



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire N sérié :

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشهيد حمة لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakhdar –El OUED

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا الخلوية و الجزيئية

Département de biologie Cellulaire et Moléculaire

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences

Biologiques

Spécialité : Toxicologie Fondamentales et appliquee

### THEME

**Etude de l'efficacité des plantes (*Juncus effusus*, *Cyperus papyrus*)  
dans la phytoépuration des eaux usés dans la région de Touggourt**

Présentés Par :

M<sup>lle</sup> : Badjadi Chaima

M<sup>lle</sup> : Benyoucef Boutheyne

M<sup>lle</sup> : Charef Nesrine

Devant le jury composé de :

Président : LAOUFI Hayet (MAA) Université d'El Oued.

Examineurs : KIRAM Abderzak (MAA) Université d'El Oued.

Promoteur : GUEMMOUDA Messaouda (MCA) Université d'El Oued.

Année universitaire 2021/2022



## *Dédicaces*

*A qui les poètes ont chanté leur mémoire et fait le paradis sous leurs pieds*

*Nos mères, que Dieu les protège et prenne soin d'elles*

*À ceux qui ont un grand cœur et des visages similaires*

*Nos pères, que Dieu les rende fiers et notre fierté*

*Aux roses de l'amour et aux sources de la loyauté envers ceux qui nous ont accompagnés  
bonheur et malheur*

*Nos chers frères et sœurs et leurs enfants*

*À ceux ont aidés dans ce travail*

*Notre superviseur, l'honorable Mme Guemmouda Massouda*

*À ceux qui ont su les trouver et nous ont appris à ne pas les perdre*

*Copines sincères*

*À qui nous avons étudié et complété notre parcours universitaire*

*Étudiants en Toxicologie*

*À tous ceux qui lit notre maintenant*





## *Remerciements*

*En tout premier, nous remercions Dieu qui m'a donné la santé, et la volonté pour poursuivre mes études.*

*Nous remercions tout d'abord mon promoteur Dr. Guemmouda Massouda qui a accepté de diriger ce mémoire et d'avoir contribué par son savoir-faire et son sérieux à l'enrichissement de ce modeste travail.*

*Un grand merci à l'ensemble du personnel de la station d'épuration des eaux usées de Touggourt (ONA), ainsi que des travailleurs de la station d'épuration du vieux palais de Timasin (WWG) pour avoir dirigé, suivi, guidé, soutenu et encouragé.*

*Nous vous remercions également pour Fathi ben nadjma et Radia Benna*

*La satisfaction de ceux qui nous ont aidés et nous aident à notre expérience*

*Nous remercions notre ami Chahinaz Charfe qui nous a*

*accompagné et été notre soutien*

*Nous adressons nos remerciements particuliers au professeur Ibrahim Al-Abed pour ses orientations ciblées et ses précieux conseils.*

*Enfin, j'exprime ma vive et profonde reconnaissance à tous ceux que j'ai oubliés de citer et qui, de près ou de loin se sont associés pour l'élaboration de ce travail.*

*Et reste la perfection à Dieu tout-puissant et est la grâce du Seigneur et la bénédiction*



## Résumé

L'objectif de cette étude est la mise en évidence des performances épuratoires des plantes *Juncus effusus* et *Cyperus papyrus*, à purifier les eaux usées avec un système d'écoulement horizontal sous terrain. Cette étude a englobé une comparaison entre des bassins plantés tel que chaque bassin contient un type de plantes et un autre bassin non planté pris comme témoin. L'étude a été réalisée à travers un modèle expérimental dans la zone de désinfection des eaux usées urbaines au niveau de l'office national d'assainissement wilaya Touggourt, Algérie qui est considéré comme zone semi aride. Ce modèle est constitué de bassines circulaires de (52 L ) de la capacité remplis de bas en haut en liant une épaisseur de ( 18 cm) de graviers ( 25/15 mm ). Le bassin est planté de jeunes tige de densité 36 tiges/m<sup>2</sup>. L'alimentation par les eaux usées urbaines se fait après le traitement préliminaire ( traitement physique ) à raison de 15 L par jours est périodique une fois par semaine et l'eau obtenue après un duré de 5 jours dans le bassin est collectée grâce à un récipient placé sous le bassin. Après cette étude, qui a duré de février à avril 2022. Nous sommes arrivés à éliminer les polluants selon les taux suivants : DCO ( 68.77 % pour *Juncus effusus*, 63.12 % pour *Cyperus papyrus* ) et MES ( 87.78 % pour *Juncus effusus*, 83.59 % pour *Cyperus papyrus* ). Et de même pour le NO<sub>2</sub><sup>-</sup> le pourcentage d'élimination était entre (42.10% - 44.73% ), tandis que pour le PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> il était compris entre (57.01% - 68.79% ). L'arrosage des bassins en utilisant un flux horizontal a montré des résultats significatifs dans la réduction du pourcentage de polluants organiques et minéraux présents dans les eaux usées, et ces plantes ont montré une adaptation et une coexistence en utilisant cette eau dans le climat de la région, et la capacité d'épuration des bassins planté de végétaux était plus élevé que le bassin qui n'était pas planté et c'était une *Juncus effusus* qui est meilleure au niveau de ses performances et de sa capacité à éliminer les polluants et les orthophosphores PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> par rapport à l'autre plante dont la capacité à éliminer les nitrites était supérieure à NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Et nous résumons en disant que la diminution significative des polluants nous rend plus intéressés par la réutilisation de l'eau traitée dans l'agriculture et l'industrie.

**Mots clés :** eau usée, macrophyte aquatique traitement, climat aride, *Juncus effusus*, *Cyperus papyrus*, région de Touggourt.

الهدف من هذه الدراسة هو إثبات قدرة النباتات *Juncus effusus* و *Cyperus papyrus*، على تنقية المياه المستعملة بنظام تدفق أفقي تحت السطحي، شملت هذه الدراسة مقارنة بين الأحواض المزروعة، حيث كل حوض يحتوي على نوع واحد من هذه النباتات و حوض غير مزروع كشاهد. الدراسة منجزة عبر نموذج تجريبي في منطقة تطهير المياه المستعملة الحضرية بمؤسسة الديوان الوطني للتطهير (ONA) بولاية تفرقة الجزائر و التي تتميز بمناخ شبه جاف. يتكون النموذج التجريبي من أحواض دائرية ذات سعة (52 L) مملوءة من الأسفل إلى الأعلى على سمك (18 cm) بحصى (25/15 mm). الأحواض مزروعة بسيقان فنية حديثة العمر بكثافة (36 tiges/m<sup>2</sup>). عملية تزويد الأحواض بالمياه المستعملة الحضرية بعد المعالجة الأولية (المعالجة الفيزيائية) ب (15 L) في اليوم بوتيرة منتظمة مرة واحدة في الأسبوع و الماء المتحصل عليه بعد مكوثه 5 أيام في الحوض MES (يتم تجميعه عبر إناء موضوع أسفل الحوض. بعد هذه الدراسة التي دامت من شهر فيفري إلى أبريل 2022 تحصلنا على إزالة الملوثات بالنسب التالية DCO: (68.7% بالنسبة ل *Juncus effusus*، 12.63% بالنسبة ل *Cyperus papyrus*) و (87.78% بالنسبة ل *Juncus effusus*، 83.59% بالنسبة ل *Cyperus papyrus*) و كذلك بالنسبة ل NO<sub>2</sub><sup>-</sup> كانت نسبة الإزالة ما بين (42.10% – 44.73%) أما PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> كانت ما بين (57.01% – 68.79%). سقي الأحواض باستعمال تدفق أفقي أظهر نتائج معتبرة في التخفيض من نسبة الملوثات العضوية و المعدنية المتواجدة في المياه المستعملة كما أن هذه النباتات أبدت تأقلا و تعايشا باستعمال هذه المياه في مناخ المنطقة، و قدرة التنقية بالأحواض المغروسة بالنباتات كانت أعلى من الحوض غير مغروس و كان نبات *Juncus effusus* أحسن من حيث أدائه و قدرته على إزالة الملوثات و أورثوفوسفور PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> مقارنة بالنبات الأخر الذي كانت قدرته على إزالة النترت NO<sub>2</sub><sup>-</sup> أكبر. و نلخص القول بأن الانخفاض المعتبر للملوثات يجعلنا نهتم أكثر لإعادة استعمال المياه المعالجة في الزراعة و الصناعة.

**الكلمات المفتاحية:** المناخ الجاف، مياه الصرف الصحي، المعالجة بالنباتات المائية، *Juncus effusus*، *Cyperus papyrus*، منطقة تفرقة.

## Liste des Figures

Numéro	Titre	Page
<b>Figure (01)</b>	Etapes du prétraitement des eaux usées	18
<b>Figure (02)</b>	Traitement par disques biologiques	19
<b>Figure (03)</b>	Traitement par boues activées	20
<b>Figure (04)</b>	Traitement par le lagunage	21
<b>Figure (05)</b>	Étapes de traitement des eaux usées avec des plantes	25
<b>Figure (06)</b>	Macrophytes émergents	26
<b>Figure (07)</b>	Macrophytes submergés	26
<b>Figure (08)</b>	Macrophytes flottantes	27
<b>Figure (09)</b>	Bassin de traitement de l'usine de ruissellement libre	28
<b>Figure (10)</b>	Bassin de traitement des plantes à ruissellement hybride	29
<b>Figure (11)</b>	Bassin de traitement des plantes à ruissellement vertical	30
<b>Figure (12)</b>	Bassin de traitement des plantes à ruissellement horizontal	31
<b>Figure (13)</b>	Situation géographique de la ville de Touggourt	40
<b>Figure (14)</b>	la localisation de la zone d'étude pour le district de Touggourt – Algérie	41
<b>Figure (15)</b>	Photo de la station d'épuration de Touggourt	42
<b>Figure (16)</b>	Positionnement de la station dans la commune de Tbesbest	43
<b>Figure (17)</b>	Schéma montrant les composants du bassin de traitement à flux horizontal souterrain	44
<b>Figure (18)</b>	Matériel expérimental d'occasion	44
<b>Figure (19)</b>	Plante <i>Juncus effusus</i>	45
<b>Figure (20)</b>	Plante <i>Juncuseffusus</i> poussant autour des marécages	46
<b>Figure (21)</b>	Plante <i>Cyperus papyrus</i>	47
<b>Figure (22)</b>	PH mètre pour mesurer la température	49
<b>Figure (23)</b>	Conductivitémètre	50
<b>Figure (24)</b>	pH mètre pour mesurer le pH	51
<b>Figure (25)</b>	Oxymètre	52
<b>Figure (26)</b>	Le réacteur	53
<b>Figure (27)</b>	DR 3900™ spectrophotometer	56
<b>Figure (28)</b>	L'évolution dans le temps de l'oxygène dissous ( $O_{diss}$ ) de l'entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin	58
<b>Figure (29)</b>	L'évolution dans le temps de la température $T(^{\circ}C)$ de l'entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin	60
<b>Figure (30)</b>	L'évolution dans le temps du pH de l'entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin	61
<b>Figure (31)</b>	L'évolution dans le temps des matières en suspension (MES) de l'entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin	62
<b>Figure (32)</b>	L'évolution dans le temps de la conductivité électrique (CE) de l'entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin	63
<b>Figure (33)</b>	L'évolution dans le temps du Salinité de l'entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin	64
<b>Figure (34)</b>	L'évolution dans le temps de la demande chimique en oxygène (DCO) de l'entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin	65

<b>Figure (35)</b>	L'évolution dans le temps de L'orthophosphore ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) de entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin	66
<b>Figure (36)</b>	L'évolution dans le temps de Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) de entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin	67

## Liste des Tableaux

<b>Numéro</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableaux (01)</b>	valeurs maximales des paramètres d'élimination des déchets des unités industrielles	17
<b>Tableaux (02)</b>	Rôle de plantes au sein des plantes des zones humides (stations d'épuration)	34
<b>Tableaux (03)</b>	principaux mécanismes d'élimination des polluants dans les bassins de plantes	36
<b>Tableaux (04)</b>	unités de mesure d'oxygène	53
<b>Tableaux (05)</b>	Valeurs moyennes des milieux mesurés pour les eaux usées urbaines utilisées dans nutrition des bassins lors du processus d'épuration au cours de la période d'étude	58
<b>Tableaux (06)</b>	Valeurs moyennes des milieux mesurés pour l'eau traitée dans le bassins avec des plantes ,Cyperus papyrus, Juncus effusus et témoin lors du processus d'épuration durant la saison 2022	58

