

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Science de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité/Option : Biochimie Appliquée
Département : Biologie

Thème :

Contribution à la dépollution d'un écosystème par un procédé biologique

Présenté par :

- Hamada Sihem
- Kelaiaia Sara
- Khalla lilya
- SebbaneSihem

Devant le jury composé de :

Président :	Mr. Guettaf Mohamed	M.C.A	Université 8 mai 1945 Guelma
Examineur :	Mme. Grara Nedjoud	Professeur	Université 8 mai 1945 Guelma
Encadreur :	Mme Souiki Lynda	Professeur	Université 8 mai 1945 Guelma

juin2022

Remerciement



Tous d'abord nous tenons à remercier le bon Dieu tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

La réalisation de cette mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrais témoigner toute mes reconnaissances .

Nous voudrais adresser toute mes gratitudes a mon maître et président de mémoire professeur Guettaf Mohamed nous vous remercions de l'honneur que vous nous avez fait en acceptant de présider notre jury . Nous vous remercions de votre enseignement et nous vous sommes très reconnaissants de bien vouloir porter intérêt a ce travail . Nous avons bénéficié, au cours de nos études, de votre enseignement clair et précis . Votre gentillesse, vos qualités humaines, votre modestie n'ont rien dégal que votre compétence. Veuillez trouvez ici, professeur, l'expression de nos sincères remerciements.

Nous tenos a remercions M^{me} Grara Nejoud qui m'ont fait l'honneur d'accepter de jurer notre travail, aussi pour l'aide et les conseils concernant les missions évoquée dans cette mémoire.

Nous exprimons nos profondes gratitudes et respectueuses reconnaissances à notre encadreur M^{me} Souiki Lynda pour son orientation, précieux conseils, et son encouragement.

Nous s'adressons également à Mr Sellami Yousef, notre encadrant au sein de la STEP, nous remercions pour son soutien et encouragements.

Nous adressons nos sincère remerciements à tous les professeurs qui par leurs conseils et leurs efforts durant tous les années passées.



Dédicace

Je dédie ce travail :

A mes chers parents, qui m'ont encouragé pour que je puisse mener à bien mes études, et qui attendent ce jour avec impatience

A mes frères : Ilyes, Aymen, Abdou

A ma belle-sœur: Halima

A tous les membres de ma famille

A mes enseignants et mes amis

Et tous ceux qui m'aiment...

Sihem



Dédicace

Dédicace Je dédie ce travail :

*A mon bonheur, mon oxygène qui je respire, mon très cher père
Rachid : A le person qui est toujours à mes côtés , à celui qui m'a
donné confiance en moi pour chaque étape de ma vie , je ne peux te
dire que merci pour me soutenir , m'encourager , et d'avoir fait de
moi la femme que je suis d'aujourd'hui A la plus chère du mères
Houriya : A mon soleil qui ne s'arrête jamais de briller , à la femme
qui m'a donnée la force , l'énergie positive pendant toute ma vie , je
t'aime jusqu'à mon dernier souffle A mes belles sœurs , les meilleures
filles au monde Amira , Basma , Selma puis à mon seul et petit frère
Salah Eddine : A tous les moments d'enfance passés avec vous , tous
mes meilleurs souvenirs partagés avec vous , je vous souhaite
beaucoup de bonheur, merci énormément A mes petits enfants Med
Mattin , Taline et Tassnim Quamar : A mes angles , tante sihem vous
aime mes bébés A mes collègues dans le projet de la fin d'étude Sihem
, lilia , Sarah : Merci pour le travail , le coopération et la super
équipe que nous avons formées pour réaliser ce projet Finalement , je
remercier chaque person je n'ai pas eu l'occasion de le mentionner
entre ces lignes , merci pour votre soutien et votre présences dans ma
vie Sihem*

Sihem



Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :

A mes très chers parents

*Ma belle mère Hada et mon père Sadek la plus belle chose au monde,
pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et
leurs prières tout au long de mes études*

A mon cher fiancé :

*Abd El Kader Je profite de la présente occasion pour vous remercier
pour tout le soutien, la sympathie et l'amour que vous m'accordez.
Que Dieu le tout puissant vous comble de santé, de bonheur et vous
prouve une longue vie pleine de joie*

A mes chères sœurs :

*Warda, Bessma, Wafa, Nour-El Houda , Chahira pour ses soutiens
moral et leurs conseils précieux tout au long des mes études*

A ma belle grande mère :

qui je souhaite une bonne santé

A mes belles :

Abir, Khadîdja que je consider comme des soeurs. Mercid'être toujours disponible et à l'écoute merci d'être dans ma vie

A mon amie intime :

Je remercie ma chère amie et sœur widjden qui me soutient depuis 8 ans partages toutes mes déceptions et mes réussites, et merci de votre contribution à pour terminer une très belle période de ma vie, Merci pour votre existence

A mes belles petits enfants

*Loudjaine, Aya, Douaa, Djana, Issraa, Kawther, Mohamed Amine,
Assinat-Rahil*

A mes collègues

Sihem, Sara, Sihem Merci pour le travail, la coopération et la super équipe que nous avons formée pour réaliser ce projet

Finalement, je remercie chaque personne que je n'ai pas eu l'occasion de mentionner entre ces lignes, merci pour votre soutien et votre présence dans ma vie

lilya



Avec joie et honneur, je partager les meilleurs moments de sa vie avec les
êtresqu'on aime

J'ai grand plaisir de dédier ce modeste travail à :

Mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse,
leur soutien qui m'ont encouragé pour que je puisse mener à bien mes
études, Que dieu les protégés et leurs donne la santé et une longue vie.

A mon fiancé, Housseem, qui n'a cessé de m'encourager et de me guide,

A mes chères sœurs, Rayane, Amani, source d'espoir et de motivation, je
vous souhaite beaucoup de bonheur.

A mes collègues, Siham, lilya, Siham Merci pour le travail, le coopération et
la super équipe que nous avons formées pour réaliser ce projet.

A tous les membres de ma famille.

A mes enseignants et mes amies.

Et tous ceux que j'aime et je respecte.

Sara

Résumé

Ce travail est consacré pour l'épuration des eaux usées brute de la ville de Guelma par un procédé biologique, le pilote expérimentale est constitué de deux cuves le premier planté avec *Mentha piperita* et l'autre laissé comme témoin sans végétation.

Le remplissage se fait par 28 litres des eaux usées, on commence à faire les prélèvements pour des analyses physicochimiques et bactériologiques après 7 jours de rétention, les résultats obtenus montrent une biodégradabilité satisfaisante de la matière polluante : la DBO5 (78%), DCO (89,12%), Mes (91,17%), une diminution de NO₂⁻ (48,43%), NH₄⁺ (98,78%), PO₄³⁻ (89,56%).

La réduction des germes totaux peut atteindre (100%), pour les bactéries anaérobies sulfito-réductrices enlèvement total, des coliformes totaux jusqu'au (33,33%),

Les mots clés : Eaux usées, procédé biologique, cuves, *Mentha piperita*, physicochimiques, bactériologiques, biodégradabilité.

Abstract

This work is devoted to the purification of raw wastewater from the city of Guelma by a biological process, the experimental pilot consists of two tanks, the first planted with *Menthapiperita* and the other left as a witness without vegetation.

The filling is done by 28 liters of waste water, we begin to take samples for physicochemical and bacteriological analyses after 7 days of retention, the results obtained show a satisfactory biodegradability of the polluting material: BOD5 (78%), COD (89.12%), Mes (91.17%), a decrease in NO₂⁻(48.43%), NH₄⁺(98.78%), PO₄³⁻ (89.56%).

The reduction of total germs can reach (100%), for sulphite-reducing anaerobic bacteria total removal, of total coliforms up to (33.33%),

Key words: Wastewater, biological process, tanks, *Menthapiperita*, physicochemical, bacteriological, biodegradability

المخلص

هذا العمل مخصص لتنقية مياه الصرف الصحي الخام من مدينة قالمة من خلال عملية بيولوجية، ويتكون الطيار التجريبي من خزانين، الأول مزروع بالنعناع والآخر يُترك كشاهد بدون غطاء نباتي

يتم التعبئة بواسطة 28 لترًا من مياه الصرف الصحي، نبدأ في أخذ عينات للتحليل الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية بعد 7 أيام من الاحتفاظ، تظهر النتائج التي تم الحصول عليها قابلية تحلل بيولوجي مرضية للمواد الملوثة:

PO₄³⁻, (%98,78) NH₄⁺, (%48,43) NO₂⁻, (%91,17) MES, (%89,12) DCO, (%78) DBO₅ (%89,56).

يمكن أن يصل الحد من إجمالي الجراثيم إلى (100٪)، لإزالة البكتيريا اللاهوائية التي تقلل الكبريتات من إجمالي القولونيات بنسبة تصل إلى (33.33٪).

الكلمات المفتاحية: المياه الملوثة، العمليات البيولوجية، الخزانات، النعناع البري، الفيزيائية الكيميائية، البكتريولوجية، التحلل البيولوجي.

Sommaire

Résumé

Liste des Abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	1
1-La pollution des eaux	3
1-1-Définition.....	3
1-2-les différents types de pollution.....	3
1-3-Les principaux polluants et leurs effets sur l'environnement.....	4
1-4-Les principaux constituants des eaux usées.....	6
I-4-1-Les indicateurs physico-chimiques	6
1-4-2- Les indicateurs Bactériologiques	7
2- Traitement des eaux usées par la phytoépuration	8
2-1-Définition de la phytoépuration	8
2-2-l'épuration des eaux usées	8
2-3-Les différents filtres plantés pour le traitement des eaux usées.....	9
2-3-2-Les filtres à écoulement horizontal, principe de fonctionnement et performance	10
2-4- La phytoremédiation.....	11
2-5-Les avantages et les inconvénients	14
II-Matériel et méthodes	15
II-1-Description générale de la Station d'épuration de Guelma.....	15
II-1-1-Le procédé d'épuration de la STEP de Guelma.....	15
II-1-2-Prélèvement des échantillons.....	17
II-1-3- Matériel végétale	18
II-2-Dispositif expérimental	19

II-3- Méthodes d'analyses physicochimiques	23
II-4-Méthodes d'analyses bactériologiques	24
II-5-Rendement épuratoire	25
III-Résultats et discussions	26
III-1-Variations des indicateurs physico-chimiques de pollution	26
III-2- Variations des indicateurs bactériologiques de pollution	36
III-3-Abattement de la pollution	37
Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.
RéférencesBibliographiques.....	Erreur ! Signet non défini.

Liste des Abréviations

ASR: Anaérobies Sulfito réducteurs.

CE: Conductivité électrique.

CT: Coliformes totaux.

DBO5: Demande biochimique en oxygène (5 jours) .

DCO: Demande chimique en oxygène .

ETM :élément trace métallique .

HAP :Hydrocarbures aromatiques polycycliques.

MES: Matières en suspension .

NO₂⁻:Nitrites.

NH₄⁺ : ammonium.

O₂:Oxygène dissous.

PO₄³⁻ : Orthophosphates .

STEP: Station d'épuration.

SR1 : Station de roulevage 1

SR2 : Station de roulevage 2

UFC: Unité Formant Colonie.

Liste des figures

Figure 1: Filtre planté de roseaux à écoulement vertical.....	10
Figure 2 : Filtre planté de roseaux à écoulement horizontal	11
Figure 3 : Principe de la phytoremédiation	13
Figure 4: Photo aérienne de la station d'épuration de Guelma	15
Figure 5: Site de prélèvement.....	18
Figure 6: Mentha piperita	19
Figure 7: cuve 1(plante + Eaux usée).....	21
Figure 8: cuve 2 (témoin + Eau usée)	21
Figure 9: Les différents couches du filtre.....	22
Figure 10: Variation de la température des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour.	28
Figure 11: Variation de pH des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour Figure 12: Variation de la conductivité des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour	28
Figure 13: Variation de l'oxygène dissous des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour	29
Figure 14: Variation de la DCO des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour.....	31
Figure 15: Variation de la DBO5 des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour.....	31
Figure 16: Variation de la MES des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour.....	34
Figure 17: Variation de NO ₂ ⁻ la des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour.	34
Figure 18: Variation de la NH ₄ ⁺ des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour.....	35

Figure 19: Variation de la PO₄-3 des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour..... 35

Liste des tableaux

Tableau 1 : Effets possibles des principaux polluants sur l'environnement	5
Tableau 2: les avantages et les inconvénients de la phytoépuration.	14
Tableau 3: description des différentes couches de substrat utilisées.	20
Tableau 4: Les méthodes analytiques utilisées pour la recherche des indicateurs physicochimiques de la pollution.....	23
Tableau 5: Les méthodes analytiques utilisées pour la recherche des indicateurs bactériologiques de la pollution	24
Tableau 6: Variations de la température, pH et la conductivité, l'oxygène dissous des eaux durant notre	26
Tableau 7: Abattement des DCO obtenus après traitement.	30
Tableau 8: Abattement de DBO5 obtenus après traitement.	30
Tableau 9: Abattement de MES obtenus après traitement.	32
Tableau 10: Abattement de NO ₂ ⁻ obtenus après traitement	32
Tableau 11: Abattement de NH ₄ ⁺ obtenues après traitement.....	33
Tableau 12: Abattement de PO ₄ ³⁻ obtenus après traitement.	33
Tableau 13: variation des paramètres bactériologiques avant et après traitements.....	36
Tableau 14 : Abattement des paramètres bactériologiques obtenus après traitement.....	36
Tableau 15: Rapports de la pollution organique.	37

Introduction

La pollution de l'environnement peut être défini comme une modification dans le milieu de substances naturelles, synthétiques ou d'énergie susceptibles de mettre en danger la santé de l'homme, de nuire aux ressources biologiques, à la flore et la faune et d'altérer la qualité du milieu naturel ou de gêner son développement ou son utilisation (Benslimane,2001 ;Miloudi, 2009).

