



Université Mohamed khider –Biskra

Faculté d'Architecture, de l'Urbanisme, de Génie Civil et de l'Hydraulique

Département de Génie civil et d'Hydraulique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies

Filière : HYDRAULIQUE

Spécialité : HYDRAULIQUE URBAIN

Présenté et soutenu par :

Righi Dawoud

Le: juin 2025

Traitement des eaux usées par lagunage aéré. Cas de la station Kouinine 1 d'El Oued

Jury :

Encadreur : Professeur Seghairi Nora

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Tout d'abord, je voudrais exprimer mes sincères remerciements à la superviseure « **Pr Seghairi Nora** » pour m'avoir guidé et ses conseils sages et constants, et ses riches enseignements. Et sa motivation m'a permis de mettre en œuvre ce projet en dernière année.

Mes respects aux membres du jury qui m'honoreront de leur jugement.

Je les remercie beaucoup pour ce travail.

Mes remerciements vont également à :

Mes très chers parents.

Toute ma famille.

Tous mes frères et sœurs.

Tous ceux qui m'ont aidé directement ou indirectement dans ma formation.

Tous mes amis de l'université.

Résumé :

Cette étude s'intéresse à l'analyse des performances d'un système de traitement des eaux usées urbaines par lagunage aéré Kouinine 1, appliqué dans les conditions climatiques arides de la région d'El Oued. Menée sur une période de quatre mois. Une réduction significative des paramètres de pollution tels que la DBO₅, la DCO et les MES et memes pour les nutriments testés. Les eaux traitées répondent globalement aux normes algériennes de rejet, bien que leur qualité reste insuffisante pour un usage en irrigation, selon les standards en vigueur. Ces résultats mettent en évidence le potentiel du lagunage aéré en tant que solution de traitement à la fois respectueuse de l'environnement et économiquement viable pour les zones arides comme El Oued.

Mots-clés : Traitement des eaux usées, lagunage aéré, Kouinine 1, analyse physico-chimiques.

Abstract:

This study analyzes the performance of an urban wastewater treatment system using Kouinine 1 aerated lagoon treatment, applied in the arid climatic conditions of the El Oued region. Conducted over a four-month period, it achieved high purification rates. A significant reduction in pollution parameters such as BOD₅, COD, and suspended solids (SS), as well as for the nutrients tested, was observed. The treated water generally meets Algerian discharge standards, although its quality remains insufficient for irrigation use, according to current standards. These results highlight the potential of aerated lagoon treatment as an environmentally friendly and economically viable treatment solution for arid areas such as El Oued.

Keywords: Wastewater treatment, aerated lagoon treatment, Kouinine 1, physicochemical analysis.

ملخص:

تركز هذه الدراسة على تحليل أداء نظام معالجة مياه الصرف الصحي الحضرية باستخدام بحيرة كوينين 1 المهواة، المطبق في الظروف المناخية القاحلة في منطقة الوادي. وأجريت هذه الاختبارات على مدى أربعة أشهر، مما سمح بتسجيل معدلات تنقية وحتى بالنسبة للعناصر الغذائية التي تم اختبارها. BOD₅ و COD و MES عالية. انخفاض كبير في معايير التلوث مثل وتتوافق المياه المعالجة بشكل عام مع معايير الصرف الجزائرية، على الرغم من أن جودتها لا تزال غير كافية لاستخدامها في الري، وفقا للمعايير الحالية. تسلط هذه النتائج الضوء على إمكانات بحيرة التهوية باعتبارها حلاً صديقاً للبيئة ومجدياً اقتصادياً للمناطق القاحلة مثل الوادي.

الكلمات المفتاحية: معالجة مياه الصرف الصحي، البحيرة المهواة، كوينين 1، التحليل الفيزيائي الكيميائي.

Liste des abréviations

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5jours (mg/L)

DCO : Demande Chimique en oxygène (mg/L)

pH: Potentiel Hydrogène

MES : Matière en Suspension (mg/L)

STEP: Station d'Epuraton

NO₂: Nitrite

NO₃: Nitrates

O₂: Oxygène Dissous

PT: Phosphor Total

PO₄⁻³: Ortho Phosphate

NH₄⁺: Azote ammoniacal

T°: Temperature

Liste des tableaux

Tableau III.1: La moyenne journalière de l'eau brute et traitée durant chaque mois de prélèvement.....	57
Tableau III.2: L'abattement de la DCO pour les eaux brutes et épurées.....	65
Tableau III.3: Variation de l'ammonium à la sortie de la STEP.....	67
Tableau III.4: Les concentrations des nitrites et nitrates à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	68
Tableau III.5: L'abattement du PT et PO ₄ durant les mois (F,M et A).....	69

Liste des figures

Figure I.1 : Les prétraitements.....	6
Figure I.2 : Dégrillage.....	7
Figure I.3 : Dessablage.....	8
Figure I.4 : Décantation primaire.....	10
Figure I.5: Schéma du traitemen biologique par lit bactériens.....	12
Figure I.6: Schéma du traitement biologique par disque biologique.....	13
Figure I.7: Schéma du traitement biologique par boue activée.....	13
Figure I.8: Schéma du traitement des filtres plantés de roseaux.....	14
Figure I.9 : Schéma du traitement biologique par la filtration (percolation).....	15
Figure I.10 : Schéma du traitement biologique par lagunage.....	17
Figure II.1 lagunage naturel.....	22
Figure II.2 :Schéma du lagunage aéré.....	24
Figure I.1: Carte El Oued 2024.....	33
Figure I.2 : Carte de situation de STEP 01 Kouinine.....	34
Figure I.3 : Schéma représentatif des filières de lagunage aéré dans la STEP Kouinine 01.....	35
Figure I.4 : Dégrillage.....	36
Figure I.5 : Dessablage.....	36
Figure I.6 : Répartiteur vers les bassins d'aération.....	37
Figure I.7 : Salle d'échantillonnage.....	38
Figure I.8 : Aérateur.....	39
Figure I.9 : Répartiteur vers les bassins d'aération.....	39
Figure I.10 : Répartiteur vers les bassins d'aération	40
Figure I.11 : Lagune de finition.....	41
Figure I.12 : Lit de séchage des boues.....	41

Figure II.01:pHmètre.....	44
Figure II.2: Balance électricité	46
Figure II.3: Ensemble de filtration.....	46
Figure II.4 : Étuve chauffage (105c°).....	46
Figure II.5: Oxymètre.....	47
Figure II.6:Thermo-réacteur.....	48
Figure II.07: Spectrophotomètre.....	48
Figure II.08 : réactive DCO.....	48
Figure II.09 : DBO mètre (oxitop).....	49
Figure II.10 : Spectrophotomètre.....	50
Figure II.11 : réactive NO ₂ ⁻	50
Figure II.12 : Spectrophotomètre.....	51
Figure II.13 : réactive NO ₃ ⁻	51
Figure II .14 : Réactive PT.....	54
Figure II .15 : Réactive PT.....	54
 Figure III.1: Variation de la température journalière dans les eaux usées brutes et épurées Pendant les 04 mois (Janvier, février, mars et avril) de l'étude.....	 58
Figure III.2 (a,b,c et d): Variation du pH à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	60
Figure III.3 (a, b, c et d) : Teneurs des MES à l'entrée et à la sortie de la STEP durant les 04 mois (J, F,M et A).....	61
Figure III.4 (a,b,c et d): Variation journalière de la conductivité électrique durant les 4 mois de l'étude.....	63
Figure III.5: Variation de la concentration moyenne mensuelle de la DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	64
Figure III.6: Variation de concentration en DBO5 pour les prélèvement Effectués pendant 4 mois.....	65

Figure III.7 les variations des teneurs moyennes mensuelles de l'oxygène dissous à l'entrée et à la sortie de la station Kouinine 1	66
Figure III.8: Variation des concentration des nitrates et des nitrites.....	67

Sommaire

Résumés

Liste d'abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Première partie : Etude bibliographique

Chapitre I: Procédés d'épuration des eaux usées

I.1.Introduction.....	4
I.2. Critères de choix du procédé d'épuration.....	4
I.3. Les différentes étapes de prétraitement dans une station d'épuration des eaux usées.....	4
I.3.1. Dégrillage.....	5
I.3.2. Dessablage.....	7
I.3.3. Déshuilage-dégraissage.....	8
I.4.Traitement primaire.....	8
I.4.1. Décantation primaire.....	8
I.4.2.Traitement physico-chimique.....	9
I.5.Traitement biologique.....	10
I.5.1.Procédés biologiques intensifs.....	10
I.5.1.1.Procédé de lit bactérien.....	10
I.5.1.2. Procédé de disques biologiques.....	11
I.5.1.3. Procédé de boues activées.....	12
I.5.2. Procédés biologiques extensifs.....	13
I.5.2.1. Procédé des filtres plantés de roseaux.....	13
I.5.2.2. Procédé des lits d'infiltration-percolation sur sable.....	14
I.5.2.3. Procédé de lagunage.....	15
I.6. Décantation secondaire.....	17

I.7.Traitement tertiaire.....	17
I.8.Traitement des boues.....	18
I.9. Conclusion.....	18

Chapitre II: L'épuration des eaux usées par le procédé de lagunage aéré

II.1.Introduction.....	20
II.2. Le lagunage naturel (aérobie).....	20
II.2.1. Définition	20
II.2.2. Principe de fonctionnement.....	20
II.3. Définition du lagunage aéré.....	21
II.4. Principe de fonctionnement.....	21
II.4.1. Lagunage aéré strictement aérobie.....	22
II.4.2. Lagunage anaérobie.....	22
II.5. Les facteurs intervenant dans l'épuration par lagunage aéré.....	22
II.5.1. Facteurs climatiques.....	22
1.La température.....	23
2.Radiations solaires.....	23
3.L'évaporation.....	23
4.Le vent.....	23
II.5.2. Facteurs physiques.....	23
II.5.3. Facteurs chimiques influençant l'épuration par lagunage aéré.....	24
1. Le pH.....	24
2. La charge organique.....	25
3. La composition en sels minéraux.....	25
II.5.4. Facteurs biologiques influençant l'épuration par lagunage aéré.....	25
II.6. Classification des lagunes.....	25
II.6.1. Classification selon les types de végétation.....	25
II.6.2. Classification en fonction de l'environnement biologique.....	26

II.7. Avantages et inconvénients du lagunage aéré.....	27
II.7.1. Avantages technique.....	27
II.7.2. Inconvénients technique.....	27
II.8 Contraintes d'exploitation.....	28
II.8.1. Maintenance des systèmes d'aération.....	28
II.8.2. Contraintes techniques.....	28
II.8.3. Contraintes économiques.....	28
II.8.4. Contraintes environnementales.....	28
II.9. Surveillance de la qualité des eaux traitées.....	28
II.9.1. Contraintes réglementaires.....	29
II.9.2. Contraintes opérationnelles.....	29
II.10. Conclusion.....	29

Deuxième partie expérimentale

Chapitre I : Présentation de la station d'épuration des eaux usées par lagunage aérée. Cas de la STEP Kouinine d'El Oued

I.1 Introduction.....	31
I.2. Présentation de la région d'étude.....	31
I.2.1. Situation géographique.....	31
I.2.2. Situation géographique de la station d'épuration.....	32
I.3. Description de STEP (Kouinine 01).....	32
I.4. Les étapes de prétraitement dans la STEP.....	33
I.4.1. Dégrillage.....	33
I.4.2. Dessablage.....	34
I.5. Ouvrage de répartition.....	35
I.6. Système de mesure d'eau usée.....	36
I.7. Traitement Biologique.....	37
a) Lagunes d'aération (première étape).....	37

b) Lagunes d'aération (deuxième étape).....	38
I.8. Traitement complémentaire (lagune de finition).....	39
I.9. Décharge des boues consistant.....	40
I.10. Conclusion.....	41

Chapitre II. Matériels et méthodes

II.1. Introduction.....	44
II.2. Détermination des pH et Température.....	44
II.3. Détermination de l'oxygène dissous.....	45
II.4. Détermination de la demande chimique en oxygène DCO.....	46
II.5. Détermination des matières en suspension (MES).....	47
II.6. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5).....	49
II.7. Détermination de la nitrate (NO ₃ ⁺).....	51
II.8. Détermination de la phosphate PO ₄ ⁺	52
II.9. Détermination de la phosphate total PT.....	54
II.10. Prélèvement.....	55
II.11. Echantillonnage.....	55

Chapitre III: Performance de la STEP Kouinine 1 à épurer les eaux usées

III.1. Introduction.....	57
III.2. Évolution de la température.....	57
III.3. Potentiel d'hydrogène (pH).....	59
III.3.Les matières en suspension (MES).....	60
III.4. La conductivité électrique (CE).....	62
III.5. La demande chimique en oxygène DCO.....	64
III.6. L'abattement de la DBO5 à la sortie de la STEP.....	65
III.6. L'oxygène (O ₂).....	66
III.8. L'abattement des nutriments (NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , PO ₄ ⁺).....	67
III.8.1. Les composés azotés:.....	67

a.	L'ammonium.....	67
b.	Les nitrites et nitrates.....	67
III.8.2.	L'abattement des orthophosphates et du phosphore total.....	68
III. 9.	Conclusion.....	69
	Conclusion Générale.....	72
	Recommandations issues de l'étude.....	72
	Références bibliographiques	

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les effluents urbains, industriels et agricoles sont les causes de la pollution aquatique, par le rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques. Ces eaux usées sont riches en micro-organismes pathogènes, matières en suspension, matières organiques (MO), azotés et phosphorés (**Tamrabet et al, 2003**). L'évacuation de ces effluents, sans traitement préalable, vers les rivières « Oued » peut donner naissance à des maladies à transmission hydrique et éventuellement contaminer les nappes souterraines par infiltration (**Bouffard, 2000**). Les technologies conventionnelles de traitement des eaux sont appliquées systématiquement pour garantir la satisfaction des normes de qualité de l'eau avant son rejet dans l'exutoire (**Moulin et al, 2013**) ou avant sa réutilisation.

Face à ces défis, la mise en place de stations d'épuration adaptées aux caractéristiques locales est devenue une nécessité. Le contexte économique rend inadéquates des filières performantes telles que les stations de traitements à boues activées, dont les coûts d'investissement et de fonctionnement sont très élevés pour ce secteur (**Laurent J., 1994.**). Parmi les différentes technologies disponibles, le lagunage aéré s'impose comme une alternative efficace et durable pour le traitement des eaux usées, en particulier dans les régions à climat aride et semi-aride. Ce procédé repose sur l'utilisation de bassins artificiels où l'oxygénation favorise l'action des microorganismes épurateurs, permettant ainsi la dégradation de la matière organique et l'élimination des polluants. Il présente plusieurs avantages, notamment une faible consommation énergétique, un coût d'exploitation réduit et une adaptabilité aux variations de charge hydraulique et organique.

En Algérie, et plus particulièrement dans les régions sahariennes, le recours au lagunage aéré reste encore limité malgré son efficacité prouvée. Quelques stations ont récemment été mises en place pour répondre aux besoins croissants en matière d'assainissement et de protection des ressources en eau. Cependant, ces installations font face à plusieurs contraintes techniques et environnementales qui nécessitent une évaluation approfondie afin d'améliorer leur performance et leur durabilité.

INTRODUCTION GENERALE

Dans ce contexte, notre travail vise à évaluer les performances épuratoires et les rendements de la station d'épuration de la ville d'ElOued en particulier la STEP de Kouinine 1 en analysant les paramètres physico-chimiques des eaux usées avant et après le traitement.

Notre travail est composé d'une introduction générale, cinq chapitres, conclusion générale, liste de références qui se présentent comme suivant:

Une première partie bibliographique qui regroupe le nécessaire des connaissances théoriques en rapport avec notre thème, elle est subdivisée en deux chapitres :

Chapitre I: Est consacré, à la connaissance des eaux usées et leur origine et aux paramètres de pollution des eaux ainsi qu'aux procédés d'épuration.

Chapitre II: Concerne la description du procédé de lagunage aéré.

Une deuxième partie expérimentale qui se subdivise en trois chapitres :

Chapitre I: Présentation de la zone d'étude et Performance de la STEP

Chapitre II: a été dédié aux méthodes et procédure expérimentale.

Chapitre III :est consacré aux performances de la STEP de Kouinine 1 à épurer les eaux usées.

INTRODUCTION GENERALE

Etude bibliographique

CHAPITRE I

Procédés d'épuration des eaux usées

I.1. Introduction

Les eaux usées d'origine domestiques ou industrielles sont récupérées dans les réseaux spécifiques de collecte polluées, et nécessite d'être traitées avant leur évacuation dans le milieu naturel **(Nour, 2007)**. L'épuration des eaux usées est un processus essentiel pour préserver l'environnement et assurer la qualité de l'eau. Elle consiste à éliminer les matières minérales et organiques en suspension et en solution, ainsi qu'un certain nombre de déchets divers afin d'obtenir une eau épurée, conforme aux normes de rejets. Ces polluants sont à l'origine de nuisances environnementales et de risques sanitaires. L'épuration des eaux usées a pour objectif de rejeter dans le milieu naturel des eaux d'une qualité suffisante que pour altérer le moins possible le milieu récepteur **(Bachi, 2010)**. Le traitement de ces rejets s'avère indispensable afin de lutter contre leurs effets nocifs. Différentes techniques de traitement sont utilisées quelles soient biologiques (lagunage naturel ou aéré, boues activées ou lits bactériens), physico-chimiques (la coagulation-floculation, la précipitation ou l'oxydation) ou membranaires (l'osmose inverse, la nano filtration ou l'électrodialyse) **(Edeline, 1997, Degrémont, 2005)**.

Ce chapitre vise essentiellement à définir les divers procédés d'épuration des eaux usées. Le principe de fonctionnement, les avantages et les inconvénients de chaque procédé sont également illustrés.