## Liste des abréviations

<b>Abréviation</b>	<b>Signification</b>
<b>OMS</b>	L'organisation mondiale de la santé
<b>CE</b>	Conductivité Electrique
<b>O<sub>diss</sub></b>	L'oxygène dissous
<b>pH</b>	Potentiel d'hydrogène
<b>MES</b>	Matière en suspension
<b>DCO</b>	Demande chimique en oxygène
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	Nitrite
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	Orthophosphore
<b>STEP</b>	Station d'Épuration
<b>ONA</b>	Office Nationale d'assainissement
<b>WWG</b>	Waste water Gardens
<b>AFNOR</b>	Association française de normalization

# Table de la matière

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Liste des abréviations

Table des matière

Introduction

Synthèse Bibliographique

## Chapitre 01 : Pollution de l'eau et méthodes de traitement

I. Pollution de l'eau .....	6
I.1. Généralités sur l'eau polluée.....	6
I.1.1. Définition de la pollution de l'eau.....	6
I.1.2. Sources de pollution de l'eau .....	6
I.1.3. Types de pollution de l'eau .....	7
I.2. Eaux usées .....	10
I.2.1. Définition des eaux usées.....	10
I.2.2. composition des eaux usées .....	11
I.2.3. Origines de eaux usées.....	12
I.2.4. Caractéristiques des eaux usées.....	13

## Chapitre 2 : Phyto-épuration des eaux usées

Introduction .....	24
II. Système de phytoépuration des eaux .....	25
II.1. plantes aquatiques .....	25
II.1.1. Macrophytes émergents.....	25
II.1.2. Macrophytes submergés .....	26
II.1.3. Macrophytes flottantes .....	26
II.2. Bassins des plantes.....	27
II.2.1. Bassins des plantes à ruissèlement libre .....	27
II.2.2. Bassins des plantes à débit diversifié hybride.....	28
II.2.3. Bassins des plantes avec ruissèlement souterrain vertical .....	29
II.2.4. Bassins des plantes avec ruissèlement souterrain horizontal .....	30
II.3. Rôle des différents composants de filtre .....	31
II. 3.1. Rôle des matériaux de remplissage .....	31
II.3.2.Rôle de la plante.....	32
II.3.3. Rôle des micro-organismes.....	35

II.4. Mécanismes d'élimination des polluants et efficacité des bassins de traitement des plantes .....	35
--	----

## Partie Pratique

### Chapitre 1 : Matériels et méthodes

I.1. Présentation du site d'étude (Touggourt) .....	40
I.2. Présentation de la station d'épuration du Touggourt (ONA).....	41
I.3. Protocole expérimental.....	43
I.3.1. Matériel expérimental utilisé .....	43
I.3.2. Propriétés physicochimiques des matériaux de garnissage utilisés .....	45
I.4.Plante utilisé .....	45
I.4.1. Juncus effusus .....	45
I.4.2. Cyperuspapyrus.....	47
I.5. Analyse des résultats .....	48
I.6. Paramètres physicochimiques .....	49
I.6.1. Mesure de température .....	49
I.6.2. Détermination des substances en suspension MES .....	50
I.6.3. Mesure de la conductivité électrique .....	50
I.6.4. Mesure de la salinité.....	51
I.6.5. Mesure de pH.....	51
I.6.6.Mesure de la quantité d'oxygène dissous $O_{diss}$ .....	52
I.6.7.Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) .....	53
I.6.8. Détermination de la quantité de nitrite .....	54
I.6.9. Détermination de la quantité d'orthophosphore $PO_4^{-3}$ .....	55

### Chapitre 2 : Résultats et Discussions

II.1. Caractéristiques des eaux usées utilisation pour l'nutrition des bassins .....	58
II.2. Discutez des résultats .....	59
II.2.1. Evolution de l'oxygène dissous ( $O_{diss}$ ) .....	59
II.2.2. Evolution de la température ( $C^\circ$ ) .....	60
II.2.3. Evolution du pH.....	61
II.2.4. Evolution des matières en suspension (MES).....	62
II.2.5. Evolution de la conductivité électrique (CE).....	63
II.2.7. Evolution de la demande chimique en oxygène (DCO) .....	65
II.2.9. Evolution de L'orthophosphore ( $PO_4^{-3}$ ) .....	66
II.2.8. Evolution de Nitrite ( $NO_2^-$ ).....	67

## Conclusion

## Références

## Annexes

# INTRODUCTION

## Introduction

L'eau est le don de Dieu à ses serviteurs et la base de la vie. Il n'y a pas de vie sur terre sans elle, comme Dieu tout-puissant l'a décrit dans de nombreux versets coraniques afin que nous puissions vivre et nous engager dans toutes les activités et tous les travaux. C'est la base de l'agriculture, de l'industrie, de l'alimentation et des boissons...etc. Sans elle, il n'existerait pas. Cependant, ces dernières années, la plupart des pays ont été confrontés à une pénurie de ressources en eau, ce qui a suscité un grand intérêt pour le traitement des eaux usées, qui est l'une des sources de pollution de l'environnement en général et des ressources en eau en particulier. Il est urgent d'utiliser les eaux usées et industrielles, en raison de l'augmentation continue des taux de consommation d'eau. Malgré les efforts consentis pour compléter les stations d'épuration humaines urbaines, utilisant les anciennes méthodes classiques ( boues et lit bactérien...) ces méthodes sont compliquées du fait de leur fonctionnement, de leur maintenance et de leur coût élevé,( **CIEH, 1993**) car on retrouve la plupart des pays du monde dans un intérêt croissant de la part des peuples pour préserver l'environnement de la pollution en utilisant des méthodes et des techniques modernes, y compris les usines de traitement des plantes, où il a prouvé son efficacité et sa capacité à atteindre les spécifications souhaitées pour les eaux usées en réduisant le pourcentage de polluants et d'agents pathogènes et en atteignant les limites admissibles pour l'utilisation de l'eau résultante dans l'agriculture sans l'utilisation de solution chimiques.

Ces plantes reposent sur un traitement par des plantes spécifiques qui ont la capacité de réduire le niveau de pollution de l'eau grâce à certains mécanismes métaboliques mis en œuvre par la plante et conduisent à l'élimination de divers polluants. Elles sont machinées et contiennent du gravier, du sable ou un mélange des deux, ce qui réduit considérablement la concentration de polluants dans les eaux usées. Parmi les plantes utilisées dans l'épuration des eaux polluées, les plantes *Cyperus papyrus* et *Juncus effusus* jouent un rôle important dans le traitement des eaux usées, ce qui a incité de nombreux chercheurs à penser à les utiliser pour le traitement. Notre objectif est de mesurer l'efficacité et la capacité d'une plante *Cyperus papyrus* et *Juncus effusus* sur l'épuration des eaux usées urbaines par l'écoulement horizontal la zone de Touggourt. Notre travail comprend en deux grandes parties:

- Première partie : Synthèse bibliographique concernant la pollution de l'eau et méthodes de traitement et phyto-épuration des eaux usées.

- Deuxième partie : matériel et méthodes, résultats et discussions, portant sur la présentation de nos résultats et leur justification en se basant sur ce qui était dit dans la bibliographie.

**SYNTHÈSE**

**BIBLIOGRAPHIQUE**

# CHAPITRE

## 01 : POLLUTION DE L'EAU ET MÉTHODES TRAITEMENT

## I. Pollution de l'eau

### I.1. Généralités sur l'eau polluée

#### I.1.1. Définition de la pollution de l'eau

L'organisation mondiale de la santé (OMS) a défini en 1961 la pollution de l'eau comme suit : " tout changement dans les propriétés naturelles, chimiques et biologiques de l'eau qui entraîne une modification de son état, directement ou indirectement, de sorte que l'eau devient moins adaptée à la nature. Usages qui lui sont destinés, que ce soit pour boire ou pour la consommation domestique, agricole ou autre".( **Langevin et al., 1997** )

Hopkins et Schulz en 1954 ont défini l'eau polluée comme une eau dont la qualité diminue en raison de son mélange avec des eaux usées ou d'autres déchets, la rendant impropre à une utilisation à des fins industrielles.( **جورجي, 2007** )

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation douteuse et ou perturbe l'écosystème ; elle peut concerner les eaux superficielles et ou les eaux souterraines (**Mekkaoui & Hamdi, 2006**)

- **Changement biologique** : traite de la nature et du nombre de bactéries, parasites, champignons et virus qui peuvent y être présents.+
- **Changement chimique** : c'est le changement en termes de composition, nature et concentration de minéraux, électrolytes, sels et nombre pH, alcalinité et autres propriétés chimiques et radiologiques.
- **Changement physique** : changement qui se produisent dans l'eau au niveau de la couleur, la odeur, goût, la température, la dureté et conductivité électrique reste se ses propriétés physiques.( **السعدي, 2006** )

#### I.1.2. Sources de pollution de l'eau

Il existe de nombreuses sources de pollution de l'eau et elles peuvent être divisées en :

**I.1.2.1. Sources naturelles** : il comprend l'atmosphère, les minéraux dissous, la décomposition de la matière végétale et le ruissellement du sel et produits chimiques.

**I.1.2.2. Sources agricoles** : Les pesticides chimiques et les engrais sont utilisés pour éliminer les ravageurs et obtenir des produits agricoles plus gros et en plus grande quantité.

Ces substances atteignent les nappes phréatique et les masses d'eau recherchent dans sa pollution comprend également l'érosion hydrique des sols, les déjections animales (élevages d'animaux et de volailles), engrais chimiques et pesticides, eau d'irrigation.

**I.1.2.3. Eaux usées :** il comprend les eaux usées, les eaux usées industrielles, les véhicules marins et les accidents marine.

**I.1.2.4. Autre ressources :** tels que les activités de construction, les mines, les eaux souterraines, les lieux de collecte des ordures et les lieux production de ciment ( العابد, 2015)

### **I.1.3. Types de pollution de l'eau**

#### **I.1.3.1. Pollution radioactive**

Il exprime la concentration d'éléments radioactifs dans le corps de l'organisme (provoquant des maladies graves), qui peuvent ils se produisent naturellement dans les eaux de surface qui peuvent contenir des éléments naturellement radioactifs, tels que : le radium, l'uranium ou sous une forme non naturelle résultant de déchets industriels et d'explosions nucléaires.( **Ramade, 1982** )

#### **I.1.3.2. Pollution biologique**

Un grand nombre de micro-organismes peuvent se multiplier dans l'eau grâce aux bonnes conditions qu'ils trouvent. Les principaux organismes pathogènes qui se reproduisent et se transmettent dans l'eau : bactéries, virus, parasites, champignons et algues. Parmi les pollutions biologiques figurent les suivantes :

- **Contamination par les eaux usées.**

C'est l'eau usée des eaux usées qui charrie les déchets des toilettes avec son contenu de déchets organiques, d'impuretés, de détergents industriels et de bactéries, ainsi que dans les roses des micro-organismes.....etc. C'est aussi l'eau qui a servi à diverses utilisations des usines, etc., et cette eau est évacuée dans de nombreux pays, les méthodes de rejet dans diverses masses d'eau sans la traiter, malgré le danger de ce travail, car cette eau est contaminée par des matières organiques et des produits chimiques ( tels comme le savon et les détergents industriels), et certains types de bactéries nocives, en plus des métaux lourds et des hydrocarbures toxiques, et entraîne de graves dommages tels que réduction du pourcentage d'oxygène dans l'eau, la mort massive de poissons et

d'organismes aquatiques il contribue également à la transmission de nombreux agents pathogènes dangereux voyageant dans l'eau, qui peuvent atteindre et infecter les humains en raison de la contamination des sources d'eau par des eaux usées (non traitées). (السعداني, 2007)

- **Contamination par les algues.**

Les eaux de surface contiennent de nombreux organismes végétaux qui modifient la nature de l'eau (goût, odeur et couleur) et sa qualité car elle est emprisonnée au-dessus des surfaces d'eau, ce qui entraîne l'émission d'odeurs désagréables, et il est connu que le rejet d'eaux usées dans les rivières et les lacs augmentent ce problème parce que les déchets fonctionnent. En tant que bon engrais pour les algues, ils augmentent considérablement sa croissance, et les algues ont des dommages économiques représentés par les dommages aux navires, car elles contribuent à la formation de ce que l'on appelle les dommages aux bateaux, où ces algues se déposent abondamment dans les parois des navires (elles peuvent atteindre des dizaines de tonnes), ce qui cela réduit la vitesse et augmente la consommation de carburant. Par conséquent, les coques des navires sont peintes avec un type de peinture contenant des composés de cuivre et de mercure. La première les protège de la corrosion et la seconde les protège des dépôts d'algues. (Bouziati, 2000)

