



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar El Oued

Faculté des technologies

Département d'Hydraulique et de Génie Civil

MEMOIRE :

En vue de l'Obtention du Diplôme de Master en Hydraulique

Option : Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement

THEME :

Proposition d'un système performant pour le traitement biologique des eaux résiduaires dans les zones rurales

Présenté par :

KOATHAL Abdessalem

Dirigé par :

Dr. OUAKAOUK Abdelkader

Promotion : octobre 2023

Remerciement

Avant de remercier l'aide humaine, on se doit d'être reconnaissants à l'aide divine qu'Allah nous a apporté tout au long de notre travail.

Je remercie Mr. OUKAKOUK Abdelkader pour tout le savoir-faire qu'il nous a transmis et toute l'attention qu'il nous a accordée, il a sans doute été un promoteur exemplaire.

Je remercie Mr. KHECHANA S, Responsable du département hydraulique et génie civil, et tous les enseignants du département.

Je remercie mes amis études qui m'ont accompagné dans mes études pour leurs efforts continus et pour leur soutien.

KOATHAL ABDESSALEM

Résumé

Le but de cette étude est de montrer la possibilité d'un traitement biologique des eaux usées urbaines faiblement polluées à l'aide d'un filtre proposé. Le filtre étudié a été utilisé pour améliorer la qualité des eaux usées purifiées à la station de Kouinine comme un traitement tertiaire. L'efficacité de la filtration a été déterminé par mesure de plusieurs paramètres physico-chimiques. Les résultats obtenus ont montré une grande capacité du filtre étudié à éliminer la pollution et à améliorer la qualité des eaux épurées.

Abstract

The aim of this study is to show the possibility of the biological treatment of lightly polluted urban wastewater using a proposed filter. The studied filter was used to improve the quality of purified wastewater at the Kouinine station as a tertiary treatment. The filtration efficiency was determined by measuring several physicochemical parameters. The obtained results showed a great capacity of the studied filter to eliminate the water pollution and improve the quality of purified water.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو اثبات إمكانية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي الحضري ضعيفة التلوث باستعمال طريقة ترشيح مقترحة. تم استعمال المرشح المدروس لتحسين نوعية المياه المنقاه بمحطة التصفية كوينين كمعالجات ثالثية. تمت معرفة كفاءة الترشيح بقياس عدة معاملات فيزيائية-كيميائية. أظهرت النتائج المتحصل عليها قدرة عالية للمرشح المدروس في إزالة التلوث و تحسين جودة المياه.

LISTE Abbreviation

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)

MVS : Matière Volatiles en Suspension (mg/L)

MMS : Les Matières Minérales en Suspension

MO : Matière Organique (mg/L)

STEP: Station d'Épuration

OMS : Organisation Mondial des Santé.

EU: Eau usée.

NO⁻²: Nitrite

NO⁻³: Nitrates

OD: Oxygène Dissous

PT: Phosphor Total

PO₄⁻³: Ortho Phosphate

NH⁴⁺: Azote ammoniacal

T°: temperature

Sommaire

Remerciement	I
Résumé	II
LISTE Abbréviation.....	III
Sommaire.....	IV
Liste des tableaux.....	VII
Liste des figures	VIII
Liste des photos	IX
Introduction générale:	1

Chapitre I: Généralités sur les eaux usées.

I.1 Les sources des eaux usées.....	3
I.1.1 Les eaux usées domestiques	3
I.1.2 Les eaux usées industrielles	3
I.1.3 Les eaux usées agricole	3
I.1.4 Les eaux pluviales.....	3
I.2 La pollution par les eaux usées.....	4
I.2.1 Définition	4
I.2.2 Origine et type de la pollution par les eaux usées	4
I.2.3 Risques de la pollution par les eaux usées	5
I.2.3.1 Risque sur l'environnement	5
I.2.3.2 Risque sur la santé humaine	5
I.3 Composition et caractéristiques des eaux usées urbaines	5
I.3.1 Composition des eaux usées	5
I.3.1.1 Caractéristiques physiques	5
I.3.1.1.1 Température (T).....	5
I.3.1.1.2 Odeur	5
I.3.1.1.3 Couleur	5
I.3.1.1.4 Turbidité	6
I.3.1.1.5 Matières en suspension (MES)	6
I.3.1.2 Caractéristiques chimiques	7
I.3.2.1 Normes de rejet des eaux usées	9
I.4 Conclusion.....	10

Chapitre II: Procédés D'épuration des eaux usées

II.1 Les étapes d'épuration biologique	12
II.1.1 Le prétraitement.....	13
II.2 Traitement primaires.....	15
II.2.1 Décantations primaires.....	15
II.2.2 Traitement physico-chimique.....	15
II.2.3 Traitement (secondaire) biologique	16
II.2.3.1 Classification des techniques d'épuration biologique	17
II.3 Traitement tertiaire	20
II.3.1 Nitrification-dénitrification	21
II.3.1.1 Nitrification :	21
II.3.1.2 Dénitrification	21
II.3.2 L'élimination du phosphore.....	21
II.3.3 Les impacts des boues sur l'environnement	22
II.4 Le traitement des boues	22
II.4.1 Epaissement.....	23
II.4.2 La déshydratation	23
II.4.3 Le séchage	23
II.4.3.1 Le séchage thermique	23
II.4.3.2 Le séchage direct : la boue est séchée par contact avec un gaz chaud.	23
II.4.3.3 Le séchage indirect : la boue est séchée par contact avec une paroi chauffée par un fluide.	23
II.5 Conclusion	23

Chapitre III: Matériels et méthodes

III.1.1 Conception du filtre.....	25
III.1.2 Prélèvement et échantillonnage	25
III.2 Matérielles d'étude :.....	25
III.2.1 Matériels de l'essai :.....	25
III.2.2 Méthode d'étude.....	26
III.2.3 Dispositif expérimental.....	26
III.2.3.1 Méthode de dosage des paramètres physicochimique.....	28
III.2.3.1.1 Détermination du pH et Température :.....	28
III.2.3.1.2 Détermination de l'oxygène dissous :	29
III.2.3.1.3 Détermination des matières en suspension (MES).....	30
III.2.3.1.4 Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5) :	31
III.2.3.1.5 Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) :	32
III.2.3.1.6 Détermination de la nitrate (NO ₃ ⁻) :	33

III.3 Conclusion	34
<i>Chapitre IV :Résultats et Discussions</i>	
IV.1 Introduction	36
IV.1.1 Rendement épuratoire	36
IV.1.3.2 Demande biochimique en oxygène DBO ₅	37
IV.1.3.3 La demande Chimique en Oxygène (DCO).....	38
IV.1.3.4 Matières en suspension.....	39
IV.1.3.5 Nitrates (<i>NO</i> ⁻³)	40
IV.1.3.6 Phosphate (PO ₄ ⁻³).....	41
IV.1.3.7 Température.....	42
IV.1.3.8 Oxygène dissous	43
IV.2 Conclusion :	44
Conclusion générale:.....	46
Référence bibliographique	47

Liste des tableaux

Tableau 1 : normes de rejet des eaux usées (OMS).....	9
Tableau 2 : Normes algérienne de rejet des eaux usées.	10
Tableau 3 : Valeurs de pH à l'entrée et à la sortie du filtre.....	37
Tableau 4 : Valeurs de DBO ₅ à l'entrée et à la sortie du filtre.	37
Tableau 5 : Valeurs de DCO à l'entrée et à la sortie du filtre.	39
Tableau 6 : Valeurs de MES à l'entrée et sortie.	39
Tableau 7 : valeurs de NO^{-3} à l'entrée et sortie du filtre.	40
Tableau 8 : Valeurs de PO_4^{-3} à l'entrée et sortie du filtre.	41
Tableau 9 : valeurs de T° à l'entrée et sortie du filtre.....	42
Tableau 10 : Valeurs de O ₂ à l'entrée et sortie du filtre.....	43

Liste des figures

Figure 1 : Schéma d'une chaîne de traitement des eaux usées	12
Figure 2 : le Dégrillage	13
Figure 3 : Le dessablage	14
Figure 4 : schéma du principe du lit bactérien	18
Figure 5 : Schéma du traitement biologique par disques biologiques	18
Figure 6 : Schéma du traitement biologique par boue activée	19
Figure 7 : Variation de pH à l'entrée et à la sortie du filtre.	37
Figure 8 : Variation de DBO ₅ à l'entrée et à la sortie du filtre.....	38
Figure 9 : Variation de DCO à l'entrée et à la sortie du filtre.	39
Figure 10: Variation de MES à l'entrée et sortie du filtre.....	40
Figure 11: Variation de NO ₃ à l'entrée et sortie de la conduite de filtration.....	41
Figure 12: Variation de PO ₄ ⁻³ à l'entrée et sortie de la conduite de filtration.	42
Figure 13 : variation de T° à l'entrée et sortie du filtre	43
Figure 14 : Variation de O ₂ à l'entrée et sortie du filtre	44

Liste des photos

Photo 01 : Dispositif expérimental (Photo original)	26
Photo 02 : Composition de filtre.....	26
Photo 03 : Installation de dispositif expérimental (Photo original)	27
Photo 04 : Dispositif expérimental (tuyau sortir) (Photo original).....	27
Photo 05 : Alimentation du filtre par l'eau usée (Photo original).....	28
Photo 06 : pH mètre (Hach sensios1) (ONA, 2023).....	29
Photo 07 : Oxymètre (HachHQ30).....	30
Photo 08 : Etuve chauffée Photo 09 : Dessiccateur.....	30
Photo 08 : Etuve chauffée Photo 09 : Dessiccateur.....	30
Photo 10 : Ensemble de filtration.....	31
Photo 11 : Balance électrique (Kern).....	31
Photo 12 : Réfrigérateur conservant.	32
Photo 13 : Spectrophotomètre	33
Photo 14 : Thermo réacteur (CR 2200).....	33
Photo 15 : Spectrophotomètre HACK	34
Photo 16 : Réactifs nitrate (LCK 339)	34

Introduction
Générale

Introduction générale :

L'eau c'est la vie, mais à cause de problème de la pollution de celles-ci et l'accroissement de sa consommation par les individus et industries on doit obligatoirement conserver les sources d'eau contre la pollution et la contamination. L'eau résiduaire ou l'eau usée est une eau qui a subi une détérioration après usage. La pollution de l'eau est définie comme tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines [1].

Les eaux usées ont une composition elles présentent un mélange de plusieurs types d'eaux. Elles sont souvent chargées de matières d'origine minérale ou organique, pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère toxique. Pour lutter contre la pollution des eaux naturelles, éviter les maladies d'origine hydrique et protéger le milieu récepteur, les eaux résiduaires doivent être acheminées par un réseau de canalisations vers une station d'épuration pour y être traitées et si possible réutilisées [2].

Plusieurs techniques de traitement ont été étudiés : parmi elles la filtration biologique à travers un substrat poreux (méthode qui a montré sa performance) il y'a en plusieurs études sur l'utilisation des substrats comme lit filtrant tels que le sable, des sols, des biomasses, etc.

Dans ce contexte, l'objectif du présent travail est d'étudier la possibilité de concevoir un nouveau filtre biologique (filtration lente), sous forme d'un canal horizontale, en utilisant le gravier et les fibres de palmiers dattiers (comme bio-adsorbant) pour le remplissage de la conduite de filtration.