I.2. Critères de choix du procédé d'épuration

Le choix du procédé d'épuration dépend de plusieurs facteurs, notamment :

- ❖ La nature des eaux usées (domestiques, industrielles, agricoles, etc.).
- ❖ La réglementation environnementale en vigueur.
- ❖ Les coûts d'installation et d'exploitation.
- ❖ L'efficacité des traitements disponibles.
- ❖ L'impact environnemental des rejets.

I.3. Les différentes étapes de prétraitement dans une station d'épuration des eaux usées

Selon la nature ou l'importance de la pollution, différents procédés peuvent être mis en œuvre pour l'épuration des rejets en fonction des caractéristiques spécifiques de ces derniers et du degré d'épuration désiré. Les eaux usées peuvent être traitées par divers procédés qui reposent sur des

processus (physique, chimiques et biologique). Le prétraitement vise à éliminer les gros déchets et particules solides susceptibles d'endommager les installations suivantes. Parmi Les méthodes de séparation les plus courantes sont : le dégrillage, le dessablage, le dégraissage également appelé déshuilage.

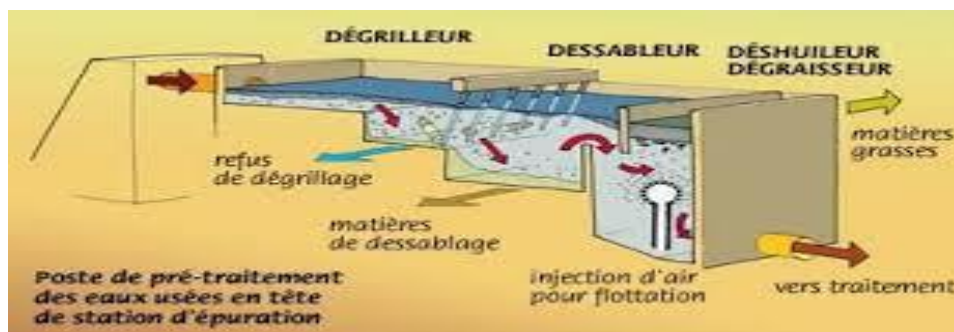


Figure I.1 : Les prétraitements

I.3.1. Dégrillage

Le dégrillage consiste à retenir les déchets solides (plastiques, papiers, bois, etc.). Il permet :

- De protéger des équipements électromécaniques et les ouvrages aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation,
 - De séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants, ou en compliquer l'exécution.
-
- ✓ L'eau brute passe à travers d'une grille composée de barreaux placés verticalement ou inclinés à un angle sur l'horizontale. La vitesse moyenne de passage entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s (*Gaïd, 2007*). Selon l'espacement entre les barreaux de la grille on distingue :
 - ✓ Un pré dégrillage: l'espacement des barreaux varie de 30 à 100mm.
 - ✓ Un dégrillage moyen: l'espacement des barreaux varie de 10 à 25mm.
 - ✓ Un dégrillage fin: l'espacement des barreaux varie de 3 à 10mm.



Figure I.2 : Dégrillage

Il existe différents types de grilles selon la conception des fabricants, la nature de l'effluent à traiter et le mode de nettoyage des grilles. On cite :

a) Grilles manuelles

Les grilles manuelles composées par de barreaux droits en acier. Elles peuvent être verticales mais le plus souvent inclinées de 60 à 80° sur l'horizontale. Dans les petites stations d'épuration rurales, les grilles sont quelquefois remplacées par des paniers perforés relevables, lorsque les collecteurs d'arrivée sont très enterrés (**Laurent, 1994**). Elles sont réservées à la petite station

b) Grilles mécaniques

Cette mécanisation est indispensable afin d'éviter un colmatage rapide des canalisations.

Elles se classe en deux catégories :

- Grille droite: elle est inclinées à 80° sur l'horizontale, et qui sont conçues avec différents dispositifs de nettoyage tels que : râteau alternatif à commande par crémaillère pour hauteur moyenne de relèvement des détrit, râteau ou 5 grappin alternatif, à commande par câbles. Permettant d'obtenir une grande hauteur de relèvement des détrit, brosses montées sur chaînes sans fin. pour dégrillage fin (**Laurent, 1994**).
- Grille courbes: Ce type de grille est très bien adapté aux stations de petite ou moyenne importance. Ces grilles très robustes sont installées sur des collecteurs peu enterrés, prévues pour des profondeurs d'installation inférieures à 2 m par rapport au sol, leur largeur peut atteindre jusqu'à 3 m

I.3.2. Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts intempestifs dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et éviter de surcharger les stades de traitement suivants.

Le dessablage s'effectue sur des particules de dimensions supérieures à 200 mm, la vitesse de sédimentation se calcule par la loi de Stokes (chute libre). La section du dessableur calculée de manière que la vitesse de l'eau ne descende pas au-dessous de 0,30 à 0,20 m/s, et éviter ainsi que les matières organiques se déposent en même temps que les sables (*Gaïd, 2007*).

Les types des dessableurs à prévoir pour obtenir une vitesse d'écoulement de 0,30 m/s sont :

- Les dessableurs couloirs, dont la vitesse d'écoulement est variable ou constante.
- Les dessableurs circulaires, à alimentation tangentielle ou à brassage mécanique ou à insufflation d'air.



Figure I.3 : Dessablage [STEP KOUININE]

Les dessableurs rectangulaires à insufflation d'air. L'insufflation de l'air provoque une rotation de liquide et crée une vitesse constante de balayage du fond, perpendiculaire à la vitesse du transit. (*Gaïd, 2007; Belahmadi M et Seddik O;2011*).

Le sable est extrait soit mécaniquement par raclage vers un poste de réception, puis repris par pompage, soit directement par pompe suceuse montée sur pont roulant.

I.3.3. Déshuilage-dégraissage

Les graisses et les huiles issues des industries de restauration, des garages et des chaussées sont susceptibles de gagner le réseau des eaux usées. Quelles que soient l'origine, organique ou minérale, elles constituent une charge qu'il est utile de réduire car elles présentent plusieurs inconvénients à différents niveaux (**Zeghoud M S; 2013**).

- Difficile à dégrader, elles diminuent le rendement de traitement biologique.
- Mauvaise sédimentation et envahissement des décanteurs.
- Risque de bouchage des canalisations et des pompes.

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent à séparer des produits de densité légèrement inférieure à l'eau, par effet de flottation, naturelle ou assistée (voir flottabilité et vitesse ascensionnelle), dans une enceinte liquide de volume suffisant.

I.4. Traitement primaire

Le traitement primaire vise à réduire la charge polluante avant le traitement biologique. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle (qui s'oppose à la décantation) (**Hadjou Belaid Z; 2013**).

I.4.1. Décantation primaire

La décantation primaire consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur, les matières solides se déposent dans le fond d'un ouvrage appelé décanteur pour former les boues primaire. Elle permet d'alléger les traitements biologiques et physico-chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension. La décantation primaire, élimine en moyenne jusqu'à 80% de MES et 30% à 40% de la DBO₅ (**Aouabed, 2009**).

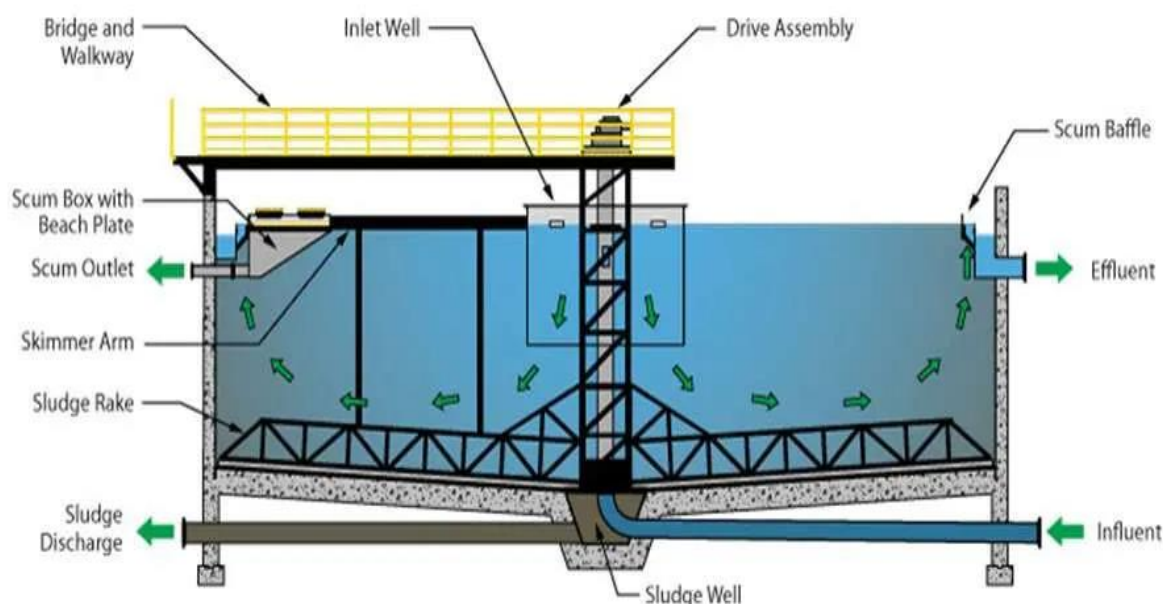


Figure I.4 : Décantation primaire

I.4.2. Traitement physico-chimique

Le traitement physico-chimique est la combinaison de deux étapes que l'on appelle la coagulation-floculation. Il s'agit d'une méthode classique pour séparer les matières en suspension dans les stations de traitement. Généralement, on associe un traitement physico-chimique à des procédés de décantation ou encore à de la filtration.

Un traitement physico-chimique est très efficace pour éliminer les matières en suspension (MES). Ce procédé permet aussi d'éliminer une partie du phosphore, de la DBO₅, la DCO, du COT (eau potable) et des métaux lourds. Les performances du traitement dépendent de plusieurs aspects et propriétés physico-chimiques des effluents. Par conséquent, des tests en laboratoire, appelés jar test, doivent être effectués pour déterminer:

- les produits chimiques les plus adaptés
- les doses optimales des produits chimiques
- le temps de contact optimal

Ce traitement utilise des coagulants et floculants pour agglomérer les particules fines et faciliter leur élimination (Degrémont, 2005).

I.5.Traitement biologique

Le traitement biologique est le processus le plus important dans la chaîne de traitement des eaux usées. Il a pour but d'éliminer les matières organiques biodégradables. La dégradation peut se réaliser par voie aérobie (en présence d'O₂) ou anaérobie (en l'absence d'O₂). Cette élimination est confiée à des micro-organismes utilisant les matières organiques comme nutriments. Plusieurs procédés existent à ce stade du traitement biologique parmi lesquels, on distingue les procédés biologiques extensifs et les procédés biologiques intensifs.

I.5.1.Procédés biologiques intensifs

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs. Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel (**Perera et Baudot, 1991**). Parmi ces procédés on distingue :

I.5.1.1.Procédé de lit bactérien

L'utilisation des lits bactériens en traitement des eaux usées est très ancienne, les premiers systèmes étant apparus en Grande-Bretagne il y a plus d'un siècle, le procédé a fait l'objet de nombreuses adaptations technologiques (**Alexandre et al., 1997**). Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs. Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement.

Un lit bactérien se présente comme une colonne circulaire pouvant atteindre 4 à 5 mètres de hauteur. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs.

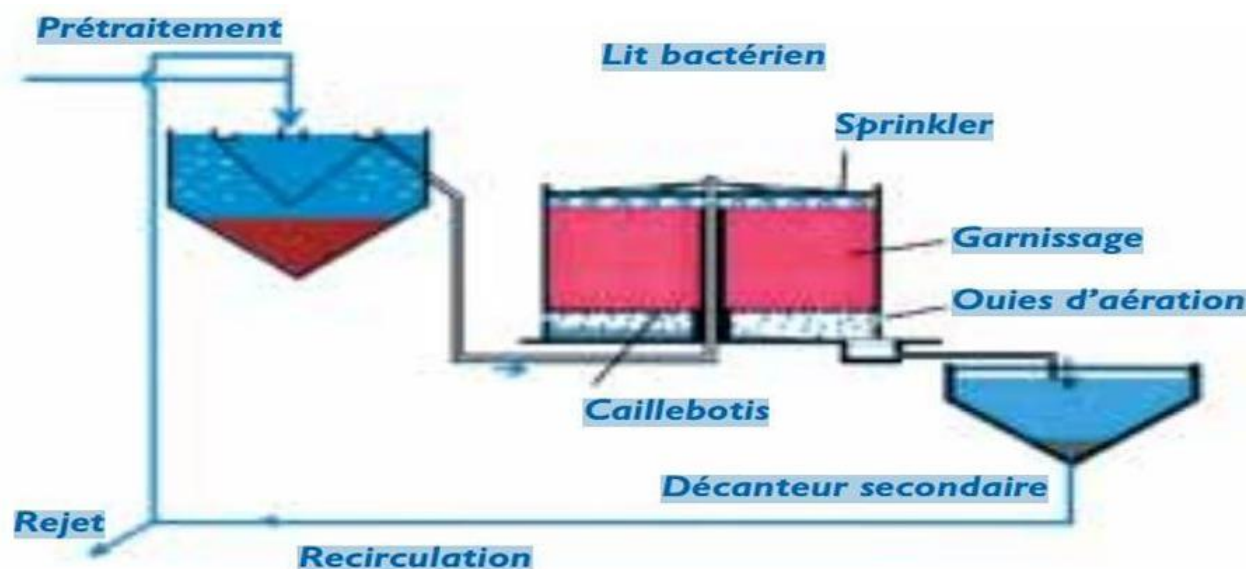


Figure I.5: Schéma du traitement biologique par lit bactériens

I.5.1.2. Procédé de disques biologiques

Les disques biologiques ou biodisques sont des disques enfilés parallèlement sur un axe horizontal tournant. Ces disques plongent dans une auge, où circule l'eau à épurer ayant subi une décantation, ils ont un diamètre de 1 à 3 m, sont espacés de 20 mm et tournent à une vitesse de 1 à 2 tr/mn. Ce procédé consiste à alimenter en eau, préalablement décantée, un ouvrage dans lequel des disques fixés sur un axe sont mis en rotation à vitesse lente. Sur ces disques biologiques en plastique se développe alors un film bactérien.

Lors de leur émergence, ces bactéries prélèvent l'oxygène nécessaire à leur respiration et lors de l'immersion, elles absorbent la pollution dissoute dont elles se nourrissent. Dès que le film biologique dépasse une épaisseur de quelques millimètres, il se détache et est entraîné vers le décanteur final où il est séparé de l'eau épurée. Les boues ainsi piégées sont renvoyées par pompage périodique vers l'ouvrage de tête pour y être stockées et digérées.

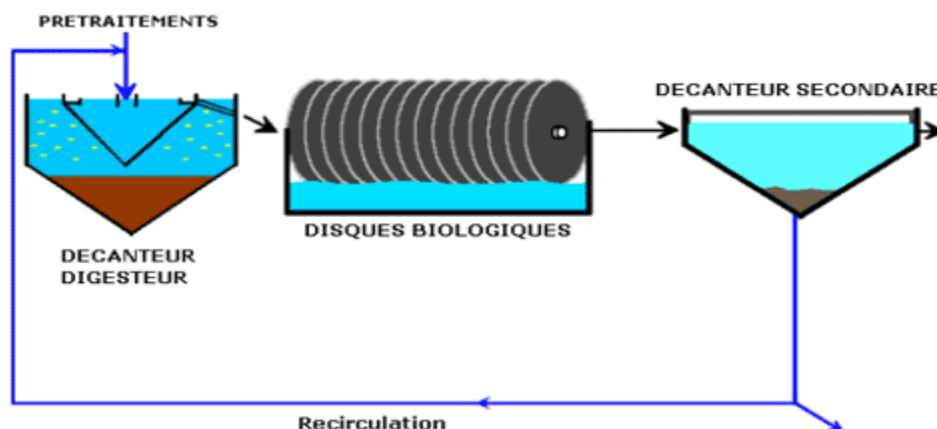


Figure I.6: Schéma du traitement biologique par disque biologique

I.5.1.3. Procédé de boues activées

Le principe des boues activées réside dans une intensification des processus d'autoépuration que l'on rencontre dans les milieux naturels. Le procédé à boues activées consiste donc à provoquer le développement d'un floc bactérien dans un bassin alimenté en eau usée à traiter (bassin d'activation). Afin d'éviter la décantation des floccs dans ce bassin, un brassage vigoureux est nécessaire. La prolifération des micro-organismes nécessite aussi une oxygénation suffisante. Le bassin d'activation peut être précédé d'un décanteur primaire dans le but d'éliminer les matières décantables et suivi d'un clarificateur pour la séparation de l'effluent épuré et des boues, une partie des boues est renvoyée dans l'aérateur pour le réensemencement permanent ou réinjectée en tête de station, l'autre en excès, est éliminée et doit faire l'objet d'un traitement séparé.

