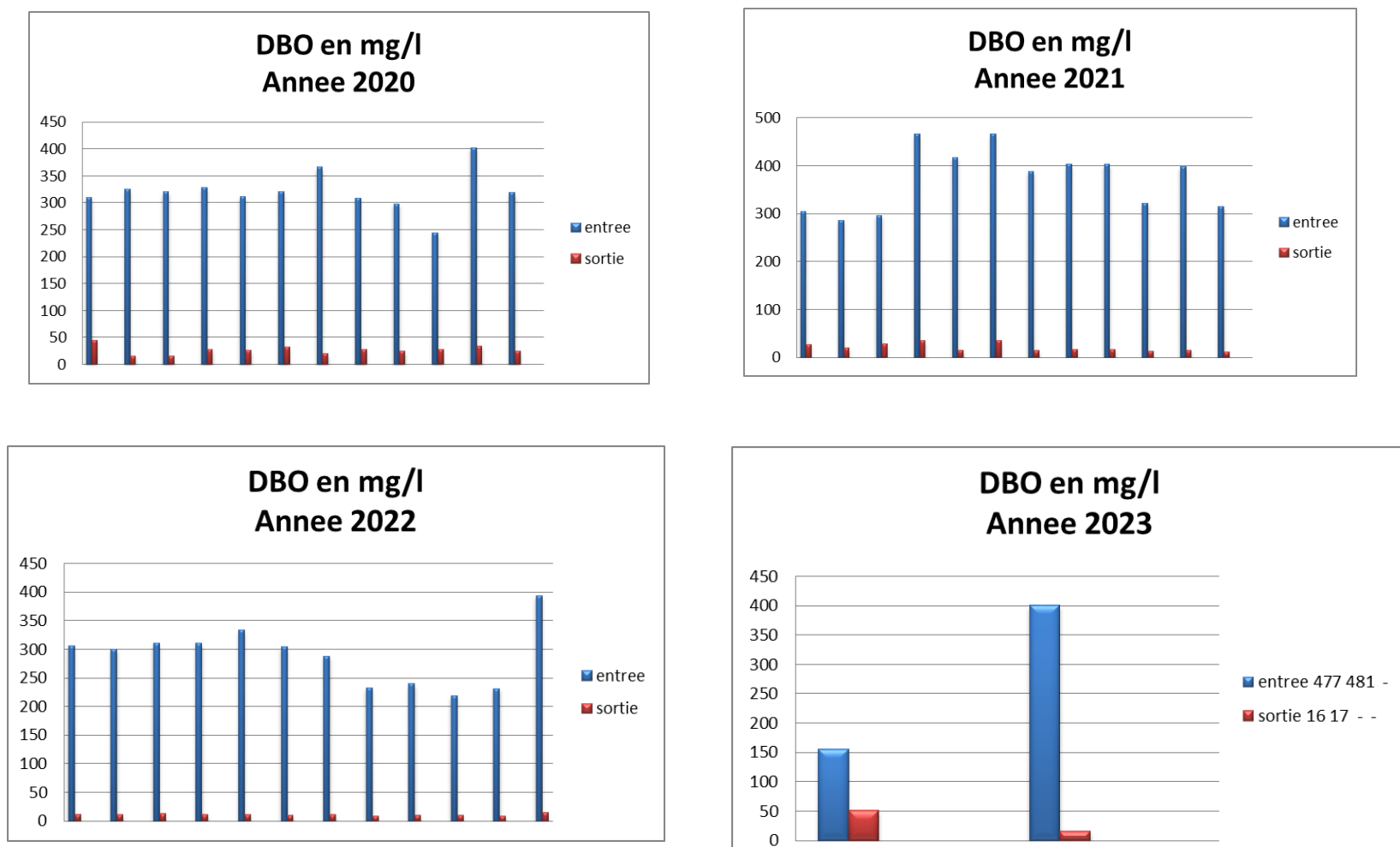
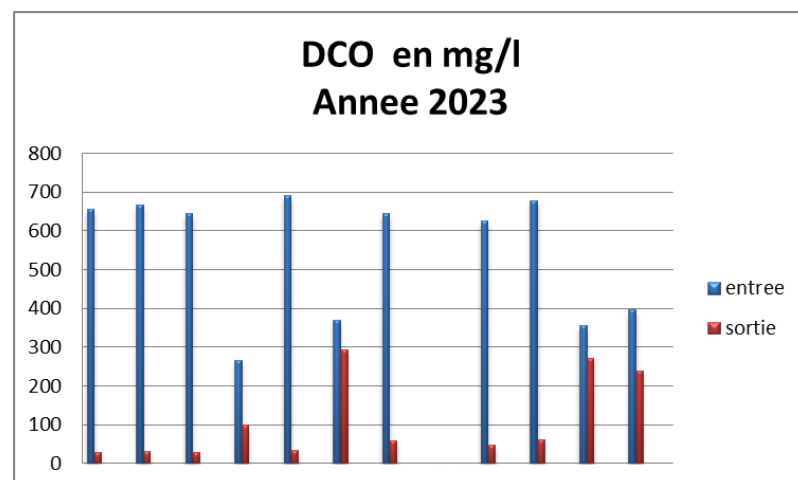
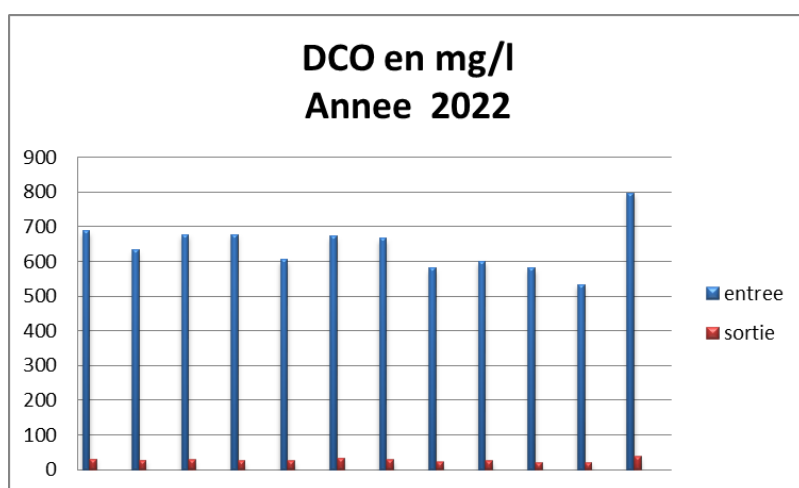
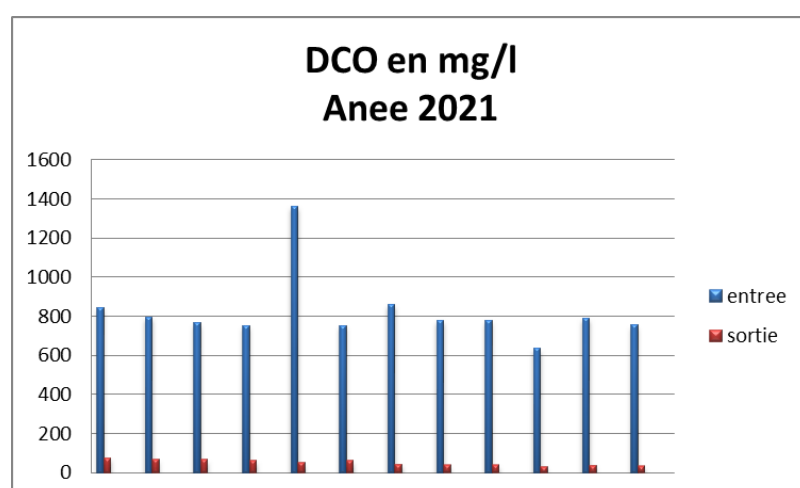
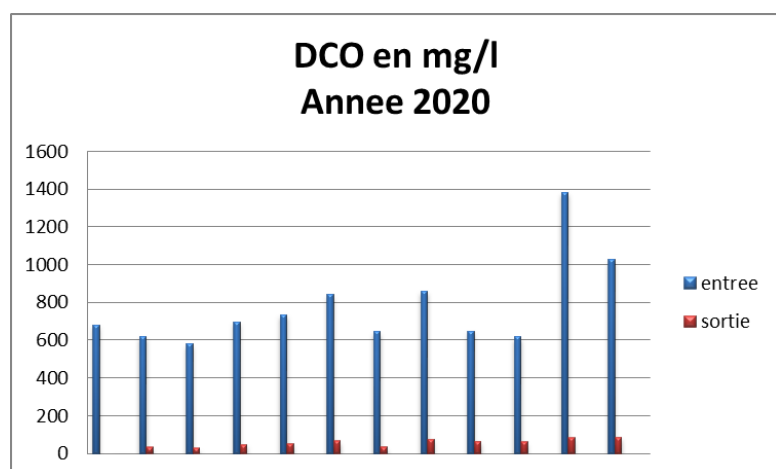


Figure 14. Histogrammes de variation de la DBO des années 2020,2021,2022 et 2023.

1.2.

Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. Les valeurs de concentration de la DCO des eaux brutes de la station d'épuration varient entre un maximum de 1383mg/L et un minimum de 580 mg/L en 2020, de 1362mg/L et un minimum de 635 mg/L en 2021, de 797 mg/L et un minimum de 533 mg/L en 2022 et de 699mg/L et un minimum de 233 mg/L en 2023 . En revanche, les valeurs des concentrations des eaux traitées varient entre un maximum de 82 mg/L et un minimum de 30 mg/L en 2020, entre un maximum de 77 mg/L et un minimum de 31 mg/L en 2021, entre un maximum de 33 mg/L et un minimum de 21 mg/L en 2022 et entre un maximum de 292 mg/L et un minimum de 29 mg/L en 2023. Ces valeurs sont conforme à la norme algérienne de rejet (<120 mg/L), sauf les mois de juin, novembre et décembre de l'année 2023 qui dépassent la norme, donc une moyenne de concentration a été éliminé par ce procédé car il y'a une faible dégradation de la charge polluante : peut-être dû à l'abondance des algues qui faussent les résultats (figure 16).



Demande chimique en oxygène (DCO):

En 2020 et 2021, la DCO à l'entrée était très élevée, indiquant une forte pollution. Elle a diminué en 2022 et 2023.

Mais en 2023, malgré une DCO d'entrée plus faible, les valeurs à la sortie dépassent souvent les normes. Cela montre un

traitement moins efficace, probablement à cause d'une biomasse affaiblie ou d'une prolifération d'algues.

En conclusion Moins de pollution à l'entrée, mais un rendement de traitement plus faible en 2023.

Figure 15 . Histogrammes de variation de la DCO des années 2020, 2021,2022 et 2023.

.Biodégradabilité (K)

L'estimation du coefficient de biodégradabilité K est très important pour la recherche de la qualité de l'effluent qui est le rapport entre la demande chimique d'oxygène et la demande biologique, pour détermine s'il y a des composant qui influencent la dégradation des matières organiques (les détergent).