La performance du filtre installé en matière d'élimination de la pollution de l'eau tels que les substances organiques et azotées présentes dans l'effluent sortant de la station d'épuration de Kouinine (STEP1, ville d'el oued).

Les analyses des eaux brutes et les eaux traitées pour le filtre conçus seront comparées pour juger l'efficacité du traitement en considérant plusieurs paramètres de pollution tels que DBO₅, DCO, MES, etc. De plus, l'ensemble des résultats obtenus seront comparés aux normes algériennes pour les eaux épurées qui peuvent être utilisés dans l'irrigation.

Cette étude est présentée en 4 chapitres comme suit :

- Généralités sur les eaux usées.
- Les eaux usées : Origine et impact.
- Materials et méthodes.
- Résultats et Discussions

Chapitre I

Généralités sur les eaux usées

I.1 Les sources des eaux usées

Les activités humaines produisent une grande variété de déchets, dont beaucoup sont entraînés par l'eau, qui doit alors être traitée avant d'être rejetée dans le milieu. L'eau chargée de convoier ces déchets est qualifiée d'eau usée. Les eaux usées proviennent principalement de quatre sources :

- Les eaux domestiques
- Les eaux industrielles
- Les eaux agricoles
- Les eaux pluviales [3].

I.1.1 Les eaux usées domestiques

Ce sont les eaux usées qui proviennent des établissements services résidentiels, produites essentiellement par les activités ménagères (Directive Européenne, 1991), et qui contiennent des matières minérales (chlorures, phosphate, sulfates, etc.) et les matières organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de carbone ; oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote et dans certains cas, d'autre corps tels que le soufre, le phosphore, le fer, etc.) [3].

✚ **Les eaux ménagères** : contiennent les matières en suspension (terre, sable, déchets et des matières dissoutes (sels minéraux et substances organiques diverses) [4].

✚ **Les eaux de vanes** : s'appliquent aux rejets des toilettes. Elles sont chargées des diverses matières organiques azotées et de germes fécaux [5].

I.1.2 Les eaux usées industrielles

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales. Ces eaux ont une grande variété et peuvent être toxiques pour la vie aquatique, ou pour l'homme et pour l'environnement en générale. Les eaux industrielles ou résiduaire véhiculent souvent des produits chimiques toxiques (Arsenic, acide sulfurique, du cyanure et divers métaux lourds, etc.) [3].

I.1.3 Les eaux usées agricole

L'agriculture est une source de pollution des eaux qui n'est pas du tout négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses [6].

I.1.4 Les eaux pluviales

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues ou sont accumulées polluants atmosphériques, poussières, détritiques, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux usées de pluies, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la

canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique [7].

I.2 La pollution par les eaux usées

I.2.1 Définition

On appelle pollution de l'eau, toute modification chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui a un effet nocif sur les êtres vivants qui la consomment. Quand les êtres humains consomment de l'eau polluée ou l'utilisent (en irrigation par exemple), il y a en général des conséquences sérieuses pour leur santé.

I.2.2 Origine et type de la pollution par les eaux usées

A/Origine de pollution

La pollution de l'eau peut être d'origine naturelle, ou provenir d'activités humaines. Suivant l'origine des substances polluantes on distingue : la pollution d'origine domestique, industrielle, agricole et pluviale.

B/Types de la pollution

Il plusieurs types de pollution parmi lesquelles on distingue :

B.1 La pollution chimique

Due à la présence de substances chimique dissoutes dans l'eau. Cette pollution est due essentiellement au déversement de polluants organiques et des sels de métaux lourd qui sont les plus menaçants rejetés souvent par les unités industrielles.

B.2 La pollution organique

Cette forme de pollution peut considérer comme résultats de diverses activités (urbaines, industriels, artisanales et rurales). On distingue, pour les eaux usées urbaines, les matières organique banale "protides, glucides, lipides", les détergents, les huiles et goudron.

B.3 La pollution microbienne

Les eaux d'égout contiennent une multitude d'organismes vivants apportés par les excréments d'origine humaine ou animale. L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (virus, Bactéries, parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau.

B.4 La pollution thermique

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries.) ; ont une température de l'ordre de (70 à 80°C.) Elle diminue jusqu'à (40 à 45°C) lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène [8].

I.2.3 Risques de la pollution par les eaux usées

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et perturbe l'écosystème aquatique et l'environnement. Elle peut concerner les eaux superficielles ou souterraines, aussi il est risqué sur la santé publique.

I.2.3.1 Risque sur l'environnement

- ❖ Diminution de la teneur en oxygène dissous.
- ❖ Présence de produits toxiques.
- ❖ Prolifération d'algues.
- ❖ Modification physique du milieu récepteur.
- ❖ Présence de bactéries ou virus dangereux

I.2.3.2 Risque sur la santé humaine

Les eaux usées peuvent contenir des pesticides, des micro-organismes pathogènes (virus, bactéries, parasites), et des éléments toxiques. Ils sont dangereux pour la santé humaine. L'organisation mondiale de la santé (OMS) considère que 80% des maladies qui affectent la population mondiale sont directement véhiculées par l'eau [8].

I.3 Composition et caractéristiques des eaux usées urbaines

I.3.1 Composition des eaux usées

Les normes de rejet des eaux usées, fixent des indicateurs de qualité physico-chimique et biologiques. Ce potentiel de pollution généralement exprimé en mg/l, est quantifié et apprécié par une série d'analyse suivant :

I.3.1.1 Caractéristiques physiques

I.3.1.1.1 Température (T)

La température régit de la qualité d'oxygène dissous dans l'eau : quand la température augmente l'oxygène dissous diminue, elle influe également sur la décomposition de la matière organique, le développement des parasites responsables de certaines maladies et la prolifération d'algues bleues qui libèrent des toxiques [9].

I.3.1.1.2 Odeur

Les odeurs causées par la présence dans l'eau de substance relativement volatiles, ces substances peuvent être inorganiques comme : le chlore, les hypochlorites..., organique en des compositions comme les algues [3].

I.3.1.1.3 Couleur

Elle est normalement grisâtre. La couleur noire indique une décomposition partielle.

Les autres teintes sont d'origine industrielle. Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les

longueurs d'ondes courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement [10].

I.3.1.1.4 Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace.

La turbidité peut être évaluée par un certain nombre de méthodes qui sont pratiquées suivant les nécessités sur le terrain ou au laboratoire. Il est recommandé d'effectuer la mesure aussi rapidement que possible après le prélèvement. De toute façon, les échantillons doivent être agités vigoureusement avant la mesure. En raison des caractéristiques propres aux matières en suspension, telles que taille, forme, indice de réfraction, couleur, etc., les difficultés de comparaison sont évidentes. Il en est de même si l'on veut rapprocher les mesures de turbidité des mesures de matières en suspension [11].

I.3.1.1.5 Matières en suspension (MES)

Dans une eau usée urbaine, près de 50 % de la pollution organique se trouve sous forme de MES. Les résultats pour les eaux usées industrielles sont très variables, il est de même pour les eaux naturelles où la nature des MES est souvent minérale et leur taux est relativement bas, sauf en période de crue des cours d'eau. Les MES sont exprimées en mg/l [12].

Les teneurs en matières en suspension sont obtenues après séchage à 105°C d'un Les concentrations en MES dans les eaux usées sont très variables, et sont de l'ordre de 100 à 300 mg/l [13].

Les MES s'expriment par la relation suivante :

$$\text{MES} = 30 \% \text{ MMS} + 70 \% \text{ MVS}$$

Avec : **MES** : Matières en suspension.

MMS : Matières minérales en suspension.

MVS : Matières volatiles en suspension. [14].

- **Matières volatiles en suspension (MVS)**

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension. Elles sont mesurées par calcination à 525-550° C d'un échantillon dont on connaît déjà la teneur en MES. Elles constituent environ 70 à 80% de **MES** [15].

- **Matières minérales sèches (MMS)**

Elles représentent la différence entre les matières en suspension (**MES**) et les matières volatiles en suspension (**MVS**) et correspondent à la présence de sel, et de silice [6].

I.3.1.2 Caractéristiques chimiques

A / Le potentiel hydrique (pH) : Le pH mesure concentration en ions H^+ de l'eau.

Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité.

Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

Le pH exprime le potentiel en hydrogène, indique la concentration en ion H^+ , il joue un rôle important dans :

- Les propriétés physico-chimiques (l'acidité et l'alcalinité).
- L'efficacité de certains procédés (coagulation-floculation).
- Les processus biologiques.
- Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie [16].

B/ Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

C'est la quantité d'oxygène consommée à 20 °C et à l'obscurité pendant un temps donné pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques présentes dans l'eau. On utilise conventionnellement la DBO₅, c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommé après 5 jours d'incubation. La DBO₅ n'est représentative normalement que de la pollution organique carbonée biodégradable [17].

C/ Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO correspond à la consommation globale à chaud de l'oxygène du dichromate de potassium et est représentative de la majeure partie des composés organiques ainsi que des sels minéraux oxydables. On utilise parfois en France la DCOAD qui correspond à la demande chimique en oxygène de l'échantillon après une décantation de 2 heures [17].

D/ L'azote : L'azote se trouve dans l'eau usée sous forme organique ou ammoniacale dissoute. Il est souvent oxydé pour éviter une consommation d'oxygène (O_2) dans la nature et un risque de toxicité par l'ammoniaque gazeux dissous (NH_3^+), en équilibre avec l'ion ammoniac (NH_4^+).

La nitrification est une transformation chimique de l'azote organique par l'intermédiaire de bactéries et elle passe par les étapes suivantes :

- N organique à NH_4^+ : ammonification
- NH_4^+ à NO_2^- : nitrification par Nitrosomonas
- NO_2^- à NO_3^- : nitrification par Nitrobacter [17].

E / Le phosphore

Le phosphore est présent dans l'eau sous plusieurs formes : phosphates, poly phosphates, phosphore organique ... ; les apports les plus importants proviennent des déjections humaines et etc., et surtout des produits de lavage. Les composés phosphorés sont indésirables dans les réservoirs de distribution d'eau potable, parce qu'ils contribuent au développement d'algues et plus généralement du plancton aquatique. Agents d'eutrophisation gênant dans le milieu naturel, les phosphates n'ont pas d'incidence sanitaire et les poly phosphates sont autorisés comme adjuvants pour la prévention de l'entartrage dans les réseaux [17].

F/ Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau, les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates.

Les nitrates ne sont pas toxiques ; mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrates [18].

G/ Température

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique 'pollution thermique'. Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32 °C par contre, elle est fortement diminuée pour de températures variant de 12 à 15 °C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C [18].

H/ Conductivité

La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau).

La conductivité s'exprime en micro Siemens par centimètre (S.cm^{-1}), elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en ohm par centimètre. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau [18].

I/ Turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence des matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les grains de silice et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence des matières colloïdales d'origine organiques ou minérale [18].

J/ Le potentiel d'hydrogène

Sa valeur caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique. La valeur du pH altère la croissance des microorganismes existant dans l'eau (leur gamme de croissance est comprise entre 5 et 9) [19].

K/ Métaux lourds

Leur élimination a lieu lors de la phase de filtration décantant du traitement.

Sont essentiellement le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le plomb l'argent (Ag), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le nickel (Ni) et le zinc (Zn). Ces éléments, bien qu'ils puissent avoir une origine naturelle (roches du sous-sol, minerais), proviennent essentiellement de la contamination des eaux par des rejets d'activités industrielles diverses. Ils ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants ainsi que dans la chaîne trophique [20].

Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse [21].

I.3.2.1 Normes de rejet des eaux usées**A. Normes de l'OMS**

L'OMS fixa en 1972 la valeur tolérée en fluorure dans les eaux destinées à la consommation à 0,8 mg/l pour les pays chauds et à 1,5 mg/l pour les pays à climat tempéré. Cette différence correspondant au fait que la consommation d'eau pour un individu donné augmente avec la température [21].

Tableau 1 : normes de rejet des eaux usées (OMS) [23]

Caractéristiques	Normes	Unités
PH	6,5-8,5	-
Temperature	<30	°C
DBO⁵	<30	mg/l
DCO	<90	mg/l
MES	<20	mg/l
NH₄⁺	<0,5	mg/l
NO₂⁻	1	mg/l
NO₃⁻	<1	mg/l
P₂O₅⁻	<2	mg/l
Couleur	Inco lore	-
Odeur	Inco lore	-

B. Normes algériennes

La réglementation algérienne est assez succincte concernant des eaux usées épurées. Les caractéristiques techniques des systèmes d'épuration des eaux usées sont fixées par voie réglementaire en prenant en compte notamment les critères relatifs aux agglomérations, aux possibilités d'utilisation des eaux épurées, aux risques de contamination et de pollution.

L'eau est le fluide vital de la vie sur terre et constitue un aliment fondamental, assez rare dans notre pays, qu'il faut protéger contre toute forme de pollution. La préservation de ce facteur exige un contrôle continu pour le comparer avec les normes nationales [22].

Tableau 2 : Normes algérienne de rejet des eaux usées [24].

Température	°C	30
pH	-	5.5 à 8.5
MES	mg/l	30
DBO ⁵	mg/l	40
DCO	mg/l	120
Phosphates	mg/l	2
Cyanures	mg/l	0.1
Aluminium	mg/l	5
Cadmium	mg/l	0.2
Fer	mg/l	5

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons évoqué les types d'eaux usées et les types de pollution, et nous proposons donc des solutions pour connaître le drainage des eaux urbaine es les exploiter en zone agricole afin protéger l'environnement de la pollution.

Chapitre II

Procédés D'épuration des eaux usées

II.1 Les étapes d'épuration biologique

L'épuration sera faite en plusieurs phases, les principales phases d'épuration sont :

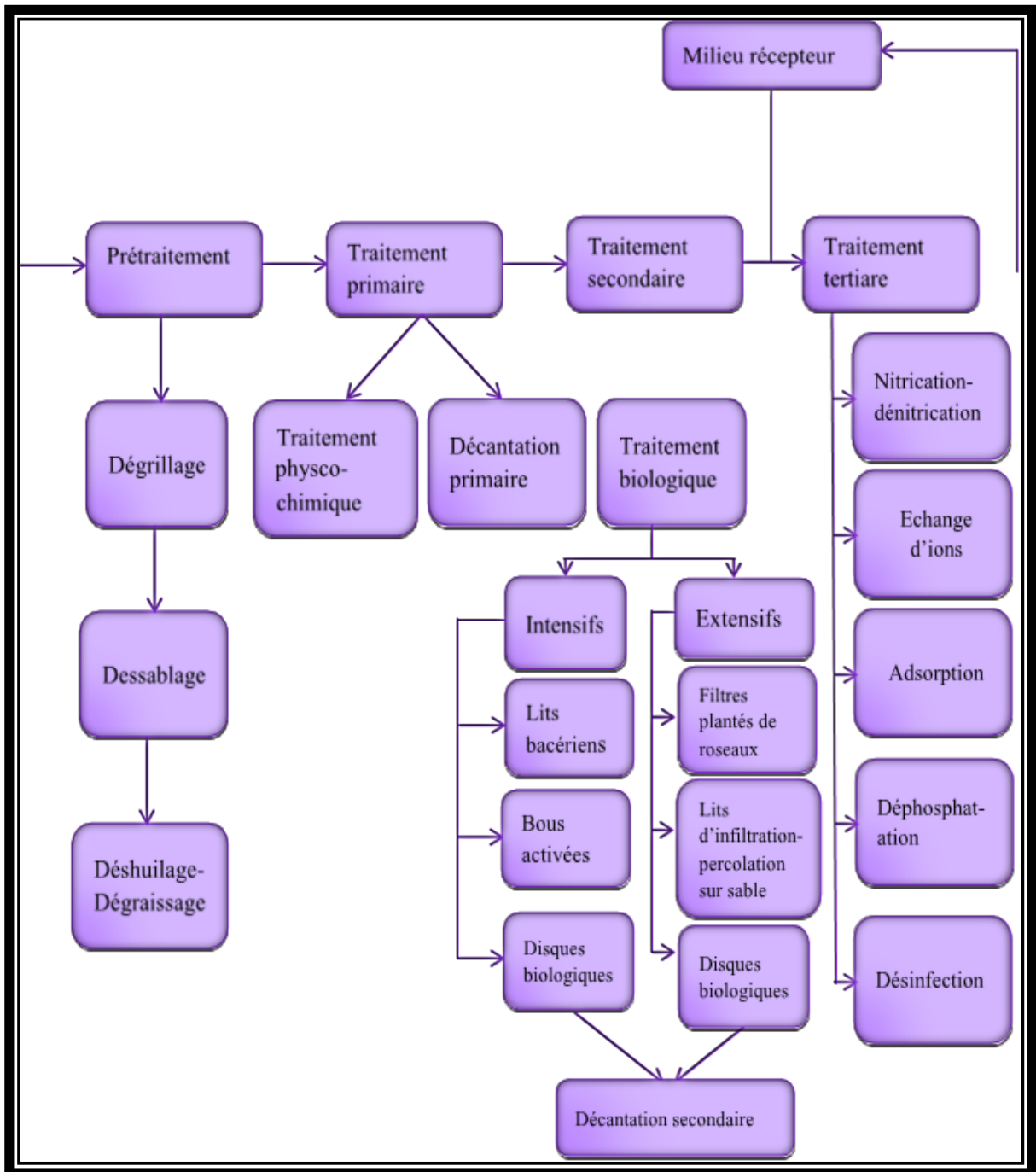


Figure 1 : Schéma d'une chaîne de traitement des eaux usées [8].

II.1.1 Le prétraitement

Le prétraitement comporte les éléments suivants :

A/ Le Dégrillage

Le dégrillage consiste à débarrasser l'effluent des matières les plus volumineuses, et amener des risques de bouchage dans les différentes unités de l'installation. 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 [8].



Figure 2 : le Dégrillage [14].

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 :

❖ Grilles manuelles

Grilles manuelles composées par de barreaux droits en acier. Elles peuvent être verticales mais le plus souvent inclinés 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 [8].

❖ Grilles mécaniques

Cette mécanisation est indispensable afin d'éviter un colmatage rapide des canalisations. Elles se classent en deux catégories :

- Grille droite : elle est inclinée 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 débris, 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

[8].

B/Le dessablage

Le dessablage consiste à retirer de l'effluent les sables et les particules minérales plus ou moins fines, afin de protéger les conduites et les pompes contre la corrosion et éviter même le colmatage des canalisations par les dépôts à la cour de traitement, la technique classique du dessableur consiste à faire circuler l'eau dans une chambre de tranquillisation avec une vitesse d'environ de 0.3m/s qui permet le dépôt d'une grande partie des sables [18].

- **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.
- **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 [14].



Figure 3 : Le dessablage [14].

C/Dégraissage déshuilage

C'est généralement le principe de la flottation qui est utilisé pour l'élimination des huiles. Son principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes).

Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface. Il est important de limiter au maximum la quantité de graisse dans les ouvrages en aval pour éviter par exemple un encrassement des ouvrages, notamment des canalisations [18].

Dégraisseur-déshuileur aéré : Ce type d'ouvrage comprend une zone aérée (avec insufflation par le bas) suivi d'un compartiment de sédimentation latéral calculé pour une vitesse ascensionnelle de 15 à 20m/h

Déshuileur longitudinal : C'est un bassin de forme rectangulaire équipé de racleur de surface de fond L'ouvrage et calculé pour :

- une vitesse d'écoulement horizontal de 20 à 50 m/h.
- une longueur de 2 à 6 m.
- une hauteur d'eau de 1 à 3 m [8].

II.2 Traitement primaires

II.2.1 Décantations primaires

La décantation primaire a pour objet de parfaire la qualité des prétraitements notamment par la capture des matières en suspension 'MES' naturellement décan tables et par élimination poussé desflottants (huile et graisse).

En moyenne elle élimine jusqu' à 80% de MES et 30% à 40% de la DBO₅. La décantation primaire s'impose généralement pour les stations d'épuration des grandes agglomérations [8].

Il y a plusieurs types de décantation parmi lesquels on distingue :

- Décantation classique.
- Décantation lamellaire.

II.2.2 Traitement physico-chimique

Le traitement physico-chimique a pour objectif d'éliminer en plus des matières en suspension une fraction importante de la pollution colloïdale. Ils mettent en œuvre une coagulation-floculation par adjonction de réactifs minéraux et organiques suivie d'une décantation ou une flottation permettant d'éliminer une fraction importante des matières en suspension et colloïdales. Ces procédés assurent un rendement épuratoire variant de 50 à 70 % de la DBO₅ et 80 à 90 % de MES [25].

Le traitement se déroule en 4 phases sont :

- 1- La coagulation qui consiste en un ajout de coagulant.
- 2- La floculation qui consiste en un ajout de polymère qui permet agglomération les particules déstabilisées.
- 3- La neutralisation, qui consiste à optimiser le pH des réactions précédentes par ajout d'une base ou d'un acide.
- 4- La décantation qui permet la séparation des phases solide/liquide [26].

II.2.3 Traitement (secondaire) biologique

L'épuration biologique a pour but d'éliminer les matières polluantes biodégradables (essentiellement les matières organiques) contenue dans l'eau usée en la transformant

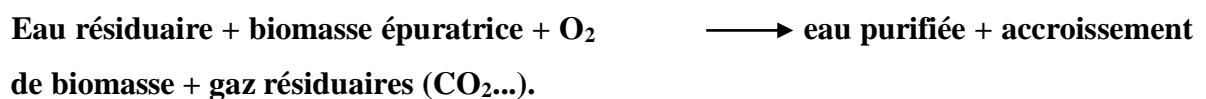
En matières en suspension : micro-organismes et leurs déchets, plus facilement récupérables.

La dégradation peut se réaliser par voie aérobie (en présence d'O₂) ou anaérobie (en l'absence d'O₂). Dans ce dernier cas, où les réactions s'effectuent à l'abri de l'air, le carbone organique, après dégradation se retrouve sous forme de CO₂, méthane et biomasse.

Ce type de traitement appelé « digestion anaérobie » n'est utilisé que pour des effluents très concentrés en pollution carbonée, de type industriel (brasserie, sucrerie, conserverie...). Le traitement biologique classique des eaux domestiques s'effectue par voie aérobie.

Ce type de traitement appelé « digestion anaérobie » n'est utilisé que pour des effluents très concentrés en pollution carbonée, de type industriel (brasserie, sucrerie, conserverie...). Le traitement biologique classique des eaux domestiques s'effectue par voie aérobie.

