



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure
et de la Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIES

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière: Industries pétrochimiques

Spécialité: Génie pétrochimique

Par les étudiant(e)s: -TERCHA Mouldi - LEKHOUIMES Firouz - SAHRAOUI Abdallah

Thème

**Purification des eaux usées par végétaux
aquatiques, mécanisme et applications
(Phragmites australis – Zygophyllum)**

Soutenu le : 03/06/2024

Devant le jury composé de:

Abdeslam Boughezal MAA

Président

Université d'El-Oued

Mohammed Yazid Belghit MCA

Examineur

Université d'El-Oued

Abdelaziz Bouhoreira MCA

Encadreur

Université d'El-Oued

Année universitaire : 2023-2024

Remerciements

Avant de présenter ce travail, tout d'abord, nous tenons à remercier notre grand seigneur Dieu tout puissant pour nous avoir donné la foi en Lui, d'avoir éclairé notre route et de nous avoir guidé dans le meilleur et le bon chemin.

Je tiens à remercier admin, **Abdelaziz Bouhoreira**, qui nous a orienté pour accomplir ce travail et pour avoir une bonne qualité scientifique, et je lui souhaite également plein de succès.

Nous souhaitons exprimer nos remerciements et notre gratitude au professeur respecté et estimé **Khaoula Saihi**, instructeur de l'Office national de la désinfection (ONA), qui nous a supervisés lors de la réalisation de l'expérience, de son explication approfondie et détaillée et de son soutien.

J'exprime aussi notre infinie gratitude à tous les enseignants de la faculté des SCIENCES Technologie, division : Génie Pétrochimie , pour leurs encouragements et leur soutien moral.

En fin, j'adresse nos remerciements à nos familles qui ont fait tout pour nous mettre dans des bonnes dispositions afin que nous puissions accomplir ce travail.

Dédicace

A celle que je préfère à moi-même, et pourquoi pas, elle s'est sacrifiée pour moi

Elle n'a pas ménagé ses efforts pour me rendre heureux.

Ma mère bien-aimée, (Tercha Noura)

Nous marchons sur les chemins de la vie, et celui qui domine nos esprits dans
chaque chemin que nous empruntons reste

Le propriétaire d'un visage aimable et de bonnes actions.

Il n'a pas lésiné sur moi tout au long de sa vie

Mon cher père, (Tercha Omar)

À mes amis, et à tous ceux qui m'ont soutenu et aidé avec tout ce qu'ils ont, je
présente cette recherche et j'espère qu'elle vous satisfera

Tercha Mouldi



Dédicace

Le voyage n'a pas été court, et n'aurait pas dû l'être, le rêve n'était pas proche, et la route était semée d'embûches, mais je l'ai fait et je l'ai obtenu. Louange, amour, remerciement et gratitude à Dieu, grâce à qui je regarde aujourd'hui un rêve longtemps attendu qui est devenu une réalité dont je suis fier.

À mon ange pur, ma force après Dieu, mon premier et éternel soutien "mon père", je dédie cet accomplissement qui, sans tes sacrifices, n'aurait pas existé, reconnaissant que Dieu t'ait choisi parmi les êtres humains comme mon père, le meilleur soutien et substitut, à celle qui m'a soutenu sans limites et m'a donné sans contrepartie "ma mère".

À ceux qui m'ont dit : "Nous te renforcerons avec ton frère", "Mes frères", "Que Dieu vous garde comme une côte solide pour moi", "Mes sœurs", "Celles qui ont cru en mes capacités et qui ont été la sécurité de mes jours", "Celles qui me rappellent ma force et qui se tiennent derrière moi comme une ombre", "Mon cher ami", "Ma mère".



Lekhouimes Firouz

Dédicace

Je dédie ce mémoire

À mes très chers parents ,

Pour leurs sacrifices, leur amour, leurs prières et leur soutien.

À mon cher frère et mes chères soeurs,

Aucun mot ne pourra décrire vos dévouements et vos sacrifices.

À ma chérie, grande mère,

puisse Dieu lui prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur .

À ma chère famille,

proche et lointaine.

À tous mes chers amis et mes collègues de l'Université EL OUED ,

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.



Sahraoui Abdallah

Résumé :

La purification des eaux usées est un défi important dans le domaine de l'environnement. Une méthode prometteuse pour traiter les eaux usées est l'utilisation de plantes aquatiques, également connue sous le nom de phytoremédiation. Cette approche utilise les capacités naturelles des plantes à absorber et à éliminer les contaminants présents dans l'eau.

Les plantes aquatiques telles que les roseaux, et *Zygophyllum* (La Bugriba) sont souvent utilisées dans les systèmes de traitement des eaux usées. Elles sont capables d'absorber les nutriments, tels que l'azote et le phosphore, ainsi que d'autres substances polluantes comme les métaux lourds et les hydrocarbures.

Les résultats des analyses des plantes aquatiques (le roseaux et *Zygophyllum* (La Bugriba)), effectuées sur 3 mois, les valeurs trouvées sont proches de la norme algérienne, avec des taux de dilution (roseaux et *Zygophyllum* (La Bugriba)) de (95%-96%) en termes de solides en suspension (MES), (90,55%-91,60%) en termes de demande chimique en oxygène (DCO), et (90,85%-94%) en termes de demande biochimique en oxygène (DBO₅), avec une nette amélioration pour les nitrites et les nitrates.

Mots-clés : Eaux usées, traitement des eaux usées, étangs plantés, traitement de l'eau par les plantes, roseaux , la bugriba , *Zygophyllum* .

الملخص :

تمثل تنقية مياه الصرف الصحي تحدياً بيئياً كبيراً. وتتمثل إحدى الطرق الواعدة لمعالجة مياه الصرف الصحي في استخدام النباتات المائية، والمعروفة أيضاً باسم المعالجة النباتية. ويستخدم هذا النهج القدرة الطبيعية للنباتات على امتصاص الملوثات من المياه والتخلص منها.

وغالبا ما تُستخدم النباتات المائية مثل القصب و *الزيجوفيلوم* (البوقرية) في أنظمة معالجة مياه الصرف الصحي. وهي قادرة على امتصاص المغذيات مثل النيتروجين والفوسفور، فضلاً عن الملوثات الأخرى مثل المعادن الثقيلة والهيدروكربونات.

أظهرت نتائج تحاليل النباتات المائية (القصب و *الزيجوفيلوم* (البوقرية))، التي أجريت على مدار 3 أشهر، قيماً قريبة من المعيار الجزائري، حيث بلغت معدلات التخفيف (القصب و *الزيجوفيلوم* (البوقرية)) (95%-96%) من حيث المواد الصلبة العالقة (MES) ، و (90.55%-91.60%) من حيث الطلب الكيميائي على الأوكسجين (DCO) ، و (90.85%-94%) من حيث الطلب الكيميائي الحيوي الكميائي على الأوكسجين (DBO5) ، مع تحسن واضح للنتريت والنترات.

الكلمات المفتاحية : مياه الصرف الصحي، معالجة مياه الصرف الصحي، الأحواض المزروعة، معالجة المياه بالنباتات، القصب، البوقرية . و *الزيجوفيلوم* .

Abstract :

Wastewater purification is a major environmental challenge. One promising method for treating wastewater is the use of aquatic plants, also known as phytoremediation. This approach uses the natural ability of plants to absorb and eliminate contaminants from water.

Aquatic plants such as reeds and *Zygophyllum* (the bugriba) are often used in wastewater treatment systems. They are capable of absorbing nutrients such as nitrogen and phosphorus, as well as other pollutants such as heavy metals and hydrocarbons.

The results of analyses of aquatic plants (reed and *Zygophyllum* (the bugriba)), carried out over 3 months, found values close to the Algerian standard, with dilution rates (reed and *Zygophyllum* (the bugriba)) of (95%-96%) in terms of suspended solids (MES), (90.55%-91.60%) in terms of chemical oxygen demand (DCO), and (90.85%-94%) in terms of biochemical oxygen demand (DBOs), with a clear improvement for nitrites and nitrates.

Key words: Wastewater, wastewater treatment, planted ponds, plant-based water treatment, reeds, bugriba , *Zygophyllum* .

Sommaire

Sommaire

Liste des figures	i
Liste des photos	iii
Liste des Tableaux	iv
Liste des abreviations.....	v
Introduction générale.....	01

Partie I : Partie théorique

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées

I.1. Introduction.....	02
I.2. Définition des eaux usées.....	02
I.3. Origines des eaux usées.....	02
I.3.1. Les eaux usées domestiques.....	02
I.3.2. Les eaux usées industrielles.....	03
I.3.3. Les eaux usées agricoles.....	03
I.3.4. Les eaux usées pluviales.....	03
I.4. Les paramètres de pollution des eaux usées.....	03
I.4.1. Les paramètres physiques.....	04
I.4.1.1. La température.....	04
I.4.1.2. Les matières en suspension (MES).....	04
I.4.2. Les paramètres organoleptiques.....	04
I.4.2.1. La turbidité.....	04
I.4.2.2. La couleur	04
I.4.3. Les paramètres chimiques.....	04
I.4.3.1. Le potentiel d'Hydrogène (PH).....	04
I.4.3.2. La conductivité électrique.....	04
I.4.3.3. L'oxygène dissout.....	04
I.4.3.4. La Demande chimique en oxygène (DCO).....	05
I.4.3.5. La Demande Biochimique en oxygène (DBO).....	05

Sommaire

I.4.3.6. La matière organique (MO).....	05
I.4.3.7. L'azote.....	05
I.4.3.8. Le phosphore.....	05
I.4.3.9. Ammonium (NH_4^+).....	06
I.4.3.10. Nitrate (NO_3^-).....	06
I.4.3.11. Nitrites (NO_2^-).....	06
I.4.4. Les paramètres Bactériologiques.....	06
I.4.4.1. Les coliformes totaux.....	06
I.4.4.2. Les coliformes fécaux.....	06
I.4.4.3. Normes et concentrations admissibles	07
I.5. Étapes du traitement des eaux usées.....	07
I.5.1. Traitement Primaire.....	07
I.5.2. Traitement Secondaire.....	07
I.5.3. Traitement Tertiaire.....	08
I.6. Les procédés d'épuration des eaux usées.....	08
I.6.1. Traitement Primaire.....	09
I.6.1.1. La première étape est le tamisage.....	09
I.6.1.1.1. Le Dégrillage.....	09
I.6.1.1.2. Le Déssablage.....	10
I.6.1.1.3. La decantation (precipitation).....	10
I.6.1.1.4. Les bassins d'amendement.....	10
I.6.1.2. La deuxième étape.....	10
I.6.1.2.1. Bassin Enlever Le Sable.....	10
I.6.1.2.2. Le deuxième bassin.....	10
I.6.1.2.3. Le Deshuillage.....	10
I.6.2. Traitement biologique.....	11
I.6.2.1. Les procédés intensifs	11
I.6.2.1.1. Les disques biologiques	11
I.6.2.1.2 Les lits bactériens	12
I.6.2.1.3. Les boues activées	13
I.6.2.2. Les procédés extensifs	14
I.6.2.2.1 Les procédés extensifs à culture libre	15
I.6.2.2.2. Les procédés extensifs à culture fixe	17
I.6.3. Le traitement tertiaire.....	18
I.6.3.1. Les mécanismes de l'élimination biologiques des matières azotées	18
I.6.3.2. L'élimination du Phosphore	19
I.6.3.3. La désinfection	19
I.7. Conclusion	19

Chapitre II : Traitement des eaux usées à l'aide des plantes

II.1. Introduction	20
II.2. Plantes aquatiques utilisées dans la phytoremédiation plantes	20
II.2.1 Les plantes aquatiques sont très présentes	20
II.2.2 Plantes aquatiques submersibles	21
II.2.3 Plantes aquatiques flottantes	21
II.3. Étangs utilisés pour l'épuration des eaux usées	21
II.3.1 Étangs plantés de plantes à écoulement libre	22
II.3.2 Étangs plantés de plantes à écoulement horizontal	22
II.3.3 Étangs plantés de végétaux à écoulement vertical	24
II.3.4 Étangs plantés de plantes à flux varié (hybride) (horizontal + vertical)	25
II.4. Le rôle des différents composants du système	26
II.4.1 Le rôle des matériaux d'emballage	26
II.4.2 Le rôle de la plante	26
II.4.2.1 Le rôle direct	26
II.4.2.2 Rôle indirect	27
II.4.2.3 Le rôle des micro-organismes	28
II.5. Mécanismes d'élimination des polluants et efficacité des bassins de phytoremédiation	28
II.6. Perspectives et développements futurs	29
II.6.1 Perspectives	29
II.6.2 Développements futurs.....	29
II.6.3 Avantages de la phytoépuration	29
II.6.4 Défis de la phytoépuration	30
II.7. Avantages et inconvénients de la phyto-épuration	30
II.7.1. Avantages	30
II.7.2. Inconvénients les plus souvent cités	30
II.8. Conclusion	31

Partie II : Partie pratique

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1 Présentation de la STEP	32
III.1.1. Présentation de la station d'épuration STEP N°1	32
III.1.2. Situation géographique de la station d'épuration	32
III.1.3. Objectif de traitement de la station	34
III.1.4. Description de STEP N°1.....	34
III.1.5. Procédés d'épurations des eaux usées dans la station	34
III.2 Matériels et méthodes	37
III.2.1. Période de stage	37
III.2.2. Matériel de démonstration usagé	37
III.2.2.1. Lieu et temps plantation	37

Sommaire

III.2.2.2. Classification scientifique de la plante de l'utilisateur	38
III.2.2.1.1 les roseaux	38
III.2.2.1. 2 <i>Zygophyllum</i> (La Bugriba)	39
III.2.3. Matériels	40
III.2.4. Méthodes	40
III.2.4.1. Les paramètres physico-chimiques	40
III.2.4.1.1 Détermination de le PH	40
III.2.4.1.2 Détermination des matières en suspension (MES)	41
III.2.4.1.3 Détermination de temperature	42
III.2.4.1.4 Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	42
III.2.4.1.5 Détermination de la demande Chimique en Oxygène (DCO)	44
III.2.4.1.6 Détermination Quantité d'oxygène dissous O ₂ diss	45
III.2.4.1.7 Détermination La turbidité (NTU)	46
III.2.4.1.8 Détermination Azote total (NT)	47
III.2.4.1.9 Détermination Nitrates NO ₃ ⁻	47
III.2.4.1.10 Détermination Nitrites NO ₂ ⁻	47
III.2.4.1.11 Détermination la conductivité électrique (CE)	48

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1 Introduction	49
IV.2 Résultats et discussions	49
IV.2.1 L'évolution de la température T(c°)	49
IV.2.2 L'évolution de potentiel Hydrogène (pH)	50
IV.2.3 L'évolution de la Oxygène dissous (O ₂ diss)	51
IV.2.4 L'évolution de matières en suspension MES	52
IV.2.5 L'évolution de La Turbidité	53
IV.2.6 L'évolution de la demande chimique en oxygène (DCO).....	54
IV.2.7 L'évolution de la demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	55
IV.2.8 L'évolution de nitrate NO ₃ ⁻	56
IV.2.9 L'évolution de nitrite NO ₂ ⁻	57
IV.2.10 L'évolution de La Azote total (NT).....	58
IV.2.11 L'évolution de la conductivité électrique CE	59
IV.3. Conclusion	60
Conclusion générale	61
Références bibliographiques	62

Liste des figures

Figures	Titres	Pages
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées		
Figure 01	Composition d'une eau usée domestique et les divers états et phases de ses matières	03
Figure 02	Schéma simplifié du fonctionnement d'un déshuileur	11
Figure 03	Schéma de principe d'une filière type de disques biologiques	12
Figure 04	Schéma de principe des lits bactériens	13
Figure 05	Schéma de principe des boues activées	13
Figure 06	Les principaux procédés extensifs et intensifs du traitement biologique ...	15
Figure 07	Infiltration-percolation étanchée et drainée	18
Chapitre II : Traitement des eaux usées à l'aide des plantes		
Figure 08	Montre un bassin traité avec des plantes et dont les eaux de ruissellement s'écoulent librement	22
Figure 09	Bassin végétalisé avec écoulement souterrain horizontal	23
Figure 10	Bassin végétalisé avec écoulement souterrain vertical	24
Figure 11	Bassin de phytoremédiation à écoulement mixte (hybride)	25
Chapitre III : Matériels et méthodes		
Figure 12	Station d'épuration des eaux usées Kouinine – El'Oued	32
Figure 13	Carte de situation de STEP 01 Kouinine	33
Figure 14	schéma présenté station de lagunage aéré de STEP N°1 de Kouinine	34
Chapitre IV : Résultats et discussions		
Figure 15	Evolution temporelle de la température T(c°) pour les étangs plantés et les étangs témoins	49
Figure 16	Evolution temporelle du pH pour l'aquarium transplanté et l'aquarium témoin	50
Figure 17	Evolution temporelle de l'oxygène dissous Odiss pour les bassins cultivés et les bassins témoins	51
Figure 18	Evolution temporelle de matières en suspension pour les bassins cultivés et les bassins témoins	52
Figure 19	L'évolution de La Turbidité pour l'aquarium transplanté et l'aquarium témoin ...	53

Liste des Figures

Figure 20 : Evolution temporelle de la demande chimique en oxygène (DCO) pour l'aquarium transplanté et l'aquarium témoin.	54
Figure 21 : Évolution temporelle de la demande biochimique en oxygène DBOs pour l'aquarium planté et l'aquarium témoin	55
Figure 22 : Évolution temporelle du nitrate NO_3^- pour les étangs plantés et les étangs témoin	56
Figure 23 : Évolution temporelle du nitrate NO_3^- pour les étangs plantés et les étangs témoin	57
Figure 24 : Évolution temporelle de La Azote totale (NT) dans les étangs plantés et les étangs de Témoin	58
Figure 25 : Évolution temporelle de la conductivité électrique dans les étangs plantés et les étangs de Témoin	59

Liste des photos

Figures	Titres	Pages
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées		
Photo 01	Dégrillage	09
Photo 02	Schémas de lagunage naturel	15
Photo 03	Photo de réalisation du lagunage à macrophytes	16
Photo 04	Photos de réalisation de filtres plantés de roseaux	17
Chapitre III : Matériels et méthodes		
Photo 05	Dégrillage.....	35
Photo 06	Dessablage	35
Photo 07	Répartiteur vers les bassins d'aération	36
Photo 08	Lagune aéré	36
Photo 09	Lagune de finition	36
Photo 10	Lit de séchage des boues	36
Photo 11	Matériel de démonstration usagé.....	37
Photo 12	<i>Phragmites australis</i> (Les roseaux).	38
Photo 13	<i>Zygophyllum</i> (La Bugriba).	39
Photo 14	pH Mètre (KETOTEK)	41
Photo 15	Ensemble de filtration à vide de marque « Speed flow »	41
Photo 16	Etuve chauffé (105°C) de marque « P SELECTA »	42
Photo 17	la technique de détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	43
Photo 18	Spectrophotomètre CR/2200	45
Photo 19	Dispositif de mesure HQ30d HACH	46
Photo 20	Turbidimètre (turb 550)	46

Liste des Tableaux

Figures	Titres	Pages
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées		
	Tableau 01 : Valeurs maximales pour les normes physiques et chimiques	07
Chapitre III : Matériels et méthodes		
	Tableau 02 : Matériel utilisé dans les analyses physico-chimiques et dans un laboratoire L'ONA	40

Liste Des abréviations

CE : Conductivité électrique .
DBO₅ : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours.
DCO : Demande chimique en oxygène.
H : Hydrogène
O₂diss : Oxygène dissous
OMS : Organisation Mondiale de la Santé .
CO₂ : le dioxyde de carbone.
MO : Matière Organique
H₂O: Eau
MES : Matière en suspension.
NH₄⁺ : L'azote ammoniacal
NO₂⁻ : Nitrites
NO₃⁻ : Nitrates
Nt : L'azote total
NTU :Nephelometric Tirbidity Unit
O₂ : Oxygène
ONA : Office Nationale de l'Assainissement .
pH : Potentiel Hydrogène.
PO₄³⁻: Phosphate
HPO₄²⁻: représentent le phosphate d'hydrogène
H₂PO₄⁻ : représentent le phosphate d'hydrogène
P₃O₉³⁻ : les triphosphates
P₂O₆²⁻ : pyrophosphate
P₂O₇⁴⁻ : diphosphate
Pt : Phosphor total
STEP : Station de traitement des eaux pollué
T (C°) : Température en degrés Celsius .
µS/cm : Micro Siemens par Centimètre
H₂S : le sulfure d'hydrogène

Introduction générale

Introduction générale

L'épuration des eaux usées par les plantes, également connue sous le nom de phytoremédiation, est une méthode naturelle et durable utilisée pour traiter les eaux usées et les contaminants présents dans les milieux aquatiques. Cette approche repose sur l'utilisation de plantes aquatiques et de micro-organismes présents dans le sol pour éliminer, réduire ou transformer les polluants présents dans l'eau.

La phytoremédiation est souvent utilisée comme alternative aux méthodes conventionnelles de traitement des eaux usées, telles que les stations d'épuration chimiques ou les procédés physico-chimiques. Elle présente plusieurs avantages, notamment sa faible consommation d'énergie, son faible coût de maintenance et son impact environnemental réduit.

Le processus de phytoremédiation des eaux usées repose sur l'utilisation de plantes aquatiques spécifiques, telles que les roseaux (*Phragmites australis*), les joncs (*Juncus spp.*) et les iris (*Iris pseudacorus*). Ces plantes sont capables d'absorber et d'accumuler les polluants présents dans l'eau, tels que les métaux lourds, les nutriments et les composés organiques.

L'épuration des eaux usées par les plantes aquatiques se déroule généralement dans des systèmes de traitement appelés marais filtrants ou lagunages naturels construits. Ces systèmes sont conçus de manière à favoriser la croissance des plantes et à maximiser l'interaction entre les racines des plantes, les micro-organismes du sol et les contaminants présents dans l'eau.

Lorsque les eaux usées sont introduites dans le système, elles sont d'abord prétraitées pour éliminer les matières solides et les grosses particules. Ensuite, l'eau est acheminée vers les bassins de traitement où les plantes aquatiques sont cultivées. Les racines des plantes agissent comme un filtre naturel, permettant la rétention des polluants et facilitant leur dégradation par les micro-organismes présents dans le sol.

Au fur et à mesure que l'eau traverse le système, les plantes et les micro-organismes contribuent à la dégradation des polluants par des processus tels que la phytoextraction, la rhizodégradation et la rhizofiltration.

La phytoextraction consiste à absorber les contaminants présents dans l'eau et à les accumuler dans les tissus des plantes, tandis que la rhizodégradation et la rhizofiltration impliquent la dégradation ou la transformation des polluants par les micro-organismes associés aux racines des plantes.