- **Contamination bactérienne**

En raison du manque de nutriments de l'eau, la plupart des bactéries qui atteignent l'eau claire ou pure ne peuvent pas s'y développer, mais elles peuvent vivre pendant des périodes variables allant jusqu'à plusieurs mois, tandis que les espèces pathogènes ne peuvent pas se développer dans ce milieu aquatique. Les eaux usées sont la seule source de contamination de l'eau potable par des microbes pathogènes, et cette eau, si elle provient de personnes en bonne santé, ne contient souvent pas de microbes pathogènes, mais si elle est causée par des personnes malades, elle constitue une source dangereuse d'infection, et les maladies les plus importantes sont : la typhoïde (et les bactéries qui en sont responsables). Salmonella Typhi, paratyphoïde, dysenterie et choléra (vibrio cholerea), de sorte que les personnes qui utilisent l'eau des rivières et des lacs dans lesquels les eaux usées sont reçues sont sensibles à de nombreuses maladies. Par conséquent, il est naturel et nécessaire de tester l'eau microbiologiquement et chimiquement pour assurer sa sécurité. (العابد, 2015)

### I.1.3.3. Pollution thermique

C'est l'un des cas les plus importants de pollution résultant de la lave et des centrales électriques, ainsi que du déversement des eaux usées industrielles chaudes utilisées pour le refroidissement des usines, des réacteurs thermiques et des usines de dessalement de l'eau. Température supérieure au taux normal, ce qui perturbe l'équilibre environnemental et cause des dommages à la vie plante et animal, et à partir de la , le taux de réactions chimiques double, provoquant l'extermination des poissons et des plantes et entravant le mouvement dans les cours d'eau.( عفيفي, 2000; السعدي, 2006 )

### I.1.3.4. Pollution chimique

- **Pollution industrielle**

La pollution de l'eau par des pollution chimiques industriels cause de graves problèmes aux organismes vivants ( animaux, plantes et micro-organismes), car elle est considérée comme l'un des types de pollution les plus dangereux, et elle est apparue comme le résultat naturel des formidables progrès industriels, en particulier dans le domaine des industries chimiques. Là où les installations industrielles rejettent leurs déchets et sous-produits sans traitement dans les cours d'eau, et représentent ainsi un réel danger pour tous les éléments de l'environnement car ils contiennent des composés chimiques toxiques, et ce qui augmente le risque, c'est que la plupart d'entre eux sont très stables et ont une effet longue durée. Parmi les plus importants de ces matériaux, nous trouvons :

les acides, les bases, les détergents industriels, les colorants, certains composés phosphoreux et de nombreux métaux lourds toxiques tels que le plomb et le mercure polluent gravement l'eau dans laquelle ils sont jetés.( عباس, 2004; السعداني, 2007 )

- **Pollution agricole**

De nombreux agriculteurs ont recours à l'utilisation d'engrais agricoles, tels que les composés phosphatés, nitrates, en raison des terres arables limitées. Lorsque ces engrais sont utilisés au hasard, et de manière non calculée, une partie d'entre eux reste dans le sol comme l'un des facteurs de sa pollution, la proportion de composés à la fois phosphatés et nitrés dans cette eau.( **Moussa Haidar, 2014** )

Les pesticides utilisés pour lutter contre les ravageurs agricoles sont parmi les polluants les plus dangereux et les plus répandus, et leur utilisation excessive conduit à la contamination des sols agricoles, car une grande partie de ces pesticides reste souvent dans le sol. (environ 15 % de la quantité utilisée), et leur effet ne disparaît qu'après des années, et l'eau de pluie peut transporter certains de ces pesticides du sol vers les cours d'eau, où ils causent de grands dommages aux organismes vivants qui s'y trouvent, et peuvent nuire également aux animaux et aux humains, en plus d'absorber les plantes cultivées. Le sol fait partie de ces pollutions, et il les stocke dans ses tissus, plus il est transmis aux animaux qui se nourrissent de ces plantes. (عباس, 2004; السعداني, 2007)

- **Pollution par les pluies acides**

Il s'agit de pluies polluées par des gaz acides, en particulier des oxydes de soufre, qui se transforment sous l'effet d'une série de réactions se transforment en acide sulfurique et en oxydes d'azote, qui à leur tour se transforment en acide nitrique (causé par l'émission de gaz résultant du processus de combustion de carburants de diverses industries), et ces acides retournent dans le sol et diverses sources d'eau dans la nature, et endommagent l'eau des plans d'eau, en particulier ceux qui sont fermés en raison de l'augmentation de son acidité, ce qui affecte les poissons et de nombreux autres organismes vivants, et cela affecte également les pluies acides sur l'eau potable en provoquant l'érosion de certains canaux, donc le pourcentage de le plomb dans l'eau potable augmente. Ces pluies provoquent également la dissolution de certains métaux lourds et substances toxiques telles que : le plomb, le mercure et l'aluminium, les nitrates du sol, les transportant vers les rivières, les mers et les lacs, ainsi que les eaux souterraines, causant des dommages aux organismes vivants et affectant santé humains en buvant cette eau polluée et en se nourrissant de poissons et d'organismes marins. (Ramade, 1982)

## **I.2. Eaux usées**

### **I.2.1. Définition des eaux usées**

Les eaux usées, aussi appelées eaux résiduaires, sont des eaux qui ont subi une détérioration de leurs caractéristiques naturelles (physique, chimiques ou biologiques) après usage lié de façon directe ou indirecte aux activités humaine. (Audra, 2020)

Est la combinaison de liquides ou déchets transportés dans l'eau provenant de diverses sources y compris les zones résidentielles, l'industrie et les activités agricoles. Les

eaux usées sont considérées comme polluées et doivent être traitées avant tout rejet dans les milieux récepteurs pour résoudre les différents problèmes de la pollution de ces milieux. (Laabassi, 2016)

Les eaux usées contiennent plus de 99% d'eau et le reste est un mélange de matières dissoutes et colloïdales et de particules organiques et inorganiques, en plus de petits organismes vivants (microbes, virus, bactéries, champignons), et ce mélange est ce qui détermine la nature, la qualité chimique et biologique de l'eau.

La qualité des eaux usées naturelles est déterminée par leur teneur en substances organiques et inorganiques.

Le contenu organique est le principal facteur de pollution des eaux usées, car les substances protéiques représentent le groupe principal de contenu organique et sont estimées à environ 50%, suivies des glucides.

Ce qui représente environ 45%, puis les graisses et les huiles, qui représentent environ 50%, les protéines et les glucides se décomposent. Les graisses et les huiles sont plus stables car leur décomposition est lente. (Satin & Selmi, 1995)

### I.2.2. composition des eaux usées

Les eaux usées sont généralement caractérisées comme une source importante de pollution, qui est considérée comme une menace pour la santé humaine, animale et végétale en raison du fait qu'elle contient de nombreux polluants qui peuvent être :

- **Polluants physiques** : ils peuvent être éliminés par des processus physiques directs tels que la sédimentation, la filtration, l'adsorption, ou la séparation membranaire ou l'évaporation...etc. Les plus importants de ces polluants sont le sable et les impuretés inertes.
- **Solides dissous** : ces polluants sont organiques, y compris les hydrocarbures, les graisses, les huiles, les pesticides, les herbicides, les protéines, les phénols, etc., ou inorganiques, y compris les alcalis et les acides. Chlorures, métaux lourds, azote, phosphore et soufre.
- **Gaz dissous** : dont le soufre hydrogène, l'ammoniac, le méthane et l'oxygène.
- **Polluants biologiques** : leur élimination nécessite l'application de certains procédés biologiques ou physico-chimiques tels que le traitement biologique ou la stérilisation. Les plus importants de ces polluants sont les animaux morts et certains

types de micro-organismes, y compris les bactéries, les virus, les vers et certains types de plantes. ( **Satin & Selmi, 1995** )

### **I.2.3. Origines des eaux usées**

Il existe plusieurs classifications des eaux usées : CHOCAT (1997) et OUALI (2001) sont classées en eaux usées domestiques et industrielles, mais ( RICHARD 1996 et BOUZIANI 2000) qu'ils ont ajoutée eaux usées agricoles et pluviales.

#### **I.2.3.1. Eaux domestiques**

Les eaux domestiques désignent les eaux résiduaires issues de différents usages domestiques. Elles comprennent des eaux grises et noires. Les eaux grises sont celles provenant, par exemple : des baignoires, douches, lavabos, éviers, machines à laver. Leur charge polluante est constituée de savons, de détergents, de graisses ( de cuisine) et aussi de phosphates en provenance certains produits de lessive. Les eaux noires sont celles issues de toilettes et qui charrient les urines et matières fécales. Elles peuvent être une nuisance pour la santé car elles véhiculent des maladies d'origine virale et bactérienne. Leur charge polluante est constituée des substances azotées (protéines de l'urée), de phosphore organique d'origine métabolique, et des résidus de médicaments (œstrogènes, antibiotiques, etc.).( **Audra, 2020** )

#### **I.2.3.2. Eaux usées agricole**

Il s'agit de rejets liquides agricoles issus du ruissellement d'eau d'irrigation qui entraîne des engrais, des pesticides, des herbicides ou des rejets organiques dus à un élevage important.

Les pollutions dues aux activités agricoles sont de plusieurs natures :

Apport aux eaux de surface des nitrates et des phosphates utilisés comme engrais. Et comme pesticides chlorés ou phosphorés, des désherbants, d'insecticides en région viticole, apport de sulfates de cuivre, décomposés arsénieux destinés à la protection des vignes.( **Richard, 1996** )

#### **I.2.3.3. Eaux usées industrielles**

Les eaux usées d'origine industrielles proviennent des différentes usines de fabrication ou de transformation. La qualité de ces eaux varie suivant le type d'industrie,

elles peuvent être chargées en matières toxiques difficilement biodégradables qui nécessitent un traitement spécifique. Les déchets et les effluents industriels définissent la qualité et le taux de pollution de ces eaux usées. Les établissements industriels utilisent une quantité importante d'eau qui tout en restant nécessaire à leur bonne marche, n'est réellement consommée qu'en très faible partie le reste est rejeté. On peut néanmoins, faire un classement des principaux rejets industriels suivant la nature des inconvénients qu'ils déversent :

- Pollution due aux matières en suspension minérales (lavage de charbon, carrière, tamisage du sable et gravier, industries productrices d'engrais phosphatés...).
- Pollution due aux matières en solution minérales (usine de décapage, galvanisation...).
- Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissages, pâte à papier...).
- Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, porcherie, produits pharmaceutiques...).
- Pollution due aux rejets toxiques (déchets radioactifs non traités, effluents radioactifs des industries nucléaires...).( **Mimeche, 2014**)

#### **I.2.3.4. Eaux usées pluviales**

Les eaux usées de pluie ruissellent, dans les rues où sont accumulées polluants atmosphériques poussières, détritiques, suies de combustion et hydrocarbure rejetée par les véhicules. Les eaux de pluies, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration ; sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique.( **Noureddine, 2017** )

#### **I.2.4. Caractéristiques des eaux usées**

##### **I.2.4.1. Paramètres physique**

Pour un bon traitement des eaux usées il faut connaître la quantité, la qualité et la variation temporelle de la composition de l'effluent. Pour cela certaines analyses sont utilisées pour mesurer la pollution de l'effluent :( **Laabassi, 2016**)

- **Température**

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification biologique. La nitrification est optimale pour les températures variant de 28 à 32°C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête pour des températures inférieure à 5°C.( **Hammadi, 2017** )

- **Matière en suspension (MES)**

Selon REJSEK (2002), la pollution particulaire est due à la présence de particules de grande taille, supérieure à 10µm, en suspension dans l'eau, et que l'on peut assimiler aux matières en suspension (MES). En fait, les matières en suspension ne sont des particules solides véritablement en suspension que dans des conditions moyenne d'écoulement des effluents correspondant à une vitesse minimale de 0.5 m/s.( **Abibsi, 2011** )

- **Conductivité électrique(CE)**

Elle est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la salinité de l'eau. La conductivité s'exprime généralement en micro Siemens par centimètre, et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime généralement en ohm par centimètre. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau sa mesure est utile car au-delà de la valeur limitée de la salinité correspondant à une conductivité de 2500µS/cm.(**Hammadi, 2017**)

- **Salinité**

Est la mesure de la quantité ou la concentration de la sels dissouts dans un volume donné d'eau. Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium ( $\text{Ca}_2^+$ ), de magnésium ( $\text{Mg}_2^+$ ), sodium ( $\text{Na}^+$ ), chlore ( $\text{Cl}^-$ ), sulfate ( $\text{So}_4^{2-}$ ) et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). Par ailleurs, tout modification intempestive de la salinité due à l'action de l'homme peut présenter un impact redoutables sur les biotopes aquatiques concernés.( **Kloppmann et al., 2011**)

### I.2.4.2. Paramètres chimiques

Les eaux usées contiennent différents produits chimiques sous diverses formes comme indique ci-dessous :

- **Potentiel d'hydrogène (pH)**

C'est un indicateur qui exprime l'acidité/alcalinité du milieu aqueux, car un excès d'acidité détériore la qualité de l'eau dans l'environnement, empêche la possibilité de vie aquatique et limite l'adéquation de l'eau à divers usages humains et économiques. Le pH est un facteur important pour déterminer le degré de solubilité et la présence de nutriments et de polluants, et la mesure du pH est l'un des tests les plus importants et les plus largement utilisés dans le domaine de l'analyse chimique de l'eau. La valeur du pH dans l'eau naturelle varie entre 6 et 9, et la plupart d'entre elles ont tendance à être alcalines en raison de la présence de carbonate, de bicarbonate, de minéraux alcalins. ( **بخيت، 2018** )

- **Oxygène dissous ( $O_{diss}$ )**

La concentration en oxygène dissous, constitue avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique.