L'eau a toujours figuré au premier plan des ressources naturelles primordiales pour la vie de L'Homme. Cependant, la raréfaction de cette ressource, la dégradation sans cesse accrue des écosystèmes aquatiques a pris, au cours des dernières décennies, une ampleur catastrophique et constitue une des dimensions environnementales les plus préoccupantes du XXIème siècle.

Une dégradation fortement liée, non seulement aux pathogènes biologiques, mais également aux produits chimiques fabriqués par l'Homme. Leur présence dans l'environnement, et plus particulièrement dans l'eau, est un phénomène sans précédent dans l'histoire de l'humanité par leur quantité et leur diversité. Ils sont responsables de cas de pollution de plus en plus importants et récurrents rendant très difficile voire impossible la préservation de la qualité des écosystèmes (Zgheib, 2009 ; Derradji, 2014).

La purification artificielle des eaux usées au niveau des stations d'épuration, à travers les pays utilisateurs de ce mode, a montré sa complexité et ses exigences matérielles et humaine (haute technicité) ; de ce fait d'autres moyens plus simples et efficaces ont été mis en place pour l'épuration des eaux. Parmi eux un mode purement naturelle où les agents actifs dans le processus sont des Macrophytes (plantes supérieures), pour cette technique l'intervention de l'homme est très limitée et l'installation n'est pas trop coûteuse (Saggai, 2004).

Notre travail consiste à contrôler le processus d'épuration des eaux usées durant leurs passages dans un bac cultivés de *Mentha piperita*, et à faire des analyses physicochimiques et bactériologiques de l'eau à l'entrée et à la sortie du dispositif. Ce travail est subdivisé en trois parties : la première est regroupant des notions sur la pollution de l'eau et traitement biologique, La deuxième partie concerne le matériel et méthode utilisé durant notre étude, la dernière partie est celle des résultats et discussion obtenus en suivant l'abattement de la pollution physicochimique et bactériologique des eaux usées. L'objectif principal est créé un système biologique d'épuration des eaux usées prévenant du rejet de Guelma, et tester le pouvoir épurateur de *Mentha piperita* dans l'élimination des polluants, nous avons suivi des analyses physicochimiques et bactériologiques des eaux avant et après le passage par filtre planté.

1-La pollution des eaux

1-1-Définition

Est une dégradation qui restreint ses utilisations et perturbent les équilibres aquatiques pouvant entraîner la disparition de toute vie (Philippe, 2020).

1-2-les différents types de pollution

1-2-1-La pollution industrielle

Provenant des usines, les rejets industriels sont caractérisés par leur très grande diversité, suivant l'utilisation qui est faite de l'eau au cours du processus industriel. Selon l'activité industrielle, nous allons donc retrouver des pollutions aussi diverses que :

- Des matières organiques et des graisses (abattoirs, industries agro-alimentaires...).
- Des hydrocarbures (industries pétrolières, transports).
- Des métaux (traitement de surface, métallurgie).
- Des acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...).
- Des eaux chaudes (circuits de refroidissement des centrales thermiques).
- Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets médicaux radioactifs) (Assaad, 2014).

1-2-2-La pollution agricole

La pollution liée à l'agriculture est causée par l'utilisation anarchique d'engrais, de pesticides et d'herbicides ou de fongicides. Les méthodes modernes exigent parfois des labourages profonds et violents, ce qui favorise l'infiltration directe des polluants (NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} et Cl) vers la nappe phréatique (Touati, 2020).

1-2-3-La pollution domestique

Les eaux usées domestiques se classent en deux familles :

- Les eaux **vannes** ou eaux **noires**, issues des sanitaires fortes teneur en azote organique et ammoniacal, très riches en germes qui peuvent être pathogènes.

- Les eaux **usées ménagères** ou eaux **grises**, issues des autres activités domestiques cuisine, salle de bain, lavage... avec des demandes en oxygène plus étalées dans le temps et la présence des détergents (Behra ,2013).

1-2-4-La pollution naturelle

Ce type de pollution affecte rarement les ressources en eau, il s'agit de l'éruption volcanique, des épandements sous-marins d'hydrocarbures ou encore lorsque l'eau entre en contact avec des gisements minéraux, en déclenchant des réactions de dissolution ou d'érosion, entraînant la libération de concentrations inhabituelles en métaux lourds (Touati, 2020).

1-2-5-Les pluies acides

Elles peuvent aussi constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées Industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement "délestage" de ce "mélange" très pollué dans le milieu naturel. Enfin, dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution (Libes, 2010).

1-3-Les principaux polluants et leurs effets sur l'environnement

Le tableau suivant (Tab.1) propose un résumé des principaux effets induits par les polluants sur le milieu naturel et ses habitants.

Tableau 1 : Effets possibles des principaux polluants sur l'environnement (Ferro, 2013).

Polluants	Effets
Nutriments (N, P, K...)	Rôle d'engrais pour la flore mais participent au phénomène d'eutrophisation si présents en trop grande quantité. Provoquent indirectement l'anoxie, dégradent la qualité de l'eau, font chuter la biodiversité et peuvent entraîner la mort des organismes aérobies.
ETM	Présents naturellement, l'homme les introduit massivement dans le milieu naturel. Nocifs à partir d'un certain seuil. S'accumulent dans les êtres vivants par ingestion directe (bioaccumulation) ou indirecte (ingestion d'un animal).
HAP	Réponses toxicologiques larges pour la faune et l'Homme : immunotoxicité, reprotoxicité, perturbation des systèmes endocriniens, génotoxicité et cancérogénicité (effets mutagènes et cancérigènes).
Pesticides	Manque de sélectivité entraînant des effets nocifs pour la faune et la flore.
Bactéries	Proviennent des réseaux unitaires ou des déjections d'animaux de compagnie. Pollution bactériologique importante sur les zones de baignade et de conchyliculture.
MES	Diminution apport de lumière.

1-4-Les principaux indicateurs des eaux usées

I-4-1-Les indicateurs physico-chimiques

I-4-1-1-Température

Est l'un des facteurs écologiques les plus importants parmi tous ceux qui agissent sur les organismes aquatiques (Arouya, 2011).

I-4-1-2-Le potentiel d'hydrogène

Est une indication de la tendance à être acide ou alcaline et il est fonction de l'activité des ions hydrogènes présents dans cette eau (Arouya, 2011)

I-4-1-3-La conductivité électrique

La conductivité d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle s'exprime en siemens par mètre (S.m-1) ou plus souvent en micro siemens par centimètre $\mu\text{S}/\text{cm}$. c'est un paramètre global mesuré simplement avec une sonde conductimétrique. Il fournit une indication sur la concentration totale en sels dissous (Behra, 2013).

I-4-1-4-L'oxygène dissous

Est un composé essentiel de l'eau qui joue un rôle prépondérant dans l'auto épuration des charges polluantes et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. la concentration en oxygène dans l'eau représente le bilan d'activité de production photosynthèse et de consommation respiration (Oulebsir, 2020).

I-4-1-5-Les matières en suspension

Peuvent être de nature minérale ou organique. Qui ne se solubilisent pas dans l'eau et la troublent. Les MES diminuent la luminosité dans l'eau, donc freine la photosynthèse (Koller, 2004).

I-4-1-6-La demande chimique en oxygène

Elle représente la quantité totale de pollution oxydable et correspond à la quantité d'oxygène qu'il faut fournir grâce à des réactifs chimiques puissants, pour oxyder les matières contenues dans l'effluent (Koller, 2004).

La demande chimique en oxygène est l'un des paramètres utilisés pour quantifier la pollution organique d'une eau. Il s'agit d'une estimation indirecte des matières oxydables en l'occurrence la quasi-totalité des matières organiques et certains sels minéraux. La DCO permet le contrôle des eaux usées urbaines et des rejets industriels (Cardot, 1999).

I-4-1-7-La demande biochimique en oxygène

Elle représente la quantité de pollution biodégradable. Cette méthode d'analyse de la pollution correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pendant 5 jours, aux microorganismes bactériens contenus dans l'eau pour oxyder une partie des matières carbonées (Koller, 2004).

I-4-1-8-L'azote

L'azote se trouve dans l'eau usée sous forme organique ou ammoniacale dissoute. Il est souvent oxydé pour éviter une consommation d'oxygène (O_2) dans la nature et un risque de toxicité par l'ammoniaque gazeux dissous (NH_3), en équilibre avec l'ion ammoniac (NH_4^+) (Martin, 1979). La nitrification est une transformation chimique de l'azote organique par l'intermédiaire de bactéries et passe par les étapes :

- N organique à NH_4^+ : ammonification.
- NH_4^+ à NO_2^- : nitrification par Nitrosomonas.
- NO_2^- à NO_3^- : nitrification par Nitrobacter (Chellé et *al.*, 2005 ;Benyoucef,2020).

I-4-1-9-Le phosphore

Dans les eaux résiduaires, le phosphore peut se rencontrer sous forme de sels minéraux (orthophosphates, polyphosphates) mais aussi sous forme de composés organiques, ces différents composés sont soit solubilisés, soit fixés sur les matières en suspension (Rodier et *al.*, 2009). L'hydrolyse en milieu acide fait apparaître le phosphore hydrolysable, le phosphore organique ainsi chaque fraction (phosphore en solution ou en suspension) peut être séparée analytiquement en orthophosphates, phosphore hydrolysable et phosphore organique (Benyoucef, 2020).

1-4-2- Les indicateurs Bactériologiques

I-4-2-1-Les coliformes

Le terme de « coliformes totaux » est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant à la famille des Enterobacteriaceae et qui partagent certaines caractéristiques

biochimiques. Elles se présentent sous forme de Bacilles Gram négatifs, non sporogènes, oxydase négative, aéro-anaérobies facultatifs, capables de croître en présence de sels biliaries et capables de fermenter le lactose avec production d'acides et de gaz en 48 heures, à des températures de 35 à 37 °C. Les coliformes fécaux ou coliformes thermotolérants représente un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5°C. L'espèce la plus importante est Escherichia coli (E. coli) (Gueroui, 2014).

I-4-2-2-Les bactéries anaérobies sulfito-réductrices

Les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) se présentent sous forme de bactéries Gram +, se développant en 24 à 48 heures sur une gélose Viande Foie en donnant des colonies typiques réduisant le sulfite de sodium (Na_2SO_3) qui se trouve dans le milieu, en sulfure qui en présence de Fe^{2+} donne FeS (sulfure de fer) de couleur noire. Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination fécale ancienne (Rejsek, 2002 ; Reggam, 2014).

I-4-2-3-les germes aérobies revivifiables à 37°C

Toute bactérie aérobie, levure et moisissure, capable de former des colonies dans un milieu de culture nutritif gélosé (Chiguer, 2013).

2- Traitement des eaux usées par la phytoépuration

2-1-Définition de la phytoépuration

La phytoépuration veut dire l'action de l'épuration des eaux usées en présence de plantes. Elle peut être réalisée à travers différents systèmes, caractérisés par le fait que l'eau vient couler lentement et sous conditions contrôlées à l'intérieur de milieux végétales, de façon à en favoriser la dépuration naturel, qui s'effectue à cause du processus d'aération, sédimentation, absorption et métabolisation de la part des microorganismes et de la flore. Les systèmes de phytoépuration sont utilisés pour la dépuration d'eaux de différentes provenances et avec caractéristiques différentes (Borin, 2003).

2-2-l'épuration des eaux usées

La phytoremédiation ou phytoépuration est réalisée grâce à des bassins successifs, étanches, remplis de gravier set plantés de diverses espèces aquatiques, appelés macrophytes, (roseaux, joncs, iris, phragmites, massette, salicaire).

Ces macrophytes ont un rôle de structuration et d'aération du massif, tout en servant de support aux bactéries qui font l'essentiel du travail. Les graviers de granulométrie croissante en évoluant vers la profondeur (80 cm à 1m), permettent la filtration mécanique des eaux usées.

Les végétaux fixent les colonies de bactéries sur la base de leurs tiges et leurs rhizomes, ce qui améliore les performances des organismes épurateurs. Par ailleurs, ils absorbent par leurs racines une partie (10 % environ) des sels minéraux – nitrates et phosphates – issus de la décomposition de la matière organique présente dans les eaux usées. La plupart des macrophytes sont capable d'assimiler les métaux lourds, toujours présents dans les eaux usées et nocifs pour l'environnement (Allouche, 2006).