À la fin du processus, l'eau traitée est généralement utilisée à des fins d'irrigation ou rejetée dans un cours d'eau, tandis que les plantes récoltées peuvent être éliminées de manière appropriée, en tenant compte de leur teneur en contaminants.

Il convient de noter que l'épuration des eaux usées par les plantes aquatiques présente certaines limites et exigences techniques. Les performances du système peuvent varier en fonction des conditions environnementales, de la nature et de la concentration des polluants présents dans l'eau, ainsi que de la sélection des plantes appropriées. Par conséquent, une conception et une gestion appropriées sont essentielles pour assurer l'efficacité du processus de phytoremédiation.

En conclusion, l'épuration des eaux usées par les plantes aquatiques est une approche prometteuse pour le traitement durable des eaux usées. Elle offre une alternative écologiquement favorable aux méthodes conventionnelles de traitement des eaux usées, tout en présentant des avantages économiques et environnementaux. Cependant, une évaluation minutieuse des conditions locales et une planification adéquate sont nécessaires pour optimiser les performances du système de phytoremédiation. [1]

Partie I :
Partie théorique

Chapitre I

Généralités sur les

eaux usées

I.1. Introduction :

Des eaux usées de mauvaise qualité peuvent constituer un risque sérieux pour la santé publique et l'environnement. La quantité de polluants atteignant l'environnement est appelée charge excrétoire. Elle est appelée charge d'excrétion. Sa composition dépend de la population qui produit les eaux usées. Elle dépend notamment de la proportion de personnes infectées et de l'état sanitaire.

I.2. Définition des eaux usées :

Une eau usée, appelée encore eau résiduaire ou effluent est une eau qui a subi une détérioration après usage. La pollution des eaux dans son sens le plus large 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 ». [2] .

I.3. Origines des eaux usées :

Selon l'origine des eaux usées, quatre grandes catégories sont distinguées :

- Les eaux usées domestiques ;
- Les eaux usées industrielles ;
- Les eaux usées agricoles ;
- Les eaux usées pluviales ;

I.3.1. Les eaux usées domestiques :

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans le goutts [3] .

Les eaux usées domestiques sont constituées :

- **Des eaux de cuisine** : qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques, (glucides, lipides protides) et des produits détergents ;
- **Des eaux de buanderie** : contenant principalement des détergents ;
- **Des eaux de salle de bains** : chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement de matières grasses hydrocarbonées ;
- **Des eaux de vannes** : qui proviennent des sanitaires, très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphorés et en microorganismes [2] .

Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales et organiques dans les trois états physiques de la matière : solide, liquide et gazeuse et dans les cinq états de dispersion : débris grossiers, suspensions (émulsions), colloïdes, molécules dissoutes dissociées ou non. Les eaux usées véhiculent aussi microorganismes pathogènes ou saprophytes et virus [4] .

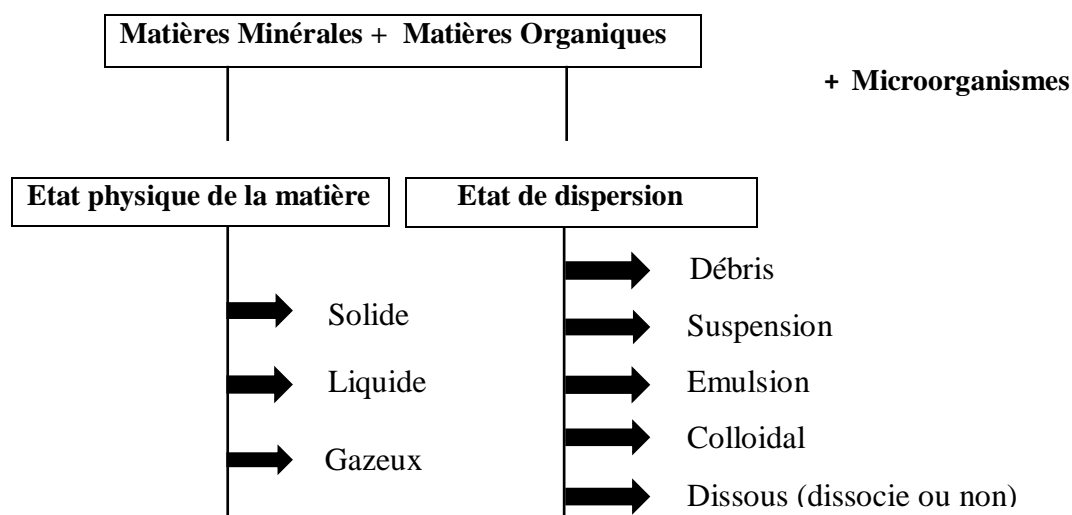


Figure 01 : Composition d'une eau usée domestique et les divers états et phases de ses matières [4].

I.3.2. Les eaux usées industrielles :

Les eaux d'origine industrielles qui sont très différentes des eaux usées domestiques, proviennent des différentes usines de fabrication ou de transformation. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. Elles peuvent être chargées en matières toxiques difficilement biodégradables qui nécessitent un traitement spécifique [5].

I.3.3. Les eaux usées agricoles :

Les eaux d'origine agricoles sont constituées essentiellement des eaux de drainage des champs agricoles et des rejets de lavage des fermes d'élevage. Il s'agit d'un mélange de composés relativement biodégradable. Néanmoins, ces eaux sont parfois caractérisées par de fortes concentrations de pesticides et d'engrais artificiels. Les paramètres qui doivent être pris en considération sont l'azote nitrique, le phosphate et les substances organiques.

L'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement :

- ❖ Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation) ;
- ❖ Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides,...) [6].

I.3.4. Les eaux usées pluviales :

Ce sont les eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation, elles peuvent être particulièrement polluées [7].

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulés polluants atmosphériques, poussières, débris, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules [8].

I.4. Les paramètres de pollution des eaux usées :

Les principaux paramètres physicochimiques analysés au cours de la partie expérimentale

ainsi que les paramètres bactériologiques les plus rencontrés dans les eaux usées sont les suivants:

I.4.1. Les paramètres physiques :

I.4.1.1. La température (T) :

Il est essentiel de déterminer avec précision la température de l'eau car elle joue un rôle central dans divers aspects tels que la solubilité des sels et des gaz, la dissociation des sels dissous affectant ainsi la conductivité électrique, la détermination des niveaux de pH, l'établissement des origines de l'eau ainsi que des mélanges potentiels. .

La température est un facteur écologique important qui influence les environnements aquatiques : une augmentation peut perturber considérablement la vie marine en provoquant une pollution thermique. Il possède également une fonction intégrale dans les processus biologiques de nitrification et de dénitrification. [9] .

I.4.1.2. Les matières en suspension (MES) :

Il s'agit de matières non solubilisées. Elles comportent des matières organiques et des matières minérales. Elles peuvent également être des microorganismes vivants Elles donnent à l'eau une apparence trouble et une mauvaise odeur [10] .

I.4.2. Les paramètres organoleptiques :

I.4.2.1. La 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 matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale [11] .

I.4.2.2. La couleur :

La couleur des eaux varie du jaune pâle à peine perceptible au brun rougeâtre, selon la nature et la concentration des matières colorantes. Ces matières sont le plus souvent d'origine naturelle et proviennent de la dégradation des matières végétales. La couleur dépend aussi du pH et de la turbidité , ce qui explique les différentes méthodes proposées pour son examen [7] .

I.4.3. Les paramètres chimiques :

I.4.3.1. Le potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH mesure la concentration des ions H^+ dans l'eau. La valeur du pH altère la croissance et la reproduction des micro-organismes existants dans une eau, la plupart des bactéries peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9, l'optimum est situé entre 6,5 et 8,5, des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et la survie des microorganismes aquatiques selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) [12] .

I.4.3.2. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm^2 de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

L'unité de la conductivité est le siemens par mètre (S/m) [11] .

La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'Origine d'une eau. [13] .

I.4.3.3. L'oxygène dissout :

L'oxygène dissout (O_2) est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux

aquatiques. L'oxygène, toujours présent dans l'eau, n'en est pas un élément constitutif. Sa solubilité est fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité [14].

I.4.3.4. La Demande chimique en oxygène (DCO) :

Elle est égale à la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement (abiotiquement) la matière organique présente dans les eaux usées en composés simples et stables grâce à des produits chimiques oxydants. Cette norme est généralement supérieure à la DBO₅ car certaines matières organiques oxydables contenues dans les eaux usées ne peuvent pas être décomposées (oxydées) par les organismes (c'est-à-dire par l'action de micro-organismes). Mais des composés oxydants puissants tels que le dichromate de potassium doivent être ajoutés pour réaliser le processus d'oxydation, qui se produit généralement lors du traitement des eaux usées industrielles de nombreux centres industriels. [15][16].

I.4.3.5. La Demande Biochimique en oxygène (DBO₅) :

Elle est égale à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer (oxyder) la matière organique présente dans les eaux usées et la transformer en composés simples et stables par divers types d'organismes microaérophiles (principalement des bactéries) à une température de 20°C en cinq jours.

Cette quantité est approximativement égale à 0,66 de la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer toute la matière organique qui peut être complètement biodégradée et prend beaucoup de temps, et plus la DBO₅ est élevée, plus la pollution organique dans les eaux usées est importante. La demande biochimique en oxygène des eaux usées domestiques est de (500-150 mg/L). [16].

Ses objectifs peuvent être résumés comme suit :

- Déterminer le degré de contamination organique.
- Déterminer la quantité de matière organique biodégradable .

I.4.3.6. La matière organique (MO) :

Elles existent sous différentes formes physiques et peuvent être :

- de grandes ou de petites molécules telles que : Sucres, acides organiques volatils, amidon, cellulose, urine.
- Des colloïdes décomposés : Principalement composés d'azote, de carbone carbonique, d'oxygène, de soufre sulfuré, de phosphore phosphoré, les matières organiques sont évaluées en déterminant le rapport entre DCO et DBO₅ [16] [17].

I.4.3.7. L'azote :

Dans une eau résiduaire « fraîche », l'azote est essentiellement contenu dans les protéines et l'urée mais au cours du séjour dans le réseau d'égouts, une forte proportion de l'azote organique est hydrolysée en ammoniac. À l'entrée de la station, l'azote se répartit typiquement en ammoniac (60 à 75 %) et en azote organique (25 à 40 %) sous forme soluble et particulaire. Les sources d'azote susceptibles d'être utilisées par les différents micro-organismes incluent pratiquement toutes les sources d'azote organique et minéral. [18].

I.4.3.8. Le phosphore :

Le phosphore présent dans les eaux usées est presque exclusivement sous la forme phosphate. Il existe plusieurs catégories de phosphates qui peuvent être classifiées en trois groupes

principaux :

- Les orthophosphates (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$) ;
- Les phosphates condensés, où deux ou plusieurs atomes de phosphore sont réunis par des liaisons P-O-P, comme les métaphosphates ($P_2O_6^{2-}$, $P_3O_9^{3-}$...etc.), les pyrophosphates ($P_2O_7^{4-}$), etc...
- Les phosphates organiques où les liaisons P-O-C sont présentes, comme les phosphoprotéines, les phosphoglucosides et les phospholipides.

Le phosphore contenu dans les eaux résiduaires à dominante urbaines provient pour l'essentiel des rejets métaboliques (urines, fèces). Les autres apports de phosphore proviennent des détergents pour lave-vaisselle, des eaux de vaisselle, des détergents lessiviels ménagers [19].

I.4.3.9. Ammonium (NH_4^+) :

Les résidus animaux et végétaux dans le sol sont une source de base d'ammonium en décomposant les protéines et autres composés organiques azotés qui composent ces résidus, où une grande partie de l'ammonium formé se déplace vers les rivières, et la présence d'ammonium en grande quantité dans les eaux de surface est la preuve d'une pollution entraînant le rejet d'eaux usées dans les cours d'eau. [20].

I.4.3.10. Nitrate (NO_3^-) :

La recherche médicale a prouvé que les nitrates ont des dommages importants pour la santé et que leur présence dans l'eau peut être due à la nitrification de l'azote organique, et que les nitrates dans l'eau naturelle proviennent de la présence d'un écoulement d'eau à la surface du sol qui contient de l'azote à la suite de l'expansion de l'utilisation d'engrais chimiques [20].

I.4.3.11. Nitrites (NO_2^-) :

Les électrolytes nitrites représentent une phase de transition entre les électrolytes nitrates et ammonium dans le processus d'oxydation et de retour, de sorte que les électrolytes nitrites dans le milieu aqueux sont le résultat du retour des électrolytes nitrates ou de l'oxydation des électrolytes ammonium, et il n'y a pas de référence naturelle pour les nitrites. [20].

I.4.4. Les paramètres Bactériologiques :

Les eaux résiduaires urbaines transportent de nombreux microorganismes dont certains sont pathogènes. Les germes les plus fréquemment rencontrés sont les coliformes totaux et fécaux, *Escherichia coli* ...etc.

I.4.4.1. Les coliformes totaux :

Les coliformes totaux constituent un groupe de bactéries qui se trouvent fréquemment dans l'environnement, ainsi que dans les intestins des mammifères, dont les êtres humains.

Elles sont capables de se développer à 37 °C, elles n'entraînent en général aucune maladie, mais leur présence indique que l'eau peut être contaminée par des micro-organismes plus nuisibles [5] .

I.4.4.2. Les coliformes fécaux :

Les coliformes fécaux ou "coliformes thermotolérants" sont un sous-groupe des coliformes totaux, renferme toutes les espèces bactériennes faisant partie de la famille des Enterobacteriaceae qui sont aérobies ou anaérobies facultatives, à Gram négatif, en forme de bâtonnet, sont capables de se développer à 44 °C [5] .

Les coliformes fécaux constituent un bon test de contamination des eaux par les matières fécales humaine ou animale. L'espèce caractéristique et principale des coliformes fécaux est *Escherichia coli*.

I.4.4.3. Normes et concentrations admissibles :

Dans le cadre de la préservation de l'environnement et de la santé publique, l'Algérie a imposé des critères par lesquels elle fixe les valeurs des normes maximales de drainage pour les déchets d'unités industrielles liquides, datées du 25 shaban 1433 correspondant au 15 juillet 2012, qui réglemente les déchets industriels liquides (voir tableau ci-dessous)

Tableau N°01: Valeurs maximales pour les normes physiques et chimiques [16][21].

Caractéristiques	la valeur
Température	30 C°
pH	6.5-8.5
MES	30mg/l
DBO ₅	30mg/l
DCO	90mg/l
Azote N	30mg/l
Phosphate	02mg/l
Zinc	10mg/l
chrome	01mg/l
Détergents	01mg/l
Huiles et graisses	20mg/l
Oxygène dissous	05-02mg/l
Nitrite	01mg/l

I.5. Étapes du traitement des eaux usées :

I.5.1. Traitement Primaire :

À ce stade, entre 35 et 50 % de la matière organique biodégradable est éliminée, ainsi qu'entre 50 et 70 % des matières en suspension.

Les solides sont déposés dans des bassins spéciaux appelés bassins de sédimentation, formant une couche d'argile noire au fond du bassin, appelée "boue", et les graisses, huiles et matières grasses flottent à la surface de la couche de boue pour être éliminées par un processus appelé "écrémage". Les matières en suspension sont éliminées de la surface des bassins . [20] [22].

I.5.2. Traitement Secondaire :

Les eaux usées sont traitées biologiquement, c'est-à-dire à l'aide d'organismes vivants en cultivant des bactéries aérobies capables de consommer et d'analyser les solides, ainsi que de digérer la matière organique contenue dans les eaux usées

Ces processus sont souvent réalisés dans des bassins peu profonds, des étangs ou des lacs aux eaux stagnantes, dans lesquels il n'y a pas d'aération, ou bien ces bassins

et étangs peuvent être dotés d'une aération artificielle, grâce à une machine qui pousse de l'air dans les eaux usées, afin de fournir l'oxygène nécessaire aux bactéries. Dans ce cas, les taux de biodégradation sont faibles.

Toutefois, les processus de biodégradation peuvent être accélérés en remuant continuellement les eaux usées dans les bassins ou en ajoutant certains types de bactéries lysogènes, qui ont une grande capacité à décomposer la matière organique.

Une fois ce processus achevé, le liquide passe dans le bassin de décantation secondaire ou final, où les boues se déposent au fond, tandis que le liquide est transporté vers l'étape suivante.

Les "boues" issues des étapes préliminaire, primaire et secondaire sont collectées et transférées dans le "réservoir de digestion des boues".

Les bactéries décomposent les matières organiques complexes en substances moins complexes, libérant du méthane qui est utilisé comme source de carburant.

La boue résultant de ce processus est collectée, séchée et utilisée comme engrais pour le sol, Le traitement secondaire permet d'éliminer 90 % des matières organiques biodégradables et environ 85 % des matières en suspension. [20] [22].

I.5.3. Traitement Tertiaire :

Au cours de cette étape, plusieurs processus chimiques sont mis en œuvre pour éliminer divers contaminants qui n'ont pas été éliminés au cours des étapes précédentes, tels que le phosphore, l'azote, les matières organiques dissoutes et certains éléments toxiques.

Cette étape permet d'obtenir une eau d'une grande pureté ; environ 100 % des matières solides en suspension, de l'azote, du phosphore, des huiles et des graisses en suspension sont éliminés. Ces procédés comprennent la coagulation chimique, la sédimentation, la filtration sur sable, l'adsorption sur charbon, l'échange d'ions et l'osmose inverse.

Lorsque des composés de fer, d'aluminium et de calcium sont ajoutés aux eaux usées, ils modifient les propriétés de l'eau, ce qui fait que les particules en suspension dans les eaux usées se collent les unes aux autres, formant des masses solides plus importantes, qui sont déposées et éliminées.

Ce processus est appelé coagulation chimique et sédimentation. Les eaux usées passent ensuite à travers des filtres contenant des couches de sable d'environ un demi-mètre d'épaisseur. Ce processus s'appelle le filtrage sur sable. Pour se débarrasser des odeurs désagréables.

Au final, il reste de fortes concentrations de sels, qui sont éliminées par des procédés d'échange d'ions et d'osmose inverse...

Normalement, le chlore, à une concentration de 100 mg/litre, est appliqué pendant 15 à 120 minutes. Ainsi, les eaux usées se transforment en eau pure, exempte de toxicité et d'infection. [20] [23] [22].

I.6. Les procédés d'épuration des eaux usées :

Pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel et les rendre propres et sécuritaires, l'épuration des eaux usées s'avère une nécessité primordiale. Elle est effectuée au niveau des stations d'épuration où les eaux usées subissent des prétraitements, et différents types de traitement : physiques, biologiques et physico-chimiques [24].

Les stations d'épuration des eaux usées des agglomérations urbaines importantes comportent une chaîne de traitement dont la complexité dépend du degré d'épuration jugé nécessaire [4].

I.6.1. Traitement Primaire :

Séparer les solides des liquides ainsi que les phases non aqueuses telles que l'huile de l'eau :

Le traitement physico-chimique indépendant est apparu comme un concurrent du traitement biologique depuis environ 1970.

Le traitement chimique le plus répandu consiste à ajuster le pH de l'eau contaminée. ne peuvent être rejetées directement dans les réseaux d'égouts ou dans les eaux naturelles que si elles sont ajustées à des valeurs moyennes de l'ordre de 7 afin d'éviter des dommages à l'environnement. L'eau contaminée alcaline est au cœur de l'utilisation de l'acide sulfurique, par exemple, et de l'eau .

Les eaux contaminées acides sont à la base de l'utilisation du carbonate de sodium ou du carbonate de sodium. [16] .

I.6.1.1. La première étape est le tamisage :

Les grosses particules inorganiques ainsi que les fibres non biodégradables de 61 à 01 % sont éliminées par tamisage soit par précipitation simple ou non simple avec adjonction d'agents chimiques coagulants Les Agents chimiques Coagulants Ce traitement est nécessaire pour protéger les installations mécaniques et les différentes pompes dans les phases ultérieures du processus.

Cette étape vise également à homogénéiser l'eau, en particulier lorsque de grandes quantités d'eaux usées industrielles sont occasionnellement déversées dans l'usine. [16] .

I.6.1.1.1. Le Dégrillage :

Il s'agit d'éliminer les éléments de grandes dimensions qui se trouvent dans l'eau d'égout brute (chiffons, matières plastiques... etc.) et qui pourraient perturber le fonctionnement de la station d'épuration. Pour ce faire, on intercale une grille, dont les barreaux ont un écartement de l'ordre du centimètre [24].

L'espacement entre les barreaux permet de fixer la taille des déchets à éliminer. En fonction de la taille des débris à éliminer, trois types de dégrillage sont distingués :

- 3 à 10 cm : prédégrillage.
- 1 à 3 cm : dégrillage moyen.
- 0,3 à 1 cm : dégrillage fin.



Photo 01 : Dégrillage [16].

I.6.1.1.2. Le Déssablage :

Pour éliminer le sable, le gravier et d'autres matières étrangères présentes dans les eaux usées, un ensemble de bassins de sédimentation est utilisé pour aérer par le bas afin d'éliminer une certaine quantité de sable et de gravier dans un mouvement circulaire et multicouche. En suspension dans l'eau contaminée. [20].

I.6.1.1.3. La decantation (precipitation) :

Au cours de cette étape, les eaux usées passent dans des bassins de sédimentation qui reçoivent une sédimentation préliminaire des particules lourdes par gravité. Cette sédimentation permet d'éliminer 50 % du contenu solide total des eaux usées et (60-40 %) des particules lourdes solides. [16] .

I.6.1.1.4. Les bassins d'amendement :

L'objectif est de minimiser les variations du débit ou de l'intensité des eaux usées entrant dans la station d'épuration afin d'obtenir un débit quasi constant et une concentration quasi constante de polluants dans les eaux usées entrant dans la station d'épuration. [16] .

I.6.1.2. La deuxième étape :

Dans cette étape, les solides fins sont séparés par précipitation, et les composants les plus importants de cette étape sont les suivants

I.6.1.2.1. Bassin Enlever le Sable :

Bassin à court temps de séjour pour l'élimination du sable fin, lourd et à sédimentation rapide d'un diamètre de 0,2 à 0,1 mm. Ces bassins sont conçus pour une vitesse d'écoulement de 3 m/s.

I.6.1.2.2. Le deuxième bassin :

Bassin de décantation initiale pour l'élimination des solides à décantation lente dont le temps de séjour est supérieur à deux heures. Les gouttelettes d'huile plus légères que l'eau flottent à la surface en même temps que les solides plus lourds que l'eau se déposent au fond du bassin, et la couche inférieure de solides ainsi que la couche supérieure de film d'huile doivent être éliminées par un mécanisme approprié fonctionnant de manière continue ou intermittente.