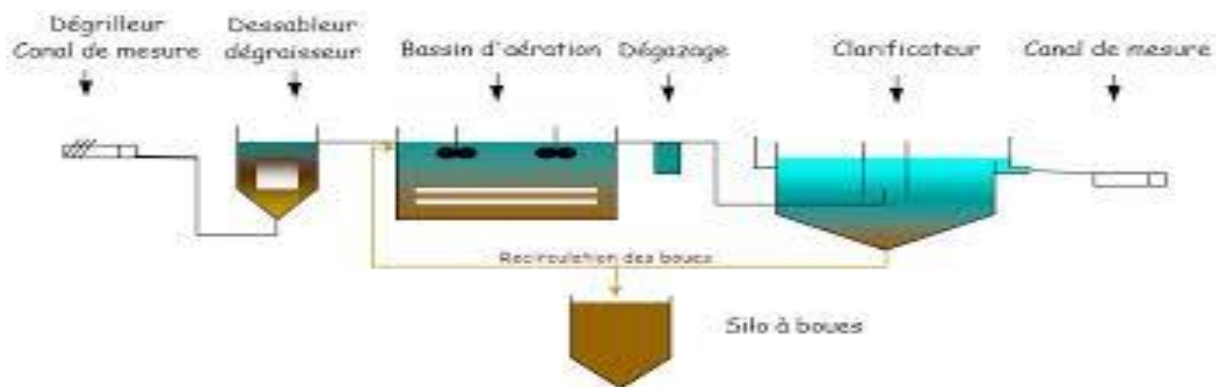


Figure I.7: Schéma du traitement biologique par boue activée

I.5.2. Procédés biologiques extensifs

Les procédés extensifs sont souvent préférés aux traitements conventionnels pour assurer l'épuration des eaux usées des petites et moyennes collectivités. La raison de cette préférence est leur fiabilité, la simplicité de leur gestion et la modestie des coûts de fonctionnement. Parmi ces procédés on distingue :

I.5.2.1. Procédé des filtres plantés de roseaux

Les filtres plantés de roseaux sont un procédé biologique à cultures fixées sur supports fins (gravier, sable), rapportés et alimentés à l'air libre. Ces filtres sont des excavations, étanchées du sol, remplies de couches successives de gravier ou de sable de granulométrie variable selon la qualité des eaux usées à traiter. Le principe repose sur le développement d'une biomasse aérobie fixée sur un sol reconstitué. L'oxygène est apporté par convection et diffusion.

Les roseaux (*Phragmites australis*) sont utilisés pour leur résistance et leur capacité à favoriser la filtration et l'épuration. Les filtres du premier étage reçoivent les eaux usées brutes et assurent une première filtration. Les filtres du second étage, principalement constitués de sable, complètent l'élimination des matières organiques et l'oxydation des composés azotés (Vymazal, 2005; Mimeche L; 2014). Les avantages et les inconvénients de ce procédé sont présentés sur le tableau I.1.

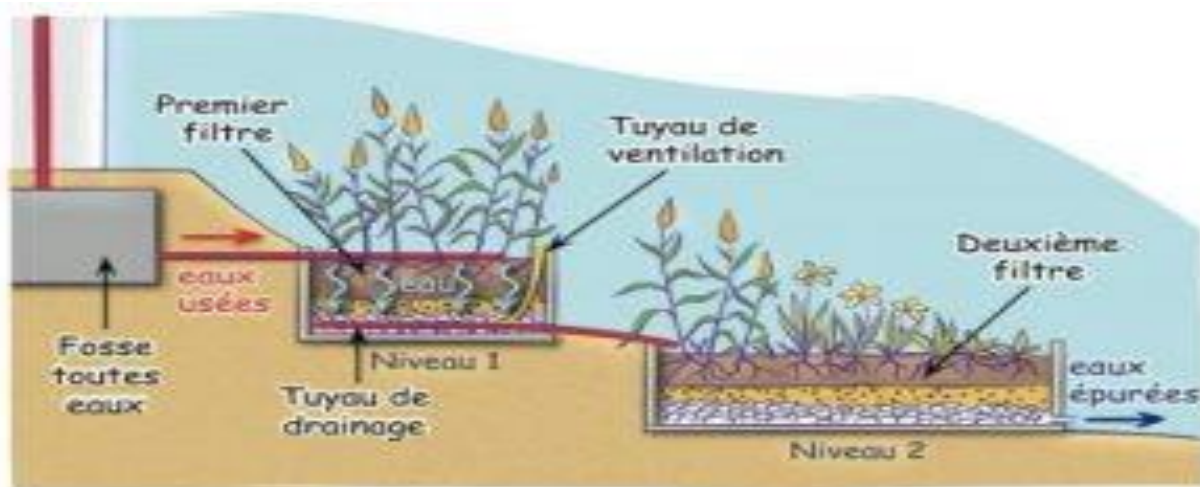


Figure I.8: Schéma du traitement des filtres plantés de roseaux

Tableau I.1: Avantages et inconvénients

Avantages	inconvénients
-Faible coût d'exploitation -Adapté aux variations saisonnières de population adaptée -Aucune consommation énergétique si la topographie	-Risque de présence d'insectes ou de rongeurs -Entretien régulier requis -Besoin d'un dessaleur sur réseau unitaire

I.5.2.2. Procédé des lits d'infiltration-percolation sur sable

Les lits d'infiltration-percolation sur sable d'eaux usées est un procédé d'épuration par filtration biologique aérobie sur un milieu granulaire fin. L'eau est successivement distribuée sur plusieurs unités d'infiltration (**Perera et Baudot, 1991**). L'infiltration-percolation consiste à infiltrer les eaux usées issues de traitements primaires ou secondaires dans des bassins de faible profondeur creusés dans le sol en place ou remplis de massifs sableux rapportés. Les matières en suspension sont arrêtées à la surface du massif filtrant, leur accumulation entraînant un colmatage qui doit être géré en alternant phases d'infiltrant et phases de séchage. L'épuration nécessite une infiltration en milieu poreux non saturé et le renouvellement de la phase gazeuse par l'air atmosphérique qui apporte l'oxygène indispensable à l'oxydation des matières organiques et de l'azote.

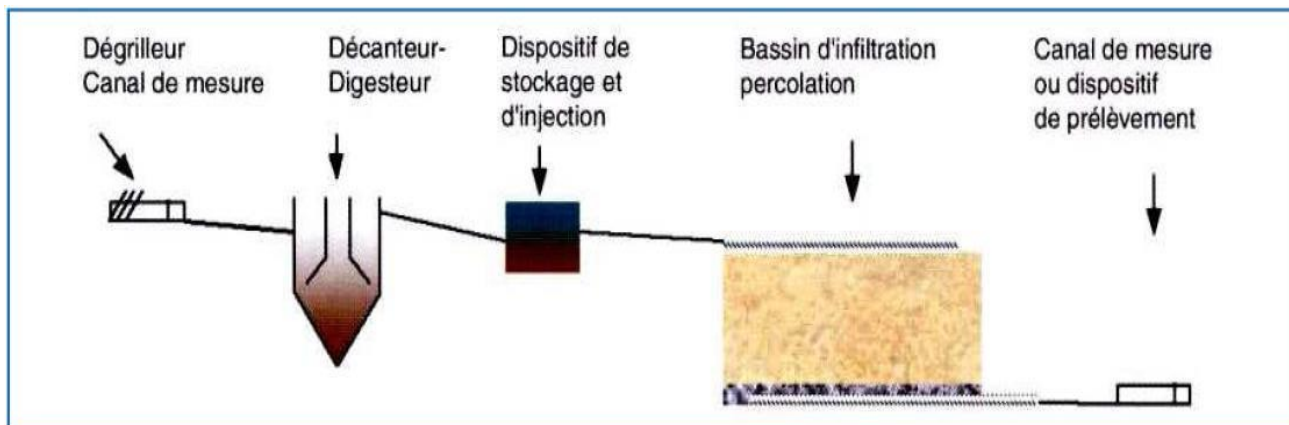


Figure I.9 : Schéma du traitement biologique par la filtration (percolation)

Les avantages et les inconvénients des lits d'infiltration percolation sur sable. En complément, il serait intéressant de préciser quelques points :

Avantages supplémentaires :

- ✓ Faible consommation énergétique (contrairement aux procédés nécessitant une aération forcée).
- ✓ Adapté aux petites collectivités et aux zones rurales.
- ✓ Bonne capacité d'élimination des pathogènes grâce à la filtration naturelle.

Inconvénients supplémentaires :

- ✓ Sensibilité aux conditions climatiques (gel en hiver, sécheresse pouvant affecter la percolation).
- ✓ Nécessité d'un suivi régulier pour éviter l'accumulation de biofilm et le colmatage.
- ✓ Besoin de renouvellement périodique du sable pour maintenir l'efficacité du traitement.

I.5.2.3. Procédé de lagunage

Le lagunage est un procédé de traitement biologique, en cultures libres. Les procédés par lagunage sont les méthodes de traitement les plus communes lorsque on dispose de grandes surfaces de terrain, et lorsqu'on ne désire pas assurer en permanence une haute qualité de l'effluent. Le lagunage est un procédé d'épuration qui consiste à faire circuler des effluents dans une série de bassins pendant un temps suffisamment long pour réaliser les processus naturels de l'autoépuration. Il est pratiqué dans les régions très ensoleillées, dans des bassins de faible profondeur. Le principe général consiste à recréer, dans des bassins, des chaînes alimentaires aquatiques. Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matières vivantes par les chaînes trophiques.

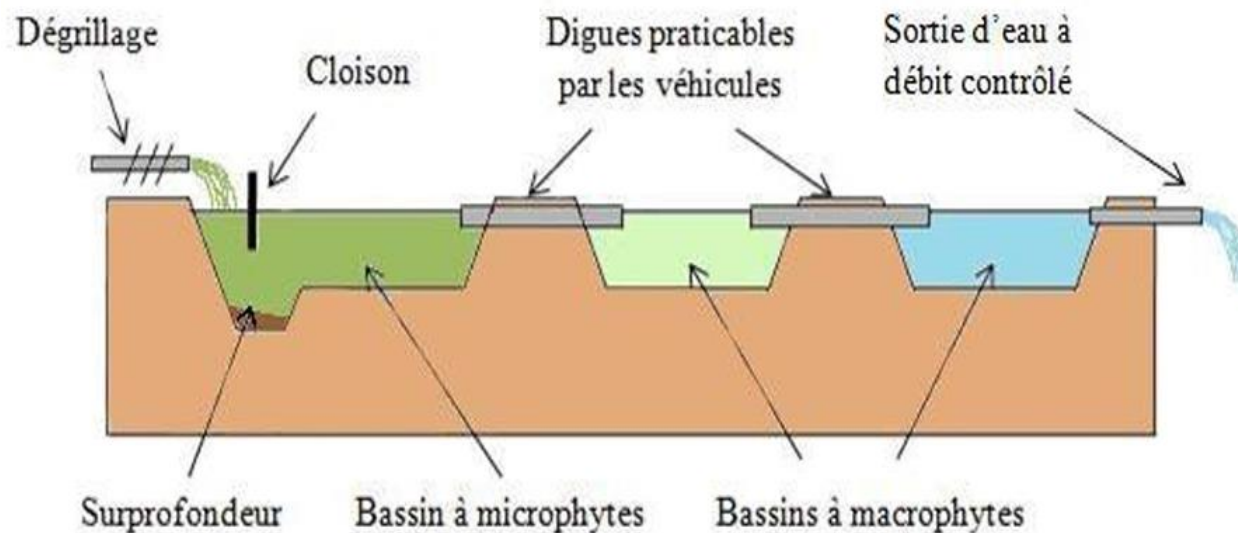


Figure I.10 : Schéma du traitement biologique par lagunage

Les substances nutritives sont apportées par l'effluent alors que les végétaux sont les producteurs du système en matière consommables et en oxygène. Les bactéries assurent la part prépondérante de l'épuration et la microfaune contribue à l'éclaircissement du milieu par ingestion directe des populations algales et des bactéries (**Dhaouadi, 2008**). Il y a plusieurs types de lagunage parmi lesquels on distingue :

a. Lagunage aéré

Le lagunage aéré est un procédé de traitement biologique principalement aérobie, en cultures libres qui se différencie des boues activées par l'absence de recirculation de la culture bactérienne séparée par décantation avant rejet des eaux traitées (**Alexandre et al., 1997**). En fournissant l'oxygène par un moyen mécanique (aérateurs de surface), on réduit les volumes nécessaires et on peut accroître la profondeur de la lagune. La concentration en bactéries est plus importante qu'en lagunage naturel (**Dhaouadi, 2008**).

b. Lagunage naturel

Le lagunage naturel est un procédé rustique de traitement des eaux usées domestiques. Les effluents sont dirigés dans des bassins étanches, à l'air libre (**Gaïd, 2007**). L'épuration par lagunage naturel repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en cultures libres et d'algues.

L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit uniquement grâce aux mécanismes photosynthétiques des végétaux en présence de rayonnements lumineux.

c. Avantages du lagunage

- ❖ Faible coût d'exploitation et d'entretien.
- ❖ Procédé naturel, écologique et durable.
- ❖ Bonne élimination des pathogènes et des matières organiques.
- ❖ Absence d'équipements électromécaniques complexes (dans le cas du lagunage naturel).

d. Inconvénients du lagunage

- ❖ Surface importante nécessaire, ce qui limite son usage en milieu urbain.
- ❖ Sensibilité aux variations climatiques (température, ensoleillement).
- ❖ Formation d'odeurs en cas de mauvaise gestion ou de surcharge organique.
- ❖ Risque de prolifération d'algues en excès pouvant perturber le traitement.

I.6. Décantation secondaire

La décantation secondaire est une étape essentielle dans le traitement des eaux usées, notamment dans les stations d'épuration utilisant des procédés biologiques comme les boues activées. Les objectifs de la décantation secondaire sont de:

- ❖ Séparer les boues biologiques de l'eau épurée avant rejet dans le milieu naturel.
- ❖ Réduire la charge en matières en suspension (MES) et améliorer la qualité de l'effluent final.
- ❖ Maintenir un équilibre dans le procédé biologique en renvoyant une partie des boues vers le bassin d'aération.

Les facteurs influençant l'efficacité de la décantation secondaire sont:

- ❖ La vitesse de sédimentation des boues (dépendante de leur structure et de la charge organique).
- ❖ Le dimensionnement et la conception des clarificateurs (temps de séjour, forme du bassin).

- ❖ L'entretien et la gestion des boues pour éviter tout colmatage ou phénomène de flottation indésirable.

I.7.Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire désigne une étape supplémentaire de traitement d'un effluent traité biologiquement, selon les utilisations prévues. Cette étape peut être conçue pour éliminer les éléments nutritifs (s'ils ne sont pas éliminés à l'étape du traitement secondaire), les organismes pathogènes, les composés non biodégradables, les métaux lourds, les solides dissous inorganiques restants et les solides en suspension. Certains rejets d'eaux traitées sont soumis à des réglementations spécifiques concernant l'élimination d'azote, de phosphore ou des germes pathogènes, qui nécessitent la mise en œuvre de traitements tertiaires. Il regroupe toutes les opérations physiques et chimiques qui complètent les traitements primaires et secondaires (Boumediene, 2013; Servais, 2006).

I.8.Traitement des boues

Les traitements biologiques ou physico-chimiques utilisés pour l'épuration des eaux résiduaires génèrent une production importante de boues diluées (> 99% d'eau) et contenant de la matière organique fermentescible. La filière de traitement des boues a pour deux principaux objectifs : stabilisation des matières organiques pour éviter toute fermentation incontrôlée qui entraînerait des nuisances olfactives ; élimination d'un maximum d'eau afin de diminuer les volumes de boues à évacuer (Metahri, 2012).

I.9. Conclusion

L'épuration des eaux usées est un processus essentiel pour réduire la pollution et protéger les écosystèmes aquatiques. Chaque étape du traitement joue un rôle fondamental dans l'élimination des contaminants, garantissant ainsi une eau traitée conforme aux normes environnementales et adaptée à une éventuelle réutilisation. L'amélioration continue des technologies de traitement permet de renforcer l'efficacité de ces procédés et de mieux répondre aux défis environnementaux actuels.

Chapitre II

L'épuration des eaux usées par le procédé de lagunage aéré

II.1. Introduction

Le lagunage est un procédé naturel d'épuration des eaux usées qui permet une séparation des éléments solides de la phase liquide par sédimentation, et une épuration biologique due essentiellement à l'action des bactéries. Le principe est de recréer des milieux ou des bassins « tampons » dans lesquels les eaux usées ou polluées vont transiter, avant d'être rejetées dans le milieu naturel. Les phénomènes d'auto-épuration des eaux (service écosystémique) se font ainsi dans ces bassins, de petite ou grande surface, préservant le reste du milieu naturel (lac, rivière) des conséquences néfastes des pollutions et des effets négatifs de certains phénomènes d'auto-épuration (la dégradation de la matière organique par les micro-organismes aérobies entraîne une chute du taux d'oxygène dissous pouvant asphyxier la macrofaune et la microflore aquatique).

II.2. Le lagunage naturel (aérobie)

II.2.1. Définition

Le lagunage naturel repose sur une culture bactérienne principalement de type aérobie. Celle-ci est ensuite séparée par un mécanisme de sédimentation. L'épuration est assurée par un long temps de séjour dans plusieurs bassins en série. Le mécanisme de base est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure est exposée à la lumière et cela permet l'apparition d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement des bactéries aérobies (Figure II.1).



Figure II.1: Lagunage naturel

II.2.2. Principe de fonctionnement

De façon générale, le mécanisme, sur lequel repose le lagunage, est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et au maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carboné formé par

les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier. Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques, également dénommées « plantes microphytes ». Ce cycle s'auto-entretient tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique. En fond de bassin, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau.

II.3. Définition du lagunage aéré

Le lagunage aéré est un procédé d'épuration qui repose sur la dégradation biologique des polluants grâce à l'action combinée de micro-organismes et d'un système d'aération artificielle. Le lagunage aéré (ou lagune aérée) est une technique d'épuration biologique par culture libre avec un apport artificiel d'oxygène. Un système d'aération artificielle est très souvent nécessaire pour permettre un apport en oxygène suffisant.

II.4. Principe de fonctionnement

Le lagunage aéré est une technique d'épuration biologique par culture libre avec un apport artificiel d'oxygène. Dans l'étage d'aération, les eaux usées sont dégradées par des micro-organismes qui consomment et assimilent les nutriments. Le principe de base est le même que celui des boues activées avec une densité de bactéries faible et l'absence de recirculation. L'oxygénation est assurée par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. La consommation électrique de chacun de ces deux procédés est similaire à celle d'une boue activée.

