

Faculty of Sciences and Technology
Department of Process Engineering
Ref :...../U.M/F.S.T/2026

كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم هندسة الطرائق
رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت// 2026

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : GÉNIE DES PROCÉDÉS

Option : GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT

THÈME

**Contribution à la caractérisation physico-chimique des effluents traités
des stations d'épuration de Sablette (Mostaganem), Fornaka et Beni Yahi**

Présenté par

AZIRIA Maroua
AOUAM Mohammed

Soutenu le **04/06/ 2026** devant le jury composé de :

Présidente BOUBEGRA Naima

MCA Université de Mostaganem

Examinatrice MANSOUR HAFIFI Meriem

MCB Université de Mostaganem

Rapporteuse BESBES Anissa

Professeur Université de Mostaganem

Année Universitaire 2025/2026

Dédicaces

"يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ"

(سورة المجادلة، الآية 11)

À la mémoire de mon cher père Habib, qui m'a quitté physiquement mais dont l'esprit habite mon cœur à jamais. À celui qui rêvait de ce jour plus que moi-même, et dont les mains ont semé en moi l'ambition et la persévérance. Je te dédie ce succès, en espérant que ton âme repose en paix, fier du chemin que j'ai parcouru.

À la source de tendresse et au paradis sur terre, ma chère mère Kheira. Tes prières ont été le secret de chacune de mes réussites, et tes sacrifices le moteur de mon parcours. Je t'offre le fruit de mon labeur, toi, mon bien le plus précieux.

À mes piliers et ma force, mon frère et mes sœurs : Kouider, Zohra, Fatma, et Kenza. Merci d'avoir toujours été à mes côtés, partageant mes doutes et m'encourageant sans cesse. Vous êtes le soutien infaillible sur lequel j'ai pu compter.

À la joie de vivre et à l'innocence, mes neveux et nièces : Mohammed Habib Allah, Fatma Yakin, et Habib Djawad. Que ce succès soit pour vous une source d'inspiration pour votre avenir.

À mes compagnons de route et fidèles amies : Malika, Khaldia, Nour El Houda, et Nesrine. Merci pour chaque moment d'encouragement et pour tous les souvenirs partagés durant nos années d'études. Votre amitié m'est inestimable.

À Mohammed, plus qu'un binôme, un véritable frère. Merci pour ton dévouement, ton sérieux et ton aide constante tout au long de ce projet.

À vous tous, et à tous ceux qui portent pour moi de l'affection, je dédie ce modeste travail.

Maroua

Dédicaces

وأن ليس للإنسان إلا ما سعى وأن سعيه سوف يرى " سورة النجم الآية 39 "

**الحمد لله على لذة الإنجاز، الحمد لله عند البدء وعند الختام*

En premier lieu, nous remercions Allah, tout-puissant, de nous avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Ce modeste travail est dédié spécialement

*À ma chère maman **Zohra** , ma raison de vivre, en témoignage de ma reconnaissance pour sa patience, son amour et ses sacrifices.*

*À mon cher papa **Afif** pour son amour et son dévouement.*

"À vous, mes parents, aucune dédicace ne pourra exprimer mes respects, mes considérations et ma grande admiration pour vous. Puisse ce travail vous témoigne mon affection et mon profond amour".

*À mes chères sœurs **Kholoud** et **Manel** Merci d'être là et de toujours me soutenir.*

*Mes amis **mahfoud**, **Mohammed** et **tarek** que dieu vous garde pour moi.*

*Ma Binôme **Maroua** , tu as été une sœur pour moi avant d'être une collègue. Merci pour ton soutien, ta gentillesse et pour tous ces moments partagés.*

À mes enseignants et pour ceux qui m'ont donné l'aide un jour, que Dieu vous paye pour tous vos bienfaits.

Pour finir, à tous ceux que j'aime et qui m'aiment, je dédie ce mémoire.

Mohammed

Remerciements

Nous rendons grâce à Dieu le Tout-Puissant pour nous avoir accordé la force, la volonté et la persévérance nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

Nous souhaitons exprimer notre profonde reconnaissance et adresser nos sincères remerciements à notre directrice de mémoire, **Pr BESBES Anissa**, pour avoir accepté de superviser ce sujet, ainsi que pour ses précieux conseils, son orientation judicieuse et son soutien constant tout au long de ce projet.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury, **Dr BOUBEGRA Naima** et **Dr MANSOUR HAFIFI Meriem**, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail. Nous tenons aussi à saluer le dévouement de Madame la Cheffe du département de Génie des Procédés pour son soutien administratif.

Par ailleurs, nous tenons à exprimer notre vive reconnaissance à Monsieur **Bentounes** et Madame **Mansouria**, ainsi qu'à l'ensemble du personnel de la station d'épuration des eaux usées de Salamandre, pour leur accueil chaleureux, leur collaboration exemplaire et pour nous avoir facilité l'accès aux données et documents indispensables à notre étude.

Enfin, nous remercions chaleureusement toute personne ayant contribué, de près ou de loin, de manière directe ou indirecte, à la concrétisation de ce modeste ouvrage.

Liste des figures

Figure II-1 : Plan global de la station d'épuration des eaux usée Salamandre – Mostaganem	Erreur ! Signet non défini.
Figure II-2 : Chaîne complète d'épuration dans la STEP de Mostaganem	26
Figure II-3 : Déversoir d'orage	27
Figure II-4 : Dégrilleur grossier	28
Figure II-5 : Clarificateur de sable	29
Figure II-6 : Décanteur primaire	31
Figure II-7 : Bassin biologique (bassin d'aération)	32
Figure II-8 : Clarificateurs	33
Figure II-9 : Epaississeur	34
Figure II-10 : Bassin de stabilisation	34
Figure II-11 : Section de déshydratation	35
Figure II-12 : Stockage de boues déshydratées	35
Figure III-1 : Matière décantable	37
Figure III-2 : Variation temporelle des températures de l'échantillon de la ville de Mostaganem entre l'entrée et la sortie	39
Figure III-3 : Variation temporelle des températures des échantillons de Fornaka et Beni Yahi entre l'entrée et la sortie	40
Figure III-4 : Filtration sous vide	41
Figure III-5 : Les étapes de centrifugation (a) avant la centrifugation (b) après la centrifugation (c) Avant le séchage (d) Après le séchage	43
Figure III-6 : Variation temporelle de la matière en suspension (MES) de l'échantillon de la ville de Mostaganem entre l'entrée et la sortie	46
Figure III-7 : Variation de la matière en suspension (MES) des échantillons de Fornaka et Beni Yahi entre l'entrée à la sortie	47
Figure III-8 : pH-mètre	48
Figure III-9 : Variation temporelle des Potentiels d'hydrogènes (pH) de l'échantillon de la ville de Mostaganem	49
Figure III-10 : Variation temporelle des Potentiels d'hydrogènes (pH) des échantillons d'eaux des stations de Fornaka et Beni Yahi	50
Figure III-11 : L'oxymètre	51
Figure III-12 : Variation temporelle des oxygène dissous (O ₂) de l'échantillon de la ville de Mostaganem	51
Figure III-13 : Conductimètre	53

Figure III-14: Variation des teneurs de la conductivité électrique des eaux d'entrée et de la sortie de l'échantillon de la ville de Mostaganem.	54
Figure III-15: Variation des teneurs de la conductivité électrique des eaux d'entrée et de la sortie des échantillons des stations de Fornaka et Beni Yah.	55
Figure III-16: Bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$)	56
Figure III-17: Les échantillons dans un minéralisateur.....	57
Figure III-18 Sulfate de fer (II).....	58
Figure III-19 Titrage d'échantillons avec sel et d'ammonium de mohr	58
Figure III-20 Variation temporelle de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux de la station d'épuration entre l'entrée et la sortie d'échantillon de la ville de Mostaganem.....	59
Figure III-21 Variation temporelle de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux de la Station de Fornaka et Beni Yah entre l'entrée et la sortie.....	60
Figure III-22 Les bouteilles avec Oxitop.....	62
Figure III-23 Incubateur à DBO.....	63
Figure III-24 Variation temporelle de la demande biochimique en oxygène (DBO_5) des eaux de la station d'épuration entre l'entrée et la sortie d'échantillon de la ville de Mostaganem.....	64
Figure III.25 Variation temporelle de la demande biochimique en oxygène (DBO_5) des eaux de la station de Fornaka et Beni Yah entre l'entrée et la sortie.....	65
Figure III-26 V30 avant 30 min	66
Figure III-27 V30 après 30 min.....	66
Figure III-28 Les additifs.....	68
Figure III-29 Spectrophotomètre.....	69
Figure III-30 Variation des teneurs de NH_4^+ des eaux d'entré et de la sortie de la STEP de salamandre.....	70
Figure III-31 Variation des teneurs de NH_4^+ des eaux d'entré et de la sortie de des eaux de Fornaka et Beni Yah	70
Figure III-32 Phosphate RGT.....	71
Figure III-33 Variation temporelle des Ortho Phosphates (PO_4^{3-}) des eaux de la station d'épuration entre l'entrée et la sortie.....	72
Figure III-34 le réactif Nitraver 5.....	73
Figure III-35 l'échantillon avec la couleur dorée.....	73
Figure III-36 Échantillons colorés	74
Figure III-37 Sachet de réactif Nitrite LR.....	74
Figure III-38 Variation temporelle du nitrate et nitrite des eaux de la station d'épuration entre l'entrée et la sortie.....	74
Figure III-39 Four à moufle.....	75
Figure III-40 Variation temporelle du Matières volatiles en suspension des eaux de la station d'épuration entre l'entrée et la sortie.....	77

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Normes de rejets internationales	16
Tableau I-2 : Valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur	17
Tableau II-1 : Charge hydraulique entre STEP Mostaganem (STEP Salamandre).....	24
Tableau II-2 : Charge de pollution prise en compte -horizon 2030 (STEP Salamandre)	25
Tableau II-3 : Qualité des eaux traitées (STEP Salamandre).....	25
Tableau II-4 : Caractéristiques techniques de la grille de dégrillage.....	28
Tableau II-5 : Caractéristiques dimensionnelles du canal de dessablage.....	30
Tableau II-6 : Caractéristiques des bassins de décantation primaire.....	30
Tableau II-7 : Caractéristiques du bassin d'aération	31
Tableau II-8 : Caractéristiques du clarificateur	32
Tableau III-1 : Valeurs des températures en (°C) de l'échantillon de la ville de Mostaganem	38
Tableau III-2 : Valeurs des températures en (°C) des échantillons de Fornaka et Beni Yahia	39
Tableau III-3 : Valeurs de MES pour le 1 ^{er} jour (01/02/2026).....	43
Tableau III-4 : Valeurs de MES pour le 2 ^{eme} jour (02/02/2026).....	44
Tableau III-5 : Valeurs de MES pour le 3 ^{eme} jour (03/02/2026).....	45
Tableau III-6 : Valeurs de MES pour le 4 ^{eme} jour (04/02/2026).....	45
Tableau III-7 : Valeurs de MES pour le 5 ^{eme} jour (05/02/2026).....	45
Tableau III-8 : Valeurs de MES de Fornaka et Beni Yahia.....	46
Tableau III-9 : Valeurs de pH des eaux de STEP Salamandres.....	48
Tableau III-10 : Valeurs de pH des eaux de Fornaka et Beni Yahia.....	49
Tableau III-11 : Valeurs de l'oxygène dissous en mg/l des eaux de STEP Salamandres.....	51
Tableau III-12 : Valeurs de l'oxygène dissous en mg/l des eaux de Fornaka et Beni Yahia...52	
Tableau III-13 : Valeurs de la conductivité électrique en $\mu\text{s}/\text{c}$ des eaux de STEP Salamandres.....	54
Tableau III-14 : Valeurs de la conductivité électrique en $\mu\text{s}/\text{c}$ de Fornaka et Beni Yahia	55
Tableau III-15 : Valeurs de la DCO en mg/l des eaux de STEP Salamandres.....	58
Tableau III-16 : Valeurs de la DCO en mg/l de Fornaka et Beni Yahia.....	59
Tableau III-17 : Valeur de DBO_5	61

Tableau III-18	Facteur de conversion de la DBO ₅ en fonction du volume de prise.....	61
Tableau III-19	Pesées d'inhibiteur de nitrification par rapport aux volumes de la DBO ₅	62
Tableau III-20	Valeurs de la DBO ₅ en mg/l de la STEP salamandre.....	63
Tableau III-21	Valeurs de la DBO ₅ en mg/l de Fornaka et Ben yahi.....	64
Tableau III-22	Valeurs des indices de boue de 1 ^{er} jour	66
Tableau III-23	Valeurs des indices de boue de 2 ^{ème} jour	67
Tableau III-24	Valeurs des indices de boue de 3 ^{ème} jour	67
Tableau III-25	Valeurs des indices de boue de 4 ^{ème} jour.....	67
Tableau III-26	Valeurs des indices de boue de 5 ^{ème} jour.....	67
Tableau III-27	Valeurs de NH ₄ ⁺ de la STEP (salamandre).....	69
Tableau III-28	Valeurs de NH ₄ ⁺ en mg/L des eaux de Fornaka et Beni Yahia.....	70
Tableau III-29	Valeurs d'ortho phosphate PO ₄ ³⁻	72
Tableau III-30	Valeurs de nitrate NO ₃ ⁻	73
Tableau III-31	Valeurs de nitrite (NO ₂ ⁻).....	74
Tableau III-32	Valeurs de MVS.....	76

Liste des abréviations

STEP	Station d’Epuration des eaux usées
ONA	Office National de l’Assainissement
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
EB	Entrée brute
EE	Eau Epurée
pH	Potentiel Hydrogène.
MES	Matière en suspension.
DBO	Demande Biologique en Oxygène.
DBO ₅	Demande biochimique en oxygène à cinq jours
DCO	Demande Chimique en Oxygène.
IB	Indice de boue.
T°C	:Température.
PO ₄ ³⁻	Ortho-Phosphate
NO ₂ ⁻	Nitrite
NO ₃ ⁻	Nitrate.
NH ₄ ⁺	Ammonium.
O ₂	Oxygène.
MO	Matière organique
MVS	Matières volatile sèche
MS	Matière Sèche
µs /cm	Micro siemens sur centimètre
mg/l	Milligramme par litre
BP	Boue primaire

BA1	Bassin aéré 1
BA2	Bassin aéré ½
BR	Boue Recirculée
BE	Boue Epissée (boue en excès +boue primaire)
BS	Boue stabilisée
BD	Boue déshydratée

Abstract

Wastewater refers to water used by households, industries, and institutions, which is discharged after use. This water contains many dangerous pollutants that threaten living organisms and deplete water resources; Therefore, it is crucial to treat it before disposal. In this context, the treatment process at the Mostaganem wastewater treatment plant follows several stages: pretreatment, biological treatment, clarification, and disinfection. Finally, the accurate analysis of physical and chemical parameters is vital to ensure effective wastewater management, protect the environment, and maintain public health.

Keywords: wastewater, environmental protection, treatment plant.

ملخص

تُعرف المياه المستعملة بأنها تلك المياه التي يتم استخدامها في المنازل، والمصانع، والمؤسسات، ثم تُصرف بعد ذلك. تحتوي هذه المياه على الكثير من الملوثات الخطيرة التي تهدد حياة الكائنات الحية وتستنزف الموارد المائية، لذا أصبح من الضروري معالجتها قبل طرحها في الطبيعة. وفي هذا السياق، تمر عملية تصفية مياه الصرف الصحي في محطة المعالجة بمستغانم بعدة مراحل، وهي: المعالجة الأولية، المعالجة البيولوجية، التوضيح قبل التصريف النهائي. وفي الختام، تعتبر التحاليل الدقيقة للخصائص الفيزيائية والكيميائية داخل المحطة أمراً ضرورياً لضمان إدارة فعالة للمياه وحماية البيئة والحفاظ على الصحة العامة.

الكلمات الرئيسية: المياه المستعملة، حماية البيئة، المحطة

Résumé

Les eaux usées sont les eaux utilisées par les habitations, les industries et les institutions, puis rejetées après usage. Ces eaux contiennent de nombreux polluants dangereux qui menacent les êtres vivants et réduisent les ressources en eau, d'où la nécessité de les traiter avant leur rejet. À cet égard, le processus de traitement à la station d'épuration (STEP) de Mostaganem suit plusieurs étapes : le prétraitement, le traitement biologique, la clarification et la désinfection. Enfin, l'analyse précise des paramètres physico-chimiques est essentielle pour garantir une gestion efficace des eaux usées, protéger l'environnement et préserver la santé publique.

Mots-clés : Eaux usées, Protection de l'environnement, La station (STEP).

Table des matières

Dédicaces.....	Erreur ! Signet non défini.
Remerciements	iii
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux	vii
Liste des abréviations	viii
Résumé	x
Introduction Générale	- 1 -
Chapitre I : Epuration des eaux usées	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Définition des eaux usées	3
I.3 Origine des eaux usées	4
I.3.1 Les eaux usées domestiques.....	4
I.3.2 Les eaux pluviales.....	5
I.3.3 Les eaux parasites	5
I.3.4 Les effluents agricoles	6
I.4 Pollution des eaux.....	6
I.4.1 Pollution organique	6
I.4.2 Pollution minérale	7
I.4.3 Pollution thermique	7
I.4.4 Pollution biologique.....	7
I.4.5 Pollution radioactive	8
I.5 Paramètres de pollution de l'eau usée	8
I.5.1 Paramètres physiques.....	8
I.5.1.1 Température	8
I.5.1.2 Conductivité électrique	8

I.5.1.3 Turbidité	9
I.5.1.4 Couleur.....	9
I.5.1.5 Odeur et goût	9
I.5.1.6 Matières décantables	9
I.5.1.7 Matières en suspension (MES)	9
I.5.1.8 Matières volatiles en suspension (MVS)	9
I.5.1.9 Matières minérales sèches (MMS)	10
I.5.2 Paramètres chimique.....	10
I.5.2.1 pH.....	10
I.5.2.2 Oxygène dissous	10
I.5.2.3 Demande biologique en oxygène (DBO ₅).....	10
I.5.2.4 Demande chimique en oxygène (DCO)	10
I.5.2.5 Carbone organique total (COT)	10
I.5.2.6 Azote	11
I.5.2.7 Nitrites (NO ₂ ⁻)	11
I.5.2.8 Nitrates (NO ₃ ⁻)	11
I.5.2.9 Ortho-phosphates (PO ₄ ³⁻)	11
I.5.2.10 Ammonium (NH ₄ ⁺)	12
I.5.3 Paramètres microbiologiques	12
I.5.3.1 Les bactéries.....	12
I.5.3.2 Les virus	12
I.5.3.3 Les protozoaires	13
I.5.3.4 Les helminthes	13
I.6 Impact des eaux usées	13
I.7 Epuration des eaux usées	14
I.7.1 Importance de l'épuration	14
I.7.2 Conséquences sur le milieu récepteur	15
I.7.3 Normes des rejets des eaux usées	15

I.7.3.1 Normes internationales.....	15
I.7.3.2 Normes de rejet appliquées en Algérie	16
I.7.4 Réutilisation des eaux épurées	18
I.8 Conclusion.....	18

Chapitre II: Procédés de traitement des eaux usées

II.1 Introduction	19
II.2 Système d'épuration à Mostaganem	19
II.2.1 STEP de Sablette (Salamandre)	20
II.2.2 STEP de Fornaka	20
II.2.3 STEP de Benyahi	20
II.3 Présentation de STEP de Salamandre	20
II.3.1 Situation géographique de STEP	22
II.3.2 Rôle et objectif de STEP	23
II.3.3 Principe de fonctionnement	23
II.3.4 Caractéristiques techniques de la STEP	24
II.3.5 Point de rejet (destination)	25
II.4 Les étapes d'épuration des eaux usées	26
II.4.1 Prétraitement	27
II.4.1.1 Déversoir d'orage	27
II.4.1.2 Dégrillage	27
II.4.1.3 Dessablage.....	29
II.4.1.4 Dégraissage-Déshuilage.....	29
II.4.2 Traitement primaire	30
II.4.3 Traitement secondaire	31
II.4.3.1 Traitement biologique	31

II.4.3.2 Clarificateurs.....	32
II.4.4 Traitement tertiaire	33
II.4.5 Traitement des boues	33
II.4.5.1 La Stabilisation	34
II.4.5.2 La Déshydratation	35
II.5 Conclusion	36

Chapitre III : Evaluation des performances de la station

III.1 Introduction.....	37
III.2 Propriétés Organoleptiques.....	37
III.2.1 Couleur	37
III.2.1.1 Protocole	37
III.2.1.2 Résultats	38
III.2.2 Odeur	38
III.2.2.1 Protocole.....	38
III.2.2.2 Résultats.....	38
III.3 Propriétés physiques	38
III.3.1 Température	38
III.3.1.1 Protocole.....	38
III.3.1.2 Résultats	38
III.3.2 Matières en suspension (MES)	40
III.3.2.1 Filtration sur filtre en fibres de verre	40
III.3.2.1.1 Appareillage.....	40
III.3.2.1.2 Mode Opérateur	40
III.3.2.1.3 Expression des résultats	41
III.3.2.2 Centrifugation de l'échantillon	42
III.3.2.2.1 Appareillage.....	42

III.3.2.2.2 Mode opératoire	42
III.3.2.2.3 Expression des résultats	43
III.4 Propriétés chimiques	47
III.4.1 Potentiel d'Hydrogène (pH)	47
III.4.1.1 Appareillage.....	47
III.4.1.3 Résultats.....	48
III.4.2 Oxygène dissous	50
III.4.2.1 Protocole opératoire.....	50
III 4.2.2 Résultats.....	51
III.4.3 Conductivité électrique	53
III.4.3.1 Appareillage	53
III.4.3.2 Mode opératoire	53
III.4.3.3 Méthode de mesure	53
III.4.3.4 Résultats.....	54
III.4.4 Demande chimique en oxygène (DCO)	55
III.4.4.1 Définition et Principe.....	55
III.4.4.2 Réactifs et rôles chimiques.....	56
III.4.4.3 Procédure expérimentale (Phase de digestion)	56
III.4.4.4 Dosage et titrage.....	58
III.4.4 .5 Expression des résultats.....	58
III.4.5 Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	60
III.4.5.1 Mode opératoire	60
III.4.5.2 Résultats.....	63
III.4.6 V30	65
III.4.6.1 Mode opératoire	65
III.4.6.2 Résultats.....	66
III.4.7 Azote ammoniacal (NH ₄ ⁺)	68
III.4.7.1 Mode opératoire	68

III.4.7.2 Résultats.....	69
III.4.8 Le Phosphore (Ortho phosphate)	71
III.4.8.1 Mode opératoire	71
III.4.8.2 Résultats.....	72
III.4.9 Nitrate (NO_3^-)	72
III.4.9.1 Mode opératoire	72
III.4.9.2 Résultat	73
III.4.10 Nitrite (NO_2^-)	73
III.4.10.1 Mode opératoire	73
III.4.10.2 Résultats	74
III.4.11 Matières volatiles en suspension (MVS%)	75
III.4.11.1 Mode opératoire	75
III.4.11.2 Formules de calcul	76
III.4.11.3 Résultats.....	76
III.5 Efficacité de fonctionnement de la station	77
III .5.1 Rendement d'élimination de (DBO_5)	77
III .5.2 Rendement d'élimination de (DCO)	78
III .5.3 Rendement d'élimination de (MES)	79
III.6 Conclusion.....	80
Conclusion générale et recommandations.....	- 81
-.81	
Bibliographie.....	-
83 -	

Introduction Générale

L'eau est le principal constituant de tous les êtres vivants et l'élément indispensable à toute forme de vie. Sans eau, aucun organisme, qu'il soit végétal ou animal, simple ou complexe, petit ou grand, ne peut survivre. La pollution de l'eau correspond à une détérioration de ses qualités naturelles sur les plans physique, chimique et biologique. Elle perturbe la vie des plantes et des animaux et affecte l'équilibre écologique des écosystèmes. Cette pollution résulte principalement des activités humaines, qu'elles soient domestiques, industrielles ou agricoles, nécessaires au développement socio-économique des populations [1].