L'oxygène dissous dans les eaux, provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plants aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs ; tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. ( **Merabet, 2010** )

- **Demande chimique en oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène nécessaire pour obtenir une oxydation complète des matières organiques et minérales présentes dans l'eau. Certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromate de potassium, en milieu acide en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium. ( **Rodier et al., 2005** )

- **Azote ammoniacal**

Pour désigner l'azote ammoniacal, on utilise souvent le terme d'ammoniaque qui correspond aux formes ionisée ( $\text{NH}_4^+$ ) et non ionisées ( $\text{NH}_3$ ) de cette forme d'azote.

L'ammoniaque constitue un des maillons du cycle de l'azote. Dans son état primitif, l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) est un gaz soluble dans l'eau, mais suivant les conditions de pH, il se transforme soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée ( $\text{NH}_4^+$ ). ( **Rejsek, 2002** )

- **Nitrite**

Les ions nitrite sont une étape de transition entre les ions nitrate et les ions ammonium dans le processus d'oxydation et de réduction eux, et que les ions nitrites présents dans les milieux aqueux résultent du retour des nitrates ou de l'oxydation des ions ammonium et il n'y a pas de source naturelle de nitrite. ( **Rodier, 1996** )

- **Orthophosphore**

Le phosphore dans les eaux usées se présente sous formes d'orthophosphore ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), de polyphosphates (phosphates inorganiques condensés), de phosphate organique (atomes de phosphore lié à la matière organique). Les phosphores minéraux (orthophosphore) présentent 60 à 80 % des phosphates totaux ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ). ( **Audra, 2020** )

### **I.2.5. Normes et concentrations admissibles**

Dans le cadre de la préservation de l'environnement et de la santé publique, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a imposé des normes permettant de déterminer les valeurs maximales de normes d'élimination des déchets industriels liquides ( Décret exécutif n° 93-160 du 20 Muharram, 1414 correspondant au 10 juillet 1993 réglementant les déchets liquides industriels) figurant dans le tableau ci-dessous :

**Tableau (01) :** (valeurs maximales des paramètres d'élimination des déchets des unités industrielles)

Métrique	Évaluer
Température	30°
Ph	6.5-8.5
MES	30 mg/L
Demande biologique en oxygène DCE	30 mg/L
Demande chimique en oxygène DBO <sub>5</sub>	90 mg/L
Azote N	50 mg/L
Phosphates PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	02 mg/L
Zinc	02 mg/L
Chrome	0.1 mg/L
Détergents	01 mg/L
Huiles et graisses	20 mg/L
Oxygène dissous	2-5 mg/L
Nitrite NO <sub>2</sub>	0.1 mg/L

### I.2.6. Traitement des eaux usées

Selon la nature ou l'importance de la pollution, différents procédés peuvent être mis en œuvre pour l'épuration des rejets en fonction des caractéristiques spécifiques de ces derniers et du degré d'épuration désiré. Il faut noter d'ailleurs que pour un même type de pollution, on peut envisager des solutions d'épuration diverses, le choix de celles à retenir doit faire intervenir non seulement des considérations d'ordre technique. ( **Rodier et al., 2009** )

#### I.2.6.1. Traitement primaire

Le traitement primaire se poursuit par l'élimination des particules denses ou abrasives. Ils regroupent les opérations suivantes :

- **Relevage**

L'eau brute arrivée sous pression par une conduite de refoulement à partir de réseau de la ville, l'eau chargée coule gravitairement dans un canal de 800 mm de large. Au moment où le débit se présente, on démarre une seule pompe de relevage.

- **Dégrillage**

Ce dégrillage prendra place dans un regard en tête de la station, après le poste de relevage. L'installation comporte :

- Une grille mécanisée, type inclinée.
- Une grille de by-pass à raclage manuel.

- **Dessablage-déshuilage :**

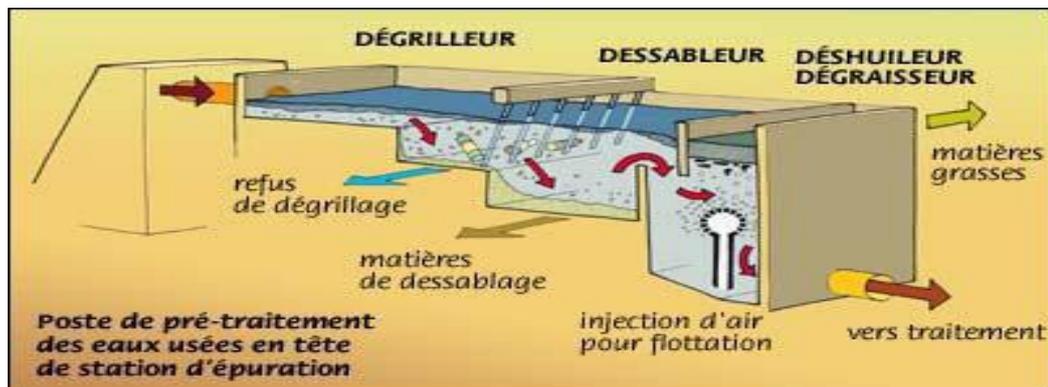
L'eau dégrillée passe dans dessableur-deshuileur aéré. L'aération du dessableur-deshuileur est assurée par 02 surpresseurs d'air.

Le sable décanté est évacué par une pompe à sable submersible portée par un pont racleur qui fait le "va-et-vient", il est évacué dans un container en acier galvanisé.

Les huiles sont piégées dans une zone de tranquillisation, elles sont raclées en surface pour être récupérées dans un container à huile. (STEP de Touggourt, 2022)

- **Décantation (précipitation)**

Au cours de cette étape, les eaux usées passent dans les bassins de sédimentation qui reçoivent une sédimentation préliminaire des particules lourdes par gravité et cette sédimentation permet l'élimination de 50% du contenu solide total des eaux usées et de 60% à 40% des particules lourdes solides.



Figure(01) : Etapes du prétraitement ( <http://www.caue60.com/aménagement-paysager/eau-et-amenagements/lesprincipes-de-base-de-lepuration-des-eaux-usées> )

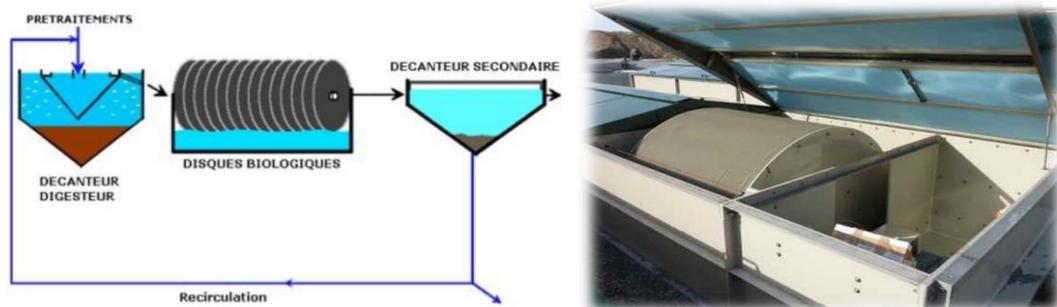
## I.2.6.2. Traitement secondaire (ou biologique)

### I.2.6.2.1. Traitement biologique intensifs

- **Disques biologiques**

Le procédé d'épuration par disques biologiques est un procédé par culture fixée.

L'eau circule à travers un bassin dans lequel des disques sont à moitié immergés. Ces disques assurent un support au développement de la biomasse et leur rotation lente autour d'un axe permet l'aération des cultures fixées. La performance dépend de la surface des disques et de la charge polluante appliquée. Ces systèmes sont plutôt adaptés aux petites Station d'Épuration (STEP). (Renou, 2006)

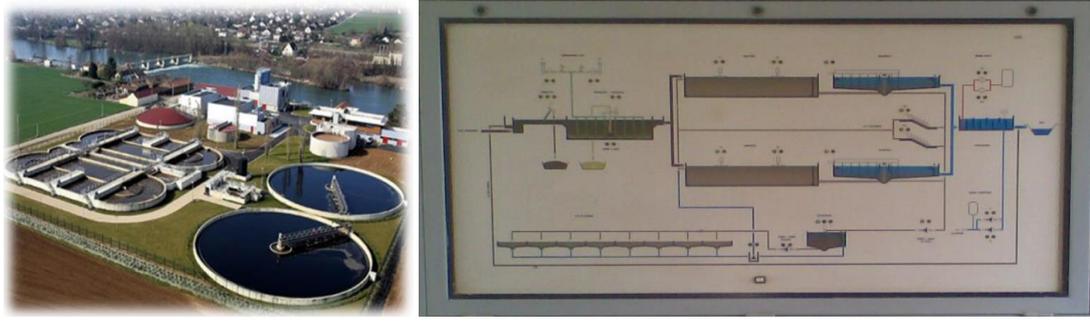


**Figure (02):** Traitement par disques biologiques (Chevalier, 2015)

- **Boues activées**

Sont les systèmes les plus répandus pour l'épuration des eaux usées. Cette filière est très connue et est très performante sur tous les types de pollution (que ce soit matières organiques ou nutriments). Le procédé consiste à alimenter, à brasser et à aérer (bassin d'aération) avec l'eau à épurer. Une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons se développe et forme avec l'eau usée une liqueur mixte ; après un temps de contacts suffisant, permettant la fixation et l'assimilation de matières organiques. Cette liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur (ou décanteur secondaire) dans lequel s'effectue la séparation de l'eau épurée et des boues.

Les boues décantées sont réintroduites en partie dans le bassin d'aération (recirculation des boues) pour maintenir un équilibre constant entre la quantité de pollution à traiter et la masse de bactéries épuratrices ; les boues excédentaires sont évacuées du système vers le traitement des boues. (Laabassi, 2015)



**Figure (03) : Traitement par boues activées (Chevalier, 2015)**

#### I.2.6.2.2. Traitement biologique extensifs

- **Lagunage**

C'est une méthode utilisée dans le traitement des eaux usées, qui dépend comme principe de base en travaillant sur l'écoulement et la lenteur de l'écoulement de l'eau. Pour implanter ce type de stations, il faut du terrain et de vastes surfaces qui permettent son implantation (c'est pourquoi ce type d'usine de filtrage est beaucoup utilisé dans le désert), car l'usine est constituée de grands bassins elle peut atteindre de 7 à 8 bassins ou plus, selon la capacité de chaque station d'épuration. Démarrer le procédé est une première étape de traitement (traitement physique), le même que celui utilisé dans les stations d'épuration des boues l'activateur où les excréments de grande taille éliminent le sable et l'huile de l'eau, puis l'eau passe dans des étangs (piscines), qui ils doivent être équipés de machines d'aération, afin de fournir les conditions appropriées pour les micro-organismes et les algues qui ils travaillent au démantèlement et à la destruction des polluants et des matières organiques transportés dans les eaux usées la grande taille des étangs permet également le dépôt de substances qui restent en suspension dans l'eau (boue), ainsi que de prolonger le séjour de l'eau dans l'eau.