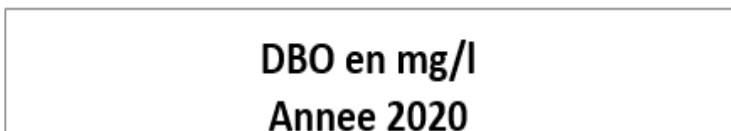
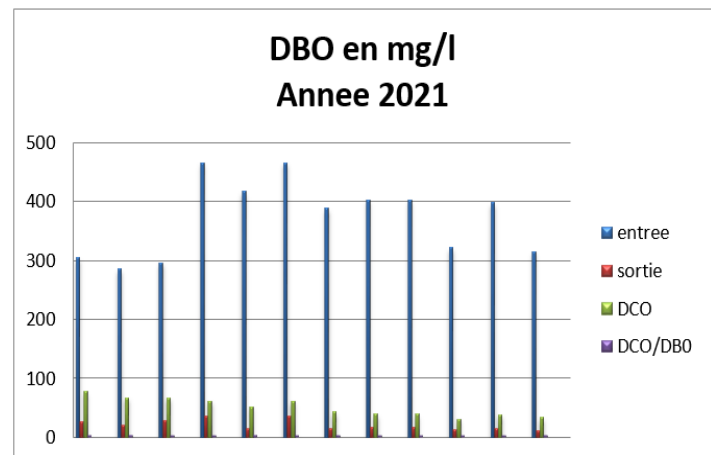
$$K = DCO \setminus DBO$$

- Si : $1 < K < 1.5$: l'effluent est biodégradable ;
- $1.5 < K < 2.5$: l'effluent est moyennement biodégradable ;
- $K > 2.5$: l'effluent n'est pas dégradabile.

		DBO	DCO	DCO/DBO
Année 2020	JAN	44	34	0,72
	FEV	16	34	2,12
	MARS	15	30	2
	AVR	28	47	1,67
	MAI	26	52	2
	JUIN	32	67	2,09
	JUILL	20	35	1,75
	AOUT	27	76	2,81
	SEPT	24	64	2,66
	OCT	27	62	2,29
	NOV	34	82	2,41
	DEC	24	87	3,62

		DBO	DCO	DCO/DBO
Annee 2021	JAV	27	77	2,85
	FEV	20	67	3,35
	MARS	28	67	2,39
	AVR	35	61	1,74
	MAI	15	52	3,46
	JUIN	35	61	1,74
	JUILL	14	43	3,07
	AOUT	17	39	2,29
	SEPT	17	39	2,29
	OCT	13	31	2,38
	NOV	15	38	2,53
	DEC	12	34	2,83

Un coefficient K élevé peut traduire la présence dans l'eau d'éléments inhibiteurs de la croissance bactérienne tels que les détergents et les hydrocarbures (figure 17 et 18). Pour une eau usée domestique K est entre 2 et 2.5 .



		DBO	DCO	DCO/DBO
Année 2022	JAN	12	30	2,5
	FEV	11	27	2,45
	MARS	13	28	2,15
	AVR	11	26	2,36
	MAI	11	25	2,27
	JUIN	10	33	3,3
	JUILL	11	28	2,54
	AOUT	9	22	2,44
	SEPT	10	25	2,5
	OCT	10	21	2,1
	NOV	9	21	2,33
	DEC	15	37	2,46

		DBO	DCO	DCO/DBO
Année 2023	JAN	16	30	1,87
	FEV	17	27	1,58
	MARS		28	0
	AVR	52	26	0,5
	MAI	16	25	1,56
	JUIN		33	
	JUILL		28	
	AOUT		22	
	SEPT		25	
	OCT		21	
	NOV		21	
	DEC		37	

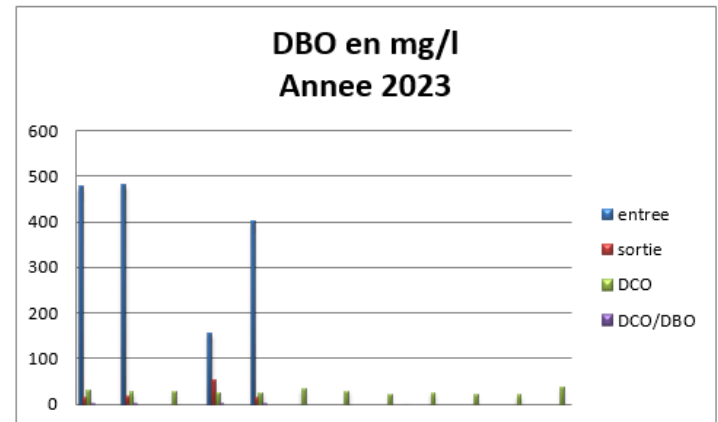
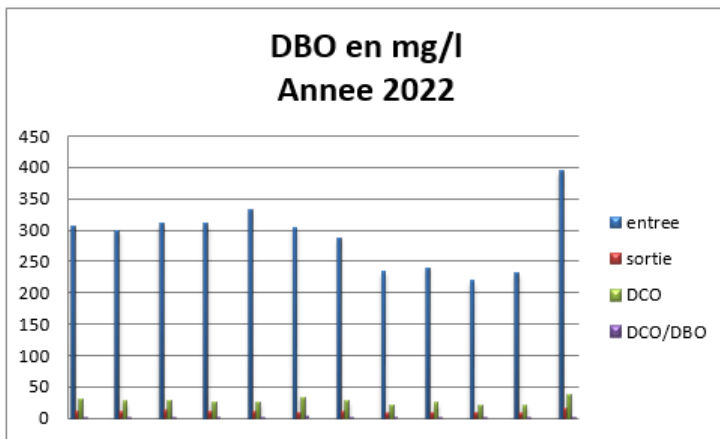


Figure 16 . Histogrammes de variation du coefficient de biodégradabilité K des années 2020 et 2021.

Les tableaux montre la variation de la DBO₅ entre l'entrée et la sortie de la station de 2020 à 2023.

En 2020 et 2021, la réduction de la DBO est importante, ce qui reflète une biomasse bactérienne active et efficace.

En 2022, les valeurs diminuent globalement, signe d'une charge polluante réduite ou d'un bon équilibre du traitement.

En 2023, une baisse de performance est notée (surtout en janvier), probablement à cause d'un déséquilibre dans la biomasse.

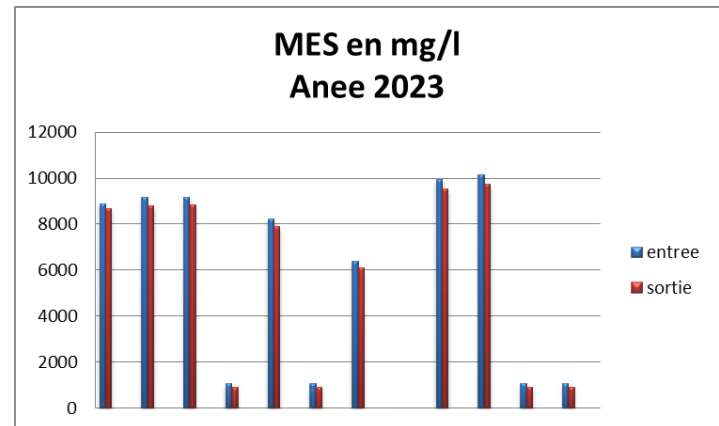
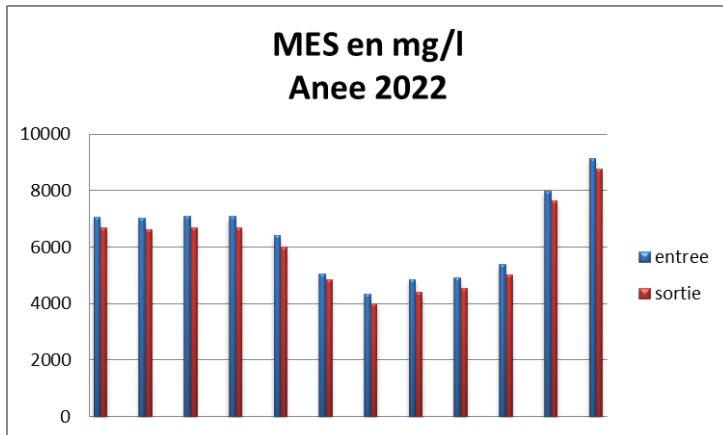
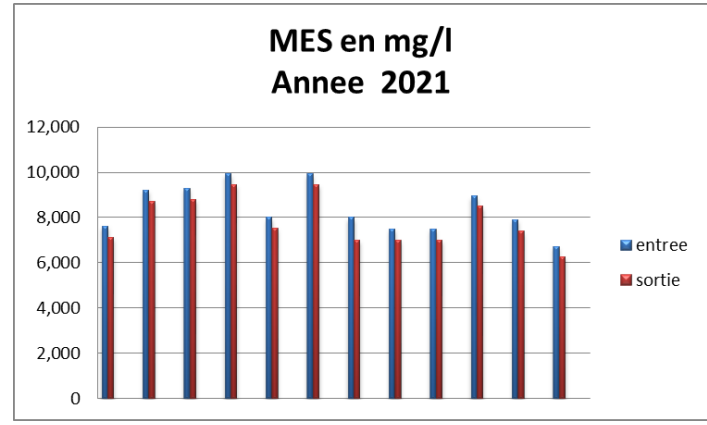
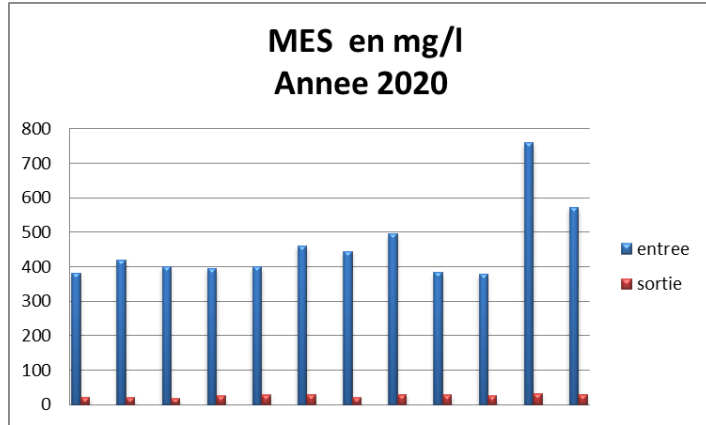
En conclusion : Une forte réduction de la DBO indique une bonne efficacité du traitement biologique

Le rapport DCO / DBO₅ détermine la possibilité de dégradation que l'on peut espérer par un traitement d'oxydation biologique. Les valeurs sont comprises entre 0,72 et 3,62 en 2020, de 1,74 et 3,46 en 2021, 2,1 et 3,3 en 2022, de 0 et 1,87 en 2023. Avec une moyenne de 2.24 elles sont inférieures à 3 ce qui signifie selon Cardot, l'effluent possède une moyenne a bonne biodégradabilité.

Figure 17. Histogrammes de variation du coefficient de biodégradabilité K des années 2022 et 2023.