En Algérie, le traitement des eaux usées urbaines repose majoritairement sur le procédé des boues activées, largement répandu en raison de son efficacité et de sa fiabilité. Toutefois, la demande en eau ne cesse de croître sous l'effet du développement des secteurs agricole et industriel, ce qui renforce la nécessité d'une gestion rigoureuse et d'une protection durable des ressources hydriques. Dans ce contexte, l'Algérie a mis en œuvre un programme ambitieux dédié au traitement des eaux usées. Depuis la fin de l'année 2010, plus d'une centaine de stations d'épuration ont été mises en service. Ces installations visent à concentrer les polluants présents dans les eaux usées sous forme de boues valorisables, notamment en agriculture, tout en rejetant une eau traitée conforme à des normes strictes. Cette eau épurée peut ainsi être réutilisée pour l'irrigation, les activités industrielles ou encore certains usages municipaux [2].

Les boues d'épuration représentent une source importante de biomasse en Algérie. Cependant, leur utilisation comme source d'énergie reste encore limitée par rapport à d'autres pays. Elles sont principalement valorisées en agriculture après stabilisation et déshydratation, ce qui permet de réduire la quantité de déchets et de créer un produit utile et écologique.

L'objectif de ce travail est d'évaluer le fonctionnement des stations d'épuration de Sablette, Farnaka et Beni Yahi, situées à Mostaganem, ainsi que leurs efficacités dans le traitement des eaux usées. Pour ce faire, plusieurs paramètres physico-chimiques seront analysés, notamment la demande biologique en oxygène (DBO_5), la demande chimique en oxygène (DCO), les matières en suspension (MES), la turbidité, ainsi que les concentrations en nitrates et en

phosphates. D'autres indicateurs, tels que le pH, la température et la conductivité, seront également mesurés. L'ensemble de ces analyses permettra d'apprécier la qualité des eaux traitées rejetées et de déterminer si la station assure une protection efficace de l'environnement et de la santé publique [3].

Pour atteindre notre objectif, ce mémoire est organisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre présente des notions générales sur l'épuration des eaux usées.
- Le deuxième chapitre décrit la station d'épuration et les différents procédés utilisés pour traiter l'eau.
- Le troisième chapitre montre les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée, afin de vérifier le fonctionnement des stations et leurs efficacités.

Chapitre I

Epuration des eaux usées

I.1 Introduction

L'eau est essentielle à la vie, mais les activités humaines peuvent la contaminer à travers diverses formes d'eaux usées. Celles-ci proviennent notamment des habitations, des eaux de pluie, des réseaux d'assainissement défectueux ainsi que des activités agricoles. La pollution peut être organique (matières biodégradables), minérale (sels et métaux), thermique (changement de température), biologique (microbes et bactéries) ou même radioactive. Pour la mesurer, on utilise des paramètres physiques, chimiques et microbiologiques. Les eaux usées peuvent porter atteinte à la vie aquatique, à la santé humaine et à l'équilibre des écosystèmes. Leur traitement est donc indispensable pour préserver l'environnement et la santé publique, respecter les normes de rejet et favoriser la réutilisation de l'eau, que ce soit en agriculture, dans l'industrie ou pour la recharge des nappes d'eau.

Ce chapitre présente ainsi les bases de l'épuration des eaux usées, leur origine, leur pollution, les paramètres d'évaluation et l'importance de leur traitement [4].

I.2 Définition des eaux usées

Les eaux usées sont généralement définies comme des eaux ayant été altérées par l'activité humaine, qu'il s'agisse d'usages domestiques (ménagers et sanitaires), industriels, commerciaux ou agricoles. Elles constituent ainsi un effluent chargé en polluants d'origine organique, minérale, microbiologique ou chimique, qui modifie leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. Ces effluents sont en règle générale collectés et évacués par un réseau d'égouts ou de drainage vers un milieu récepteur (station d'épuration, cours d'eau,

sol, nappe), où ils doivent être traités avant tout rejet ou réutilisation afin de limiter les impacts sur la santé et l'environnement [5].

I.3 Origine des eaux usées

Les eaux usées peuvent être classées en quatre catégories principales :

- Les eaux usées domestiques (provenant des usages ménagers et assimilés)
- Les eaux pluviales (ruissellement des précipitations)
- Les eaux parasites (infiltrations et raccordements illicites)
- Les effluents agricoles (activités d'élevage et ruissellement agricole)

I.3.1 Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques résultent des différents usages de l'eau au sein des habitations (toilette, cuisine, lessive, nettoyage, etc.) et se caractérisent par une forte charge en matières organiques et en micro-organismes.

On distingue généralement :

- Les eaux ménagères (greywater) : provenant des salles de bains, des cuisines et des buanderies, elles contiennent surtout des détergents, des graisses, des huiles, des solvants domestiques et des résidus organiques.
- Les eaux de vannes (blackwater) : issues des toilettes, elles sont riches en matières organiques azotées, en nutriments (azote, phosphore) et en germes d'origine fécale (coliformes fécaux, streptocoques fécaux, virus entériques).

La pollution domestique quotidienne par habitant est souvent évaluée à partir de charges moyennes en matières en suspension, DBO, azote et phosphore. Ces charges sont généralement de l'ordre de quelques dizaines de grammes par jour pour chaque paramètre, ainsi que plusieurs milliards de germes fécaux pour 100 mL d'eaux noires [6].

La pollution quotidienne générée par une personne consommant entre 150 et 200 litres d'eau est estimée comme suit :

- 70 à 90 grammes de matières en suspension ; 60 à 70 grammes de matières organiques ;
15 à 17 grammes de composés azotés ; environ 4 grammes de phosphore ; ainsi que
plusieurs milliards de germes pour 100 mL [7].

I.3.2 Les eaux pluviales

Les eaux pluviales peuvent être à l'origine d'une pollution significative des cours d'eau, en particulier lors des épisodes orageux. En traversant l'atmosphère, l'eau de pluie se charge de divers polluants tels que les fumées industrielles et les particules en suspension. Lors du ruissellement, elle entraîne également les contaminants accumulés sur les surfaces urbaines, notamment les toitures et les chaussées, comme les huiles de vidange, les hydrocarbures, les résidus d'usure des pneus ainsi que certains métaux lourds.

Par ailleurs, dans les réseaux d'assainissement de type unitaire, les eaux pluviales sont collectées conjointement avec les eaux usées domestiques. En période de fortes précipitations, afin de protéger les stations d'épuration contre les surcharges hydrauliques, des rejets directs de ce mélange fortement pollué peuvent être effectués vers le milieu naturel. Enfin, l'urbanisation croissante, caractérisée par l'imperméabilisation des sols, accentue le ruissellement, augmentant à la fois les risques de pollution des eaux superficielles et les phénomènes d'inondation [8].

I.3.3 Les eaux parasites

Les eaux parasites dans les réseaux d'assainissement désignent des eaux qui ne devraient pas s'y trouver, telles que les infiltrations d'eau souterraine dans les égouts ou les eaux usées indésirables dans les réseaux pluviaux. Ces eaux parasites proviennent souvent de fissures, connexions accidentelles ou défaillances des conduites, ce qui augmente le volume à traiter et peut réduire l'efficacité des stations d'épuration tout en augmentant les risques de débordements et de pollution des milieux récepteurs.

Les eaux usées peuvent contenir divers parasites protozoaires pathogènes comme *Cryptosporidium*, *Giardia*, *Toxoplasme gondii* ou *Blastocystis*, qui sont détectés dans les effluents des stations d'épuration et représentent un risque sanitaire important, notamment lorsqu'elles sont réutilisées pour l'irrigation ou rejetées dans l'environnement.

La présence de ces parasites est liée à la contamination humaine mais aussi animale, avec des sources variées incluant rongeurs et oiseaux.

La détection et la quantification des eaux parasites nécessitent souvent des méthodes avancées comme l'analyse isotopique stable pour tracer leur origine et leur proportion dans le réseau, ce qui aide à cibler les interventions pour limiter leur impact.

Enfin, la gestion efficace des eaux parasites est cruciale pour réduire la pollution hydrique, protéger la santé publique et optimiser le fonctionnement des infrastructures d'assainissement urbain [9].

I.3.4 Les effluents agricoles

Les effluents agricoles représentent des eaux usées générées par les activités agricoles, incluant principalement les eaux de drainage des sols, les eaux d'irrigation utilisées et les rejets issus de l'élevage. Les eaux usées contiennent souvent beaucoup de nutriments, comme l'azote et le phosphore. Ces éléments peuvent polluer les sols et les eaux, surtout par le phénomène d'eutrophisation. Cette pollution est liée aux pratiques agricoles, à l'usage d'engrais et de pesticides, ainsi qu'à la gestion des déjections animales. Pour réduire ces impacts, il est important de gérer ces effluents de manière durable, en utilisant des traitements adaptés et en valorisant les nutriments qu'ils contiennent. Depuis des millénaires, les humains utilisent et réutilisent les eaux usées pour l'irrigation, ce qui montre l'importance d'équilibrer l'agriculture et la protection de l'environnement [10].

I.4 Pollution des eaux

I.4.1 Pollution organique

La pollution organique représente la fraction la plus importante de la pollution des eaux usées. Elle résulte des activités urbaines, industrielles et agricoles. Chacune de ces activités rejette des composés organiques spécifiques, qu'ils soient biodégradables ou non biodégradables. On distingue généralement, dans les eaux usées :

- **Les matières organiques classiques** : Elles comprennent principalement les protéides, les lipides et les glucides, issus des rejets domestiques et alimentaires.
- **Les agents de nettoyage** : Ils correspondent essentiellement aux tensioactifs présents dans les eaux usées provenant de différentes sources :

Secteur industriel : industries textiles, blanchisseries, fabrication de détergents, etc.

Secteur agricole : entraînement par ruissellement des eaux de pluie contenant des pesticides (insecticides, fongicides).

Secteur urbain : utilisation domestique de détergents (lavage du linge, nettoyage des rues, hôpitaux, etc.) [11].

- **Les goudrons et les huiles**

I.4.2 Pollution minérale

La pollution minérale de l'eau peut perturber la croissance des végétaux et provoquer des déséquilibres physiologiques chez les animaux. Elle regroupe des polluants d'origine minérale, principalement les nutriments et les métaux lourds. Les métaux lourds comprennent notamment le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le plomb (Pb), l'argent (Ag), ainsi que le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le nickel (Ni) et le zinc (Zn). Bien qu'ils puissent provenir de sources naturelles (roches, minerais), ils sont majoritairement issus des rejets industriels, tels que les procédés de traitement de surface, la galvanoplastie, l'hydrométallurgie, ainsi que les secteurs minier, chimique, pétrochimique et pharmaceutique. Ces éléments ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants et tout au long de la chaîne alimentaire. Les éléments nutritifs minéraux, quant à eux, proviennent surtout des activités agricoles et des rejets domestiques. Ils sont à l'origine du phénomène d'eutrophisation, caractérisé par une prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques [12].

I.4.3 Pollution thermique

Un grand nombre de secteurs, notamment les centrales thermiques, la sidérurgie et l'agriculture, exploitent l'eau comme agent de refroidissement en « circuit ouvert ». Cela entraîne un rejet massif de chaleur dans l'environnement récepteur. La pollution thermique est souvent considérée comme négligeable. Cependant, face à l'accroissement des exigences industrielles en matière de fluide de refroidissement, une problématique véritable se présente. Le rejet de chaleur dans l'environnement aquatique peut entraîner d'importantes modifications biocénotiques, en soutenant la croissance de certaines espèces végétales ou animales au détriment d'autres. L'augmentation de la température de l'eau contribue également à la prolifération de certains microbes nuisibles pour l'homme et à la réduction du niveau d'oxygène dissous [13].

I.4.4 Pollution biologique

La pollution biologique est l'une des formes de pollution les plus anciennes. Elle correspond à la présence en grande quantité de micro-organismes (bactéries, virus, protozoaires et

helminthes), dont certains peuvent être pathogènes et provoquer des troubles, notamment gastro-intestinaux. Certaines espèces opportunistes peuvent contaminer les individus vulnérables soit par contact direct avec de l'eau contaminée, soit par ingestion d'eau de mauvaise qualité, soit encore par inhalation d'aérosols contaminés.

Le littoral, et en particulier les estuaires, constitue une zone de concentration de nombreux rejets : apports fluviaux souvent chargés en polluants, effluents urbains côtiers et rejets industriels [14].

I.4.5 Pollution radioactive

La pollution de la terre par des substances radioactives artificielles issues de l'exploitation de l'énergie nucléaire, dont diverses applications conduisent notamment à la production de déchets radioactifs. Ces déchets proviennent de diverses sources, notamment des sous-produits issus de processus miniers lors de la purification du minerai d'uranium. Ils sont également issus des installations dédiées à la préparation et au traitement des combustibles nucléaires, des usines de séparation isotopique, ainsi que des véhicules à propulsion nucléaire. Selon une étude scientifique publiée en 2025, les déchets radioactifs générés par le fonctionnement des réacteurs nucléaires, en particulier les déchets hautement radioactifs provenant des réactions de fission, représentent l'une des principales sources de pollution radioactive liées à l'exploitation de l'énergie nucléaire [15].

I.5 Paramètres de pollution de l'eau usée

I.5.1 Paramètres physiques

I.5.1.1 Température

La température de l'eau est un paramètre écologique fondamental influençant plusieurs processus physico-chimiques et biologiques. Elle affecte la solubilité des sels et des gaz dissous, modifiant ainsi la conductivité électrique de l'eau. De plus, la température joue un rôle clé dans le métabolisme et la croissance des micro-organismes aquatiques, ce qui impacte la dégradation biologique des polluants [16].

I.5.1.2 Conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, ce qui dépend directement de la concentration en ions dissous (sels). Elle est un indicateur rapide et efficace

pour évaluer la salinité et la charge ionique totale dans les eaux usées, reflétant ainsi leur qualité chimique [16].

I.5.1.3 Turbidité

La turbidité exprime l'opacité d'un liquide causée par la présence de particules en suspension telles que les argiles, silices fines ou micro-organismes. Elle réduit la transparence de l'eau, impacte la pénétration de la lumière et donc la photosynthèse aquatique et peut indiquer une pollution particulaire importante. Ce paramètre est essentiel pour évaluer la qualité des eaux usées, car un niveau élevé de turbidité peut nuire aux organismes aquatiques et perturber le fonctionnement des stations d'épuration [16].

I.5.1.4 Couleur

La couleur indique souvent la présence de matières organiques dissoutes, de pigments ou de substances chimiques. La couleur peut être naturelle ou due à des polluants industriels [16].

I.5.1.5 Odeur et goût

Ils reflètent la présence de composés organiques volatils ou de décomposition microbienne. Des odeurs fortes peuvent signaler la pollution et la dégradation biologique avancée [16].

I.5.1.6 Matières décantables

Ce sont des particules solides relativement grosses (entre 40 micromètres et 5 millimètres) qui se déposent naturellement sans intervention chimique ou physique. Leur présence peut entraîner une sédimentation dans les milieux récepteurs, affectant la qualité des sols et des eaux [16].

I.5.1.7 Matières en suspension (MES)

Les MES regroupent toutes les particules solides non dissoutes présentes dans l'eau, incluant matières minérales et organiques. Elles transportent souvent des microorganismes pathogènes, contribuent à l'aspect trouble de l'eau ainsi qu'à son goût et odeur désagréables. La concentration en MES est exprimée par la somme des matières minérales sèches (MMS) et matières volatiles en suspension (MVS) : $MES = MMS + MVS$ [16].

I.5.1.8 Matières volatiles en suspension (MVS)

Les MVS correspondent à la fraction organique des MES. Elles sont déterminées par chauffage à haute température (500-600°C) après séchage initial à 105°C ; la perte de poids correspond aux MVS. Cette mesure permet d'évaluer la charge organique présente dans les eaux usées [16].

I.5.1.9 Matières minérales sèches (MMS)

Les MMS représentent la fraction inorganique des MES, principalement constituée de sels minéraux comme le chlorure de sodium ou le dioxyde de silicium. Elles sont calculées comme différence entre MES totales et MVS [16].

I.5.2 Paramètres chimique

I.5.2.1 pH

Le pH est un paramètre qui permet de mesurer l'acidité, l'alcalinité ou la basicité d'une eau [17].

I.5.2.2 Oxygène dissous

La concentration en oxygène dissous est essentielle pour le maintien de la vie, et pour les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse. Une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène (torrent), alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée. La forte présence de matière organique dans un plan d'eau permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène [17].

I.5.2.3 Demande biologique en oxygène (DBO₅)

La DBO₅ exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation des matières organiques présentes dans les eaux usées par les micro-organismes. Elle est mesurée par la consommation d'oxygène à 20 °C, à l'obscurité, pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablement ensemencé [17].

I.5.2.4 Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières oxydables contenues dans un effluent, principalement les composés organiques comme les détergents et matières fécales [17].

I.5.2.5 Carbone organique total (COT)

Le carbone organique est constitué d'une grande diversité de composés à différents états d'oxydation, dont certains peuvent être oxydés par des procédés chimiques ou biologiques. Ces fractions sont caractérisées par la DCO et la DBO. Certaines matières organiques échappent à ces mesures ; le dosage du COT est alors plus adapté. Il est indépendant de l'état d'oxydation de la matière organique et ne mesure pas les éléments inorganiques comme l'azote ou l'hydrogène.

La détermination du COT porte sur les composés organiques fixés ou volatils, naturels ou synthétiques (cellulose, sucres, huiles, etc.). Selon que l'eau ait été préalablement filtrée ou non, on obtient le carbone dissous (CD) ou le carbone organique total (COT).

Cette mesure facilite l'estimation de la demande en oxygène liée aux rejets et permet d'établir des corrélations avec la DBO et la DCO [17].

I.5.2.6 Azote

Dans les eaux usées domestiques, l'azote se trouve principalement sous forme organique et sous forme ammoniacale. Il est mesuré à l'aide du N-NTK (azote total Kjeldahl) ainsi que du $N - NH_4^+$. L'azote Kjeldahl correspond à la somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique. L'azote organique, qui constitue une grande partie des protéines, est recyclé par les plantes et les animaux. L'azote ammoniacal, quant à lui, existe sous deux formes : l'ammoniac (NH_3) et l'ion ammonium (NH_4^+), dont la répartition dépend du pH et de la température, avec une prédominance généralement de l'ammonium. En milieu oxydant, l'ion ammonium (NH_4^+) est transformé en nitrites puis en nitrates, un processus qui nécessite une consommation d'oxygène [17].

I.5.2.7 Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites constituent une étape intermédiaire entre l'ammonium (NH_4^+) et les nitrates (NO_3^-). Les bactéries nitrifiantes, comme *Nitrosomonas*, assurent la transformation de l'ammonium en nitrites, un processus appelé nitrification. Ils peuvent également provenir de la réduction bactérienne des nitrates (dénitrification). Les nitrites sont toxiques pour les organismes aquatiques, même à faibles concentrations, et leur toxicité augmente avec la température [17].

I.5.2.8 Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates représentent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitrifiantes (Nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates qui sont moins toxiques que les nitrites, mais des concentrations élevées favorisent la prolifération algale et l'eutrophisation du milieu. Leur danger potentiel reste relatif à leur transformation ultérieure [17].

I.5.2.9 Ortho-phosphates (PO_4^{3-})

Les ortho-phosphates représentent la forme inorganique du phosphore dissous dans l'eau. Ils sont biodisponibles et directement assimilables par les plantes et algues. Une concentration élevée favorise la prolifération algale et contribue à l'eutrophisation [17].

I.5.2.10 Ammonium (NH_4^+)

Ammonium est le principal composant de l'azote ammoniacal dans les eaux usées, sa concentration dépend du pH et de la température. En milieu oxydant, le NH_4^+ est transformé en nitrites puis en nitrates, consommant de l'oxygène. Le suivi de NH_4^+ est essentiel pour le contrôle de la qualité de l'eau [17].

I.5.3 Paramètres microbiologiques

Les micro-organismes présents dans les eaux usées se classent en quatre grandes catégories : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Ils proviennent à la fois de l'environnement et des matières fécales. Leurs effets sur la santé sont variés : ils peuvent provoquer des infections légères, comme la gastro-entérite, mais aussi des maladies graves, voire mortelles. Leur pouvoir pathogène dépend de plusieurs facteurs qui seront présentés brièvement.

I.5.3.1 Les bactéries

Les bactéries sont des micro-organismes unicellulaires, simples et dépourvus de noyau, dont la taille varie entre 0,1 et 10 μm . Dans les fèces, leur concentration moyenne est d'environ 10^{12} bactéries par gramme. La plupart ne sont pas pathogènes, mais chez un individu infecté, la quantité de bactéries pathogènes peut devenir très élevée.

Les bactéries entériques sont adaptées à la vie dans l'intestin, un milieu riche en matière organique et en nutriments. En revanche, leur survie dans l'environnement extérieur, où les conditions sont très différentes, reste limitée. De plus, les bactéries pathogènes entrent en compétition avec les bactéries indigènes, ce qui freine leur prolifération.