Etangs pour être le résultat d'un traitement plus efficace, l'eau passe lentement d'un étang à l'autre et le même processus qui se produit dans les premiers bassins se trouvent dans les bassins suivants, pour amener l'eau au dernier bassin clair et traité. L'aération placée dans les bassins est l'activation de l'oxydation aérobie, et ce qui est frappant, c'est la petite taille et le nombre de ces machines par rapport aux bassins d'aération des stations de filtration à boues activées. (Renou, 2006)

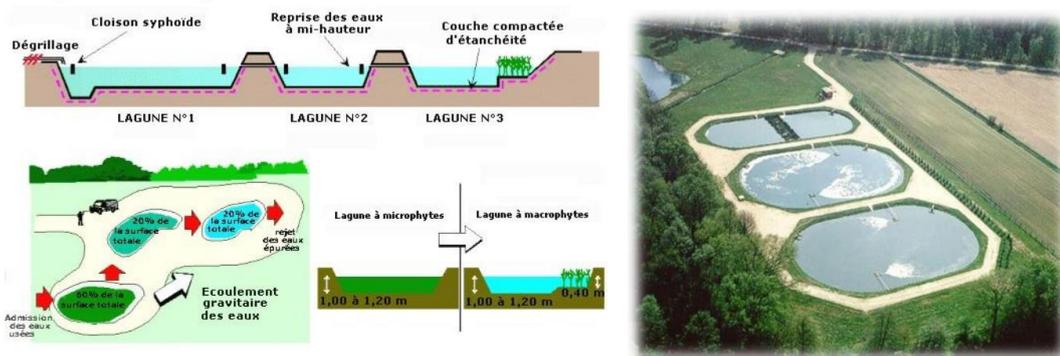


Figure (04) : Traitement par le lagunage (Chevalier, 2015)

- **Traitement par les plantes (phytoépuration)**

La méthode de traitement des eaux usées par les plantes est une technologie simple et bon marché qui élimine. L'eau est un polluant biologique sans ajout de produits chimiques qui polluent l'environnement, ce qui en fait une technologie non seulement propre mais productif car les terres utilisées pour l'épuration sont également utilisées pour la production de plantes d'une valeur économique raisonnable comme il se caractérise par sa simplicité, de sorte qu'il ne consomme pas d'énergie et n'utilise pas non plus de machines nécessitant une maintenance coûteuse. Il est utilisé dans les techniques traditionnelles.

L'eau pénètre dans les bassins qui sont plantés et contente des matériaux de remplissage. A ce stade, un traitement biologique est effectué en réduisant les niveaux de pollution par des mécanismes métaboliques mis en œuvre par la plante qui conduisent à l'élimination la séquestration ou l'analyse de divers polluants, comme le l'eau reste à l'intérieur de ces bassins pendant plusieurs jours, cela dépend du type de bassin pour le traitement. (العابد, 2015)

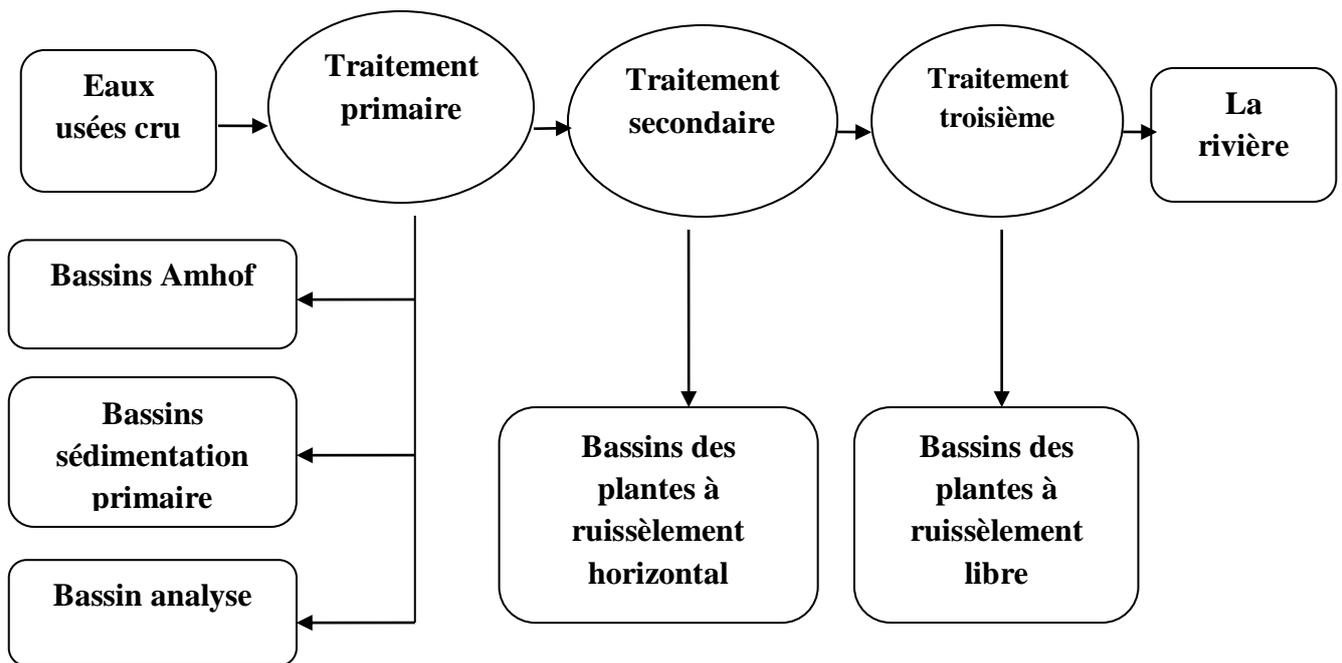
Traitement final l'eau traitée sort et l'utilise pour irriguer des espaces verts ou la déverser dans des plans d'eau. En raison de lien de ce type d'épuration avec le sujet, nous en parlerons en détail dans le deuxième chapitre.

**CHAPITRE**  
**2 :PHYTOÉPURATION DES**  
**EAUX USÉES**

### Introduction

Certaines études scientifiques sur le traitement naturel des eaux usées urbaines ont montré que le traitement par plantes est la meilleure méthode de traitement simple, bon marché et naturelle pour éliminer la pollution par les zones humides artificielles, et cela dépend de la fourniture des mêmes conditions que les zones humides naturelles, appelées le poumon de la terre, en raison de la capacité de traiter l'eau sale, grâce à l'activité et au grand rôle joué par les plantes et les microorganismes, ou ce système consiste en une épaisse couche de gravier ou de sable ou un mélange des deux, ou le milieu est toujours rempli ou saturé d'eau, (العابد، 2015) et les étapes de traitement débutent dans un système de bassins de collecte qui dans lequel les eaux sales traitées sont d'abord collectées, puis l'eau passe dans le bassin de l'usine, qui contient les matériaux de remplissage. Le traitement biologique est par la plante qui conduit à l'élimination, à la séquestration ou à l'analyse de divers polluants là où l'eau séjourne à l'intérieur de ces bassins pendant plusieurs jours, (جورجي، 2007) et cela dépend du type de bassin utilisé dans le traitement.

L'efficacité du réservoir d'eau traité par les plantes dépend du temps de séjour de l'eau à l'intérieur de cette unité, et le temps préféré pour que l'eau reste à l'intérieur de réservoir est de 4 à 5 jours, et il est donc souhaitable que le réservoir de jardin soit assez grand pour permettre à l'eau de rester le temps afin d'obtenir un traitement de haute qualité pour obtenir des résultats positifs, nous avons besoin d'une méthode de ventilation, qui augmente l'activité des micro-organismes dans le démantèlement des polluants et des matériaux biologiques.



**Figure (05):** Etape de traitement des eaux usées avec des plantes

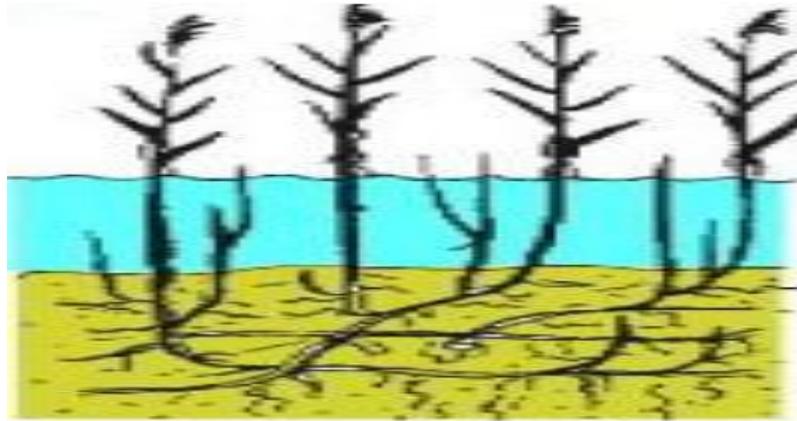
## II. Système de phytoépuration des eaux

### II.1. plantes aquatiques

Il existe différents types de plantes utilisées dans le traitement ont été classés en groupes et ces types sont résumés dans ce qui suit:

#### II.1.1. Macrophytes émergents

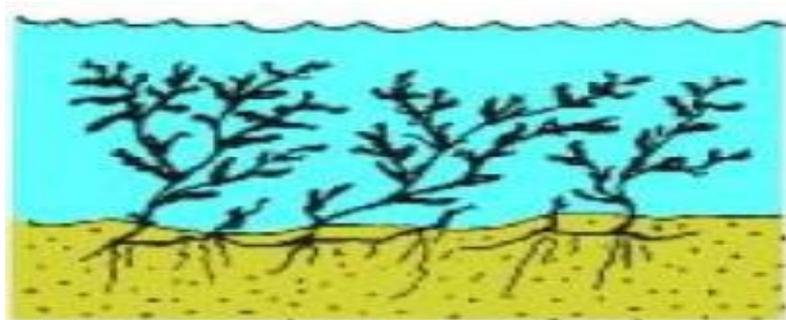
Qui sont tout ou partie de leurs organes végétatifs dépassant ou émergeant hors de la surface de l'eau, (AL-Mayah & AL-Hamin, 1991 ; AL-Mayah, 1994) par exemple les roseaux (*phragmites*) et une plante (*typha*).



**Figure (06):** Macrophytes émergents( Laabassi, 2016)

### II.1.2. Macrophytes submergés

C'est celle qui pousse entièrement sous la surface de l'eau ou parfois ses fleurs apparaissent en dehors de la surface de l'eau. Cette classe de plantes aquatiques est généralement submergée,(AL-Mayah & AL-Hamin, 1991 ; AL-Mayah, 1994)et comprend les espèces suivantes: *Cacomba caroliniana* (Fanwort), *Coratophylun spp(coontails)*, *Eggeria densa* (brésilienne).



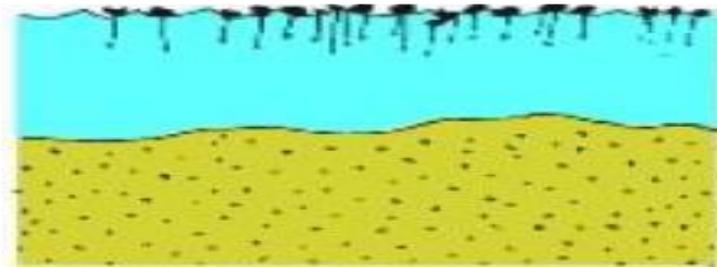
**Figure (07):** Macrophytes submergés( Laabassi, 2016)

### II.1.3. Macrophytes flottantes

c'est que tout ou partie de ses membres végétatifs flottent.(Rejsek, 2002)

**Plantes flottantes libres:** ce type de plante vit à la surface et a plusieurs types selon les conditions environnementales appropriées. La plante est souvent à la surface de l'eau et ses racines s'étendent dans l'eau. Ces racines sont soit courtes, soit un peu longues.( AL-Mayah & AL-Hamin, 1991 ; AL-Mayah, 1994) Des exemples de ce type sont: *Eichhornia crassipes*, *Lemnaceac*, *Water hyacinth*, *Weeds*.

**Plantes flottantes dont les racines s'enfoncent dans le sol:** ces plantes flottantes sont capables d'atteindre le fond par leurs longues tiges, ou leurs racines poussent dans le fond du bassin,( AL-Mayah & AL-Hamin, 1991 ; AL-Mayah, 1994) par exemple: *Potamogeton natans*, *Brassenis*, *Nyphra* or *Nymphaea*.