Dans l'étage de décantation, assuré principalement par une ou deux simples lagunes, les matières en suspensions (amas de micro-organismes et de particules piégées) s'agglomèrent lentement sous forme de boues. Ces dernières doivent être régulièrement extraites. Le curage est facilité en présence de deux bassins qu'il est possible de by-passer séparément.

La floculation des boues est peu prononcée (lagune de décantation à surdimensionnée). Cela conduit à prévoir des temps de séjour plus longs, plus favorables à une bonne adaptation du système aux variations de qualité de l'effluent à traiter.

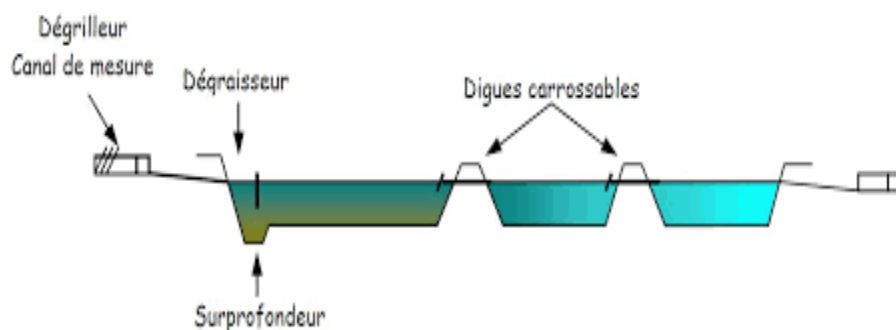


Figure II.2 :Schéma du lagunage aéré [<https://www.hqe.guidenr.fr/cible-5-hqe/lagunage.php>]

Ce procédé a un bon comportement vis-à-vis des effluents dilués ou si les débits ne sont pas bien écrêtés (Achouri, 2003). Il existe deux formes de lagunage aéré :

II.4.1. Lagunage aéré strictement aérobie :

Il faut une aération suffisante pour maintenir le bassin en aérobiose et l'ensemble des particules en suspension.

II.4.2. Lagunage anaérobie :

Il n'est applicable que sur des effluents très concentrés et, le plus souvent comme prétraitement avant un étage aérobie. Les temps de séjour sont souvent supérieurs à 50 jours. La profondeur du bassin doit être de l'ordre de 2.5 à 5 m. L'eau n'est ni aérée ni agitée ni chauffée. La dégradation anaérobie produit du CO₂ et du méthane. La couverture de ces lagunes et le traitement des gaz produits sont nécessaires vu les risques de nuisances élevés (odeurs).

II.5. Les facteurs intervenant dans l'épuration par lagunage aéré

II.5.1. Facteurs climatiques

Les facteurs climatiques jouent un rôle très important dans l'épuration par lagunage car cette technique de traitement est soumise à l'action des agents atmosphériques, qui influent directement sur la vitesse de dégradation de la charge organique et le développement bactérien (Dahou A et Brek A; 2013).

1. La température :

La température est un facteur très important aussi, elle agit directement sur la vitesse des réactions biologique. L'activité biologique du milieu est plus importante autant que la température augmente. L'optimum se situe autour de 25°C. Il y a une forte croissance algale au temps que la température de l'eau atteint 20°C. Des températures supérieures à 35°C entraînant une diminution de la vitesse de la photosynthèse. Par contre, l'activité bactérienne et corrélativement la demande en oxygène augmentent ; ce qui peut provoquer un passage vers l'anaérobiose .

2. Radiations solaires :

Elles constituent la principale source de chaleur dans la lagune en favorisent la dégradation de la matière organique. Ces radiations solaires sont indispensables à la photosynthèse. L'aération de surface joue un rôle minime dans la livraison d'oxygène aux organismes aérobies. La grosse part d'O₂ est fournie par les algues, qui ne peuvent produire de l'oxygène qu'en présence de lumière adéquate.

3. L'évaporation :

Dans la période estivale l'évaporation est très intense, elle peut diminuer le débit des effluents traités et peut augmenter la charge. Elle peut être néfaste et doit donc être prise en compte lors du dimensionnement de différents bassins.

4. Le vent :

Le vent est un facteur non négligeable, car il joue un rôle important dans la répartition de la température et de l'oxygène dissous dans la phase eau et évite ainsi la stratification. Il permet également le renouvellement de la pellicule d'air située immédiatement au dessus de la surface d'eau évaporant et collabore aux échanges d'azote sous forme de N₂ ou de NH₃. L'effet maximum du vent est obtenu quand il peut circuler sans rencontrer d'obstacle sur 100 m à 200 m. Ainsi, les petits bassins ont tendance à se stratifier davantage que les grands bassins.

II.5.2. Facteurs physiques

1. Nombre d'étangs

- ❖ Les micro-organismes (bactéries et algues) L'efficacité augmente avec le nombre d'étangs en série, jusqu'à quatre cellules.
- ❖ Pour les grandes installations, plusieurs séries d'étangs peuvent être mises en parallèle.

- ❖ Pour les petites stations, au moins deux étangs en série sont recommandés.
- ❖ Des murs rideaux peuvent être utilisés pour diviser les étangs et améliorer le rendement sans augmenter le temps de rétention.

2. Forme des bassins

- ❖ La forme doit être hydrodynamique pour faciliter la circulation et éviter les zones.
- ❖ Les bassins sont souvent construits en terre avec des berges en pente.
- ❖ Une bande de protection de 3 m est requise pour limiter l'érosion.
- ❖ La forme rectangulaire est souvent préférée, mais aucun critère standard de rapport longueur/largeur n'existe.

3. Profondeur des bassins

- ❖ La profondeur influence la pénétration de la lumière et la photosynthèse.
- ❖ Des profondeurs allant de 1,2 m à 6,1 m ont été utilisées selon les besoins.
- ❖ Une plus grande profondeur favorise :
 - L'apport d'oxygène.
 - Une décomposition anaérobie dans les couches inférieures.
 - Une zone de sédimentation à la base du bassin.

4. Temps de séjour

- ❖ Dépend de la température et de la saison (plus long en hiver).
- ❖ Un temps de séjour insuffisant entraîne un mauvais traitement et une concentration élevée en polluants à la sortie.
- ❖ Il doit être ajusté en fonction du débit de sortie et des pertes hydrauliques.

II.5.3. Facteurs chimiques influençant l'épuration par lagunage aéré

1. Le pH

- Un paramètre essentiel pour l'efficacité du traitement.
- Un milieu trop acide ou trop alcalin peut inhiber l'activité des micro-organismes.
- Une plage de pH appropriée doit être maintenue pour garantir une épuration optimale.

2. La charge organique

- Influence directement la capacité épuratoire du système.
- Doit être ajustée pour répondre aux besoins des micro-organismes sans surcharge ni déficit.
- Une surcharge organique peut entraîner un manque d'oxygène et la formation de conditions anaérobies.

3. La composition en sels minéraux

- Les sels minéraux sont indispensables pour la croissance des végétaux et des micro-organismes.
- Un équilibre est nécessaire :
- Une insuffisance peut limiter le développement des algues et bactéries utiles.
- Un excès peut entraîner des inhibitions et perturber le traitement.

II.5.4. Facteurs biologiques influençant l'épuration par lagunage aéré

Le lagunage repose sur des processus naturels où divers organismes interviennent dans le traitement des eaux usées.

- ✓ Les bactéries assurent la décomposition des matières organiques et leur transformation en éléments minéraux.
- ✓ Les algues jouent un rôle clé dans la production d'oxygène via la photosynthèse, favorisant ainsi l'activité des bactéries aérobies.
- ✓ La réoxygénation produit de l'oxygène par photosynthèse, essentiel aux bactéries aérobies.
- ✓ La minéralisation aide à transformer la matière organique en éléments minéraux assimilables.
- ✓ , invProduction d'une chaîne alimentaire serve de nourriture aux organismes supérieurs (zooplancton, invertébrés, etc.), favorisant un équilibre biologique.

II.6. Classification des lagunes

II.6.1. Classification selon les types de végétation

Les lagunes peuvent être classées en fonction de la présence et du type de végétation aquatique qui joue un rôle clé dans le traitement des eaux usées. On distingue :

a- Lagunes sans macrophytes

- Ne contiennent pas de grandes plantes aquatiques.
- Le traitement repose sur les bactéries et les algues qui assurent l'oxygénation et la dégradation de la matière organique.

b- Lagunes avec macrophytes flottants

- Présence de plantes flottantes comme la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) ou la lentille d'eau (*Lemna* spp.).
- Ces plantes absorbent les nutriments et contribuent à l'élimination des polluants.

c- Lagunes avec macrophytes enracinés

- Contiennent des plantes émergentes comme les roseaux (*Phragmites*), les scirpes (*Schoenoplectus*) ou les massettes (*Typha*).
- Ces plantes améliorent la filtration, favorisent la sédimentation des particules et stabilisent les berges.

II.6.2. Classification en fonction de l'environnement biologique

Cette classification repose sur les interactions entre les micro-organismes, les algues, les bactéries et d'autres organismes vivants. On distingue :

a- Lagunes à dominance bactérienne

- Principalement utilisées pour la décomposition de la matière organique.
- Les bactéries aérobies et anaérobies assurent l'épuration des eaux usées.

b- Lagunes à dominance algale

- Les algues jouent un rôle central dans la production d'oxygène par photosynthèse.
- Contribuent à la minéralisation des polluants et à la formation d'une chaîne alimentaire.

c- Lagunes à écosystème équilibré

- Comprennent une combinaison de bactéries, d'algues et d'autres organismes (zooplancton, invertébrés, poissons).
- Reproduisent un milieu naturel stable où la dégradation des polluants est optimisée.

II.7. Avantages et inconvénients du lagunage aéré

II.7.1. Avantages techniques

Ce procédé est particulièrement tolérant à de très nombreux facteurs qui engendrent, en général, de très sérieux dysfonctionnements dans les procédés d'épuration classiques. Les principaux avantages, tels que compilés par la littérature. Tous les types des lagunes aérées sont:

- ✓ Tolérant aux variations assez importantes de charge organique et/ou hydraulique ;
- ✓ Accepte les effluents très concentrés;
- ✓ Caractéristiques de construction sont simples;

- ✓ Accepte les effluents déséquilibrés en nutriments;
- ✓ Traitements conjoints d'effluents domestiques et industriels biodégradables ;
- ✓ Bonne intégration paysagère ;
- ✓ Boues stabilisées ;
- ✓ Fréquence de curage espacée (tous les deux à cinq ans);
- ✓ Exiger un la main-d'œuvre beaucoup moins qualifiée que les méthodes de traitement

II.7.2. Inconvénients techniques

Tout comme les lagunages aérés ont des avantages, comme tous les procédés d'épuration, ils ont aussi des inconvénients tels que compilés par la littérature Ceux-ci comprennent:

- ✓ Exigence de superficie plus grande que les systèmes classiques à boues activées;
- ✓ Haute concentration des matières en suspension s'il y'a aucune clarification finale ;
- ✓ Sensibilité de l'efficacité aux variations de température de l'air ambiant ;
- ✓ Faible qualité des effluents sans séparation des solides;
- ✓ Nécessite un agent spécialisé pour l'entretien du matériel électromécanique;
- ✓ Coût d'exploitation relativement élevé (forte consommation énergétique);
- ✓ Nuisances sonores liées à la présence de système d'aération;
- ✓ Difficulté de la modification du processus.

II.8 Contraintes d'exploitation

II.8.1. Maintenance des systèmes d'aération

La maintenance des systèmes d'aération est essentielle pour garantir un fonctionnement optimal des installations de traitement des eaux. Une aération efficace permet d'assurer une bonne oxygénation des bassins, favorisant ainsi l'activité biologique nécessaire à l'épuration des eaux.

II.8.2. Contraintes techniques

- ❖ Surveillance des équipements : Inspection régulière des aérateurs, des compresseurs et des diffuseurs pour éviter les pannes et les baisses de performance.
- ❖ Nettoyage et désembouage : Prévention de l'encrassement des diffuseurs pour maintenir une diffusion homogène de l'air.
- ❖ Vérification des paramètres de fonctionnement : Pression, débit d'air et taux d'oxygénation doivent être contrôlés pour assurer l'efficacité du système.

- ❖ Remplacement des pièces usées : Interventions préventives pour minimiser les interruptions non planifiées.

II.8.3. Contraintes économiques

- Consommation énergétique : Optimisation des cycles d'aération pour réduire les coûts d'électricité.
- Coût de maintenance : Planification des interventions pour minimiser les dépenses et éviter les réparations d'urgence.
- Durabilité des équipements : Investissement dans des technologies économes et résistantes pour prolonger la durée de vie des installations.

II.8.4. Contraintes environnementales

- Réduction des émissions sonores : Limitation des nuisances sonores liées au fonctionnement des aérateurs.
- Optimisation de l'oxygénation : Limiter la sur-aération qui peut entraîner des pertes énergétiques et une saturation inutile en oxygène.

II.9. Surveillance de la qualité des eaux traitées

Le suivi rigoureux de la qualité des eaux traitées est indispensable pour garantir la conformité aux normes environnementales et assurer la protection des milieux récepteurs.

II.9.1. Contraintes réglementaires

- Respect des normes en vigueur : Conformité aux exigences nationales et européennes sur la qualité des rejets.
- Fréquence des analyses : Réalisation de contrôles réguliers pour s'assurer de l'efficacité du traitement.
- Traçabilité des résultats : Archivage des analyses pour assurer un suivi et répondre aux exigences des autorités compétentes.

II.9.2. Contraintes opérationnelles

- Échantillonnage et analyses : Prélèvements périodiques aux différentes étapes du traitement et tests en laboratoire (pH, DBO5, DCO, MES, nitrates, phosphates, etc.).
- Maintenance des capteurs et sondes : Vérification et étalonnage régulier des instruments de mesure.

- Réactivité en cas de dérive : Mise en place de procédures correctives rapides en cas de non-conformité des résultats.

II.10. Conclusion

A partir d'une eau usée et grâce aux procédés de l'épuration, il est possible d'obtenir toute une gamme des eaux de qualités différentes. Il y a plusieurs procédés de traitements des eaux usées qui sont très différents au principe de fonctionnement, mais tout fait le même objectif de protéger le milieu récepteur par réduire les concentrations de toutes les charges polluantes, à des niveaux qui sont actuellement considérés comme non dangereux.

Le système d'épuration des eaux usées par lagunage aéré est d'une grande simplicité, lorsque les terrains nécessaires sont disponibles, l'établissement d'un ensemble des bassins de stabilisation présente des nombreux avantages, par rapport à une station conventionnelle, le processus biologique d'épuration par lagunage dépend de plusieurs facteurs (température, vent, éclairage,..., etc).

Partie expérimentale

Chapitre I

Présentation de la station d'épuration des eaux usées par lagunage aérée. Cas de la STEP Kouinine d'El Oued

Chapitre I : Présentation de la station d'épuration des eaux usées par lagunage aérée. Cas de la STEP Kouinine d'El Oued

I.1 Introduction

Le choix d'un système de traitement des eaux usées, pour des pays en voie de développement applique plusieurs critères. Le paramètre le plus essentiel reste le rendement épuratoire du système. Les objectifs du chapitre s'articulent autour de déterminer le pouvoir épurateur physico-chimique et biologique des eaux de la ville d'EL-Oued par la station d'épuration de Kouinine. Dans ce cadre, le chapitre présente la station d'épuration par lagunage aérée de Kouinine 01.

I.2. Présentation de la région d'étude

I.2.1. Situation géographique

La Zone d'étude se situe au Sud-Est de pays à une distance de 670 km de la capitale Alger. Elle est comprise entre 33° et 34° de latitude Nord et 6° et 8° de longitude Est. La région d'El-oued appartient au Sahara septentrional de l'Erg oriental. Elle est limitée par (Figure I.1):

- ✓ La wilaya de Biskra et Khenchela et Tébessa au Nord.
- ✓ La wilaya d'El M'Ghaire et Touggourt Nord-ouest.
- ✓ La wilaya d'Ouargla au Sud et au Sud-ouest.
- ✓ La frontière tunisienne à l'Est

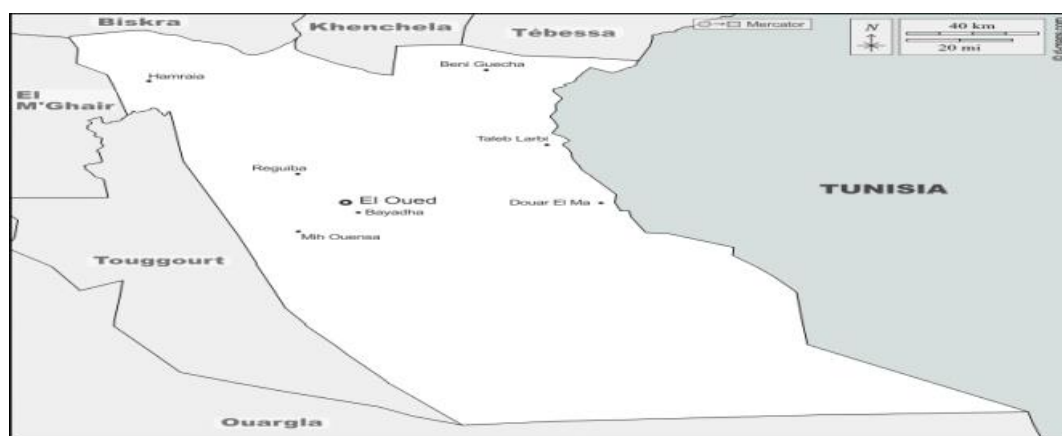


Figure I.1: Carte El Oued 2024

I.2.2. Situation géographique de la station d'épuration

Kouinine est la maire de l'une des municipalités qui appartiennent au groupe et de la vallée sera oasis, le désert au sud de l'Atlas et se situe sur une zone de 116 km². Elle est située au centre de la route nationale n°48, donc loin du siège du département d'état, environ sept kilomètres, elle est

Chapitre I : Présentation de la station d'épuration des eaux usées par lagunage aérée. Cas de la STEP Kouinine d'El Oued

située sur niveau de 97 m au-dessus de la mer ,et d'augmenter l'élévation vers le sud, tandis que la baisse dans le Nord (Figure I.2).