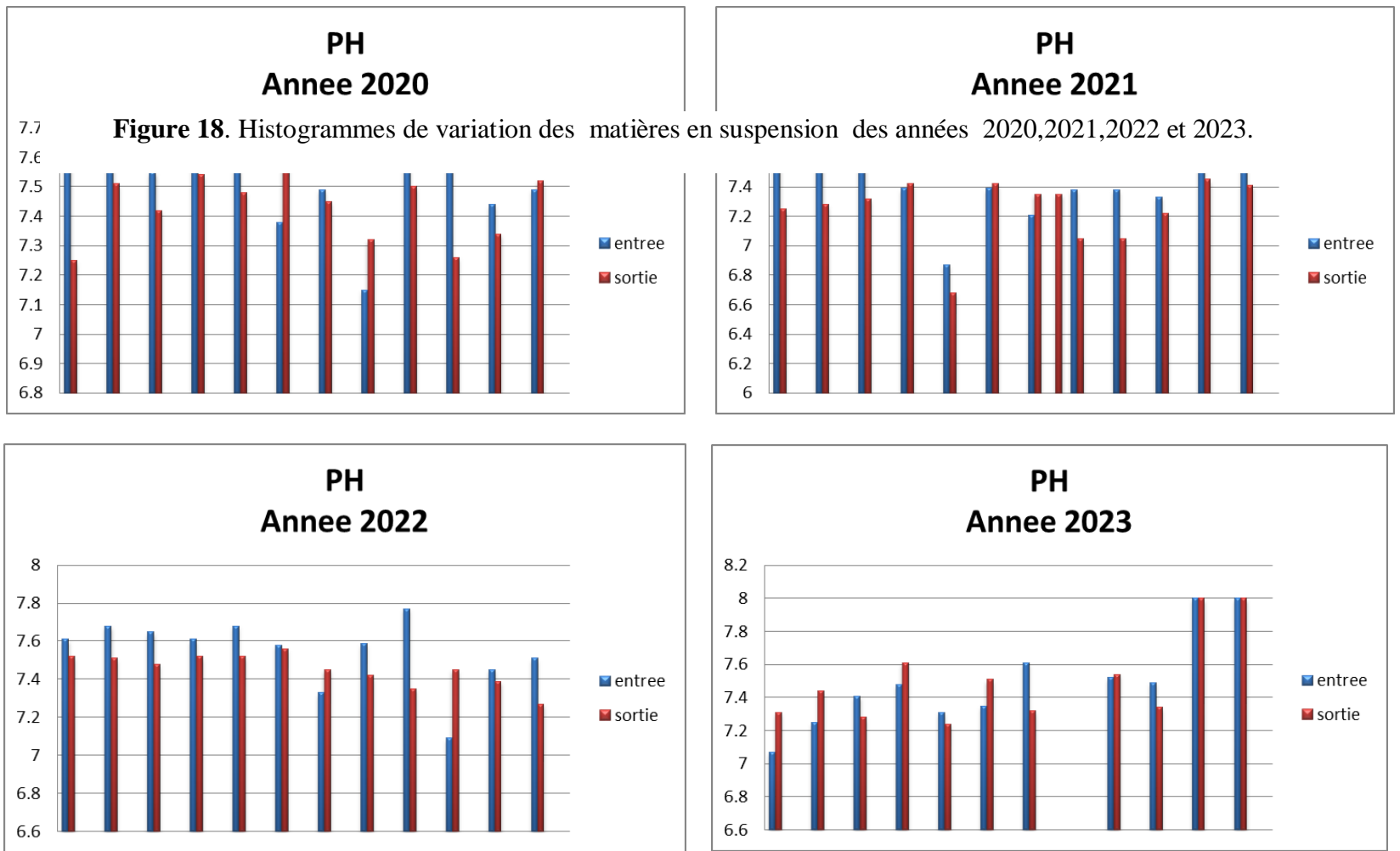
1.4. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux usées. La connaissance de la concentration des éléments colloïdaux dans les eaux usées est nécessaire dans l'évaluation de l'impact de la pollution sur le milieu aquatique. La quantité de la matière en suspension à l'entrée varie entre 760 mg/L et 380 mg/L en 2020, entre 9921 mg/L et 380 mg/L en 2021, entre 9148 mg/L et 4322 mg/L



en 2022, entre 10127 mg/L et 1050 mg/L en 2023. La concentration à la sortie varie entre 32 mg/L et 18 mg/L en 2020, entre 457 mg/L et 450 mg/L en 2021, entre 400 mg/L et 322 mg/L en 2022, entre 400 mg/L et 130 mg/L en 2023. A la sortie, nous avons obtenu des valeurs de l'ordre de 457, 400, 130 mg/L sur les années 2021, 2022, 2023 respectivement, Ces valeurs sont supérieures à la norme du rejet de directive des communautés : Normes extrêmes limitées (30 mg/L) et à celle de l'OMS appliquée en l'Algérie (35 mg/L) (figure 19). Cette augmentation dépend de :

- au phénomène d'eutrophisation de la croissance des algues
- ou anomalie au niveau du pré- traitement
- et à l'excès de boues dans les bassins.



1.5. pH

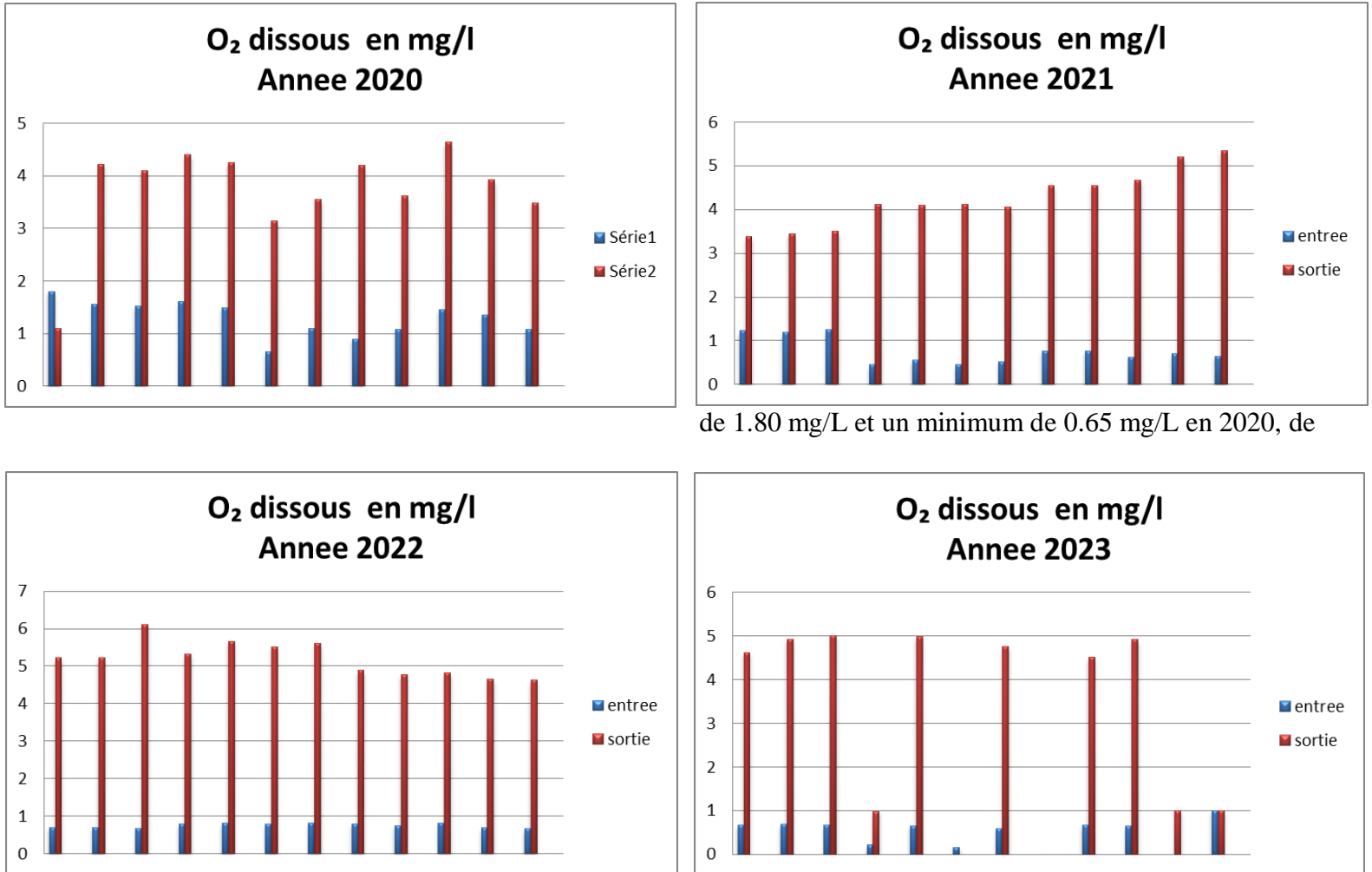
Les valeurs de pH des eaux brutes de la station d'épuration varient entre un maximum de 7.66 et un minimum de 7.15 en 2020, de 7.87 et un minimum de 7.37 en 2021, de 7.77 et un minimum de 7.33 en 2022 et de 8 et un minimum de 7.07 en 2023. En revanche, les valeurs des concentrations des eaux traitées varient entre un maximum de 7.54 et un minimum de 7.25 en 2020, entre un maximum de 7.42 et un minimum de 7.07 en 2021, entre un maximum de 7.56 et un minimum de 7.27 en 2022 et entre un maximum de 8.00 et un minimum de 7.28 en 2023. Ces valeurs sont conformes à la norme algérienne de rejet (6.5 à 8) et ne causent aucun problème au périmètre avoisinant à la station d'épuration (figure 20).

1.6. Oxygène dissous

Les valeurs de l'oxygène dissous présentent les quantités nécessaires pour une bonne dégradation de la matière

Figure 20. Histogrammes de variation du potentiel hydrométrique des années 2020,2021,2022 et 2023.

organique par les bactéries .Les quantités des eaux brutes de la station d'épuration varient entre un maximum

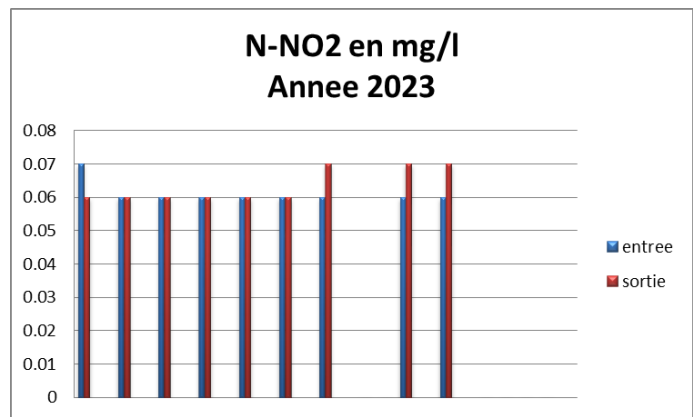
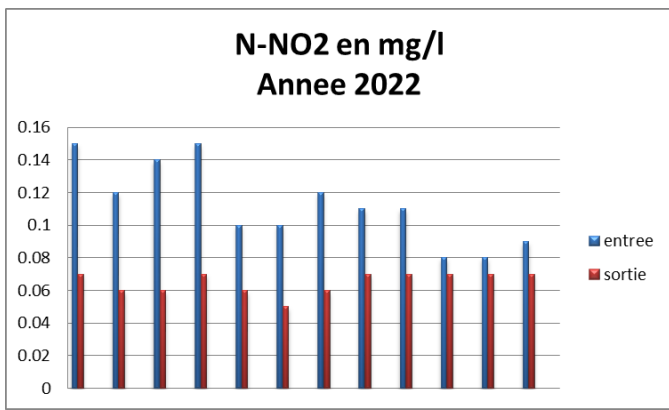


de 1.80 mg/L et un minimum de 0.65 mg/L en 2020, de 1.25 mg/L et un minimum de 0.45 mg/L en 2021, de 0.82 mg/L et un minimum de 0.66 mg/L en 2022 et de 1 mg/L et un minimum de 0.21 mg/L en 2023. En revanche, les valeurs des concentrations des eaux traitées varient entre un maximum de 4.64 mg/L et un minimum de 1.1 e mg/L 2020, entre un maximum de 5.34 mg/L et un minimum de 3.38 mg/L en 2021, entre un maximum de 6.12 mg/L et un minimum de 4.62 mg/L en 2022 et entre un maximum de 5.01 mg/L et un minimum de 0.98 mg/L en 2023. Ces valeurs témoignent de la bonne alimentation en oxygène des bassins d'aération et sont conforme à la norme algérienne de rejet {figure 21}.

1.7. NO2, NO3 et NH4

- Les NO2 présentent des valeurs faibles et sont inférieurs aux normes de rejets ≤ 1 mg/L

Figure 21. Histogrammes de variation de l'oxygène dissous des années 2020, 2021,2022 et 2023.