I.5.3.2 Les virus

Les virus sont des organismes de très petite taille (10 à 350 nm). Ils ne sont constitués que d'une molécule d'ADN ou d'ARN, entourée d'une capside (coque protéique). Ne possédant ni noyau, ni capacité de synthèse, ce sont des parasites obligatoires d'une cellule vivante dont ils détournent, à leur profit, les systèmes enzymatiques, énergétiques et de synthèse. L'infection d'un individu par un virus hydrique se produit dans la majorité des cas par ingestion, sauf pour le Coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation.

Les virus sont relativement spécifiques d'un hôte. Il existe des virus adaptés à chaque type d'hôtes (animaux, hommes, plantes, champignons, algues, bactéries). Les virus entériques

transmis par ingestion sont, avec les virus respiratoires transmis par inhalation d'aérosols, les plus importants pour la santé humaine.

I.5.3.3 Les protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires adoptent, au cours de leur cycle de vie, une forme de résistance appelée kyste.

I.5.3.4 Les helminthes

Les helminthes sont des vers multicellulaires, soit plats (plathelminthes), soit ronds (némathelminthes). Comme les protozoaires, ils sont majoritairement parasites. Il s'agit le plus souvent de vers intestinaux, éliminés avec les matières fécales sous forme d'œufs particulièrement résistants. La contamination peut se faire par ingestion ou par voie transcutanée, lorsque les larves se fixent puis traversent la peau [18].

I.6 Impact des eaux usées

Les eaux usées constituent un enjeu environnemental et sanitaire majeur, notamment lorsqu'elles sont rejetées dans le milieu naturel sans traitement préalable ou avec un traitement insuffisant. Leur impact se manifeste à plusieurs niveaux.

Sur le plan environnemental, le déversement des eaux usées dans les oueds, les rivières ou les nappes phréatiques entraîne une dégradation progressive de la qualité de l'eau. La forte charge en matières organiques provoque une diminution de l'oxygène dissous, ce qui perturbe l'équilibre des écosystèmes aquatiques et peut conduire à la disparition de certaines espèces. De plus, la présence excessive de nutriments tels que l'azote et le phosphore favorise le phénomène d'eutrophisation, caractérisé par une prolifération anormale des algues.

Les eaux usées peuvent également avoir un impact important sur les sols, notamment lorsqu'elles sont utilisées en irrigation sans contrôle rigoureux. L'accumulation de sels minéraux et de métaux lourds peut altérer la structure du sol et affecter sa fertilité à long terme. Sur le plan sanitaire, les eaux usées représentent un vecteur potentiel de maladies. Elles contiennent divers microorganismes pathogènes susceptibles de contaminer les populations par contact direct ou indirect. Ainsi, une gestion inadéquate des eaux usées peut favoriser la propagation de maladies d'origine hydrique.

Enfin, l'impact des eaux usées ne se limite pas à l'environnement et à la santé ; il concerne également l'aspect socio-économique. La dégradation des ressources en eau peut entraîner des coûts supplémentaires liés au traitement, à la dépollution et aux soins médicaux, tout en affectant certaines activités comme l'agriculture ou la pêche.

En conclusion, une gestion efficace et un traitement approprié des eaux usées sont indispensables pour limiter leurs impacts et préserver les ressources naturelles [19].

I.7 Epuration des eaux usées

Dans le domaine de l'assainissement, l'épuration est la démarche qui vise à conférer aux eaux résiduelles déversées une qualité conforme aux normes du milieu récepteur ; il s'agit donc d'éviter une contamination de l'environnement et non de générer de l'eau potable. Avant leur rejet dans l'environnement, les eaux usées doivent être traitées. Ce processus de purification a lieu au sein des stations d'épuration. Il est essentiel de transporter ou d'assainir les eaux usées pour maintenir la qualité de vie. Le traitement des eaux usées est indispensable pour des raisons sanitaires, écologiques et réglementaires. Les eaux usées non traitées contribuent à la détérioration des écosystèmes aquatiques et peuvent engendrer de graves maladies [20].

I.7.1 Importance de l'épuration

Les caractéristiques d'une station d'épuration ainsi que le degré de traitement appliqué doivent être adaptés aux caractéristiques des eaux usées à traiter, afin que les effluents rejetés n'altèrent pas l'état du milieu récepteur d'une manière incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique. D'une manière générale, ils doivent également respecter les exigences liées aux différentes utilisations de l'eau, telles que l'alimentation en eau des hommes et des animaux, l'utilisation agricole ou industrielle, la production piscicole et de coquillages, la navigation, la baignade ainsi que d'autres activités sportives.

L'objectif principal du traitement des eaux usées est de produire des effluents traités présentant un niveau de qualité acceptable du point de vue des risques pour la santé humaine et pour l'environnement. À cet égard, le système de traitement le plus approprié est celui qui permet d'obtenir des effluents respectant les normes de qualité chimique et microbiologique exigées pour un usage donné, tout en restant économiquement accessible et nécessitant des opérations d'exploitation et d'entretien limitées [21].

I.7.2 Conséquences sur le milieu récepteur

Le rejet des eaux usées dans les rivières, les lacs ou sur le sol peut entraîner divers impacts négatifs sur l'environnement :

1. **Changements dans l'eau** : Les produits chimiques dans l'eau peuvent changer le pH et augmenter les nutriments comme l'azote et le phosphore. Ça fait pousser trop d'algues et l'oxygène pour les poissons diminue.
2. **Effet sur les êtres vivants** : Les bactéries et microbes peuvent rendre malades les poissons, les animaux et même les humains.
3. **Modification de l'écosystème** : La pollution et les matières organiques changent les espèces dans l'eau et réduisent la biodiversité.
4. **Conséquences à long terme** : Si ça continue, les rivières et lacs deviennent pleins d'algues et le sol ou l'eau souterraine peut se polluer.

Dans certains endroits près d'Alger, les rivières reçoivent des eaux usées sans traitement. Ça provoque beaucoup d'algues et ça gêne la pêche [22].

I.7.3 Normes des rejets des eaux usées

I.7.3.1 Normes internationales

Une norme correspond à une valeur chiffrée fixant une limite maximale à ne pas dépasser ou une limite minimale à respecter. Un critère est considéré comme satisfait lorsque cette norme est respectée pour un paramètre donné. Les normes sont établies par des lois, des directives ou des décrets.

À l'échelle internationale, les normes relatives aux eaux usées sont notamment définies par Organisation mondiale de la santé(OMS) sont citées dans le tableau I.1.

Tableau I-1 : Normes de rejets internationales	
Caractéristiques	Valeurs
pH	6.5-8.5
DBO ₅	<30 mg/L
DCO	<90 mg/L
MES	<20 mg/L
NH ₄	<0.5 mg/L
NO ₂	<1mg/L
NO ₃	<1mg/L
P ₂ O ₅	<2mg/L
Température	<30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

I.7.3.2 Normes de rejet appliquées en Algérie

Le Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993, publié au Journal officiel de la République algérienne et relatif à la réglementation des rejets d'effluents liquides, définit le rejet comme tout déversement, écoulement, projection ou dépôt, direct ou indirect, d'effluents liquides dans le milieu naturel. Ces dispositions ont été renforcées par un nouveau texte réglementaire, le Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006, venu compléter et actualiser les valeurs fixées précédemment [23].

Tableau I-2 : Valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur		
Paramètres	Unités	Valeurs limites
Température	°C	30
pH	-	6,5 à 8,5
MES	mg/l	35
DBO5	mg/l	35
DCO	mg/l	120
Azote Kjeldahl	mg/l	30
Phosphates	mg/l	02
Phosphore total	mg/l	10
Cyanures	mg/l	0,1
Aluminium	mg/l	03
Cadmium	mg/l	0,2
Fer	mg/l	03
Manganèse	mg/l	01
Mercure total	mg/l	0,01
Nickel total	mg/l	0,5
Plomb total	mg/l	0,5
Cuivre total	mg/l	0,5
Zinc total	mg/l	03
Huiles et Graisses	mg/l	20
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Indice Phénols	mg/l	0,3
Chrome total	mg/l	0,5
(*) Chrome III+	mg/l	03
(*) Chrome VI+	mg/l	0,1
(*) Solvants organiques	mg/l	20
(*) Chlore actif	mg/l	1,0
(*) Détergents	mg/l	2
(*) Tensioactifs anioniques	mg/l	10

I.7.4 Réutilisation des eaux épurées

L'eau, ressource vitale et limitée, nécessite une gestion responsable. Les eaux usées, une fois traitées, peuvent être réutilisées pour différents usages comme l'irrigation, l'arrosage des espaces verts ou certaines activités industrielles, ce qui permet d'économiser l'eau potable et de réduire la pression sur les ressources naturelles.

Cependant, cette réutilisation doit respecter des normes strictes afin de garantir la sécurité sanitaire et environnementale. Elle implique également une bonne organisation, un suivi rigoureux et une coopération entre les différents acteurs.

Ainsi, la réutilisation des eaux épurées constitue une solution durable pour faire face à la rareté de l'eau et préserver les ressources pour l'avenir [24].

I.8 Conclusion

L'eau pourrait devenir une ressource de plus en plus rare dans les prochaines décennies, en raison de la forte croissance de la population et de l'augmentation de la consommation, ce qui risque d'entraîner des tensions entre les pays et d'aggraver les problèmes alimentaires.

La pollution de l'eau engendre également des coûts importants, tandis que sa gestion reste souvent inefficace, notamment dans les pays développés où une grande partie de l'eau potable est utilisée de manière peu rationnelle [25-27].

Face à ces défis, il est essentiel d'adopter une gestion plus responsable de l'eau, à travers des politiques adaptées, l'éducation et des gestes quotidiens simples. Le développement de nouvelles technologies jouera aussi un rôle clé pour améliorer son utilisation, car l'accès à l'eau potable restera un enjeu majeur pour l'avenir.

Chapitre II

Procédés de traitement des eaux usées

II.1 Introduction

Le traitement des eaux usées représente une étape fondamentale pour limiter l'impact des rejets sur l'environnement et préserver la qualité des ressources hydriques. Les eaux usées contiennent différentes formes de pollution, notamment des matières en suspension, de la matière organique biodégradable, des nutriments ainsi que des microorganismes. Afin de réduire cette charge polluante, elles subissent une série de traitements successifs au sein des stations d'épuration. Selon le degré d'élimination recherché et les procédés mis en œuvre, plusieurs niveaux de traitement sont distingués : les prétraitements, le traitement primaire et le traitement secondaire. Les prétraitements permettent d'éliminer les déchets grossiers et les éléments susceptibles de perturber le fonctionnement des installations. Le traitement primaire repose principalement sur la décantation des matières en suspension, tandis que le traitement secondaire fait intervenir des procédés biologiques destinés à éliminer la matière organique dissoute. Dans certains cas, notamment lorsque l'eau traitée est rejetée dans un milieu sensible ou destinée à la réutilisation, un traitement tertiaire peut être appliqué afin d'améliorer davantage la qualité de l'effluent final. Ainsi, le choix des procédés dépend des exigences réglementaires et des caractéristiques des eaux à traiter [28].

II.2 Système d'épuration à Mostaganem

La wilaya de Mostaganem dispose de plusieurs stations d'épuration (STEP) destinées au traitement des eaux usées urbaines. Ces stations ont pour objectif principal de réduire la pollution physico-chimique et microbiologique avant le rejet dans l'environnement [29].

II.2.1 STEP de Sablette (Salamandre)

La STEP de Sablette est l'une des principales stations de la région. Elle reçoit les eaux usées domestiques et partiellement industrielles de la ville de Mostaganem. Cette station assure non seulement le traitement des eaux, mais elle effectue également des analyses physico-chimiques régulières sur ses propres effluents ainsi que sur ceux des stations de Fornaka, de Benyahi et d'autres stations de la wilaya. Ces analyses permettent de suivre la qualité de l'eau, d'évaluer l'efficacité des procédés appliqués et de s'assurer que les normes de rejet sont respectées [29].

II.2.2 STEP de Fornaka

Cette station prend en charge la zone de Fornaka en mettant en œuvre un procédé similaire, ajusté aux volumes d'eaux usées propres à la commune. Par ailleurs, les analyses physico-chimiques effectuées par la STEP de Sablette servent également à évaluer les performances de cette installation [29].

II.2.3 STEP de Benyahi

La STEP de Benyahi traite les eaux usées domestiques locales. Elle est équipée pour un traitement primaire et secondaire, avec un accent sur le traitement biologique afin de réduire la DBO₅ et les matières en suspension. Là encore, la STEP de Sablette effectue des analyses régulières pour suivre la qualité des effluents et vérifier l'efficacité de cette station.

En résumé, le système d'épuration à Mostaganem combine plusieurs procédés complémentaires (prétraitement, traitement primaire et secondaire) et bénéficie d'un suivi analytique assuré par la STEP de Sablette, garantissant la conformité des eaux traitées aux normes et la protection des milieux récepteurs [29].

II.3 Présentation de STEP de Salamandre

La station d'épuration de la wilaya de Mostaganem, objet de cette étude, est implantée entre les quartiers des Sablettes et de la Salamandre, en bord de mer. Mise en service en mars 2017, elle a pour mission de traiter les eaux usées urbaines domestiques des zones ouest et sud de la wilaya, incluant notamment Stidia, Hassi Mameche, Ouréah, Mazagran, Mostaganem, Kheireddine, Sayada et Aïn Boudinar, pour un volume global estimé à 650 000 m³ par jour. Cette installation de traitement biologique assure, à travers ses différents bassins, l'épuration d'un débit journalier d'environ 56 000 m³ d'eaux usées. Les effluents provenant des localités concernées sont collectés puis acheminés vers la station via des stations de relevage déjà en place. Par ailleurs,

cette infrastructure participe activement à la réduction de la pollution marine du littoral de Mostaganem. Elle s'inscrit dans un dispositif global aux côtés des stations de Sidi Ali, Sidi Lakhdar et Khadra, déjà opérationnelles, permettant ainsi d'atteindre un taux de traitement des eaux usées avoisinant les 85 % à l'échelle de la wilaya [29].

Le service de la station d'épuration (STEP) de Salamandre est composé de plusieurs catégories de personnel assurant le bon fonctionnement et la maintenance des installations :

- Chef de STEP
- Responsable de maintenance
- Opérateur de maintenance
- Techniciens de maintenance
- Agents de maintenance
- Gardiens
- Biologistes et chimistes

Au niveau de la station d'épuration de Salamandre, on distingue plusieurs blocs fonctionnels ainsi que deux filières principales : la filière eau et la filière boues.

Blocs :

- Bloc administratif
- Bloc d'exploitation
- Ateliers

Filière eau :

- Réception des eaux usées avec by-pass (déversoir d'orage)
- Fosse à bêtards
- Dégrillage grossier
- Poste de relevage de tête
- Comptage des eaux brutes
- Dégrillage fin avec by-pass
- Dessablage – déshuilage aéré
- Décantation primaire
- Bassin d'aération de type moyenne charge
- Désinfection par hypochlorite de sodium
- Canal de comptage des eaux épurées

Filière boues :

- Recirculation des boues et extraction des boues en excès
- Épaississement gravitaire des boues en excès
- Stabilisation aérobie des boues

Principaux ouvrages annexes :

- Réseau des eaux industrielles et lavage des machines
- Poste toutes eaux
- Réseau des eaux d'arrosage des espaces verts
- Poste de livraison électrique
- Groupe électrogène



Figure II.1 Plan global de la station d'épuration des eaux usée Salamandre –Mostaganem

II.3.1 Situation géographique de STEP

La station d'épuration des eaux usées de Salamandre, au sein de laquelle nous avons effectué notre stage, est située dans la wilaya de Mostaganem, sur la côte nord-ouest de l'Algérie. Elle est implantée dans la zone côtière comprise entre les quartiers des Sablettes et de Salamandre, à proximité immédiate de la mer Méditerranée. La station est limitée au nord par la mer Méditerranée, à l'est par les installations industrielles de SOACHLORE et de CELPAP, à

l'ouest par la station de pompage exploitée par SEOR, et au sud par des terrains non urbanisés. Cette station s'étend sur une superficie d'environ **12 hectares**. Grâce à sa position stratégique à proximité du littoral, elle assure le traitement des eaux usées urbaines provenant de plusieurs zones de la ville avant leur rejet dans le milieu récepteur. Elle contribue ainsi à la protection de l'environnement et à la préservation de la qualité des eaux marines [29].

II.3.2 Rôle et objectif de STEP

La station d'épuration de Salamandre joue un rôle très important pour la ville de Mostaganem et ses alentours. Elle assure le traitement des eaux usées domestiques provenant des quartiers ouest et sud de Mostaganem avant leur rejet dans l'environnement. Grâce à ce traitement, la station permet de réduire la pollution contenue dans ces eaux, notamment les matières organiques, les solides en suspension et certains microorganismes pouvant être dangereux pour la santé. Cela contribue à protéger la mer Méditerranée et les zones naturelles avoisinantes.

Un autre objectif majeur de la STEP est d'améliorer l'hygiène et la santé publique. En effet, en traitant les eaux usées, on évite l'utilisation des habitants ou des agriculteurs des eaux brutes pour l'irrigation ou d'autres besoins, ce qui limite les risques de maladies et de contamination des sols et des cultures. La station participe au développement durable de la région en gérant mieux les eaux usées et en protégeant l'environnement, tout en permettant aux habitants de vivre dans des conditions plus saines et plus sûres [30].

II.3.3 Principe de fonctionnement

La station d'épuration de Salamandre fonctionne selon le principe des boues activées à moyenne charge, qui est l'une des méthodes les plus courantes pour le traitement biologique des eaux usées urbaines. Ce procédé repose essentiellement sur l'action de micro-organismes, principalement des bactéries, qui dégradent la matière organique contenue dans les eaux usées. Le traitement biologique se fait dans des conditions aérobies, c'est-à-dire en présence d'oxygène dissous. Les bactéries utilisent cet oxygène pour oxyder directement les matières organiques, transformant ainsi les polluants en substances moins nocives et en biomasse (boues activées). Ces boues sont ensuite séparées de l'eau épurée par décantation. Le système à moyenne charge de la station de Salamandre permet d'obtenir une bonne efficacité de traitement tout en optimisant la consommation d'énergie et la surface occupée par les bassins. Il offre également

une certaine flexibilité pour faire face aux variations de débit et de charge polluante des eaux usées urbaines. La STEP assure non seulement la dépollution des eaux usées, mais contribue aussi à protéger l'environnement et la santé publique, en évitant le rejet direct d'effluents bruts dans le milieu naturel [31].

II.3.4 Caractéristiques techniques de la STEP

La conception et le dimensionnement de la station d'épuration des eaux usées de Salamandre ont été réalisés conformément aux exigences du cahier des charges de l'appel d'offre. Les principaux paramètres retenus tiennent compte de l'évolution de la population et des besoins futurs en traitement des eaux usées [32].

Tableau II-1 : Charge hydraulique entre STEP Mostaganem (STEP Salamandre).	
Débit	Total 2030
Équivalent habitant	350 000 EH
Volume journalier	56 000 m ³ /j
Débit moyen en temps sec	2 334 m ³ /h
Débit de pointe temps sec (Qts)	3 735 m ³ /h
Débit max, admis en temps de pluie (Qtp)	5 600 m ³ /h

Dans le cadre de l'évaluation des besoins futurs en traitement des eaux usées, il est essentiel d'estimer la charge de pollution à l'horizon 2030. Cette projection permet de dimensionner adéquatement les ouvrages de la station d'épuration et d'anticiper les évolutions démographiques et industrielles. Le tableau II-2 présente la charge de pollution prise en compte pour la STEP Salamandre selon les paramètres retenus.

Tableau II-2 : Charge de pollution prise en compte -horizon 2030 (STEP Salamandre)	
Paramètres	Horizon 2030
Charge journalier DCO	47 250 Kg/j
Charge journalier DBO5	19 600 Kg/j
Charge journalier MES	24 500 Kg/j
Charge NTK	3 500 Kg/j
Charge en phosphore total (Pt)	880 Kg/j

L'évaluation de la qualité des eaux traitées constitue une étape essentielle pour vérifier l'efficacité du processus d'épuration et la conformité aux normes environnementales en vigueur. Elle permet également d'apprécier l'impact du rejet sur le milieu récepteur. Le tableau III-3 présente les principales caractéristiques de la qualité des eaux traitées au niveau de la STEP Salamandre.

Tableau II-3 : Qualité des eaux traitées (STEP Salamandre).		
Paramètres	Concentration	Rendement minimal d'élimination en %
DCO	≤ 90 mg/l	≥ 80
DBO5	≤ 30 mg/l	≥ 90
MES	≤ 30 mg/l	≥ 90

II.3.5 Point de rejet (destination)

A la station d'épuration de Salamandre, les eaux usées de la wilaya de Mostaganem passent par plusieurs étapes de traitement pour réduire la pollution et protéger l'environnement. On commence par le dégrillage et le dessablage, puis la décantation, l'aération biologique et enfin la désinfection. Une fois ces traitements effectués, l'eau est contrôlée pour vérifier qu'elle respecte les normes avant d'être rejetée dans la mer Méditerranée. Ce rejet est fait de façon

encadrée afin de ne pas nuire au littoral, aux poissons et à la flore marine, et pour protéger la santé des habitants.

Le traitement produit aussi des boues d'épuration, qui sont les résidus solides formés par les micro-organismes. Ces boues sont stabilisées et déshydratées, puis utilisées comme engrais pour l'agriculture, car elles contiennent des nutriments utiles comme l'azote et le phosphore. Avant leur utilisation, on s'assure qu'elles ne contiennent pas de produits dangereux.

Ainsi, la STEP de Salamandre ne se contente pas de nettoyer l'eau, elle permet aussi de valoriser les boues et de contribuer à la protection de l'environnement et au développement durable de la région [33].

II.4 Les étapes d'épuration des eaux usées

L'épuration des eaux usées dans la STEP de la ville de Mostaganem (salamandre) consiste à un prétraitement (dégrillage, dessablage et déshuilage), un traitement primaire par décantation, des traitements biologiques secondaires par boues activées et un traitement tertiaire par chloration.