2-3-Les différents filtres plantés pour le traitement des eaux usées

2-3-1- Les filtres à écoulement vertical, principe de fonctionnement et performance

Le filtre à macrophytes vertical est alimenté en surface. Les effluents s'infiltrent par simple gravité à travers le massif minéral (galets, graviers ou sable) de granulométrie soigneusement choisie. Ce massif est planté de différentes espèces de macrophytes, comme les roseaux par exemple. Après percolation, les effluents sont récupérés par des drains et sont, soit rejetés, soit orientés vers un second filtre à macrophytes, suivant les exigences (figure.1).

Le paramètre le plus important des filtres à macrophytes verticaux est l'oxygène. En France, les filtres plantés à écoulement vertical sont les plus fréquents. De manière générale, ils se composent de deux étages (ou bassins) composés de trois filtres en parallèle au premier étage, et de deux filtres en parallèle au second étage. L'intérêt d'avoir plusieurs filtres en parallèle est d'alterner les phases d'alimentation et les phases de repos. De cette manière, avec trois filtres au premier étage, la période de repos est deux fois plus longue que la période d'alimentation (qui est généralement de 3 à 4 jours). La phase de repos est essentielle pour maintenir des conditions aérobies dans le filtre en évitant le colmatage de la surface du filtre par des matières en suspensions (qui sont minéralisées par les micro-organismes pendant la phase de repos le second étage permet d'affiner l'épuration. Les matières en suspension ont majoritairement été retenues par le premier étage, et la période de repos peut être plus courte. C'est pourquoi deux filtres en parallèle au second étage sont suffisants (Lazarin et Lazarin , 2011).

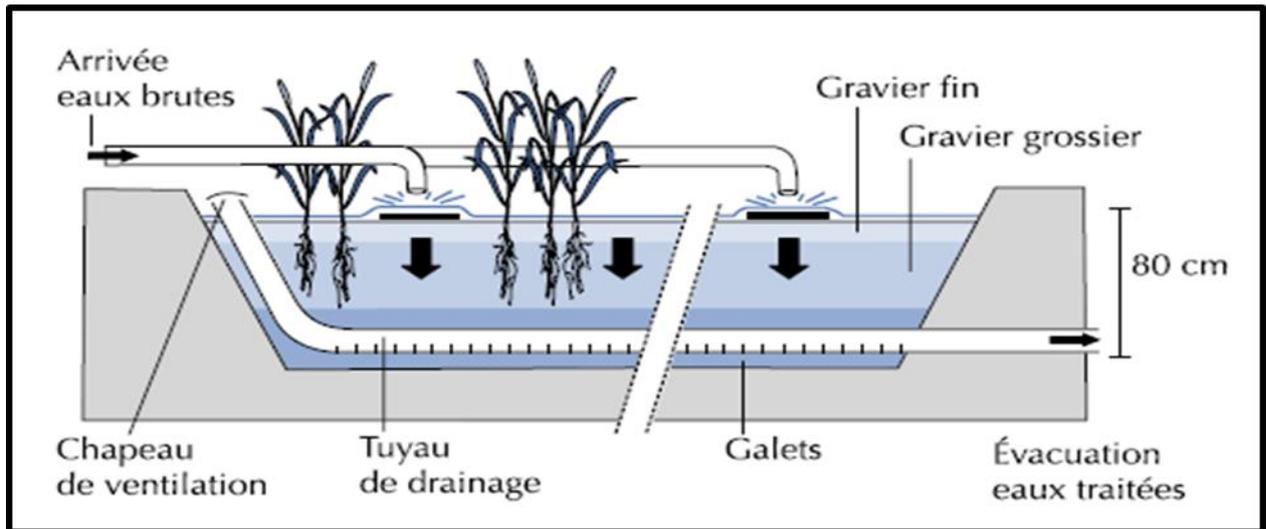


Figure 1: Filtre planté de roseaux à écoulement vertical (Molle et *al.*, 2004).

2-3-2-Les filtres à écoulement horizontal, principe de fonctionnement et performance

Celui-ci, contrairement au filtre vertical, n'est pas alimenté en surface, mais est saturé en eau : il est inondé par les eaux souillées. L'alimentation en effluents s'effectue, comme son nom l'indique, à l'horizontale, sous la surface du filtre et en continu (figure. 2). Contrairement au filtre vertical, le principe majeur du filtre horizontal repose sur un traitement aéro-anaérobie (en présence de très faibles quantités d'oxygène). L'intérêt concerne principalement le traitement de l'azote. En conditions d'aéro-anaérobiose, les micro-organismes réalisent une dénitrification. Cela signifie qu'ils prélèvent l'oxygène dont ils ont besoin sur les molécules de nitrates, qui deviennent alors du diazote, qui, lui, rejoint l'atmosphère qui en est composée à près de 80 %. Dans le cas du filtre horizontal, les macrophytes permettent donc de créer des conditions aérobies dans la rhizosphère, permettant ainsi une oxydation par les micro-organismes sur une faible épaisseur, en surface du filtre. Le reste du procédé repose sur un traitement anaérobie, utile pour réduire les quantités de nitrates. Un système d'assainissement des eaux usées complet est donc composé d'un filtre à macrophytes vertical grâce auquel les effluents subiront une dépollution concernant les matières en suspension (filtration par le substrat), le phosphore (adsorption sur le substrat), l'azote organique (nitrification) et les métaux (adsorption sur le substrat ou assimilation par certains micro-organismes), et d'un filtre à macrophytes horizontal qui permet le traitement des nitrates (dénitrification) (Lazarin et Lazarin, 2011).

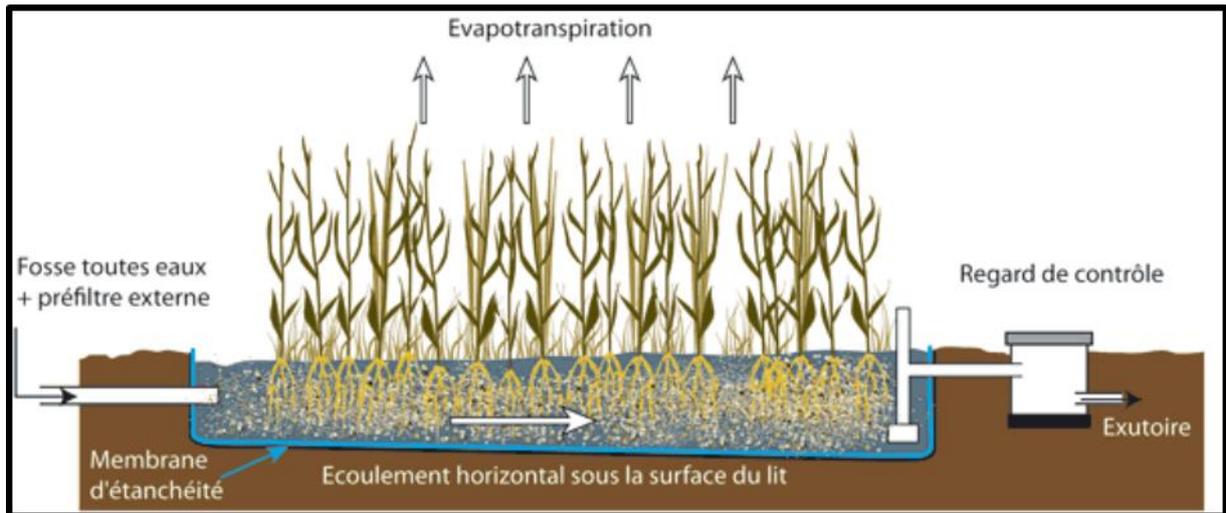


Figure 2 : Filtre planté de roseaux à écoulement horizontal (Univers nature).

2-3-3- Systèmes hybrides

Son intérêt réside dans la combinaison des deux sortes de filtres : bonne nitrification dans les filtres verticaux bien oxygénés (dégradation de la matière organique) suivie d'une dénitrification dans les filtres horizontaux par des bactéries dénitrifiantes (conditions d'anoxie nécessaires). Les rendements de la dénitrification ne sont pas très élevés car les bactéries ont besoin de matière organique pour se développer et dénitrifier correctement (Grison, 1999).

2-4- La phytoremédiation

Concerne l'ensemble des processus biologiques : phytodégradation, phytoextraction, phytofiltration, phytovolatilisation, phytostabilisation (figure.3).

2-4-1 La phytodégradation

La phytodégradation est le procédé le plus efficace pour la dépollution des eaux. Elle repose sur le métabolisme particulier de certaines plantes qui permet de détruire et/ou d'assimiler les polluants en éléments non phytotoxiques (Lazarin et Lazarin, 2011).

2-4-2-La phytoextraction

La plante absorbe - via les racines - et stocke certains polluants dans ses parties aériennes. On emploie le terme de plante hyper accumulatrice lorsqu'elle est capable d'absorber de grandes quantités de polluants dans son environnement. La phytoextraction et l'hyperaccumulation sont principalement valables pour les métaux lourds (Lazarin et Lazarin, 2011).

2-4-3-La phytofiltration ou rhizofiltration

Le principe de phytofiltration n'est pas un procédé de dépollution à proprement parler. Il repose sur le phénomène selon lequel certaines plantes sont capables de fixer les polluants dans leurs racines. Cette fixation permet de rallonger significativement le temps séjour des polluants dans le milieu et d'améliorer ainsi les possibilités de leur dégradation par les microorganismes (Lazarin et Lazarin, 2011).

2-4-4-La phytovolatilisation

La phytovolatilisation est l'utilisation des plantes pour mettre en phase gazeuse certains polluants présents dans l'eau. Ce procédé est également efficace pour dépolluer les sols, les boues ou les sédiments contaminés. Des métaux lourds, mais aussi des molécules chimiques comme le trichloréthylène peuvent ainsi être volatilisés. Le peuplier constitue l'une des espèces les plus efficaces en termes de dépollution des eaux par volatilisation. Bien sûr, pour que la phytovolatilisation soit intéressante, il faut que la molécule gazeuse rejetée soit moins toxique que le polluant initial. Cela sous-entend donc une métabolisation intermédiaire par la plante (Lazarin et Lazarin, 2011).

2-4-5-1 La phytostabilisation

Est l'utilisation des plantes pour réduire le transfert des contaminants hors site. Le polluant est stabilisé au niveau des racines du végétal. Les plus efficaces sont la fétuque (*Festuca pratensis*) ou l'agrostis (*Agrostis stolonifera*). Ce mécanisme est efficace uniquement pour les sols et permet de fixer les métaux lourds tels que le plomb, le zinc, le cuivre, etc (Lazarin, 2009).

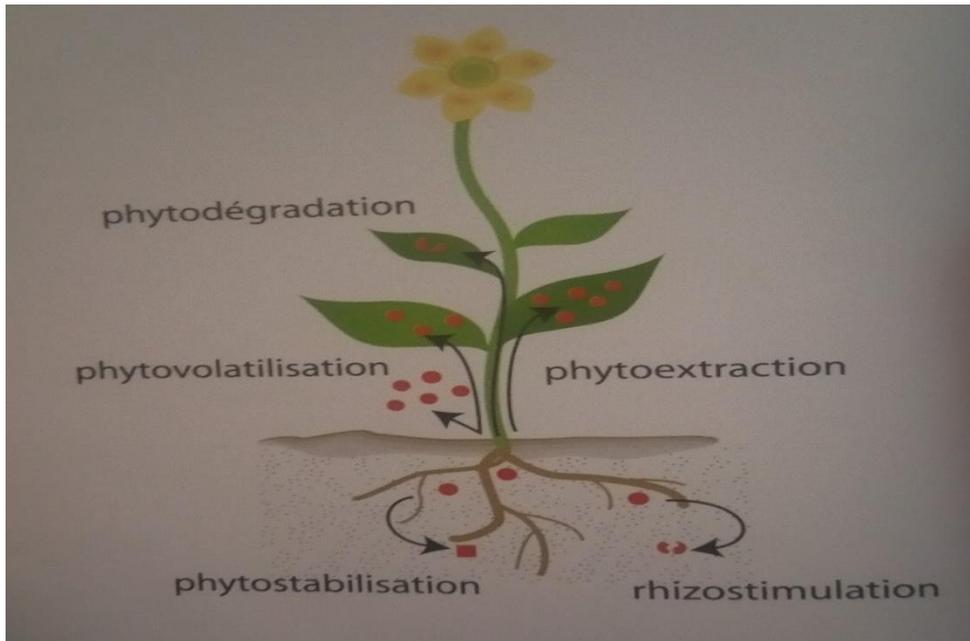


Figure 3 :Principe de la phytoremédiation(Lazarin, 2009).

2-5-Les avantages et les inconvénients

Le tableau ci-dessous a pour objectif de présenter les avantages et les inconvénients de la phytoépuration.

Tableau 2:Les avantages et les inconvénients de la phytoépuration (Ait Bachir, 2015).