Kouinine est une municipalité située au Nord de la vallée, représente la gestion administrative de la vallée est leur localisation comme se suit:

- Au Nord: commune Taghzout.
- Au Sud: commune d'El-Oued et Sud l'Ouest Oued Alanda.
- Au l'Est: commune de Hassani Abed Alkarime.
- L'Ouest: commune Ouermase.

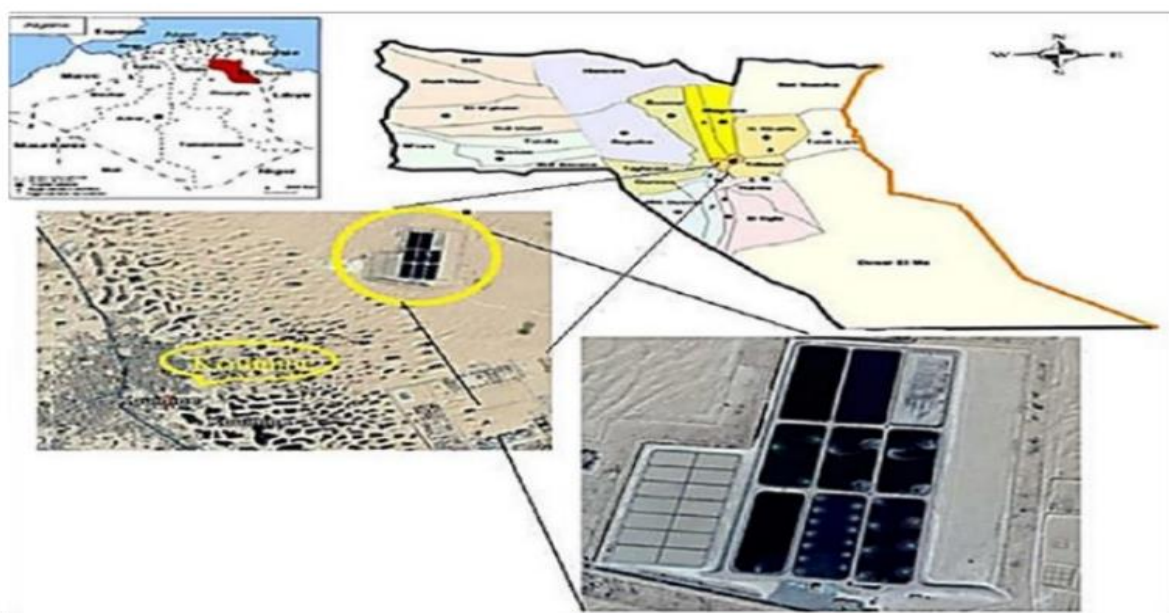


Figure I.2 : Carte de situation de STEP 01 Kouinine

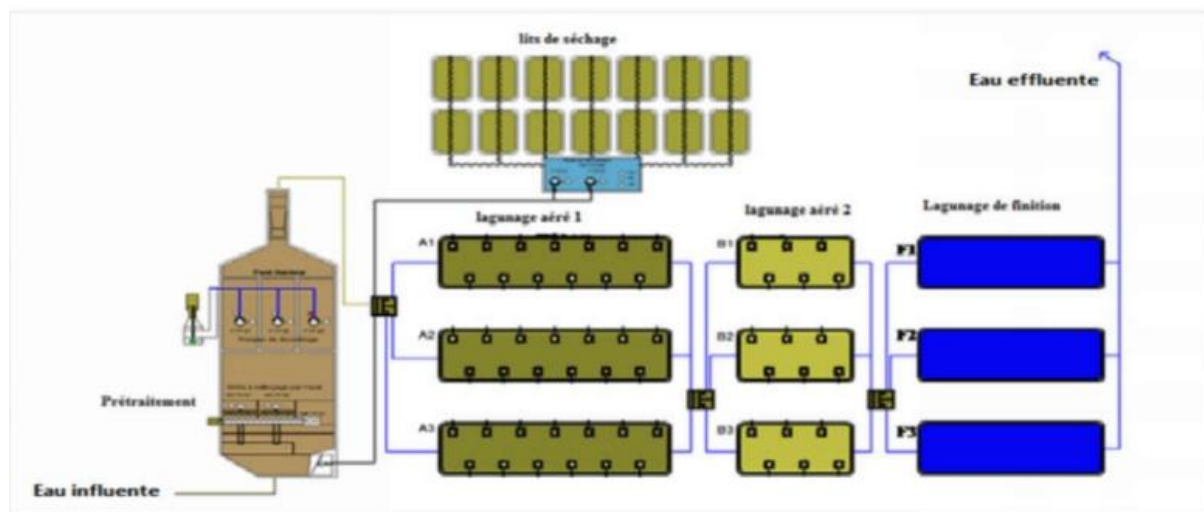
I.3. Description de STEP (Kouinine 01)

La station d'épuration des eaux usées Kouinine 01 à lagunage aéré est conçue pour desservir les communautés de : El-Oued, Bayadha , Kouinine , Ouermase , Trifaoui et Robbah. La population totale de ces communiantes actuellement d'environ 486170 habitants. La pleine capacité de la station d'épuration sera atteinte en 2030. Le processus de traitement des eaux usées se base sur des lagunes aérées, et comprend les étapes principales ci-dessous (Figure I.3):

- Prétraitement avec dégrillage et dessablage longitudinal.

Chapitre I : Présentation de la station d'épuration des eaux usées par lagunage aérée. Cas de la STEP Kouinine d'El Oued

- Bassins d'activation primaire (étape 1 avec 3 lagunes aérées parallèles).
- Bassins d'activation secondaire (étape 2 avec 3 lagunes aérées parallèles).
- Bassins de traitement d'affinage ou maturation (3 lagunes de post-traitement parallèles).
- Traitement de boues (14 lits de séchage des boues).



**Figure I.3 : Schéma représentatif des filières de lagunage aéré
dans la STEP Kouinine 01**

I.4. Les étapes de prétraitement dans la STEP

A partir du poste de relevage, les eaux brutes débouchent dans un canal regroupant le dégrillage et le dessablage. Le dégrillage permet de protéger les équipements électromécaniques, et de ne pas gêner le fonctionnement des étapes qui suivent du traitement.

I.4.1. Dégrillage

Construit en béton, avec deux chambres et dégrillage grossier dans le courant principal de l'eau usée ainsi qu'une chambre pour le by-pass de secours lors des pannes du dégrillage. Les eaux usées traversent une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, espacement entre barreaux 15 mm retiennent les éléments le plus grossiers. Après les grilles seront nettoyées par un système à racleur motorisé dont l'action automatisée est déclenchée par un capteur de niveau spécialement conçu qui surveille en permanence, la différence entre le niveau d'eau en amont et en aval sur la grille, une fois que les débris ont été recueillis et soulevés par le racleur, ils sont chargés dans une cuve horizontale, au moyen d'un transporteur à vis horizontal et sans arbre, ces débris sont ensuite déposés dans un conteneur à débris (Figure I.4).

Chapitre I : Présentation de la station d'épuration des eaux usées par lagunage aérée. Cas de la STEP Kouinine d'El Oued



Figure I.4 : Dégrillage.

I.4.2. Dessablage

Dans cette étape ; le sable contenu dans l'eau usée est décanté grâce à une réduction de la vitesse d'écoulement et grâce à la force gravitaire. Ces particules sont ensuite aspirées par un pont racleur avec 03 pompes à moteur submersibles puis envoyées vers le classificateur-à-sable pour séparer et éliminer les sables. (Figure I.5).



Figure I.5 : Dessablage

Chapitre I : Présentation de la station d'épuration des eaux usées par lagunage aérée. Cas de la STEP Kouinine d'El Oued

Le racleur aspirateur à sable est conçu comme pont en acier profilé avec deux châssis, trois pompes à sable suspendues au pont racleur, une potence et une installation de commande. Le clarificateur à sable est un appareil qui s'installe idéalement sur les purges de déssableurs en stations d'épuration. Il a pour but de séparer le mélange sable-eau.

I.5. Ouvrage de répartition :

Ils permettent de répartir les eaux usées vers les lagunes du premier étage. Sont disposés en tête de station en aval des ouvrages de prétraitement (Figure I.6). Cette répartition est assurée par six seuils déversant identiques de 1,50 m de largeur, munis de obstacles pour pouvoir au besoin mettre une lagune quelconque hors service (ONA, 2019).



Figure I.6 : Répartiteur vers les bassins d'aération

I.6. Système de mesure d'eau usée

La mesure du débit d'eau usée à la station d'épuration 01 est assurée par dans un canal de mesure du type Venturi. Il est conçu comme canal ouvert en plastique, installé sur la conduite d'évacuation en béton derrière le dessableur avec capteur à ultrasons et transducteur à ultrasons.



Figure I.7 : Salle d'échantillonnage

I.7. Traitement Biologique

A la suite de ces prétraitements, les eaux à traiter subissent un traitement biologique par le système de lagunage aéré. Cette étape est constituée de deux étages d'aération et d'un étage de finition.

a) Lagunes d'aération (première étape)

Les caractéristiques des lagunes sont:

- Bassin d'activation primaire: Consistant de 03 lagunes aérées (A1, A2, A3) d'une dimension de (232x91x3.5) et d'un volume d'eau 66471 mm^3 /lagune.
- Une réduction de pollution environ 80-70%, assurer par 13 aérateurs dans chaque lagune, et temps de 44369 m^3 /lagune.
- Une réduction de pollution environ 80-70%, assurer par 13 aérateurs dans chaque lagune et temps de séjour 6 jours.

Suite à l'alignement des vannes des conduites du répartiteur, l'eau usée à traiter biologiquement s'écoule par les conduites et répartie de manière homogène. Le traitement biologique d'eau

Chapitre I : Présentation de la station d'épuration des eaux usées par lagunage aérée. Cas de la STEP Kouinine d'El Oued

consiste des trois lagunes aérées (A1, A2, A3) de la même taille et conception. Pour assurer une réduction efficace de la pollution biologique (DBO) et chimique (DCO). A l'intervention des micro-organismes et l'oxygénation que fournir par 13 aérateurs dans chaque lagune, pour attendre dégradation de pollution organique entre 70-80 %. Selon le bilan global suivant :



Figure I.8 : Aérateur



Figure I.9 : Répartiteur vers les bassins d'aération

b) Lagunes d'aération (deuxième étape)

Les caractéristiques des lagunes sont:

Chapitre I : Présentation de la station d'épuration des eaux usées par lagunage aérée. Cas de la STEP Kouinine d'El Oued

- Bassin d'activation secondaire: Consistant des 03 lagunes aérées (B1, B2, B3) d' une dimension de (194x91x2.7) et volume d'eau 44369 m³/lagune.
- Une réduction de pollution environ 30- 20%, assurée par 06 aérateurs dans chaque lagune, et temps de séjour de 4jours.

Le fonctionnement de la deuxième étape d'aération est identique à la première. Mais pour la dégradation de la charge restante d'environ 20-30 % assuré par 6 pièces d'aérateurs ont été installées dans chaque lagune



Figure I.10: Répartiteur vers les bassins d'aération

I.8. Traitement complémentaire (lagune de finition)

Les caractéristiques des lagunes sont:

- Lagunes de finition : Consistant des 3 lagunes de finition (F1, F2, F3) d'une dimension de (254x91x1.5) et volume d'eau avec de volume 33270 m³/lagune et temps de séjour 3 jours. Ces lagunes ont été conçues et construites selon le même système que les lagunes aérées 1 et 2. Elles ont été construites pour améliorer la qualité de l'eau usée traitée biologiquement, en majeure partie des matières dégradables est retenue dans les lagunes de l'étape 1 et 2. Voilà pourquoi le dépôt des boues dans les lagunes de traitement de finition augmente juste lentement. Les écarts de temps jusqu'au raclage des boues peuvent ainsi être prolongés par rapport aux lagunes aérées. Selon une estimation approximative, on peut assurer une fréquence de raclage de 8-10 ans. L'eau usée clarifiée biologiquement est dirigée vers l'émissaire.



Figure I.11 : Lagune de finition

I.9. Décharge des boues consistante

- Lits de séchage des boues : 14 lits, conçues comme bâches terrestres avec revêtement en feuille, tuyaux de drainage pour la déshydratation et des rampes d'accès pour la décharge de la boue sèche. Les caractéristiques des lagunes sont :
- Traitement de boues : Consistants de 14 lits de séchage d'un volume $1156 \text{ m}^3/\text{lit}$ d'une Dimension de $(69.7 \times 39.6 \times 04)$. Le temps de séjour d'environ 15 – 18 jours.



Figure I.12: Lit de séchage des boues

I.10. Conclusion

L'exploitation d'une station d'épuration utilisant des procédés de traitement biologique extensifs, tels que les lagunes aérées, est essentielle à la gestion efficace des charges biodégradables. Ce système comprend plusieurs bassins de traitement où les bactéries jouent un rôle essentiel dans la dégradation de la matière organique. L'étape de prétraitement est essentielle pour éviter l'introduction de matières volumineuses susceptibles de perturber les processus biologiques. Après la phase d'aération, les lagunes de décantation réduisent encore davantage les polluants résiduels, garantissant ainsi le respect des normes environnementales.

La station Kouinine 01, fonctionne sur la base des procédés de traitement biologique extensif par lagunage aéré, elle est composée de 09 bassins de traitement dans lesquelles la charge biodégradable de l'effluent est détruite par voie bactérienne, En aval des lagunes d'aération se situent les deux lagunes de décantation, appelées aussi lagunes de finition, son rôle est de réduire à des teneurs très basses les polluants peu ou pas éliminés.

Chapitre II

Matériels et méthode

II.1. Introduction

L'échantillon d'eau usée à traiter doit être caractérisé pour le dimensionnement d'une installation et lors d'un suivi d'une station d'épuration par des analyses bien définies. C'est dans ce cadre qu'interviennent les différentes analyses qui vont permettre de déterminer les différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques qui nous permettront d'évaluer le niveau de pollution de la zone à étude. Nous allons dans ce chapitre citer les principales analyses faites sur les échantillons des eaux usées pour connaître les caractéristiques de ces eaux, et nous allons définir les différents appareils utilisés.

II.2. Détermination du pH et de la Température

La température de l'eau influence plusieurs processus biologiques et chimiques, tels que la solubilité de l'oxygène, la décomposition de la matière organique, et la prolifération d'algues ou de micro-organismes pathogènes. Le pH, quant à lui, reflète l'acidité ou la basicité de l'eau et est déterminé à l'aide d'un pH-mètre portable. Ces deux paramètres sont fondamentaux pour comprendre les conditions environnementales et les potentiels risques sanitaires.



Figure II.1: pH mètre

II.2. Détermination des matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) sont évaluées par filtration de l'échantillon, suivie d'une vaporisation à 105°C pendant deux heures. La pesée différentielle du filtre avant et après filtration permet de calculer la concentration des MES. Cette méthode est adaptée aux eaux à faible concentration en MES. Les étapes clés incluent :

- Mouiller le filtre avec de l'eau distillée
- Mettre le filtre pendant quelque minute dans l'étuve chauffée à 105°C préalablement
- Laisser refroidir les filtres dans dessiccateur quelque minute après l'étape précédente
- Peser le filtre sur la balance (soit P_0 en mg)
- Placer le filtre (la partie lisse en bas) dans la rampe de filtration et la connecter à pompe à vide.
- Filtrer un volume (V ml) de l'échantillon, puis rincer l'éprouvette graduée avec environ 20 ml d'eau distillée, et rincer les parois internes de l'entonnoir avec un autre volume de 20 ml d'eau distillée
- Retirer avec précaution de filtre de l'entonnoir à l'aide de pinces à extrémités plates. si nécessaire.
- Le filtre peut être pilé
- Placer le filtre dans l'étuve à (105 ± 2) °C pendant 2 heures
- Laisser s'équilibrer à température ambiante dans le dessiccateur sans le contaminer et le peser comme précédemment (soit P_i en mg).
- On calcule la teneur de la Matière En Suspension d'après l'expression :

$$\text{M.E.S} = (P_1 - P_0) / V \times 1000$$

Avec :

- ✓ P_0 : Poids de filtre vide.
- ✓ P_1 : Poids de filtre plein

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

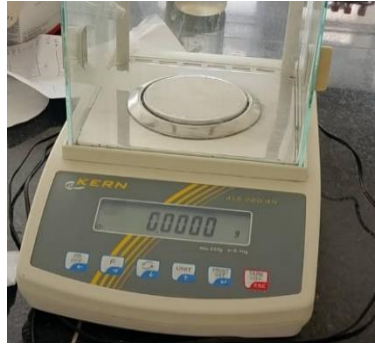


Figure II.2: Balance électricique



Figure II.3: Ensemble de filtration



Figure II.4 : Étuve chauffage (105c°)

II.3. Détermination de l'oxygène dissous

La concentration réelle en oxygène dépend de la température, de la pression de l'air, de la consommation d'oxygène due à des processus microbiologique de décomposition ou une production d'oxygène, par exemple, par les algues. Actuellement, la mesure électrochimique est la méthode reconnue par les différentes normes pour déterminer la concentration en oxygène des eaux.

- a. L'appareil utilisé:** Oxy-mètre
- b. Expression des résultants :** Le résultat est donné directement en mg/l.
- c. Mode opératoire**
 - Allumer l'oxymétrie

- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée
- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser
- Tremper l'électrode dans le bécher
- Laisser stabiliser un moment
- Lire la concentration de l'oxygène dissous
- Rincer bien l'électrode après chaque usage avec l'eau distillée.