- Les NO3 les valeurs dépassent légèrement la norme de rejet ≤ 1 mg/L et enregistre des valeurs de 1.15 mg/L pour les années 2020,2021 ,2022 par contre l'année 2023 enregistre des valeurs qui dépassent le 2 mg/L (Figure 22).

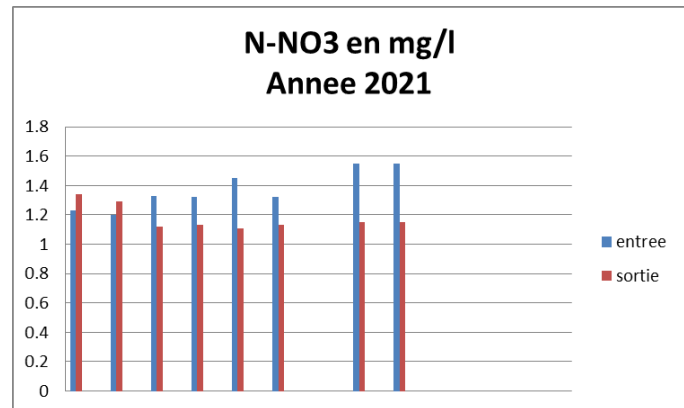
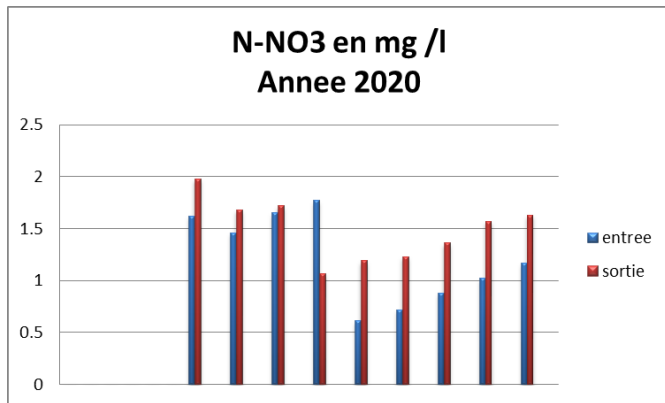
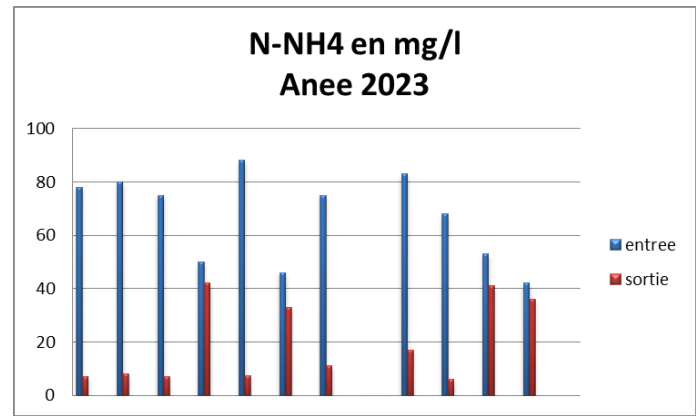
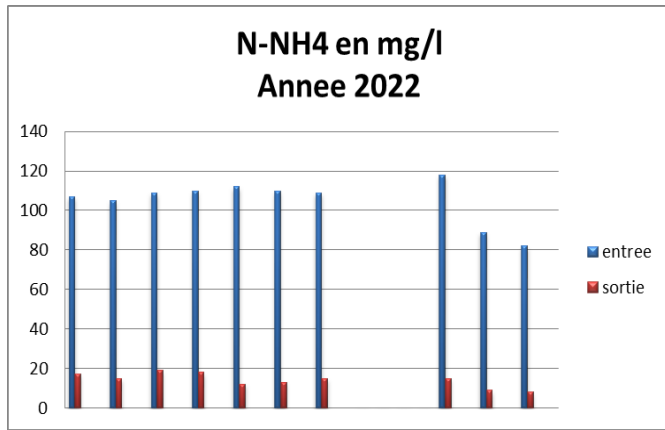
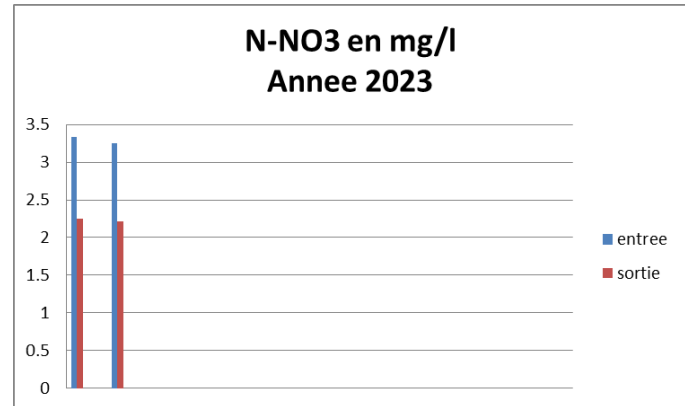
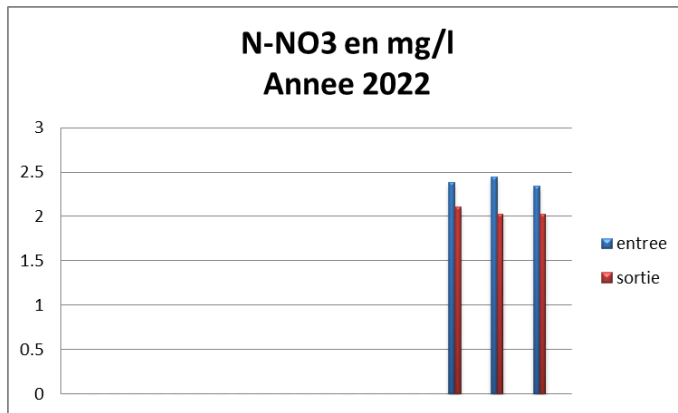


Figure 19. Histogrammes de variation des Nitrites des années 2022 et 2023.

Figure 20. Histogrammes de variation des Nitrates des années 2020,2021 2022 et 2023.



- Les NH₄ les valeurs dépassent la norme de rejet ≤0.5 mg/l et enregistrent des valeurs de 8 à 17 mg/L en



2022 et de 7 à 42 mg/L (figure 24).

Les valeurs élevées des NH₄ et NO₃ sont certainement liées aux quantités des boues et des algues qui sortent avec les eaux de rejets et qui parfois se décompose à cause des arrêts brusques et continus de la station.

Figure 21. Histogrammes de variation des NH₄ des années ,2022 et 2023.

1.8. Température

Les valeurs des températures des eaux de rejets sont inférieures aux normes de rejet $\leq 30^{\circ}\text{C}$. Les eaux brutes de la STEP présentent des valeurs variées entre un maximum de 33.7°C et un minimum de 13°C en 2020, de 28.5°C et un minimum de 16°C en 2021, de 28.5°C et un minimum de 15°C en 2022 et de 36°C et un minimum de 16°C en 2023. En revanche, les valeurs des températures des eaux

traitées varient entre un maximum de 26.5°C et un minimum de 7.44°C en 2020, entre un maximum de 27.5°C et un minimum de 15°C en 2021, entre un maximum de 30°C et un minimum de 15°C en 2022 et entre un maximum de 36°C et un minimum de 14°C en 2023. Ces valeurs sont faibles au-dessous de la norme et ne favorise pas un milieu de développement de germes pathogènes et des algues (figure 25 et 26).

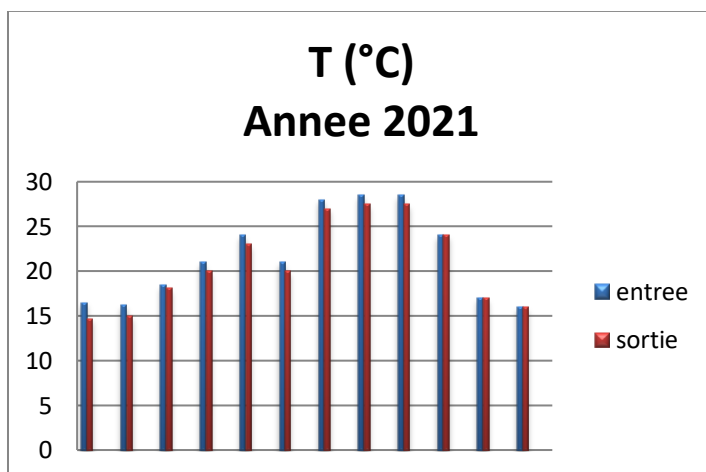
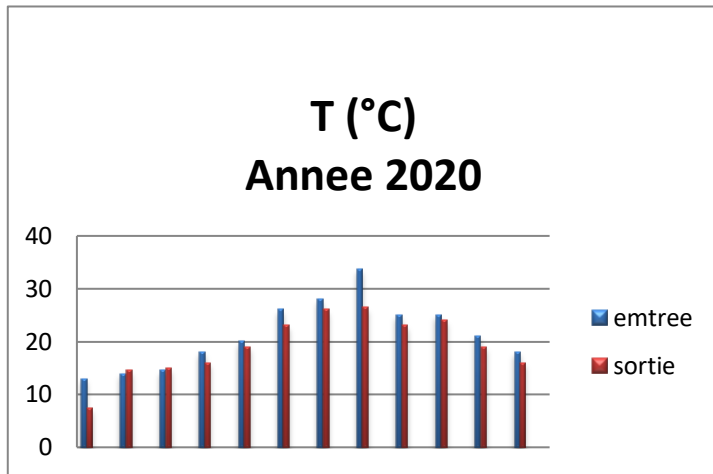
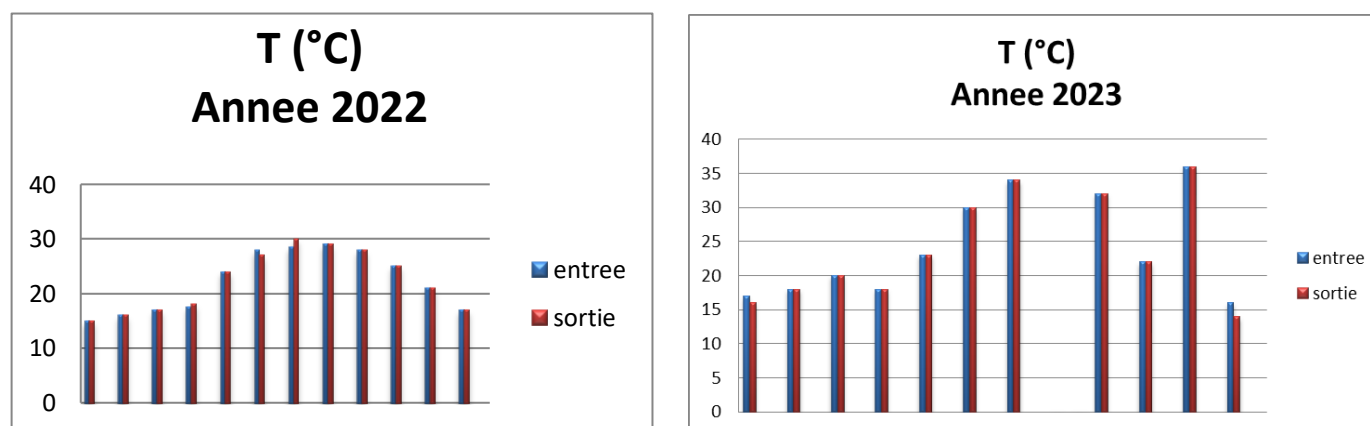


Figure 22. Histogrammes de variation des Températures des années 2020 et 2021.