Les avantages	Les inconvénients
La limitation des transferts de polluants et des expositions (réenvols de poussières, ruissellement, évapotranspiration, contact cutané, ingestion de terres) Par la couverture végétale.	-l'hétérogénéité des répartitions des polluants interfère énormément sur l'efficacité du traitement.
Technique applicable in situ sur une large variété de sols pollués (sols agricoles, friches industrielles, sédiments excavés...) en milieu rural et urbain.	Les durées de traitement sont importantes.
-technique éprouvées ayant démontré des résultats extrêmement significatifs lorsque les conditions optimales sont réunies.	Les concentrations élevées en polluants peuvent être rédhibitoire.
Reconquête des activités de fonctionnalités des sols.	Procédés fortement influencé par la météorologie, la fertilité des sols mais aussi les attaques des insectes, les micro-organismes et les substances phytopathogènes.
Technologie visuellement attractive.	Ce procédé nécessite un suivi analytique et une interprétation des résultats analytiques très importants.

II-Matériel et méthodes

II-1-Description générale de la Station d'épuration de Guelma

La station d'épuration des eaux de Guelma est située sur la route nationale N°21, pont Héliopolis près d'Oued Seybouse (figure.4). Elle est fonctionnelle depuis le 18 Février 2008 à raison d'un traitement d'environ 32000 m³/jour au temps sec et 43000 m³/jour au temps de pluie

La station est implantée sur un terrain agricole de 7,8 hectares avec une capacité de 200.000 équivalent / habitant. Elle utilise le procédé de culture libre (boue activée) comme procédé d'épuration. Les eaux usées urbaines de la ville de Guelma sont collectées sur deux bassins versant par un ensemble de réseaux d'assainissement existant. La STEP est alimentée par deux conduites de refoulement :

- SR1 : alimentée par Oued El Maiz, avec un débit de 1575 m³/h.
- SR2 : alimentée par Oued Skhoun, avec un débit de 1125 m³/h (Tabet, 2014).



Figure 4:Photo aérienne de la station d'épuration de Guelma (Google Maps ,2022)

II-1-1-Le procédé d'épuration de la STEP de Guelma

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

II-1-1-1-Leprétraitement

Les effluents doivent subir avant le traitement proprement dit, un prétraitement comportant un certain nombre d'opérations à caractère physique ou mécanique .Le but est dans ce cas d'extraire et **d'éliminer de l'eau les éléments solides en suspension ou en flottation** et qui pourraient constituer une gêne pour les traitements ultérieurs .Il s'agit des déchets volumineux (dégrillage), des sables et graviers (dessablage) et des grainer graissage-déshuilage) (Koller, 2004).

- **Le dégrillage** : il consiste à retenir les gros déchets solides au moyen de grilles à barreaux verticaux dont l'écartement varie entre 3 et 100 mm en fonction de l'efficacité voulue. Sont ainsi éliminés les bois, plastiques, papiers, bouteilles, feuilles qui sont susceptibles de provoquer des dégâts aux conduites et machines des différentes unités de l'installation. Ces éléments sont ensuite éliminés avec les ordures ménagères. Le tamisage, qui utilise des grilles dont l'espacement est plus réduit, peut compléter cette phase de prétraitement Cependant, il génère beaucoup plus de déchets (Koller, 2004).
- **Le dessablage** : le dessablage a pour but d'extraire des eaux les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion, à éviter de surcharger les stades de traitement suivants. Le domaine usuel du dessablage porte sur les particules de granulométrie supérieure à 200 μm . Une granulométrie inférieure sera du ressort de la décantation (Koller, 2004).
- **Le dégraissage** : il vise à éliminer la présence de graisses dans les eaux usées, graisses qui peuvent gêner l'efficacité des traitements biologiques qui interviennent ensuite Le dégraissage s'effectue par flottation car les huiles et les graisses en principe est car leurs densités sont inférieures à celle de l'eau. L'injection d'air au fond de l'ouvrage facilite la remontée en surface des corps gras qui sont ensuite raclés à la surface, puis stockés d'être éliminés (mise en décharge ou incinération). Les graisses peuvent aussi faire l'objet d'un traitement biologique spécifique au sein de la station d'épuration De nombreux stations utilisent des dessaleurs-dégraisseurs combinés. Le temps de séjour dans ce type d'ouvrage est de 5 à 12 min (Koller, 2004).

II-1-1-2- Le traitement primaire

Le traitement primaire a pour objectif l'élimination de MES. Il fait appel à différents procédés physiques ou chimiques. Les matières décantables se déposent au fond flottent la

surface par différence de densité ou après adjonction de produits agglomérant les la matière et accélérant leur flottation ou leur sédimentation.

Les boues primaires sont récupérées au moyen d'un système de raclage. Ce traitement élimine 50 à 55% des matières en suspension. La décantation est encore plus performant lorsque s'accompagne d'une **floculation** préalable. La coagulation-floculation permet d'éliminer jusqu'à 90 des matières en suspension .Cette technique comporte une première phase d'adjonction d'un réactif, qui provoque l'agglomération des particules en suspension puis accélération de leur chute au fond de l'ouvrage .Les amas de solides ainsi obtenue appelés(flocs) L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'accroître le rendement de la décantation. Ce type d'ouvrage comporte des lamelles parallèles inclinées, ce qui multiplie la surface de décantation et accélère le processus de dépôt des particules. Une décantation lamellaire permet d'éliminer plus de 70 % des matières en suspension (Koller, 2004).

II-1-1-3-Le traitement secondaire : (élimination de la charge carbonée)

Si les prétraitements font appel à des procédés physiques, le traitement secondaire est une **épuration biologique**. Ce traitement élimine l'essentiel des agents polluants dans les eaux usées à savoir la pollution carbonée biodégradable. Il consiste à mettre en contact l'eau usée avec une biomasse épuratrice qui est en fait un écosystème simplet et sélectionné ne faisant appel qu'à des micro-organismes. La dégradation se réalise par digestion aérobie de la matière organique par les bactéries a condition de contrôler l'oxygène dissous dans l'eau et la concentration de la biomasse avec un temps de contact l'eau usée -biomasse de l'ordre de 6 à 10 h. Ce traitement conduit à la production de biomasse (bous) et de CO₂ (Koller, 2004).

II-1-1-4-Le traitement tertiaire :(élimination de l'azote et du phosphore)

A l'issue du traitement secondaire. L'eau usées contiennent encore divers composés azotés provenant des d'éjections humaines et animales, ainsi que du phosphore, provenant pour les sentiel des détergents utilisés pour les lessives et en agriculture. Si ces substances ne sont pas directement nocives, leur action sur le milieu aquatique est néfaste en favorisant par exemple la prolifération excessive d'algues vertes (Koller, 2004).

II-1-2-Prélèvement des échantillons

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera

donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau (Mimeche ,2014).

Les prélèvements ont été effectués au cours du mois d'avril 2022 en amont de la STEP de Guelma (figure. 5) dans des flacons en verre stérilisés dans l'étuve à 180°C pendant 20 min. Les échantillons soigneusement étiquetées et conservées à 4°C et transportées dans une glacière au laboratoire, La teneur initiale en germes des eaux risque de subir des modifications dans le flacon, après le prélèvement. C'est pour cela que toute analyse doit être effectuée le plus rapidement possible (Rodier et *al.*, 2009).

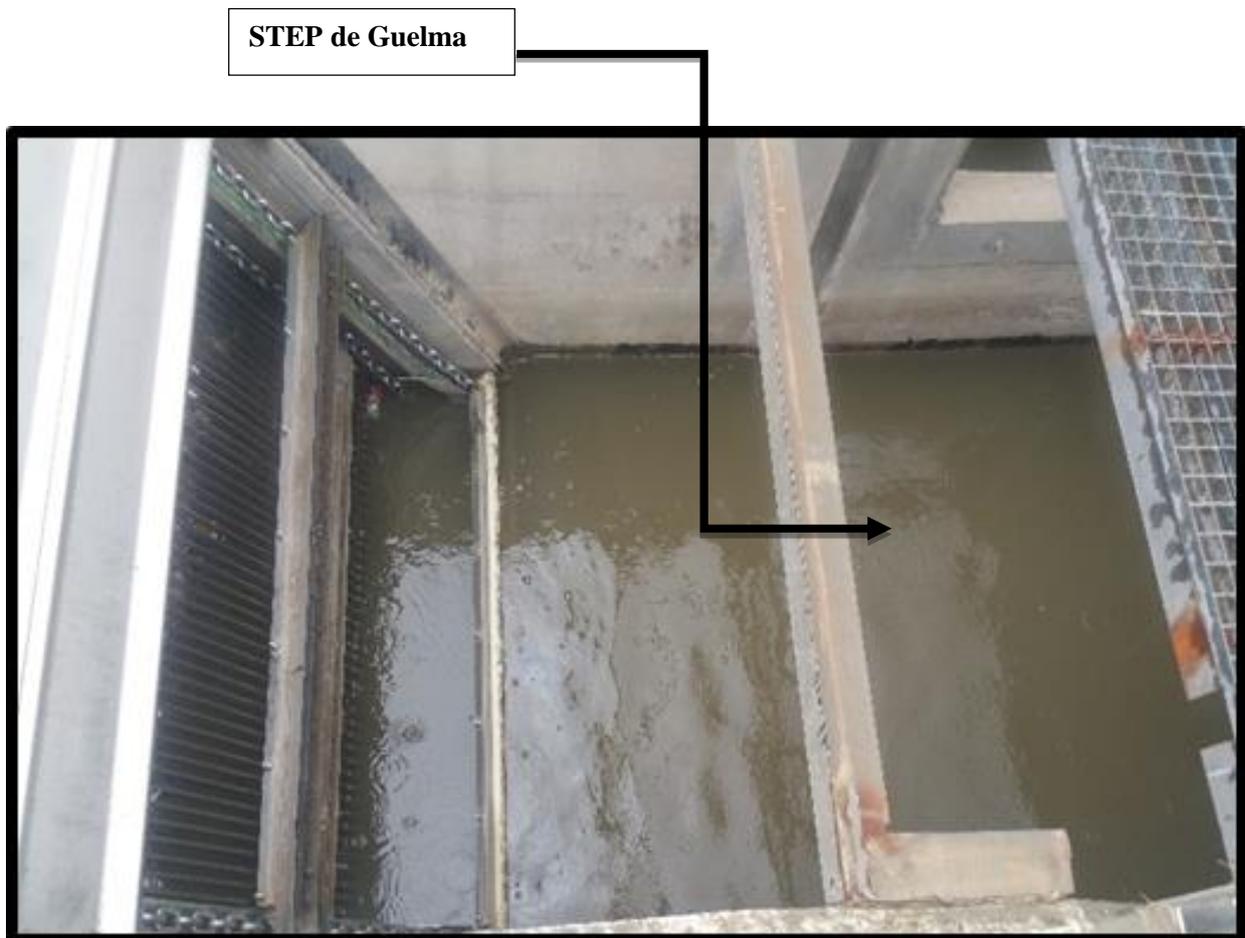


Figure 5: Site de prélèvement

II-1-3- Matériel végétale

Notre étude est basée essentiellement sur un seul type de plante épuratrice : *Mentha piperita* (figure. 6), qui a été acheté chez (أمير للبذور و النباتات) spécialiste en phytopharmacie à la ville de Guelma.

Systématique

Règne : Plantae

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Lamiales

Famille : Lamiaceae

Genre : Mentha

Espèce : Mentha piperita



Figure 6: Mentha piperita (boutaniste)

II-2-Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental mise en œuvre au laboratoire, il est constitué de deux cuves identiques en verre fabriqués chez un menuisier, il est nécessaire de tester les cuves avant l'utilisation, les dimensions de chaque cuve sont: 65cm de longueur, 45cm de largeur et 45 cm de hauteur, ils remplis par une succession verticale de quatre couches : 3 composés de gravier de diamètres décroissant, la quatrième est constituée de sable (tableau. 3). La première cuve est planté avec Menthapiperita et l'autre laisse comme témoin pour contrôle l'efficacité des filtres plantés (figure.7 ; 8), l'alimentation du système se fait par 28 litres d'eaux usées provenant de la STEP de Guelma, après la préparation des cuves leurs remplissage des filtres plantés avec l'eau usée est réalisé, on commence à faire les prélèvements, le temps de séjours varie de 7jours.

II-2-1-Les différents couches du filtre

Le massif filtrant constitués d'une succession verticale du gravier de granulométrie variable, gravier grossier de 60mm au niveau de robinet afin de faciliter passage de l'effluent, gravier moyen 40mm, gravier petit 20mm, Sable 2mm (figure. 9).

Tableau 3: Description des différentes couches de substrat utilisées.