Figure II.5: Oxymètre

II.4. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques et minérales dans l'eau. Il s'agit d'une oxydation chimique des matières réductrices contenues dans l'eau par excès de bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu acidifié par acide sulfurique (H_2SO_4), en présence de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) et de sulfate de mercure ($HgSO_4$).

1. Appareillages:

- Spectrophotomètre
- Réacteur (CR 2200)
- Adaptation de tube DCO sur Spectrophotomètre jaugée 2,00 ml Poire à pipete

2. Réactifs:

- ✓ Réactifs DCO (LCK 114) gamme (15 à 150 mg/l) pour les faibles concentrations.

3. Expression des résultats : Le résultat est donné directement en mg/l.

4. Mode opération:

- Agiter le tube à essai pour amener le résidu en suspension
- Ajouter 2 ml d'échantillon en tube de réactif DCO
- Boucher hermétiquement le tube avec le bouchon fileté
- Mélanger énergiquement le contenu de tube. Toujours saisir le tube par son bouchon
- Chauffer le tube pendant 120 minutes à 148°C dans le thermo réacteur portoir
- Retirer le tube brulant du thermo réacteur et le laisser refroidir dans un portoir
- Au but de 10 minutes, agiter le tube et le remettre dans le portoir jusqu'à refroidissement à température ambiante (temps de refroidissement au moins 30 minutes). Ne pas refroidir à l'eau froide
- Mesurer l'échantillon dans le photomètre (la valeur mesuré est longtemps stable).

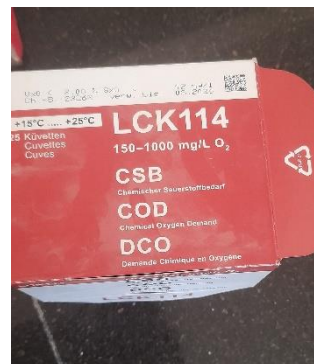


Figure II.6:Thermo-réacteur Figure II.7 : Spectrophotomètre Figure II.8: réactive DCO

II.5. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO₅)

L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermostat est mis sous incubation. On fait la lecture de la masse d'oxygène dissous, nécessaire aux micro-organismes pour la dégradation de la matière organique biodégradable en présence d'air pendant cinq (5) jours. Les micro-organismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacés en permanence par l'oxygène de l'air,

contenu dans le flacon provoquant une diminution de la pression au-dessus de l'échantillon. Cette dépression sera enregistrée par une OXI TOP.

1. Appareillages : Réfrigérateur conservant à une température de 20C°

- Flacons d'incubation à bouchons rodés de 510ml
- Barrou-magnétique
- Pastilles de KOH.

2. Expression des résultants : Lecteur de la valeur après 5 jours. $DBO5 \text{ (mg/l)} = \text{Lecteur} \times \text{Facteur}$.

3. Mode opératoire

- Mettre le Barreau magnétique dans la bouteille de DBO
 - Mettre le volume (V) dans la bouteille de DBO
 - Mettre le support d'alcalin (caoutchoute) sur la bouteille
 - Ajouté 3 ou 4 pastilles de KOH sur le support d'alcalin en évitant la chute d'une masse de KOH dans l'eau a analysée
 - Fermé bien la bouteille par DBO sensor.
 - Régler la DBO sensor à partir de la gamme;
 - Appuyer sur le bouton (A) et (B) au même temps pour changer le programme
 - Appuyer sur le bouton (A) pour réglé la gamme
- Appuyer sur bouton (B) pour enregistrer la valeur chaque jour pendant l'incubation



Figure II.9: DBO mètre (Oxitop)

II.6. Détermination des nitrites (NO_2^-)

1. Appareil

- Spectrophotomètre HACK
- Pipetes 2 ml

2. Réactifs

- Réactifs nitrite (LCK 341) gamme (2 à 20 mg/l) pour les faibles concentrations.

3. Mode opératoire

- Ouvrez le couvercle du couvercle du tube de réactif
- Ouvrez le couvercle du de réactif
- Ajouter 2 ml de l'échantillon
- Tournez le couvercle et fermer le tube de réactif
- Bien mélanger le tube de réactif
- Laisser reposer pendant 10 minutes
- En mettez tube de réactif dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat.

4. Expression des résultants : Les résultats sont donnés directement en mg/l.



Figure II.10: Spectrophotomètre



Figure II.11 : réactive NO_2^-

II.7.Détermination des nitrates (NO_3^+)

1. Appareil

- Spectrophotomètre HACK
- Pipette

2. Réactifs

- Réactifs nitrate (LCK 339) gamme (1 à 60 mg/l)

3. Expression des résultats : Les résultats sont donnés directement en mg/l.

4. Mode opératoire

- Ouvrez le couvercle du tube de réactif
- Ajouter 1 ml de l'échantillon
- Ajouter 0,2 de la solution A
- Fermer le tube de réactif
- Bien mélanger le tube de réactif
- Laisser reposer pendant 15 minutes
- En mettez tube de réactif à essai dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat



Figure 12: Spectrophotomètre



Figure 13 : Réactive NO_3

II.8. Détermination des phosphate PO_4^{+}

1. Appareil

- Spectrophotomètre HACK
- Pipettes 2

2. Réactifs

- Réactifs phosphate (LCK 348) gamme (1.5 à 15.0 mg/l) pour les faibles concentrations.
- Réactifs phosphate (LCK 350) gamme (6 à 60 mg/l) pour les fortes concentrations.

3. Expression des résultats : Les résultats sont donnés directement en mg/l.

4. Mode opératoire (pour les faibles concentrations)

- Ouvrez le couvercle du tube de réactif
- Ouvrez le couvercle du tube de réactif
- Ajouter 0.5ml de l'échantillon
- Tournez le couvercle et fermer le tube de réactif
- Bien mélanger le tube de réactif
- Laisser reposer pendant 15 min, puis le mettre dans le thermo-réacteur à 100°C pendant 1 heure
- En sortez le tube à essai de la machine, puis le laisser refroidir
- Bien mélanger le tube de réactif
- En ajoute 0.2 ml de solution B dans le tube de réactif
- Ajoute 1 capsule C dans le tube de réactif
- Bien mélanger le tube de réactif
- Laisser reposer pendant 10 minutes
- En mettez tube à essai dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat.

5. Mode opératoire (pour les fortes concentrations)

- Ouvrez le couvercle du tube de réactif
- Ouvrez le couvercle du tube de réactif
- Ajouter 0.4ml de l'échantillon

- Tournez le couvercle et fermer le tube de réactif
- Bien mélanger le tube de réactif
- Laisser reposer pendant 15 min, puis le mettre dans le thermo-réacteur à 100°C pendant 1 heure
- En sortez le tube à essai de la machine, puis le laisser refroidir
- Bien mélanger le tube de réactif
- En ajoute 0.5 ml de solution B dans le tube de réactif
- Ajoute 1 capsule C dans le tube de réactif
- Bien mélanger le tube de réactif
- Laisser reposer pendant 10 minutes
- En mettez tube à essai dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat.

II.9. Détermination des phosphate total PT

1. Appareil

- Spectrophotomètre HACK
- Pipettes 2

2. Réactifs

- Réactifs phosphate (LCK 348) gamme (1.5 à 15.0 mg/l) pour les faibles concentrations.
- Réactifs phosphate (LCK 350) gamme (6 à 60 mg/l) pour les fortes concentrations.

3. Expression des résultats : Les résultats sont donnés directement en mg/l.

4. Mode opératoire (pour les faibles concentrations)

- Ouvrez le couvercle du tube de réactif
- Ajouter 0.5ml de l'échantillon
- En ajoute 0.2 ml de solution B dans le tube de réactif
- Ajoute 1 capsule C dans le tube de réactif
- Bien mélanger le tube de réactif
- Laisser reposer pendant 10 minutes

- En mettez tube à essai dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat.

5. Mode opératoire (pour les fortes concentrations)

- Ouvrez le couvercle du tube de réactif
- Ajouter 0.4ml de l'échantillon
- En ajoute 0.5 ml de solution B dans le tube de réactif
- Ajoute 1 capsule C dans le tube de réactif
- Bien mélanger le tube de réactif
- Laisser reposer pendant 10 minutes
- En mettez tube à essai dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat.



Figure II .14: Réactive PT



Figure II.15 : Réactive PT

II.10. Prélèvement des eaux usées

L'échantillonnage est une étape critique pour garantir la représentativité des résultats. Les flacons en plastique doivent être préalablement rincés avec l'eau à analyser pour éviter toute contamination. Les échantillons doivent être homogènes et conservés dans des conditions préservant leurs propriétés physico-chimiques (gaz dissous, matières en suspension, etc.) (Rodier, 2005).

II. 11. Conclusion

Ce chapitre a présenté les principales méthodes d'analyse physico-chimique des eaux usées, essentielles pour évaluer leur qualité et optimiser leur traitement. Les protocoles décrits, allant de la mesure du pH et des matières en suspension à la détermination de la DCO et de la DBO₅,

reposent sur des techniques standardisées et des appareils de laboratoire précis (pH-mètre, spectrophotomètre, oxymètre, etc.). Ces analyses permettent de caractériser la pollution organique, minérale et bactériologique, fournissant ainsi des données indispensables pour (Le dimensionnement des stations d'épuration ; Le suivi des performances de traitement ; La conformité aux normes environnementales).

Chapitre III

Performance de la STEP Kouinine 1 à épurer les eaux usées

III.1. Introduction

L'analyse expérimentale permet d'identifier, et d'évaluer les différents paramètres de pollution d'une eau usée, contrairement à la théorie qui a tendance à généraliser les problèmes. Les prélèvements sont réalisés au niveau des ouvrages de la station à l'entrée et à la sortie de la station, les paramètres que nous avons suivis sont : T°, pH, DBO₅, DCO, O₂, MES, Turbidité, Azote ammoniacal. Dans ce chapitre nous allons examiner le pouvoir épuratoire de la STEP Kouinine 1 et de suivre l'efficacité d'élimination de différents paramètres de pollution (charge organique, oxygène dissous, conductivité ..., etc.) à la sortie de la station.

III.2. Évolution de la température

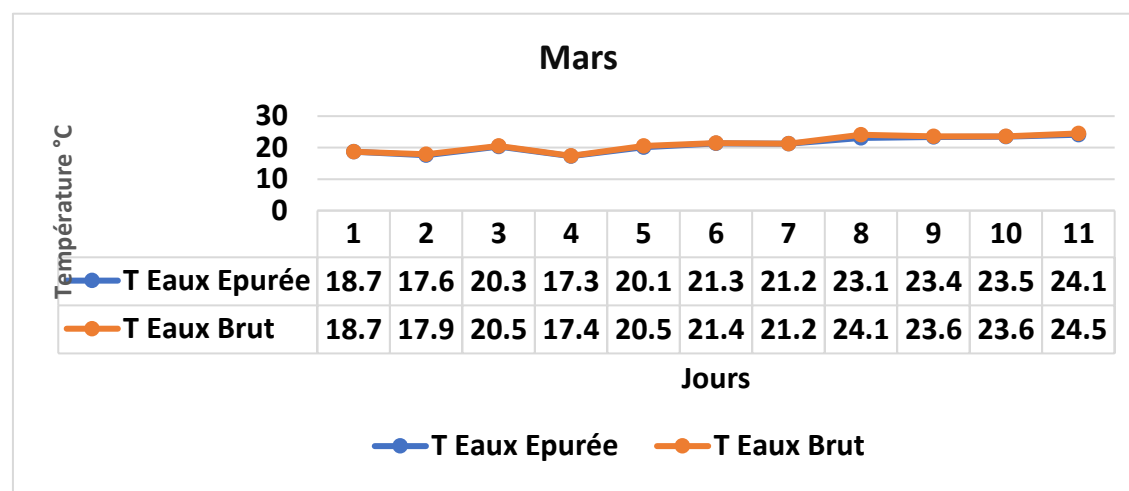
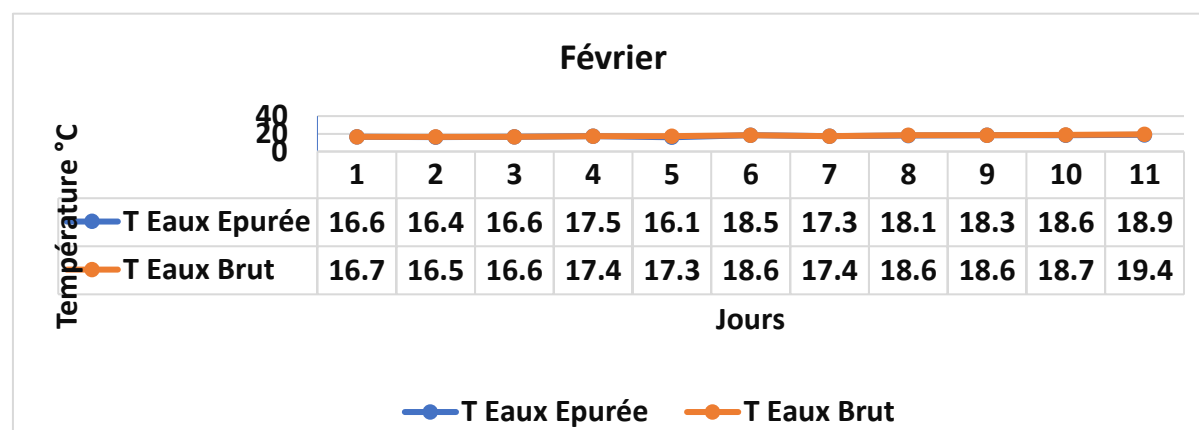
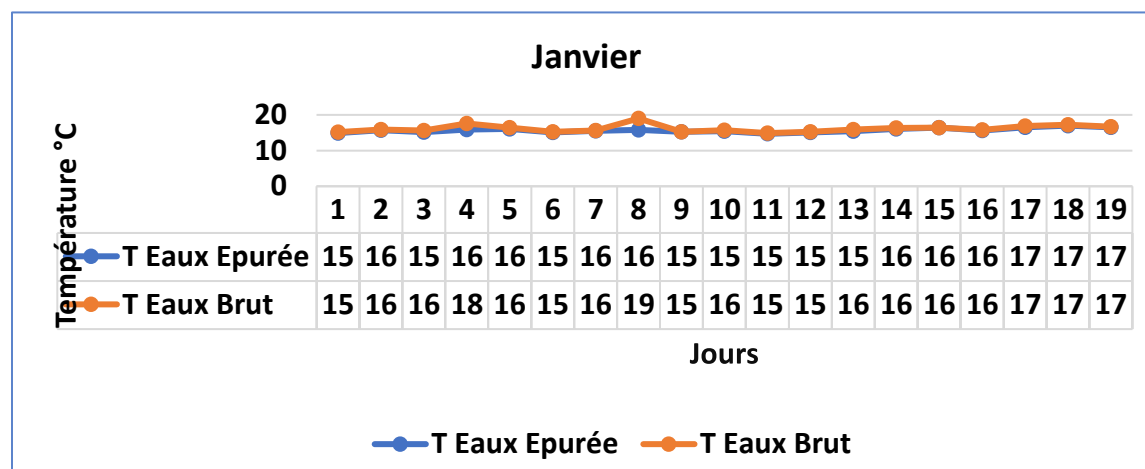
Le tableau III.1 récapitule tous résultats de la moyenne journalière de tous paramètres testés à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Tableau III.1: La moyenne journalière de l'eau brute et traitée durant chaque mois de prélèvement

	Janvier 2025		Fevrier 2025		Mars 2025		Avril 2025		Norme
	Brute	Epurée	Brute	Epurée	Brute	Epurée	Brute	Epurée	
T C°	19,05	15,27	18,16	17,54	21,35	21,12	24,37	24,13	30
pH	8,04	8,23	8	8,22	8,09	8,26	8,86	7,83	7
CE ms/cm	4,94	4,98	4,9	4,95	4,88	5,01	5,42	5,56	5
O₂ mg/l	0,675	4,95	0,63	4,64	0,48	4,59	0,684	4,18	5
MES mg/l	165	43,33	194,33	29,4	195,67	34	182,67	39,67	40
DBO₅ mg/l	356,67	82,67	360	90,67	296,67	95,33	323,33	84,33	40
DCO mg/l			519,67	183,67	487	181,33	612,67	182,33	100
NH⁺₄ mg/l			180	170	184	169	173	148	40
NO₂ mg/l			0,178	0,185	0,135	0,119	0,283	0,109	
NO⁺₃ mg/l			0,925	0,975	0,767	0,841	0,803	1,29	
PT mg/l			12,1	10,1	12,7	8,43	10,6	7,29	10
PO⁻³₄ mg/l			5,79	4,74	5,63	5,05	6,38	3,12	2

Chapitre III: Performance de la STEP Kouinine 1 à épurer les eaux usées

La figure III.1 représente l'évolution journalière des températures de la station pour la période d'étude les 04 mois (Janvier, février, mars et avril) de l'année 2025.