Figure 23. Histogrammes de variation des T températures des eaux des années 2022 et 2023.



2. Analyse bactériologique

2.1. Présentation des tableaux de résultats

Les résultats expérimentaux obtenus lors des différentes analyses microbiologiques ont été organisés selon quatre tableaux, chacun correspondant à une étape spécifique de l'étude :

- Tableau P_1 : Ce tableau regroupe les résultats du dénombrement initial des unités formant colonies (UFC) pour trois types d'échantillons (E, B, S), cultivés sur différents milieux (VF, PCA). Les données sont présentées après dilution, exprimant la charge microbienne brute (tableau 8).

Tableau 7. Résultats du dénombrement initial des unités.

Milieu	E	B	S
Dilution	-3	-3	-3
VF	73	181	57

CSR	73000	181000	57000
Fmat	18000	389000	363000

PCA	18	389	363
-----	----	-----	-----

- Tableaux Ces tableaux présentent les résultats détaillés des analyses de confirmation
- réalisées sur plusieurs milieux sélectifs (SLANETZ, ROTH, BCPL,VF MACCONKEY). Les dénombrements sont reportés pour chaque répétition d'analyse (E1, E2, B1, B2, S1, S2). Certaines cases comportent des abréviations indiquant l'indisponibilité ou l'invalidité des données (<< ind >> pour indéterminé, << _ >> pour absence de croissance).

Tableau 8. Résultats détaillés des analyses de confirmation réalisées.

	E	B	S
Fmat	2300000	205000	300000
Enterocoques fec	40000	10000	6300
Streptocoques fec	1700000	30000	5200
Enterobacteries	10000	510000	154000
CSR	100000	1600000	495000

- **Tableau 9.** concentrations moyennes des principaux groupes microbiens recherchés

milieu	E1		E2		B1		B2		S1		S2	
Dilution	-4	-5	-4	-5	-4	-5	-4	-5	-4	-5	-4	-5
Pca	ind	ind	Ind	ind	11	ind	ind	3	ind	ind	ind	ind
Slanetz	4	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–
Roth	–	–	–	17	–	–	–	–	–	–	–	–
Mk	1	–	–	–	51	–	–	–	–	–	–	–
Vf	–	1	11	13	120	20	105	7	44	25	69	3

Milieu	E1		E2		B1		B2		S1		S2	
DILUTION	-4	-5	-4	-5	-4	-5	-4	-5	-4	-5	-4	-5
PCA	ind	ind	ind	Grand.C	244	4	ind	52	54	Ind	ind	ind
SLANETZ	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ROTH	–	–	–	–	–	7	–	–	52	–	–	–
MACCONKEY	ind	–	–	–	–	–	59	–	–	–	–	–
BCPL	changement de couleur et degagement de gaz											

	E	B	S
Fmat	36000000	7170000	6100000
Enterocoques fec	430000	210000	53300
Streptocoques fec	800000	740000	128000
Enterobacteries	630000	840000	641000
CSR	1230000	12200000	495000

Tableau des moyennes : Ce tableau récapitule les concentrations moyennes des principaux groupes microbiens recherchés (coliformes totaux, entérocoques fécaux, streptocoques fécaux, entérobactéries) pour chaque type d'échantillon. Les résultats sont exprimés en UFC/L ainsi qu'en logarithme décimal, afin de faciliter l'interprétation comparative (Figure .27).

CSR	73000	181000	57000
Fmat	18000	389000	363000

Fmat	2300000	205000	300000
Enterocoques fec	40000	10000	6300
Streptocoques fec	1700000	30000	5200
Enterobacteries	10000	510000	154000
CSR	100000	1600000	483000

	E	B	S
Fmat	7.106281578	6.412964272	6.353018133
Enterocoques fec	5.194976603	5.041392685	4.474216264
Streptocoques fec	6.096910013	5.58546073	4.823474229
Enterobacteries	5.505149978	5.829303773	5.599337133
CSR	5.669936416	6.668416981	5.537819095

Fmat	36000000	7170000	6100000
Enterocoques fec	430000	210000	53300
Streptocoques fec	800000	740000	128000
Enterobacteries	630000	840000	641000
CSR	1230000	12200000	495000

	E	B	S
Fmat	7.226599905	6.541891125	6.462397998
Enterocoques fec	5.290034611	5	4.371067862
Streptocoques fec	5.653212514	5.550228353	4.788168371
Enterobacteries	5.491361694	5.217483944	5.386498966
CSR	5.752048448	6.72427587	3.77815125

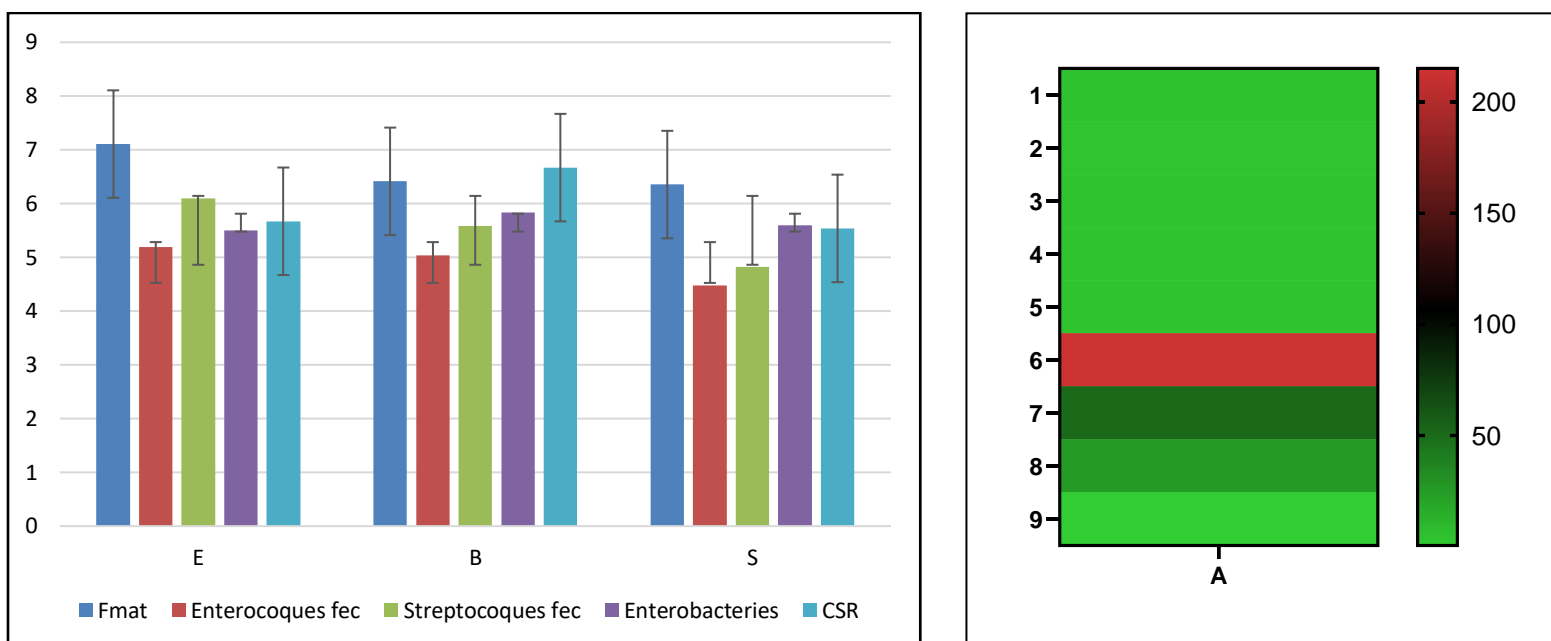


Figure 24. Histogrammes des concentrations moyennes des principaux groupes microbiens recherchés (coliformes totaux, entérocoques fécaux, streptocoques fécaux, entérobactéries).

2.2. Analyse de corrélation

Une analyse de corrélation de Spearman a été effectuée entre la DCO et plusieurs indicateurs microbiologiques, à savoir : FMAT, entérocoques fécaux, streptocoques fécaux et entérobactéries. Les résultats ont révélé une corrélation positive forte et hautement significative entre la DCO et les paramètres FMAT, entérocoques fécaux ainsi que les streptocoques fécaux ($r = 0.9478$, $p < 0.0001$), indiquant qu'une augmentation de ces indicateurs est associée à une augmentation de la DCO. En revanche, aucune corrélation significative n'a été observée entre la DCO et les entérobactéries ainsi que le paramètre CSR ($p = 0.1261$), suggérant une absence de relation statistique notable avec ces derniers

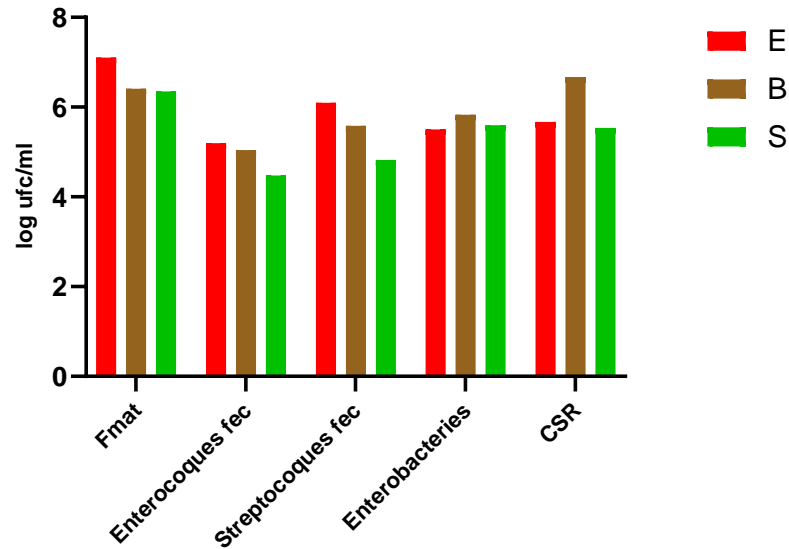


Figure 25 . Histogrammes de corrélation bactérienne

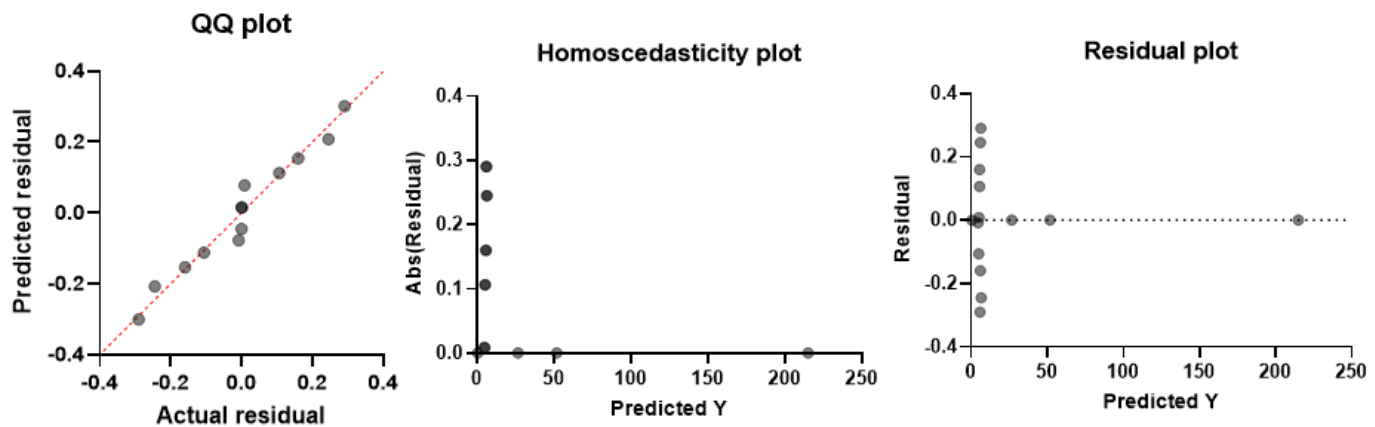


Figure 26. Plots de variation.