I.6.1.2.3. Le Deshuillage :

Les graisses et les huiles flottantes sont éliminées par des écrémeurs, méthode utilisée dans toutes les stations d'épuration.

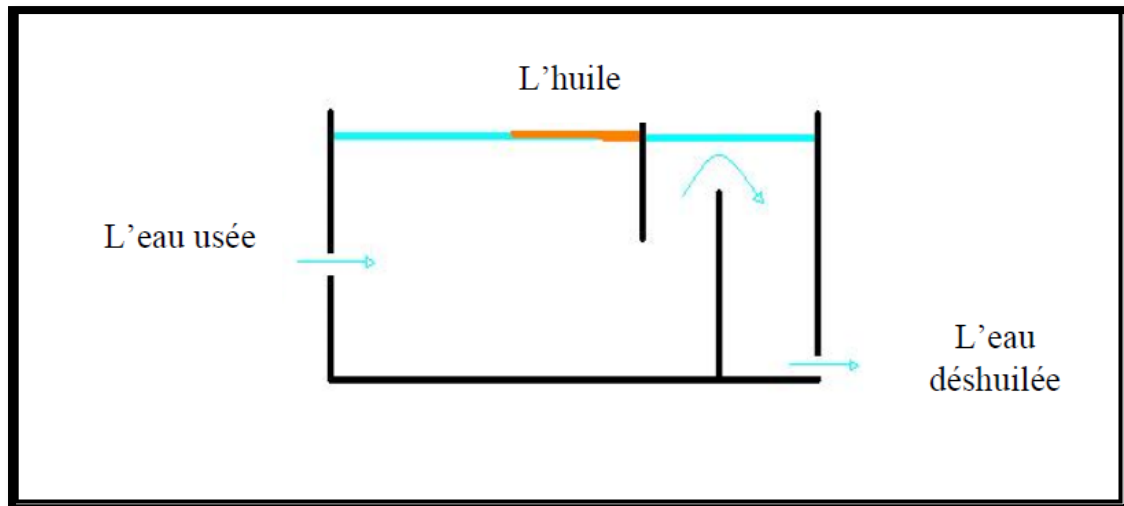


Figure 02 : Schéma simplifié du fonctionnement d'un déshuileur.

I.6.2. Traitement biologique :

Le traitement biologique des eaux usées est l'une des étapes les plus importantes du traitement qui doit être appliqué à l'eau de la station. Ce traitement vise à oxyder les différentes substances organiques présentes dans les eaux usées et à les convertir en composés stables et en biomasse.

composés stables et biomasse il se compose principalement de bactéries et de certains micro-organismes qui peuvent être séparés de l'eau et traités séparément, ce qui permet d'obtenir une eau pratiquement exempte de pollution organique, et la présence d'oxygène et de bactéries sont les deux éléments les plus importants requis pour le succès du traitement biologique, en plus d'autres conditions telles que la température et la présence de certains nutriments auxiliaires, et parmi les méthodes courantes de traitement biologique figurent les suivantes :

I.6.2.1. Les procédés intensifs :

Le principe de ces procédés est de localiser sur de petites surfaces et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques [25].

Parmi les procédés intensifs : les disques biologiques, les lits bactériens et les boues activées.

I.6.2.1.1. Les disques biologiques :

Un biodisque ou biodisque est un disque avec des filets parallèles sur un axe horizontal rotatif. Ces disques sont insérés dans des cuves dans lesquelles circule l'eau décantée à purifier. Pendant une partie de leur rotation, ils sont chargés de substrat, puis le reste du temps, ils sont dans l'air (pour absorber l'oxygène).

Les deux faces du disque étaient recouvertes de biofilm. Ils ont un diamètre de 1 à 3 m, sont espacés de 20 mm et tournent à une vitesse de 1 à 2 tr/min-1. Les boues excédentaires sont séparées des disques et récupérées dans un clarificateur secondaire avant d'être rejetées dans le milieu naturel.

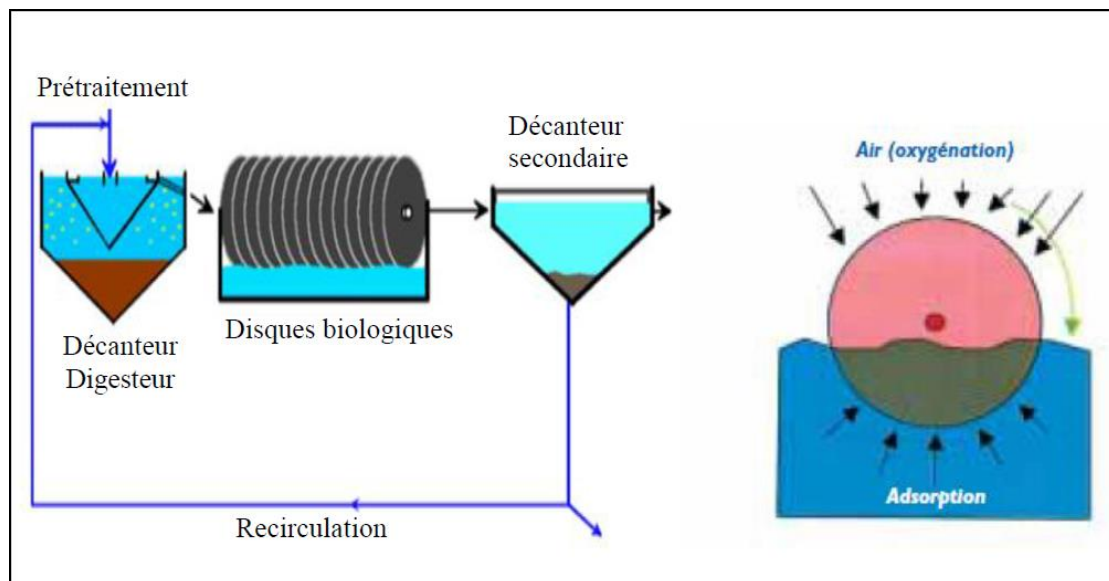


Figure 03 : Schéma de principe d'une filière type de disques biologiques [17].

I.6.2.1.2. Les lits bactériens :

Un lit bactérien est constitué d'une agrégation de grosses molécules telles que : Les pierres, suivies de particules plus petites jusqu'aux minuscules particules de la couche interne - les eaux usées traversent ces couches, à travers un grand porte-tube percé de trous. Après plusieurs semaines, la surface du lit bactérien est recouverte d'une fine couche de membrane collante appelée "nature biologique". nature biologique contenant différents micro-organismes qui oxydent la matière organique contaminée :

- ☒ Bactéries éventuellement aérobies ou éventuellement anaérobies
- ☒ Les bactéries anaérobies sont également parfois présentes dans les couches inférieures du lit (profondeur).

En général, les eaux usées passent d'abord dans les bassins de décantation primaire et l'eau claire est acheminée vers le lit bactérien.

Le lit bactérien où la matière organique est décomposée par les bactéries pour donner la couche Zoogée et l'eau résultante, c'est-à-dire filtrée. L'eau résultante, c'est-à-dire filtrée] Elle passe dans le bassin de sédimentation secondaire où la matière organique est fortement réduite. [16].

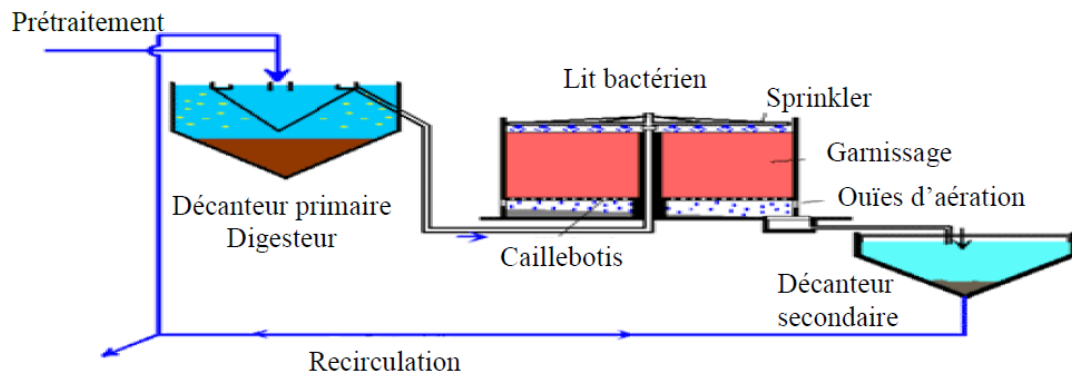


Figure 04 : Schéma de principe des lits bactériens [17].

I.6.2.1.3. Les boues activées :

La méthode des boues activées est la méthode optimale, efficace et la plus couramment utilisée dans les stations d'épuration. Pour que ce processus puisse avoir lieu, les conditions suivantes doivent être réunies :

- Une bonne aération continue.
- Micro-organismes.
- Matière organique.

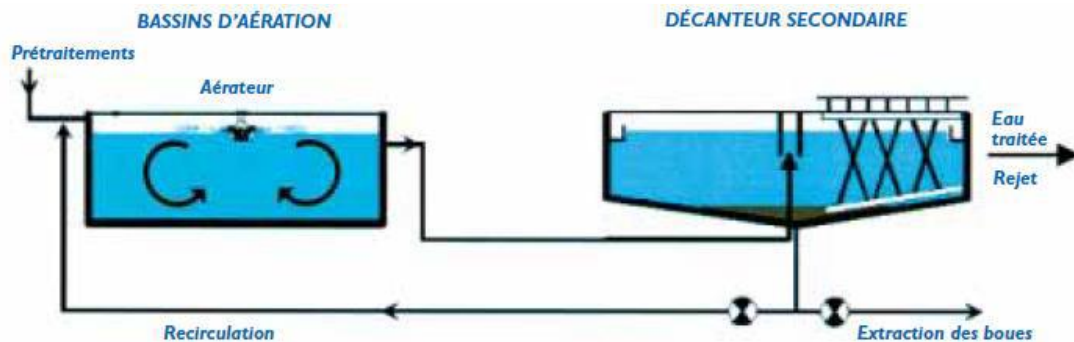


Figure 05 : Schéma de principe des boues activées [17].

- **Bassin de décantation primaire** : Les matières en suspension MES sont éliminées à 70 % en quelques heures par précipitation dans une boue primaire, Boues primaires. [26].
- **Les Bassins d'aération** : Les eaux usées du premier bassin étant soumises à une aération intense (mg/l 6-0), la matière organique est oxydée par des micro-organismes aérobies (Bactéries intestinales peu nombreuses par rapport à Aeromonas, surtout Cytophaga. Flavobacterium. Achomobacter (qui ont le rôle le plus actif). Les floccs se forment et ces derniers se déposent et s'agrègent, donnant naissance aux Boues Activées. [26].
- **Les Bassins de decantation secondaire**
L'eau du bassin d'aération subit une sédimentation secondaire, lorsque les boues actives s'accablent, une partie est renvoyée dans le bassin d'aération pour être réactivée avec l'eau du premier bassin de sédimentation, au lieu de

prendre plusieurs semaines, cela prend quelques heures, et les boues restantes sont soumises à une fermentation anaérobie "digesteurs anaérobies" afin de tuer les bactéries. Le traitement avec des boues actives assure une réduction de 90 % du DBOs et le traitement de 1 000 litres d'eaux usées produit 500 g de boues. [26].

- **Digestion anaérobie**

La fermentation anaérobie est utilisée pour traiter les boues actives laissées par l'étape précédente. La fermentation a lieu dans de grands fermenteurs Digesteur où les bactéries convertissent la matière organique en produisant des gaz : N_2 , H_2 et surtout CO_2 , CH_4 , qui sont utilisés comme source d'énergie. Les fermenteurs sont alimentés par des boues jeunes "fraîches" et une partie des boues matures, c'est-à-dire issues d'une fermentation antérieure dans des conditions optimales de température et de pH. Des bactéries méthanogènes anaérobies, obligatoirement anaérobies, sont impliquées dans cette fermentation : *Methanobacterium*, *Methanosarcina*, *Methanococcus*

- La présence et la croissance de *Desulfotomaculum* sont dues à la présence de sulfate, qui est un obstacle au processus de fermentation, car il produit des gaz désagréables H_2S et est pauvre en énergie.
- Pour achever le processus de fermentation, des conditions optimales sont requises, telles qu'une température de 50-60°C, qui est favorisée par les bactéries thermophiles (Thermophiles) pour accélérer le processus de catabolisme.
- Le délai est de deux à trois semaines, parfois plus.
- Les boues issues de la fermentation anaérobie sont exemptes de micro-organismes pathogènes, leur volume est réduit et la matière organique est "réduite".
- En raison du manque de digesteurs anaérobies dans notre pays et de leur coût élevé, la plupart des stations d'épuration des eaux usées en Algérie utilisent directement le séchage des boues produites au lieu de les fermenter avec des lits de séchage Lits de Sechage.
- L'eau traitée sortant des stations d'épuration est dirigée vers le champ d'irrigation après avoir été désinfectée afin d'éliminer tous les micro-organismes et les agents pathogènes. [26].

I.6.2.2. Les procédés extensifs :

Ils reposent sur les phénomènes de l'auto-épuration naturelle et ils demandent une faible énergie mais nécessitent, en revanche, de grandes superficies et de longs séjours des eaux usées. Du point de vue économique, ils sont moins coûteux [17] .

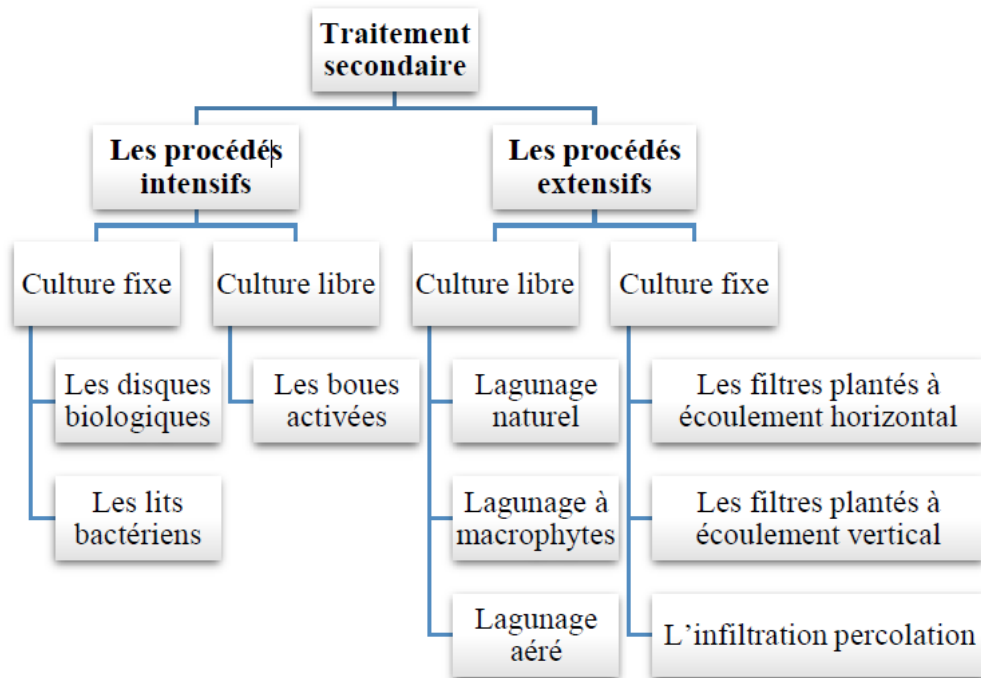


Figure 06: Les principaux procédés extensifs et intensifs du traitement biologique

1.6.2.2.1. Les procédés extensifs à culture libre :

- **Lagunage naturel :**

Cette filière d'épuration par lagunage naturel traite les eaux usées en reproduisant le processus naturel d'autoépuration des lacs et rivières. Les eaux s'écoulent à travers plusieurs bassins successifs. Plusieurs conceptions peuvent être mises en œuvre, cette fiche présente la technique mise en place au Liban ,notamment dans la Bekaa et au Sub Liban.

Le mécanisme de base sur lequel repose ce système est la photosynthèse. Lorsque l'eau des bassins est exposée à la lumière, les algues peuvent se multiplier. Celles-ci produisent l'oxygène nécessaire au développement et au maintien des bactéries responsables de la dégradation de la matière organique. Lorsque la lumière ne pénètre pas dans le bassin, d'autres bactéries dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique [27].

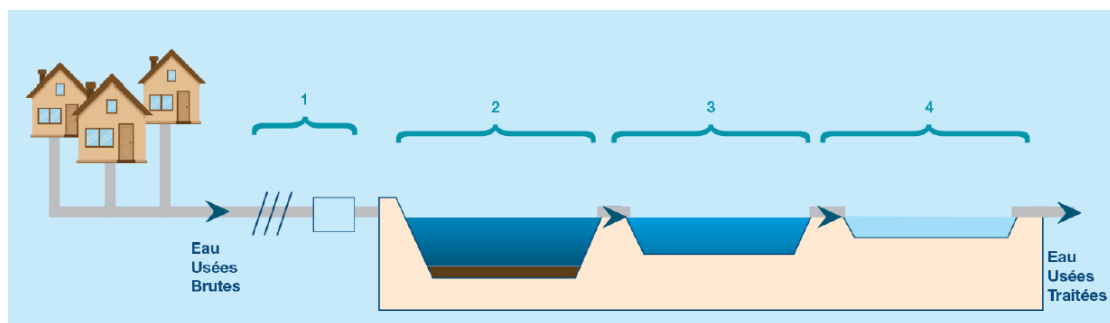


Photo 02 : Schémas de lagunage naturel [27] .

- 1- Un pré-traitement composé d'un dégrilleur, d'un dessableur et d'une zone de déshuilage, permettant d'éviter le comblement rapide des lagunes

- 2- Un ou plusieurs bassins anaérobies, qui éliminent la matière organique
- 3- 3. Un ou plusieurs bassins facultatifs, qui éliminent la matière organique
- 4- Un ou plusieurs bassins de maturation, qui éliminent les germes pathogènes

- **Lagunage à macrophytes :**

Les lagunes à macrophytes reproduisent des zones humides naturelles comportant une tranche d'eau libre [28] , Il est constitué de plantes telles que les roseaux et les massettes. Les bassins sont généralement de plus faible surface et moins profonds 0,6 à 0,8 m où la charge polluante est plus faible. L'effet épuratoire est dû principalement à la faculté de ces plantes d'extraire les éléments nutritifs de la colonne d'eau [20].



Photo 03 : Photo de réalisation du lagunage à macrophytes [29] .

- **Le lagunage aéré**

Composé de plusieurs bassins, dont les premiers sont équipés d'un dispositif d'aération artificiel. L'oxygénation est dans le cas du lagunage aéré apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air.

Ce principe ne se différencie des boues activées que par l'absence de système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu.

L'adaptabilité de cette filière aux conditions climatiques doit être étudiée plus en détail. Le temps de séjour dans les bassins varie en fonction des conditions climatiques et donc indirectement affecte les rendements attendus.

D'une manière générale, le système se compose de deux étapes : une étape d'aération, au cours de laquelle l'eau à traiter est décontaminée par aération mécanique, au cours de laquelle les micro-organismes consomment et absorbent les nutriments qui constituent la contamination des eaux usées ; et une étape de décantation, au cours de laquelle les contaminants présents dans l'eau sont suspendus. Le matériau est constitué de flore microbienne et de particules piégées qui se déposent pour former des boues. Cette technique est adaptée aux changements importants de charges hydrauliques et/ou organiques.

Les inconvénients de ce système sont la qualité de décharge moyenne sur tous les paramètres, la nécessité d'un entretien professionnel de l'équipement électromécanique et la consommation d'énergie élevée. [30].

1.6.2.2.2. Les procédés extensifs à culture fixe :

- **Les filtres plantés :**

Contrairement à la technologie des lagunes qui prend beaucoup de place, les systèmes de filtration La plantation peut réduire considérablement l'espace requis pour l'installation des équipements. Les stations d'épuration utilisant des filtres plantés agissent comme des marécages naturels. L'eau brute (eaux grises et eaux noires) s'écoule dans un réservoir rempli d'eau Substrat minéral (graviers plus ou moins grossiers) pour la culture de différentes plantes sous-marines (Roseaux, quenouilles, jongs, iris, roseaux...). Ces plantes, notamment Les roseaux ont la particularité de développer un tissu racinaire et un réseau de canaux de drainage. Oxygène et sert de support aux bactéries purificatrices (aérobie) [29].



Photo 04 : Photos de réalisation de filtres plantés de roseaux [29].

- **L'infiltration percolation :**

L'infiltration-percolation des eaux usées est un procédé d'épuration utilisant une filtration biologique aérobie sur un support à grains fins. L'eau est distribuée séquentiellement à plusieurs unités Pénètre et distribue uniformément sur la surface du filtre non couverte. La filtration sur sable est principalement utilisée pour oxyder les matières organiques, les nitrates d'azote ammoniacal, réduire les bactéries pathogènes et éliminer les MES résiduels dans le processus de prétraitement. [28].

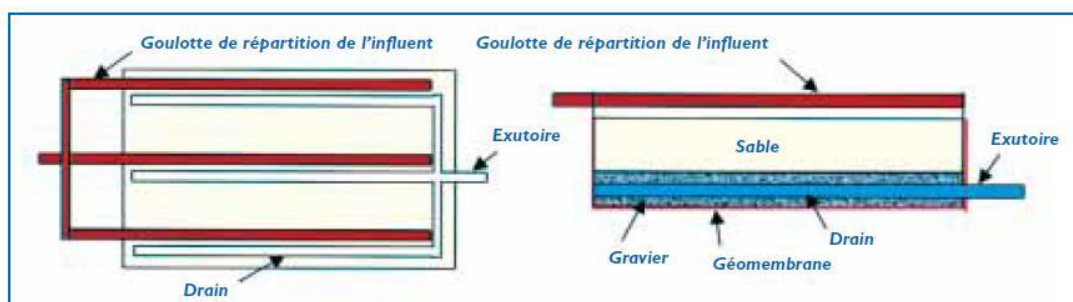


Figure 07 : Infiltration-percolation étanchée et drainée [28].

I.6.3.2. L'élimination du Phosphore

Le phosphore contenu dans les eaux usées domestiques est un nutriment. Cela peut facilement conduire à une croissance excessive d'algues et provoquer une eutrophisation de l'environnement destinataire.

Il existe différentes méthodes pour éliminer le phosphore des eaux usées. Les deux principales voies utilisées sont les voies physiques et chimiques et les voies biologiques.