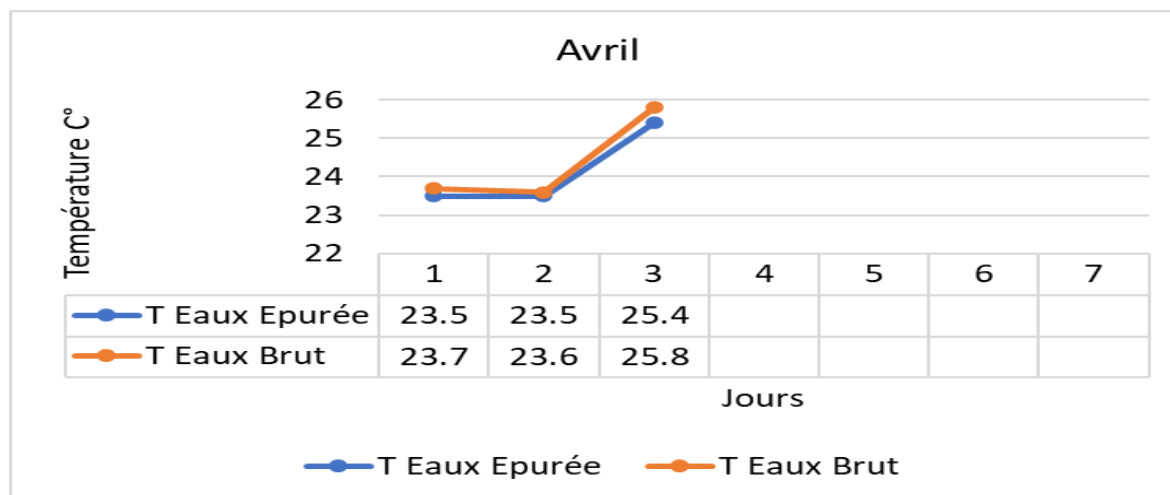
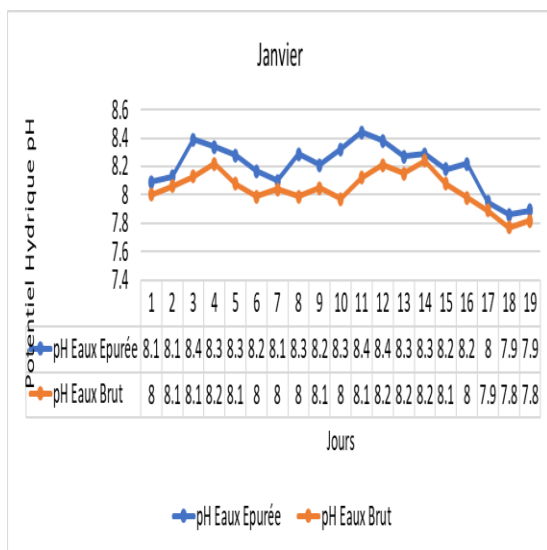


Figure III.1: Variation de la température journalière dans les eaux usées brutes et épurées Pendant les 04 mois (Janvier, février, mars et avril) de l'étude.

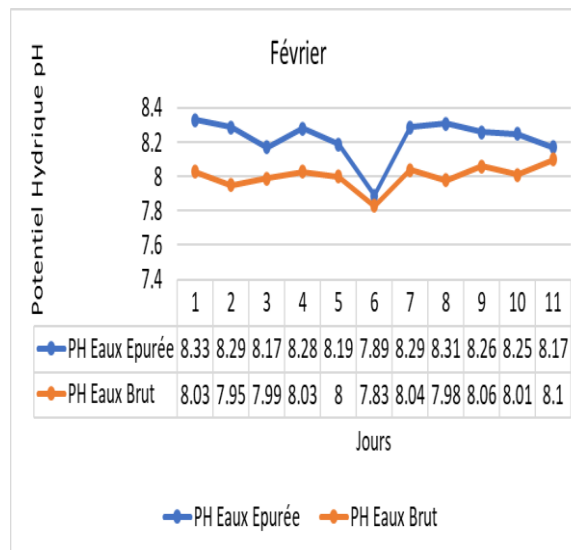
Nous observons des courbes que la température des eaux épurées ne dépasse pas la norme qui est de 30°C. Les températures moyennes enregistrées étaient de 15.27 à 24.30 °C pour les 3 mois. Nous signalons que pendant le mois d'avril , nous avons effectué uniquement 3 prélèvement

III.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

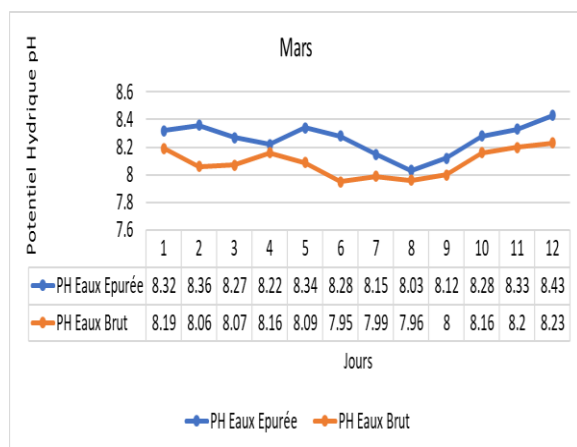
Le pH sert à quantifier la concentration en ions H^+ de l'eau qui lui confère son caractère acide ou basique. Cette mesure peut apporter des renseignements sur la qualité d'une eau. En général, l'activité biologique se situe entre 6,5 et 8,5 unités de pH. En dehors de cette intervalle, le pH affecte la vie aquatique et par conséquent influence l'auto-épuration du milieu naturel.



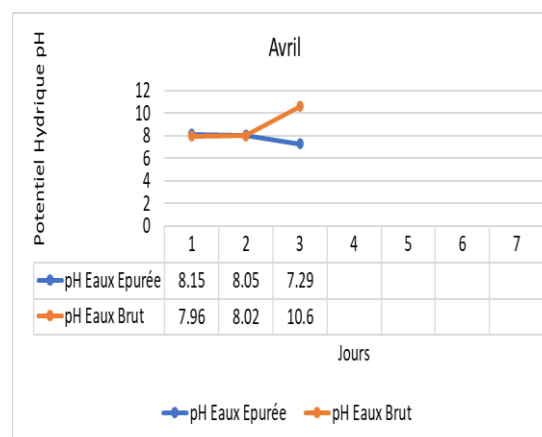
(a) Janvier



(b) Février



(C) Mars



(D) Avril

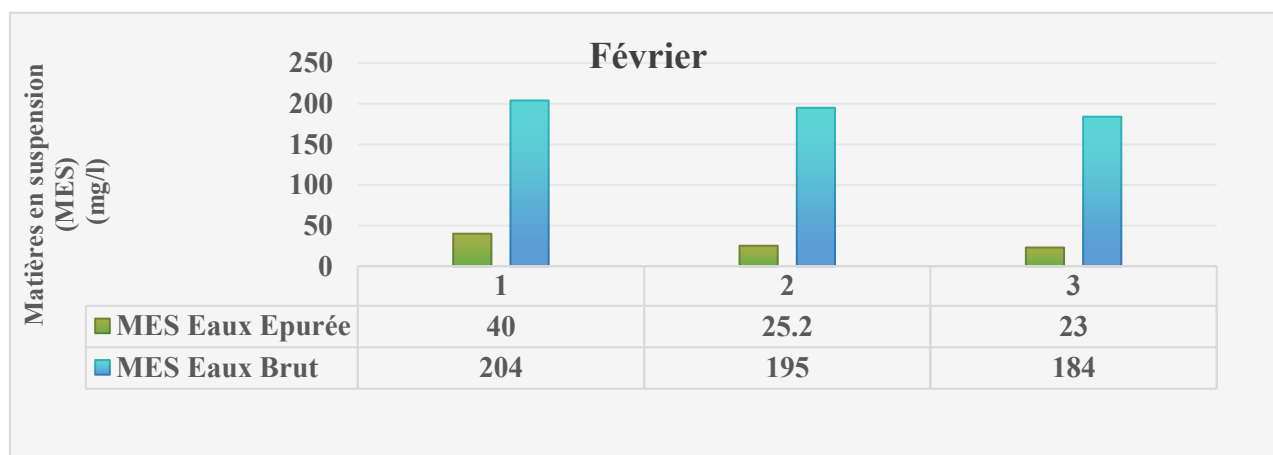
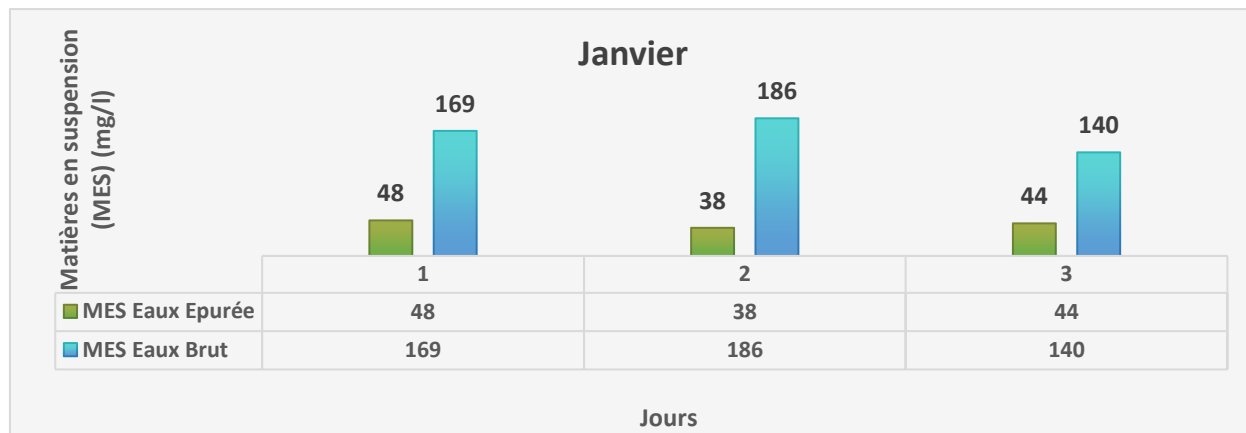
Figure III.2 (a,b,c et d): Variation du pH à l'entrée et à la sortie de la STEP

Durant notre période d'étude les pH varient pour les eaux brutes entre .8.00 à 8.86, Alors que pour les eaux épurées, le pH varie entre 7.83 à 8.26 . Nos résultats sont conformes aux normes.

III.3.Les matières en suspension (MES)

A partir des histogrammes présentés dans la figure III.3, nous remarquons pour les deux eaux brutes et épurées pendant les trois mois (J, F, M et A), une diminution importante des MES a été obtenu durant le deuxième prélèvement pour les trois mois. les résultats oscillent autour de 33.0,

25.2, et 38 mg/l pour les eaux épurées. Ces valeurs sont conformes aux normes algériennes de rejets des eaux usées dans la nature qui sont de l'ordre de 30 mg/l à 40 mg/l.



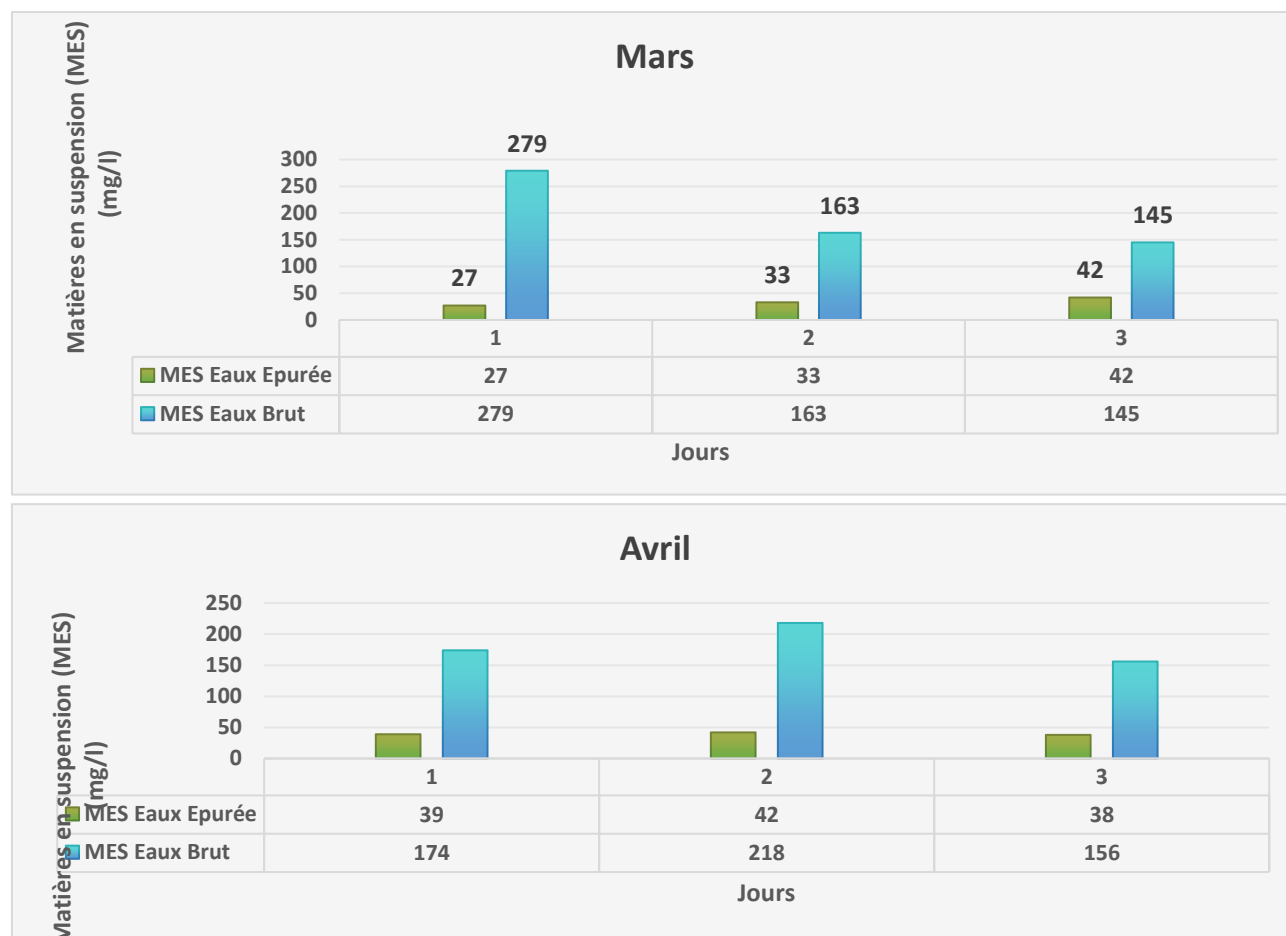


Figure III.3 (a, b, c et d) : Teneurs des MES à l'entrée et à la sortie de la STEP durant les 04 mois (J, F,M et A)

III.4. La conductivité électrique (CE)

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre son évolution. La figure III.4 ci-dessous représente les variations des valeurs journalières de la conductivité électrique dans les eaux brutes et traitées dans la station d'épuration étudiée durant la période de prélèvement.



Figure III.4 (a,b,c et d): Variation journalière de la conductivité électrique durant les 4 mois de l'étude

Les valeurs de la conductivité varient durant les mois comme suit :

- Janvier : entre 5.0 et 4.9 ms/cm dans les eaux brutes et entre 5.2 et 4.9 ms/cm dans les eaux épurées
- □ Février : entre 4.89 à 4.86 ms/cm dans les eaux brutes et entre 4.96 à 4.8 ms/cm dans les eaux épurées
- □ Mars : entre 4.88 et 5.48 ms/cm dans les eaux brutes et entre 4.93 et 5.63 ms/cm dans les eaux épurées
- Avril: entre 5.42 et 5.39 ms/cm dans les eaux brutes et entre 5.49 et 5.51 ms/cm dans les eaux épurées

Nous pouvons constater que les effluents pendant les différents prélèvements présentent des conductivités voisines avec une très légère augmentation par rapport à l'eau brute et que ces valeurs sont dans l'ensemble proche de la norme.

III.5. La demande chimique en oxygène DCO

Les résultats des moyennes mensuelles de la concentration de la DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP sont illustrés sur la figure III.5. Ainsi et comme l'illustre le tableau III.2 les meilleurs rendements sont enregistrés au mois d'avril avec un abattement de la DCO de l'ordre de 70.24% par rapports aux autres mois dont le rendement variant de 62.76 % à 64.66%.

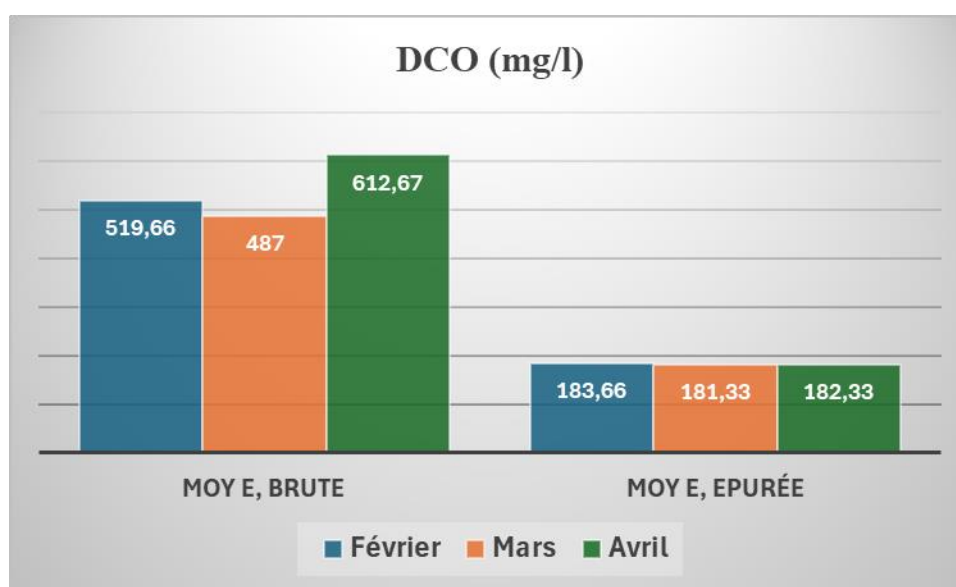


Figure III.5: Variation de la concentration moyenne mensuelle de la DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP

Tableau III.2: L'abattement de la DCO pour les eaux brutes et épurées

Mois	DCO (mg/l) Moy Eau (Brute)	DCO(mg/l) Moy (Eau épurée)	Rendement D'élimination de la DCO %

Février	519.66	183.66	64.66%
Mars	487.00	181.33	62.76%
Avril	612.67	182.33	70.24%

III.6. L'abattement de la DBO₅ à la sortie de la STEP

Les résultats présentés sur la figure III.6 montrent que la concentration de la DBO₅ durant les 04 mois des eaux épurée dépassent la norme 40mg/l. Malgré que les rendements d'élimination de DBO₅ variant de 50% à 75%.