❖ Analyse ANOVA

L'analyse de variance à mesures répétées n'a pas révélé de différence significative entre les groupes de traitement ($p = 0.1129$), ce qui suggère que les moyennes des groupes ne diffèrent pas de manière statistiquement significative. Cependant, une variation significative a été observée entre les différents points d'échantillonnage au niveau de station d'épuration ($F = 7.599$, $p = 0.0079$), ce qui indique une hétérogénéité notable entre les sites. Le coefficient de détermination R^2 de 0.6772 montre que le modèle explique environ 67.72% de la variance totale des données collectées.

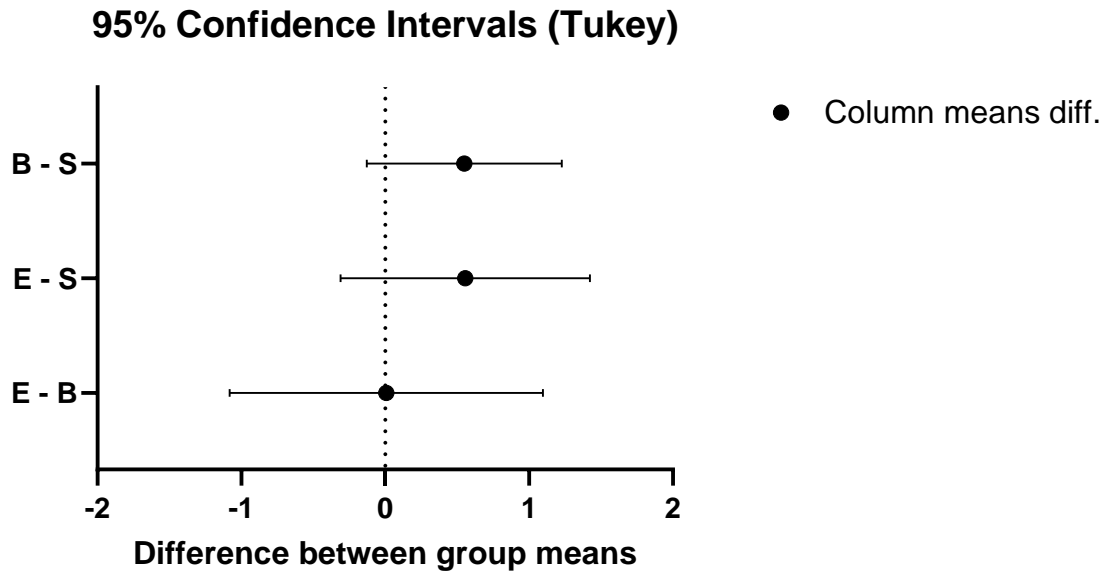


Figure 27. Test de comparaison multiple de Tukey.

Un test de comparaison multiple de Tukey a été appliqué afin d'évaluer les différences significatives entre les concentrations moyennes des groupes bactériens aux différents points de prélèvement. Les résultats de ce test statistique ont montré qu'il n'existait pas de différences significatives majeures entre l'entrée, le boue de traitement et la sortie pour la plupart des groupes bactériens étudiés. Cette absence de variation significative suggère que, malgré les fluctuations des charges organiques et les modifications observées au niveau du facteur K, la répartition ou la persistance de certaines communautés bactériennes reste relativement stable tout au long du système.

Afin d'établir un lien entre la charge et la croissance des différents groupes bactériens d'une part, et les paramètres physico-chimiques tels que la DCO et la DBO, représentés par le coefficient de Biodégradabilité (K), d'autre part, une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée.

Cette méthode multivariée a permis de mieux comprendre le fonctionnement global du système étudié ainsi que les éventuelles corrélations entre les différentes variables. L'ACP a été appliquée en prenant en compte les données collectées sur plusieurs années et sur différents points de prélèvements (entrée, boue de traitement, et sortie). Elle a ainsi facilité l'identification des relations structurelles entre les charges organiques et les communautés microbiennes, en mettant en évidence les regroupements ou oppositions des variables selon les axes principaux, ainsi que les tendances spécifiques à chaque site ou période d'échantillonnage.

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de réduire la dimensionnalité des données tout en conservant l'essentiel de l'information. Les deux premières composantes principales (PC1 et PC2) expliquent une part substantielle de la variance totale, ce qui justifie leur utilisation pour interpréter les tendances majeures des données.

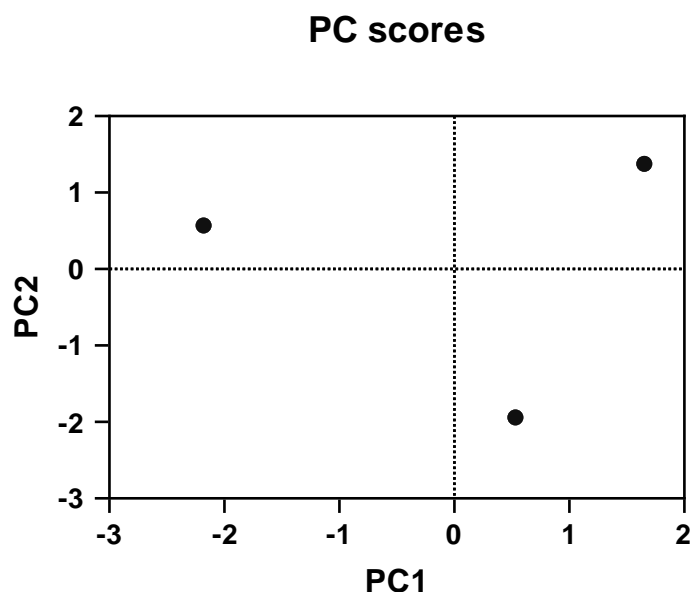


Figure 28. Projection des différentes observations.

❖ Scores

Les scores représentent la projection des différentes observations (échantillons ou années) sur le plan factoriel. On note que :

Les échantillons se répartissent de manière distincte selon les axes PC1 et PC2, ce qui traduit des différences de composition microbienne et du coefficient de Biodégradabilité (K) entre eux. Un échantillon se situe en haut à droite du graphique (valeurs élevées sur PC1 et PC2), ce qui indique une association forte avec certains paramètres décrits par les vecteurs (notamment Entérobactéries). Un autre échantillon, situé en bas à gauche, est associé à des caractéristiques opposées (charge bactérienne plus faible ou différente, potentiellement associée à un coefficient de Biodégradabilité (K) plus bas). Une séparation temporelle est observée : les échantillons des années 2020-2021 semblent regroupés dans un quadrant, tandis que ceux de 2022-2023 sont plus dispersés. Les années présentant les valeurs de DCO les plus élevées (visiblement 2020-2021) (et par conséquent un coefficient de Biodégradabilité (K) plus élevé) sont également associées à une plus forte présence des CSR. Cela suggère une augmentation conjointe de la DCO et des CSR, possiblement liée à une charge organique plus importante dans les eaux usées ou à un traitement moins efficace.

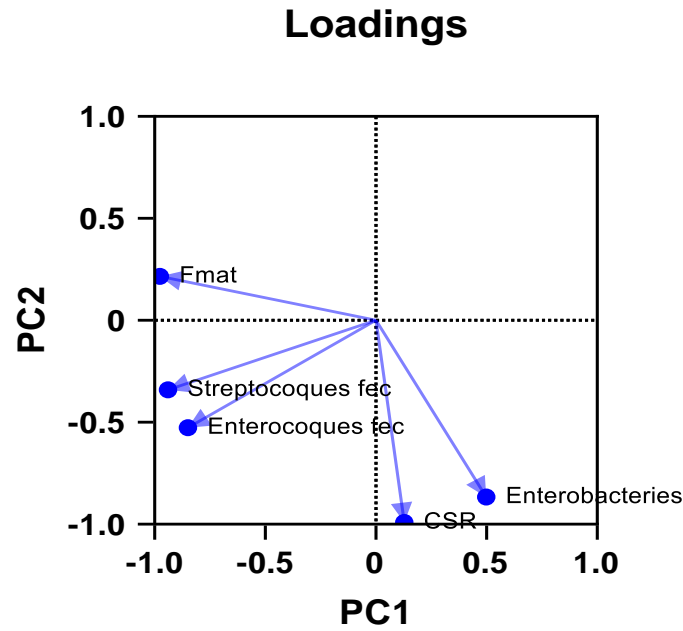


Figure 29 . Graphique de corrélation (coefficient de Biodégradabilité (K), groupes bactériens).

❖ **Lecture**

Ce graphique montre comment chaque variable (coefficient de Biodégradabilité (K), groupes bactériens) contribue à la formation des composantes principales :

Le coefficient de Biodégradabilité (K) est fortement corrélé à la première composante principale (PC1), suggérant qu'elle joue un rôle majeur dans la variabilité globale du système. Le vecteur Entérobactéries est fortement orienté dans la direction positive de PC1 et négative de PC2, suggérant qu'il est un contributeur majeur à la variabilité capturée par PC1. Les CSR (*Clostridium sulfito-réducteurs*) sont également fortement associés à PC1, orientés dans la même direction que le coefficient de Biodégradabilité (K), ce qui traduit une corrélation positive entre la DCO et la présence de CSR. En revanche, d'autres groupes comme les bactéries nitrifiantes semblent orientés différemment ou plus faiblement associés à PC1. Les vecteurs Streptocoques fécaux et Entérocoques fécaux sont proches et orientés dans la même direction (vers le quadrant inférieur gauche), suggérant qu'ils sont liés à une même dynamique environnementale, distincte de celle d'Enterobacteries, ce qui pourrait signifier une relation plus faible avec la DCO ou indirecte. Le vecteur Fmat est situé à l'opposé d'Enterobacteries, indiquant une contribution inverse à la variabilité. Cela peut suggérer une réponse inverse de cette variable par rapport au coefficient de Biodégradabilité (K).

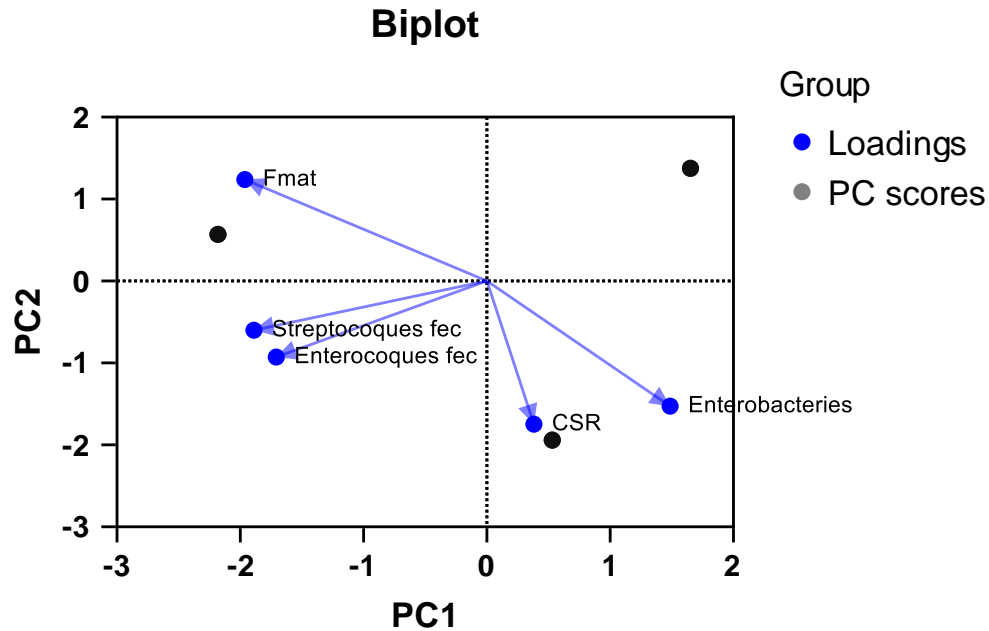


Figure 30 . Bassins d'activation de boues.