Le traitement consiste à dégrader les impuretés grâce à l'action d'une biomasse épuratrice, à laquelle doit être fourni l'oxygène nécessaire à son développement. En simplifiant, on peut décrire ce processus par l'équation :



La biomasse utilisée dans le traitement des eaux usées constitue un écosystème très simplifié, ne faisant appel qu'à des **micro-organismes**. Elle est constituée d'êtres vivants de petite taille, inférieure au millimètre, microflore de bactéries et microfaune d'animaux, protozoaires et métazoaires proches des vers.

Le traitement biologique peut être, soit libre, c'est-à-dire intimement mêlée au milieu aqueux à épurer (boues activées, lagunage), soit fixée ; elle est alors accrochée sur un support solide à

la surface duquel percole l'eau à traiter (lits bactériens, disques biologiques) [27].

II.2.3.1 Classification des techniques d'épuration biologique

On distingue deux principaux types de procédés biologiques :

- Les procédés intensifs ou artificiels.
- Les procédés extensifs ou naturels.

A/ Les procédés intensifs ou artificiels

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.

Trois grands types de procédés sont utilisés [28].

- Les lits bactériens.
- Les disques biologiques.
- Les boues activées.

A.1 Lit bactérien

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. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre-courant, à travers le film biologique jusqu'aux microorganismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux. Le rendement maximum de cette technique est de 80 % d'élimination de la DBO5 [29].

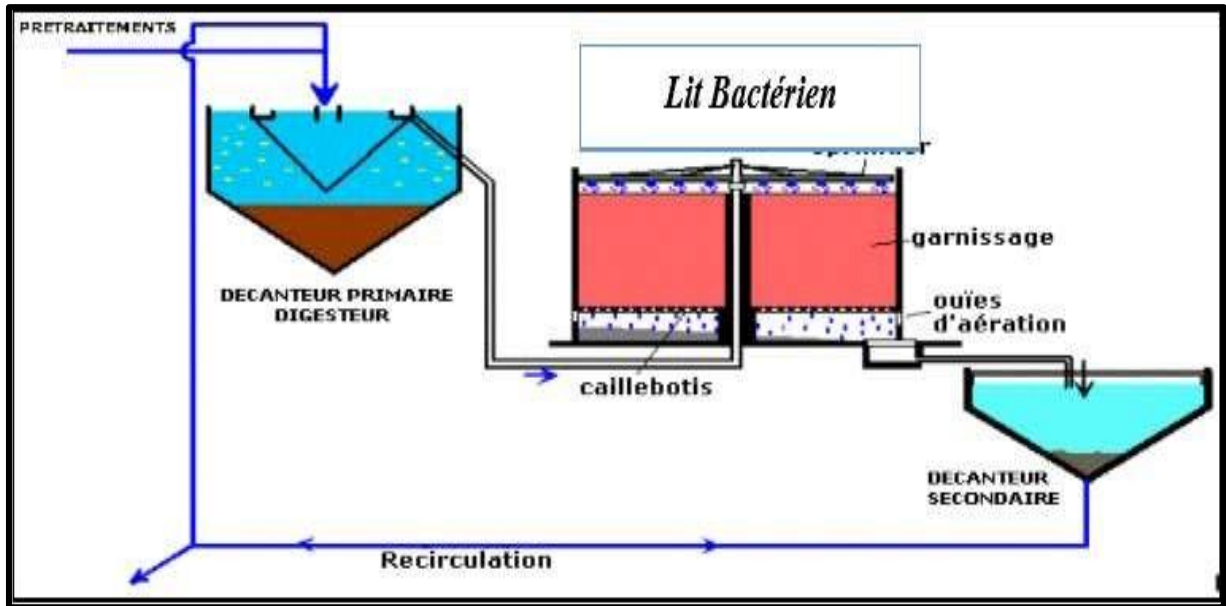


Figure 4 : Schéma du principe du lit bactérien [30].

➤ A.2 Disques biologiques

Les disques biologiques ou bio disques 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^{-1} [8].

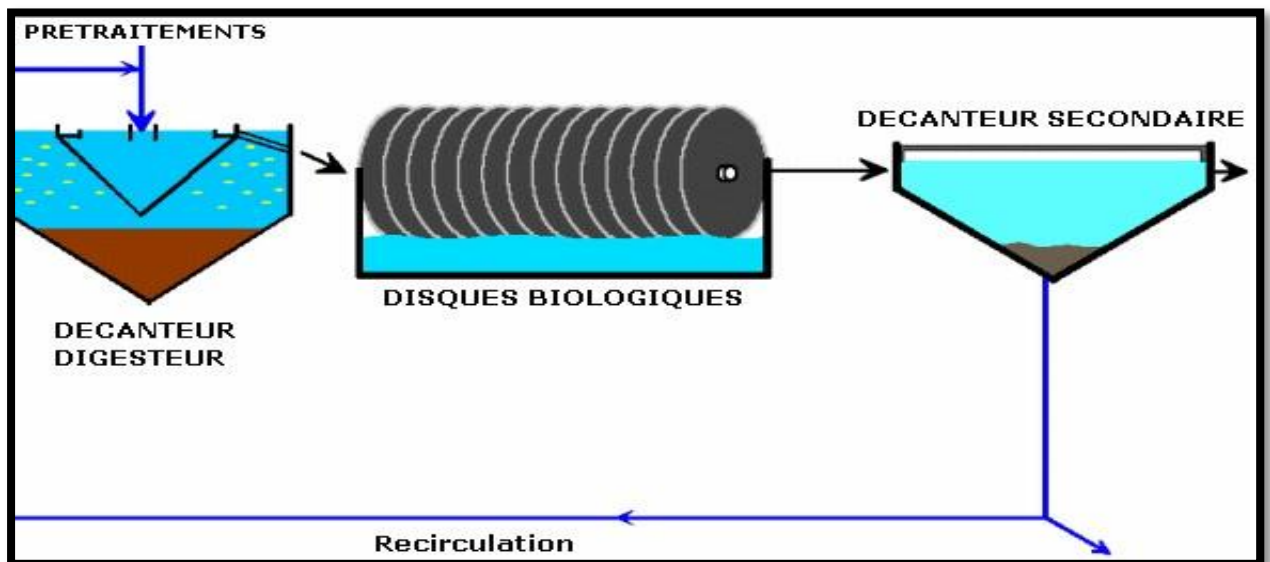


Figure 5 : Schéma du traitement biologique par disques biologiques [8].

➤ A.3 les boues actives

Les boues activées constituent le traitement biologique aérobie le plus répandu. Le procédé consiste à provoquer le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons (boues activées), dans un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) et alimenté en eau à épurer. Dans ce bassin, le brassage a pour but d'éviter les dépôts et d'homogénéiser le mélange des flocons bactériens et de l'eau usée (liqueur mixte); l'aération peut se faire à partir de l'oxygène de l'eau, du gaz enrichi en oxygène par (le brassage, l'injection d'air comprimé, voire même.

A pour but de dissoudre ce gaz dans la liqueur mixte, afin de répondre aux besoins des bactéries épuratrices aérobies [14].

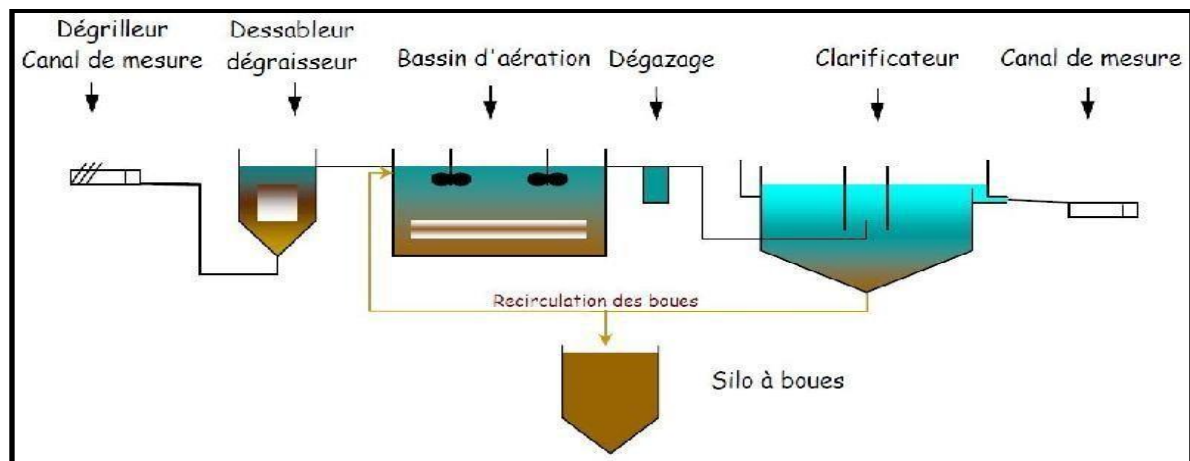


Figure 6 : Schéma du traitement biologique par boue activée [14].

B/ Les procédés extensifs ou naturels

B.1 Le lagunage

Le lagunage est un procédé d'épuration qui consiste à faire circuler des effluents dans une série de

Bassin pendant un temps suffisamment long pour réaliser les processus naturels de l'autoépuration. Il est pratique 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 que permet la production de matières vivantes par les chaînes trophiques. 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 [16].

Principe de fonctionnement

- 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.
- 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 [8].
- Il y a plusieurs types de lagunage parmi lesquels on distingue :

B.2 Le 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.

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 [8].

B.3 Le 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.

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 [27].

II.3 Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire peut être à la fois biologique et physico-chimique. En effet, ce traitement est réalisé après le traitement primaire et secondaire et regroupe un ensemble de techniques destinées à réduire la concentration des éléments nutritifs résiduels (comme le

phosphore et l'azote), polluants organiques résistants et des éléments traces métalliques. C'est pour cela que les traitements tertiaires sont classés comme des traitements complémentaires qui deviennent nécessaires, pour assurer une meilleure réduction de ces substances dans les milieux naturels. On distingue différents types de traitements :

- ✓ Filtration biologique par la technique d'affinage (pour l'élimination de MES ou la DBO₅).
- ✓ Déphosphatation chimique.
- ✓ Élimination de la DCO.
- ✓ Désinfection (traitement par UV ou ozone).

L'eau est passée par différents réservoirs avec des bactéries et dans des conditions différentes. Ensuite, les boues sont récupérées lors d'un nouveau passage dans un clarificateur. Le traitement en UV est utilisé pour dénaturiser les molécules non traitées qui sont sensibles à ces rayons [18].

II.3.1 Nitrification-dénitrification

II.3.1.1 Nitrification :

La nitrification consiste en la transformation (l'oxydation) de l'ammoniaque en nitrite puis en nitrate, elle est réalisée de façon biologique par les bactéries nitrifiantes. Le temps de rétention des eaux dans le bassin d'aération doit donc être assez long [8].

II.3.1.2 Dénitrification

- ❖ La dénitrification est le processus par lequel les bactéries dénitrifiantes anaérobies convertissent le nitrate en azote gazeux (N₂).
- ❖ Cette relation est réalisée par le fait que, en absence d'oxygène, ces bactéries sont capables d'utiliser immédiatement l'oxygène des nitrates comme un oxydant. En pratique, cette étape sera réalisée grâce à un bassin tertiaire anaérobie [8].

II.3.2 L'élimination du phosphore

L'élimination du phosphore, ou "dé phosphatation", peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques. En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'adjonction de réactifs, comme des sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insolubles et leur élimination par décantation. Ces techniques engendrent une importante production de boues. La Dé phosphatation biologique consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans les cultures bactériennes des boues. Les mécanismes de la dé phosphatation biologique sont relativement complexes, et leur rendement variable (en fonction notamment de la pollution carbonée et des nitrates présents dans les eaux usées).