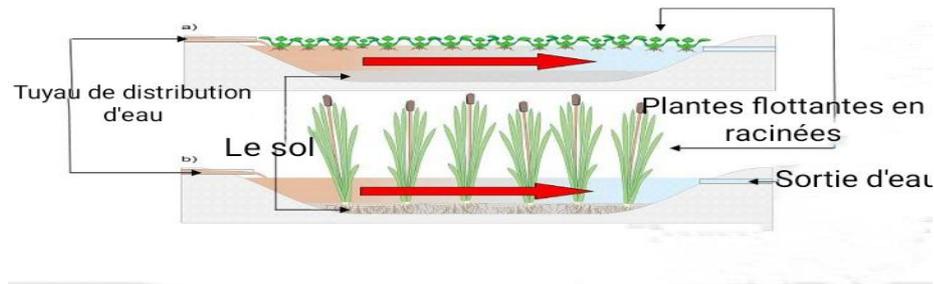
**Figure (08):** Macrophytes flottantes(Laabassi, 2016)

## II.2. Bassins des plantes

IL existe quatre systèmes utilisés dans le traitement des eaux usées(التركمانی، 2009):

### II.2.1. Bassins des plantes à ruissèlement libre

Ce sont les bassins dans lesquels les plantes avec des tiges plantées dans la couche supérieure des matériaux de remplissage et l'épaisseur de l'eau à l'intérieur du bassin est d'environ 40cm. Ces bassins contiennent des plantes aquatiques, y compris des plantes complètement immergées dans l'eau ou petites plantes sur la surface de l'eau avec des racines aquatiques, ou ces bassins sont utilisés comme étape de traitement un troisième consiste à éliminer les agents pathogènes dus à l'exposition de l'eau au soleil. Dans ce système, les polluants sont oxydés et une grande partie des métaux lourds sont éliminés, ce qui améliore la qualité de l'eau qui en sort. Par conséquent, les bassins à ruissèlement superficiel libre sont utilisés comme dernière étape de traitement( التركمانی، 2009) en raison des fortes exigences d'exploitation. Méthode est devenue moins utilisée.



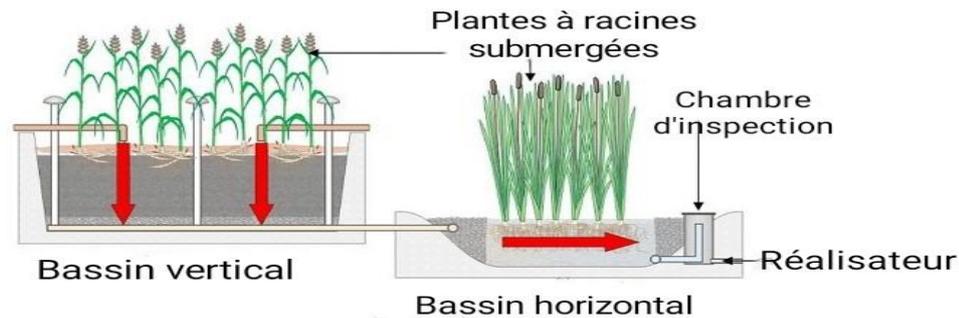
**Figure (09):** Bassin de traitement de l'usine de ruissellement libre( 2015 (العابد، 2015))

### II.2.2. Bassins des plantes à débit diversifié hybride

Le système hybride est une succession de bassins horizontaux et verticaux, auxquels s'ajoutent parfois des bassins de ruissellement libre.

Cette méthode a été utilisée dans un nombre limité de bassins aux États-Unis d'Amérique, en Allemagne et en France.( **Boutin, 1987**) Ce type de bassin est constitué de deux étage parallèles de bassins verticaux suivis de deux ou trois bassins horizontaux en séquence .L'intérêt de cette série est d'améliorer le processus de nitrification dans les bassins verticaux car ils sont aérés et le processus d'élimination de la nitrification dans les bassins horizontaux où l'absence d'oxygène nécessaire à ce processus.( **Fabio & Nicola, 2006** ) Le rendement de dénitrification est faible car les bactéries dénitrifiantes ont besoin de matière organique pour se développer et éliminer les nitrites car la plupart des substances se trouvent à la sortie du bassin vertical.

Il existe d'autres études qui ont été menées, notamment au Danemark (**Vyzamal et al., 1998**)où l'on retrouve une succession de bassins horizontaux suivis de bassins verticaux. Les bassins horizontaux fonctionnent pour élimines les matières horizontales en suspension et les matières organiques. Les bassins verticaux ont une meilleure aération qui fonctionne sur le processus de nitrification, puis recyclent à nouveau l'eau pour éliminer la dénitrification. L'un des inconvénients de cette méthode est qu'elle nécessite des pompes et une programmation.



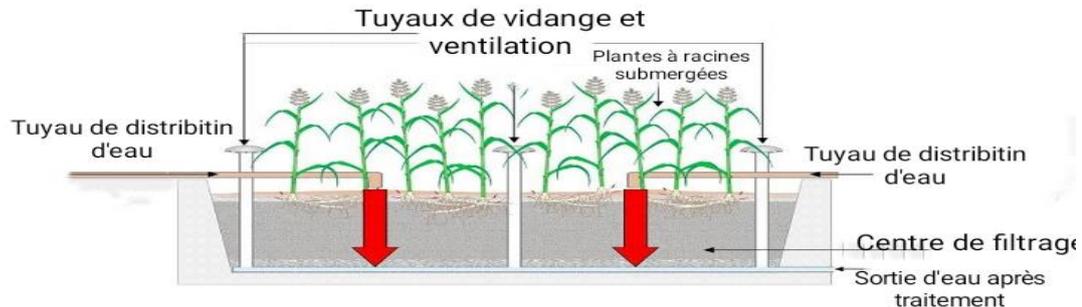
**Figure(10):** Bassin de traitement des plantes à ruissellement hybride( العابد، 2015 )

### II.2.3. Bassins des plantes avec ruissellement souterrain vertical

Ce sont des bassins remplis de gravier de manière homogène et contenant une couche supérieure de sable dans laquelle sont plantées des plantes aquatiques, comme le montre la figure (10). Selon des études menées en France par des chercheurs de l'organisme " Cemagraef ", ils utilisaient ces bassins en parallèle avec la méthode du sable et des plantes, et la méthode de plantation sous forme de cueillettes végétales(Liénard et al., 1990 ; Boutin et al., 1997 ) consistait à alimenter le bassin en eau en utilisant un pompe ou tuyaux du bassin de collecte des eaux usées brutes après élimination des substances lourdes en suspension, et cette méthode prend plus de temps, car le Dr Allemand Seidel a utilisé un bassin de filtrage vertical et quatre bassins de filtrage horizontaux, et les dernières plantes utilisées (Scirpes et iris), tandis que les chercheurs de l'organisme Cemagraef ont utilisé la même méthode avec une augmentation du bassin filtrant vertical.

L'eau traitée est collectée par un réseau de canalisations de drainage en aval ou par d'autres méthodes, y compris l'aération des canaux à partir de la surface directement ou à l'aide de pompes ou à travers des plantes, où elle absorbe l'oxygène de l'air au fond du bassin et le distribue par les racines. Le bassin est alimenté par intermittence afin que les espaces entre le milieu sableux ou graveleux pendant la période de repos retournent et remplir d'air, et donc l'oxygène nécessaire au processus de nitrification est disponible ou le processus de nitrification a lieu complètement dans ces bassin, cependant une petite partie du nitrate est convertie en azote gazeux anaérobie conduit à une diminution des odeurs ce système nécessite repos régulier afin de décomposer la matière organique fixée dans le média filtrant. La filtration est utilisée à l'aide de bassins à ruissellement vertical dans le cas d'eau très polluée. Le temps de séjour de l'eau dans des bassins verticaux est de plusieurs heures, et que le premier à utiliser la filtration verticale fut le scientifique

allemand Fields en l'an 1071, date à laquelle ce filtration était appelée filtration sur le terrain (Fields).



**Figure (11):** Bassin de traitement des plantes à ruissellement vertical( **2015**، العابد)

#### II.2.4. Bassins des plantes avec ruissellement souterrain horizontal

Sont des étangs uniformément remplis de sable grossier ou de gravier et de terre dans lesquels les plantes sont plantées. Les eaux usées entrent dans le bassin et occupent toute la surface du bassin au moyen d'un système distribué, situé devant l'entrée du bassin. S'écoule de manière horizontale, traversant les matériaux de garnissage et alimentant les bassins en de manière continue, les matériaux de garnissage restant toujours saturés d'eau. Lors du choix des matériaux d'emballage, la conductivité hydraulique doit être prise en compte.(Vymazal & Linka, 2008)La première utilisation de cette technologie est apparue en Allemagne en 1964, et le premier à utiliser cette méthode a été le scientifique allemand Kichuth. Ce système a été nommé d'après son nom. Cette méthode a été appliquée en Amérique en 1974, et elle a plusieurs utilisations. Il est utilisé pour la filtration secondaire des eaux usées de certains villages à faible densité de population après le processus de sédimentation, il est également utilisé en troisième étape après filtration biologique ou après bassin de ruissellement vertical ainsi que pour le traitement des eaux pluviales. Puis elle s'est déplacée en Europe, où cette méthode a été critiquée par les chercheurs car son application nécessite de vastes espaces et matériaux. Celui utilisé dans les médias filtrants n'est pas rétenteur d'eau.(Armstrong J & Armstrong W, 1990 ; Brix & schierup, 1990)

Cette méthode est apparue à l'aide de sable, mais elle n'est pas répandue.(Haberl & Perfler, 1990) Utilisation de gravier grossier et du sable fin ou grossier, qui donne de grandes surfaces sur lesquelles se développe la couche biologique de polluants du biofilm.

Et il souhaitable que la profondeur du bassin ne dépasse pas 1 mètre afin de garantir que l'oxygène atteigne les zones inférieures du bassin par l'accès de racines des plantes à ceci, car l'eau à l'intérieur de bassin est pauvre en oxygène, car il oxyde les sels minéraux et détruit la matière organique qu'il contient. (Armstrong J & Armstrong W, 1988 ; Brix & schierup, 1990)

Le ruissellement horizontal de eaux souterraines empêche la propagation des odeurs et des insectes, et ce type de système est très efficace pour éliminer les solides en suspension, la matière organique DBO<sub>5</sub> et les agents pathogènes.

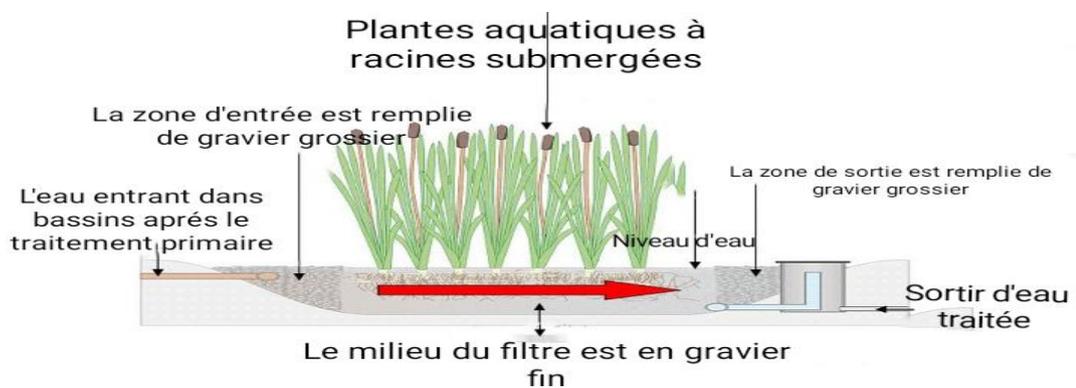


Figure (12): Bassin de traitement des plantes à ruissellement horizontal( العابد, 2015)

### II.3. Rôle des différents composants de filtre

#### II. 3.1. Rôle des matériaux de remplissage

La tâche principale des matériaux de remplissage est d'éliminer les matières en suspension dans les eaux usées et c'est pourquoi on les appelle le filtre. Cette caractéristique dépend souvent des propriétés hydrodynamiques, y compris la conductivité hydraulique dans le milieu saturé ou non saturé.

Le choix des matériaux de remplissage dépend principalement de l'objectif à atteindre, ainsi que de la qualité du milieu, saturé ou non, liée à la qualité et au principe du système de filtration vertical ou horizontal, ainsi que du type et de la taille du composants du matériau de remplissage, considéré comme essentiel au succès du bassin de traitement de l'usine. L'équilibre biologique est causé par les matériaux de remplissage et est lié à la vitesse d'écoulement de l'eau et à la durée du séjour de l'eau dans bassins. Dans les étangs peu profonds, le processus de placement des matériaux de remplissage est purement physique et facile, mais biologiquement complexe. (Lemore, 1984) D'où il a été conclu

que les interactions des sécrétions bactériennes peuvent se produire selon le métabolisme bactérien et le type de bactéries aérobies et anaérobies selon les conditions du milieu.