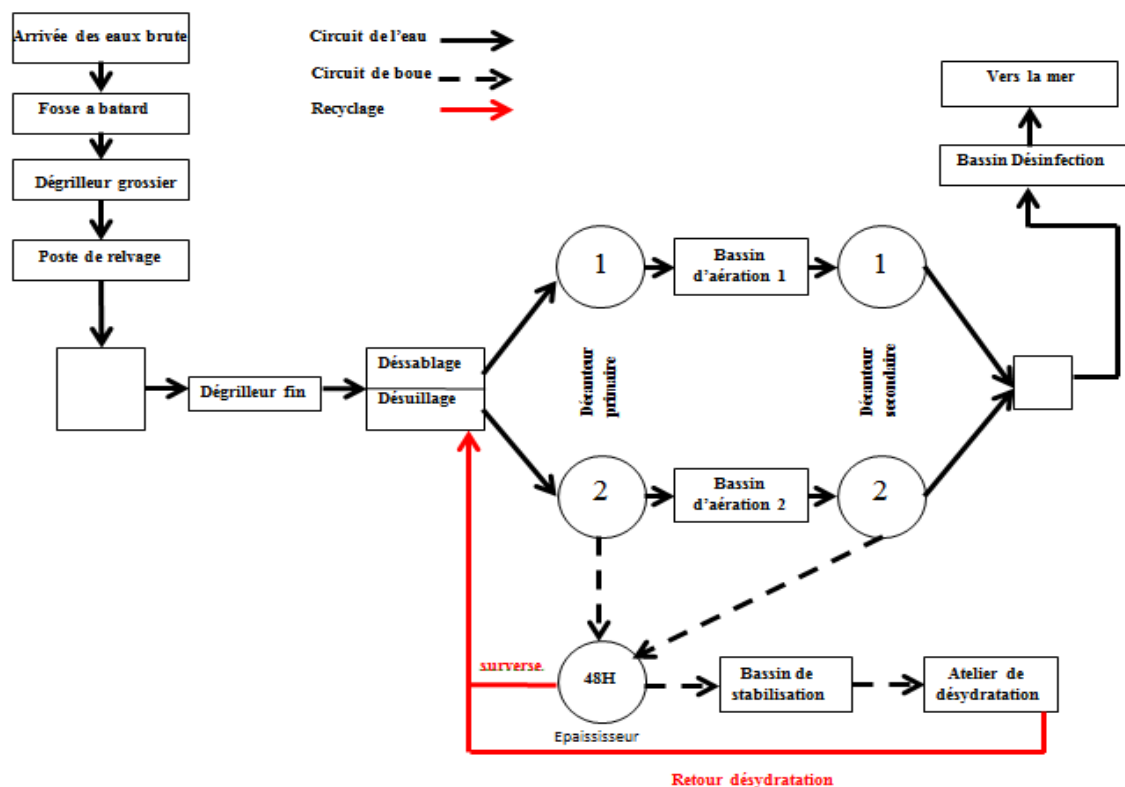


Figure II.2 Chaîne complète d'épuration dans la STEP de Mostaganem

II.4.1 Prétraitement

Les dispositifs de prétraitement sont présents dans toutes les stations d'épuration, quels que soient les procédés mis en œuvre en aval. Le prétraitement comporte une succession d'opérations physiques ou mécaniques destinées à séparer les eaux usées des matières volumineuses, en suspension ou flottantes, qu'elles véhiculent. Ces opérations consistent aux :

II.4.1.1 Déversoir d'orage

Le déversoir d'orage de la station est installé à l'amont de celle –ci qui déverse le surplus du débit admissible dans le by-pass général de la station. La hauteur de la lame de débordement sera adaptée pour accepter une charge de $2334 \text{ m}^3/\text{h}$. L'eau usée à traiter arrive gravitèment à la tête de la première filière du traitement à l'aide d'une conduite de 80 m de diamètre qui s'appelle liaison entre ouvrage.



Figure II.3 Déversoir d'orage

II.4.1.2 Dégrillage

Le dégrillage représente la première étape du prétraitement dans une station d'épuration. Il consiste à retenir et éliminer les déchets solides de grande taille pouvant perturber ou endommager les équipements situés en aval de la station. L'efficacité de cette opération dépend principalement de l'écartement des barreaux de la grille.

Dans le cas du dégrillage grossier, on utilise généralement une grille verticale à barreaux. Les caractéristiques de cette grille sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau II-4 : Caractéristiques techniques de la grille de dégrillage	
Paramètre	valeur
Espacement entre les barreaux	40 mm
Epaisseur des barreaux	10 mm
Largeur de canal d'environ	1,5 m
Angle d'inclinaison	90°
Largeur de grille	1,3 m

La vitesse d'écoulement de l'eau est comprise entre 0,3 et 0,8 m/s dans le canal, tandis qu'à travers la grille propre elle varie entre 0,5 et 1 m/s.

Un dégrillage grossier : L'eau brute passe à travers une première grille qui permet l'élimination des matières de diamètre supérieur à 50mm.



Figure II.4 Dégrilleur grossier

Dégrillage fin : Le dégrillage fin constitue la deuxième étape du prétraitement et permet de retenir les déchets plus petits qui n'ont pas été arrêtés par le dégrillage grossier. Dans cette étape, une grille verticale est utilisée pour améliorer l'élimination des matières solides et protéger les équipements situés en aval. Le dégrillage fin installé fonctionne avec un débit de 5600 m³/h et comporte deux lignes en service. L'espacement entre les barreaux est de 8 mm, avec une

épaisseur de barreaux de 5 mm. La largeur des canaux est de 2 m et la grille est installée avec un angle de 90°. La puissance de fonctionnement de l'équipement est d'environ 1,5 kW.

II.4.1.3 Dessablage

L'opération de dessablage implique l'extraction de gravier, de sable et d'autres particules métalliques dont la taille dépasse 0,2 mm des eaux usées. Afin de prévenir les dépôts dans les canalisations, de protéger les composants mécaniques tels que les pompes contre l'abrasion, et d'éviter toute perturbation des autres phases de traitement, les sables sont habituellement collectés par raclage au fond des bassins.



Figure II.5 Clarificateur de sable

II.4.1.4 Dégraissage-Déshuilage

Le dégraissage-déshuilage est effectué dans le même bassin que l'étape de dessablage, la récupération des graisse et huiles se fait en surface. Son principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage qui permet de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes). Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface [34].

Tableau II-5 : Caractéristiques dimensionnelles du canal de dessablage	
Paramètre	Valeur
Longueur (m)	50
Largeur du canal de dessablage (m)	3
Hauteur d'eau utile (m)	4
Surface (m ²)	150
Volume unitaire total (m ³)	5600
Temps de séjour minimal (min)	6

II.4.2 Traitement primaire

Le traitement primaire consiste en une simple décantation, permettant d'éliminer la majorité des matières en suspension, responsables de la turbidité des eaux usées. L'opération se déroule dans des bassins de décantation dont les dimensions varient selon le type d'installation et le volume d'eau à traiter. De même, le temps de séjour des effluents...

Dans ce bassin, le temps de séjour dépend de la quantité de matières à éliminer ainsi que de la capacité de l'installation à les traiter. À l'issue de cette étape, la décantation permet d'éliminer environ 60 % des matières en suspension, ainsi qu'environ 30 % de la demande biologique en oxygène (DBO) et 30 % de la demande chimique en oxygène (DCO). La réduction de la DBO est principalement liée à l'élimination des matières en suspension, ce qui diminue d'autant la charge organique restante à traiter. Les matières retirées s'accumulent au fond du décanteur sous forme d'un lit de boues appelé « boues primaires » [35].

Tableau II-6 : Caractéristiques des bassins de décantation primaire					
Dimension	Diamètre (m)	Hauteur d'eau utile (m)	Surface (m ²)	Volume unitaire (m ³)	Temps de rétention (h)
Valeur	46	2.6	2490	3267	1.67

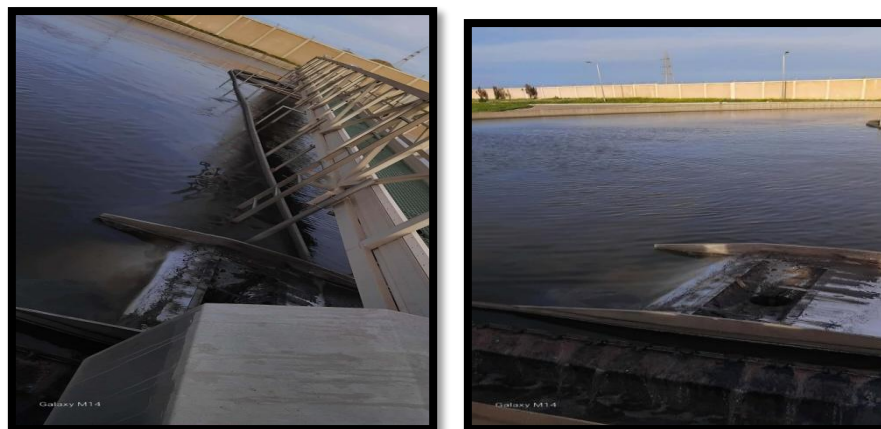


Figure II.6 Décanteur primaire.

II.4.3 Traitement secondaire :

II.4.3.1 Traitement biologique :

La STEP est dotée de deux bassin avec une forme rectangulaire. Chacun d'eux est équipé de six turbines avec 12 aérateurs. L'aération est réalisée à l'aide d'aérateur de surface (tableau II-7). Ce milieu favorable provoque le développement des bactéries qui par action physicochimique retiennent la pollution organique. Au niveau de chaque bassin il existe une sonde de mesure d'oxygène dissous pour assurer le déclenchement automatique de l'aération en cas de défaillance de la concentration de cette dernière [36].

Tableau II-7 : Caractéristiques du bassin d'aération	
Paramètre	Valeur
Nombre d'ouvrage	2
Longueur	51.3 m
Largeur	34.2 m
Hauteur	3.9 m
Volume	13600 m ³
Temps de séjour moyen	4 h
Age des boues	5 jours



Figure II.7 Bassin biologique (bassin d'aération)

II.4.3.2 Clarificateurs

Le bon fonctionnement d'une station d'épuration par boues activées exige de bien séparer l'eau traitée de la masse de boue activée de manière à produire un effluent clarifié conforme aux normes de rejet. Cette séparation solide-liquide peut classiquement être réalisée par sédimentation gravitaire dans un décanteur secondaire ou clarificateur. Le clarificateur est un composant fondamental d'un système à boues activées.

L'eau traitée par le bassin d'aération arrive vers le clarificateur qui a le même principe que le décanteur primaire, ce bassin contient un racleur qui tourne avec une vitesse de 0.04 m/s. L'eau sort par les conduites de trop-plein. Une partie de boues va être recirculée dans le bassin d'aération et le reste vers la section traitement des boues [36].

Tableau II-8 :: caractéristiques du clarificateur	
Paramètre	Valeur
Nombre de décanteurs	02
Diamètre	46.00 m
Hauteur cylindrique	2.82 m
Volume net unitaire	3735 m ³



Figure II.8 Clarificateurs

II.4.4 Traitement tertiaire

La station d'épuration des eaux usées de la wilaya de Mostaganem, unité de Salamandre, ne met pas en œuvre de traitement tertiaire. Après le traitement secondaire, les eaux usées sont directement rejetées à la mer. En ce qui concerne les résidus secondaires, c'est-à-dire les boues, ils subissent un traitement spécifique avant d'être valorisés en agriculture.

II.4.5 Traitement des boues

Les boues sont des résidus d'origine organique ou minérale pouvant se présenter sous différentes formes (solide, liquide ou pâteuse). Leur traitement dépend principalement de leur origine et de leur composition chimique. Dans le cadre des stations d'épuration, les boues proviennent du traitement des eaux usées urbaines et industrielles et sont considérées comme des déchets valorisables. Elles sont constituées majoritairement d'eau, de matières organiques et minérales, ainsi que de micro-organismes. Leur quantité et leurs caractéristiques varient selon la nature des eaux usées et les procédés utilisés. On distingue généralement trois types de boues : les boues primaires, secondaires et digérées, issues des différentes étapes du traitement des eaux usées [37-38]. Le traitement des boues constitue une phase essentielle dans le fonctionnement des stations d'épuration. Il vise à réduire leur volume, à stabiliser leur composition et à faciliter leur gestion finale. Pour cela, plusieurs procédés successifs sont mis en œuvre afin d'optimiser leur traitement et de limiter leur impact sur l'environnement.



Figure II.9 Epaisseur

II.4.5.1 La Stabilisation

Le bassin de stabilisation permet aux boues de subir un processus de stabilisation biologique ; elles y sont retenues pendant une durée déterminée, ce qui réduit la quantité de matières organiques présentes, limite les mauvaises odeurs et améliore leur qualité avant le traitement final. Une fois la stabilisation terminée, les boues sont dirigées vers l'unité de déshydratation où l'eau restante est extraite afin de faciliter leur réutilisation ou leur élimination [39].



Figure II.10 Bassin de stabilisation

II.4.5.2 La Déshydratation

La déshydratation consiste à éliminer une partie de l'eau contenue dans les boues afin de réduire leur volume. Pour cela, les boues sont déposées sur un support filtrant qui permet l'écoulement de l'eau et favorise ainsi l'épaississement rapide de la boue.

Le système de table d'égouttage permet d'augmenter la concentration des boues, qui peut passer d'environ 10 g/L à 100 g/L, tout en améliorant la siccité finale d'environ 8 %. Avant cette étape, les boues doivent généralement être floculées afin de faciliter la séparation de l'eau et des particules solides. Pour cela, on ajoute souvent des polymères qui favorisent la formation de flocs. Ce procédé est apprécié pour sa simplicité de fonctionnement, ce qui permet d'assurer une bonne durabilité des équipements tout en limitant les besoins en maintenance [39].



Figure II.11 Section de déshydratation



Figure II.12 Stockage de boues déshydratées

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents procédés de traitement des eaux usées, en prenant comme exemple la station d'épuration de Salamandre à Mostaganem. Nous avons commencé par décrire le système d'épuration de la ville, puis la STEP de Salamandre, en détaillant sa situation géographique, son rôle et ses objectifs, ainsi que son principe de fonctionnement et ses caractéristiques techniques. Nous avons également précisé le point de rejet des eaux traitées et leur destination.

Ensuite, nous avons expliqué les étapes d'épuration des eaux usées :

- Le prétraitement, qui protège les équipements en retirant les gros déchets, le sable et les graisses.
- Le traitement primaire, où les matières lourdes se déposent pour former les boues primaires.
- Le traitement secondaire, basé sur les boues activées, qui dégrade la matière organique et sépare l'eau des boues biologiques.

Le traitement tertiaire aide à rendre l'eau encore plus propre, pour qu'on puisse soit la rejeter dans la nature sans problème, soit la réutiliser pour différents usages. Ensuite, le traitement des boues permet de les stabiliser, d'enlever une partie de l'eau pour réduire leur volume, et de les préparer pour être réutilisées, par exemple dans l'agriculture, ou pour être éliminées correctement.

En résumé, ce chapitre montre que la station Salamandre joue un rôle très important pour protéger l'environnement et la santé des gens. Chaque étape du traitement compte pour que l'eau soit bien propre et que les boues puissent être utilisées ou éliminées de façon sûre et utile [40].

Chapitre III

Evaluation des performances de la station

III.1 Introduction

Le stage s'est déroulé du 1^{er} au 5 février 2026 au sein du laboratoire d'analyses de la station d'épuration des eaux usées située à Mostaganem (Sablette). Il avait pour objectif d'évaluer la performance de cette station à travers l'analyse des caractéristiques physico-chimiques d'échantillons d'eau brute et d'eau traitée (homogénéisée), prélevés avant et après traitement de trois sources à savoir la ville de Mostaganem et ses environs Ben Yahi et Fornaka , Afin d'en déterminer les différentes caractéristiques physico-chimiques, nous avons également pour mission de vérifier le bon fonctionnement de la station et de contrôler la qualité de l'eau en sortie de chaque unité de traitement.

III.2 Propriétés Organoleptiques

III.2.1 Couleur

Le changement de couleur de l'eau peut être un premier indicateur de sa qualité.

III.2.1.1 Protocole

On a pris une bouteille d'un litre d'eau brute au niveau du poste de relevage et une autre bouteille d'un litre d'eau épurée au niveau du bassin de désinfection.



Figure III.1 Matière décantable

III.2.1.2 Résultats

On a remarqué que l'eau brute a une couleur jaunâtre ce qui peut être dû à la présence de matières organiques dissoutes ou de certains polluants. Par contre, l'eau épurée est claire et transparente, ce qui montre qu'elle est bien traitée et qu'elle ne contient pas de pollution visible.

III.2.2 Odeur

Une odeur inhabituelle dans l'eau peut être un signe de pollution ou de contamination.

III.2.2.1 Protocole

On a prélevé un litre d'eau brute au niveau de la station de pompage et un autre litre d'eau traitée au niveau du réservoir d'épuration.

III.2.2.2 Résultats

On a remarqué que l'eau traitée est sans odeur, alors que l'eau brute dégage une odeur désagréable. Cela peut être dû à la présence de bactéries, de matières organiques en décomposition ou de certains produits chimiques.

III.3 Propriétés physiques

III.3.1 Température

La mesure de la température de l'eau est importante, car elle influence plusieurs paramètres comme la solubilité des sels et des gaz, ainsi que la conductivité électrique.

III.3.1.1 Protocole

La température de l'eau est mesurée à l'aide d'un pH-mètre et aussi d'un conductimètre.

III.3.1.2 Résultats

Nous présentons les résultats des analyses effectuées pendant 5 jours de la même semaine.

Tableau III.1 Valeurs des températures en (°C) de l'échantillon de la ville de Mostaganem					
Les jours	1^{er}	2^{ème}	3^{ème}	4^{ème}	5^{ème}
EB	13.7	14.7	14.9	13.2	16.7
EE	15.1	15.4	13.1	14.4	16.6

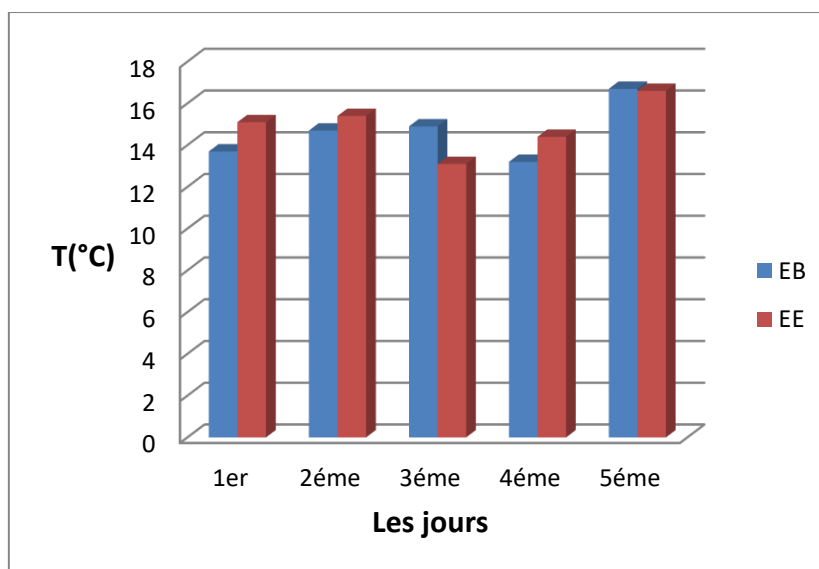


Figure III.2 : Variation temporelle des températures de l'échantillon de la ville de Mostaganem entre l'entrée et la sortie.

Les valeurs de température enregistrées varient entre 13.2 et 16.7 °C à l'entrée et entre 13.1 et 16.6 °C à la sortie. Ces températures restent largement inférieures à la limite maximale autorisée pour les rejets des eaux usées urbaines, fixée à environ 30 °C par les normes algériennes et internationales.

Tableau III.2 Valeurs des températures en (°C) des échantillons de Fornaka et Beni Yahi		
Les stepes	Fornaka	Beni yahi
EB	20.4	17.9
EE	20.9	18.2

À la station de Fornaka, les valeurs enregistrées sont de 20.4 pour EB et 20.9 pour EE, tandis qu'à la station de Beni Yahi, elles sont légèrement plus faibles avec 17.9 pour EB et 18.2 pour EE. Cette légère différence indique que les eaux de la station de Fornaka présentent une concentration un peu plus élevée par rapport à celles de Beni Yahi, aussi bien à l'entrée qu'à la sortie. Cependant, les écarts restent faibles, ce qui montre une certaine similitude entre les deux stations.

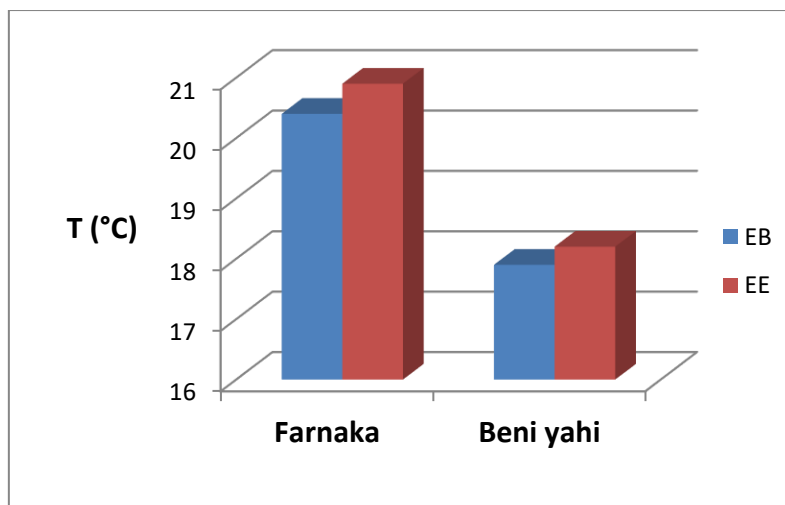


Figure III.6 Variation temporelle des températures des échantillons de Fornaka et Beni Yahi entre l'entrée et la sortie.

III.3.2 Matières en suspension (MES)

III.3.2.1 Filtration sur filtre en fibres de verre

III.3.2.1.1 Appareillage

- Balance de précision électronique (STATORIUS CP.224S.OCE).
- Filtre sous vide (BUCHNER).
- Etuve (MEMMERT).

III.3.2.1.2 Mode Opérateur

Préparation des filtres :

- Laver les filtres par de l'eau distillée.
- Séchage des filtres à 105°C pendant au moins 01 heure.
- Laisser refroidir dans le dessiccateur.
- Peser.

Filtration de l'échantillon

- Placer le filtre (la partie lisse en bas) sur le support de filtration.
- Agiter le flacon d'échantillon.
- Verser un volume convenable d'échantillon dans l'éprouvette graduée.
- Filtrer l'échantillon.

- Rincer les parois internes de l'éprouvette graduée avec de l'eau distillée.
- Libérer le dispositif sous vide lorsque le papier filtre est pratiquement sec.
- Retirer avec précaution le papier filtre à l'aide de pinces à extrémités plate.
- Placer le filtre sur un support de séchage (capsules).
- Sécher le filtre dans l'étuve à 105°C pendant 02 heures.
- Peser.
- Reporter la capsule à l'étuve puis dans le dessiccateur et peser.
- Renouveler ces opérations jusqu'à l'obtention d'un poids constant (la différence entre 02 pesés consécutive ne diffère pas plus de 0,5 mg).