Dans les grosses installations d'épuration, ce procédé est souvent couplé à une déphosphatation physico-chimique, pour atteindre les niveaux de rejets requis [16].

II.3.3 Les impacts des boues sur l'environnement

Les boues d'épuration sont considérées comme des déchets dangereux, qu'il tend à se concentrer les métaux lourds et les composés organiques faiblement biodégradables ainsi que, des organismes pathogènes (virus, bactéries...etc.) présent dans les eaux usées. La plupart des polluants présents dans les boues d'épuration sont adsorbés par les particules du sol. Les modifications de la composition du sol vont essentiellement dépendre des propriétés du sol récepteur (sol de décharge), le substratum de la décharge, de situation géographique dans laquelle s'y trouve, et de climat du milieu.

Les lixiviats ou jus de décharge constituent le principal contaminant de la nappe phréatique. Les boues contiennent notamment des eaux et des éléments polluants les lixiviats qui peuvent percoler dans les nappes phréatiques, lors d'une période fortement pluvieuse et suivant au l'écoulement des eaux, ils vont affecter les eaux de surface. Le transport des quantités importantes des boues d'épuration et la mise en décharge présentent l'impact le plus important à cause de la dispersion des substances toxiques dans l'atmosphère et principalement l'émission gazeuse de sulfure et de l'azote qui peuvent être dangereuses pour la santé humaine et animale [16].

II.4 Le traitement des boues

Le traitement d'un mètre cube d'eaux usées produit de 350 à 400 grammes de boues. Ces boues, généralement très liquides, contiennent une forte proportion de matières organiques. Elles sont donc très fermentescibles et susceptibles de causer des nuisances. Le traitement a pour but de les conditionner en fonction des filières d'élimination :

- Réduction de leur volume par épaissement.
- Déshydratation, séchage thermique ou incinération.
- Diminution de leur pouvoir de fermentation par stabilisation biologique, chimique ou thermique (rajout de chaux par exemple).

Un traitement chimique des odeurs est souvent associé à ce traitement.

La gestion des boues représente souvent une préoccupation pour les exploitants des usines de traitement et pour les collectivités locales. L'élimination des boues connaît d'importantes évolutions, en particulier au niveau des filières et des débouchés finaux : utilisation agricole, compostage, incinération, récupération d'énergie, envoi en centre d'enfouissement technique [31].

II.4.1 Epaissement

Il s'agit de la première étape de traitement des boues, qui s'opère en général avant le mélange des boues issues des différentes étapes d'épuration des eaux usées boues primaires, secondaires, et éventuellement tertiaires. Cette étape peut être précédée de l'ajout d'un flocculant organiques de synthèse ou minéraux (chaux, sels de fer ou d'aluminium), afin de faciliter la séparation des phases solide et liquide des boues.

L'épaissement consiste à laisser s'écouler les boues par gravitation à travers un silo placé au-dessus d'une table d'égouttage ou d'une toile semi-perméable. Autre technique de concentration : la flottation, basée sur l'injection de gaz dans les boues, ce qui sépare les phases liquides et solides par différence de densité. En sortie, les boues sont encore liquides avec une siccité de 4 à 6 % [31].

II.4.2 La déshydratation

Les procédés de déshydratation ont pour objectif de faire passer la boue de l'état liquide à une consistance plus ou moins solide, qui devra évidemment répondre aux exigences de la destination finale choisie [32].

II.4.3 Le séchage

Le séchage des boues est une déshydratation quasi-totale des boues par évaporation de l'eau qu'elles contiennent ; la réduction de volume qui en résulte est conséquente.

II.4.3.1 Le séchage thermique

Il permet une élimination quasi-totale de l'eau, les boues obtenues sont pulvérulentes ou en granulés, mais en raison du coût énergétique, ce procédé reste peu utilisé. Deux grands procédés de séchages sont couramment utilisés :

II.4.3.2 Le séchage direct : la boue est séchée par contact avec un gaz chaud.

II.4.3.3 Le séchage indirect : la boue est séchée par contact avec une paroi chauffée par un fluide [17].

II.5 Conclusion

L'épuration des eaux usées est composée de plusieurs étapes. Le traitement primaire est constitué par un prétraitement et une décantation primaire. L'étape secondaire associe au traitement biologique et la décantation secondaire. Tous ces procédés produisent des boues qui de traitement des boues seront utilisés ou rejetés.

Chapitre III

Matériels et méthodes

III.1.1 Conception du filtre

Cette expérience consiste en un filtre fabriqué localement ce filtre se compose de deux petites conduites et grands diamètres en PVC et entre les deux canaux se trouve du gravier et de fibre de palmier. Ce filtre est alimenté par les eaux usées testée via un tuyau d'entrée et la sortir du filtre, les eaux usées traitée sont transportées par un autre tuyau. Des petits canaux de ventilation sont installée verticalement pour assurer l'aération du substrat au cours du temps.

La réalisation d'une série d'analyses au laboratoire, des eaux usées aux seins des seins des laboratoire de la (ONA), ADE, l'Hôpital d'El oued et FATILAB (privé) est faite avant et après traitement.

L'eau usée testée au cours de notre étude expérimentale provient de la station d'épuration (STEP1) de la commune de Kouinine daïra d'El oued qui se gère par l'office national d'assainissement (ONA) de cette wilaya.

III.1.2 Prélèvement et échantillonnage

Cette étape nécessite des précautions particulières. Elle conditionne les résultats d'analyses et donc les conclusions de démarches techniques et scientifiques.

Pour les déférentes étapes d'une opération d'échantillonnage : l'homogénéisation mécanique la nature et le nettoyage des matériaux, spécifiques, les blancs de prélèvement et l'utilisation d'échantillonneurs automatiques déjà en place.

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu. sans modifier les caractéristiques physicochimiques de l'eau (gaz dissous, matière en suspension, etc...)

Les objectifs de cette étape sont :

- ❖ Assurer la représentativité de l'échantillonnage.
- ❖ Préserver l'intégrité de l'échantillon et éviter la contamination.
- ❖ Assure la fiabilité de l'opération et réduire les aléas.
- ❖ Assurer la comparabilité des résultats dans les temps et l'espace.
- ❖ Diminuer au maximum les erreurs et les incertitudes [8].

III.2 Matérielles d'étude

Dans cette expérience nous avons utilisé le matériel suivant :

III.2.1 Matériels de l'essai

- ❖ Tuyau de sérum, conduites en PVC.
- ❖ Les filtrés : on a utilisé :
 - Gravier de moyen tailles



Fibre de palmier



Gravier de moyen tailles

Photo 01 : Dispositif expérimental (Photo original)

III.2.2 Méthode d'étude

III.2.3 Dispositif expérimental

Le dispositif utilisé pour nos essais porte sur deux conduites en PVC (de 160 mm et 90 mm de diamètre) comportant le filtre comme suit :

**Photo 02** : Composition de filtre.



Photo 03 : Installation de dispositif expérimental (Photo original)



Photo 04 : Dispositif expérimental (tuyau sortie) (Photo original)



Photo 05 : Alimentation du filtre par l'eau usée (Photo original).

Cela pour éviter la formation d'une couche de boue. Trop épaisse qui peut empêcher la filtration (colmatage) et pénétration de O_2 .

- Le prélèvement a été fait chaque 5 jours depuis l'entrée et la sortie du filtre sur une période de 35 jours.
- Le débit d'alimentation se fait constant et égale à 7 Litres/Heure. Instruments et méthodes de mesures :

III.2.3.1 Méthode de dosage des paramètres physicochimique

Afin de déterminer la qualité des effluents à traiter, des analyses seront effectuées à l'entrée et sortie du filtre, les paramètres considérés sont les suivants :

- ✓ Température et le potentiel hydrique (pH) de l'eau.
- ✓ L'oxygène dissous (O_2).
- ✓ Les matières en suspension (MES).
- ✓ Demande biochimique en oxygène (DBO_5).
- ✓ Demande chimique en oxygène (DCO).
- ✓ Nitrate (NO_3^-).
- ✓ Phosphate (PO_4^{-3}) [29].

III.2.3.1.1 Détermination du pH et Température

A. Principe

Le potentiel hydrogéné (pH) est en relation avec la concentration des ions hydrogéné présent dans l'eau. Le but de cette analyse est de mesurer l'acidité des eaux usées. La température affecte la dissolution de l'oxygène dans l'eau.

B. L'appareil utilisé : pH mètre (Hach sensios1) pH 510.



Photo 06 : pH mètre (Hach sensios1) (ONA, 2023).

C. Mode opératoire

Prenez environ 100 ml d'eau à analyser et mettez – la dans une tasse faites fonctionner ce l'appareil avec de l'eau distillée, puis plongez l'électrode.

D. Expression des résultats : La valeur est lue directement sur l'écran de l'appareil.

III.2.3.1.2 Détermination de l'oxygène dissous

A. Principe

La concentration réelle en oxygène dépend de la température, de la pression atmosphérique et de la consommation d'oxygène résultant des processus de décomposition microbologique ou de la production d'oxygène par le parasite.

B. L'appareil utilisé : Oxymètre (HachHQ30).



Photo 07 : Oxymètre (HachHQ30).

B. Mode opératoire

Allumez l'oxymètre et rincez l'électrode avec de l'eau distillée, puis plongez cette électrode dans le bicher contenant environ 100 ml.

C. Expression des résultants : Le résultat est donné directement Oxymètre en mg/l.

III.2.3.1.3 Détermination des matières en suspension (MES)**A. Principe**

L'eau est filtrée, la vaporisation de l'échantillon à une température de 150° pendant 2 heures, et puis la détermination des matières en suspension par pesée différentielle. Dans les eaux d'une faible concentration TSS en MES, on utilise des filtres.

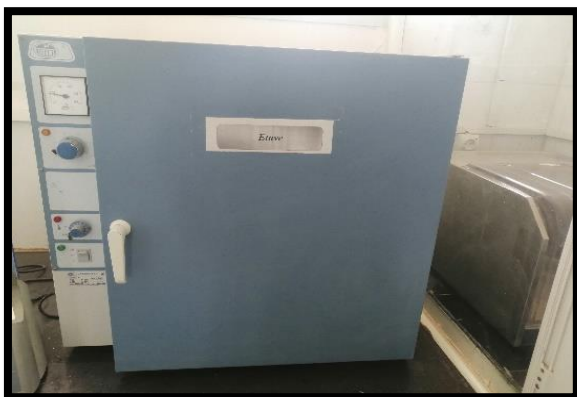


Photo 08 : Etuve chauffée



Photo 09 : Dessiccateur



Photo 10 : Ensemble de filtration



Photo 11 : Balance électrique (Kern)

C. Mode opératoire :

Mettre le filtre pendant quelque minute dans l'étuve chauffée à 105°C, dans des eaux d'une faible concentration en MES, on utilise un filtre. et placer le filtre sur la balance (soit P0 en

mg), et placer le filtre dans l'étuve à (105 ± 2) °C pendant 2 heures, puis placer le filtre dans la rampe de filtration et la connecter à pompe à vide, avec verser le volume d'eau (100 ml) jusqu'à filtration complète.