Les couches	Substrat	Diamètre (mm)	Epaisseur de la couche (cm)
1 ^{ère} couche	Gravier grossier	60mm	6cm
2 ^{ème} couche	Gravier moyen	40mm	6cm
3 ^{ème} Couche	Gravier petit	20mm	7cm
4 ^{ème} couche	Sable	2mm	6cm



Figure 7: Cuve 1(plante+Eaux usée)



Figure 8: Cuve 2 (témoin+Eau usée)

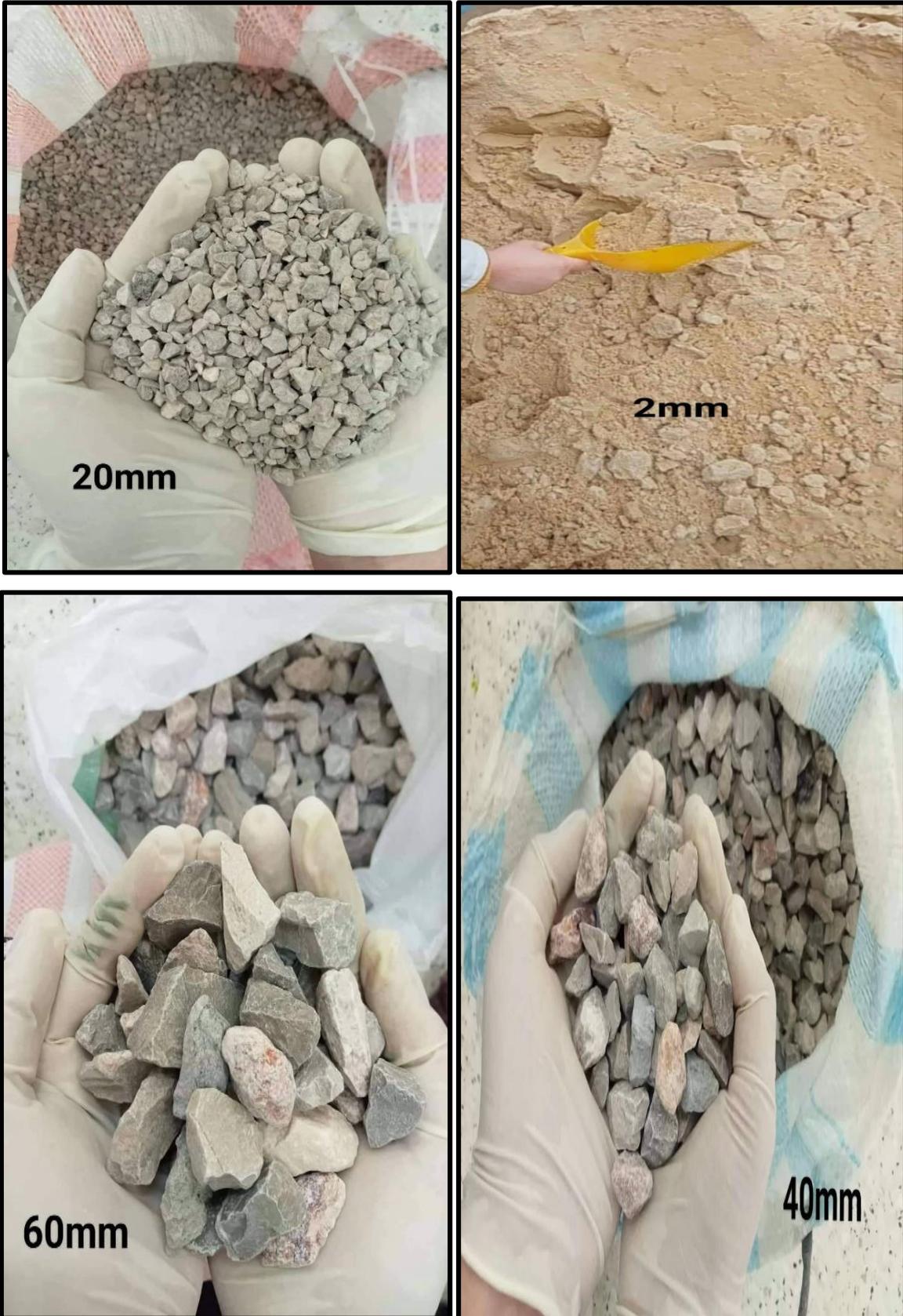


Figure 9: Les différents couches du filtre

II-3- Méthodes d'analyses physicochimiques

Les analyses physicochimiques ont été effectuées au niveau des trois laboratoires : laboratoire de Génie Civil et Hydraulique, de physique de l'Université 8 Mai 1945 Guelma et laboratoire de la STEP de Guelma. Le tableau 4 représente les analyses physicochimiques effectuées durant notre étude

Tableau 4: Les méthodes analytiques utilisées pour la recherche des indicateurs physicochimiques de la pollution

Indicateurs	Références
Température	Lecture directe par multi-paramètre de type HANNA HI9829.
Potentiel d'hydrogène	Lecture directe par multi-paramètre de type HANNA HI9829.
Conductivité électrique	Lecture directe par multi-paramètre de type HANNA HI9829.
Oxygène dissous	Lecture directe par multi-paramètre de type HANNA HI9829.
Demande chimique en oxygène	Thermo réacteur AL 125 Aqualytic
Demande biochimique en oxygène	Méthode aux oxitops
Matière en suspension	Filtration sur membrane
Nitrite	(Photolabb S6 WTW)
Ammonium	(Photolabb S6 WTW)
Ortho phosphates	(Photolabb S6 WTW)

II-4-Méthodes d'analyses bactériologiques

Les analyses microbiologiques ont été effectuées au niveau laboratoire de microbiologie université 8 mai 1945, Guelma. Dans notre étude, on essaye de rechercher les germes indicateurs de pollution des eaux qui sont :

- ✓ Les bactéries anaérobies sulfito-réductrices.
- ✓ les germes aérobies revivifiables à 37°C.
- ✓ Les coliformes totaux.

Les différentes méthodes utilisées pour la recherche des germes de pollution sont représentées dans le tableau 5.

Tableau 5: Les méthodes analytiques utilisées pour la recherche des indicateurs bactériologiques de la pollution

Germes recherché	Description de la méthode	Références
Bactéries anaérobies sulfito-réductrices	Milieu : Viande Foie(VF) Additif : Sulfite de sodium-Alun de fer Incubation à 37°C pendant 24 h	(Rejsek, 2002)
Germes aérobies revivifiables à 37°C	Milieu présomptif : TGEA Incubation à 37°C pendant 24h	(Rejsek, 2002)
Coliformes Totaux	Milieu présomptif : Rothe (D/C) – Rothe (S/C) Incubation à 37°C pendant 24 à 48 h	(Rodier et Bernard, 2016)

II-5-Rendement épuratoire

Les rendements épuratoires des paramètres sont calculés par la relation :

$$\text{Rendement \%} = 100 (XERU - X_f) / XERU$$

Tels que :

XERU : Concentration du paramètre considéré dans les eaux usées brutes appliquée sur le lit filtrant.

X_f : Concentration du paramètre considéré dans le filtrat (Laabassi, 2016)

III-Résultats et discussions

III-1-Variations des indicateurs physico-chimiques de pollution

Les tableaux 6 à 12 mettent en évidence les résultats des analyses de la caractérisation physico-chimique avant et après traitement des eaux usées par filtre planté au cours de la période d'étude.

Tableau 6: Variations de la température, pH et la conductivité, l'oxygène dissous des eaux durant notre

Paramètres	L'eau brute	Le témoin	Filtre planté
T Eau (°C)	19	20	21,5
pH	7,68	7,64	7,58
CE (µS/cm)	1130	1127	730
O2 Dissous (mg O2/L)	1,4	5,76	6,37

Les températures expérimentales obtenues, sont données dans (tableau 6 ; figure10), La température agit également comme facteur physiologique sur le métabolisme et la croissance de la plupart des organismes vivant dans l'eau, notamment ceux microscopiques (El hachemi , 2012)et est, de ce fait, directement liée à la vitesse de dégradation de la matière organique (Mara et al., 1979 ;Chadli,2019).

D'après les résultats des températures de l'eau étudiée, la valeur minimale de la température est enregistrée pour l'eau brute 19 contrairement la température maximale, était de l'ordre de 21,5 pour filtre planté, avec une moyenne de 20 pour le témoin.

Le ph est considéré comme indicateur de plusieurs activités biochimiques, dont la photosynthèse et la biodégradation de la matière organique (Edeline, 1980 ; Bambara, 1985 ; Chadli, 2019)

Les valeurs du potentiel d'hydrogène pH de l'eau étudié sont données dans (tableau 6 ; figure11), La valeur la plus élevée a été marquée pour l'eau brute 7,68, tandis que la valeur minimale a été enregistrée pour filtre planté 7,58 et le témoin 7,64 comme valeur moyenne.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette baisse de pH. On peut citer :

- L'accumulation de H⁺ suite à l'activité des bactéries nitrifiantes,
- L'accumulation de CO₂ due au métabolisme des plantes ou à la dégradation de la matière organique par les bactéries hétérotrophes (Attionu, 1976 ; Sridhar and Sharma, 1985 ; Jedicke et *al.*, 1989)
- la production d'ions H⁺ par la plante (Bowes and Beer, 1987 ; Ndzomo et *al.*, 1994)
- Pour compenser le prélèvement de certains cations (nutrition minérale)(kone, 2002).

Les variations de la conductivité électrique des eaux sont illustrées sur (tableau 6, figure 12), La conductivité de l'eau brute atteint une valeur maximale met en évidence une forte minéralisation due principalement à la charge organique(Tabet,2014),avec une moyenne de (1127 µS/cm) pour le témoin , après le passage par filtre planté nous constatons une diminution de la CE pour atteindre une valeur minimale (730 µs/cm) ,Cette diminution peut être due à la dégradation des matières organiques par les bactéries qui contribue à la production de sels nutritifs(EL Hachemi et *al.*,2012 ;Benyoucef ,2020).

L'oxygène dissous est un facteur vital pour l'écosystème aquatique.sa concentration dans l'eau varie en fonction de plusieurs facteurs dont principalement la température, la pression atmosphérique et la salinité (Rodier, 1984 ; Arouya, 2011).

Les valeurs en oxygène dissous (tableau 6 ; figure 13) fluctuent entre une valeur minimale de 1,4mg / L pour l'eau brute et une valeur maximale de 6,37 mg/L de l'eau épurée, avec une valeur moyenne de 5,76 mg /l de témoin.

Cette augmentation expliquée par une bonne oxygénation du substrat qui favorise la décomposition de la matière organique par la flore bactérienne.

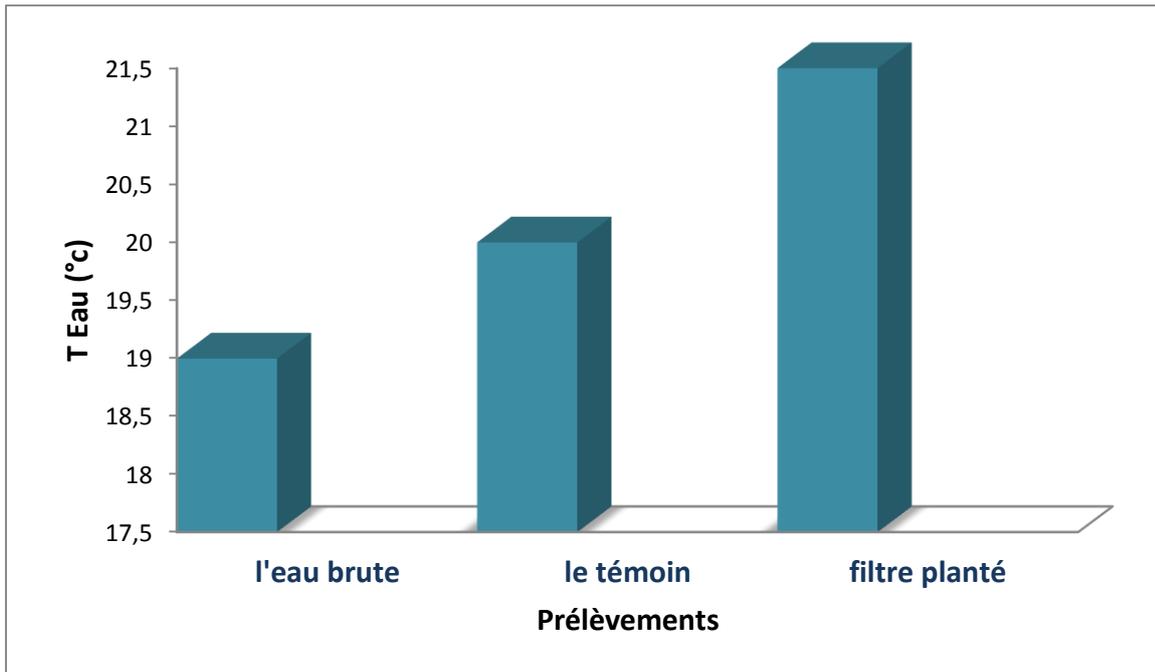


Figure 10: Variation de la température des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour.