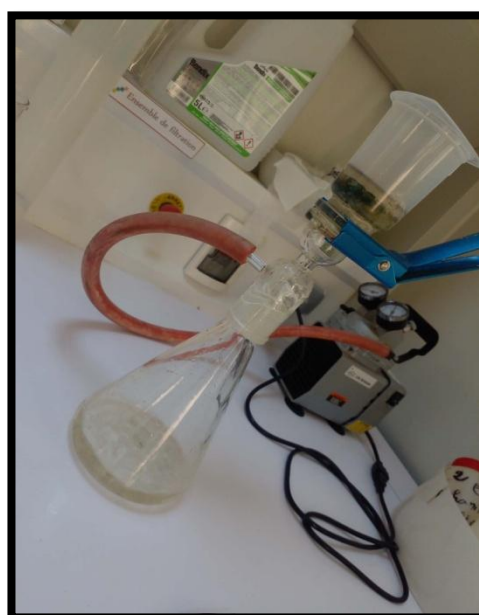


Figure III.4 Filtration sous vide.

III.3.2.1.3 Expression des résultats

Le calcul de la teneur en MES se fait selon l'expression suivante :

$$[MES] = 1000 \frac{(M_1 - M_0)}{V}$$

[MES] : La teneur en MES en mg/l

M_1 : La masse de la capsule contenant l'échantillon après étuvage à 105°C

M_0 : La masse de la capsule vide (en mg)

V : Volume de la prise d'essai

III.3.2.2 Centrifugation de l'échantillon

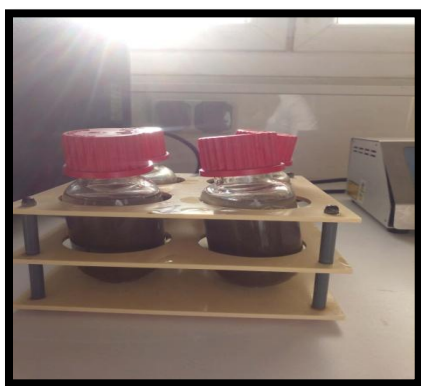
III.3.2.2.1 Appareillage

- Balance de précision électronique (STATORIUS CP 224S.OCE)
- Centrifugeuse (ALG)
- Etuve (MEMMERT)

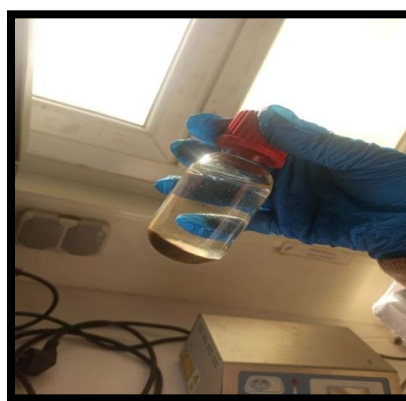
III.3.2.2.2 Mode opératoire

Centrifugation de l'échantillon

- Attendre que les échantillons soient à température ambiante.
- Homogénéiser le contenu du flacon par agitation.
- Introduire la totalité de l'échantillon dans le pot de la centrifugeuse (volume 200 ml)
- Centrifuger 20 minutes environ.
- Eliminer l'eau surnageant, recueillir le culot déposé dans une capsule préalablement séché à 105 °C et pesé.
- Rincer le pot de centrifugation deux fois avec de l'eau distillée et recueillir les eaux d'entraînement dans la capsule.
- Sécher la capsule et son contenu à 105°C.
- Laisser refroidir dans un dessiccateur.
- Peser.
- Renouveler ces opérations jusqu'à l'obtention d'un poids constant (la différence entre 02 pesés consécutives ne diffère pas plus de 0,5mg).



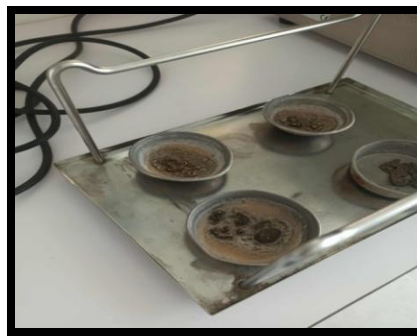
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure III.5 Les étapes de centrifugation **(a)** avant la centrifugation **(b)** après la centrifugation
(c) Avant le séchage **(d)** Après le séchage

III.3.2.2.3 Expression des résultats

Le calcul de la teneur en MES se fait à partir de l'expression suivante :

$$[MES] = 1000 \frac{(M_2 - M_1)}{V_E}$$

[MES] : est la teneur en MES en mg/l.

M₂ : est la masse de la capsule contenant l'échantillon après l'étuvage à 105°C.

M₁ : est la masse de la capsule vide (en mg).

V_E : le volume de l'échantillon introduire dans les pots de la centrifugeuse (en ml).

Résultats : Nous présentons les résultats des analyses réalisées sur une période d'une semaine, portant sur des échantillons de 160 ml d'eau brute, d'eau épurée, des bassins d'aération 1 et 2, ainsi que sur différents types de boues.

Tableau III.3 Valeurs de MES pour le 1^{er} jour (01/02/2026).

Echantillons	Tare	Masse capsule remplie	Masse après séchage a 105 C°	MES(mg/l)
EB	11.4260	160	11.5178	573.75
EE	0.1209	450	0.1230	4.67
BA1	11.0552	160	12.0584	6.27
BA2	11.2957	160	12.2883	6.20
BR	13.4223	160	14.9816	9.75
BD	M ₀ =13.2105	M ₁ =49.9139	M ₂ =18.6533	14.83 %

La loi :

$$[\text{MES}] = 1000 \frac{(M_1 - M_0)}{V}$$

$$[\text{MES}_{EB}] = 1000 \frac{(11.5178 - 11.4260)}{160}$$

$$[\text{MES}_{EB}] = 0.57375 \frac{\text{g}}{\text{L}} = 573.75 \text{ mg/L}$$

Pour La boue déshydratée :

$$\text{Siccité}(\%) = \frac{(M_2 - M_0)}{(M_1 - M_0)} \times 100$$

$$\text{Siccité}(\%) = \frac{(18.6533 - 13.2105)}{(49.939 - 13.205)} \times 100 = 18.83\%$$

Le volume de l'échantillon d'eau épurée (EE) est de 500 ml, tandis que celui des autres échantillons est de 160 ml.

Tableau III.4 Valeurs de MES pour le 2 ^{ème} jour (02/02/2026).		
Echantillons	MES (mg/l)	Siccité %
EB	463.13	
EE	2.6	
BA1	8.71	
BA2	4.74	
BR	8.71	
BD		14.98 %

Tableau III.5 Valeurs de MES pour le 3^{ème} jour (03/02/2026).

Echantillons	MES (mg/l)	Siccité %
EB	500.63	
EE	3	
BA1	6.60	
BA2	6.33	
BR	11.31	
BD		14.63 %

Tableau III.6 Valeurs de MES pour le 4^{ème} jour (04/02/2026).

Echantillons	MES (mg/l)	Siccité %
EB	696.88	
EE	2.4	
BA1	6.90	
BA2	6.65	
BR	10.75	
BD		16.59%

Tableau III.7 Valeurs de MES pour le 5^{ème} jour (05/02/2026).

Echantillons	MES (mg/l)	Siccité %
EB	312.5	
EE	3.2	
BA1	7.03	
BA2	6.71	
BR	6.44	
BD		15.65%

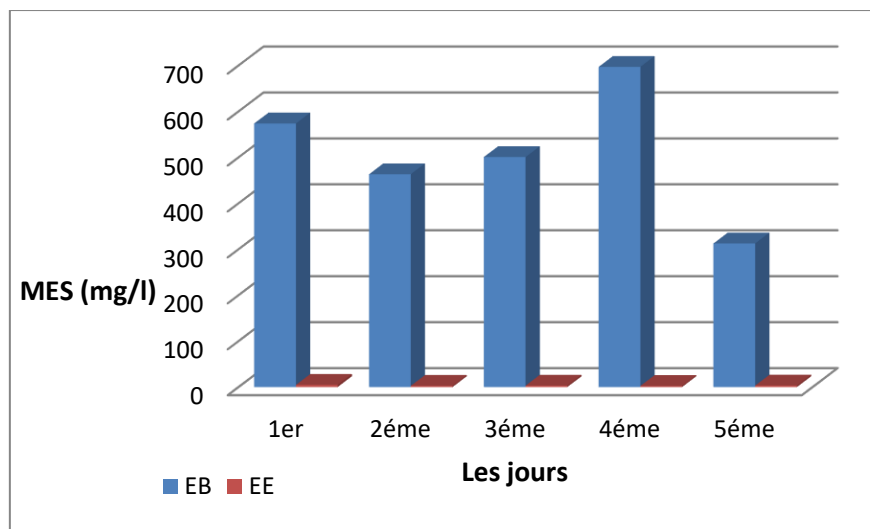


Figure III.6 Variation temporelle de la matière en suspension (MES) de l'échantillon de la ville de Mostaganem entre l'entrée et la sortie.

La Fig III.6 montre que la valeur maximale de (MES) pour les eaux usées d'entrées est 696.88 mg/l et la valeur minimale est 312.5 mg/l et les valeurs des (MES) maximale pour les eaux usées de la sortie est 4.67mg/l et la minimale est 2.4 mg/l. Ces valeurs de qualité des eaux traitées sont inférieures aux normes algériennes (30mg) et normes internationales (20mg).

Le tableau III.8 donne les valeurs des MES des eaux des régions de Fornaka et Ben Yahi

Tableau III.8 Valeurs de MES de Fornaka et Beni Yahi		
MES (mg/l)	Fornaka	Beni Yahi
EB	901.88	327.5
EE	56.8	82.67

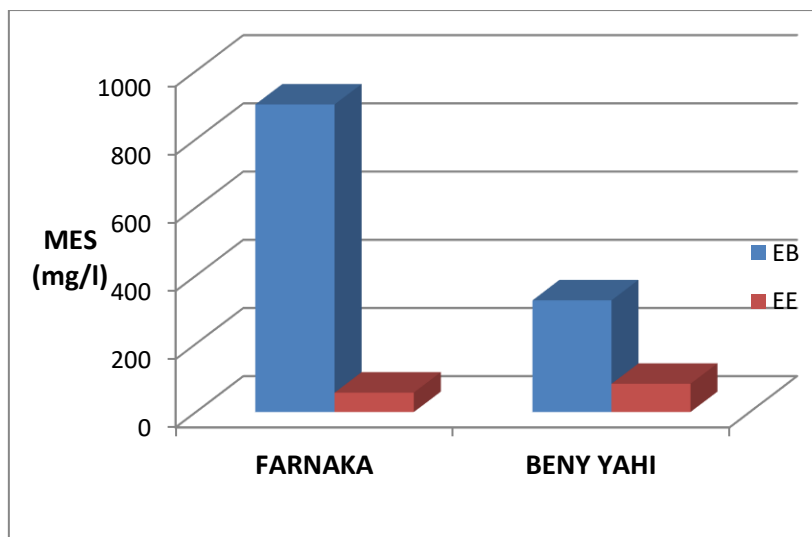


Figure III.7 Variation de la matière en suspension (MES) des échantillons de Fornaka et Beni Yahi entre l'entrée à la sortie.

D'après les résultats obtenus, on remarque que les deux STEP dépassent le seuil réglementaire des 30 mg/l. A Fornaka, malgré un abattement très important (on passe de 901,88 à 56,8 mg/l), la charge initiale est tellement élevée que le traitement reste insuffisant pour atteindre les normes de rejet. Pour Beni Yahi, la situation est plus critique car le rendement est plus faible, avec une sortie à 82,67 mg/l, ce qui est presque trois fois la limite autorisée. En conclusion, aucune des deux stations n'est conforme à la norme de 30 mg/l. Il faudrait revoir le temps de décantation ou vérifier s'il n'y a pas un dysfonctionnement au niveau des bassins pour améliorer ces résultats.

III.4 Propriétés chimiques

III.4.1 Potentiel d'Hydrogène (pH)

III.4.1.1 Appareillage

- pH mètre
- Electrode de verre

III.4.1.2 Mode opératoire

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre pour les échantillons d'eau brute, d'eau décantée, d'eau épurée ainsi que pour les bassins d'aération et le bassin de stabilisation, en respectant les étapes suivantes :

- Allumer le pH mètre

- Rincer l'électrode avec l'eau distillée.
- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec une faible agitation.
- Tremper l'électrode dans le bécher.
- Laisser stabiliser un moment avec une faible agitation, puis noter le pH.

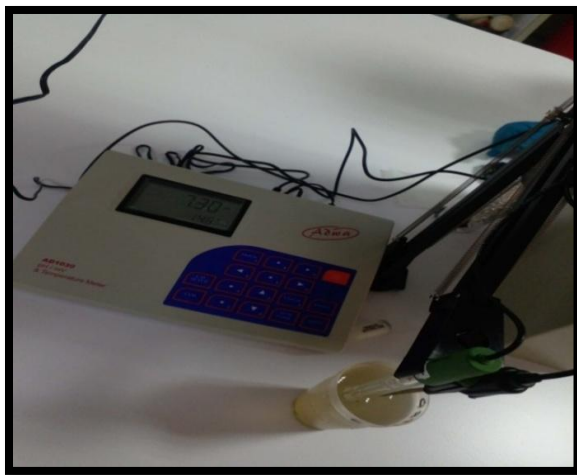


Figure III.8 pH-mètre

III.4.1.3 Résultats

Nous présentons les résultats des analyses effectuées pendant 5 jours de la même semaine.

Tableau III.9 Valeurs de pH des eaux de STEP Salamandres					
Les jours	1^{er}	2^{ème}	3^{ème}	4^{ème}	5^{ème}
EB	7.46	7.38	7.27	7.11	7.03
EE	7.88	7.75	7.84	7.78	7.78
BA1	7.36	7.38	7.19	7.29	7.36
BA2	7.26	7.07	7.22	7.37	7.38

D'après La Figure III.9, la valeur maximale de pH des eaux d'entrées est 7.46 et la valeur minimale est 7.03 et la valeur maximale de pH des eaux de la sortie est 7.88 et la valeur minimale est 7.75, la valeur maximale de pH des eaux bassin d'aération 1 est 7.38 et la valeur minimale

est 7.19 , la valeur maximale de pH des eaux bassin d'aération 2 est 7.38 et la valeur minimale est 7.07

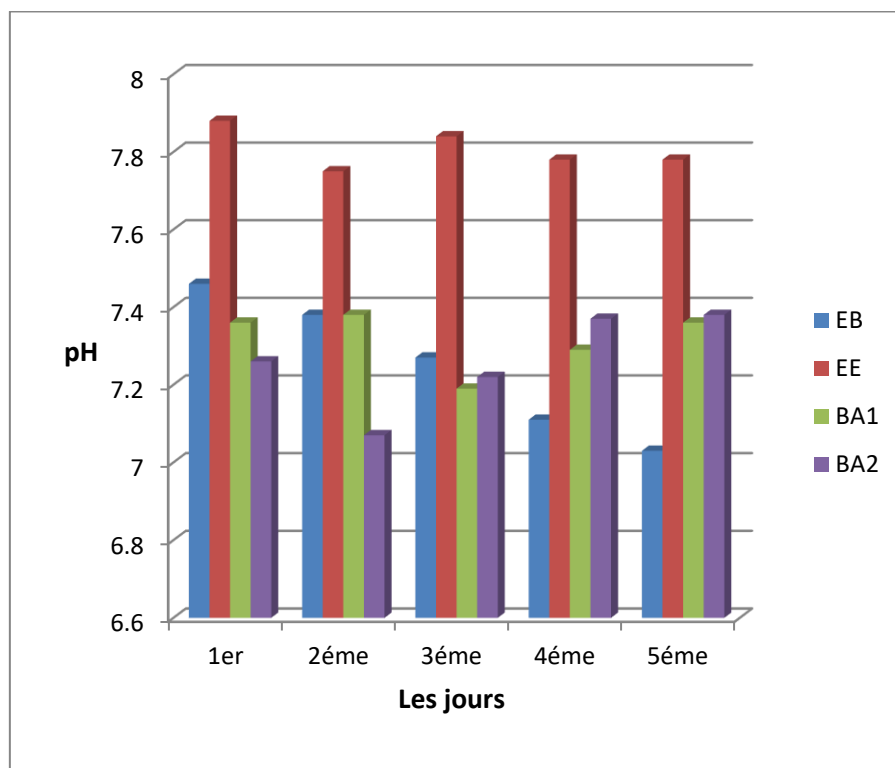


Figure III.9 Variation temporelle des Potentiels d'hydrogènes (pH) de l'échantillon de la ville de Mostaganem.

Le tableau III.10 donne les valeurs des pH des eaux des régions de Fornaka et Ben Yahi

Tableau III.10 Valeurs de pH des eaux de Fornaka et Beni Yahi		
pH	Fornaka	Beni Yahi
EB	7.55	7.52
EE	8.52	8.00

On voit que les eaux brutes des deux stations sont presque neutres avec des valeurs de 7,5. Après traitement, le pH augmente légèrement pour devenir plus basique, surtout à la station de Fornaka où il atteint 8,52. Cette hausse est probablement due à l'aération dans les bassins biologiques.

Dans l'ensemble, les résultats restent acceptables puisqu'ils sont encore dans la plage des normes de rejet (entre 6,5 et 9).

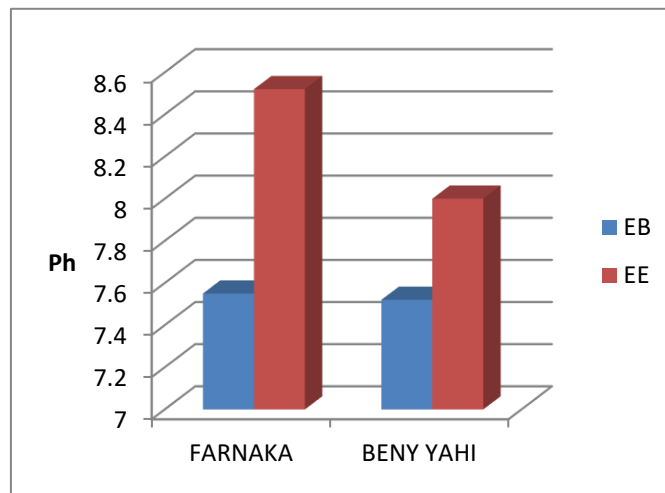


Figure III.10 Variation temporelle des Potentiels d'hydrogènes (pH) des échantillons d'eaux des stations de Fornaka et Beni Yahy

III.4.2 Oxygène dissous

L'oxygène dissous constitue un indicateur biogéochimique fondamental pour évaluer la cinétique de dégradation de la matière organique en milieu aquatique.

III.4.2.1 Protocole opératoire

1. Préparation de l'oxymètre

- **Vérification technique** : Contrôler l'ensemble des connectiques (alimentation secteur, branchement des électrodes, etc.).
- **Manipulation du capteur** : Retirer délicatement l'électrode de son support de maintien.
- **Protection** : Ôter le capuchon de protection de la double électrode et le conserver en lieu sûr pour éviter tout endommagement.

2. Procédure d'étalonnage

- **Échantillonnage** : Prélever un volume représentatif d'eau à analyser.
- **Mise en service** : Allumer l'appareil et respecter un temps de préchauffage de 2 à 5 minutes pour stabiliser les composants électroniques.
- **Mesure et stabilisation** : Immerger l'électrode dans l'échantillon. Attendre la stabilisation complète de l'affichage avant de consigner la valeur finale.



Figure III.11 L'oxymètre.

III 4.2.2 Résultats

Nous présentons les résultats des analyses effectués pendant 5 jours de la même semaine.

Tableau III.11 Valeurs de l'oxygène dissous en mg/l					
Les jours	1^{er}	2^{ème}	3^{ème}	4^{ème}	5^{ème}
EB	1.41	1.09	1.98	1.69	1.34
EE	7.12	5.39	5.59	5.30	5.76
BA1	1.39	1.38	1.57	1.22	1.53
BA2	1.53	1.02	1.15	1.17	1.44

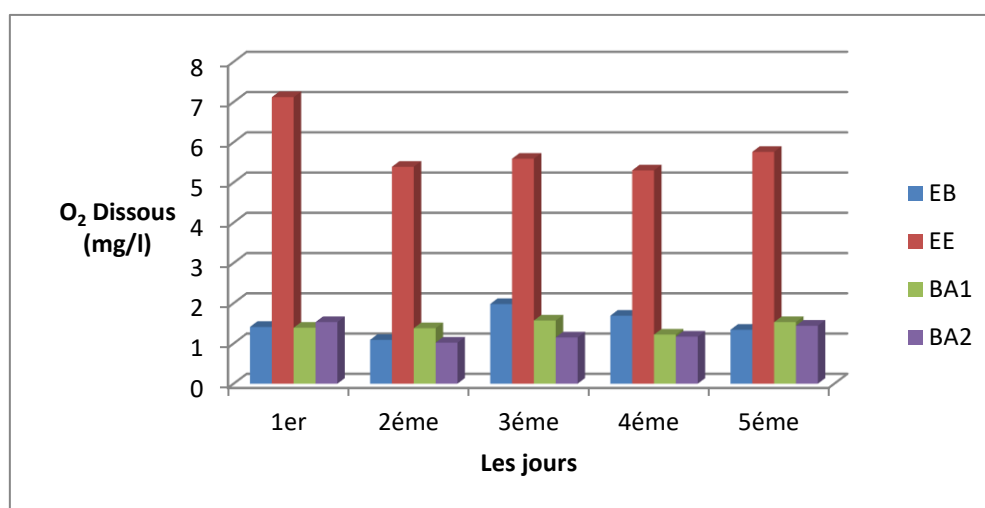


Figure III.11 Variation temporelle des oxygène dissous (O₂) de l'échantillon de la ville de Mostaganem.