L'élimination du phosphore des eaux usées s'effectue principalement par précipitation. Produits chimiques (sulfate d'aluminium, chlorure ferrique, sulfate ferreux, chlorure ferreux, aluminates sodium) ou par voie biologique (phytoassimilation) [31].

I.6.3.3. La désinfection :

Le but de la désinfection est de réduire la concentration de bactéries pathogènes dans les eaux usées avant leur rejet dans l'environnement.

Les méthodes de désinfection des eaux usées les plus couramment utilisées à des fins spécifiques au niveau international sont la chloration, l'ozone, la lumière ultraviolette, etc. [31].

I.7. Conclusion :

Le traitement des eaux usées est un processus important et essentiel à la protection de notre environnement et de la santé publique. En éliminant les contaminants des eaux usées, nous réduisons le risque de contamination de l'eau et de propagation de maladies d'origine hydrique. Cela contribue à son tour à protéger les écosystèmes fragiles qui dépendent d'une eau propre et garantit que nos enfants et petits-enfants ont accès à une eau salubre et propre.

Alors que la pénurie d'eau devient un problème de plus en plus pressant, le traitement des eaux usées deviendra encore plus important. En investissant dans les infrastructures et la technologie de traitement des eaux usées, nous pouvons garantir que nous répondrons à la demande croissante d'eau propre et protégerons notre planète et ses habitants pour les années à venir.

Chapitre II

Traitement des eaux usées à l'aide des plantes

II.1. Introduction :

Le traitement des eaux usées par les plantes aquatiques, également connu sous le nom de phytoépuration, est une technique d'assainissement écologique et durable qui s'inspire des processus naturels de dépollution observés dans les zones humides. Cette méthode utilise des plantes aquatiques et leurs micro-organismes symbiotiques pour purifier les eaux usées domestiques et industrielles.

Les eaux usées traversent un système de bassins ou de filtres plantés de différentes espèces végétales soigneusement sélectionnées pour leurs capacités à filtrer, absorber et dégrader les polluants. Les racines des plantes offrent une surface importante favorisant l'adhésion et le développement de micro-organismes, acteurs clés de la dépollution biologique.

Le traitement des eaux usées par les plantes aquatiques offre une alternative durable et écologique aux méthodes d'assainissement traditionnelles. Cette technique présente de nombreux avantages, notamment son efficacité, sa faible maintenance, ses atouts paysagers et sa contribution à la biodiversité. La phytoépuration s'adapte à divers contextes et peut être utilisée pour traiter les eaux usées domestiques, industrielles et agricoles. Elle s'inscrit dans une démarche de développement durable et respectueuse de l'environnement, contribuant ainsi à la protection des ressources en eau. [16]

II.2. Plantes aquatiques utilisées dans la phytoremédiation plantes :

Il existe différents types de plantes utilisées dans le traitement, qui ont été classées en plusieurs catégories : Plantes flottantes avec racines ancrées dans le sol, plantes avec racines immergées et tiges et feuilles visibles, plantes

complètement immergées dans l'eau, plantes de roseaux avec des pousses ligneuses, plantes de roseaux avec des pousses herbacées, plantes flottantes avec des racines en suspension, etc.

Les plantes disponibles dans la région où se trouve la plante sont généralement utilisées parce qu'elles sont adaptées aux conditions de la région [34] [16].

En 1920, l'écologiste Arber a divisé les groupes de plantes aquatiques (angiospermes) en plantes enracinées et non enracinées, selon le type de feuilles et de fleurs, et selon que les fleurs et les feuilles sont immergées, flottantes à la surface de l'eau ou visibles au-dessus de la surface de l'eau.

Ces types sont résumés ci-dessous :

II.2.1 Les plantes aquatiques sont très présentes :

Ce sont ceux dont tout ou partie des organes végétatifs sont saillants ou dépassent la surface de l'eau. [35] [36].

Les Phragmites et les Typha sont des exemples de ces plantes.

II.2.2 Plantes aquatiques submersibles :

Il s'agit de plantes qui poussent entièrement sous l'eau ou qui fleurissent occasionnellement en dehors de la surface de l'eau et qui appartiennent (groupe hétérogène) Leur présence permanente dans l'eau et le manque de lumière dans l'eau ont entraîné des changements dans leur structure, de sorte qu'elles sont devenues adaptées à la croissance et à la reproduction dans l'eau tout en étant submergées. [35] [36] [26].

En général, cette classe de plantes aquatiques comprend les espèces suivantes :

Cacombacaroliniana (Fanwort) ,Coratophylunssp(coontails) Eggeriadensa (brésilienne)

II.2.3 Plantes aquatiques flottantes :

Il s'agit de ceux dont tout ou partie des organes végétatifs sont flottants [7]

- **Plantes flottantes Libre :**

Ce type de plante vit à la surface de l'eau et présente de nombreuses variétés en fonction de la nature de l'eau. La plante est souvent à la surface de l'eau, ses racines s'enfoncent dans l'eau et celles-ci sont soit courtes, soit assez longues. racines sont soit courtes, soit assez longues

[35] [36]

Exemples : Eichhorniacrassipes (jacinthe d'eau), Lemnaceac (herbe aux canards).

- **Plantes flottantes dont les racines s'étendent dans le sol :**

Ces plantes flottantes sont capables d'atteindre le fond de l'aquarium grâce à leurs longues tiges dont les racines s'enfoncent dans le fond de l'aquarium [35] [36] [26].

En voici quelques exemples : Nuphar ou Nymphaea, Brassenis, Potamogeton natans

II.3. Étangs utilisés pour l'épuration des eaux usées :

Quatre systèmes sont utilisés pour le traitement des eaux usées :

Lits plantés à écoulement libre avec écoulement libre

- Étangs Plantes à écoulement horizontal
- Étangs Plantes à écoulement vertical
- Étangs plantés de plantes à écoulement variable (hybride) "horizontal + vertical".

II.3.1 Étangs plantés de plantes à écoulement libre :

Il s'agit de réservoirs dans lesquels les plantes à tige sont noyées dans la couche supérieure du matériau d'emballage et l'épaisseur de l'eau à l'intérieur du réservoir est d'environ 40 cm. Ces réservoirs contiennent des plantes aquatiques, y compris des plantes entièrement immergées ou de petites plantes à la surface de l'eau avec des racines aquatiques.

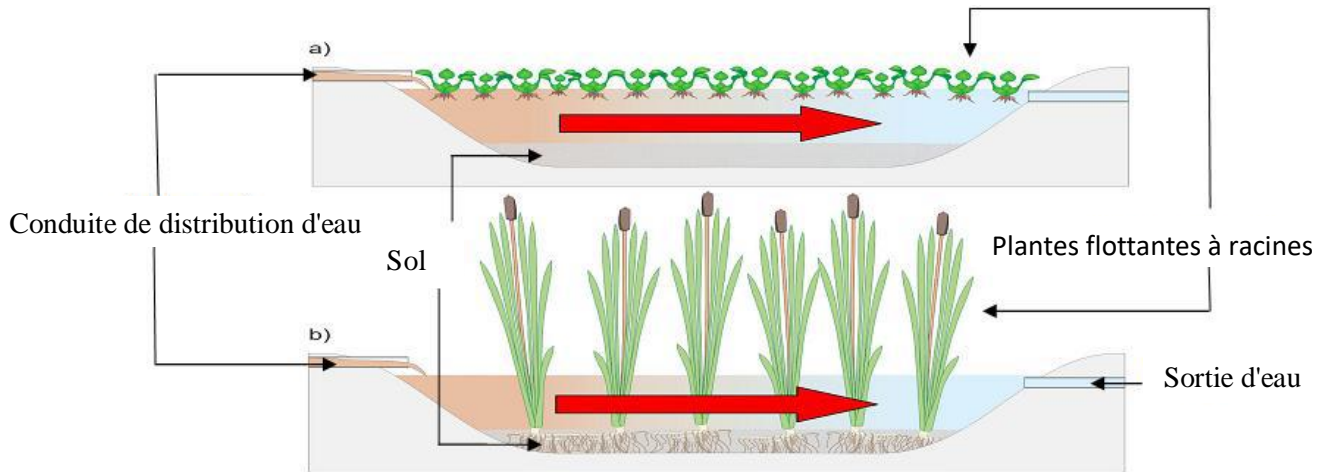


Figure (08) : Montre un bassin traité avec des plantes et dont les eaux de ruissellement s'écoulent librement. [26].

Ces étangs sont utilisés comme troisième étape de traitement pour éliminer les agents pathogènes grâce à l'exposition de l'eau à la lumière du soleil. Dans ce système, les polluants sont oxydés et un grand pourcentage de métaux lourds est éliminé, ce qui améliore la qualité de l'eau sortante, de sorte que les bassins à écoulement libre sont utilisés comme dernière étape de traitement [37] [16].

II.3.2 Étangs plantés de plantes à écoulement horizontal :

Il s'agit de bassins remplis de manière homogène de sable grossier ou de gravier et de terre dans lesquels sont plantées des plantes. Les eaux usées pénètrent dans le bassin et occupent toute la surface du bassin grâce à un système de distribution situé devant l'entrée du bassin.

L'eau s'écoule horizontalement à travers le matériau de remplissage et l'alimentation des bassins est continue, le matériau de remplissage restant toujours saturé d'eau. Lors de la sélection du matériau de remplissage, la conductivité hydraulique doit être prise en compte. [38] [16].

La première utilisation de cette technologie est apparue en Allemagne en 1964 et la première personne à utiliser cette méthode a été le scientifique allemand Kickuth, qui a donné son nom à ce système, et cette méthode a été appliquée en Amérique en 1974, et elle a plusieurs utilisations.

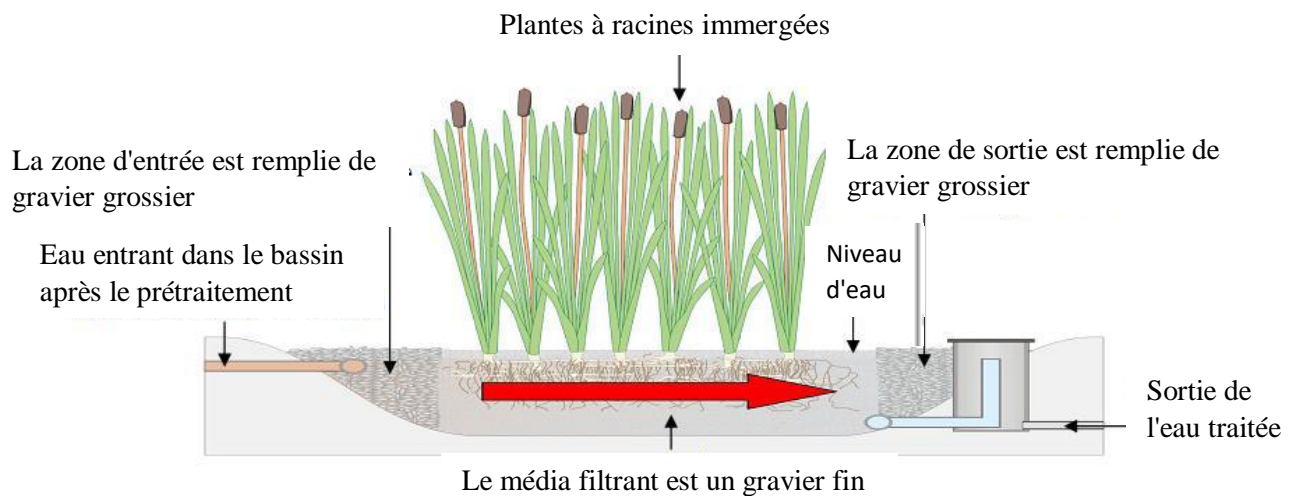


Figure (09) : Bassin végétalisé avec écoulement souterrain horizontal[26].

Elle est utilisée pour la filtration secondaire des eaux usées dans certains villages à faible densité de population après le processus de sédimentation, ainsi que dans la troisième étape après la filtration biologique ou après les bassins à écoulement vertical, ainsi que pour le traitement des eaux de pluie. Cette méthode a ensuite été déplacée en Europe, où elle a été critiquée par les chercheurs parce que son application nécessite de grandes surfaces et que les matériaux utilisés dans le milieu filtrant ne sont pas hydrofuges. [39] [40].

Cela arrive avec le sable, mais ce n'est pas courant. Utiliser du gravier grossier Il existe également du sable fin ou grossier, qui offre beaucoup d'espace pour la croissance du biofilm à partir de contaminants. Il est recommandé de ne pas dépasser 1 mètre de profondeur pour que les racines des plantes puissent accéder au fond de l'aquarium. En effet, l'eau de l'aquarium a une faible teneur en oxygène et oxyde les sels minéraux et décompose les matières organiques. [40] [41] [26].

L'écoulement horizontal des eaux souterraines empêche la propagation des odeurs et des insectes, et ce type de système est très efficace pour éliminer les matières en suspension, le DBO₅ et les agents pathogènes.

II.3.3 Étangs plantés de végétaux à écoulement vertical :

Étangs remplis de gravier homogène et contenant une couche supérieure de sable dans laquelle sont plantées des plantes aquatiques.

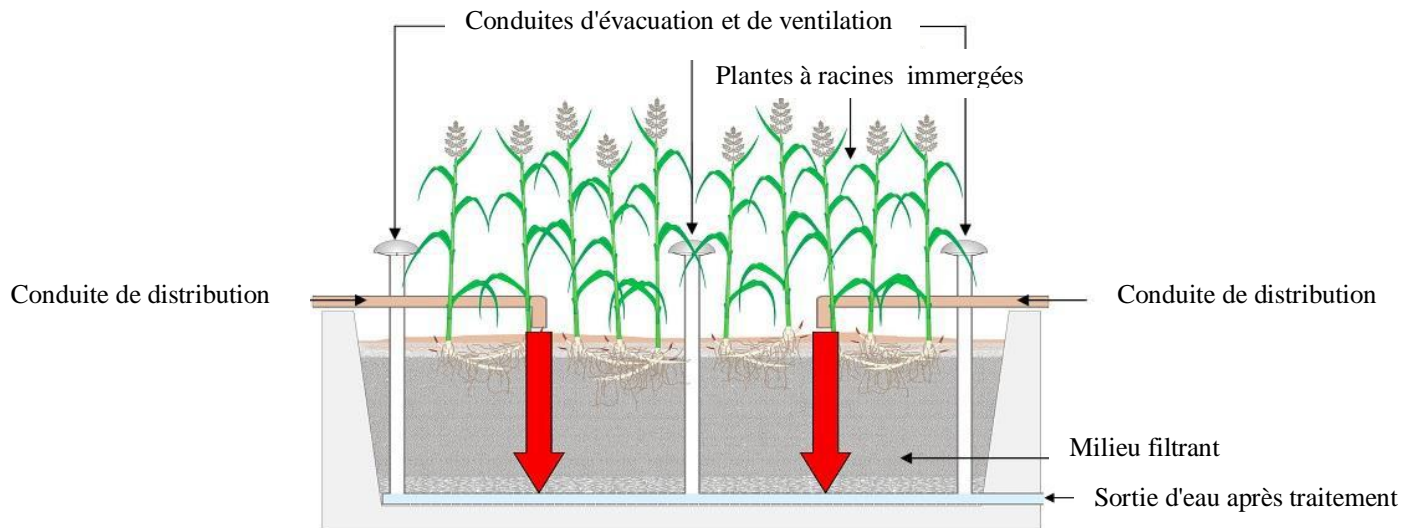


Figure (10) : Bassin végétalisé avec écoulement souterrain vertical[26].

Les eaux usées brutes sont déversées en surface du filtre et percolent gravitairement au travers le substrat. Une grande partie des matières solides en suspension est retenue en surface du filtre par la filtration mécanique.

Les matières organiques sont dégradées et minéralisées par les microorganismes. Une partie de substances solubles et nutriments sont assimilées par les plantes pour constituer de la biomasse. La présence de plantes renforce la filtration mécanique du substrat via un système racinaire dense, et stimule les activités de biodégradation.

Les eaux issues du filtre vertical ont des teneurs en matières solides (MES) et organiques (DCO, DBO₅) significativement réduites [42] [16].

L'aération est assurée par deux processus, tant il est difficile de pouvoir la quantifier avec précision :

- La diffusion de l'air qui provient à la fois de la surface des filtres dès lors qu'ils ne sont pas recouverts par une lame d'eau et par le dispositif d'aération de la couche drainante ;
- Les apports excrétés par les racines des plantes.

Les filtres verticaux sont donc de type aérobie. L'oxygénation plus importante que dans les filtres horizontaux assure l'élimination des matières organiques dissoutes donc une bonne nitrification, les processus anaérobies y sont pratiquement absents et il n'y a donc pas de mauvaises odeurs générées.

Ce type des filtres est utilisé pour traiter des eaux plus concentrées que les filtres horizontaux car les matières en suspension s'accumulent en surface et ne colmatent donc pas l'intérieur du filtre [43].

II.3.4 Étangs plantés de plantes à flux varié (hybride) (horizontal + vertical) :

Un système hybride est une série de bassins horizontaux et parfois verticaux auxquels s'ajoutent des bassins à écoulement libre.

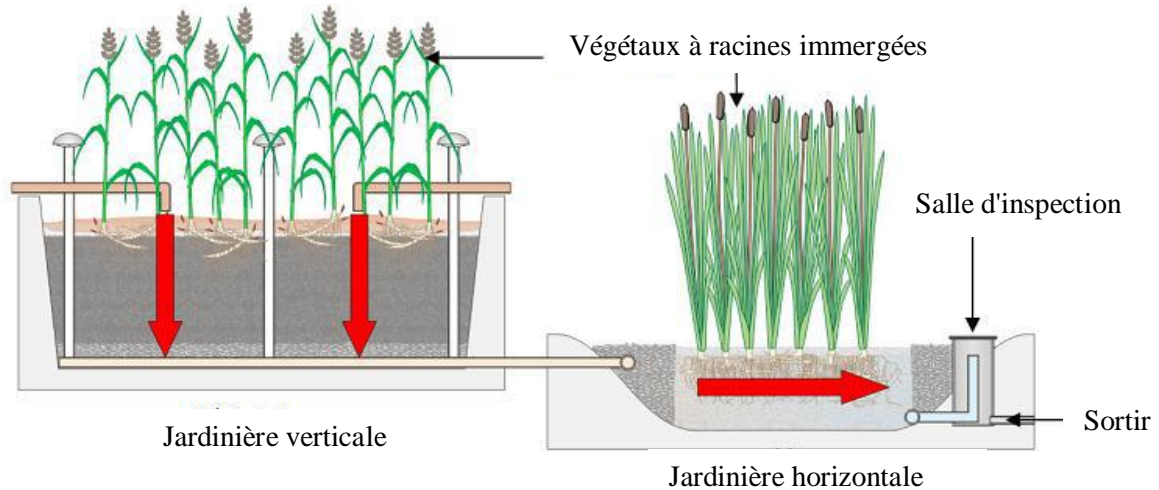


Figure (11) : Bassin de phytoremédiation à écoulement mixte (hybride) [26].

Les travaux les plus récents sur cette méthode ont été réalisés par le Dr K. Seidel. Cette méthode a été utilisée dans un nombre limité d'étangs aux Etats-Unis, en Allemagne et en France .

Ce type de pot consiste en deux couches parallèles de pots verticaux, suivies de deux ou trois couches de pots horizontaux. L'avantage de cette série est qu'elle optimise le processus de nitrification dans l'étang.

Elle optimise le processus de nitrification dans les pots verticaux, car ils sont aérés, et le processus de dénitrification dans les pots horizontaux, car le processus manque d'oxygène .

Les rendements de dénitrification sont faibles car les bactéries dénitrifiantes ont besoin de matière organique pour se développer et pour éliminer les nitrites, car la majeure partie de la matière organique est dégradée à la sortie du réservoir vertical.

D'autres études ont également été menées, notamment au Danemark , où nous avons trouvé une série d'étangs horizontaux suivis d'étangs verticaux. [44] [45] [46].

Les bassins horizontaux permettent d'éliminer les matières horizontales en suspension et la matière organique, tandis que les bassins verticaux offrent une meilleure aération pour la nitrification et recirculent ensuite l'eau pour éliminer la nitrification ; l'inconvénient de cette méthode est qu'elle nécessite des pompes et une programmation.

II.4. Le rôle des différents composants du système :

II.4.1 Le rôle des matériaux d'emballage :

La fonction première des matériaux de garnissage est d'éliminer les substances en suspension dans les eaux usées, d'où le nom de clarificateur. Cette propriété dépend souvent des propriétés hydrodynamiques telles que la conductivité hydraulique dans les milieux saturés ou non saturés.

Le choix du matériau de remplissage dépend principalement de l'objectif à atteindre et du type de milieu, saturé ou non saturé, lié au type et au principe du système de filtration, vertical ou horizontal, ainsi que du type et de la taille des composants du matériau de remplissage, qui sont essentiels au bon fonctionnement du bassin de phytoremédiation.

L'équilibre biologique est causé par le matériau de remplissage et est lié à la vitesse d'écoulement de l'eau et au temps de séjour de l'eau dans le bassin. Dans les étangs de surface, la mise en place du matériau de remplissage est purement physique et facile, mais biologiquement complexe.

(RONNER, 1994 et MITCHELL, 1964) ont conclu que les interventions de sécrétion bactérienne peuvent se produire en fonction du métaplasme bactérien et de la qualité des bactéries aérobies et anaérobies en fonction des conditions du milieu.

Les composants des matériaux de remplissage ont la capacité d'absorber le phosphore et les métaux lourds, ce qui est lié à la quantité de fer, d'aluminium et de calcium présents dans ces matériaux et au temps de séjour de l'eau dans l'aquarium, cette capacité change en fonction des pores des matériaux de remplissage. [47] [48] [49].

II.4.2 Le rôle de la plante :

II.4.2.1 Le rôle direct :

Les plantes absorbent le phosphore et l'azote pour les utiliser ou les stocker en petite quantité pour une filtration complète, mais cela peut être plus important en cas de ralentissement de l'écoulement de l'eau et de mort des plantes, car toutes ces substances sont libérées dans le milieu, d'où la nécessité d'une surveillance constante du milieu filtrant.

Nous supposons que les plantes produisent, via les racines et les rhizomes, des exsudats antibiotiques qui détruisent certains micro-organismes nuisibles. [50] [16].

La quantité d'azote éliminée est liée à la quantité de biomasse formée. Pour une même quantité de biomasse formée, il n'y a pas de différence dans la quantité d'azote absorbée par la plante, la seule différence réside dans la production de biomasse, car plus la biomasse est formée, plus l'azote est absorbé.

Lors du processus de filtration, le type de plantes utilisées n'est pas informatisé car le processus est physiquement et bactériologiquement résistant.