III.2.3.1.4 Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO_5)

A. Principe

L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermo-staée est mis sous incubation. On fait la lecture de la masse d'oxygène dissous, nécessaire aux microorganismes pour la dégradation de la matière organique biodégradable en présence d'air pendant cinq (5) jours. Les microorganismes présents consomment d'oxygène dissous qui est remplacés en permanence par l'oxygène de l'air, contenu dans le flacon provoquant une diminution de la pression au-dessous de l'échantillon cette dépression sera enregistrée par une OXI TOP.

B. Matériels utilisés

- ❖ Réfrigérateur conservant à une température de 20C°.
- ❖ Flacons d'incubation à bouchons rodés de 510ml.
- ❖ Pastilles de KOH.
- ❖ Barrou-magnétique.



Photo 12 : Réfrigérateur conservant.

C. Mode opératoire

Mettre le volume (V) dans la bouteille de DBO, et mettre le Barrou-magnétique dans la bouteille de DBO et ajouté 3 ou 4 pastilles de KOH sur le support d'alcalin en évitant la chute d'une masse de KOH dans l'eau à analyser, avec fermé bien la bouteille par DBO sénior, appuyer sur le bouton (A) et (B) au même temps pour changer le programme.

D. Expression des résultants : Lecteur de L'appareil la valeur après 5 jour.

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

III.2.3.1.5 Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

A. Principe :

Il s'agit d'une oxydation chimique des matières réductrices contenues dans l'eau par excès de bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), dans un environnement très acide sulfurique (H_2SO_4), en présence de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) et de sulfate de mercure (HgSO_4)

B. Matériel utilise

- ❖ Thermo réacteur (CR 2200).
- ❖ Spectrophotomètre.
- ❖ Réactifs : Produit chimie de la DCO (LCK 314) gamme (15 à 150 mg/l) pour les faibles concentrations.



Photo 13 : Spectrophotomètre



Photo 14 : Thermo réacteur (CR 2200)

C. Mode opératoire

Alignez le tube de réactif de test DCO pour mettre le résidu en suspension et ajoutez 2 ml d'échantillon dans le tube de réactif, avec mettre 1,5 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: concentration (1/1) dans l'eau brute et (1/10) dans l'eau traité, puis bouchez hermétiquement le tube pour mélanger en tenant le tube par son bouchon, placer le tube bouché dans le réacteur DCO et chauffer deux heures à 147°C , Lire la DCO directement avec Spectrophotomètre.

D. Expression des résultants : Le résultat est donné directement en mg/l.

III.2.3.1.6 Détermination de la nitrate (NO_3^-)

A. Appareil



Photo 15 : Spectrophotomètre HACK **Photo 16** : Réactifs nitrate (LCK 339)

- ❖ Spectrophotomètre HACK
- ❖ Pipete
- ❖ Réactifs nitrate (LCK 339) gamme (1 à 60 mg/l)

B. Mode opératoire

Le bouchon du tube doit être ouvert de réactif doit être ouvert en ajoutant 1 ml de l'échantillon et 0,2 ml de la solution A puis fermer le tube et le bien secouer ensuite laisser le reposer pendant 15 minutes, mettez tube de réactif à essai.

D. Expression des résultant : Les résultats sont donnés directement en mg/L.

III.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré le matériel et matériaux expérimental, le filtre biologique étudié et ses constituants et des appareils du laboratoire utilisés.

Il s'agit d'une expérience qui permet de purifier et de filtrer les eaux usées brutes sortant de station de Kounine durant 35 jours continue avec un débit constant et continu.

Chapitre IV

Résultats et Discussions

IV.1 Introduction

Plusieurs travaux ont montré que la filtration biologique a une bonne capacité d'éliminer la charge organique des eaux usées urbaines. Dans ce chapitre, nous allons étudier la purification d'un rejet secondaire d'origine urbain (à dominance domestique) par filtration.

Le filtre étudié est composé essentiellement d'une conduite remplie par du gravier. L'amélioration de la capacité épuratoire du système a été proposée en dopant le filtre par une biomasse à savoir les fibres de palmier dattiers.

IV.1.1 Rendement épuratoire

L'évaluation de la capacité de filtres étudié à éliminer les polluants est basée essentiellement sur la mesure des paramètres physico-chimiques et sur le calcul du rendement d'élimination de la charge polluante.

Le pourcentage d'élimination de la pollution des eaux (R %) est donné par la relation suivante

$$R\% = \left(\frac{C_0 - C_r}{C_0} \right) \times 100$$

Avec :

C_0 : Valeur du paramètre considéré pour l'eau usée brute (à l'entrée du filtre).

C_f : Valeur du paramètre considéré pour l'eau usée filtré (à la sortie du filtre) [19].

IV.1.2 Résultats et discussions

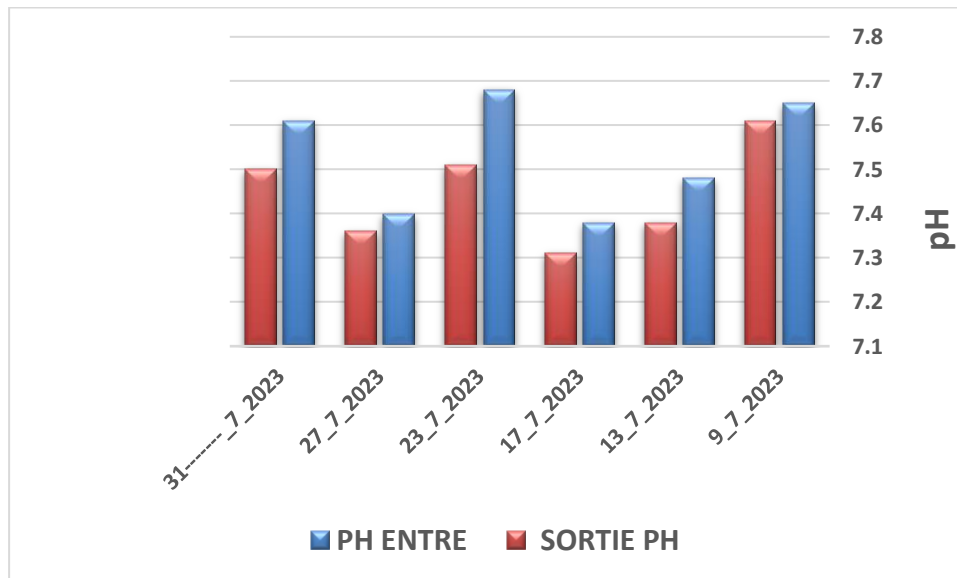
IV.1.3 Paramètres physiques

IV.1.3.1 Potentiel d'hydrogène pH

Les valeurs de pH des eaux entrantes et sortantes présentés sur le graphe précédent (**Figure 4**) varient au cours de la période de l'étude entre [7,31 -7,68]. Le pH de l'eau reste dans la norme de l'OMS et la réglementation algérienne.

Tableau 3 : Valeurs de pH à l'entrée et à la sortie du filtre.

Date d'analyse	pH à l'entrée	pH A la sortie
2023_7_9	7.65	7.61
2023_7_13	7.48	7.38
2023_7_17	7.38	7.31
2023_7_23	7.68	7.51
2023_7_27	7.4	7.36
2023_7_31	7.61	7.51

**Figure 4** : Variation de pH à l'entrée et à la sortie du filtre.

IV.1.3.2 Demande biochimique en oxygène DBO₅

La représentation graphique des valeurs de la demande Biochimique en Oxygène des eaux entrantes et sortantes de la conduite filtrante (Figure 5) varient à l'entrée entre [60 - 37] et à la sortie entre [42 – 25] [mg/l].

Tableau 4 : Valeurs de DBO₅ à l'entrée et à la sortie du filtre.

Date d'analyse	DBO ₅ à l'entrée	DBO ₅ à la sortie
2023_7_9	60	42
2023_7_13	49	34
2023_7_17	54	38
2023_7_23	37	25
2023_7_27	40	39
2023_7_31	38	31

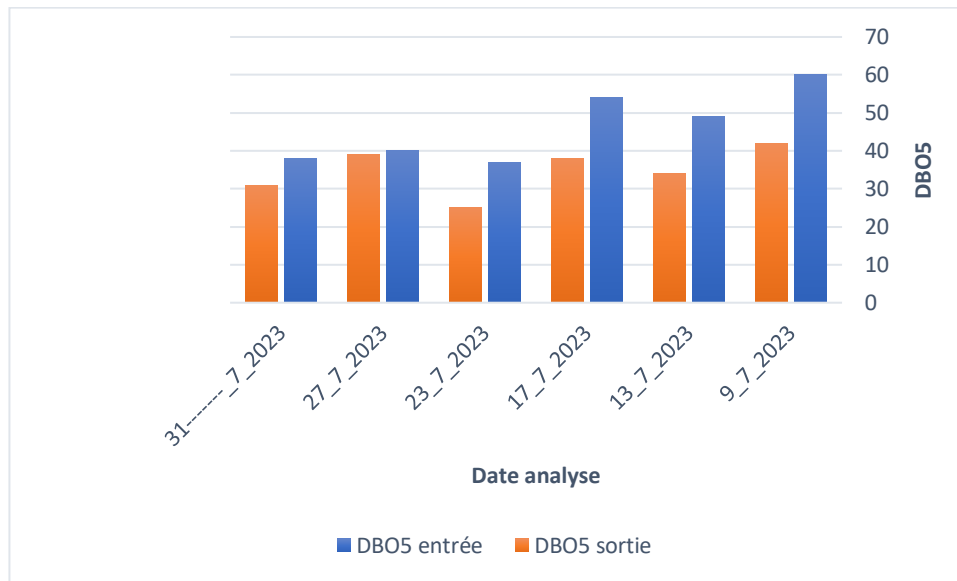


Figure 5 : Variation de DBO₅ à l'entrée et à la sortie du filtre

D'après ces résultats nous pouvons remarquer que la valeur de la DBO₅ présente dans l'eau filtrée est conforme aux valeurs limites de l'OMS et les normes algériennes admises pour les eaux épurées utilisées à des fins d'irrigations 30 [mg/L].

De ces résultats, nous avons observé que le système de filtration par le gravier doté par des fibres de palmiers permet une bonne réduction de la matière organique biodégradable (DBO₅). Le processus de dégradation de la matière organique pourrait s'effectuer à travers trois différents mécanismes :

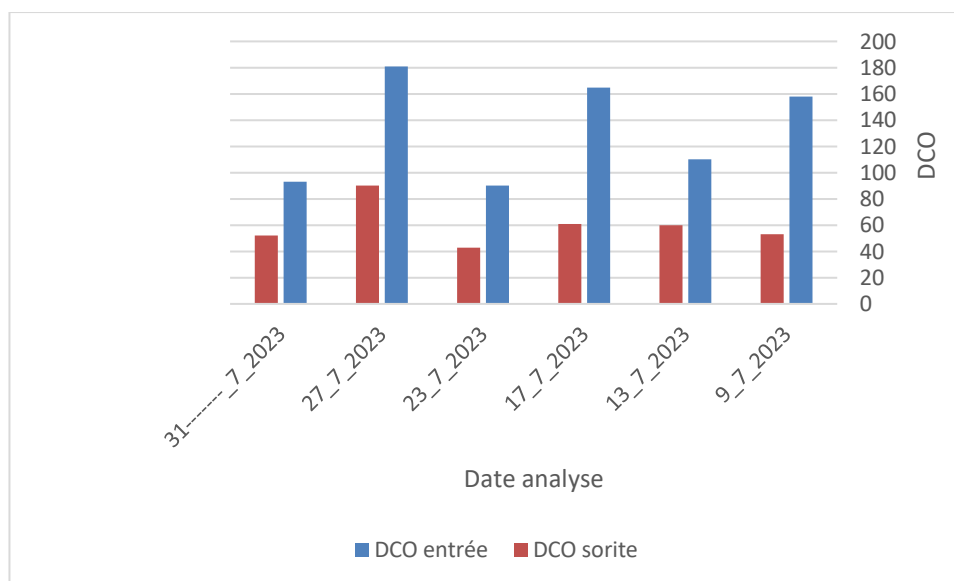
- Séparation physique par le massif filtrant (rôle de biomasse et du gravier).
- Dégradation biologique de la matière organique biodégradable (rôle des bactéries).
- Adsorption des polluants par les fibres de palmiers.