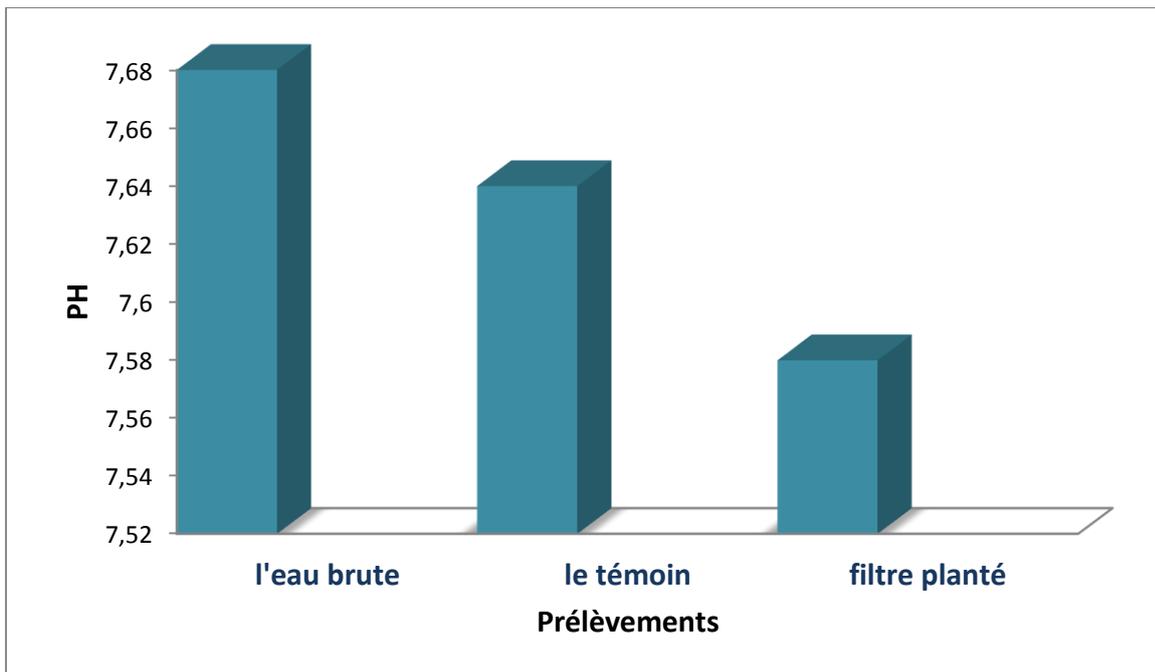


Figure 11: Variation de pHdes eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour

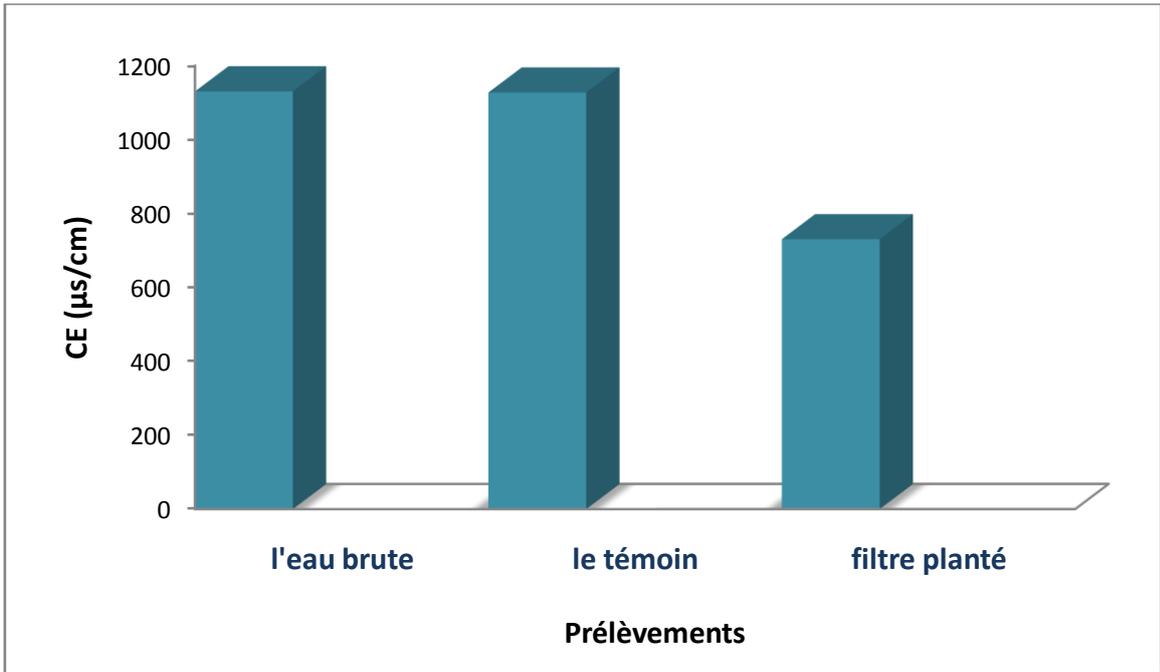


Figure 12: Variation de la conductivité des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour

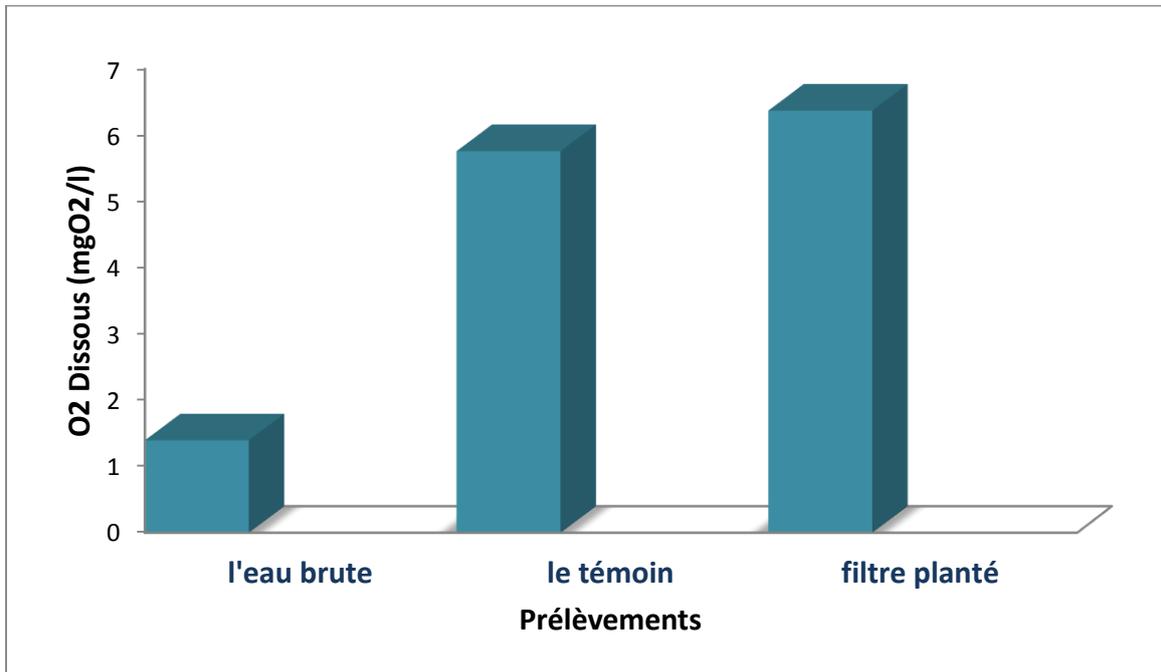


Figure 13: Variation de l'oxygène dissous des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour

L'abattement des demandes chimiques en oxygène est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 7: Abattement des DCO obtenus après traitement.

	L'eau brute	Le témoin	Filtre planté
Pourcentage %	-	88,17%	89,12%

A partir du (tableau 7 ; figure14), la valeur de la DCO de l'eau usée brute est très élevée ceci est lié à la charge importante en matière organique, on voit une baisse remarquable de la concentration de DCO dans les filtres plantés (89,12%), par rapport aux l'eau brute et filtre nu (88,17%), On peut dire que cette diminution est due à la rétention physique de la matière organique de l'eau usée dans les filtres et l'oxydation de celle-ci par la flore microbienne (Klech, 2012).

La plante crée des conditions physicochimiques favorise la décomposition de la matière organique par la flore bactérienne, elle apporte l'oxygène dans le massif filtrant via les racines et les rhizomes (Brix, 1994), l'épuration des eaux usées par le système traduit une rétention de la pollution organique ce qui est confirmé par les résultats de la DBO5, l'évolution des DBO5 est représentée dans (tableau8 ; figure15).

Tableau 8: Abattement de DBO5 obtenus après traitement.

	L'eau brute	Le témoin	Filtre planté
Pourcentage %	-	45%	78%

À l'entrée de la STEP, la valeur de la DBO5 est 100mg/l, la valeur la plus basse est enregistrée pour filtre planté 22 mg/l, Les résultats montrent un abattement très important de la DBO5 dans le filtre planté 78% par rapport au filtre nu 45%, qui expliquent le bon fonctionnement du système.

Les plantes, à travers la photosynthèse, ont donc favorisé les phénomènes d'aérobies, et la structure du massif filtrant choisi a permis d'assurer la diffusion facile de l'oxygène atmosphérique, et par conséquent l'oxygène dissous dans l'eau; qui est un facteur très important pour une bonne épuration des effluents (BensminaMimeche et *al.*, 2013).

La diminution de la DCO et DBO5 est liée à une meilleure oxygénation du substrat dans le lit à *Menthapiperita* permette aux bactéries aérobies de proliférer et d'assurer en conséquence une meilleure minéralisation et oxydation de matière organique des rhizomes vers les racines.

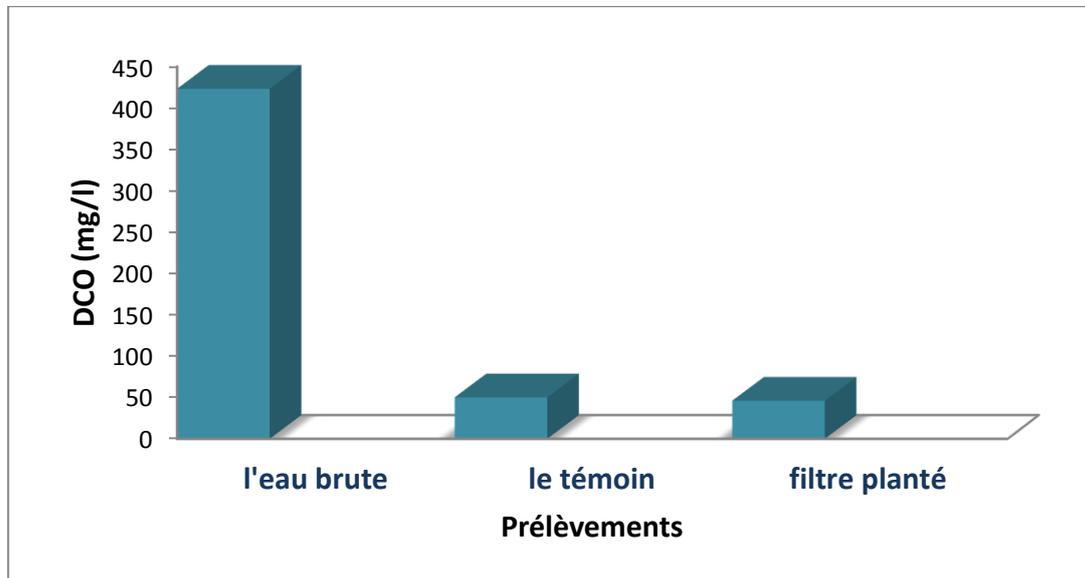


Figure 14: Variation de la DCO des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour

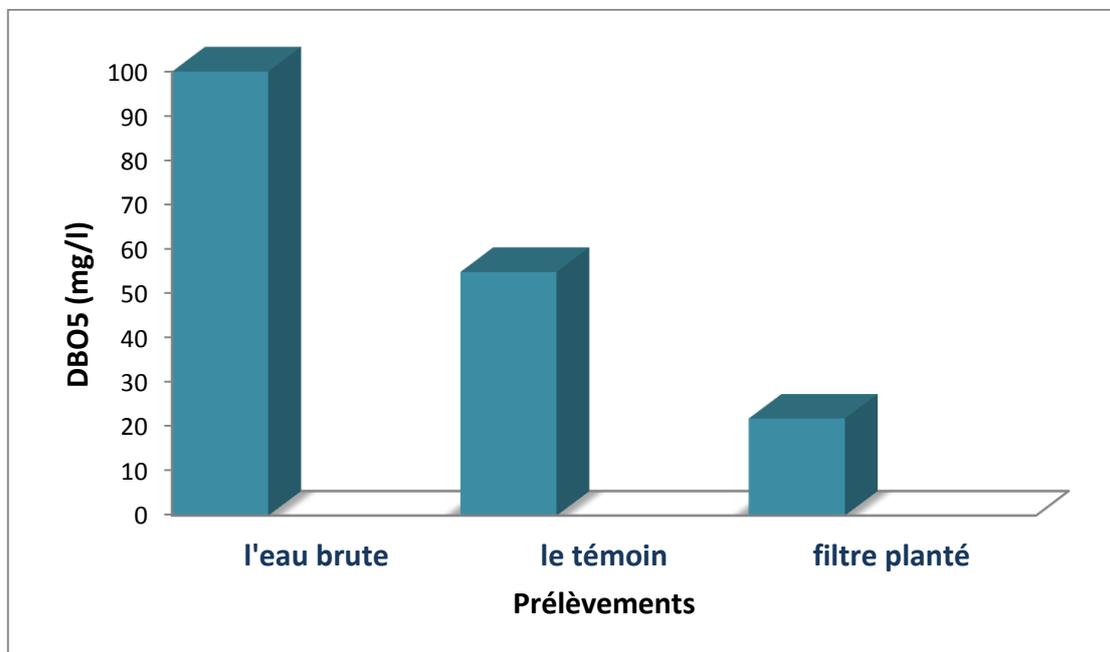


Figure 15: Variation de la DBO5 des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour

La variation de la matière en suspension, est représentée dans (tableau9 ; figure16).