L'importance des plantes existantes pour pouvoir vivre dans des bassins de filtration à grande échelle utilisés dans des zones densément peuplées (villages isolés) avec des sols humides ou semi-humides, comme votre croissant préféré.

La densité de population effective (villages isolés), l'utilisation d'une solution humide ou semi-humide, utilisée dans les croissants et à côté du processus d'absorption de l'agent déshydratant dans les étangs verticaux, la digestion aérobie commence immédiatement lorsque la nourriture est fournie à d'autres destinés.

En plus des températures estivales dans les stades des villes où se trouvent ces utilisateurs. L'acceptation de cette technologie par le public est très importante et constitue le seul moyen d'avancer. [16].

II.4.2.2 Rôle indirect :

Le colmatage est évité dans les bassins à écoulement vertical où le bassin est alimenté par la surface supérieure et où le mouvement du vent conduit les plantes à aider l'eau à pénétrer dans le bassin par les vides créés par la tige de la plante à la suite des vibrations répétées dues au vent dans la municipalité (Pallue Gensac-la-), France, où les chercheurs ont planté un groupe de bassins et ont délibérément laissé un bassin non planté et ont observé la formation de la couche superficielle sur le bassin non planté et l'absence de passage de l'eau, alors que dans les bassins plantés, l'eau passe sans problème.

On suppose que l'eau pénètre par les ouvertures créées par l'émergence de nouvelles tiges et s'infiltré ensuite dans l'aquarium par les racines et les rhizomes.

Les feuilles et les tiges des plantes submergées fournissent des surfaces sur lesquelles la biomasse peut se développer. Les tissus des plantes submergées sont colonisés par des algues et des bactéries, les algues consommant des nutriments et fournissant de l'oxygène à l'eau grâce à la photosynthèse, et les bactéries digérant la matière organique.

La présence de plantes dans le bassin de traitement répartit et réduit la vitesse du flux d'eau. La partie supérieure de la plante au-dessus de la surface réduit la vitesse du vent près de la surface du sol ou de l'eau, ce qui crée des conditions favorables à la décantation des solides en suspension et améliore l'élimination des solides dans les étangs à écoulement libre.

La décantation des solides en suspension et l'amélioration de l'élimination des solides dans les lits de plantes à écoulement libre.

Les plantes limitent également la pénétration de la lumière dans l'eau, ce qui réduit la croissance des algues, et jouent un rôle important dans l'isolation thermique du bassin, en particulier en hiver lorsque le temps est froid, lorsque les plantes sont recouvertes de neige, elles forment une isolation thermique complète, qui protège le sol du gel, ce qui est une caractéristique très importante dans les bassins à écoulement souterrain. [39] [41].

II.4.2.3 Le rôle des micro-organismes :

Le principal rôle des micro-organismes est, comme dans tout procédé de traitement biologique, la dégradation de la matière organique. Ce sont eux qui assurent les différents processus d'oxydation et de réduction. Ils génèrent grâce à la dégradation de la matière organique l'énergie nécessaire à la biosynthèse. Ils minéralisent les composés azotés et phosphorés, et les rendent ainsi assimilables par les plantes. Ils assurent également les réactions de nitrification/dénitrification [51].

II.5. Mécanismes d'élimination des polluants et efficacité des bassins de phytoremédiation :

Les mécanismes d'élimination sont liés à des systèmes physiques, physiochimiques et biologiques résumés dans les points suivants :

- ❖ Produits organiques :
 - Analyse biologique (digestion microbienne aérobie et anaérobie) (Catabolisme)
- ❖ Matières solides en suspension :
 - Nitrification et dénitrification biologique
 - Processus d'absorption physique et chimique dans le milieu filtrant et par la plante.
- ❖ Phosphore :
 - Processus d'absorption physique et chimique dans le milieu filtrant et par la plante.
- ❖ Les métaux :
 - L'absorption et l'échange de cations.
 - Formation de composés
 - Précipitations - absorption par la plante
 - Oxydation et restitution par les microbes
- ❖ Agents pathogènes :
 - Prédation biologique, mort naturelle, sédimentation et processus de filtration physique.
 - Sécrétion d'antibiotiques par le rhizome de la plante [16].

II.6. Perspectives et développements futurs :

L'épuration des eaux usées par les plantes aquatiques, également connue sous le nom de phytoépuration, est une technologie prometteuse qui offre de nombreux avantages par rapport aux méthodes d'épuration traditionnelles.

Elle est écologique, durable et économique, et peut être utilisée pour traiter une large gamme d'eaux usées, y compris les eaux domestiques, agricoles et industrielles.

II.6.1 Perspectives:

- **Adoption croissante:** La phytoépuration est de plus en plus adoptée dans le monde entier, en raison de ses nombreux avantages environnementaux et économiques.
- **Développement de nouvelles technologies:** De nouvelles technologies sont en cours de développement pour améliorer l'efficacité et la performance de la phytoépuration. Cela inclut l'utilisation de plantes génétiquement modifiées, de nanotechnologies et de systèmes d'irrigation optimisés.
- **Intégration avec d'autres systèmes de traitement:** La phytoépuration peut être intégrée à d'autres systèmes de traitement des eaux usées, tels que les systèmes de lagunage ou les filtres à sable. Cela peut améliorer l'efficacité globale du traitement et réduire les coûts.

II.6.2 Développements futurs:

- **Recherche sur les plantes:** Des recherches sont en cours pour identifier de nouvelles plantes aquatiques qui sont plus efficaces pour éliminer les polluants des eaux usées.
- **Optimisation des conceptions de systèmes:** De nouvelles conceptions de systèmes de phytoépuration sont en cours de développement pour améliorer l'efficacité du traitement et réduire les coûts.
- **Développement de normes et de réglementations:** Des normes et des réglementations sont nécessaires pour garantir que les systèmes de phytoépuration sont conçus et exploités de manière efficace et durable.

II.6.3 Avantages de la phytoépuration:

- **Écologique:** La phytoépuration n'utilise pas de produits chimiques nocifs et ne produit pas de déchets dangereux.
- **Durable:** Les systèmes de phytoépuration peuvent fonctionner pendant de nombreuses années avec peu d'entretien.
- **Économique:** Les systèmes de phytoépuration sont généralement moins coûteux à construire et à exploiter que les méthodes d'épuration traditionnelles.
- **Efficace:** La phytoépuration peut éliminer une large gamme de polluants des eaux usées, y compris les nutriments, les métaux lourds et les produits pharmaceutiques.
- **Esthétique:** Les systèmes de phytoépuration peuvent être aménagés de manière à être attrayants et à améliorer l'esthétique du paysage

II.6.4 Défis de la phytoépuration:

- **Superficie requise:** Les systèmes de phytoépuration nécessitent une grande surface de terrain pour fonctionner efficacement.
- **Climat:** L'efficacité de la phytoépuration peut être affectée par le climat, en particulier la température et les précipitations.
- **Maintenance:** Les systèmes de phytoépuration nécessitent un certain entretien, tel que la récolte des plantes et le nettoyage des bassins.

II .7.Avantages et inconvénients de la phyto-épuration :**II .7.1.Avantages :**

- Faible coût d'exploitation
- Performances de traitement élevées et stables
- Possibilité d'utiliser des matériaux locaux
- Faible demande énergétique
- Pas d'adjuvants chimiques
- Facilité de gestion, notamment des boues pour la filière à écoulement vertical
- Acceptation de surcharges hydrauliques et organiques pour la filière à écoulement vertical
- Intégration paysagère.

II .7.2.Inconvénients les plus souvent cités :

- Emprise au sol importante
- Rigueur de réalisation
- Maintenance et exploitation souple mais incontournable
- Traitement limité du phosphore
- Traitement limité des pathogènes.

II.8. Conclusion :

En conclusion, l'épuration des eaux usées par les plantes aquatiques est une méthode naturelle, efficace et durable pour réduire les impacts environnementaux des activités humaines sur les écosystèmes aquatiques. Les plantes aquatiques, telles que les phragmites, les cattails et les algues, possèdent des propriétés remarquables qui leur permettent de absorber et de dégrader les polluants présents dans les eaux usées.

Grâce à leurs racines, feuilles et tiges, ces plantes peuvent extraire les nutriments et les polluants des eaux usées, les transformer en biomasse et les stocker dans leurs tissus. Cette méthode d'épuration est particulièrement adaptée aux petits débits d'eaux usées, tels que les eaux de pluie ou les eaux grises, mais elle peut également être utilisée pour traiter les eaux usées industrielles ou domestiques.

L'épuration des eaux usées par les plantes aquatiques offre de nombreux avantages, notamment une réduction des coûts d'investissement et d'entretien, une faible consommation d'énergie, une grande flexibilité d'installation et une esthétique agréable. De plus, cette méthode contribue à la préservation de la biodiversité et à la création d'habitats pour les espèces aquatiques.

Cependant, il est important de noter que l'épuration des eaux usées par les plantes aquatiques nécessite une planification soignée, une mise en œuvre appropriée et un entretien régulier pour garantir son efficacité. Il est également essentiel de prendre en compte les facteurs climatiques, géographiques et écologiques locaux pour sélectionner les plantes aquatiques les plus adaptées aux conditions spécifiques du site.

En fin de compte, l'épuration des eaux usées par les plantes aquatiques est une solution innovante et durable qui contribue à la protection de l'environnement et à la préservation de la qualité de l'eau. Elle offre un avenir prometteur pour la gestion des eaux usées et pour la création de systèmes de traitement des eaux plus résilients et plus durables.

Partie II :
partie pratique

Chapitre III
Matériels et méthodes

III.1 Présentation de la STEP :

III.1.1. Présentation de la station d'épuration STEP N°1:

La station d'épuration des eaux usées STEP N° 01 est celle de type lagunage aérée. Qui composée de six lagunes aérée réparties en deux étages de traitement et de trois lagunes de finition (3éme étage), d'un ouvrage de prétraitement (dégrillage , dessablage) , de 14 lits de séchage des boues d'épuration et de bâtiment d'exploitation, ainsi que le montage des équipements hydromécaniques et électriques .

La station d'épuration des eaux usée sert à collectée les eaux usées des communes d'El-Oued, Robbah, Bayadha et Kouinine, elle est située au Nord-est de Kouinine .

Kouinine est 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 .

Notre étude permettra notamment de déterminer le pouvoir épurateur physicochimique et biologique des eaux de la ville d' EL-Oued par la station d'épuration de Kouinine STEP N°1 [52].



Figure 12 : Station d'épuration des eaux usées Kouinine – El'Oued (Google map, consule 10/06/2023).

III.1.2. Situation géographique de la station d'épuration :

La station d'épuration des eaux usées sert à collectée les eaux usées des communes d'El-Oued, Robbah , Bayadha et Kouinine, elle est située au Nord-est de Kouinine .

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 zone de 116 Km elle est situé au centre de la route national N°48, donc loin du siège du département d'état , environ sept

kilomètres, elle est située sur niveau de 97 m au-dessus de la mer, et d'augmenter l'élévation vers le sud, tandis que la baisse dans la Nord.

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.
- Au l'Ouest : Oermase.

Cette station occupe une superficie de l'ordre de 100 hectares, permet de répondre aux besoins fonciers. La forme géométrique du site s'apparente à un rectangle, orienté sud-nord, dont les dimensions sont :

- Largeur : 500 à 800 m.
- Longueur : 500 à 1400 m.

Actuellement, le site est occupé. A l'avenir, il conviendra de veiller à ce qu'aucun développement de l'occupation du sol n'ait lieu sur cette zone compte tenu de leur utilisation ultérieure [52].

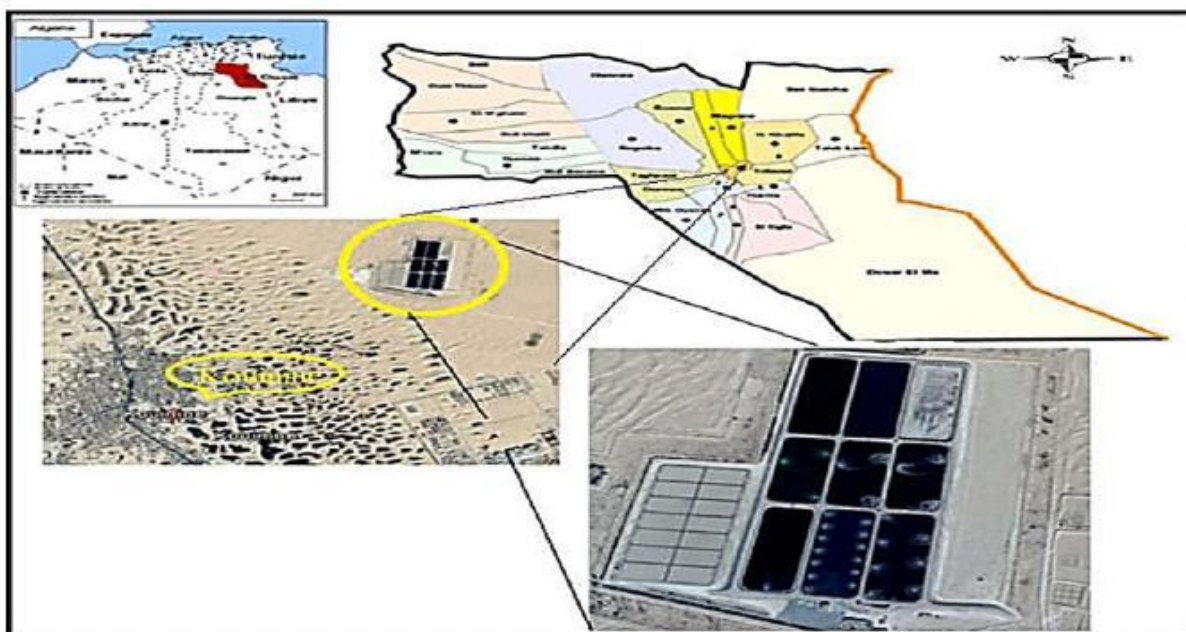


Figure 13 : Carte de situation de STEP 01 Kouinine [53] .

III.1.3. Objectif de traitement de la station :

- Supprimer les nuisances et les risques actuels de contamination au niveau des zones urbanisées.
- Protéger le milieu récepteur.
- Supprimer les risques de remontée des eaux en diminuant le niveau de la nappe Phréatique.
- Se garder la possibilité de réutiliser les effluents épurés

III.1.4. Description de STEP N°1 :

Station d'épuration des eaux usées à lagunage aéré est conçue pour desservir les communautés de : El-Oued, Bayadha , Kouinine et Robbah. La population totale de ces communautés 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-après :

- Prétraitement avec dégrillage et dessablage longitudinal.
- 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).

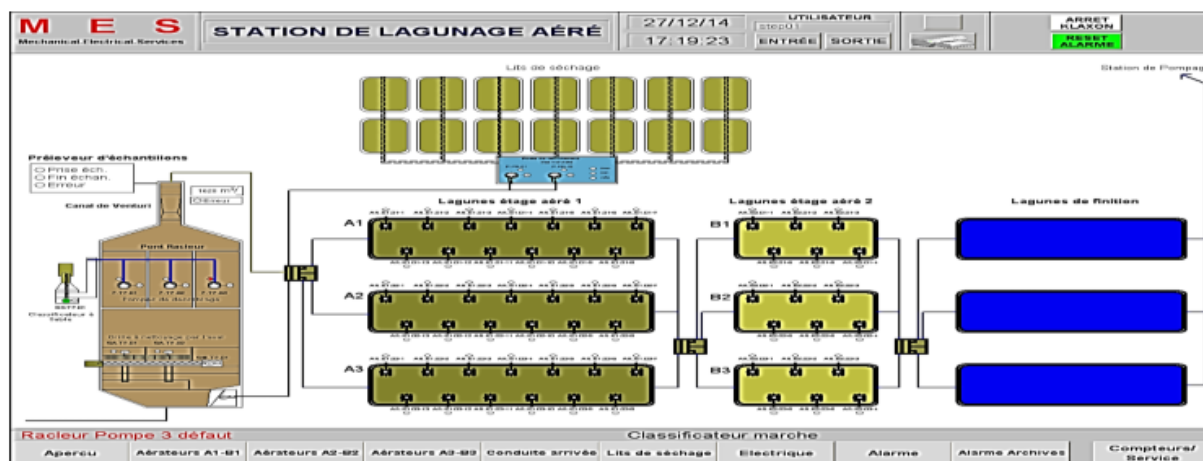


Figure 14 : schéma présenté station de lagunage aéré de STEP N°1 de Kouinine [54].

III.1.5. Procédés d'épurations des eaux usées dans la station :

❖ Prétraitement

Le prétraitement comporte les éléments suivants :

✚ 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.



Photo 05 : Dégrillage [52].

+ Dessablage :

Construit en béton, avec trois chambres. Dans cette zone, le sable contenu dans les eaux usées est décanté grâce à une réduction de la vitesse d'écoulement et grâce à la force gravitaire. Ces particules sont ensuite aspirées par un racleur avec moteur électrique et des pompes d'aspiration avec suspension flexible (pompes à moteur submersibles), le mélange sable eau s'écoule par les conduites en acier du pont racleur vers le conduit en acier, monté sur la paroi extérieure du dessablage et puis vers la classification à sable pour la déshydratation.

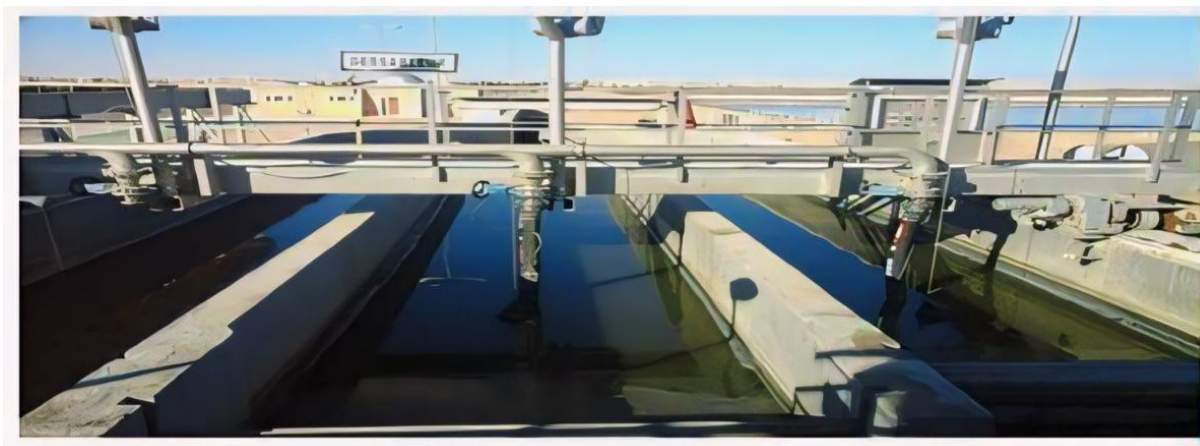


Photo 06 : Dessablage [52].

+ Ouvrage de répartition :

Disposé en tête de station en aval des ouvrages de prétraitement, il permet de répartir les eaux usées vers les lagunes du premier étage. 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 [52].



Photo 07 : Répartiteur vers les bassins d'aération [52].



Photo 08 : Lagune aérée [52].



Photo 09 : Lagunes de finition [52].



Photo 10 : Lit de séchage des boues [52].

III.2. Matériels et méthodes :

III.2.1. Période de stage :

Notre passage au niveau de la station d'épuration consiste à suivre la qualité physico-chimique des eaux usées domestiques collectées et traitées au niveau de la station d'épuration d'EL-OUED pour une éventuelle réutilisation dans le domaine de l'agriculture, pour ce faire on interprète les résultats obtenus pendant notre stage à la STEP1 de KOUININ qui d'étale de 01/02/2024 jusqu'au 12/04/2024.

III.2.2. Matériel de démonstration usagé :

L'engin utilisé consiste en des réservoirs circulaires de 5 litres remplis de bas en haut de trois couches comme suit (Gravier grossier - Gravier fin - sable)

Le premier bassin est planté de roseaux, le deuxième bassin est planté de *Zygophyllum* (La Bugriba) et le dernier bassin est un témoin.

III.2.2.1 Lieu et temps plantation:

Les plants (Roseaux et *Zygophyllum* (La Bugriba)) ont été acquis et plantés à la STEP1 de KOUININ un peu avant la date d'arrosage du 15 décembre 2023.



Photo 11 : Matériel de démonstration usagé

III.2.2.2 Classification scientifique de la plante de l'utilisateur :

III.2.2.2.1 les roseaux :

Le roseau commun (phragmite Communis) est une plante vivace à rhizomes qui peut être trouvée dans les milieux humides.

- *Nom scientifique : Phragmites australis*
- *Famille : Poaceae (herbacées)*

❖ Description :

- Plante herbacée vivace, atteignant une hauteur de 2 à 6 mètres.
- Tiges creuses, ramifiées, vertes ou brunes.
- Les feuilles sont en forme de lance, vertes, de 10 à 30 cm de long.
- Les fleurs sont petites, jaunes ou brunes, regroupées en inflorescences denses.
- Les fruits sont de petits grains de couleur brune.

❖ Les Principes actifs :

La plante de roseau contient une variété de composés actifs, y compris :

- la silice
- la cellulose
- la lignine
- les protéines
- des polysaccharides.

Ces composés ont des propriétés antibactériennes, antifongiques et anti-inflammatoires. [55]



Photo 12 : *Phragmites australis* (Les roseaux)

III.2.2.2 *Zygophyllum* (La Bugriba) :

La plante *Zygophyllum* (La Bugriba) est une bonne plante pour les abeilles et se trouve dans les zones désertiques sèches sur les rives des rivières, et l'une des zones les plus répandues dans la région de Tata, et la période pendant laquelle elle fleurit est octobre et novembre, mais la floraison de chaque plante et de chaque kilomètre carré est liée à la quantité de pluie et au débit d'eau de la vallée du Draa, de sorte que si le débit est d'une semaine, la floraison de la plante est excellente et le résultat est bon, Pour mémoire, la plante *Zygophyllum* (La Bugriba) est acceptée par les abeilles avec un très grand appétit, et à la fin de la saison, elle donne une production de miel décente, donc les abeilles ne seront pas très rafraîchies. [56]

- *Nom scientifique* : *Zygophyllum*
- *Nom français* : *Fabago*
- *Nom arabe* : *Qalab - Rattit*
- *Nom local* : *Al afaya*
- *Famille* : *Zygophyllaceae*

❖ **Description :**

- Les feuilles sont pennées, composées de 3 à 7 folioles.
- Les fleurs sont jaunes, petites, en grappes.
- Plante herbacée vivace, atteignant une hauteur de 30 à 100 cm.
- Les fruits sont des capsules contenant de petites graines.