L'analyse des résultats montre qu'il y a une grande différence entre l'échantillon EE et les autres points (EB, BA1, BA2). On remarque que l'échantillon EE s'en sort plutôt bien avec une moyenne de 5,83 mg/L, ce qui est suffisant pour maintenir une vie aquatique saine. Par contre, pour les points EB, BA1 et BA2, c'est beaucoup plus critique : les valeurs descendent souvent en dessous de 1,5 mg/L. On est clairement face à un manque d'oxygène sévère (hypoxie), ce qui montre que le milieu est très chargé ou pollué. Cette faible quantité d'oxygène s'explique par une forte dégradation de la matière organique par les micro-organismes. Cela confirme donc la présence d'une pollution organique importante et un milieu très réducteur dans ces trois points

Tableau III.12 Valeurs de l'oxygène dissous en mg/l des eaux de Fornaka et Beni Yahi

	Fornaka	Beni Yahi
EB	1.30	1.25
EE	10.17	1.14

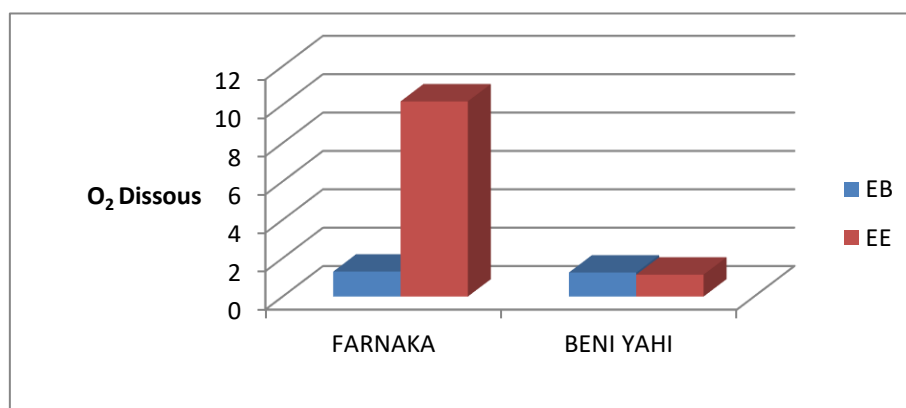


Figure III.12 Variation temporelle des oxygène dissous (O₂) des échantillons d'eaux des stations de Fornaka et Beni Yahi

On constate une différence frappante entre les deux stations. À l'entrée (EB), les teneurs de l'oxygène dissous sont très faibles (environ 1,3 mg/l), ce qui est normal pour des eaux usées. Par contre, à la sortie (EE), l'échantillon de la station de Fornaka affiche une excellente oxygénation avec 10,17 mg/L, ce qui prouve que le système d'aération fonctionne très bien. À l'inverse, pour l'échantillon de la station de Beni Yahi, le taux chute à 1,14 mg/L à la sortie ; c'est un résultat très mauvais qui montre un manque d'oxygène flagrant dans les bassins, ce qui peut nuire gravement à la faune aquatique après le rejet.

III.4.3 Conductivité électrique

III.4.3.1 Appareillage :

- Conductimètre
- Electrode de verre

III.4.3.2 Mode opératoire

Etalonnage de l'appareil

- Allumer le Conductimètre.
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée.
- Prendre dans un petit bécher, la solution standard de KCl.
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage de la constante de la cellule.



Figure III.13 Conductimètre.

III.4.3.3 Méthode de mesure

- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser.
- Tremper l'électrode dans le bécher.
- Laisser stabiliser un moment, puis noter la valeur de la conductivité affichée.

Expression des résultats : Le résultat est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou bien en mS/cm

III.4.3.4 Résultats

Nous présentons les résultats des analyses effectués pendant 5 jours de la même semaine.

Tableau III.13 Valeurs de la conductivité électrique en $\mu\text{s}/\text{cm}$					
Les jours	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}
EB	1546	1913	2220	2240	1997
EE	1770	1514	1758	1836	1861

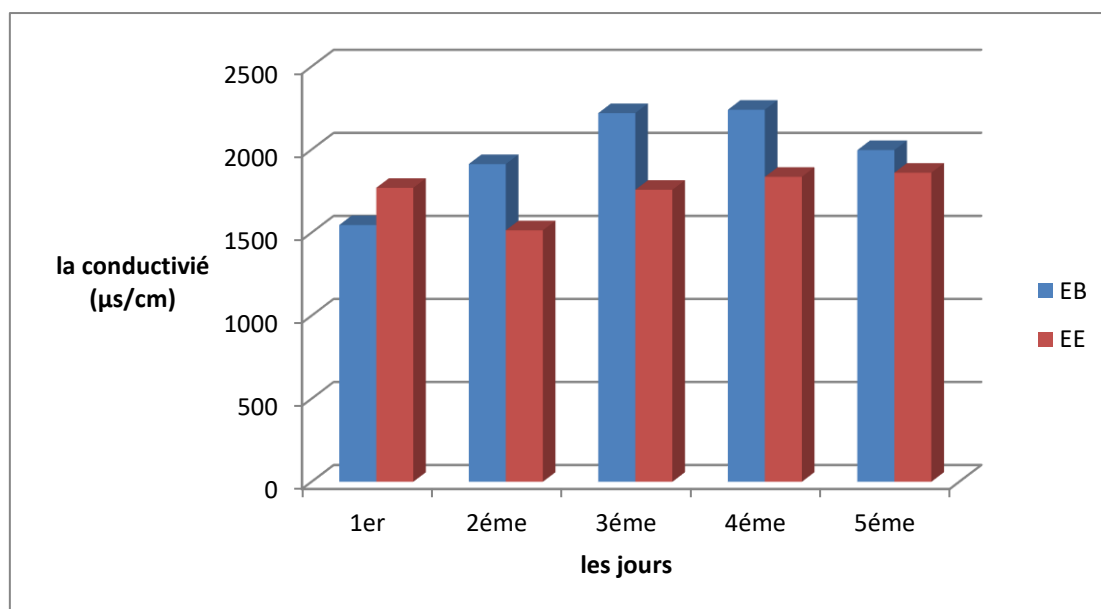


Figure III.14 Variation des teneurs de la conductivité électrique des eaux d'entrée et de la sortie de l'échantillon de la ville de Mostaganem.

L'examen des mesures de conductivité montre que les deux échantillons présentent une minéralisation très marquée, avec des valeurs dépassant systématiquement les $1500\mu\text{s}/\text{cm}$. On remarque toutefois que le point EB est le plus chargé, atteignant un pic de $2240\mu\text{s}/\text{cm}$ au quatrième jour, ce qui traduit une forte concentration en sels dissous et une variabilité plus nette du milieu. À l'inverse, l'échantillon EE affiche des résultats légèrement plus bas et plus stables, avec une moyenne de $1748\mu\text{s}/\text{cm}$. En gros, ces valeurs de conductivité sont vraiment hautes, surtout pour EB. Ça nous montre que l'eau est très chargée en sels et en minéraux, ce qui peut être le signe d'une pollution ou d'une forte charge chimique. Forcément, ça dégrade la qualité de l'eau en la rendant beaucoup trop saline.

Tableau III.14 Valeurs de la conductivité électrique en $\mu\text{s}/\text{cm}$ de Fornaka et Beni Yah		
	Fornaka	Beni Yah
EB	2890	2420
EE	2620	2070

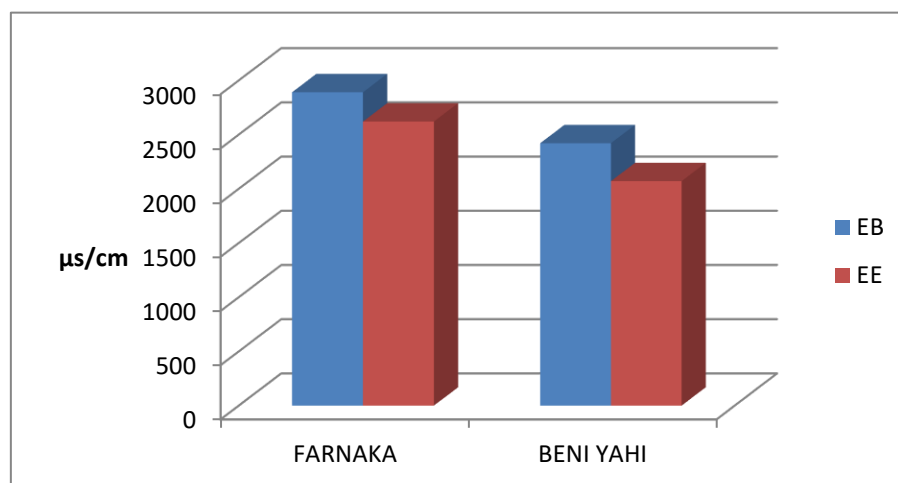


Figure III.15 Variation des teneurs de la conductivité électrique des eaux d'entrée et de la sortie des échantillons des stations de Fornaka et Beni Yah .

Les valeurs de conductivité montrent que les eaux sont fortement minéralisées, dépassant les 2000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour les deux stations. On remarque une légère baisse entre l'entrée (EB) et la sortie (EE), mais elle reste faible, ce qui est normal puisque les procédés de traitement biologique classiques n'éliminent pas les sels dissous. Avec des valeurs à la sortie à 2620 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour Fornaka et 2070 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour Beni Yah, ces eaux présentent un risque de salinité élevé si elles sont destinées à l'irrigation, même si elles restent stables durant le processus.

III.4.4 Demande chimique en oxygène (DCO)

III.4.4.1 Définition et Principe

La DCO représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques et minérales réductrices contenues dans un échantillon d'eau.

- **Objectif** : Evaluer la charge polluante (matières oxydables).
- **Efficacité** : Dans les conditions d'analyse, **95 à 97%** des composés organiques sont oxydés.

- **Limites** : Certains composés, comme certains hydrocarbures, ne sont pas totalement oxydés.

III.4.4.2 Réactifs et rôles chimiques

Pour réaliser cette oxydation forcée, plusieurs substances sont utilisées dans un milieu spécifique :

- **Bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$)** : L'oxydant puissant (utilisé en excès).
- **Acide sulfurique (H_2SO_4)** : Crée le milieu acide nécessaire à la réaction.
- **Sulfate d'argent (Ag_2SO_4)** : Agit comme **catalyseur** pour faciliter l'oxydation des composés aliphatiques.
- **Sulfate de mercure ($HgSO_4$)** : Agent **complexant** qui neutralise les chlorures pour éviter qu'ils ne faussent le résultat en s'oxydant en chlore gazeux (Cl_2).

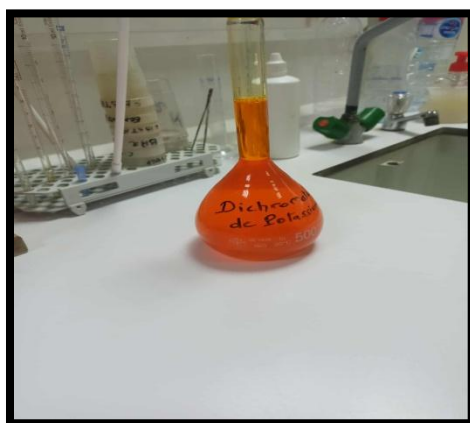


Figure III.16 Bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$)

III.4.4.3 Procédure expérimentale (Phase de digestion)

Cette étape consiste à minéraliser l'échantillon par la chaleur :

1. **Préparation du mélange** : * 10 ml d'échantillon.
 - 5 ml de solution de bichromate de potassium.
 - 15 ml d'acide sulfurique + sulfate d'argent.
 - Ajout de régulateurs d'ébullition (billes de verre).

2. **Minéralisation** : Chauffage à reflux à **150 °C** pendant **2 heures** dans un minéralisateur. Le réfrigérant permet de récupérer les vapeurs.
3. **Refroidissement et Dilution** : Après la réaction, le volume est complété à **100 ml** avec de l'eau distillée.

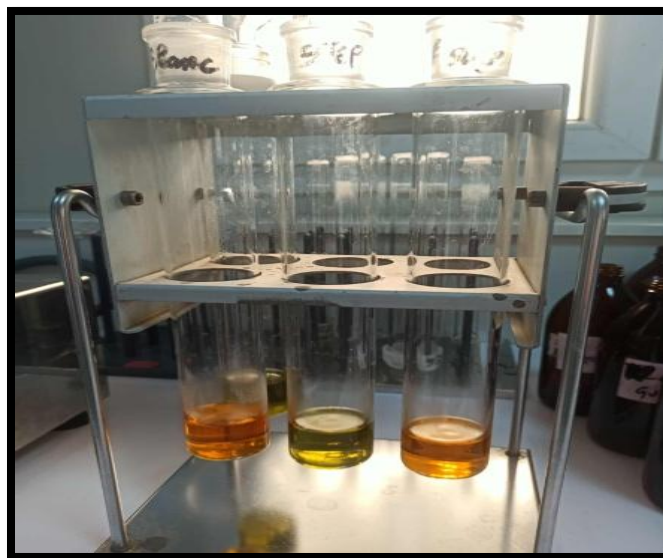


Figure III.17 Les échantillons dans un minéralisateur

III.4.4.4 Dosage et titrage

Une fois l'oxydation terminée, on dose l'excès de bichromate restant pour déduire la quantité consommée par la pollution.

- **Solution titrante** : Sulfate de fer (II) et d'ammonium (SFA).
- **Indicateur coloré** : La féroïne.
- **Point d'équivalence** : Changement de couleur vers le rouge-brun.
- **Le "Blanc"** : Une mesure identique est effectuée sur de l'eau distillée pour corriger les erreurs dues aux réactifs ou aux manipulations.



Figure III.18 Sulfate de fer (II) et d'ammonium

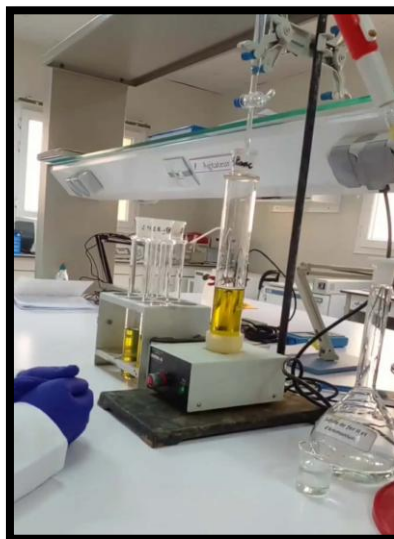


Figure III.19 Titration d'échantillons avec sel de mohr

III.4.4 .5 Expression des résultats

La demande chimique en oxygène, exprimée en mg d'O₂ /L est donnée par la formule :

$$DCO = 8000 \times T(V_{Blanc} - V_{Ech})/P_{Essai}$$

- **8000** : La masse molaire, en milligramme par litre de 1/2 O₂.
- **T** : La concentration en qualité de matière, exprimée en mol/L, de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium, calculée par la formule suivante :

$$T = \frac{10 \times 0.04 \times 6}{V} = \frac{2.4}{V}$$

V : Volume utilisé pour le titrage (ex: 20 ml).

III.4.5.2 Résultats

Tableau III.15 Valeurs de la DCO en mg/l					
Les jours	1^{er}	2^{ème}	3^{ème}	4^{ème}	5^{ème}
EB	961.12	508.8	532.8	777.6	585.6
EE	48	38.4	19.2	38.4	24

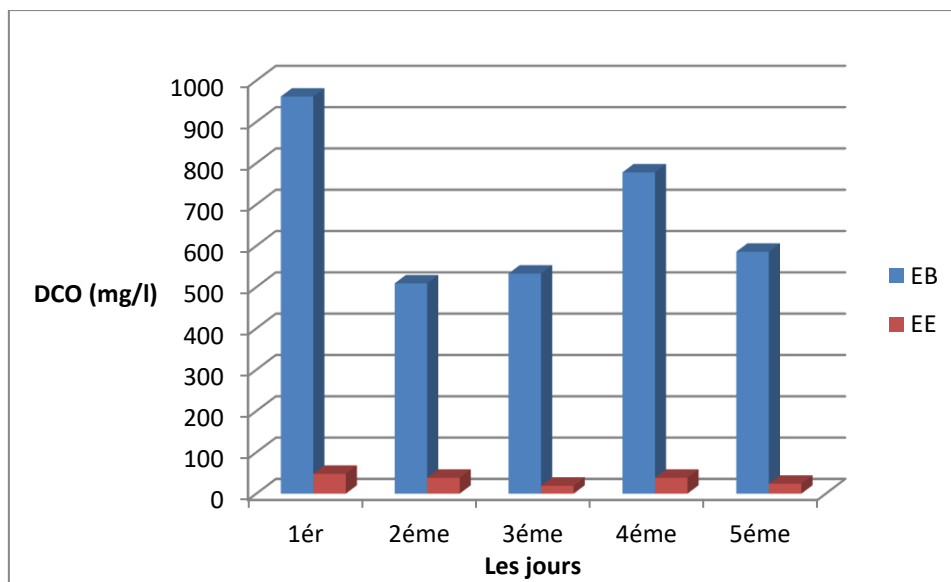


Figure III.20 Variation temporelle de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux de la station d'épuration entre l'entrée et la sortie d'échantillon de la ville de Mostaganem.

D'après les résultats du tableau, on remarque que la **DCO** des eaux brutes (EB) change d'un jour à l'autre, avec un pic de **777,6 mg/l**, ce qui est tout à fait normal pour des eaux usées chargées en matière organique. Par contre, les résultats des eaux épurées (EE) sont excellents : toutes les valeurs sont très basses, la plus haute ne dépassant pas **48 mg/l**. Cela veut dire que la station fonctionne très bien et qu'elle respecte largement les **normes algériennes (90 mg/l)**. On peut donc dire que le traitement est efficace et que l'eau rejetée ne présente aucun danger pour l'environnement.

Tableau III.16 Valeurs de la DCO en mg/l de Fornaka et Beni Yah		
	Fornaka	Beni Yah
EB	470.4	374.4
EE	153.6	288

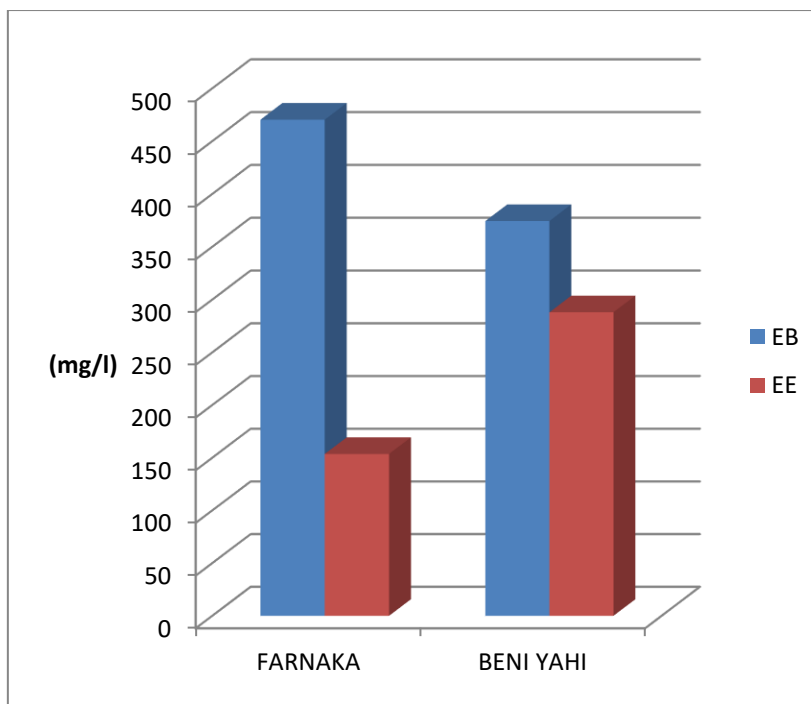


Figure III.21 Variation temporelle de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux de la Station de Fornaka et Beni Yah entre l'entrée et la sortie.

Concernant la DCO, les deux stations dépassent la norme fixée à 90 mg/L. À Fornaka, une diminution est observée, mais la valeur reste élevée avec 153,6 mg/L. La situation est encore plus critique à Beni Yah, où la DCO en sortie atteint 288 mg/L, indiquant une très faible élimination de la pollution organique. En résumé, le traitement appliqué dans les deux STEP demeure insuffisant pour réduire efficacement la DCO, et les rejets restent non conformes aux normes.

III.4.5 Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

III.4.5.1 Mode opératoire

Prise d'essai : Elle dépend de la charge de l'échantillon, celle-ci dépend de l'origine de l'échantillon (industrielle ou urbain), de la couleur, de l'odeur et de la charge en matière en suspension.

Sélection du volume d'échantillon :

- Estimer la valeur de DBO₅ (80% de la valeur DCO).

- Vérifier la plage de mesure correspondante dans le tableau ci-dessous et calculer les valeurs correctes pour le volume de l'échantillon et le facteur

Les résultats sont déterminés par l'expression suivante : $DCO \times 0.8 = DBO_5$

Tableau III.17 Valeur de DBO_5					
Les jours	1^{er} (EE)	2^{ème} (EE)	3^{ème} (EE)	4^{ème} (EE)	5^{ème} (EE)
DCO	48	38.4	19.2	38.4	24
DBO_5(mg/l)	38.4	30.72	15.36	30.72	19.2

Le choix de volume de prise est basé sur les critères mentionnés sur le tableau III.18

Tableau III.18 Facteur de conversion de la DBO_5 en fonction du volume de prise		
Volume de l'échantillon (ml)	Plage de mesure (mg/l)	facteur
432	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10
97	0-800	20
43.5	0-2000	50
22.7	0-4000	100

Étant donné que la méthode couvre une plage de mesure très étendue (> 2000 mg/L), une pré-dilution de l'échantillon est recommandée afin d'éviter l'obtention de résultats peu précis ou difficilement exploitables. En effet, l'utilisation d'une plage de mesure trop large peut réduire la fiabilité des valeurs obtenues.

Les concentrations de DBO_5 déterminées précédemment (38,4 ; 30,72 ; 15,36 ; 30,72 ; 19,2 mg/L) étant toutes inférieures à 40 mg/L, le choix s'est porté sur un volume de prise d'essai de 432 mL avec un facteur de conversion égal à 1, conformément au Tableau III.18. Ce choix permet d'obtenir des mesures adaptées à la faible concentration des échantillons analysés. La masse d'inhibiteur de nitrification correspondante est de 0,23 g.

Tableau III.19 Pesées d'inhibiteur de nitrification par rapport aux volumes de la DBO ₅	
Volume de DBO₅	Pesé inhibiteur de nitrification (gr)
432	0.23
365	0.19
250	0.13
164	0.087
97	0.05
43.5	0.023

Mesure :

- Rincer le flacon avec de l'échantillon.
- Mesurer exactement la quantité souhaitée d'échantillon saturé en oxygène (homogénéiser avec précaution).
- Mettre le barreau magnétique dans le flacon.
- Insérer le godet caoutchouc dans le goulot du flacon.
- Mettre 02 pastilles de soude dans le godet caoutchouc à l'aide d'une pince.
- Visser l'Oxi Top directement sur le flacon échantillon (de manière étanche).