❖ **Biplot**

Le biplot permet de visualiser à la fois les variables (flèches) et les échantillons (points) :

Les années avec des échantillons proches de ces flèches montrent une domination des CSR dans des conditions de DCO élevée, notamment dans les boues activées et parfois en entrée. Les vecteurs CSR et Enterobacteries sont presque superposés, ce qui renforce l'hypothèse d'un impact direct de la DCO sur la croissance ou la présence des entérobactéries. Les bactéries indicatrices de bon fonctionnement (par ex. bactéries nitrifiantes ou oxydantes) se trouvent opposées ou perpendiculaires à la DCO et aux CSR, ce qui reflète une relation inverse, probablement car une DCO élevée inhibe leur croissance. À l'opposé, un échantillon situé loin des vecteurs associés à la DCO est probablement caractérisé par des charges bactériennes plus faibles ou différentes, traduisant un effet potentiel du traitement (ou de la dilution) sur la qualité de l'eau. Les variables fécales (entérocoques et streptocoques) montrent une association mutuelle mais apparaissent moins influencées par la DCO que les entérobactéries.

2.3. Interprétations et discussion

Il est clair, d'après les résultats de l'ACP, que le coefficient de Biodégradabilité (K) influence principalement la présence des entérobactéries, qui sont généralement associées à une pollution organique élevée. Cela peut indiquer une contamination fécale récente ou un apport de matière organique biodégradable. Les autres groupes bactériens (streptocoques et entérocoques fécaux) semblent moins dépendants des variations de DCO, ce qui pourrait suggérer :

- Une résilience plus élevée à des conditions environnementales variées,
- Ou une origine différente (ex. contamination ancienne, indépendante de la charge organique actuelle).

La répartition spatiale des échantillons sur le plan PC1-PC2 suggère une dynamique différente selon les points de collecte (entrée, boues activées, sortie), ce qui pourrait indiquer une efficacité variable du traitement sur les différents groupes microbiens. Le regroupement des vecteurs fécaux dans un quadrant distinct de celui de la DCO implique qu'ils ne sont pas les meilleurs indicateurs de la pollution organique dans ce cas précis, contrairement aux entérobactéries

Conclusion

Conclusion et recommandations

L'objectif de notre travail été d'évaluer la performance bactérienne au niveau de la station d'épuration des eaux usées de Laghouat et l'attacher directement avec la qualité physico chimiques de ces eaux et la charge polluante en termes de matière organique d'une part et le débit des eaux usées à évacue, D'autre part.

Nous avons étudiée la variante du système d'épuration avec des bassins à aération continue, le degré d'épuration dans les bassins du traitement primaire (dégrillage, dessablage ,désuilage) et bassin secondaire (d'aération et activation des boues), et évalué conventionnellement la relation entre le fonctionnement bactrien et les paramètres physico_ chimiques à l'entrée et à la sortie de la station .

Les eaux usées qui ont subi une épuration biologique totale doivent avoir la valeur inférieure aux normes Algériennes et OMS de l'ordre de quelques milligrammes par litre, afin d'assurer

- Une très bonne élimination des germes pathogènes.
- L'épuration s'adapte bien aux fortes variations de charge.

Les résultats ont révélé une corrélation positive forte et hautement significative entre la DCO et les paramètres FMAT, entérocoques fécaux ainsi que les streptocoques fécaux ($r = 0.9478$, $p < 0.0001$), indiquant qu'une augmentation de ces indicateurs est associée à une augmentation de la DCO.

Les CSR (Clostridium sulfito-réducteurs) sont également fortement associés à PC1, orientés dans la même direction que le coefficient de Biodégradabilité (K), ce qui traduit une corrélation positive entre la DCO et la présence de CSR. En revanche, d'autres groupes comme les bactéries nitrifiantes semblent orientés différemment ou plus faiblement associés à PC1.

Les vecteurs Streptocoques fécaux et Entérocoques fécaux sont proches et orientés dans la même direction (vers le quadrant inférieur gauche), suggérant qu'ils sont liés à une même dynamique environnementale, distincte de celle d'Enterobacteries, ce qui pourrait signifier une relation plus faible avec la DCO ou indirecte. Le vecteur Fmat est situé à l'opposé d'Enterobacteries, indiquant une contribution inverse à la variabilité. Cela peut suggérer une réponse inverse de cette variable par rapport au coefficient de Biodégradabilité (K).

L'évaluation bactérienne montre une population importante au niveau du bassin d'élimination biologique, témoin d'une bonne dégradation de la matière organique et donc une élimination de la charge polluante, cette population même nécessite parfois une régénération et un ensemencement périodique par une culture bactérienne continue.

Les paramètres physico chimiques analysées et environnementaux a la sortie de la station des années 2020,2021 2022, et 2023, sont généralement inferieurs aux normes prescrites par l'OMS, parfois on distingue des valeurs supérieurs aux normes , cela peut- être justifié par les arrêts brusques et répétés de la station d'épuration (travaux d'entretien et de maintenance).

Les résultats obtenus et les observations faites pendant cette étude ont permis de répondre à certaines

interrogations, mais ont aussi contribué à soulever d'autres questionnements. Par conséquent, plusieurs axes peuvent être envisagés pour compléter et poursuivre ce travail :

- Renforcer le suivi microbiologique pour valider la charge bactérienne résiduelle.
 - Optimiser les étapes de prétraitement (décantation, tamisage) pour réduire les MES.
 - Améliorer l'aération et l'ensemencement du bassin biologique afin de maintenir une activité microbienne efficace.
 - Mettre en place un système d'alerte en cas de dépassements de DCO/DBO pour une réponse rapide.
 - Étendre l'analyse à d'autres indicateurs biologiques (protozoaires, virus) pour une évaluation plus complète.
 - Effectuer une surveillance saisonnière afin d'étudier l'impact des variations climatiques sur l'efficacité du traitement.
 - Étudier la possibilité de réutilisation des eaux traitées dans l'irrigation ou l'industrie, après désinfection complémentaire.
- Une simplicité de fonctionnement puisqu'il consiste à faire circuler de l'eau à épurer lentement dans un ou plusieurs bassins, il s'accommode donc parfaitement d'un entretien simplifié (faible coût de fonctionnement) ;
 - Il est nécessaire que le personnel chargé des études ou impliqué dans le suivi des projets de réalisation des systèmes, maîtrise les étapes de calculs, les règles de la bonne réalisation d'entretien et de maintenance ;
 - L'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit être autorisée par les services sanitaires et épidémiologiques et les organes de contrôle vétérinaire sur la base des analyses des laboratoires agrochimiques et hydro-chimiques ;
 - Equiper le laboratoire de la station par un appareillage sophistiqué afin d'assurer un bon dosage des paramètres (bactériologiques, physico chimiques)et de permettre un contrôle continu de la qualité des eaux
 - Réalisation d'un bassin à la sortie des eaux de la station pour permettre une bonne clarification des eaux a la sortie et d'assurer plus de décantation des sédiments en suspension et des algues ;
 - Effectuer des analyses périodiques sur les boues de stockage, issues du traitement biologique, afin de faciliter leurs utilisations pour la fertilisation du sol agricole (engrais chimiques.).
 - Raccorder la sortie de la station par un collecteur principal vers les eaux des barrages.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Bontaux, j. (1994). « Introduction à l'étude des eaux résiduaires industrielle », 2eme édition Lavoisier technique et documentation, 225p.

Centers for Disease Control and Prevention, (2023). *Non-polio enterovirus*.

<https://www.cdc.gov/enterovirus> .

Centers for Disease Control and Prevention, (2023). *Giardiasis*. <https://www.cdc.gov/parasites/giardia>

Institut national de santé publique du Québec, (2023). *Indicateurs microbiologiques de qualité de l'eau*.

<https://www.inspq.qc.ca/ea>.

CSHP, F. (1995). « Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines », conseil supérieur d'hygiène publique de France section des eaux ; 22p.
http://www.sante.gouv.fr/dossiers/cshpf/re_1095_desinfection.htm (consult602).

Degrémont, (1989). Mémento technique de l'eau : vol. 1, 9ème édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 592p.

DHW, (2023). Direction hydraulique de la wilaya de Laghouat.

Encyclopedia, (1995). Industrial chemistry, Water in Ull man's, Wiley-VCH Verlags, vol.8. épuration. Techniques, Sciences et Méthodes, 2 : 81-118.

Faby, JA. (1997). L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation.

Glaze, W. H (n.d.). *Drinking-water treatment with ozone*.

Gehr, R. (2003). *Water Research*, 37(19), 4573–4586.

Gros, M. (2017). *Science of the Total Environment*, 575, 758–768.

Hamsa, D. (2006). « Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbains », mémoire de fin d'étude de Magistère en Ecologie et Environnement Université de Constantine.

INRAE, (2020). *Communautés microbiennes dans les eaux usées*. <https://hal.inrae.fr/tel-02594953>

INRAE, (2020). *Protozoaires et helminthes dans les eaux usées*. <https://hal.inrae.fr/tel-02588247>

Judd, S. (2016). *Water Science and Technology*, 73(8), 1907-1914.

Judd, S. (n.d.). *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment*.

Koller, E. (2004). Traitement des pollutions industrielles : eau, air, déchets, sols, boues. Edition DUNOD, 424p

Khadraoui .A., Taleb S. (2008)- Qualité des eaux de sud Algerien. Pollution et impact sur le milieu. Ed. Khyam. 367p. LADJEL F.

Legube, B. (1996). « le traitement des eaux superficielle pour la production d'eau potable », agence de l'eau loir -Bretagne.

Larousse, (2002). agricole : le monde paysan au 21e siècle M. Mazoyer, dir. ; M. Aubineau, collab. Ouvrage Paris [France] : Larousse, 2002978-2-03-091022-1767 p. / ill., tabl., gloss.

Mehrojoui, M., Müller, S., & Möller, D (2015). *Chemical Engineering Journal*, 263, 209–219.

Martin, G. (1979). Le problème de l'azote dans les eaux. Ed technique et documentation, Paris, 279p.

Mayet, J. (1994). La pratique de l'eau, Traitements aux points d'utilisation, le Moniteur 2ème Edition, p382, Paris.

Madjouri, H. (2007). Contribution au traitement des eaux usées en vue de leur réutilisation en irrigation Étude site S.T.E.P de Touggourt .Mém .D.E.A. Traitement des eaux des fluides. Univ. De Ouargla. 85p.

Michael-Kordatou, I.(2018). Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria and genes spread into the environment. *Science of the Total Environment*, 447, 345–360.

Degrémont. (n.d.). *Mémento technique de l'eau*.

Metcalf & Eddy, (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.).

Mara, D. D. (n.d.). *Wastewater Treatment for Small Communities*.

Nations Unies. (2021). *Objectifs de développement durable*. <https://sdgs.un.org/goals>

ONA, (2025). fiche technique de la station d'épuration des eaux usées de Laghouat.