❖ **Les Principes actifs :**

L'aloé vera contient une variété de composés actifs, y compris :

- des alcaloïdes
- des flavonoïdes
- des huiles essentielles
- des acides organiques.

Ces composés ont des propriétés anti-inflammatoires, antibactériennes et antioxydantes. [56]



Photo 13 : *Zygophyllum* (La Bugriba)

III.2.3. Matériels :

Tableau 02 : Matériel utilisé dans les analyses physico-chimiques et dans un laboratoire L'ONA

Matériels utilisée			
	Appareil utilisée	Instrument	Réactifs
L'analyse physicochimique dans laboratoire de L'ONA	-Préleveur d'échantillon	-Verrerie	-Réactifs DCO (LCK 314) gamme (15 à 150 mg/l)
	-Conductivité mètre	-Dessiccateur	- Réactifs DCO (LCK 114) gamme (150 à 1000 mg/l)
	-pH mètre	-Papier filtre en verre diamètre 47mm	- Réactifs nitrite (TNT839)
	-Oxymétrie	-Pince	gamme(0.015 à 0.60 mg/l)
	- Spectrophotomètre	-Micropipette	-Réactifs nitrate (LCK 339) gamme (1 à 60 mg/l).
	- Senseur BDO5 (OXITOP, WTW)	-Barrou-magnétique	-Réactifs azote total (LCK 138) gamme (01 à 16 mg/l).
	-Etuve 105°	-Support d'alcalin (caoutchouc)	
	-Rampe de filtration	-Pastilles de Na OH	
	-Balance électrique	-Eprouvette graduée	
	-Thermo-réacteur	-Béchers	
	- Agitateur		
	-Turbidimètre		

III.2.4. Méthodes

III.2.4.1. Les paramètres physico-chimiques :

III.2.4.1.1 Détermination de le pH :

Principe : La température influe sur la quantité d'oxygène, la décomposition de la matière organique, le développement des parasites responsables de certaines maladies, et la prolifération d'algues bleues qui libèrent des toxines. Le potentiel hydrogéné (pH) est en relation avec la concentration des ions hydrogéné présent dans l'eau ou les solutions. But d'analyse :

- Détermination de l'acidité, la neutralité ou la basicité de l'eau.
- Pour sa mesure est effectuée à l'aide du pH-mètre de poche.

Appareil : pH Mètre (pH 510).

Electrode : Electrode de pH combiné.

Expression des résultants : La valeur est lue directement sur l'écran de l'appareil après l'immersion d'une électrode spécifique de pH dans l'échantillon.



Photo 14 : pH Mètre (KETOTEK)

III.2.4.1.2 Détermination des matières en suspension (MES) :

But d'analyse : c'est de déterminer la teneur de matières en suspensions d'une eau usée.

Principe : L'eau est filtrée et le poids des matières retenues est déterminé par différence de pesée.

Appareillages :

- Papier filtre en verre diamètre 47 μm .
- Rampe de filtration sous vide.
- Pompe à vide ou sous vide.
- Etuve chauffé (105°C).
- Balance (0.001 g de précision).
- Le dessiccateur.

Formule : $M.E.S = (P1 - P2) \times 1000000 / 100 = (P1 - P2) \times 10000$. Avec :

P1 : Poids de filtre en vide.

P2 : Poids de filtre en plein



Photo 15 : Ensemble de filtration à vide de marque « Speed flow »



Photo 16 : Etuve chauffé (105°C) de marque « P SELECTA »

III.2.4.1.3 Détermination de température :

Pour mesurer la température, nous avons utilisé un appareil multiparamétrique. Un transmissivimètre et un salinomètre peuvent également être utilisés pour mesurer la température dans un milieu aqueux

La méthode

- Nous mettons l'appareil en marche
- Plonger l'électrode dans l'échantillon
- Nous lisons directement la température au fur et à mesure qu'elle se dépose sur l'appareil.

III.2.4.1.4 Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

Principe : 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 microorganismes pour la dégradation de la matière organique biodégradable en présence d'air pendant cinq (5) jours. Les microorganismes présents consomment l'oxygène dissous qui est 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.

Appareillages :

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

Expression des resultants : Lecteur de la valeur après 5 jours. $DBO_5 \text{ (mg/l)} = \text{Lecteur} \times \text{Facteur}$.



Photo 17 : La technique de détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La méthode

- À l'aide de béchers gradués, mesurez la quantité d'échantillon nécessaire à l'analyse et versez-la dans des flacons d'incubation propres.
- Placer la barre magnétique à l'intérieur de chaque flacon.
- Introduire des gouttes propres de l'inhibiteur 1-alkyle-2-thio -urée ($C_4H_8N_2S$) dans les flacons.
- À l'aide d'une pince propre, insérer deux disques de KOH dans chaque bouchon intérieur de la fiole.
- Fermer les flacons
- Placer les flacons sur un agitateur à 20°C et les laisser pendant 30 minutes pour la stabilisation de l'équilibre, puis fermer les flacons hermétiquement.
- Effectuer une lecture chaque jour pendant 5 jours et enfin soustraire entre chaque résultat obtenu sur deux jours consécutifs, additionner le résultat et multiplier par le coefficient.

III.2.4.1.5 Détermination de la demande Chimique en Oxygène (DCO) :

La DCO a été déterminée par oxydation au picromate de potassium en milieu acide en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure à l'aide d'un (spectrophotomètre CR/2200).

Méthode de digestion par réacteur Dans notre mesure de DCO, nous avons utilisé des capsules contenant le réactif commercial préalablement préparé.

Appareillages :

- Spectrophotomètre CR/2200
- Thermoréacteur
- Support
- Coupe de Beecher
- Pipette
- Eau distillée

La méthode

- Bien agiter la capsule contenant les réactifs pour mélanger les précipités.
- À l'aide d'une pipette propre, prélever 2 ml de l'échantillon et les verser sur la paroi intérieure du tube (capsule) contenant le réactif de manière à ce que la capsule soit inclinée.
- Fermer hermétiquement la capsule et bien agiter.
- Chauffer la capsule pendant 120 minutes à 148°C dans un thermoréacteur - retirer la capsule du thermoréacteur et la laisser refroidir sur une grille pendant 10 minutes.
- Après 10 minutes, agitez bien le tube (capsule) et laissez-le refroidir à température normale (le temps de refroidissement est d'environ 30 minutes ou plus).
- Après le temps de refroidissement, nous plaçons la capsule dans le Spectrophotomètre CR/2200.



Photo 18 : Spectrophotomètre CR/2200

III.2.4.1.6 Détermination Quantité d'oxygène dissous O_{2diss} :

Principe :

La concentration réelle en oxygène dépend en outre de la température, de la consommation d'oxygène due à des processus microbiologique de la décomposition des substances organiques biodégradables ou à une production d'oxygène par les algues.

Actuellement, la mesure électrochimique est la méthode reconnue par les différentes normes pour déterminer la concentration en oxygène des eaux.

La méthode

- Laver l'électrode avec de l'eau distillée
- Prélever 100 ml de l'échantillon et les placer dans une coupelle Becher
- Plonger l'électrode dans le Becher et la laisser se stabiliser
- Enregistrer le résultat de l'appareil

Calculez le résultat, la lecture est prise directement sur l'instrument.



Photo 19 : Dispositif de mesure HQ30d HACH

III.2.4.1.7 Détermination La turbidité (NTU) :

Principe :

La turbidité mesure une propriété optique de l'eau qui résulte de l'absorption de la lumière par les particules de matières en suspension présentes dans l'eau [5].

La méthode

On met l'appareil sous tension et on rince 3 fois la cuvette par l'échantillon à mesurer. Après agitation de l'échantillon, on remplit la cuvette avec ce dernier. On place la prise d'essai et on appuie sur et le résultat s'affiche en NTU.



Photo 20 : Turbidimètre (turb 550)

III.2.4.1.8 Détermination Azote total (NT) (mg/l) :**Principe :**

Les composés azotés organiques et inorganiques sont transformés en nitrates selon la méthode de koroleff à l'aide d'un oxydant dans un thermoréacteur.

Dans une solution acidifiée avec de l'acide sulfurique et phosphorique, les nitrates forment avec le diméthyl-2,6- phénol (DMP) le nitro-4-diméthyl-2,6-phénol qui est dosé par photométrie.

La méthode

- Dans un tube à essai mis 0.2 ml d'échantillon avec 2.3 ml de solution A et une capsule de B.
- 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 le tube et puis en ajoute 1 capsule C dans le tube d'essai.
- Bien mélanger le tube à essai.
- Prenez 0.5 ml de la mélange et de les mettre dans le tube de réactif.
- Ajouter 0.2 ml de la solution D.
- Bien mélanger le tube de réactif.
- après 15 minutes En mettez tube à essai dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat. Le résultat est donné directement en mg/l.

IV.4.1.9 Détermination Nitrates NO_3^- (mg/l) :**Principe**

Les nitrates sont réduits en nitrites par une solution d'hydrazine en milieu alcalin et en présence de sulfate de cuivre comme catalyseur. Les nitrites obtenus sont alors dosés par colorimétrie : diazotation avec l'acide sulfanilique et capulation avec l' α - Naphtylamine. On mesure la densité du colorant ainsi formé à 520 nm [5].

La méthode

- 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 et mélanger le tube de réactif bien.
- après 15 minutes En mettez tube de réactif à essai dans le Spectrophotomètre HACK et lire le Résultats

III.2.4.1.10 Détermination Nitrites NO_2^- (mg/l) :**Principe**

Par diazotation des nitrites avec l'acide sulfanilique à pH 2,5 et par copulation du composé formé avec l' α -Naphthylamine (réactif de Griess), on obtient un colorant azoïque rose-violet stable au moins 12 heures dont on mesure l'intensité à 520 nm [5].

La méthode

- Ouvrez le couvercle du couvercle du tube 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.

III.2.4.1.11 Détermination la conductivité électrique (CE)

Principe

le principe de La conductivité Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre on émerge complètement l'électrode dans l'eau à analyser et la lecture se fait directement sur l'enregistreur électronique quand l'affichage est stabilisé [9].

La méthode

- Prendre dans un bécher une quantité de l'eau à analyser.
- Tremper l'électrode dans le bicher .
- Laisser ce dernier quelque minute jusqu'a stabilisé.
- Le résultat est donné directement en $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Chapitre IV
Résultats et discussions

IV.1 Introduction :

Après avoir présenté les outils méthodologiques nécessaires pour la réalisation de notre travail, dans ce chapitre nous procéderons à l'interprétation et à la discussion des résultats de notre étude. A travers ces résultats, nous essayerons de déterminer les performances épuratoires de la STEP de KOUININ en comparant ces résultats avec les normes des rejets.

IV.2 Résultats et discussions :

Les résultats globaux que nous avons obtenus sont les suivants :

IV.2.1 L'évolution de la température T(c°) :

D'après la figure (15), on observe que les valeurs moyennes de température sont plus basses dans l'eau traitée des différents bassins par rapport à l'eau utilisée, à travers les résultats obtenus dans la figure (15). (la valeur la plus élevée de 21,8 °C enregistrée en avril et la valeur la plus basse de 15,9 °C en février, c'est-à-dire que la température est confinée entre les deux valeurs $15,9 \leq T \text{ (}^\circ\text{C)} \leq 21,8$

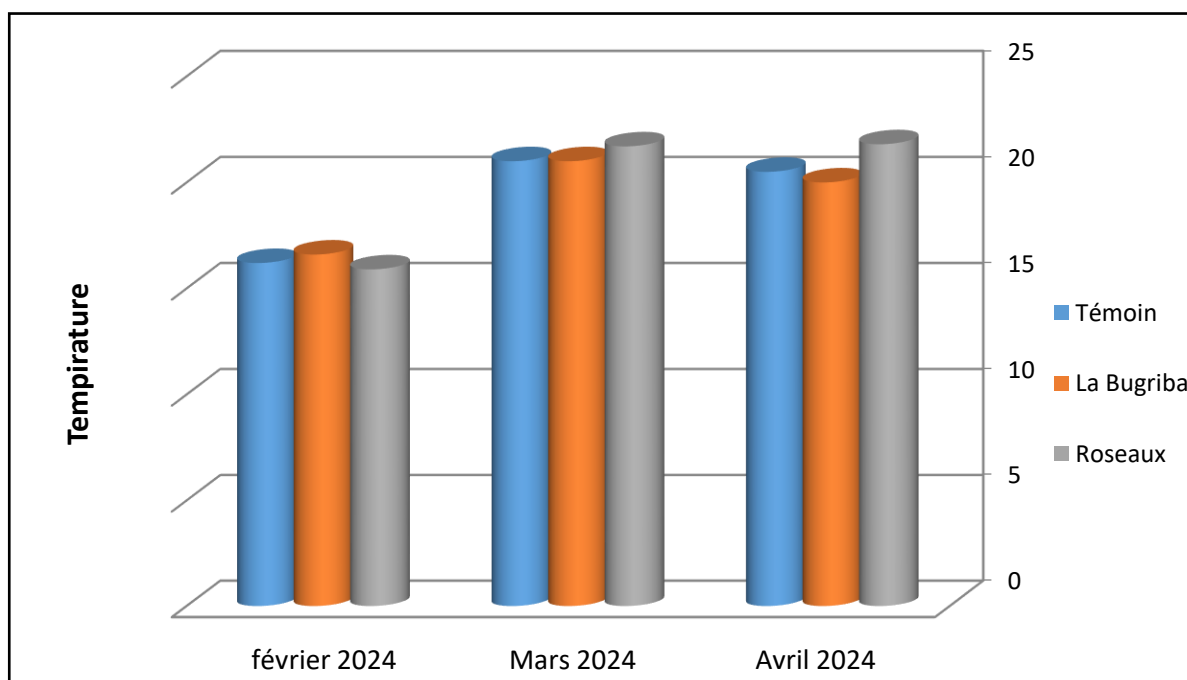


Figure 15 : Evolution temporelle de la température T(c°) pour les étangs plantés et les étangs témoins .

Explication : La baisse de la température dans les étangs traités s'explique par une diminution du nombre de bactéries et une diminution des réactions biochimiques [57].

IV.2.2 L'évolution de potentiel Hydrogène (pH) :

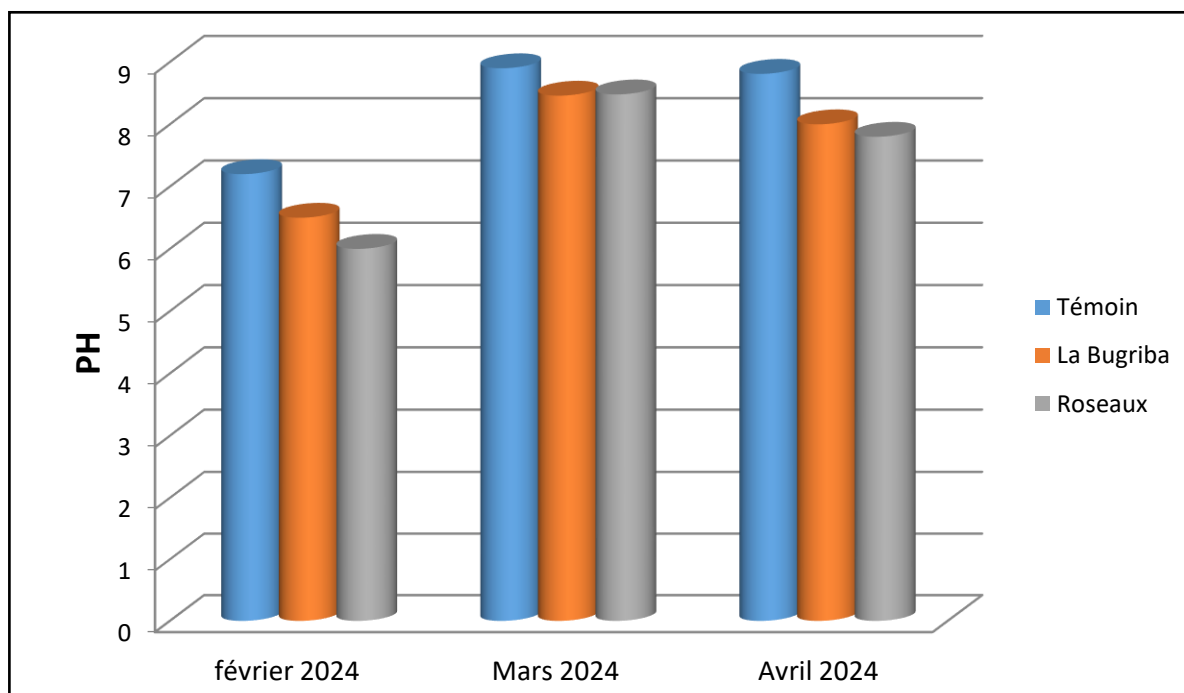


Figure 16 : Evolution temporelle du pH pour l'aquarium transplanté et l'aquarium témoin.

La figure (16) montre que le pH moyen diminue dans l'eau traitée des deux bassins par rapport au bassin témoin de 8, [58], 8,46 et 8,90 pour les bassins plantés des Roseaux et de *Zygodhylum* (La Bugriba) et le bassin non planté (témoin), respectivement.

Cependant, le pH moyen de l'aquarium transplanté est inférieur à celui de l'aquarium témoin. Ce résultat est similaire à celui de (Vincent et al 1994) [16].

Plusieurs facteurs expliquent cette diminution du pH (acidité du milieu), notamment l'oxydation des nitrites, l'oxydation du DCO donnant du CO_2 qui entraîne l'acidification du milieu et l'oxydation des nitrites donnant du nitrate qui entraîne l'acidification du milieu : [59] [60]

- L'accumulation d'hydrogène résultant de l'activité des bactéries responsables de la nitrification Nitrifiantes
- Accumulation de CO_2 résultant du métabolisme des plantes ou de la décomposition de la matière organique par les bactéries. [61] [62].
- Production d'ions H^+ par la plante pour remplacer une partie des cations impliqués dans la nutrition minérale de la plante [63].
- Production de certaines sécrétions (acides organiques) par les racines de la plante [16].

IV.2.3 L'évolution de la oxygène dissous (O_{2diss}) :

D'après la figure (17), on observe que les valeurs moyennes d'oxygène dissous augmentent dans le bassin des roseaux par rapport aux autres bassins, où l'on observe que les valeurs d'oxygène dissous sont comprises entre la valeur la plus faible de 7mg/l en avril dans le bassin *Zygophyllum* (La Bugriba), et la valeur la plus élevée de 9,61mg/l dans le bassin de *Zygophyllum* (La Bugriba) au mois de février.

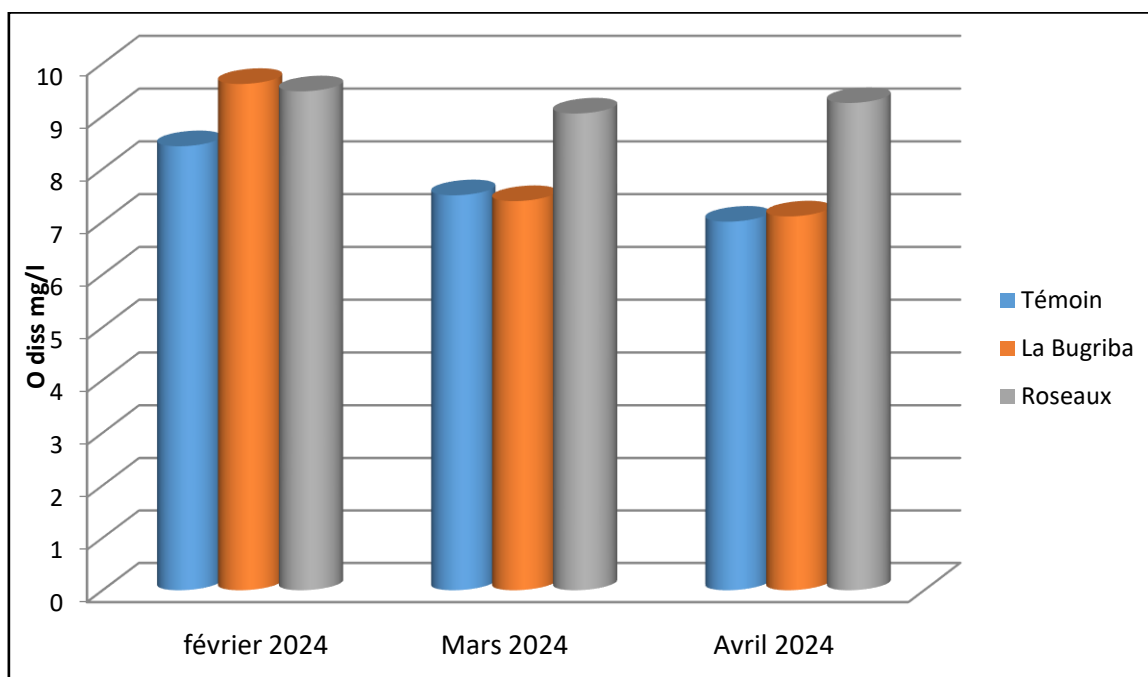


Figure 17 : Evolution temporelle de l'oxygène dissous O_{diss} pour les bassins cultivés et les bassins témoins

À partir du graphique, il semble que l'image montre l'évolution temporelle de la teneur en oxygène dissous (O_{diss}) pour trois différents bassins : Témoin, *Zygophyllum* (La bugriba) et Roseaux. Les données sont présentées pour trois dates différentes : février 2024, mars 2024 et avril 2024 .

Le graphique indique que la teneur en oxygène dissous est plus élevée dans le bassin Témoin que dans les deux autres bassins, *Zygophyllum* (La bugriba) et Roseaux, à chacune des dates. On peut aussi observer que les valeurs d'oxygène dissous varient dans le temps, avec une tendance à diminuer de février à avril pour les trois bassins .