Figure III.22 Les bouteilles avec Oxitop

Lancer la mesure :

- Appuyer sur **S** et **M** simultanément jusqu'à ce que l'afficheur indique **00**.
- Afficheur : les valeurs mémorisées sont effacées
- Maintenir le flacon de mesure avec l'Oxi top à 20°C pendant 05 jours (par ex. dans un incubateur).
- L'échantillon est agité en continu pendant 05 jours. L'Oxi top mémorise automatiquement une valeur toutes les 24h sur 05 jours. Pour connaître la valeur courante, appuyer sur la touche **M**.
- Lecture des valeurs mémorisées à la fin des 05 jours.



Figure III.23 Incubateur à DBO

III.4.5.2 Résultats

Les analyses de DBO₅ se font deux fois par semaine sur des échantillons de EB et EE, ils sont exprimés en mg/l et calculés en appliquant l'expression suivante :

$$\text{La valeur de DBO}_5 \text{ du 5}^{\text{ème}} \text{ jour} \times \text{facteur} = \text{DBO}_5$$

Tableau III.20 Valeurs de la DBO ₅ en mg/l de la STEP salamandre		
Les jours	1^{er}	3^{ème}
EB	360	280
EE	6	5

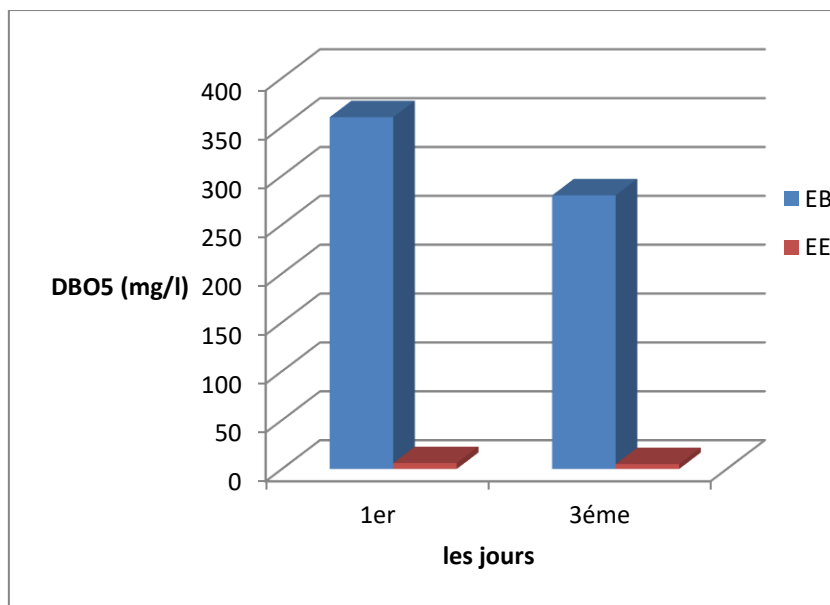


Figure III.24 Variation temporelle de la demande biochimique en oxygène (DBO₅) des eaux de la station d'épuration de entre l'entrée et la sortie d'échantillon de la ville de Mostaganem.

L'analyse des valeurs de la DBO₅ met clairement en évidence la bonne performance de la station d'épuration. À l'entrée (EB), les eaux présentent une forte charge en matière organique, avec une concentration moyenne de 320 mg/L, ce qui est caractéristique des eaux usées brutes. En revanche, à la sortie (EE), les valeurs chutent à environ 5 à 6 mg/L, traduisant une élimination très efficace de la pollution organique biodégradable. Ces concentrations sont largement inférieures à la limite de 30 mg/L imposée par les normes algériennes, ce qui confirme l'efficacité du système de traitement ainsi que la conformité des eaux rejetées.

Tableau III.21 Valeurs de la DBO ₅ en mg/l de Fornaka et Ben yahi		
DBO₅ (mg/l)	Fornaka	Beni yahi
EB	160	220
EE	30	110

Pour la **DBO₅**, on voit que seule la station de **Fornaka** arrive à atteindre la norme de **30 mg/l**, avec un bon rendement d'élimination de la pollution biodégradable. Par contre, pour **Beni Yahi**, c'est un échec total car la sortie reste très élevée à **110 mg/l**, ce qui dépasse largement le seuil

autorisé. Ça montre que le traitement biologique à Beni Yahia ne fonctionne pas correctement et que l'eau rejetée va consommer trop d'oxygène dans le milieu naturel.

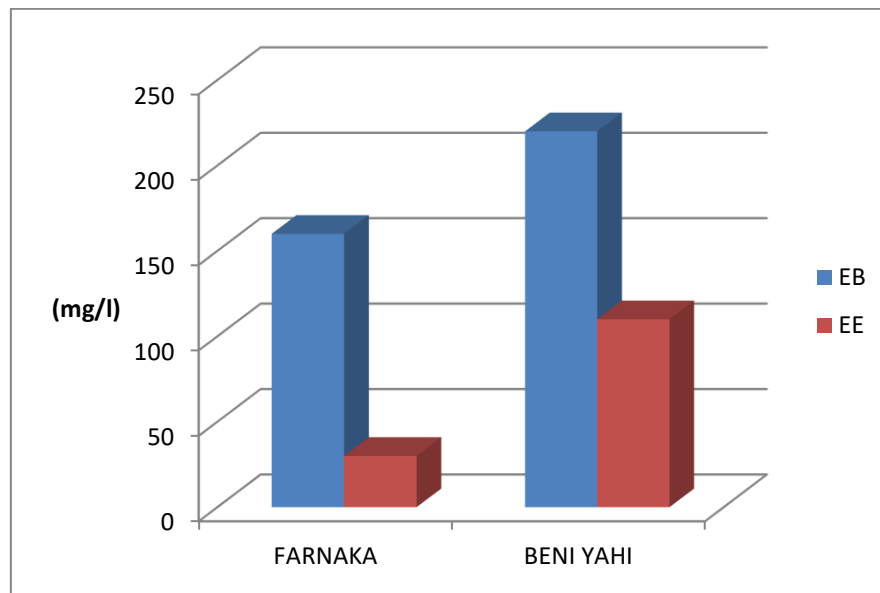


Figure III.25 Variation temporelle de la demande biochimique en oxygène (DBO₅) des eaux de la station de Fornaka et Beni Yahia entre l'entrée et la sortie

III.4.6 V30

L'évaluation des performances de décantation est basée sur le calcul de l'indice de boue (IB), selon la relation $IB = V30/MS$

Cette analyse, effectuée sur cinq jours, permet de vérifier la stabilité biologique et l'aptitude à la décantation des boues dans les bassins BA1 et BA2.

III.4.6.1 Mode opératoire :

Pour faire cette analyse, on a pris des échantillons des deux bassins (bassin aéré 1 et 2). On a suivi les étapes suivantes :

mettre les échantillons dans des éprouvettes graduées pendant 30 minutes pour que la boue se repose (décantation).

Après les 30 min, on a relevé le volume de la boue qui se trouve en bas de l'éprouvette.

À la fin, on a utilisé les valeurs trouvées pour calculer l'indice de boue.



Figure III.26 avant 30 min



Figure III.27 après 30 min

III.4.6.2 Résultats

Méthode de calcul

IB < 150 Une bonne décantation.

IB ≥ 150 Une mauvaise décantation .

IB = valeur de BA1 /MS BA1

AN de 1^{er} jour :

$$IB_{BA1} = 940 / 9.82338 = 95.69$$

$$IB_{BA2} = 935 / 10.35208 = 90.32$$

Tableau III.22 Valeurs des indices de boue de 1 ^{er} jour			
	Valeur (ml/l)	MS (g/l)	IB (ml/g)
BA1	940	9.82338	95.69
BA2	935	10.35208	90.32

Tableau III.23 Valeurs des indices de boue de 2 ^{ème} jour			
	Valeur (ml/l)	MS (g/l)	IB (ml/g)
BA1	970	10.56069	91.85
BA2	790	8.51017	92.83

Tableau III.24 Valeurs des indices de boue de 3 ^{ème} jour			
	Valeur (ml/l)	MS (g/l)	IB (ml/g)
BA1	940	10.33989	90.91
BA2	930	10.90141	85.31

Tableau III.25 Valeurs des indices de boue de 4 ^{ème} jour			
	Valeur (ml/l)	MS (g/l)	IB (ml/g)
BA1	940	10.80956	86.96
BA2	940	10.41782	90.23

Tableau III.26 Valeurs des indices de boue de 5 ^{ème} jour			
	Valeur (ml/l)	MS (g/l)	IB (ml/g)
BA1	950	10.43497	91.04
BA2	950	10.17348	93.38

Le suivi réalisé sur une période de cinq jours montre un fonctionnement stable et régulier des bassins BA1 et BA2. Les concentrations en matières en suspension (MS) restent relativement élevées, avoisinant 10 g/L, ce qui explique les volumes de boues décantées à 30 minutes (V30) importants, atteignant jusqu'à 950 mL/L. Toutefois, le paramètre le plus significatif demeure l'indice de boue (IB), dont les valeurs varient entre 85 et 96 mL/g. Étant toutes inférieures à 150 mL/g, ces valeurs témoignent d'une bonne aptitude à la décantation et de l'absence de phénomène de gonflement des boues (bulking). Ces résultats traduisent ainsi une performance satisfaisante de la STEP durant la période étudiée

III.4.7 Azote ammoniacal (NH_4^+)

III.4.7.1 Mode opératoire

Pour réaliser cette analyse, nous avons utilisé un spectrophotomètre préprogrammé. La procédure détaillée est la suivante :

1. Préparation de l'appareil

On allume le spectrophotomètre et on sélectionne le programme spécifique à l'azote ammoniacal (NH_3-N) dans la liste des méthodes enregistrées.

2. Préparation des échantillons (L'essai et le blanc) :

On utilise deux éprouvettes graduées de 25 ml :

- **L'échantillon** : On la remplit jusqu'au trait de jauge avec l'eau à analyser.
- **Le blanc** : On la remplit de la même manière mais avec de l'eau désionisée.

3. Ajout des additifs et homogénéisation

Dans chacune des deux éprouvettes, on ajoute successivement :

- 3 gouttes de stabilisateur minéral pour éviter les interférences.
- 3 gouttes d'agent dispersant (alcool polyvinylique) pour maintenir la solution limpide.
- Après chaque ajout, on ferme bien l'éprouvette et on la retourne plusieurs fois à la main pour bien mélanger le contenu.

4. La réaction colorimétrique

On pipette précisément 1,0 ml de réactif au Nessler dans chaque éprouvette. On mélange à nouveau en retournant les tubes. À ce moment-là, on lance le chronomètre de l'appareil pour une durée de 1 minute afin de laisser la couleur se développer.



Figure III.28 Les additifs

5. La lecture des résultats

Une fois la minute écoulée :

- On verse les solutions dans des cuves carrées de 1 pouce.
- On commence par introduire la cuve du blanc (après l'avoir bien essuyée) pour faire le "**Zéro**" sur l'écran.
- Ensuite, on place la cuve de l'échantillon préparé. L'appareil affiche alors directement la concentration en mg/L $\text{NH}_3\text{-N}$.



Figure III.29 Spectrophotomètre

III.4.7.2 Résultats

Tableau III.27 Valeurs de NH_4^+ de la STEP (salamandre)	
EB	4.8
EE	1.5

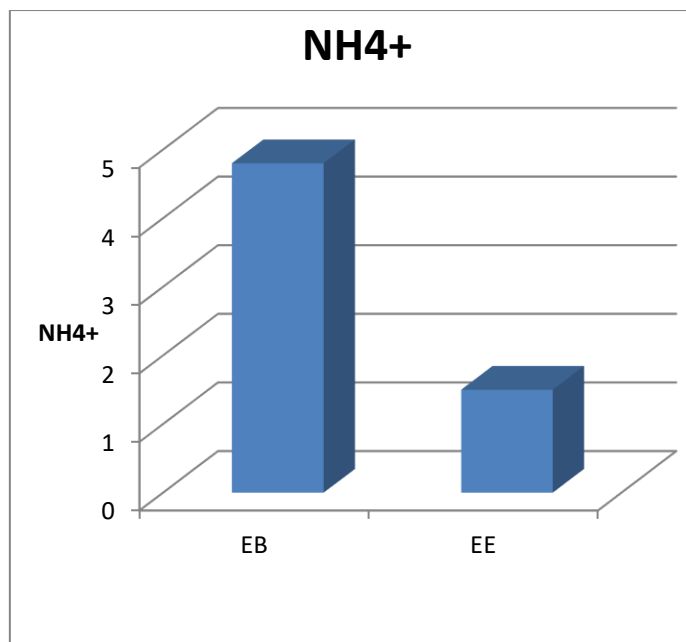


Figure III.30 Variation des teneurs de NH_4^+ des eaux d'entrée et de la sortie de la STEP

Tableau III.28 Valeurs de NH_4^+ en mg/L des eaux de Fornaka et Beni Yahi		
	Fornaka	Beni Yahi
EB	20.4	56.4
EE	24.4	58.8

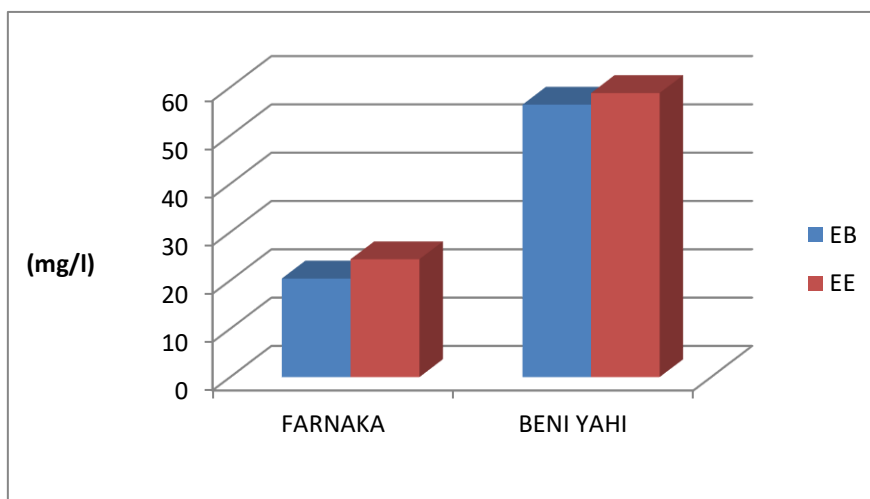


Figure III.31 Variation des teneurs de NH_4^+ des eaux d'entrée et de la sortie de des eaux de Fornaka et Beni Yahi

Concernant l'ammonium (NH_4^+), les résultats obtenus sont particulièrement inquiétants. En effet, les concentrations augmentent en sortie au lieu de diminuer, atteignant 24,4 mg/L à Fornaka et 58,8 mg/L à Beni Yahi. Cette évolution traduit une absence de nitrification au niveau des bassins biologiques, indiquant ainsi un dysfonctionnement du traitement de l'azote. Par conséquent, les deux STEP présentent des rejets non conformes aux normes pour ce paramètre.

III.4.8 Le Phosphore (Ortho phosphate)

III.4.8.1 Mode opératoire :

On prépare tout le matériel nécessaire : l'éprouvette de 25 mL, les cuves carrées ainsi que les deux réactifs (molybdate et acide aminé), puis on suit les étapes indiquées.

Préparation de l'échantillon : On a introduit 25 mL d'eau à analyser dans une éprouvette, puis ajouté 1 mL de réactif au molybdate suivi de 1 mL de réactif à l'acide aminé.

Mélange : L'éprouvette a ensuite été fermée et agitée par retournements successifs afin d'assurer un bon mélange. Une coloration bleue est apparue immédiatement, indiquant la présence de phosphates.

Réaction : La minuterie de l'appareil a été réglée sur 10 minutes afin de permettre la stabilisation de la coloration.

Préparation du blanc : Pendant le temps d'attente, le « blanc » a été préparé en introduisant l'échantillon brut, sans ajout de réactifs, dans une cuve de 10 mL.

Lecture des résultats : Après les 10 minutes de réaction, la cuve du blanc a été soigneusement essuyée puis utilisée pour effectuer le zéro du spectrophotomètre. Ensuite, la cuve contenant la solution colorée a été placée dans l'appareil et la mesure a été lancée. Le résultat final a été affiché directement en mg/L de PO_4^{3-}



Figure III.32 Phosphate RGT

III.4.8.2 Résultats

Pour le suivi du phosphore, on effectue les analyses une fois par semaine. Les mesures sont faites sur les échantillons d'eau brute (EB) et d'eau épurée (EE), et les résultats sont exprimés en mg/l.

Tableau III.29 Valeurs d'ortho phosphate PO_4^{3-}	
	PO_4^{3-}
EB	4.8
EE	1.5

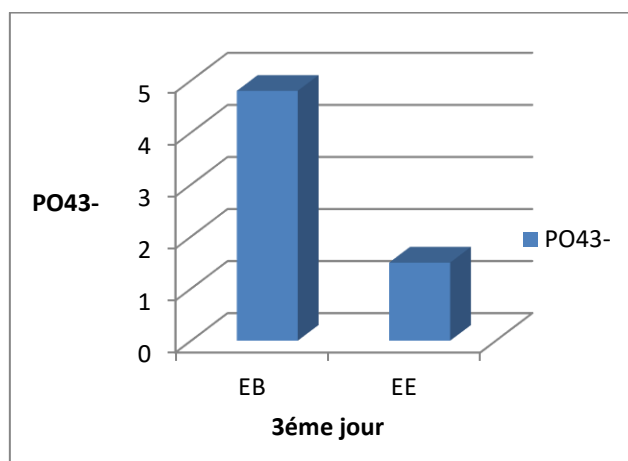


Figure III.33 Variation temporelle des Ortho Phosphates (PO_4^{3-}) des eaux de la station d'épuration entre l'entrée et la sortie.

III.4.9 Nitrate (NO_3^-)

III.4.9.1 Mode opératoire

- Remplissez 10 ml d'échantillon dans un tube à essai.
- Remplissez un deuxième tube avec 10 ml d'eau distillée (blanc) pour le zéro.
- Ajouter le contenu d'un sachet de réactif **Nitraver 5**.
- Agiter pendant 1 minute.
- Laisser reposer pendant 5 minutes, temps de réaction.
- Une fois les 5 minutes écoulées, insérer le tube témoin (blanc) dans le spectro pour faire le zéro.
- Insérer ensuite le tube contenant l'échantillon pour lire le résultat.

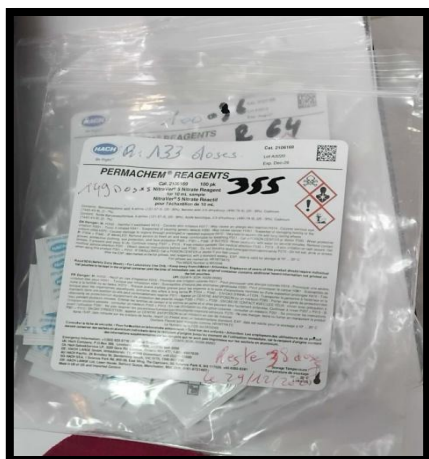


Figure III.34 le réactif NitriVer 5

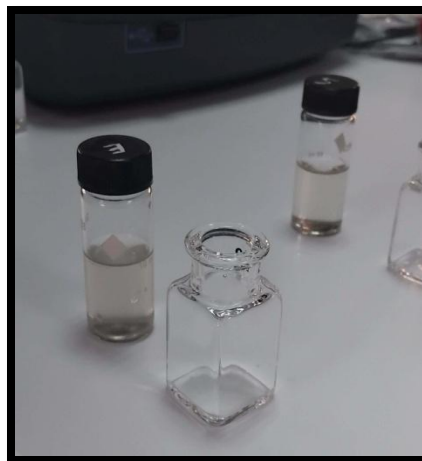


Figure III.35 l'échantillon avec la couleur dorée

III.4.9.2 Résultat

Le dosage des nitrates est effectué une fois par semaine pour l'EB et l'EE. La concentration obtenue est exprimée en mg/L.

Tableau III.30 Valeurs de nitrate NO_3^-	
EB	4.6
EE	3.3

III.4.10 Nitrite (NO_2^-)

III.4.10.1 Mode opératoire

- Indiquer une dilution par 20 (4 ml d'échantillon + 16 ml d'eau distillée).
- Introduire 10 ml d'eau distillée dans une cuve pour faire le zéro de l'appareil.
- Introduire 10 ml d'échantillon dilué dans une autre cuve.
- Ajouter le contenu d'un sachet de réactif NitriVer 3.
- Mélanger vigoureusement pour dissoudre le réactif.
- Laisser reposer pendant 20 minutes (temps de réaction).
- Insérer la cuve dans le spectrophotomètre et lire la concentration.
- Multiplier le résultat affiché par 20 (le facteur de dilution) pour obtenir la concentration réelle.

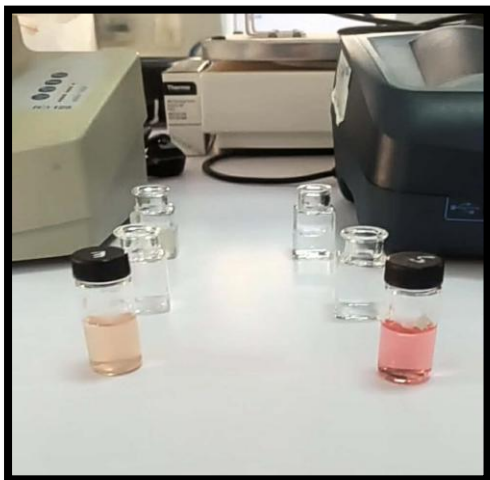


Figure III.36 Échantillons colorés



Figure III.37 Sachet de réactif Nitrite LR

III.4.10.2 Résultats

Le dosage des nitrites est effectué une fois par semaine pour l'EB et l'EE. La concentration est exprimée en mg/L.