Les composants des matériaux de remplissage ont la capacité d'absorber le phosphore et les métaux lourds et cela est lié à la quantité de fer, d'aluminium et de calcium qu'ils contiennent et au temps que l'eau reste à l'intérieur du bassin. Cette capacité change en fonction des pores des matériaux de remplissage. (Mitchell & Nevo, 1964 ; Ronner & Wonga, 1964)

### II.3.2. Rôle de la plante

Les plantes ont plusieurs rôles directs et indirects:

**II.3.2.1. Rôle direct:** les plantes absorbent le phosphore et l'azote pour l'auto-utilisation ou le stockage en petite quantité pour une filtration complète, mais cela peut être plus important en cas de débit d'eau lent, et en cas de mort des plantes, toutes ces substances sont libérées dans le milieu, une surveillance continue du milieu de filtration doit donc être effectuée. Nous supposons que les plantes, au moyen de racines et de semi-racines, produisent des antibiotiques avec des substances inhibitrices (substances toxiques, "exudats" ) qui détruisent certains micro-organismes nuisibles. (Vincent *et al*, 1994 )

La dénitrification est liée à la quantité de biomasse formée, avec la même quantité de biomasse formée, on ne trouve pas de différence dans la quantité d'azote absorbée par la plante, la seule différence réside dans la production de biomasse, car plus il se forme de biomasse, plus le processus d'absorption d'azote. La qualité des plantes utilisées n'entre pas dans le processus d'épuration car le processus lui-même est physico-chimique et bactérien. L'importance des plantes réside dans le fait qu'elles ont la capacité de vivre dans des bassins d'épuration à ciel ouvert qui sont utilisés dans des zones à faible densité de population (villages isolés), avec un sol humide ou semi-humide, ce qui favorise leur croissance et a un rôle d'absorption des odeurs désagréables dans les bassins verticaux, la démolition aérienne démarre dès qu'il est alimenté en eaux usées brutes. Plus la durée de séjour des eaux usées dans les bassins est faible, plus les odeurs sont quasi inexistantes. (العابد، 2015 )

**II.3.2.2. Rôle indirect:** Les blocages sont évités dans les bassins à écoulement vertical, car le bassin est alimenté par la surface supérieure, et le mouvement du vent amène les plantes

à aider l'eau à pénétrer dans le bassin à travers les espaces créés par la tige de la plante à la suite de vibrations répétées dues à le vent les plantes favorisent la croissance des micro-organismes et donc la couche superficielle se sature rapidement de substances minérales. Les feuilles et les tiges des plantes immergées dans l'eau fournissent des surfaces pour la croissance de la biomasse sur elles. Les tissus des plantes immergées sont colonisés par des algues et des bactéries, ou les algues consomment des nutriments et fournissent de l'eau avec de l'oxygène dissous à la suite de la photosynthèse, et les bactéries digèrent les matières organiques. Les corps microscopiques attachés aux racines et semi-racines deviennent plus actifs pour décomposer la matière organique. Les chercheurs ont noté que quantité de bactéries présentes dans les endroits implantés est supérieure à celle des endroits non plantés.

Le scientifique **HOFMANN (Hofmann, 1990)** a prouvé dans certaines de ses recherches que ce processus peut éliminer les corps microscopiques (E. Coli) les feuilles et les tiges de la plante aident à fournir de l'oxygène aux bactéries à l'intérieur à travers les racines et les semi-racines (**Armstrong J & Armstrong W, 1988 ; Brix & schierup, 1990**) dans le hiver la quantité d'oxygène est faible lorsque les plantes sont dans un état d'inactivité l'oxygène est libéré par les racines fines. Mais ce procédé est meilleur dans les bassins d'épuration horizontaux.

La présence de plantes dans le bassin de traitement entraîne la distribution et la réduction de la vitesse du courant d'eau, ce qui contribue à garantir de meilleures conditions pour le processus de sédimentation des matières en suspension, et la partie supérieure de la plante au-dessus de la surface conduit à une réduction de la vitesse du vent près de la surface du sol ou de l'eau, ce qui à son tour crée des conditions propices à la sédimentation des solides en suspension et améliore l'élimination des solides dans les bassins de plantes à écoulement libre. Lorsque les plantes sont recouvertes de neige, elles forment une isolation thermique complète, et c'est ce qui protège le sol du gel, c'est une caractéristique très importante dans les bassins à ruissellement souterrain. (**2015، العابد،**)

Le tableau suivant résume le rôle des plantes au sein des plantes de phytoépuration:

**Tableau(02):** Rôle de plantes au sein des plantes des zones humides (stations d'épuration)  
(2015، العابد،)

Parties de plantes	Importance dans le traitement
<p style="text-align: center;"><b>Tissus végétaux entourés d'air atmosphérique</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduit la pénétration de la lumière dans l'eau, ce qui réduit la croissance des algues.</li> <li>- Isolation thermique du bassin, surtout l'hiver quand il fait froid réduire la vitesse du courant d'eau, ce qui contribue à garantir de meilleures conditions pour le processus de sédimentation des solides en suspension.</li> <li>- La partie supérieure de la plante aide à réduire la vitesse di vent prés de la surface sol ou eau, qui améliore l'élimination des matières en suspension, notamment dans les bassins, ruissellement libre.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Tissus végétaux imbibés d'eau</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les blocages sont évités dans les bassins à écoulement vertical, car le bassin est alimenté par la surface supérieure.</li> <li>- La vitesse du vent amène les plantes à favoriser l'entrée de l'eau dans le bassin par les espaces créés par la tige de la plante suite aux vibrations répétées.</li> <li>- Fournit une surface pour la croissance la couche biologique.</li> <li>- Il libère de l'oxygène dissous dans le</li> </ul>

	<p>milieu aqueux, ce qui augmente la décomposition aérobie des polluants.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommez des nutriments.</li> </ul>
<p><b>Racines et semi-racines (Gedmour ) dans le milieu filtrant ou le sol</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sécurisation de la végétation de la surface filtration ( sol ).</li> <li>- Il évite le colmatage du fluide dans les bassins à écoulement vertical.</li> <li>- Libération d'oxygène, qui aide à la nitrification.</li> <li>- Consommez des nutriments.</li> <li>- Libérant des antibiotiques.</li> </ul>

**II.3.3. Rôle des micro-organismes**

Les micro-organismes jouent un rôle critique dans la décomposition des polluants organiques, et l'apparition d'un processus de transformation des composés azotés. Les bactéries travaillent sur les processus d'oxydation réversible, ce processus produit l'énergie nécessaire à la synthèse organique, car il convertit les composés azotés et phosphoreux en substances minérales absorbées par la plant. Le deuxième rôle des bactéries est travailler sur le processus d'élimination et de production de nitrite, ou de le détruire, afin que les bactéries puissent jouer pleinement leur rôle. La décomposition de la matière organique par des corps microscopiques résulte de la quantité de biomasse, qui à son tous doit être détruite pour éviter l'apparition de blocages.

**II.4. Mécanismes d'élimination des polluants et efficacité des bassins de traitement des plantes**

La phytoépuration est une forme de traitement biologique, c'est-à-dire l'utilisation de certaines plantes qui ont la capacité de réduire les niveaux de pollution grâce à certains mécanismes métabolique mis en œuvre par la plante, ce qui conduit in fine à l'élimination, la séquestration ou l'analyse de divers polluants. Une technologie efficace qui a prouvé son efficacité et sa capacité à atteindre les spécifications souhaitées pour les eaux usées en réduisant le pourcentage de polluants et d'agents pathogènes et en atteignant les limites

autorisées pour l'utilisation de l'eau résultante, grâce aux plantes utilisées dans cette technologie, et à partir d'ici cette technologie peut être développée et ainsi développer le secteur des eaux usées.

Les mécanismes d'élimination sont liés à des systèmes physiques, chimiques, physico-chimiques mais aussi biologiques qui sont résumés dans le tableau ci-dessous.(العابد،2015)

**Tableau (03):** Principaux mécanismes d'élimination des polluants dans les bassins de plantes (العابد، 2015)

<b>Polluants</b>	<b>Mécanisme de retrait principal</b>
<b>Matière organique</b>	-Analyse biologique (catabolisme microbienne aérobie et anaérobie).
<b>Matières solides en suspension</b>	-Sédimentation physique, filtration physique, biodégradation.
<b>Azote</b>	- Nitrification et dénitrification biologique. - Processus d'absorption physique et chimique au milieu filtrant et par la plante.
<b>Phosphore</b>	-Processus d'absorption et physique et chimique au milieu filtrant et par la plante.
<b>Métaux</b>	- Absorption et échange de cations. - Formation de composés. - Précipitations d'absorption par la plante. - Oxydation et réduction par les micro-organismes .
<b>Agents pathogènes</b>	- Prédation biologique, mort naturelle, processus de sédimentation et filtration

	physique. - Sécrétion d'antibiotiques par la racine de la plante.
--	--

**PARTIE**  
**PRATIQUE**

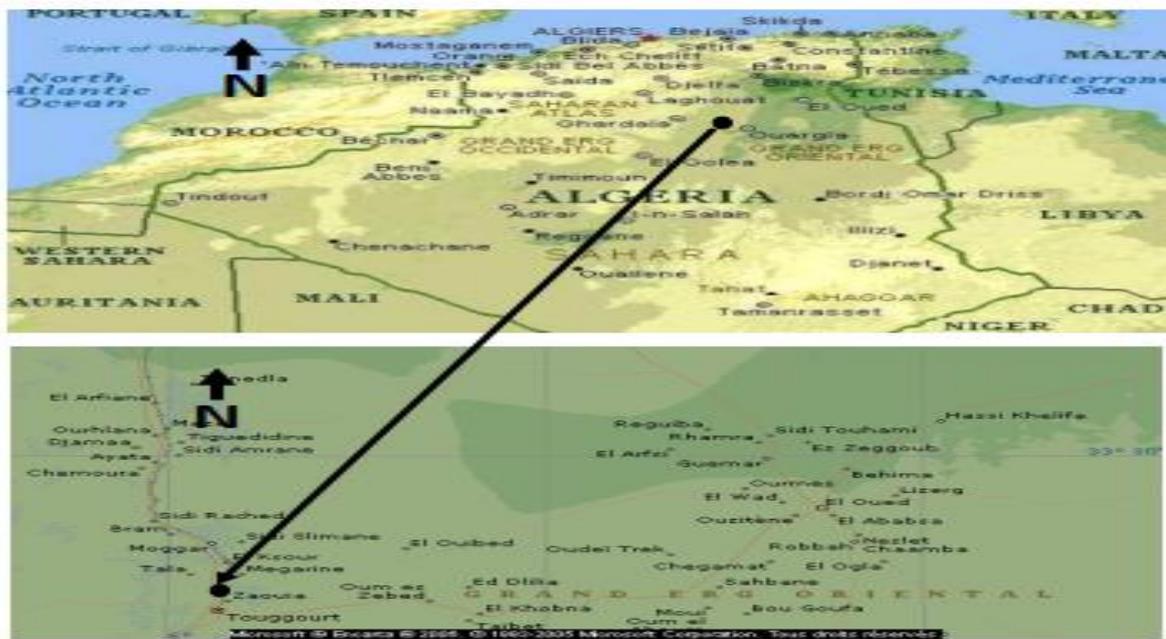
**CHAPITRE**  
**1 : MATÉRIELS ET**  
**MÉTHODES**

### I.1. Présentation du site d'étude (Touggourt)

- **Localisation astrologique :** la ville de Touggourt est située du Oued-Rugh à un carrefour entre :
  - Á 33,116° de latitude Nord.
  - 6.0783° longitude Est.
  - Á 55 mètres d'altitude. (ابن خلدون, 1983)
- **Localisation géographique :** Touggourt est situé dans la région orientale de l'Algérie, bordé par :
  - En venant du sud, la ville d'Ouargla sur la route nationale n°32 d'une longueur de 160 Km.
  - De l'est, la ville d'Oued-souf, sur la route nationale n°16, d'une distance de 95 Km.
  - Du nord, la ville de Biskra, sur la route nationale n°03, d'une distance de 220 Km.
  - Du sud-ouest la ville de Ghardaïa sur la route de Qarara et Berrian à 350 Km et la ville de Djelfa sur la route Massaad est à 380 Km et à 650 Km d'Alger. (ابن خلدون, 1983 ; الجيلاني, 1980)



Figure (13) : Situation géographique de la ville de Touggourt (Microsoft, 2006)



Echelle : 1/15000

**Figure (14):** Localisation de la zone d'étude pour le district de Touggourt, Algérie  
(Microsoft, 2006)

Touggourt est la capitale d'Oued-righ qui tourne sur la distance plus que 160 Km du sud au nord, entre village Goug et chott Melrhir et chott Marouan. La ville de Touggourt a une superficie totale de 481 Km<sup>2</sup>, (1999)1977 (قادي، بن محمد الساسي العوامر،)؛ le climat de cette région est très chaud et caractérisé par :

- Hiver très froid, car le gel se forme certains jours d'hiver.
- Été chaud et sec, humide, parce que la région est marécageuse et qu'un vent appelé Siroco souffle sur la région. ( 2015، العابد،)

## I.2. Présentation de la station d'épuration du Touggourt (ONA)

Touggourt est Localisée Comme Suite :

- Latitude : 33° 16' Nord.
- Longitude : 6° 04' Est. Située au Nord Est la wilaya d'Ouargla.