On observe une différence dans la quantité d'oxygène dissous pour le bassin planté de Roseaux et le bassin non planté (le témoin). en raison de la présence de la plante qui transfère l'oxygène de l'air dans le bassin des feuilles aux tiges puis aux racines. [58]

IV.2.4 L'évolution de matières en suspension MES :

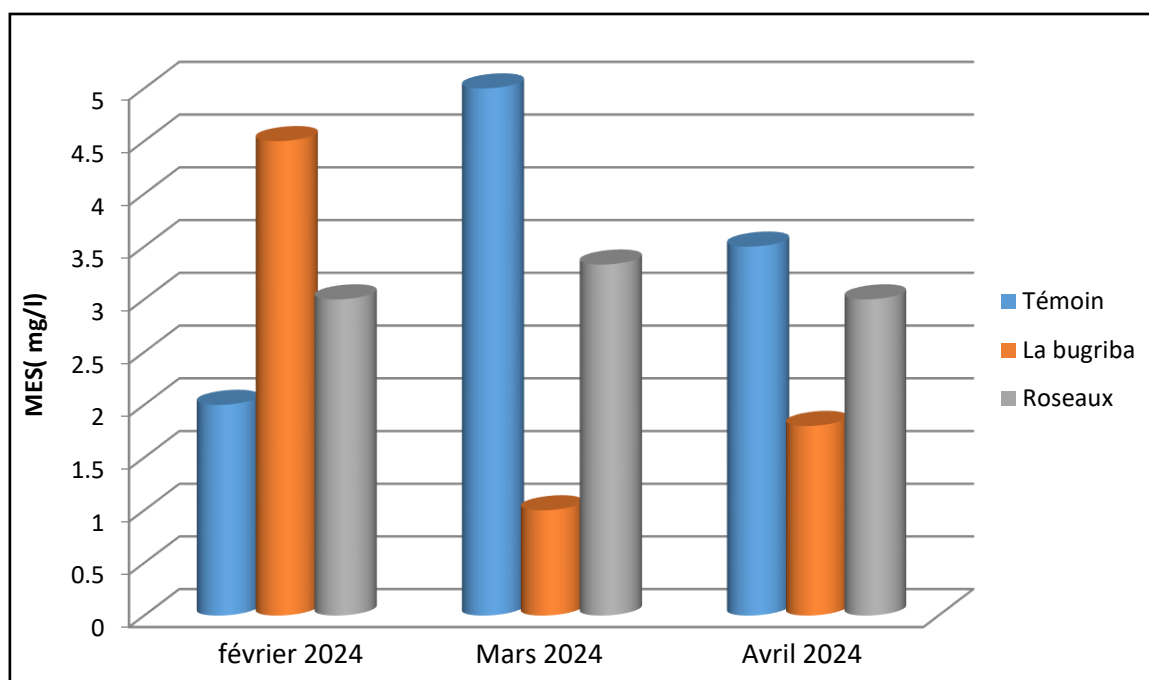


Figure 18 : Evolution temporelle de matières en suspension pour les bassins cultivés et les bassins témoins

- Le tableau présente trois différentes matières (Témoin, *Zygothymum* La bugriba, Roseaux) sur trois différentes dates (février 2024, mars 2024, avril 2024).
- Pour chaque matière, on peut observer l'évolution de la concentration en MES (en mg/l) à ces trois dates.
- La matière "Témoin" montre une concentration élevée en MES, atteignant près de 5 mg/l à la date du mars 2024.
- La matière "*Zygothymum* (La bugriba)" a une concentration en MES plus faible, autour de 3,5-4 mg/l sur les trois dates.
- La matière "Roseaux" présente la plus faible concentration en MES, restant sous 2 mg/l sur les trois dates.
- On peut donc analyser les variations et les différences de comportement des trois matières en termes de MES sur cette période de temps.

La diminution de la concentration de MES dans diverses eaux traitées est principalement due à un traitement physique tel que la filtration, où les matières grossières restent en suspension et les matières fines sont piégées dans les pores du filtre, ou à une réaction chimique [62] [64]

IV.2.5 L'évolution de La Turbidité :

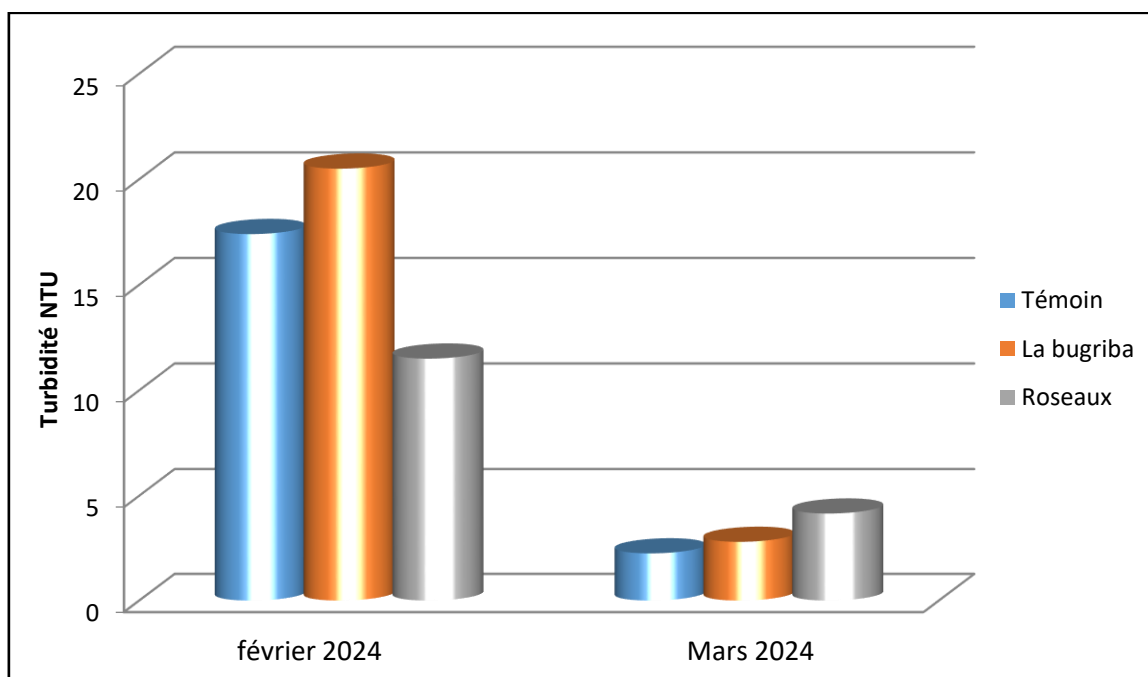


Figure 19 : L'évolution de La Turbidité pour l'aquarium transplanté et l'aquarium témoin.

Ce graphique montre l'évolution de la turbidité dans trois masses d'eau différentes : Témoin River, *Zygophyllum* (La Bugriba) et Roseaux. La turbidité est une mesure de la clarté de l'eau, les valeurs les plus élevées indiquant une eau plus trouble.

L'unité de mesure de la turbidité est le NTU.

Le graphique montre trois séries de données, chacune prise à environ un mois d'intervalle

On constate que pour le contrôle, la turbidité est restée relativement stable entre les deux périodes. Pour *Zygophyllum* (La Bugriba), en revanche, la turbidité a fortement augmenté entre les deux mesures. Enfin, pour le Roseau, la turbidité a légèrement diminué entre les deux périodes.

Ceci est dû à l'évolution de la turbidité de ces trois masses d'eau sur une période de 3 mois, en mettant en évidence les différences significatives en fonction de la masse d'eau concernée.

IV.2.6 L'évolution de la demande chimique en oxygène (DCO) :

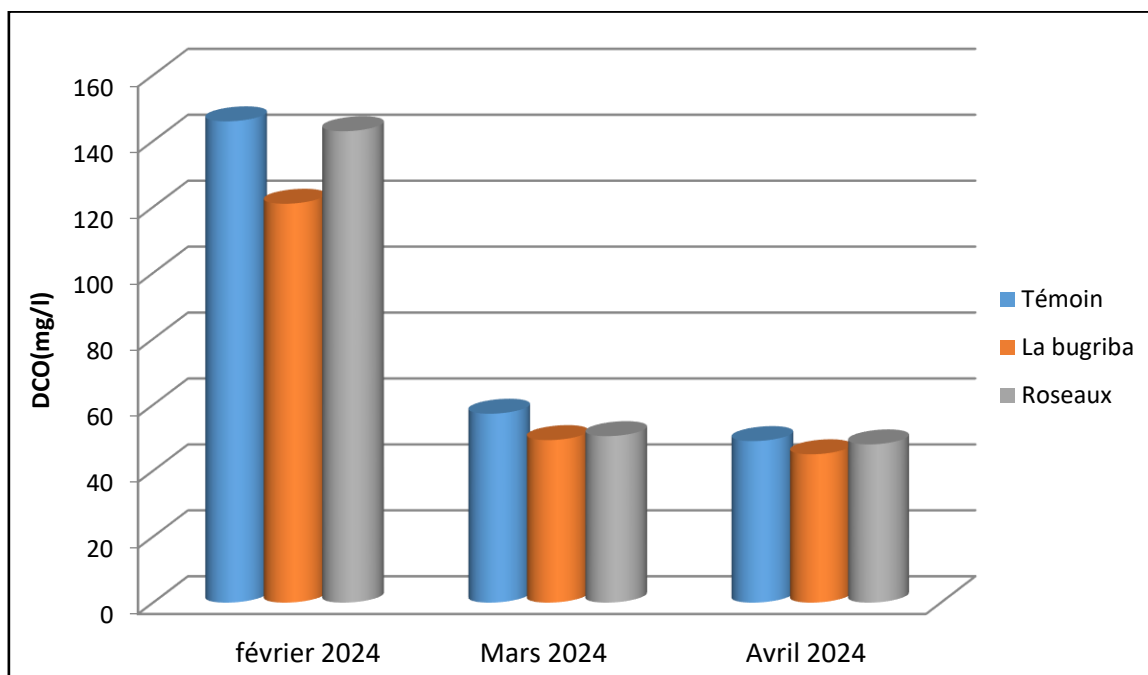


Figure 20 : Evolution temporelle de la demande chimique en oxygène (DCO) pour l'aquarium transplanté et l'aquarium témoin.

- Le 2024 février, le Témoin et *Zygophyllum* (La Bugriba) ont une DCO très élevée, autour de 150 mg/L, indiquant une forte pollution organique dans ces milieux. En revanche, la DCO des Roseaux est beaucoup plus basse, autour de 40 mg/L.
- Le 2024 mars, la DCO a nettement diminué pour le Témoin (environ 70 mg/L) et *Zygophyllum* (La Bugriba) (environ 60 mg/L), signe d'une amélioration de la qualité de l'eau dans ces deux sources. La DCO des Roseaux reste plus basse, autour de 40 mg/L.
- Le 2024 avril, la baisse de la DCO se poursuit pour le Témoin (environ 50 mg/L), *Zygophyllum* (La Bugriba) (environ 45 mg/L) et les Roseaux (environ 35 mg/L). Cela montre une diminution progressive de la pollution dans ces différentes zones.

Ceci est le résultat de l'absorption physique de la matière organique dans les eaux usées et de l'aération du milieu par les organismes bactériens. Cette réduction est due à la présence de la plante, qui fournit des conditions physiochimiques apportant de l'oxygène au milieu filtré via les feuilles, les tiges, les racines et le rhizome par des organismes bactériens qui provoquent l'oxydation du DCO [62].

IV.2.7 L'évolution de la demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

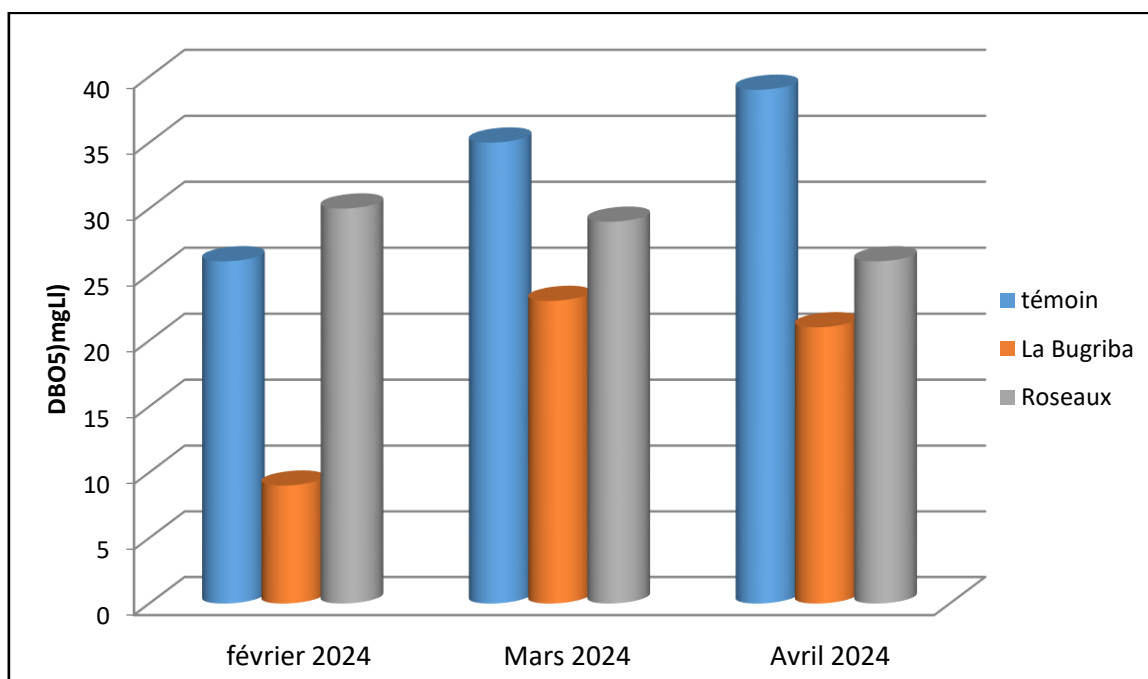


Figure 21 : Évolution temporelle de la demande biochimique en oxygène DBO₅ pour l'aquarium planté et l'aquarium témoin

On peut observer que la DBO₅ est toujours plus faible dans l'aquarium planté que dans l'aquarium témoin. Cela est dû à la présence de plantes dans l'aquarium planté. Les plantes absorbent la matière organique de l'eau, ce qui réduit la DBO₅.

On peut également observer que la DBO₅ diminue dans les deux aquariums au cours du temps. Cela est dû à la dégradation de la matière organique par les bactéries.

La différence d'élimination du DBO₅ entre l'aquarium planté et l'aquarium témoin est due à la présence de plantes aquatiques qui ont la propriété d'absorber l'oxygène de l'atmosphère et de le libérer par leurs racines dans la zone entourant les racines, cet oxygène activant les bactéries qui oxydent et décomposent la matière organique. [16]

IV.2.8 L'évolution de nitrate (NO_3^-) :

D'après l'évolution temporelle de NO_3^- nitrate dans la figure 22, la concentration de nitrate diminue dans tous les bassins.

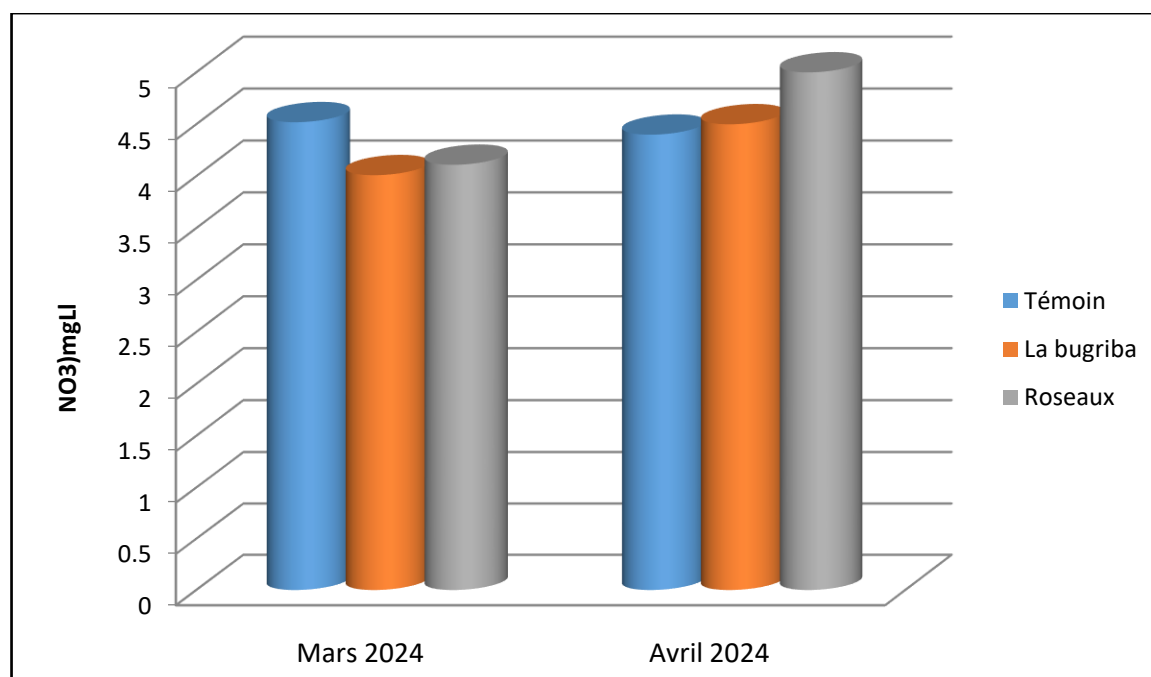


Figure 22 : Évolution temporelle du nitrate NO_3^- pour les étangs plantés et les étangs témoin

- L'utilisation du nitrate par la plante se fait pendant la journée ou en présence de photosynthèse. L'évolution du nitrate donne une diminution de la quantité après filtrage par la plante. La plante absorbe entre (10 - 39%) et les racines inhibent entre (45 - 98%) de l'azote organique éliminé, tandis que l'azote restant est éliminé par nitrification, dénitrification et oxydation aérobie de l'ammonium. [65] [66]

- La nitrification du NO_3^- est due à la présence de bactéries Anammox responsables de l'oxydation aérobie de l'ammonium en N_2 . [67]

IV.2.9 L'évolution de nitrite (NO_2^-) :

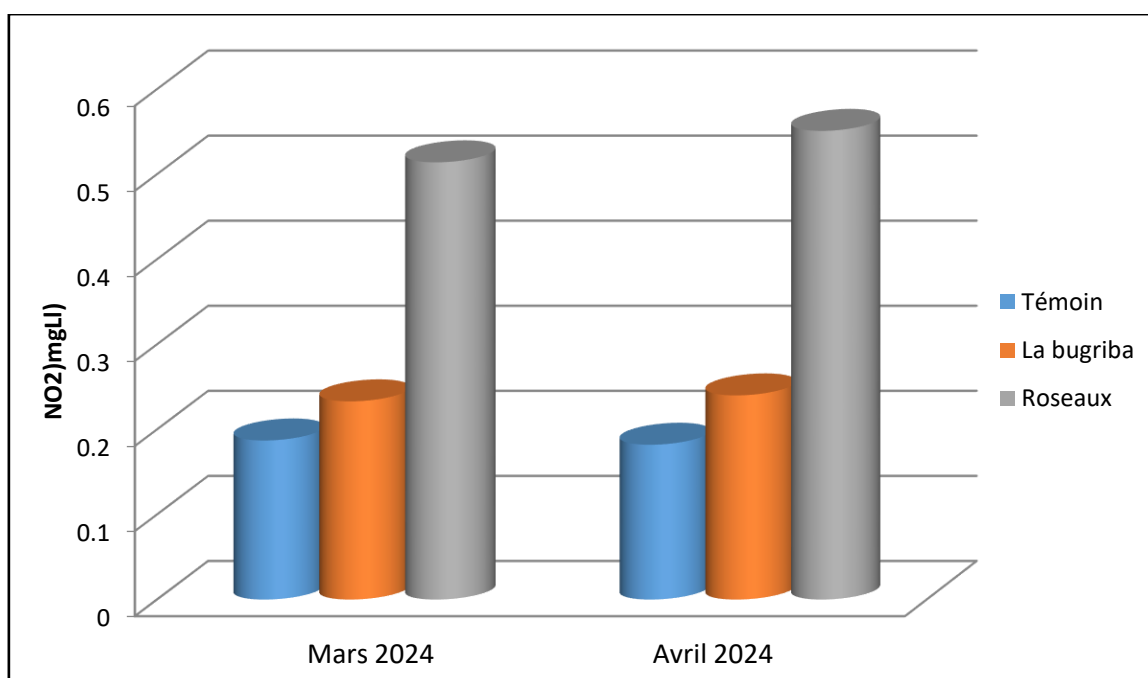


Figure 23 : Évolution temporelle du nitrite NO_2^- pour les étangs plantés et les étangs témoin

La concentration de nitrites dans les étangs plantés est généralement inférieure à la concentration de nitrites dans les étangs de contrôle. Cela est probablement dû à la présence de plantes dans les étangs plantés, qui peuvent absorber les nitrites présents dans l'eau.

La concentration de nitrites dans les étangs plantés et les étangs de témoin atteint son maximum en avril. Cela est probablement dû à la décomposition de la matière organique, qui libère des nitrites dans l'eau.

La concentration de nitrites dans les étangs plantés diminue plus rapidement que la concentration de nitrites dans les étangs de témoin après le pic d'avril. Ceci est probablement dû à l'absorption des nitrites par les plantes.

La différence d'élimination du NO_2^- entre l'aquarium planté et le témoin est due à la présence de la plante aquatique, qui absorbe l'oxygène de l'atmosphère et est transporté par les feuilles et les tiges jusqu'aux racines et aux rhizomes. [68]

L'oxygène active les bactéries qui convertissent les nitrites NO_2^- en nitrates NO_3^- dans la zone racinaire, ce processus étant appelé nitrification. [16]

IV.2.10 L'évolution de La Azote total (NT) :

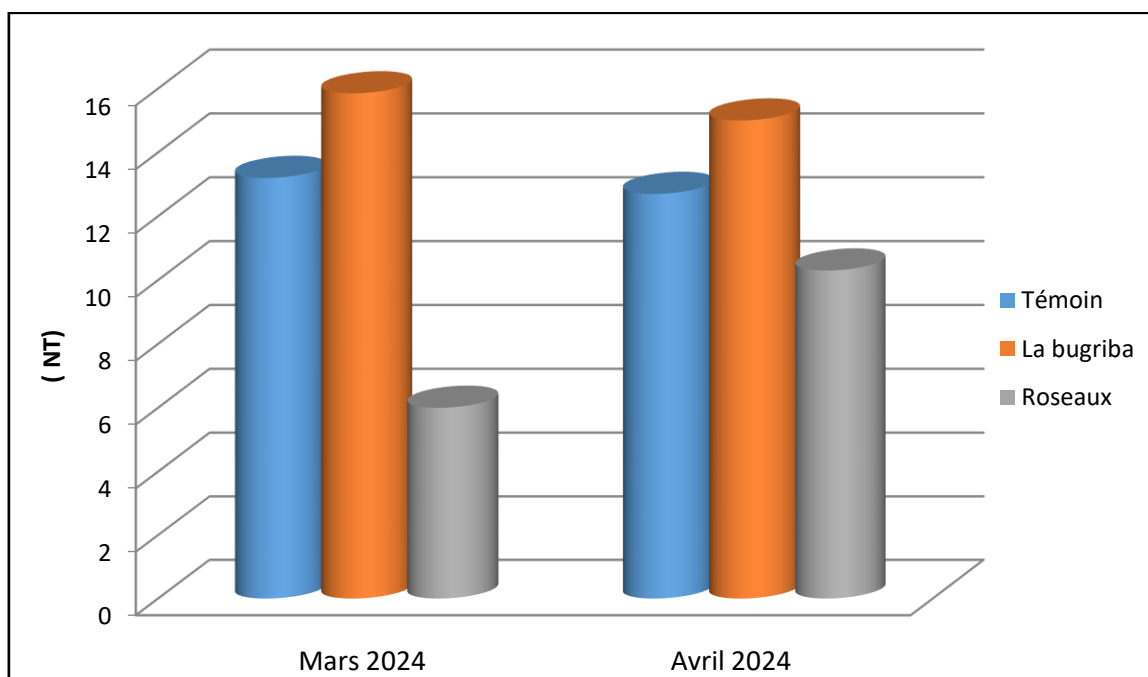


Figure 24 : Évolution temporelle de La Azote totale (NT) dans les étangs plantés et les étangs de Témoin

La quantité d'azote total est la plus élevée dans l'étang témoin. La quantité d'azote total est la plus faible dans l'étang planté de *Zygophyllum* (La bugriba). La quantité d'azote total est intermédiaire dans l'étang planté de roseaux.

du graphique suggèrent que la plantation de *Zygophyllum* (La Bugriba) peut contribuer à réduire la libération d'azote dans l'atmosphère lors de l'assèchement des étangs. Ceci est dû à la plante semble avoir une capacité à retenir l'azote dans le sol.