Tableau III.31 Valeurs de nitrite (NO_2^-)	
EB	0.056
EE	0.625

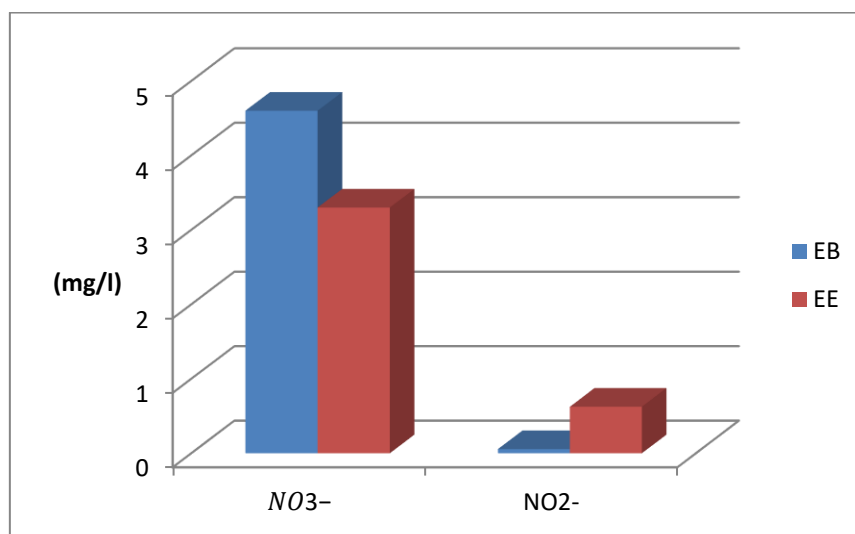


Figure III.38 Variation temporelle du nitrate et nitrite des eaux de la station d'épuration entre l'entrée et la sortie

Pour les Nitrates (NO_3^-), les analyses montrent une baisse des nitrates entre l'entrée (4.6 mg/L) et la sortie (3.3 mg/L). Cela indique que le processus de dénitrification au sein de la station fonctionne, même si la charge initiale en nitrates n'est pas très élevée. On reste largement en dessous des normes de rejet.

Pour les Nitrites (NO_2^-), Contrairement aux nitrates, on remarque une augmentation du taux de nitrites en sortie (0.625 mg/L) par rapport à l'entrée (0.056 mg/L). Cette accumulation de nitrites (forme intermédiaire) suggère que la nitrification est en cours mais qu'elle n'est peut-être pas complète, ou qu'il y a un léger déséquilibre dans l'oxygénation du bassin biologique à ce moment-là.

III.4.11 Matières volatiles en suspension (MVS%)

Ce paramètre est essentiel pour l'auto surveillance des boues au sein de la STEP. Il représente la fraction organique des matières sèches (MS), c'est-à-dire la partie qui peut être décomposée ou "brûlée" à haute température.

Principe : On mesure la perte de masse d'un échantillon de boue séchée après calcination dans un four à moufle à 505°C. Cette perte correspond à la matière organique volatilisée.

III.4.11.1 Mode opératoire

La procédure se déroule en trois étapes clés :

1. **Pesée de la capsule :** On pèse la capsule vide et propre (M_0).
2. **Séchage à 105°C (M_s) :** On introduit l'échantillon de boue humide dans la capsule (masse M_1), puis on le place à l'étuve à 105°C jusqu'à obtenir une masse constante (M_2). Cela permet d'éliminer l'eau et d'obtenir la matière sèche.
3. **Calcination à 505°C (MVS) :** On place ensuite l'échantillon sec dans un four à moufle à 505°C. Après refroidissement, on pèse la masse restante (M_3), qui correspond aux matières minérales.



Figure III.39 Four à moufle

III.4.11.2 Formules de calcul

Pour exprimer les résultats, on utilise les formules suivantes :

Siccité (%) : Elle représente le taux de matière sèche dans la boue humide.

$$\text{Siccité (\%)} = \frac{(M_2 - M_0) \times 100}{(M_1 - M_0)}$$

MVS (%) : C'est le pourcentage de matière organique par rapport à la matière sèche totale

$$\text{MVS} = \frac{(M_2 - M_0) - (M_3 - M_0) \times 100}{(M_2 - M_0)}$$

MVS (g/l) : On peut aussi l'exprimer par la différence entre la Matière Sèche (MS) et la Matière Minérale (MM).

$$\text{MVS} \left(\frac{\text{g}}{\text{L}} \right) = M_S - M_M$$

Tel que :

M₀ = masse de la capsule vide

M₁ = masse d'échantillon humide

M₂ = masse d'échantillon sec à 105°C

M₃ = masse d'échantillon à 505°C

III.4.11.3 Résultats

Tableau III.32 Valeurs de MVS							
Echantillons	Tare	Poids capsule remplie	Poids après séchage à 105°	MES (mg/l)	Poids calcinée à 505°	MVS(%)	Siccité (%)
BA1	11.0546	160	12.1102	6.60	11.3605	71.02	
BA2	11.2954	160	12.3080	6.33	11.5840	71.50	
BR	13.4230	160	15.2325	11.31	13.9404	71.41	
BD	13.2100	34.7074	16.3657	14.63	14.2648	66.57	14.67

Exemple BA1

$$\text{MVS} = (12.1102 - 11.3605) / (12.1102 - 11.0546) \times 100 = 71.02\%$$

Siccité boue déshydratée :

$$\text{Siccité}(\%) = (M_2 - M_0) / (M_1 - M_0) \times 100 = (16.3657 - 13.2100) / (34.7074 - 13.2100) \times 100 = \mathbf{14.67\%}$$

$$\text{MVS (g/l)} = M_S - M_M$$

M_S : Matière sèche

M_M : Matière Minérale

Les résultats globaux montrent que la **STEP de Mostaganem** présente un fonctionnement biologique stable. Le rapport **MVS/MES** élevé prouve que la boue est "jeune" et performante. La gestion de la recirculation semble efficace, permettant de maintenir un stock de biomasse suffisant pour traiter les effluents entrants.

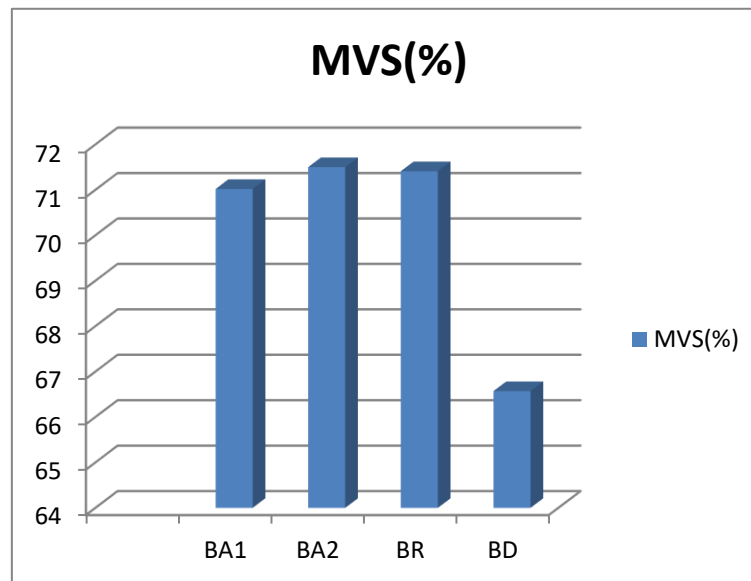


Figure III.40 Variation temporelle du Matières volatiles en suspension des eaux de la station d'épuration entre l'entrée et la sortie

III.5 Efficacité de fonctionnement de la station

III .5.1 Rendement d'élimination de (DBO_5)

Pour calculer le rendement d'élimination de la DBO_5 pour la STEP de Salamandre, on utilise la formule du taux d'abattement :

$$(DBO_5) = \frac{(DBO_5)(EB) - (DBO_5)(EE)}{(DBO_5)(EB)} \times 100$$

Voici les calculs pour les deux prélèvements :

1^{er} Jour :

- **EB** = 360 mg/l
- **EE** = 6 mg/l

$$DBO_5 = ((360 - 6) / 360) \times 100 = 98,33 \%$$

3^{ème} Jour :

- **EB** = 280 mg/l
- **EE** = 5 mg/l

$$DBO_5 = ((280 - 5) / 280) \times 100 = \mathbf{98,21\%}$$

Les rendements sont excellents (proches de 99%). La station de Salamandre est très performante pour ce paramètre, car elle rejette une eau très peu chargée (5-6 mg/l), ce qui est largement en dessous de la norme de 30 mg/l. Le traitement biologique ici est très efficace par rapport aux autres stations.

Les rendements d'élimination de la DBO_5 pour la STEP de Fornaka et Beni Yahi sont :

Fornaka : $DBO_5 = ((160 - 30) / 160) \times 100 = \mathbf{81.25\%}$

Beni Yahi: $DBO_5 = ((220 - 110) / 220) \times 100 = \mathbf{50\%}$

Concernant le rendement de la DBO_5 , une différence importante est observée entre les deux stations. À Fornaka, le rendement atteint 81,25 %, ce qui permet d'obtenir une eau rejetée conforme aux normes. En revanche, à Beni Yahi, le rendement n'est que de 50 %, une valeur insuffisante pour une STEP. Cela indique un dysfonctionnement du traitement biologique dans cette station, laissant subsister une part importante de la pollution organique après traitement.

III .5.2 Rendement d'élimination de (DCO)

Les rendements d'élimination de DCO ont été calculés pendant 5 jours, à partir des résultats trouvés :

- **1^{er} jour :** $R = ((691.12 - 48) / 691.12) \times 100 = \mathbf{93.05\%}$
- **2^{ème} jour :** $R = ((508.8 - 38.4) / 508.8) \times 100 = \mathbf{92.45\%}$
- **3^{ème} jour :** $R = ((532.8 - 19.2) / 532.8) \times 100 = \mathbf{96.40\%}$
- **4^{ème} jour :** $R = ((777.6 - 38.4) / 777.6) \times 100 = \mathbf{95.06\%}$

➤ **5^{ème} jour** : $R = ((585.6 - 24) / 585.6) \times 100 = 95.90\%$

Les rendements de la DCO sont excellents pour les cinq jours, avec une moyenne dépassant les **94%**. On remarque une efficacité très élevée du traitement, surtout le 3^{ème} jour où le rendement atteint **96,40%**. Ces résultats prouvent que la station arrive à éliminer presque toute la charge organique chimique, puisque les valeurs de sortie sont très faibles par rapport à l'entrée. C'est une performance très satisfaisante qui montre que le processus de traitement est parfaitement maîtrisé.

Les rendements de la DCO des STEP de Fornaka et Beni Yahi sont :

Fornaka : $R = ((470.4 - 153.6) / 470.4) \times 100 = 67.35\%$

Beni Yahi : $R = ((374.4 - 288) / 347.4) \times 100 = 23.08\%$

Pour la DCO, le rendement de Fornaka (67,35%) est beaucoup mieux que celui de Beni Yahi (23,08%). On voit que la station de Beni Yahi n'arrive pas du tout à éliminer la pollution chimique, son rendement est trop faible. À Fornaka c'est un peu mieux mais ça reste insuffisant pour une STEP. Globalement, les résultats montrent que le traitement n'est pas très efficace, surtout pour la station de Beni Yahi.

III .5.3 Rendement d'élimination de (MES)

Pour le rendement des MES (Matières En Suspension), on utilise la même formule d'abattement:

$$(MES) = \frac{(MES)(EB) - (MES)(EE)}{(MES)(EB)} \times 100$$

Voici les résultats pour les 5 jours :

- **1^{er} jour** : $(573,75 - 4,67) / (573,75) \times 100 = 99,18\%$
- **2^{ème} jour** : $(463,13 - 2,6) / 463,13 \times 100 = 99,43\%$
- **3^{ème} jour** : $(500,63 - 3) / 500,63 \times 100 = 99,40\%$
- **4^{ème} jour** : $(696,88 - 2,4) / 696,88 \times 100 = 99,65\%$
- **5^{ème} jour** : $(312,5 - 3,2) / 312,5 \times 100 = 98,97\%$

Pour les MES, les rendements sont excellents et très stables, avec une moyenne de 99%. On voit que la station de Salamandre est super efficace pour éliminer les matières en suspension. Les

valeurs à la sortie sont presque nulles (entre 2 et 4 mg/l), ce qui est très loin de la norme de rejet. On peut dire que la décantation fonctionne parfaitement ici.

Les rendements de la MES des STEP de Fornaka et Beni Yahia sont :

Fornaka : $R = ((901,88 - 56,8) / 901,88) \times 100 = 93,70 \%$

Beni Yahia : $R = ((327,5 - 82,67) / 327,5) \times 100 = 74,75 \%$

Pour les MES, le rendement à Farnaka est très bon (93,70 %), ce qui montre que la décantation élimine bien les matières solides malgré une charge d'entrée très forte. Par contre, à Beni Yahia, le rendement est plus faible (74,75 %) et la valeur à la sortie (82,67 mg/l) dépasse la norme de rejet (souvent 35 ou 50 mg/l). On peut dire que la STEP de Farnaka est beaucoup plus performante pour clarifier l'eau que celle de Beni Yahia.

III.6 Conclusion

D'après les résultats qu'on a obtenus durant ce stage, on peut dire qu'il y a un grand décalage entre les stations étudiées. Pour la **STEP de Salamandre**, les résultats sont vraiment satisfaisants. La station respecte toutes les normes imposées par l'ONA, que ce soit pour les tests quotidiens (pH, Température, DCO, V30) ou pour les analyses plus poussées comme la DBO₅ et l'Azote. Avec des rendements qui atteignent les **99%**, on voit clairement que le traitement est très efficace. Par contre, pour Fornaka et Beni Yahia, c'est une autre histoire. Les analyses montrent que ces stations ont du mal à éliminer la pollution, surtout la charge chimique (DCO) et l'ammonium. Un rendement de 23% à Beni Yahia prouve que le système biologique ne fonctionne pas comme il le faut.

En résumé, si la station de Salamandre est très performante et fiable pour protéger l'environnement, les autres stations ont besoin d'un meilleur suivi technique pour améliorer la qualité de leurs eaux traitées et atteindre les normes de rejet.

Conclusion générale et recommandations

Pour conclure ce travail, nous pouvons dire que notre stage à la STEP de Sablette nous a vraiment ouvert les yeux sur la réalité du métier. Entre les cours à l'université et le terrain, il y a une grande différence. Nous avons pu voir comment nous gérons une station au quotidien.

Les analyses réalisées montrent que la station de **Sablette** fonctionne de manière très performante. Les résultats obtenus confirment une excellente efficacité du traitement, avec des concentrations en MES (Matières en Suspension) inférieures à 5 mg/L. Ces valeurs sont non seulement conformes aux exigences réglementaires, mais également bien en dessous des limites fixées par la législation. Cela démontre l'efficacité du procédé des boues activées mis en œuvre au sein de la station.

Mais, tout n'est pas simple. J'ai remarqué que les stations comme **Fornaka** ou **Beni Yah**i ont parfois du mal à cause des changements de charge (la pollution qui arrive n'est pas toujours la même). Finalement, traiter l'eau c'est bien, mais je pense qu'on peut aller plus loin en essayant de réutiliser cette eau au lieu de la jeter, pour mieux protéger l'environnement à Mostaganem.

Cependant, malgré ces résultats encourageants, certaines difficultés subsistent. Nous avons constaté que des stations telles que **Fornaka** et **Beni Yah**i rencontrent parfois des problèmes liés aux variations de charge polluante, la qualité et la quantité des eaux usées arrivant à la station n'étant pas toujours constantes.

Par ailleurs, le traitement des eaux usées ne devrait pas se limiter uniquement à leur épuration avant rejet. Il serait également pertinent de valoriser ces eaux traitées à travers leur réutilisation, notamment pour certaines activités comme l'irrigation ou les usages industriels. Une telle démarche contribuerait davantage à la préservation des ressources hydriques et à la protection de l'environnement dans la région de Mostaganem.

À la suite des observations réalisées sur le terrain et des différentes difficultés constatées au niveau des stations étudiées, plusieurs recommandations peuvent être proposées afin d'améliorer les performances des installations et de renforcer leur contribution à la protection de l'environnement.

- **La station de Sablette :** La qualité des eaux traitées étant déjà très satisfaisante, il serait pertinent d'envisager l'ajout d'une étape de désinfection dans le cadre d'un traitement tertiaire. Cette amélioration permettrait la réutilisation des eaux épurées, notamment pour l'arrosage des espaces verts ou certains usages industriels, contribuant ainsi à une économie importante des ressources en eau potable.
- **La station de Fornaka :** Cette station est confrontée à d'importantes variations de charge polluante, avec des pics de MES pouvant dépasser 900 mg/L. Ces fluctuations exercent une forte pression sur les équipements et perturbent le fonctionnement du traitement biologique. Il serait donc nécessaire d'optimiser le système de dégrillage en amont et d'envisager la mise en place d'un bassin de tamponnement afin de réguler les débits et les charges avant leur traitement.
- **La station de Beni Yah** : La proximité des exploitations agricoles impose une vigilance accrue concernant la qualité microbiologique des eaux traitées. Il est recommandé de renforcer la fréquence des analyses bactériologiques afin de garantir l'absence de risques sanitaires, notamment pour les cultures irriguées à proximité.
- **le laboratoire de suivi :** Les analyses manuelles demandent un temps considérable et peuvent ralentir les interventions en cas d'anomalie. L'installation de sondes automatiques permettant le suivi en temps réel de paramètres tels que le pH, l'oxygène dissous ou la conductivité améliorerait significativement la rapidité de réaction et l'efficacité du contrôle des procédés.
- **la gestion des boues :** Au lieu de se limiter à leur stockage, les boues issues du traitement pourraient être valorisées après séchage et stabilisation, notamment en agriculture comme fertilisant naturel. Cette solution représenterait une alternative écologique et durable aux engrais chimiques tout en favorisant une meilleure gestion des déchets issus des stations d'épuration

Bibliographie

- [1] F. Ramade, Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité, Dunod, Paris (2008).
- [2] L.Adour , H. Laribi Habchi , W. Arbia Khatraoui, Traitement des eaux usées, Office des Publications Universitaires (OPU)(2019)
- [3] Degremont, Mémento technique de l'eau, Lavoisier, Paris(2005).
- [4] F. Ramade, Eléments d'écologie. Ecologie appliquée. 6^{ème} édition, Dunod, Paris(2005)
- [5] G. Crini, E. Lichtfouse, Wastewater treatment, Green Adsorbents for Pollutant Removal, Environmental Chemistry for a Sustainable World 18. Springer, pp. 1-22 (2018)
- [6] Manhong Huang, Yongmei Li, G. Gu, Chemical composition of organic matters in domestic wastewater , , Desalination Journal, 262, pp 36-42 (2010)
- [7] Utami et al., International Journal of Environmental Health Research, 23, pp 1-17(2023)
- [8] Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering : Treatment and Resource Recovery, McGraw-Hill, 5th Edition(2014).
- [9] B.J.Singh, A. Chakraborty and R.A. Sehgal, Systematic review of industrial wastewater management: Evaluating challenges and enablers. Journal of Environmental Management,348, 119230 (2023).
- [10] Md Nuruzzaman, M. Bahar, Ravi Naidu, Diffuse soil pollution from agriculture: Impacts and remediation, The Science of the Total Environment, 962, 178398(2025)
- [11] G.Tchobanoglous, , F.L. Burton, and H.D. Stensel, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. Fourth Edition, Metcalf & Eddy, Inc., New York, 1-12 (2010).
- [12] Alloway, B. J. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability, (3rd ed.) Springer, (2013).
- [13] M.Kumar and R.Singh, Thermal Pollution and Its Impact on Aquatic Ecosystems. International Journal of Environmental Sciences, 7(2), pp 45–55 (2017).

- [14] Guidelines for Drinking-water Quality (4th ed.). Geneva: World Health Organization (WHO) (2011)
- [15] D. Deng, L. Zhang, M. Dong, R. E. Samuel, A. Ofori-Boadu and M. Lamssali Radioactive waste : A review. *Water Environment Research*, 92(10), 1818–1825(2020).
- [16] T. H.Y.Tebbutt, *Basic Water and Wastewater Treatment*, Butterworth-Heinemann (1990).
- [17] APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC (2005).
- [18] N.Helal,N.Azzouz, Mémoire de master en chimie de l'environnement ,Université de M'sila (2020)
- [19] R.S. Ayers, D.W. Westcot, *Water quality for agriculture*, , Food and Agriculture Organization, Rome (1985).
- [20] Rodier, J., *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*, Dunod, Paris (2009)
- [21] Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering : Treatment and Resource Recovery*, McGraw-Hill Education, New York (2014)
- [22] F. Ramade, *Éléments d'écologie – Écologie appliquée*, Dunod, Paris (2007).
- [23] Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 relatif aux rejets d'effluents liquides, *Journal Officiel de la République Algérienne* (1993)
- [24] A. Belkacem, *Réutilisation des eaux usées épurées en agriculture : Cas de la région de Ouargla*, Mémoire, Université Kasdi Merbah de Ouargla(2018)
- [25] P. H .Gleick, *The World's Water: The Biennial Report on Freshwater Resources*, Volume 8, Island Press, Washington, D.C (2019)
- [26] M. Montginoul, *La consommation d'eau en France : historique, tendances contemporaines, déterminants*. *Sciences Eaux & Territoires*, (10), 68-73 (2013)
- [27]] M. Falkenmark, and J. Rockström, *Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in 21st Century*, Earthscan, London (2004)

- [28] F.Marchoud, Etudes Des Paramètres Physico-chimiques Du Eau Usée Agricole Traité Par La Microalgue *Arthrospira Platensis*, Mémoire de master, Université Oran 1 (2023)
- [29] Office National de l'Assainissement (ONA), Rapport annuel des stations d'épuration en Algérie – Wilaya de Mostaganem (2022).
- [30] M.F. Fekir et I. Fechkeur, Contrôle qualité des eaux usées à Mostaganem, mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem (2023)
- [31] G.Tchobanoglous, F.L. Burton et H.D. Stensel, Wastewater Treatment: Biological Processes. *Journal of Environmental Engineering*, 140(3), 04013033(2014).
- [32] T.Belacel et Y.S. Arkoun ,Etude du procédés de traitement des eaux usées d'une station d'épuration, Mémoire de master, Université d'Oran 2(2021)
- [33] Eurostat, Urban Waste Water Treatment in Europe, Latest Trends (2023)
- [34] Ministère des Ressources en Eau, Algérie Guide technique pour la conception des stations d'épuration des eaux usées urbaines (2020)
- [35] N.Nedjah et L.Mimeche, Effet du substrat sur l'élimination des polluants des eaux usées de la ville de Biskra par filtres plantés, Mémoire de master, Université de Biskra (2020)
- [36] F.N. Chergui, Caractérisation et valorisation des boues de la station d'épuration de la ville de Boussaâda, mémoire de master, Université de Biskra (2020)
- [37] J.M.Mouchel, et al ,Characterization and management of sewage sludge in wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management*, 217, 726–734(2018).
- [38] A. Torrens, J. García, Sewage sludge treatment and valorization: A review. *Water Science & Technology*, 74(12), 2783–2795(2016).
- [39] A.Bensaid , Optimisation du traitement et valorisation des boues d'une STEP urbaine, mémoire de master, Université d'Oran 1(2019)
- [40] T. Ahmad, et al , Sustainable sludge management in wastewater treatment plants: Review of current practices. *Journal of Environmental Management*, 293, 112864 (2021)