Tableau 9: Abatement de MES obtenus après traitement.

	L'eau brute	Le témoin	Filtre planté
Pourcentage %	-	35,29%	91,17%

La concentration de l'eau usée brute il est très chargée par les matières volatiles et minérales, nous constatons une diminution très apparente de la teneur en matière en suspension après l'épuration avec un abatement de 91,17% par rapport au filtre nu 35,29 % cette élimination est assurée par l'absorption des matières solubles et des mécanismes physiques (filtration) des particules via le système racinaire.

Selon (Vymazal, 2005), il explique que le massif implanté par une plante épuratrice permet une bonne élimination des matières en suspension et matières organiques dégradé par l'activité bactérienne au niveau de racine.

Les nitrites sont des composés intermédiaires du processus de nitrification, Ils proviennent de l'oxydation incomplète de l'azote organique sous l'action des bactéries nitrifiantes, sa présence en quantité importante dégrade la qualité de l'eau (Derradji, 2014), les valeurs des nitrite sont représentées dans (tableau 10 ; figure17).

Tableau 10: Abatement de NO₂⁻ obtenus après traitement

	L'eau brute	Le témoin	Filtre planté
Pourcentage %	-	85,2%	48,43%

L'abatement des nitrites est arrivée à (48,43%) dans la cuve de la menthe et à (85,2%) dans la cuve témoin. Cette variation du a la faible élimination des nitrites au niveau des racines.

L'ammonium constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains. Sa présence dans les eaux traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique(Derradji, 2014),(Tableau11 ; figure 18) expliquent que le filtre planté participe à la diminution d'ammonium par rapport des eaux brutes, l'abatement en présence de plante (98,78%), pour le témoin (99,13%), cette diminution est expliquée par la

transformation de NH_4^+ en NO_3^- (la nitrification), cette dégradation d'ammonium est tributaire des conditions d'aération du massif mais également des charges hydrauliques apportées, de la granulométrie du matériau filtrant (Kantawanichkul et *al.*, 2009; Chadli, 2019).

Tableau 11: Abattement de NH_4^+ obtenues après traitement

	L'eau brute	Le témoin	Filtre planté
Pourcentage %	-	99,13 %	98,78 %

Les phosphates interviennent dans la composition de nombreux détergents. Ils doivent être dégradés et hydrolysés par les bactéries en ortho phosphates pour être assimilables par les autres organismes aquatiques, d'après les résultats mesurés (tableau 12 ; figure 19) on voit qu'en présence des plantes de *Menthapiperita* la concentration d'orthophosphate a diminuée.

Tableau 12: Abattement de PO_4^{3-} obtenus après traitement.

	L'eau brute	Le témoin	Filtre planté
Pourcentage %	-	59,89%	89,56%

Cette diminution pourrait résulter d'une assimilation bactérienne et/ou végétale et par l'adsorption de PO_4^{3-} dans le massif filtrant (Kadlec et Knight, 1996 ; Molle, 2003 ; Chadli, 2019). Par ailleurs, le type de substrat utilisé aurait influencé positivement la rétention de PO_4^{3-} (Brix et *al.*, 2000 ; Comeau et *al.*, 2001 ; Drizo et *al.*, 2002 ; Chadli, 2019). Comparativement au témoin (59,89%), le lit planté donne le meilleur rendement d'enlèvement de PO_4^{3-} (89,56%).

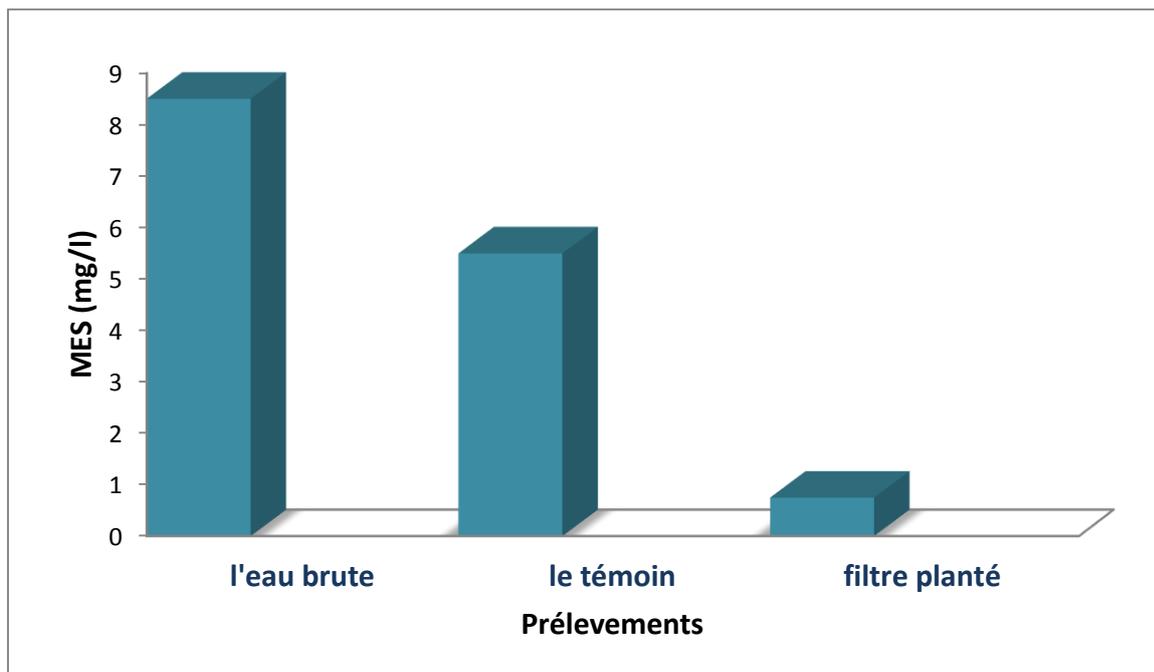


Figure 16: Variation de la MES des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour.

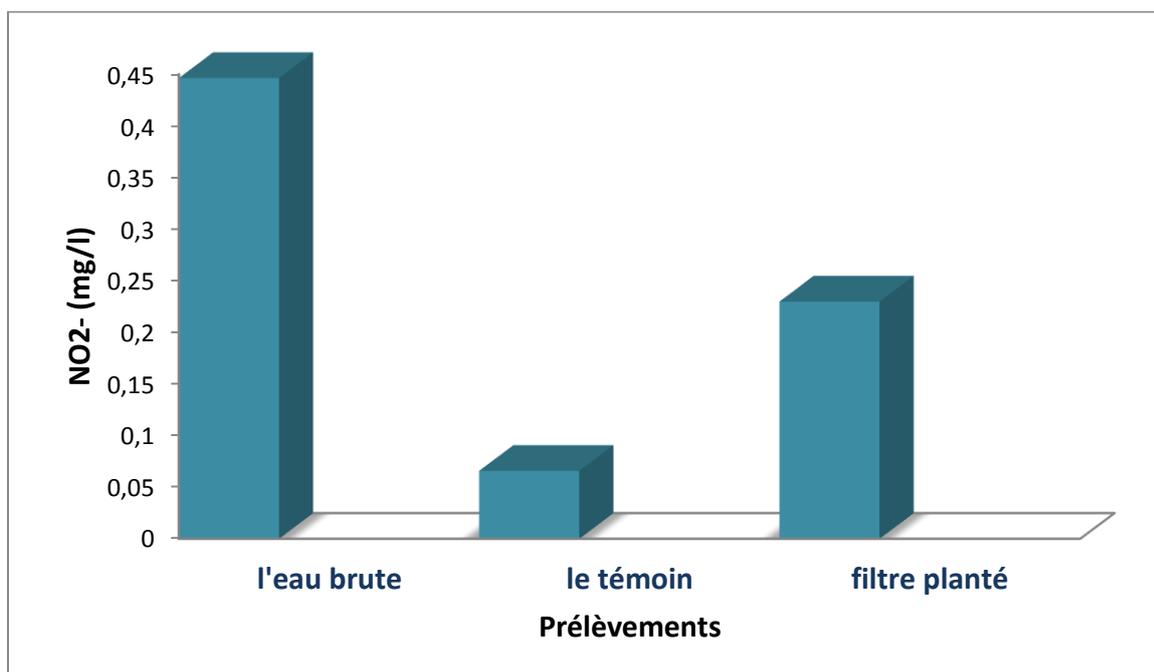


Figure 17: Variation de NO₂⁻ la des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour.

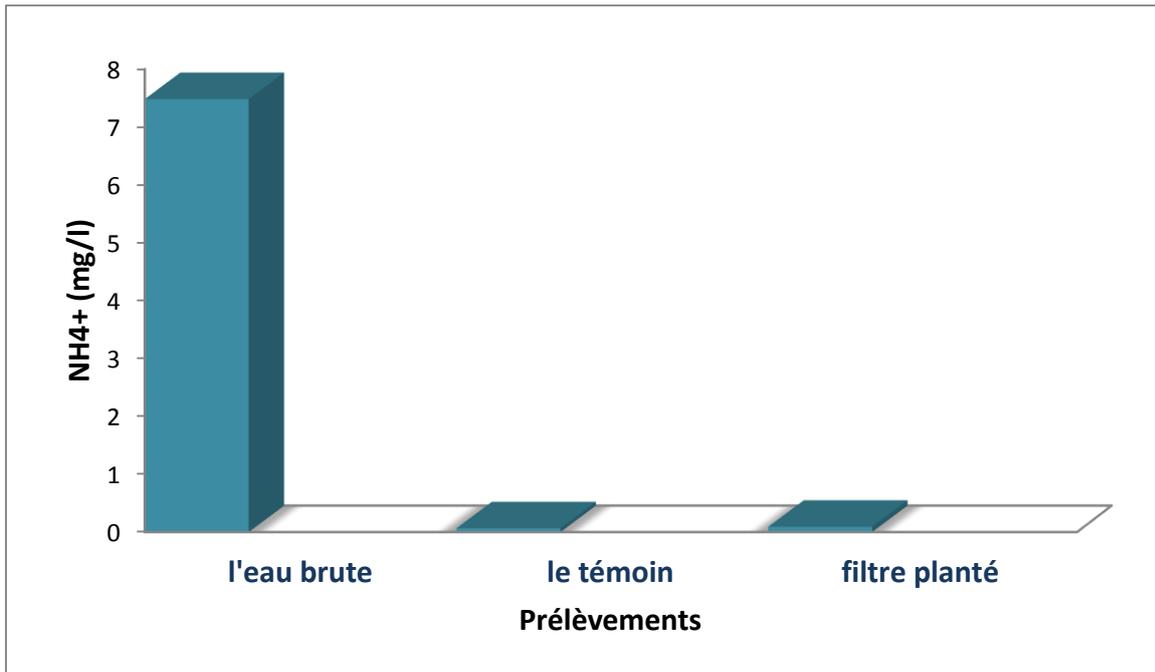


Figure 18: Variation de la NH_4^+ des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour.

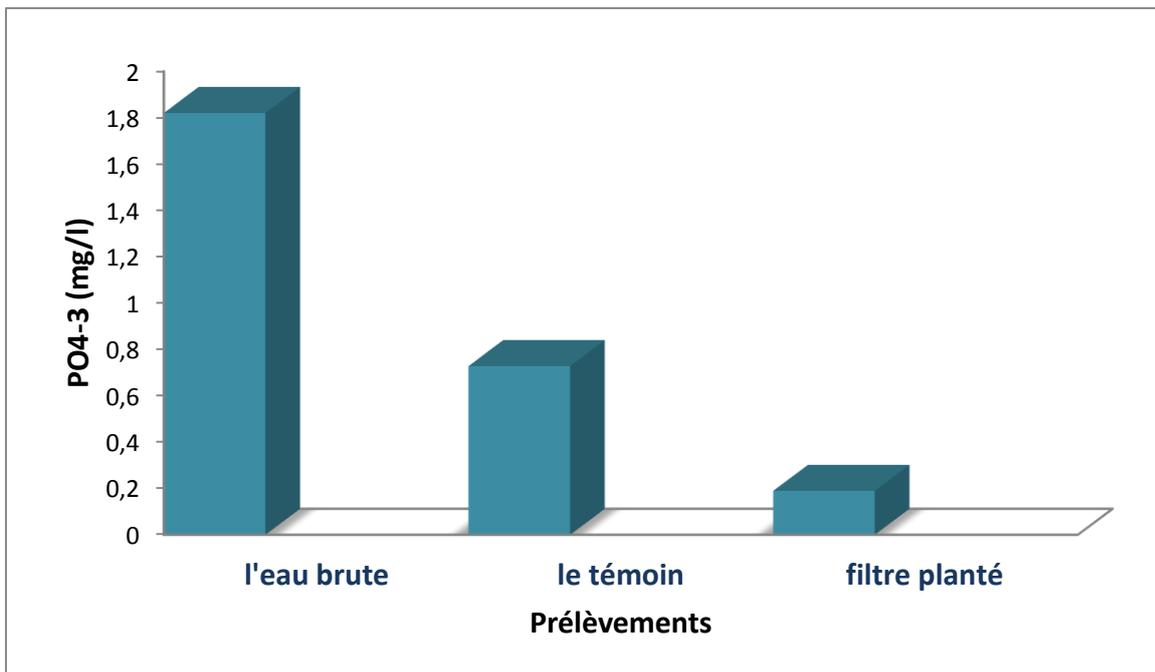


Figure 19: Variation de la PO_4^{3-} des eaux à l'entrée et à la sortie de filtre planté en fonction du temps de séjour.