IV.1.3.3 La demande Chimique en Oxygène (DCO)

Les résultats représentés sur la figure 6, la DCO à la sortie du canal a montré une très bonne réduction de la charge organique totale. Ceci s'explique essentiellement par l'élimination d'une partie importante de la matière organique biodégradable. De plus, la performance du traitement peut être améliorée par la présence des fibres de palmier qui peuvent jouer le rôle de bio-adsorbant.

Tableau 5 : Valeurs de DCO à l'entrée et à la sortie du filtre.

Date d'analyse	DCO à l'entrée	DCO à la sortie
2023_7_9	158	53
2023_7_13	110	60
2023_7_17	165	61
2023_7_23	90	43
2023_7_27	181	90
2023_7_31	93	52

**Figure 6** : Variation de DCO à l'entrée et à la sortie du filtre.

Les données présentées ont montré que toutes les valeurs de la DCO des eaux après filtration oscillent entre 43 mg/l et 90 mg/l, ces concentrations respectent, dans tous les cas, les normes algériennes admises pour les eaux traitées utilisées pour l'irrigation (90 mg/l) (JORA, 2012).

IV.1.3.4 Matières en suspension

Les résultats obtenus pour l'analyse de MES sont présentés sur le tableau 6 et la figure 7.

Tableau 6 : Valeurs de MES à l'entrée et sortie.

Date d'analyse	MES à l'entrée	MES à la sortie
2023_7_9	23.3	12.8
2023_7_13	21	11.9
2023_7_17	35.4	16.8
2023_7_23	28	14.3
2023_7_27	35	16
2023_7_31	27	13.8

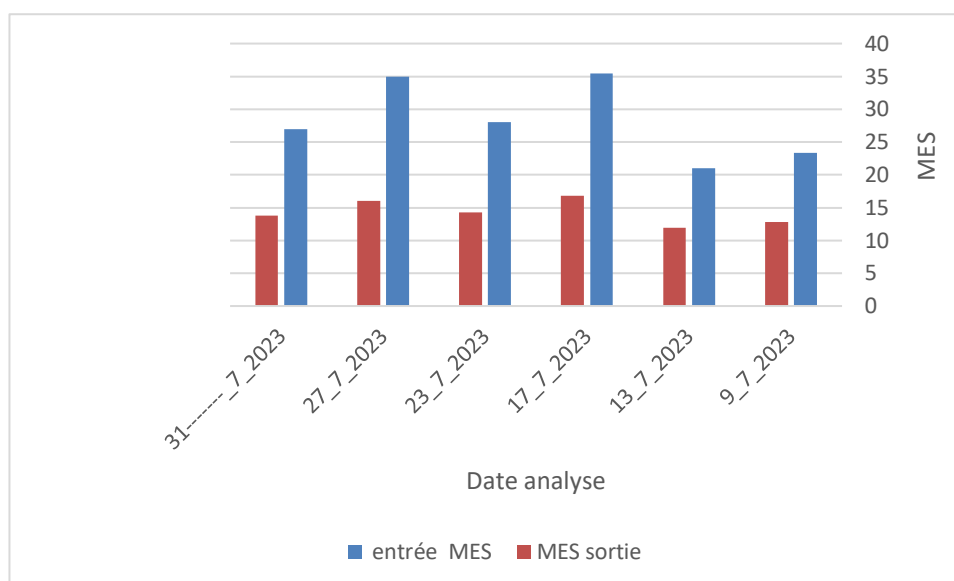


Figure 7: Variation de MES à l'entrée et sortie du filtre.

La représentation graphique des valeurs de MES des eaux entrantes et sortantes de la conduite de filtration (Figure 7) varie à l'entrée entre [21 – 35.4] et à la sortie entre [11.9– 16.8] [mg/l]. Les valeurs présentées mettent en évidence que la quantité de MES présente dans l'eau filtrée a diminué d'une façon significative. Ces valeurs sont en accord avec la réglementation algérienne 30 [mg/l].

Cette diminution de MES est due à la rétention des matières solubles par le substrat (gravier et fibres de palmier). La percolation horizontale des eaux (dans la conduite) à travers le substrat permet une sédimentation physique des particules solides en suspension (Tanner et al., 1995).

IV.1.3.5 Nitrates (NO_3^-)

Les résultats de la variation des teneurs en nitrates des eaux analysées sont donnés par le tableau 7 et la figure 8.

Tableau 7 : valeurs de NO_3^- à l'entrée et sortie du filtre.

Date d'analyse	NO_3^- à l'entrée	NO_3^- à la sortie
2023_7_9	0.073	1.4
2023_7_13	0.65	1.3
2023_7_17	0.43	1.26
2023_7_23	0.81	1.51
2023_7_27	0.36	1.21
2023_7_31	0.52	1.29

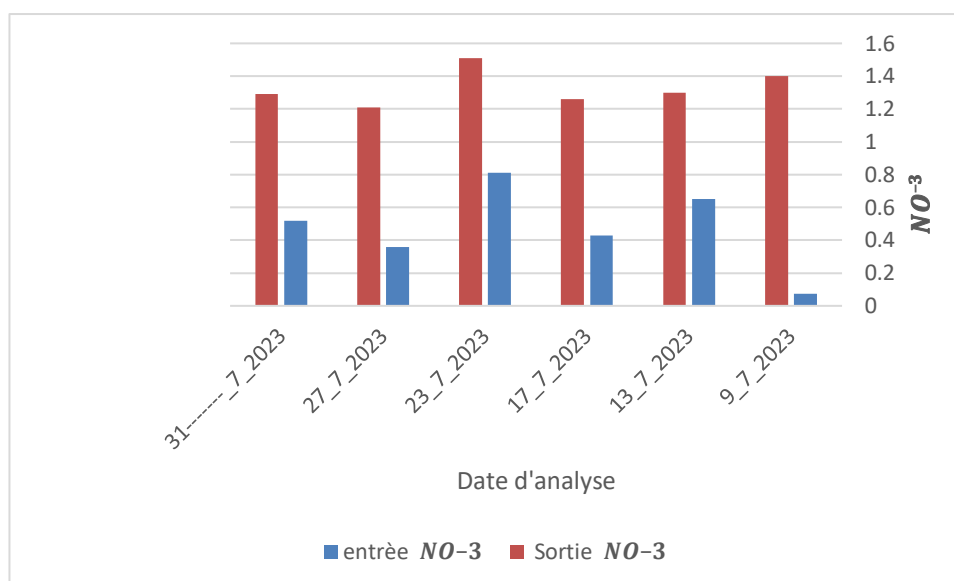


Figure 8 : Variation de NO₃⁻ à l'entrée et sortie de la conduite de filtration.

La représentation graphique des valeurs de NO₃⁻ des eaux analysées avant et après traitement (Figure 8) varient à l'entrée entre [0.073 – 0.81] et à la sortie entre [1.21 – 1.51] [mg/l]. D'après ces données, nous pouvons remarquer qu'il y a une légère augmentation des taux des nitrates au cours du traitement. Cette augmentation des taux de NO₃⁻ peut être interpréter par la décomposition de la matière organique azoté.

De tous ces données, nous pouvons observer que les teneurs en nitrates respectent les valeurs limites des eaux épurées qui sont destinées à l'irrigation.

IV.1.3.6 Phosphate (PO₄⁻³)

La représentation graphique des valeurs de (PO₄⁻³) des eaux entrantes et sortantes de la conduite de filtration (Figure 9) varie à l'entrée entre [5.4 – 5.9] et à la sortie entre [0.034 – 0.078] d'après ces résultats on observe qu'est conforme aux normes de l'OMS.

Tableau 8 : Valeurs de PO₄⁻³ à l'entrée et sortie du filtre.

Date d'analyse	PO ₄ ⁻³ à l'entré	PO ₄ ⁻³ à la sortie
2023_7_9	5.77	0.069
2023_7_13	5.44	0.034
2023_7_17	5.9	0.068
2023_7_23	5.66	0.065
2023_7_27	5.4	0.034
2023_7_31	5.86	0.078

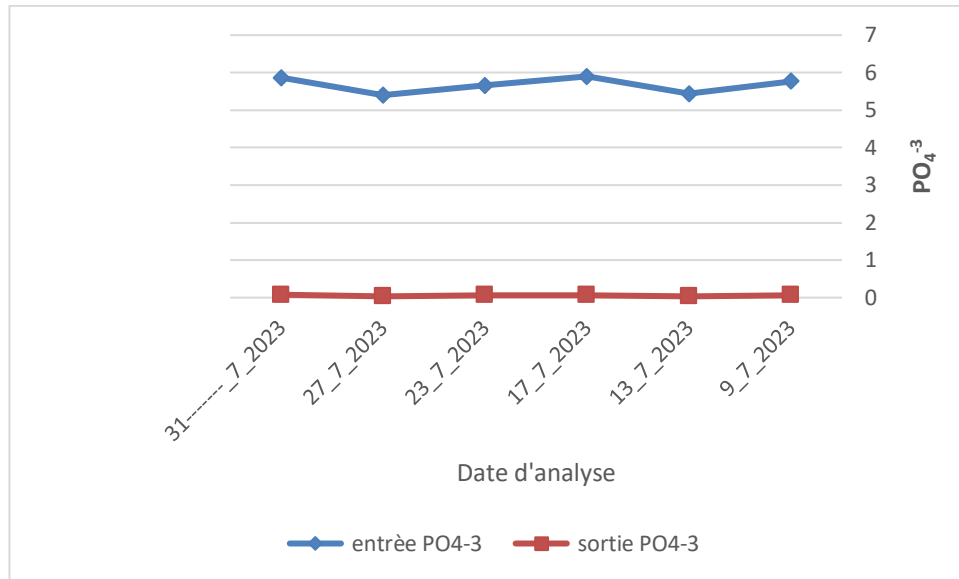


Figure 9 : Variation de PO_4^{-3} à l'entrée et sortie de la conduite de filtration.

IV.1.3.7 Température

Tableau 9 : valeurs de T° à l'entrée et sortie du filtre

Date d'analyse	T° à l'entrée	T° à la sortie
2023_7_9	37.2	35.1
2023_7_13	36.3	34.2
2023_7_17	37.2	35.7
2023_7_23	38.4	36.4
2023_7_27	39.2	37.4
2023_7_31	39.8	37.6

La représentation graphique des valeurs de température des eaux entrantes et sortantes de la STEP Kouinine (Figure 10) varient entre $[36.4^\circ\text{C}-39.8^\circ\text{C}]$ ces valeurs sont bien et reste toujours dans les normes de l'OMS et la réglementation algérienne (40°C).