ONM,(2020).Office national de Météo.

Rittmann, B. E., & Mc Carty, P. L. (n.d.). (2023).*Environmental Biotechnology: Principles and Applications*.**Santé publique France** *Rôle des microorganismes dans les eaux usées*. <https://www.santepubliquefrance.fr>.

Shiklomanov, I. A. (1993). World freshwater resources. In P. H. Gleick (Ed.), *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources* (pp. 13–24). Oxford University Press.

Santé sur le net, (2023). *Infections à entérocoques*. <https://www.sante-sur-le-net.com>

Solidarités International, (2022). *Maladies liées à l'eau*. <https://www.solidarites.org>

Tilley, E.(2014). *Compendium of sanitation systems and technologies* (2nd ed.). Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic.

UNESCO, (2024). *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau*. UNESCO Publishing.

United States Environmental Protection Agency. (2020). *Water Pollution*. <https://www.epa.gov/water-pollution>

UNICEF. (2020). *Water, sanitation and hygiene*. <https://www.unicef.org/wash>

World Health Organization, (2017). *Drinking-water*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

World Bank. (2021). *Rapport sur l'eau et l'assainissement*. World Bank Publications.

World Health Organization, (2013). *Rapport sur la santé publique et l'eau*. https://apps.who.int/iris/bitstream/10665/78280/1/9789242546828_fre.pdf

Weber Jr., W. J. (n.d.). *Physicochemical Processes for Water Quality Control*.

White, G. C. (n.d.). *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*.

WEF Water Environment Federation, (2010). *Activated sludge. WEF MOP 8*.

Annexes

les analyses seront effectuées aux principaux points de prélèvements, les paramètres considérés sont les suivants :

- La Température.
- Le potentiel hydrogène (pH).
- L'oxygène dissous (O₂).
- La conductivité électrique (C.E).
- Les matières en suspension (MES).
- Demande Biologique en Oxygène (DBO₅).
- Demande Chimique en Oxygène (DCO).
- Les paramètres de pollutions (Ammonium, Nitrite, Nitrate, Phosphate total, ...).

Détermination de pH

Principe

Le potentiel hydrogène (pH) est la détermination de l'acidité, la neutralité ou la basicité (alcalinité) de l'eau.



La mesure du pH par l'appareil pH-mètre H180G HACH

Détermination de la conductivité électrique et la salinité

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique, elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique, elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. La conductivité électrique d'une eau s'exprime en milli-siemens par centimètre (ms/cm) ou (us/cm).



Mesure de la conductivité, la salinité et de température par conductimètre H170 HAC

Détermination de l'oxygène dissous

La concentration réelle en oxygène dépend de la température, de la pression de l'air, de la consommation d'oxygène due à des processus microbiologiques de décomposition ou une production d'oxygène, par exemple : par les algues.



La mesure de l'oxygène dissous par l'Oxymétrie DO6 HACH

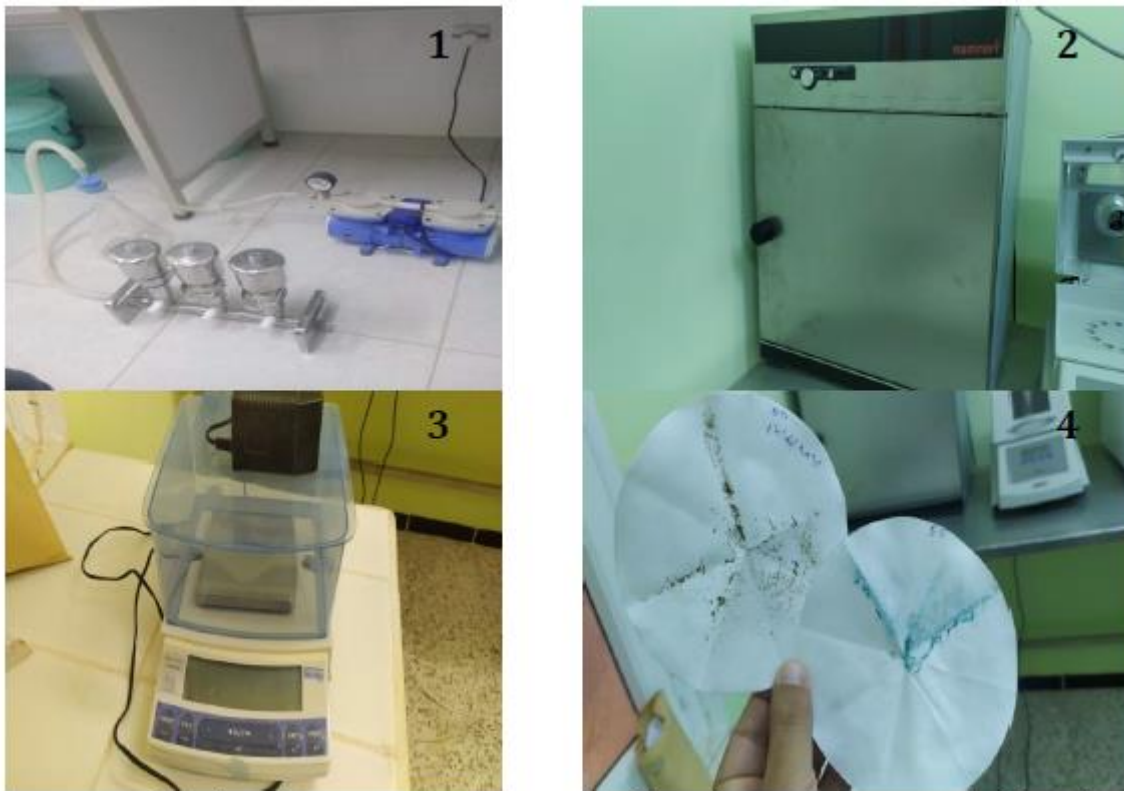
Matières en suspension (MES)

La détermination des matières en suspensions totales (matières non dissoutes) quel que soit leur origine

minérale ou organique présentent dans l'eau à analyser, il y a plusieurs méthodes pour la détermination, la méthode utilisée dans notre laboratoire est : La filtration à pompe sous vide.

Appareillage

- Balance analytique.
- Papier Filtre.
- Etuve universel Memmert.
- Dessiccateur.
- Pompe à vide.



Détermination de MES par système de filtration. 1 : Système de filtration à pompe sous vide. 2 : Etuve universel Memmert. 3 : Balance analytique. 4 : Papier filtre après filtration

✓ Expression des résultats

Le calcul de la mesure de MES est donné par l'expression suivante :

$$\text{MES} = (p1-p0) \times 1000/V$$

Avec : MES : La teneur de MES en (mg/l).

P1 : le poids en (mg) de la capsule contenant le papier filtre après étuvage à 150°C.

p0 : le poids en (mg) de la capsule contenant le papier filtre avant la filtration.

V : Volume de la prise d'essai en (ml).

Demande chimique en oxygène

La DCO est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire qui correspond à la quantité des matières oxydables par oxygène renfermé dans un effluent. Elles représentent la plus part des composés organiques (détergents, matières fécales).

Appareillage

- Pipette jaugée à 2 ml.
- Spectrophotomètre (DR 1900).
- Réacteur DCO à 150°C (HT 200S).



Détermination de la DCO. Spectrophotomètre et Réactif DCO, Réacteur DCO

✓ **Expression des résultats**

La teneur de DCO est donnée en mg/l.

Demande biologique en oxygène (DBO5)

La DBO5 exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques présentes dans les eaux usées par les microorganismes du milieu. Mesurée par la consommation d'oxygène à 20°C à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique des matières organiques carbonées.

L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermostatée est mis sous incubation à 20°C et à l'abri de la lumière, on fait la lecture de la masse d'oxygène dissous, nécessaire aux microorganismes pour la dégradation de la matière organique biodégradable en présence d'air pendant cinq (5) jours.

Les microorganismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par l'oxygène de l'air, contenu dans le flacon provoquant une diminution de la pression au-dessus de l'échantillon.

Appareillage

- Réfrigérateur conservant à une température de 20°C.
- Un agitateur magnétique.
- Bouteilles brunes de 510 ml.
- DBO mètre HACH. .
- Pastilles hydroxyde de sodium NaOH (pour absorber le CO2 dégager par les micro-organismes).



Détermination de la DBO5

La détermination de la DCO est primordiale pour connaître les volumes à analyser pour la DBO5.

Volume de la prise d'essai (DBO5) = DCO (mg/l) × 0.80 pour les eaux urbaines.

- Introduit la quantité de l'eau à analyser suivant le tableau ci-dessous en fonction de la valeur de DCO.
- Introduit la barre aimantée (agitateur) et les 2 pastilles d'hydroxyde de sodium.
- Visser la tête de mesure sur les bouteilles.
- Appuyer simultanément sur les touches (S+M) durant 03 secondes jusqu'au l'apparition du message (00).
- Mettre au réfrigérant à 20°C pendant cinq jours.
- Lire au bout de cinq jours la valeur affichée et appliquer le coefficient pour la valeur réelle.

Tableau . Volume d'échantillon d'après la DCO

La charge	DCO (mg/l)	Prise d'essai (ml)	Facteur
Très faible	0-40	432	1
Faible	0-80	365	2
Moyenne	0-200	250	5
Plus que moyenne	0- 400	164	10
Un peu chargée	0800	97	20
Chargée	0-2000	43.5	50
Très chargée	0-4000	22.7	100

✓ Expression des résultats

$$DBO5 \text{ (mg/l)} = \text{Lecture} \times \text{Facteur}$$

Nitrite

Principe

Les nitrites réagissent en solution acide avec les amines primaires et aromatique pour donner des sels diazonium, ceux-ci forment avec des composés aromatique contenant un amino groupe ou un hydroxyle, un colorant azoïque de couleur intense.

Appareillage

- Pipette piston 2 ml.
- Spectrophotomètre DR 1900.



Détermination de Nitrite. 1 : Réactif Nitrite LCK 341. 2 : Spectrophotomètre DR 1900

✓ Expression des résultats

La teneur de N exprimée en mg/l.

Nitrate

Principe

Dans une solution d'acide sulfurique et phosphorique, les ions nitrate réagissent avec le 2.6-diméthylphénol pour donner du 4-nitro-2.6-diméthylphénol.

Appareillage

- Pipette piston 0- 1 ml.
- Spectrophotomètre DR 1900.
- Réactif : Nitrate (LCK340) 5 à 35 mg/l.



Détermination de Nitrate (Le réactif de Nitrate (LCK 340))

✓ Expression des résultats

La teneur de NO_3 est exprimée en mg/l.

Ammonium

Principe

Le dosage de l'ion ammonium (NH_4^+) a été réalisé selon la méthode spectrométrique L'indophénol se forme en milieu alcalin par la réaction des ions NH_4^+ avec du phénol et de l'hypochlorite en présence de nitroprussiate comme un catalyseur et donne une coloration bleu indophénols.

Appareillage

- Pipette piston 0-5 ml.
- Spectrophotomètre DR 1900.



Détermination d'Ammonium (Réactifs Ammonium LCK 303)

✓ **Expression des résultats**

La teneur du NH_4 est donnée en mg/l.

Phosphate total

Principe

Le phosphate total (PO_4) a été dosé selon la méthode spectrométrique, Les ions phosphate réagissent en solution acide avec les ions molybdate et antimoine, les éléments phosphorés donnent un complexe de phosphore molybdate d'antimoine qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue phosphoremolybdène.

Appareillage

- Pipette piston 0-5 ml.
- Spectrophotomètre DR1900.



Détermination de Phosphate Total (Réactifs de Phosphate LCK 350 / 349)