IV.2.11 L'évolution de la conductivité électrique CE :

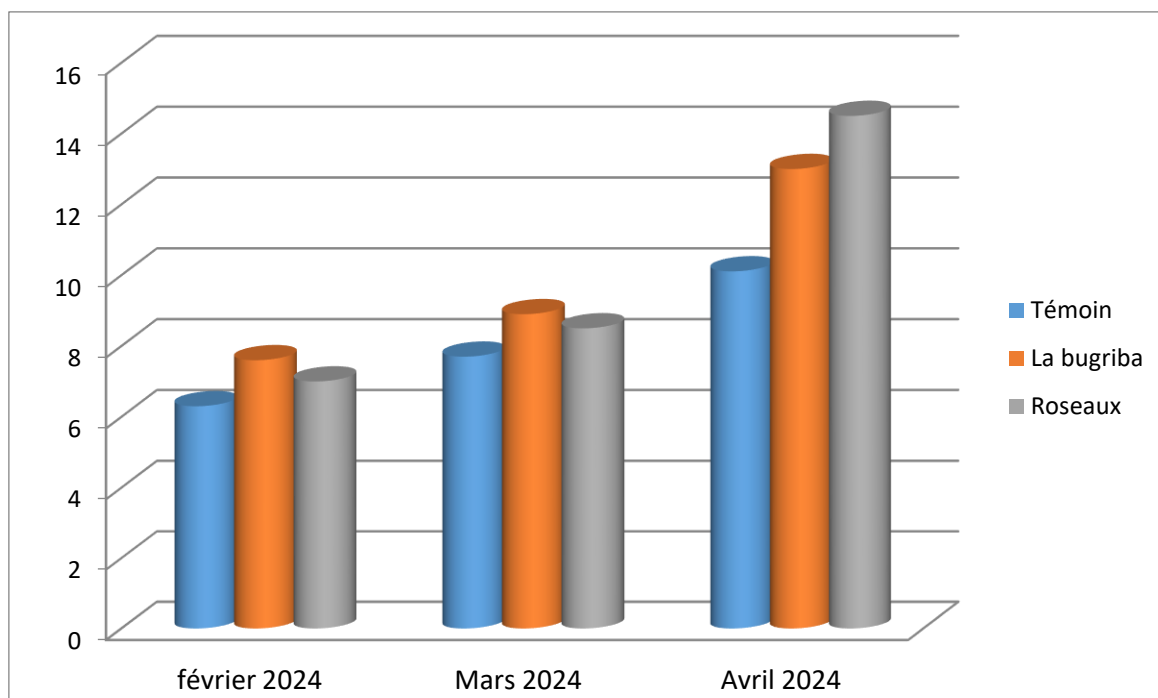


Figure 25 : Évolution temporelle de la conductivité électrique dans les étangs plantés et les étangs de Témoin

Le graphique montre l'évolution temporelle de la conductivité électrique dans les étangs et les plantes plantés pendant la période allant de février 2024 à avril 2024.

En général, la conductivité électrique a augmenté dans toutes les espèces de plantes au fil du temps.

La conductivité électrique était plus élevée dans *Zygophyllum* (La Bugriba) que dans les roseaux.

La conductivité électrique dans *Zygophyllum* (La Bugriba) était significativement plus élevée que dans le étang de Témoin .

C'est donc la présence de paquets de plantes qui est à l'origine de la conductivité électrique élevée, ainsi que la transpiration et l'évaporation des plantes, qui entraînent la concentration du milieu.

Dans (ranjani1996), la raison de l'augmentation de la conductivité électrique est due à la transformation des substances organiques en substances minérales [69], dans ce cas nous nous attendons à ce que tous ces changements contribuent à l'augmentation de la conductivité électrique (Finlayson 1983) [70].

IV.3.Conclusion :

Cette étude a permis d'évaluer les performances épuratoires d'un système de traitement des eaux usées par filtres plantés au niveau de la station de Kouinine.

Nos travaux montrent clairement la capacité de la plante Roseaux ou *Zygophyllum* (La Bugriba) à épurer les eaux usées. Les résultats obtenus sont très encourageants, avec des taux de dilution (**roseaux et *Zygophyllum* La Bugriba**) de l'ordre de **(95%-96%)** pour les solides en suspension (**MES**), de **(90.55%-91.60%)** en terme de Demande Chimique en Oxygène (**DCO**), de **(90.85%-94%)** en terme de Demande Biochimique en Oxygène (**DBO₅**), On constate une nette progression pour, nitrites et nitrates.

conclusion général

Conclusion générale :

En conclusion, il est clair que la purification des eaux usées à l'aide de plantes aquatiques présente de nombreux avantages. Cette approche, connue sous le nom de phytoremédiation, offre une solution écologiquement durable et économiquement viable pour traiter les eaux usées contaminées. Les plantes aquatiques, telles que les roseaux, les nénuphars et les joncs, jouent un rôle crucial dans l'élimination des polluants et des substances indésirables présentes dans les eaux usées.

L'utilisation de plantes aquatiques dans les systèmes de traitement des eaux usées offre plusieurs avantages significatifs. Tout d'abord, cette méthode est naturelle et respectueuse de l'environnement, évitant ainsi les effets néfastes des produits chimiques utilisés dans les méthodes de traitement conventionnelles. De plus, elle permet de réduire la consommation d'énergie, comparée aux procédés mécaniques et électriques nécessaires dans d'autres techniques de purification. Les plantes aquatiques agissent comme des filtres vivants, capturant les contaminants et les transformant en nutriments bénéfiques pour leur propre croissance.

Les résultats obtenus sont très encourageants, avec des taux de dilution (**roseaux et *Zygotyllum* (La Bugriba)**) de l'ordre de **(95%-96%)** pour les solides en suspension (**MES**), de **(90.55%-91.60%)** en terme de Demande Chimique en Oxygène (**DCO**), de **(90.85%-94%)** en terme de Demande Biochimique en Oxygène (**DBO5**), On constate une nette progression pour, nitrites et nitrates.

Ces résultats ont montré que le principal facteur influençant l'activité biologique est la présence de la plante et des microorganismes, ainsi que le développement de la plante elle-même.

La plante a prouvé son efficacité et sa capacité à atteindre les spécifications souhaitées pour l'épuration des eaux usées, en réduisant le pourcentage de polluants et de pathogènes, et en atteignant les limites admissibles pour l'utilisation de l'eau des bassins de phytoremédiation en agriculture (arrosage des arbres, des fruits et des céréales), qui a la capacité de tolérer la salinité de cette eau sans l'utilisation de solutions chimiques et à un coût inférieur par rapport à d'autres techniques de traitement.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1] Vymazal, J. (2018). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(6), 5597-5617.
- [2] Attab, S. (2011). Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration Haoud Berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local. Mémoire de magister, université de Kasdi Merbah, Ouargla.
- [3] Baumont, S. (2006). Réutilisation des eaux usées épurées: risques et faisabilité en Ile de France. Rapport de stage. ENSAT. Toulouse, France.
- [4] Ouali, M. (2001). Cours de processus unitaires biologiques et traitement des eaux- 2e éd. OPU. Mémoire de master en chimie de l'environnement, université Ahmed draia Adrar (BOUKHECHBA Zoulikha _ HARROUZ Yasmine) 2017
- [5] Rodier J, et al. (2009) : L'analyse de l'eau, 9e édition. DUNOD (éditeur), Paris, France.
- [6] Grosclaude, Gérard, dir. ,(1999): L'eau, tome 1 : Milieu naturel et maîtrise et tome 2 : Usages et polluants. Versailles, Institut National de la recherche Agronomique
Mémoire de master en en Hydraulique, Université d'El-Oued (Asma ZOUBIEDI) 2016
- [7] Rejsek F, (2002). Analyse des eaux – aspects réglementaire et techniques-. Edition scérén.110p. Mémoire de master en Toxicologie, Université d'El-Oued (BENZAIA Attef -MAIASSI Zahia) 2021
- [8] Metahri mohammed Saïd ,(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 .
- [9] Rodier J, (2005) : L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} Edition. Dunod, Paris . Mémoire de master en en Hydraulique, Université d'El-Oued (Asma ZOUBIEDI) 2016
- [10] Tfyech, L. (2014). Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées de Ouargla au cours de leur traitement. Mémoire de master professionnel, Université de Kasdi Merbah, Ouargla.
- [11] Abibsi, N. (2011). Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantes phytoépuration pour l'irrigation des espaces verts application à un quartier de la ville de Biskra. Mémoire de magister, université de Mohamed Khider, Biskra.
- [12] Salghi, R. (2015). Chimie des eaux. École nationales des sciences appliquées. Agadir. Mémoire de master en chimie de l'environnement, université Ahmed draia Adrar (BOUKHECHBA Zoulikha _ HARROUZ Yasmine) 2017
- [13] Rodier J., (1996) : L'analyse de l'eau (eaux naturelles résiduaires eaux de mer). Tome II, PP 199-238 . Mémoire de master en chimie de l'environnement, université Ahmed draia Adrar (BOUKHECHBA Zoulikha _ HARROUZ Yasmine) 2017
- [14] Ladjel F et Bouchefer S, (2005) : Exploitation d'une station d'épuration à Boues activées Niveau II ONA . Mémoire de master en en Hydraulique, Université d'El-Oued (Asma ZOUBIEDI) 2016
- [17] Rejsek F., (2002) Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, Ed. CRDP : Bordeaux, Diplôme de Master Spécialisation : Chimie de l'eau p.125.
de Préparé par :Gachouh Latifa, Wanis Hayat Kassidi Université Merbah Ouargla 2018

Références bibliographiques

- [18] Andriamirado L, et al, (2005): Memento technique de l'eau, Tome 1, Degrémont, France Mémoire de master en en Hydraulique , Université d'El-Oued (Asma ZOUBIEDI) 2016
- [19] Stricker, A., et al. (2010). Phosphore des eaux usées : nouvelles données, conséquences pour l'épuration. Office national de l'eau et des milieux aquatiques, France.
- [21] CONVENTIONS ET ACCORDS INTERNATIONAUX - LOIS ET DECRETS ARRETES, DECISIONS, AVIS, COMMUNICATIONS ET ANNONCES (2012) République Algérienne Démocratique et Populaire Journal officiel n° 41 p20
- [24] BELAHMADI M., (2011) Un mémoire Magistère Microbiologie Université Mentouri Constantin Préparé par : Belahmadi Mohamed Seddik Oussama 2011
- [25] BENELMOUZA., (2015) Performances épuratoires d'une station d'épuration de Maghnia. Mémoire de master en hydraulique, Université de Abou Bekr BELkaid, Tlemcen
- [27] CHARLOTTE K , et al . (2016) hydroconseil le lagunage naturel avignon maire de beaucroissant ps-eau le lagunage naturel PARIS France 4 page
- [28] Berland, J. et al. (2001). Guide des procédés épuratoires extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites collectivités. OIEau - Cemagref. France
- [29] DUPONT (2008) L'assainissement écologique des eaux usées domestiques. Mémoire formation environnementale, ENSAL. Lyon.
- [30] BOUHANNA (2014) Gestion des produits d'épuration des eaux usées de la cuvette de Ouargla et perspectives de leurs valorisations en agronomie saharienne. Mémoire de magister, Université de Kasdi Merbah, Ouargla
- [31] Mémoire de master en chimie de l'environnement , université Ahmed draia Adrar (BOUKHECHBA Zoulikha _ HARROUZ Yasmine) 2017
- [32] Bettach, A. (2013). Traitement des eaux usées domestique par bio dénitrification : effet du nitrate. Mémoire de fin d'études, université de Chouaib Doukkali, El jadida. Mémoire de master en chimie de l'environnement , université Ahmed draia Adrar (BOUKHECHBA Zoulikha _ HARROUZ Yasmine) 2017
- [33] Anicet, T. et al. (2015). La Phytoépuration. Mémoire de master en chimie de l'environnement , université Ahmed draia Adrar (BOUKHECHBA Zoulikha _ HARROUZ Yasmine) 2017
- [34] KONE.D ; (2002). Epuration des usées par lagunage a microphytes et à macrophytes en afrique de l'Ouest et de centre : Etat des lieux performances épuration et critères de dimensionnement. Thèse N°2653. Lausanne . EPFL . pp 17-30-31
- [35] AL-MAYAH, A A. and AL-HAMIN, F. I. (1991). Aquatic plants and the Algae. University of Basrah (in Arabic); pp. 699-701
- [36] AL-MAYAH, A. A. (1994). The Aquatic plants of the Marshes of southern Iraq. Marin Sci. Cent. 18: pp127-143.
- [38] VYMAZAL JAN and LENKA KROPFELOVA., (2008). Wastewater Treatment in Constructed wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow, pp 203-322
- [39] ARMSTRONG J. and ARMSTRONG W. (1990). Pathways and mechanisms of oxygen transport in Phragmites australis (Cav.) Trin ex Steud. In : Constructed Wetlands in Water Pollution Control, P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds), Pergamon Press, pp 529-534.
- [40] BRIX H. AND SCHIERUP H.H .(1990). Soil oxygenation in constructed reed beds: the rôle of macrophyte and soil-atmosphere interface oxygen transport. In : Constructed Wetlands in Water Pollution Control, P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds), Pergamon Press, pp 53-66.

Références bibliographiques

- [41] ARMSTRONG J. and ARMSTRONG W. (1988). *Phragmites australis* – preliminary study of soiloxidising sites and internal gas transport pathways. *New Phytol.*, 108, pp373-382.
- [42] RECYCL'EAU (2014). Dispositif de traitement des eaux usées domestiques. Guide de l'utilisateur. France.
- [43] Grison, C. (1999). Épuration des eaux usées par des filtres plantes de macrophytes. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse. France .
- [44] BOUTIN C. (1987). Domestic wastewater treatment in tanks planted with rooted macrophytes:case study, description of the system, design criteria and efficiency. *Wat.Sci. Tech.* **19(10)**,pp 29-40 .
- [45] FABIO MASI & NICOLA MARTINUZZI. (2006). Constructed wetlands for the Mediterranean countries: Hybrid systems for water reuse and sustainable sanitation, Italy, pp 14-18 .
- [46] VYZAMAL J et al (1998). constructed wetlands for wastewater treatment in Europe; Backhuys publ, Leiden. **76**: pp; 16-17-18 .
- [47] LEMORE C. (1984). Colmatage et décolmatage des tranchées d'épandage en assainissement autonome, Thèse de doctorat, Université de Paris Val de Marne – École Nationale des Ponts et Chaussées, p 93.
- [48] MITCHELL R. and NEVO Z. (1964). Effect of bacterial polysaccharide accumulation on infiltration of water through sand, *Appl. Microbiol.* **12**, pp 219-223.
- [49] RONNER A. B. and WONG A. C. (1994). Microbial clogging of wastewater infiltration systems. In : Proceedings of the Seventh International Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems, Atlanta, Georgia, pp 559-562.
- [50] VINCENT G et al (1994). Antimicrobial properties of roots exudates of three macrophytes : *Mentha aquatica* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin and *Scirpus lacustris* L . Proceeding of the 4th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control , Guangzhou, China, pp 290-296
- [51] Bensaber, I. et Ouali, G. (2014). La conception et le dimensionnement des filtres plantés de roseaux. Mémoire de licence, université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès, Maroc.
- [52] ONA. (2009). Office Nationale d'Assainissement d'Alger.
- [53] ZOBEIDI, A .(2017). Epuration des eaux usées urbaines par lagunage aéré en zone aride – cas de la région d'El-oued. paramètres influents et choix des conditions optimales. Thèse de doctorat en sciences , université kasdi merbah, Ouargla ,Algérie.
- [54] ONA .(2011). Office National de l'Assainissement, système de Management Environnemental ISO 14001 .
- [55] Packer et al., (2017) *Phragmites australis* sur : <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/phragmites-australis> [en ling] page mise à jour le 2024 [consulté le 23/05/2024]
- [55] Elias, et al (2009). Article de Wikipédia. *Phragmites australis* sur : https://en.wikipedia.org/wiki/Phragmites_australis [en ling] [Consulté le 24/05/2024].
- [56] *Zygophyllum album* sur : http://www.rareplants.de/shop/product.asp?P_ID=12542 [en ling] page mise à jour le 2024 [consulté le 24/05/2024]
- [56] Reham H M , et al (2019) A Comprehensive Review on Genus *Zygophyllum* sur : https://www.researchgate.net/publication/331173795_A_Comprehensive_Review_on_Genus_Zygophyllum [en ling] page mise à jour le 2024 [consulté le 24/05/2024]
- [56] Article de Facebook . Benefits of the *Agaia* plant found in southern Algeria sur : <https://www.facebook.com/photo/?fbid=4210470919071959&set=a.743098529142566>

Références bibliographiques

[en ling] page mise à jour le 2021 [Consulté le 24/05/2024].

- [57] EDELINE, F. (1993). L'épuration biologique des eaux théorie & technologie des réacteurs. Liège, Cebedoc Editeur [etc.]. p 303.
- [58] JEDICKE, A et al. (1989). "Increase in the . oxygen concentration in Amazon waters resulting from the root exudation of two notorious water plants, Eichhornia crassipes (Pontederiaceae) and Pistia stratiotes (Araceae). Amazoniana 11(1): pp53-70.
- [59] DOMMERGUES Y. et Mangenot F. (1970) . Ecologie microbienne dusol. Paris: Masson et Cie, p 796.
- [60] MUCH C, KUSCHK P. (2004). La stimulation racinaire de l'élimination de l' azote concerne-t-elle des zones limités ou l'ensemble d'un marais artificiel ? Ingénieries N° spécial 2004, pp5-11.
- [61] ATTIONU. R. H. (1976). "Some effects of water lettuce (Pistia stratiotes, L.) on its habitat." Hydrobiologia 50(3): pp 245-254.
- [62] SRIDHAR. M. K. C. and SHARMA. B. M. (1985). Some observationson the oxygen changes in a lake covered with Pistia stratiotes L. "Water Res 19(7): pp 935-939.
- [63] BOWES. G. and BEER. S. (1987). Physiological Plant Processes: Photosynthesis. Aquatic plant for water treatment and ressource recovery. Reddy. K. R. and Smith. W. H. Orlando. Mangnolia Publishing Inc: pp 311-335.
- [64] CHACHUAT B., (1998). Traitment d'effluents concentrés par culture fixes sur gravier. Rapport de DEA, ENGEES-Cemagref , p 118.
- [65] JETENS. M. S et al (2001) "Microbiology and application of the anaerobic ammonium oxidation ('anammox') process." Current Opinion in Biotechnology 12(3): pp 283-288.
- [66] JETENS. M. S.M. (2002). 'Aerobic and anaerobic ammonia oxidizing bacteria-competitors or natural partners?' FEMS Microbiol. Ecol 39(3): pp 175-181.
- [67] THAMDRUP. B. and DALSGAARD. T. (2002). "production of N(2) through Anaerobic Ammonium Oxidation Coupled to Nitrate Reduction in Marine Sediments." Applied and Env microbiol 68(3): pp 1312-1318.
- [68] BRIX, H. (1994). "Function of Macrophytes in Constructed Wetlands." Wat.Sci.Tech. 29(4): pp 71-78.
- [69] RANJANI K., et al (1996) . Treatment of maize processing industry wastewater by constructed wetlands. Proceeding of 5th International conference on wetlands. Proceeding of 5th International conference on wetlands system for water pollution control, vol. 1, Vienna, Sept. pp: 9, 15-19.
- [70] FINLAYSON CM ., CHICK A.J. (1983). Testing the potential of aquatic plantsto treat abattoir effluent, Water Res. 17(4): pp 415-422.

❖ المراجع باللغة العربية :

- [16] مذكرة لنيل شهادة ماستر أكاديمي التخصص: كيمياء المياه من إعداد: غشوه لطيفة، وانيس حياة جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2018 .
- [20] مذكرة لنيل شهادة الدكتوراه في العلوم التخصص كيمياء صناعية فرع هندسة طرائق من اعداد زغدي سعد حياة جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2017 .
- [26] مذكرة لنيل شهادة الدكتوراه في العلوم التخصص الكيمياء العضوية من اعداد العابد ابراهيم 2015 .
- [15] مذكرة لنيل شهادة ماستر أكاديمي التخصص: كيمياء المياه سعيدة كاكبي، ازدهار بلحسن ، جامعة ورقلة، 2016 ص 2-7 .
- [23] كتاب كتاب الميكروبيولوجيا الزراعية ، طرابلسي يوسف ابراهيم ، (2009) ، جامعة الملك سعود ، النشر العلمي 10 ، ص / 311 255 : و المطابع ، 4831 ، من مذكرة لنيل شهادة الدكتوراه في العلوم التخصص كيمياء صناعية فرع هندسة طرائق من اعداد زغدي سعد جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2017 .
- [22] مجلة جامعة بابل – العلوم الصرفة و التطبيقية – العدد 5 المجلد 21 سنة (2013) .
- [37] عبد الرزاق التركماني ، (2009) محطات المعالجة بالنباتات، دليل تخطيط و تصميم و تنفيذ محطات المعالجة بالنباتات ، شبكة خبراء المياه السوريين ، ص 22-28 .