III-2- Variations des indicateurs bactériologiques de pollution

Les résultats des paramètres bactériologiques durant notre expérimentation sont consignés dans les tableaux suivants :

Tableau 13: variation des paramètres bactériologiques avant et après traitements.

Paramètres	L'eau brute	Le témoin	Filtre planté
GT à 37°C (UFC/ml)	5.3	3,4	0
ASR (UFC/ml)	Indénombrable	indénombrable	2
CT (CT/100ml)	240	240	160

Tableau 14 : Abattement des paramètres bactériologiques obtenus après traitement

Paramètres	Abattement %	
	Le témoin	Filtre planté
GT à 37°C (UFC/ml)	36 %	100 %
ASR (UFC/ml)	-	-
CT (CT/100ml)	0	33,33 %

La charge bactérienne en germes totaux, coliformes totaux, bactéries anaérobies sulfite-réductrices se présente en quantité très importante dans les eaux usées, les résultats obtenus après passage des eaux dans filtre planté de *Mentha piperita* montrent des rendements d'éliminations très importantes des bactéries, les exsudats libérés par les racines des macrophytes qui pourraient avoir un effet bactériostatique ou bactéricide pour l'élimination bactérienne (Gersbergetal., 1990 ; Kadlec,1996 ;William et al., 1995 ;Laabassi,2016).

III-3-Abatement de la pollution

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les microorganismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux (Benkaddour, 2018), la variation des rapports DBO5/DCO et DCO/DBO5 est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 15: Rapports de la pollution organique.

	L'eau brute	Le témoin	Filtre planté
DBO5/DCO	0,23	1,1	0,47
DCO/DBO5	4,23	0,9	2,09

Le rapport DBO5/DCO est très élevé car les rejets chargés en matière organique, le rapport DCO/DBO5 est supérieure à 3 dans l'eau brute ce qui nous permet de déduire que la charge en matières organiques dans les eaux usées de ce site est moyennement biodégradable selon (Rodier, 2009).

CONCLUSION

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence les potentialités du *Mentha piperita* à épurer les eaux usées prévenant du rejet de Guelma. L'intérêt est porté plus particulièrement sur la comparaison d'un pilote planté avec un système pilote non planté. Les deux systèmes, assurent une élimination importante des polluants. Nous avons suivi des analyses physicochimiques et bactériologiques des eaux avant et après le passage par filtre planté.

Les résultats obtenus montrent que le système présente une bonne efficacité d'enlèvements des paramètres mesurés.

- Une diminution significative de la plupart des indicateurs physicochimiques : (78 %) pour la DBO5, (89,12 %), pour la DCO, (91,17 %) pour les MES, (48,43 %) pour les NO_2^- , (98,78 %) pour les NH_4^+ , (89,56%) pour les PO_4^{3-} .
- On constate aussi un abattement très important de la teneur en germes totaux, coliformes totaux, bactéries sulfite réducteurs

En perspective, il serait intéressant de mettre en place un système d'épuration avec la menthe poivrée et évaluer les performances de ce procédé dans la diminution de degré de pollution des eaux.

Références Bibliographiques

- **Allouche Nawel Fella, 2006.**La Phytoremediation pour la dépollution des eaux usées.
- **Ait Bachir Hakim, 2015.**Projet de phytoremédiation d'une zone humide élaboration d'un CCTP. Edition universitaires européennes.
- **Arouya Khaled, 2011.**Pollution des eaux, impact des eaux usées sur la qualité des eaux de surface. Edition universitaires européennes.
- **Assaad Aziz, 2014.**Pollution anthropique de cours d'eau : caractérisations spatio-temporelle et estimation des flux. Autre. Université de Lorraine. Français.
- **BAMBARA S, 1985.** Evolution des nutriments dans une station de lagunage, Thèse de 3ème Cycle, Université Rennes I, 195p.
- **Behra Philippe.**Chimie et environnement cours, études de cas et exercices corrigés Dunod, Paris, 2013.
- **BENSLIMANE R, 2001.**Contribution à l'étude des eaux résiduaires de la ville de Skikda et sa périphérie. Mém. Ing. Eco et Env. Patho. Des écosystèmes. Université de Annaba 95p.
- **Bensmina-Mimeche L., Debabeche, M., Mekaoussi S., 2009.** épuration des eaux usées domestiques par les macrophytes dans un milieu semi-aride ,séminaire international d'hydraulique El oud.
- **Bensmina-Mimeche L., Debabeche M., Seghairi N., Benameur N, 2013.** Capacité de filtres plantés de macrophytes pour l'épuration des eaux usées dans le climat semi-aride. Courrier du Savoir 17, 33-37.
- **Benyoucef Assya ,2020.**Traitement des eaux usées par la phytoépuration. Thèse présentée pour l'obtention de grade de doctorat en science, Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi.
- **Benkaddour Batoul, 2018.** Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie).Thèse pour obtenir le grade de docteur, Université de Perpignan via Domitia et Université de Mostaghanem.
- **Borin M, 2003.**Phytoremédiation : solutions pour le traitement des eaux usées par les plantes. Edagricole, Bologne.
- **Bouffard Vicky, 2000.** Milieux humides artificiels pour l'amélioration de l'efficacité de traitement des eaux usées domestiques d'une petite municipalité.

- **Brix Hans, 1994.** Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Wat. Sei.* 29 71-78
- **BRIX H., ARIAS C.A., DEL BUBBA M, 2000 .** How can phosphorus removal be sustained in subsurface-flow constructed wetlands? In 7th International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control. Nov 11-16 2000, Florida (USA).
- **Cardot Claude, 1999.** Techniques appliquées au traitement de l'eau. Hydraulique, électrotechnique, procédés de traitement.
- **ChiguerMahfoud, 2013.** La qualité microbiologique des eaux a l'hôpital Ibn Sina de Rabat. Thèse de doctorat en pharmacie, Université Mohammed V-Souissi.
- **Chadli Amina, 2019.** Évaluation des performances épuratoires de système de lagunage à macrophytes sous climat aride cas de la wilaya de Naâma. Thèse de doctorat en sciences de l'environnement, option : Gestion des ressources hydriques. Université Djilali Liabes de Sidi Bel Abbas.
- **COMEAU Y., HALL K.J., HANCOCK R.E.W., OLDHAM, W.K.** Biochemical model for enhanced biological phosphorus removal. *Water Research*, 1986, vol. 20, n° 12, pp.1511-1521.
- **Derradji Manel, 2014.** Contribution à l'étude de la tolérance des plantes épuratrices dans l'épuration des eaux usées : stratégie et application. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en toxicologie, Université Badji Mokhtar Annaba.
- **DRIZO A., COMEAU Y., FORGET C., CHAPUIS R.P , 2002.** Phosphorus saturation potential: A parameter for estimating the longevity of constructed wetland systems. *Environmental Science and Technology*, 36(21), 4642-4648.
- **EDELINE F, 1980.** L'épuration biologique des eaux résiduaires théorie et technologie. 306 p.
- **El Hachemi, O., El Halouani, H., Meziane, M., Torrens, A., Salgot, M., & Sbaa, M, 2012.** Etude des performances épuratrices dans une station de traitement des eaux usées par lagunage en climat désertique (oasis de Figuig-maroc): aspect bactérien et organique. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn*, 6(1), 84-97.
- **Ferro Yannis, 2013.** Evaluation de l'impact des rejets urbains de temps de pluie sur le compartiment algal des écosystèmes aquatiques: Mise au point d'outils pour la surveillance des milieux récepteurs. Doctorat Chimie, procédés et environnement. INSA, Lyon. 253p.
- **Geroui Yacine, 2014.** caractérisation hydrochimique et bactériologique des eaux souterraines de la quifere superficiel de la plaine de Tamlouka Nord-Est

Algérien. These en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en santee, eau et environnement, Universite 8 Mai 1945.

- **Gersberg, R. M., Lyon, S.R., Brenner, R., Elkins, B.B., 1990.** Integrated wastewater treatment using artificial wetlands: a gravel marsh case study. In : hammer DA, editor. Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultural USA: Lewis, 5-19
- **Grison, 1999** .Epuration des eaux uses par des filtres plantés de macrophytes, étude bibliographie agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse.
- **KADLEC; KNIGHT, 1996.Overview:** surface flow constructed wetlands, Water Science and Technology 32: p.1-12.
- **Kadlec, R.H., Knight, R.L., 1996** treatment wetlands. Lewis. Boca Raton, p. 893
- **KANTAWANICHKUL S., KLADPRASERT S., BRIX H,2009.**Treatment of high-strength wastewater in tropical vertical flow constructed wetland planted with *Typha angustifolia* and *Cyperus in volucratus*. Ecol. Eng; 35 (2):238-247.
- **Kleche Meriem, 2012.**Utilisation des systèmes biologiques dans l'épuration des eaux usées cas de la région d'Annaba .Thèse en vue de l'obtention d'un diplôme de doctorat en biologie végétale, Université Badji Mokhtar Annaba.
- **Koller Emilian.** Traitement des pollutions industrielles, Dunod, Paris, 2004.
- **Kone D, 2002.**Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes en Afrique de l'ouest et du centre : état des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement, Thèse de Doctorat, Université de Luxembourgeoise, Belgique.
- **Laabassi Ayache, 2016.** l'épuration des eaux usées par le système de lagunage à macrophytes .Thèse de doctorat, option : biotechnologie végétal université Ferhat Abbas, Sétif.
- **Lazarin A., Lazarin G, 2011.**Plantes aquatiques, eau pure. Éditions sang de la terre. 126p.
- **Lazarin A, 2009.**Plantes dépolluantes. Éditions Sang de la terre.95p.
- **Libes Y, 2010.**Les eaux usées et leur épuration.
- **MARA D.D., SILVA S.A., CEBALLOS B.S. (1979).** Design verification for tropical oxidation ponds, J. San. Engng. Div. Proc. Am. Soc. Civil Engrs.105 : 151-155.
- **Miloudi Aicha, 2009.** Inventaire des espèces macrophytes épuratrice dans la cuvette d'Ouargla. Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Agronomie, Université d'Ouargla, 89p.

- **Mimeche Leila, 2014.** Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride-Application à la région de Biskra. Thèse de doctorat en science hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra.
- **Molle P., Lienard A., Boutin C., Merlin G., Iwema A, 2004.** Traitement des eaux usées domestiques par marais artificiels : état de l'art et performances des filtres plantés de roseaux en France, Ingénieries-EAT, n° spécial, 23-32.
- **Oulebsir Rafik, 2020.** Elaboration d'un Dashboard par datamining pour le benchmarking des STEP. Thèse de doctorat, Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene.
- **Philippe Audra, 2020.** Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes. Thèse de doctorat, Université Cote d'azur.
- **Rejsek Franck, 2002.** Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques. EdCRDP, Aquitaine. France.
- **Rodier J, 2009.** L'analyse de l'eau, 9ème édition. Dunod, Paris.
- **Rodier J., Legube B., Marlet N., Coll., 2009.** L'analyse de l'eau, 9ème édition. Ed. Dunod, Paris. 1475 p.
- **Rodier J., Bernard, 2016.** L'analyse de l'eau, 10ème édition. Ed. Dunod, Paris. 1758p.
- **Saggai M, 2004.** Contribution à l'étude d'un système d'épuration à plantes macrophytes pour les eaux usées de La Ville de Ouargla. Mémoire de magister, Université de Ouargla, 86p.
- **Tabet Mouna, 2014.** Etude physicochimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration, en vue de l'obtention du diplôme de doctorat 3ème cycle en sciences biologiques option santé, eau et environnement, université 8 mai 1945, Guelma.
- **Touati Laid, 2020.** Cours de pollution des eaux. Niveau Master 1 Ecologie Fondamentale & Appliquée, Université Frères Mentouri Constantine 1.
- **Vymazal J, 2005** Constructed wetlands with horizontal sub-surface flow and hybrid systems for wastewater treatment. Ecol. Eng.
- **William, H., Alan, S., Helen, R., 1995.** Official Methods of Analysis of the Association of analytical chemists. 15th edition page 428-480

- **Zgheib S, 2009.** Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire. Thèse de Doctorat, Ecole nationale des ponts et chaussées, 349p.

Site web :

- <http://www.univers-nature.com/habitat-sain/assainissement-filtre-a-roseaux-particuliers.html;>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Menthe_poivr%C3%A9e