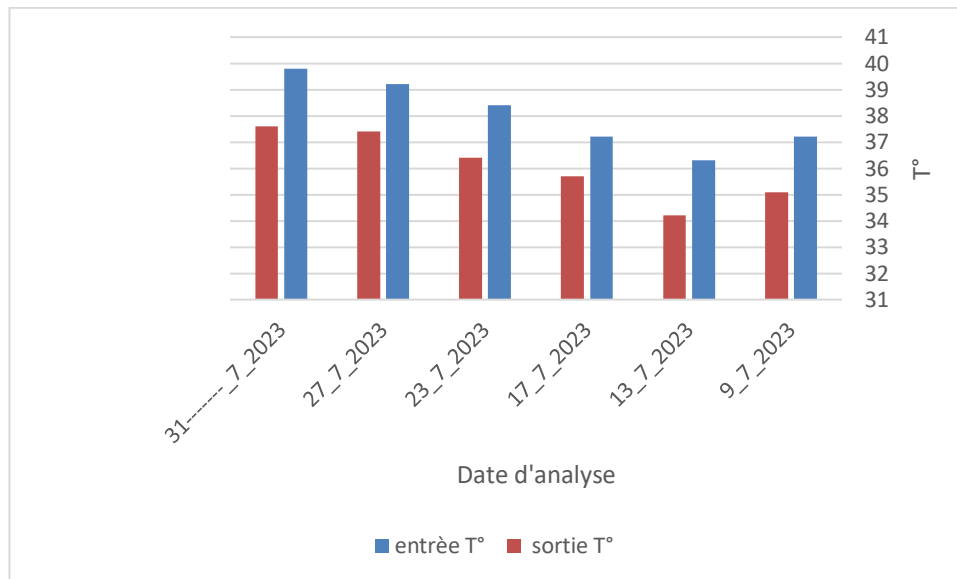


Figure 10 : variation de T° à l'entrée et sortie du filtre

IV.1.3.8 Oxygène dissous

Tableau 10 : Valeurs de O₂ à l'entrée et sortie du filtre.

Date d'analyse	O ₂ à l'entrée	O ₂ à la sortie
2023_7_9	5.23	2.47
2023_7_13	5.12	2.39
2023_7_17	5.63	2.68
2023_7_23	5.37	2.11
2023_7_27	4.94	2.09
2023_7_31	5.01	1.94

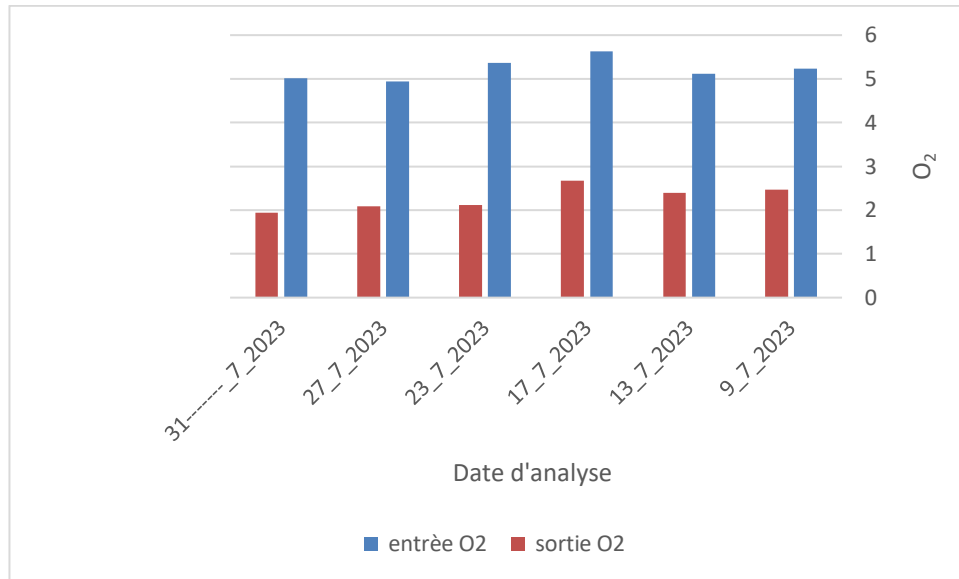


Figure 11 : Variation de O₂ à l'entrée et sortie du filtre

La représentation graphique des valeurs du O₂ des eaux entrantes et sortantes de la STEP de Kouinine (**Figure 11**) varie au cours des mois entre [4.94 -5.63] augmente jusqu'à [1.94-2.68] mais il reste dans les normes de l'OMS et la réglementation algérienne.

IV.2 Conclusion

L'objectif principal de ce chapitre est de mettre en évidence des potentialités de filtre de gravier et de fibre de palmiers pour l'élimination de la pollution (surtout l'organique) des eaux usées résiduaire. D'après les résultats obtenus, nous concluons que l'élimination de la charge polluante par ce filtre est hautement acceptable et que les eaux traitées respectent les normes d'irrigation. Ce filtre peut être également utilisée dans les zones rurales pour purifier des eaux faiblement polluées.

Conclusion
générale

Conclusion générale:

L'épuration des eaux résiduaires par la filtration biologique apparaît comme une technique d choix surtout dans le cas des eaux faiblement polluées. De ce fait, le mode de purification st basé sur un processus naturelle ou les agents actifs sont les bactéries fixées sur le substrat comme support (gravier et fibres de palmiers). Cette technique très écologique a présenté beaucoup d'avantages : fiabilité, faible cout et ne demande pas une grande technicité ou grands couts d'exploitation.

L'objectif principal de ce travail était de réaliser la filtration des eaux usées faiblement polluées d'un effluent tertiaire (eau sortante d'un lagunage aéré) par un nouveau filtre qui a été construit par le remplissage d'une conduite par du gravier et de fibres de palmiers.

Les résultats obtenus ont mis en évidence une performance importante de la conduite de filtration réalisée pour l'amélioration de la qualité des eaux épurées. Les données obtenues dans ce travail expérimental ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Le pH de l'eau est assez proche de la neutralité que ce soit pour l'eau brute ou l'eau traitée (entre 7.38 et 7.68).
- La teneur en oxygène était très importante après l'injection de l'air comprimé dans les eaux d'alimentation.
- Les pourcentages d'délimitation de la matière organique biodégradable (DBO₅) sont très remarquable et les valeurs de DBO₅ obtenues dans les eaux traitées varient entre 25 et 60 mg/l.
- Les mesures de DCO pour l'eau filtrée ont indiqué clairement la diminution de la charge organique totale (biodégradable et non biodégradable).
- L'efficacité du traitement est améliorée avec l'ajout de l'air comprimé dans les eaux d'alimentation.
- La purification de l'eau en matière de MES est très efficace, les valeurs de MES obtenues pour les eaux traitées varient entre de 11,9 et 35 mg/l.

Référence
bibliographique

Référence bibliographique

- [1] **Merlet, 2004:** Dictionnaire le petit Larousse illustré. 1^{ère} édition. Larousse. Paris. p.1818.
- [2] **Bachi O. EK, 2010 :** Diagnostique sur la valorisation de quelques plantes du jardin d'épuration de station du vieux Ksar Temacine. Ouargla. Mémoire de Magister. Université d'Ouargla.
- [3] **Abri, Rania, 2020 :** Evaluation de la performance épuratoire de la station d'épuration d'el Rabte jijel.
- [4] **BENSALAH. T, 1996 :** Traitement et épuration des eaux usées dans les petites agglomérations cas de la STEP de Ain-Youcef, Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat, université Abou-Bakre Belkaide_tlemcen.
- [5] **CHACHOUA MOUNIRA, 2009 :** Contribution à l'étude des performances épuratoires des procédés de traitement par lagunage, mémoire de magister université Abou-Bakre Belkaide_tlemcen,
- [6] **ZOHRA, 2015 :** Etude comparative des performances d'un lit bactérien a garnissage en pouzzolane de béni saf et d'un lit bactérien a garnissage plastique.
- [7] **Eckenfelder,** gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Ed. Lavoisier. Paris, 503p, (1982).
- [8] **Latifa, 2018 :** Etude d'épuration des eaux usées par l'infiltration -percolation sur le sable des dunes dans la région d'Oued Souf (SE Algérie).
- [9] **SLIMANI R., (2003).** Contribution à l'étude hygiénique les caractères physico-chimiques des eaux usées de la cuvette d'Ouargla et leur impact sur la nappe phréatique. Mem.Ing. Eco et Evo. Ecosystème steppique et saharien d'Ouargla.
- [10] **DES JARDINS,** à partir d'un mémoire du monsieur metahri Mohammed Saïd (élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes (1990).
- [11] **Rodier, J., Geoffray, C., & Rodi, L. (1975).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer: chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie. Dunod.

- [12] **BONTOUX J, 1993**, Introduction à l'étude des eaux douces : eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson, Edition Technique et Documentation Lavoisier, 166p.
- [13] **AbdelKader Gaid** : Epuration biologique des eaux usées urbaines. TOME I, Place centrale de Ben-Aknoun Alger.
- [14] **Abdeljaber, oussama** : Diagnostic de fonctionnement de la station D'épuration de kouinine : solutions Proposées.
- [15] **AbdelKader Gaid, 2019** : Epuration biologique des eaux usées urbaines. TOME I, Place centrale de Ben-Aknoun Alger.
- [16] **Hayat, Amel, 2020** : Traitement et Epuration des eaux par boue active : cas de la STEP de Médéa.
- [17] **Miyassa, Sadjia, 2017** : Caractérisation des sous-produits de l'épuration pour une éventuelle valorisation.
- [18] **Mebarka, 2019** : Etude expérimentale d'épuration des eaux urbaines par infiltration - percolation.
- [19] **Kaouther, Amel, 2020** : Traitement des eaux usées Au Niveau de La Raffinerie d'Arzew.
- [20] **Salah, Slimane, 2020** : Evaluation du rendement épuratoire de la station d'épuration de la ville de ILLIZI.
- [21] **HAMMI HALIM, 2010** : La pollution des eaux par les métaux lourds Les III^{ème}O
- [22] **Djeddi H** : Mémoire d'Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines, diplôme de Magistère en Ecologie et Environnement, (2007). Olympiades Tunisiennes de Chimie.
- [23] **OMS, Etude parasitologie médicale, 2005** : technique de base pour le laboratoire.
- [24] Journal officiel algérien N°41,2012.
- [25] **D'ornano M., Mehaignerie P** : Lagunage naturel et lagunage aéré procédés d'épuration des petites collectivités (Juin, 1979).

[26] **Youcef, Med Taher, Chouaib, 2023** : Etude d'un système de filtration biologique pour le traitement des effluents urbaines faiblement pollués.

[27] **Sana, Imane** : Etude de faisabilité de l'épuration des eaux usées par un lagunage naturel (cas de la région de M'rara).

[30] **Boumedienne, M. E. A. (2013)**. Bilan de suivi des performances de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées : cas de la step ain el houtz (Doctoral dissertation).

[28] **Mimeche, L. (2014)**. Etude 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 (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider Biskra).

[29] **Brodart E.** « Modélisation statistique d'une usine de traitement de l'eau potable. Rencontres Internationales Eau et Technologies Avancées »

[31] **LYNDA, CHAHRAZED, 2021** : Etude de redimensionnement des ouvrages de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Borj Bou Arreridj.

[32] **MOHMED, ALAA EDDINE, 2018** : Evaluation de l'efficacité de la station d'épuration de GUELMA (N-EST ALGERIE).