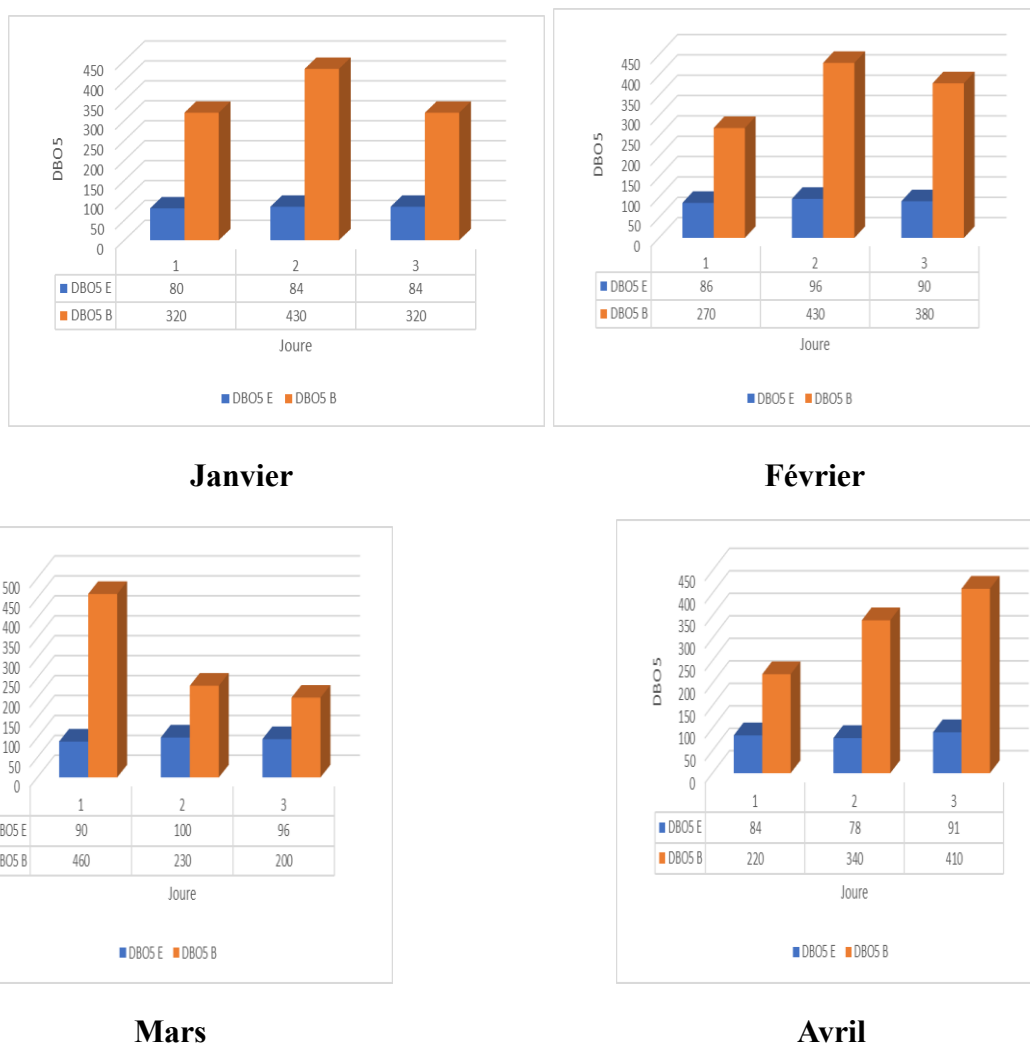


Figure III.6: Variation de concentration en DBO₅ pour les prélèvements effectués pendant 4 mois

III.6. L'oxygène (O₂)

La figure III.7 ci-dessous montre les variations des teneurs moyennes mensuelles de l'oxygène dissous à l'entrée et à la sortie de la station Kouinine 1 durant la période d'étude. Les résultats de le teneur de l'oxygène dissous dans les eaux épurées sont nettement supérieures à celles des eaux brutes et ceci pour l'ensemble des prélèvements de chaque mois. L'augmentation de l'oxygène dissous indique le bon fonctionnement des aérateurs dans les bassins de lagunage de la station et ainsi les bactéries épuratrices trouvent un milieu bien aéré et favorable pour leur croissance ce qui conduit à une bonne épuration biologique des eaux usées.

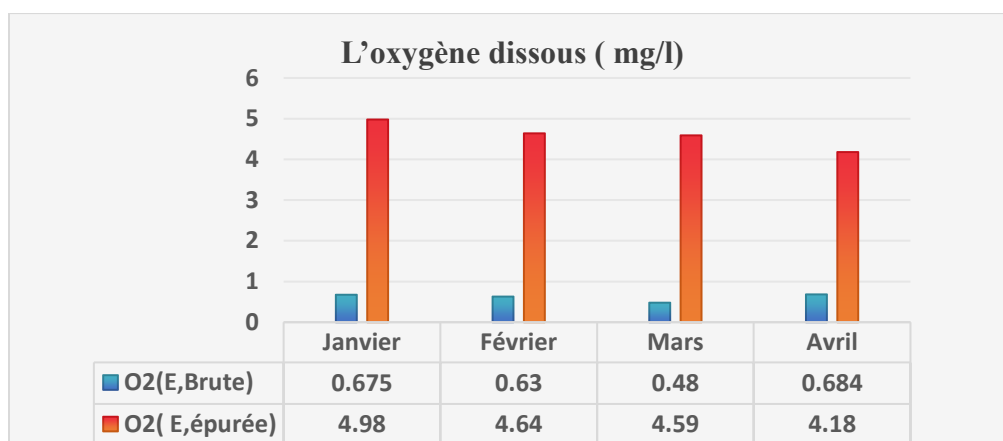


Figure III.7 les variations des teneurs moyennes mensuelles de l'oxygène dissous à l'entrée et à la sortie de la station Kouinine 1

III.8. L'abattement des nutriments (NH⁺₄, NO⁻₃, NO⁻₂, PO⁺₄)

Les analyses chimiques des éléments chargés en eaux usées domestiques (ammonium, nitrites nitrates et orthophosphates) permettent d'estimer la pollution azotée et la pollution phosphatée présentes dans les eaux usées.

III.8.1. Les composés azotés:

1.L'ammonium

A partir du tableau III.3. ci-dessus, nous remarquons une diminution des concentrations en NH⁺₄ à la sortie des lagunes durant 3 mois (F, M et Av), la concentration initiale en NH⁺₄ + (173 mg/L) a subi une diminution arrivant à 148 mg/L dans le mois d'avril. Avec un rendement de 14.45%.

Tableau III.3: Variation de l'ammonium à la sortie de la STEP

	Fevrier 2025		Mars 2025		Avril 2025	
	Brute	Epurée	Brute	Epurée	Brute	Epurée
NH ₄ mg/l	180	170	184	169	173	148
R%		5.55		8.15		14.55

2. Les nitrites et nitrates

Selon les graphes présentés sur la figure III.8 et les résultats présentés sur le tableau III.4 illustrent la variation des concentrations des nitrates et des nitrites. Une diminution des concentrations des nitrites pendant le mois d'avril. La concentration initiale de 0.283 mg/L (eau brute) à l'entrée de la STEP a subi une réduction arrivant à l'ordre de 0.109 mg/L à la sortie. Dont le taux d'abattement est de l'ordre de 61.48%. Alors que pour les nitrates pour le meme mois on enregistré une augmentation très nette des concentrations pour les eaux traitées durant tous les mois.

Tableau III.4: Les concentrations des nitrites et nitrates à l'entrée et à la sortie de la STEP

	Fevrier 2025		Mars 2025		Avril 2025	
	Brute	Epurée	Brute	Epurée	Brute	Epurée
NO ₂ (mg/l)	0,178	0,185	0,135	0,119	0,283	0,109
NO ₃ (mg/l)	0,925	0,975	0.767	0,841	0,803	1,29

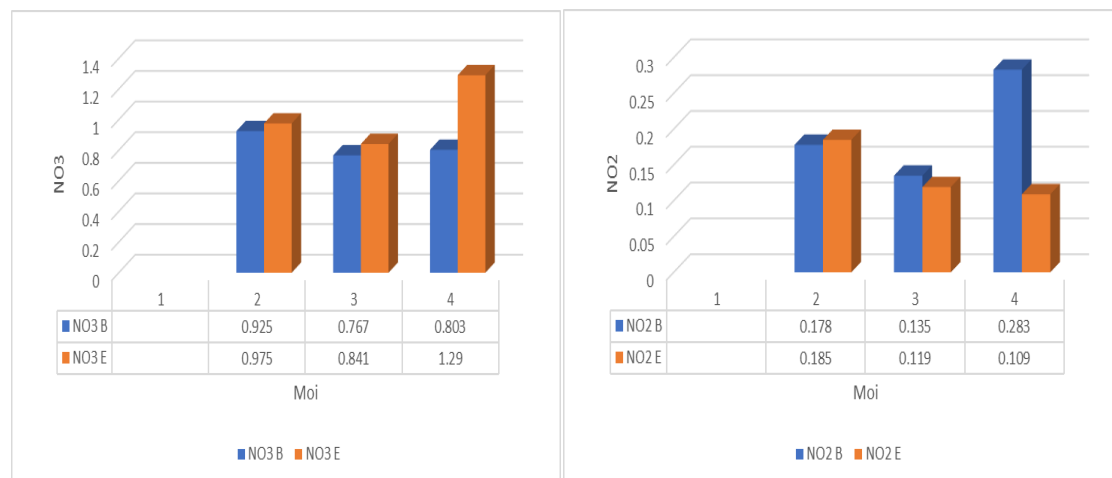


Figure III.8: Variation des concentration des nitrates et des nitrites

III.8.2. L'abattement des orthophosphates et du phosphore total

Le tableau III.5 Ci-dessous montre le PT Entrant qui varie entre (10.6-12.7) mg/l et sortant qui varie entre (7.29- 10.10) mg/l . Alors que l'orthophosphate varie dans l'intervalle (5.63 à 6.38) et (3.12 à 5.05) respectivement pour les eaux brutes et traitées. Les meilleurs rendements ont été obtenus durant le mois d'avril soit pour le PT (31.22 %) et pour le PO₄ (51.10%).

Tableau III.5: L'abattement du PT et PO₄ durant les mois (F,M et A)

	Fevrier 2025		Mars 2025		Avril 2025	
	Brute	Epurée	Brute	Epurée	Brute	Epurée
PT mg/l	12,1	10,1	12,7	8,43	10,6	7,29
R%		16.53		33.62		31.22
PO₄ mg/l	5,79	4,74	5,63	5,05	6,38	3,12
R%		18.13		10.30		51.10

III. 9. Conclusion

L'étude est portée sur le suivi de différents paramètres de pollution carbonée (DCO, DBO₅), matière en suspension (MES) et pollution inorganique (azote et phosphore) ainsi que sur les paramètres physico-chimiques au niveau De la STEP de Kouinine 1. Les résultats ont montré que la charge organique exprimée en DBO₅ et DCO s'avère mieux éliminée par le procédé de lagunage aérée ; le taux d'abattement atteint 75% et 70.24 % respectivement pour DBO₅ et DCO. Memes les nitrites (51.48%) et les orthophosphates (51.10%) sont bien éliminés par le lagunage aéré.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La mise en place de stations d'épuration adaptées aux caractéristiques locales est devenue une nécessité. Le contexte économique rend inadéquates des filières performantes telles que les stations de traitements à boues activées, dont les coûts d'investissement et de fonctionnement sont très élevés pour ce secteur. Parmi les différentes technologies disponibles, le lagunage aéré s'impose comme une alternative efficace et durable pour le traitement des eaux usées, en particulier dans les régions à climat aride et semi-aride.

Dans ce contexte, notre travail vise à évaluer les performances épuratoires et les rendements de la station d'épuration de la ville d'El Oued en particulier la STEP de Kouinine 1 en analysant les paramètres physico-chimiques des eaux usées avant et après le traitement.

La station d'épuration de Kouinine, située dans la région d'El Oued en Algérie, utilise un système de lagunage aéré pour traiter les eaux usées. Ce procédé est particulièrement adapté aux zones arides comme El Oued, en raison de l'espace disponible et de l'ensoleillement favorable. Une étude détaillée a été menée pour évaluer l'efficacité du traitement des eaux usées par cette STEP. Les résultats obtenus ont montré :

Une réduction significative des paramètres de pollution tels que la DBO₅, la DCO et les MES, indiquent des taux d'abattement atteints 75% et 70.24 % respectivement pour DBO₅ et DCO. Même les nitrites (51.48%) et les orthophosphates (51.10%) sont bien éliminés par le lagunage aéré. Ces résultats confirment que cette station a une performance épuratoire satisfaisante.

La mise en œuvre de ces recommandations contribuera à renforcer l'efficacité du traitement des eaux usées et à préserver l'environnement local.

Recommandations issues de l'étude

- Amélioration du prétraitement : Il est recommandé d'équiper le poste de prétraitement d'un système de déshuilage-dégraissage pour assurer un bon fonctionnement des bassins d'aération.
- Contrôle des algues : L'utilisation d'algicides chimiques, principalement à base de cuivre, est recommandée pour éliminer les algues. Cependant, une utilisation excessive de cuivre peut inhiber la photosynthèse et bloquer le transfert d'énergie à l'intérieur des plantes.

Conclusion Générale

- Surveillance accrue : Il est conseillé d'augmenter la fréquence des analyses pour surveiller la qualité du processus épuratoire.
- Formation du personnel : Sensibiliser le personnel aux changements apportés à la veille réglementaire est essentiel pour maintenir l'efficacité du traitement.
- Maintenance des équipements : Il est important de procéder à l'étalonnage du thermo-hygromètre et de réparer le préleveur d'échantillon automatique à l'entrée ainsi que l'appareil de mesure de la turbidité (turbidimètre).

Références Bibliographiques

- **AERM (2007).** *Guide technique sur les procédés d'épuration des eaux usées.*[DSpace UMMTO+2Academia+2DSpace Repository+2](#)
- **Barnhart, E. (1972).** *Études sur le traitement des eaux usées.*
- **Bartsch, A. F., & Randall, C. W. (1971).** *Recherches sur les procédés biologiques d'épuration.*[Dspace Université Ouargla](#)
- **BELAHMADI, M., & SEDDIK, O. (2011).** Étude de la biodégradation du 2,4-dichlorophénol par le microbiote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'Ibn Ziad. Mémoire de magister en microbiologie appliquée et biotechnologies microbiennes, Université Mentouri-Constantine, 83 p.
- **Benefield, L. D., & Randall, C. W. (1980).** *Biological Process Design for Wastewater Treatment.*
- **Berland, J., et al. (2001).** *Études sur les systèmes de traitement des eaux usées.*
- **Bouffard, V. (2000).** Milieux humides artificiels pour l'amélioration de l'efficacité de traitement des eaux usées domestiques d'une petite municipalité. Mémoire de maîtrise ès sciences, Université de Sherbrooke, 150 p.
- **Bouziane, K., & Gagui, R. (2017).** Étude des processus biologiques d'épuration des eaux usées appliquée à la région saharienne. Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla. [Dspace Université Ouargla](#)
- **Dahou, A., & Brek, A. (2013).** Lagunage aéré en zone aride : performance épuratoire, cas de la région d'Ouargla. Mémoire de magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, 52 p.
- **Dégrémont (2005).** *Mémento technique de l'eau*, Tome 1, 9ème édition.
- **El Hachemi, O. (2012).** Traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique : performances épuratoires et aspect phytoplanctonique. Thèse de doctorat, Université Mohammed Premier de Oujda, Maroc, 140 p.
- **Gaïd, A. (2007).** *Traitement des eaux usées urbaines.* France.

- **Golueke, C. G., & Diaz, L. F. (1989).** Études sur la gestion des boues et des déchets organiques. [Université de Biskra+3DSpace UMMTO+3DSpace UMMTO+3](#)
- **Gray, N. F. (1989).** *Biology of Wastewater Treatment*.
- **Hadjou Belaid, Z. (2013).** Contribution à l'étude des dysfonctionnements relevés dans une station d'épuration : étude du cas de la STEP d'Ain El Houtz. Mémoire de master en hydraulique, Université Abou-Bakr Belkaid de Tlemcen.
- **Laurent, J. (1994).** L'assainissement des agglomérations : techniques d'épuration actuelles et évolutions. Agence de l'eau et ministère de l'environnement, 170 p.
- **Mancini, J. L., & Barnhart, E. (1968).** *Recherches sur les procédés d'épuration des eaux usées*.
- **Metahri, M. S. (2012).** Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes : cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 148 p.
- **Mimeche, L. (2014).** Étude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride : application à la région de Biskra. Thèse de doctorat en sciences en hydraulique, Université de Biskra, Algérie.
- **Moulin, S., Rozen-Rechels, D., & Stankovic, M. (2013).** *Traitement des eaux usées*. Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Société, p. 12.
- **Tamrabet, L., Bouzerzour, H., Kribaa, M., & Golea, D. (2003).** Le devenir des eaux usées traitées : réponse de deux graminées fourragères, l'orge et l'avoine, aux apports d'eau usée traitée. Actes du Colloque international Oasis, Eau et Population, Université de Biskra, Algérie.
- **Vymazal, J. (2005).** Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecological Engineering*, 25(5), 478-490.
- **Zeghoud, M. S. (2014).** Étude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel du village de Méghibra. Mémoire de master, Université d'El Oued.