La station d'épuration des eaux usées de Touggourt est située à Ben Yassoued, dans L'APC Tebesbest, sur la route d'El-Oued elle s'étend sur une superficie de 5 Hectares.



**Figure (15) :** Photo de la station d'épuration de Touggourt(Step, 2022)

Elle a été mise en service le 20/11/1993, réhabilitée en 2003 et traite aujourd'hui une partie des rejets des eaux usées déversées par la ville de Touggourt.

L'étude a été ébeborée par le B.N.E.H (Bureau National Des Etudes Hydrauliques) et par S.E.E de Belgique (Société D'épuration Des Eaux) 1982.

N° de l'opération : 5.392.1.666.00.02. Intitulé de l'opération : assainissement de l'unité de Touggourt.

- **Réalisation Génie Civil:**

Entreprise de réalisation: HYDRO-TECHNIQUE (Issue De La Restructuration De SONAGHTER) .

- Délai d'exécution: 24 mois.
- Ordre de service: 04-02-1987.
- Début des travaux: Octobre 1987.
- Fin des travaux: 30-06-1989.
- Réception provisoire: 02-07-1989.

- **Equipements:**

- Entreprise nationale: HYDRO-TRAITEMENT Alger.
- Début des travaux: Janvier 1990.
- Fin des travaux: Septembre 1991.

- Mise en service : Novembre 1991.
- Coût total de projet: 57.705.973,40 DA.
- Réalisée dans le cadre du Programme Communal de Développement (PCD).
- Arrêt de la station dépuratoire : Décembre 1995.
- Réhabilitée en 2003.
- Mise en service : 24/02/2004.

L'exploitation et la gestionnaire par : Office National D'assainissement ONA :  
17/04/2005 Jusqu' à ce jour.



**Figure (16):** Positionnement de la station dans la commune de Tbesbest (**Google earth, 2014**)

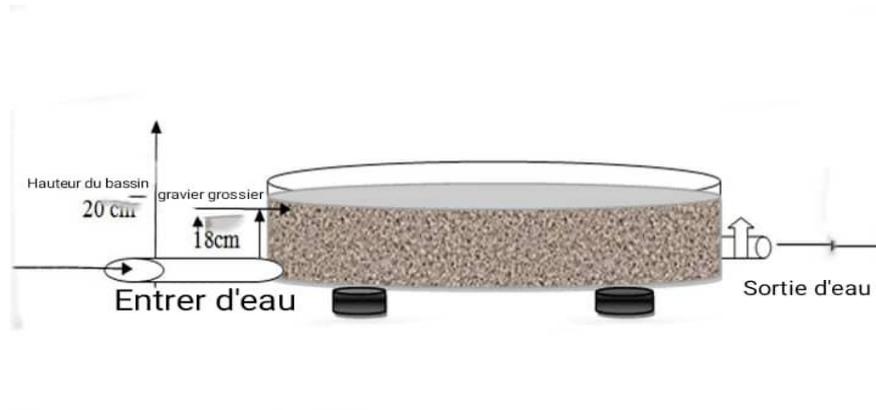
### **I.3. Protocole expérimental**

#### **I.3.1. Matériel expérimental utilisé**

L'engin expérimental est constitué d'auges circulaires d'une capacité de 52L remplies de bas en haut jusqu'à une épaisseur de 18cm Gravier (15/25 mm) planté de jeunes tiges

d'une plante particulière, avec une densité de (36) tiges/m<sup>2</sup>, Ce critère est issu d'études antérieures. (Abissy & MANDI, 1999 ; Tiglyene et al., 2005)

Une auge plantée de plante *Cyperus papyrus* et une auge plantée de plante *Juncus effusus* et l'autre non planté (en tant que témoin).



**Figure (17) :** Schéma montrant les composants du bassin de traitement à flux horizontal souterrain

Le processus d'alimentation des bassins en eaux urbaines résiduaires après le traitement primaire (traitement physique) avec 15 L par jour, en utilisant la méthode d'écoulement horizontal, à un débit régulier une fois par semaine, et l'eau obtenue après sa résidence 5 Jours dans le bassin Recueillis (ramassés) par un bol sous l'évier.



**Figure (18) :** Matériel expérimental d'occasion

### I.3.2. Propriétés physicochimiques des matériaux de garnissage utilisés

Il a un pH = 14.7, le pH est neutre et Conducteur électrique CE=3.88ms/cm.

### I.4. Plante utilisé

Cette station a été extraite du bassin type de traitement des eaux usées par des plantes (WWG) de Timasin, situé à proximité de l'ancien palais de Tmasin - Touggourt. Cette station a été achevée en 2007, sachant que c'était la seule station au niveau national et son but est de traiter les eaux usées urbaines, exploiter les eaux usées et les réutiliser pour l'irrigation. (العابد، 2015)

#### I.4.1. *Juncus effusus*

C'est une espèce végétale appartenant au genre *Juncus* de la famille des *Juncaceae*.

##### I.4.1.1. Classification scientifique

- Règne : *Plantae*.
- Embranchement : *phanerogams*.
- Classe :*Monocotylédone*.
- Ordre :*Juncales*.
- Famille :*Juncaceae*.
- Genre :*Juncus*.
- Espèce : *Juncus effusus*.



Figure (19) : Plante *Juncus effusus*

-Nom scientifique: *Juncus effusus*(Quezel & Santa, 1962 ; Kirschner, 2002)

##### I.4.1.2. Description de la plante

*Juncus effusus* est une plante herbacée vivace qui ressemble à une sauterelle, et se propage avec des murs, et a de nombreuses tiges à partir de la base cylindrique fin et dressé, *Juncus effusus* est décrit comme ayant une couleur rose. Reportez-vous à sa nature herbeuse et à ses bourgeons terrestres établis. Au début, la chaîne est un ensemble de bourgeons qui poussent dans un mouvement circulaire sous terre. Les racines broyées du

*Juncus* produisent des pousses florifères et stériles qui peuvent être que la hauteur de chaque plante atteigne 1,5 mètre dans les villes centrales, comme l'Angleterre et l'ouest de l'Irlande, dans les deux Bellacoride et Mayo. (Farrell & Doyle, 2003) Quant aux feuilles du basilic, elles ont tendance à être de couleur rouge-brun, les tiges poussent Les stries au sol sont horizontales avec une profondeur allant de (3 à 1,5 cm) sous la surface du sol, formant ainsi un tapis dense sous la surface de la terre, (Richards & Clapham, 1941) Le taux de croissance du rhizome est de 2 cm par an. (Agnew, 1961) Certaines des racines originelles poussent verticalement Entre (15-22,5) cm sous terre. Les pousses d'origine (souterraines) poussent généralement de manière significative en un mois mars (Richards & Clapham, 1941) et fleurit en juillet et août, (Webb et al., 1996) mais MaCarthy (Mccarthy, 1971) remarque la floraison de *Juncus effusus* à la mi-juin, dans la ville d'Oxford. Les bourgeons dressés peuvent Vivant en hiver, mais il subit quelques changements de couleur, il peut prendre du vert par endroits plus bas, et deviennent rougeâtres dans les parties supérieures de ces bourgeons. (Richards & Clapham, 1941; Grime et al., 1990 )

#### I.4.1.3. Utilisation de plante

*Juncus effusus* est utilisé pour réduire le pourcentage de minéraux dans les eaux polluées, (Kadlec & Knight, 1996) Il est également utilisé dans la fabrication de Bateaux dont une partie est mangée par les animaux et qui sert à purifier l'eau polluée dans les zones humides Pour préserver l'environnement de la pollution. (Ozenda, 1991 ; Quezel & Santa, 1962)



**Figure (20):** Plante *Juncus effusus* poussant autour des marécages( Google earth, 2014)

### I.4.2. *Cyperus papyrus*

C'est une espèce végétale appartenant au genre *Cyperus* de la famille *Cyperaceae*.  
(Larridon et al., 2011)

#### III.4.2.1. Classification scientifique :

- Règne : *Plantea*
- Embranchement : *phanerogams*
- Classe :*Monocotylédone*
- Ordre :*Cyperales*
- Famille :*Cyperaceae*
- Genre : *Cyperus papyrus*
- Espèce :*Cyperus*



Figure (21): Plante *Cyperus papyrus*

- Nom scientifique :*Cyperus papyrus* (Huygh et al., 2010 ;Tournay, 1950 ;Reynders al ., 2011)

#### I.4.2.2. Description de la plante

L'aspect que représente *Cyperus papyrus* est vert clair et doux, avec des tiges creuses en forme de faisceaux arrondis, jusqu'à 40 mm d'épaisseur et 5 m de long dans des conditions idéales. *Cyperus papyrus* se termine au sommet par un ensemble de sous-tiges vert clair et lustrées formant ce qui ressemble à un parapluie inversé,(Boulos, 2005) les sous-tiges s'étendent et se plient sous la pression de son poids, et c'est ce qui rend le creuset végétal prend une forme ovale en été, les tiges portent un ensemble de fleurs et en dernier un certain nombre de petits fruits de couleur brun noir,(Serag, 2003) sortent à l'existence par la glume (les tiges creuses sont attachées au rhizome Horizontal sous l'eau, qui à son rôle est relié aux racines d'origine). Habituellement, la partie jeune du rhizome est recouverte d'une croûte triangulaire de couleur rouge, qui tend à brunir. Cette croûte recouvre également les tiges creuses tardives, formant ainsi des feuilles incomplètes, et donc *Cyperus papyrus* ne peut pas être considéré comme sans feuilles. (Terer al., 2012)

La partie supérieure des tiges creuses est caractérisée par une couleur brune semi-papyreuse, qui se déroule sous le creuset végétal (Hakuno, 2005 ; Serag, 2003) La plante en grappe *Cyperus papyrus* a une souche idéale dont la longueur varie entre (2,5-1,2 cm) car sa capacité à vivre et à se développer nécessite la disponibilité de Lumière et température pas moins de 15°C. (2015 العابد،)

#### I.4.2.3. Utilisation de la plante

Dans l'Antiquité, les Égyptiens utilisaient le *Cyperus papyrus* à grande échelle, comme ils l'utilisaient dans la fabrication du papier et dans la décoration, et ils utilisaient la partie supérieure de cette plante comme une couronne placée sur la tête des dieux. (Owino & Ryan, 2006) Quant aux racines épaisses et ligneuses, on en fabriquait des pots et on fabriquait des barques de roseaux à partir des tiges verticales de la plante. (Owino & Ryan, 2006) Les tiges de *Cyperus papyrus* étaient également utilisées dans la fabrication de chaussures et d'habitations par les Égyptiens et certaines civilisations antiques. Ils utilisaient également cette plante comme aliment pour animaux et dans la fabrication de médicaments pour les animaux. (Dahlgren et al., 1985)

#### I.5. Analyse des résultats

L'étude a été menée sur une période de trois mois, de Février 2022 à Avril 2022. Pendant la période d'étude, des analyses ont été menées :

-Physicochimique au laboratoire de l'Office National de Désinfection Touggourt ONA.

Le travail de laboratoire au cours de ces travaux comprenait divers examens de l'entrée et de la sortie.

-Demande chimique en oxygène DCO - matières en suspension MES – Nitrite  $\text{NO}_2^-$ - orthophosphore  $\text{PO}_4^{3-}$  - Conductivité électrique CE - pH - Température T (C°) -  $\text{O}_{\text{diss}}$ .

Les résultats présentés pour chaque médiane représentent les valeurs moyennes mesurées obtenues à partir des bassins indépendants (plantés et témoin).

- **Rendement d'épuration :**

Nous avons déterminé l'efficacité de purification des médias mesurés par l'équation suivante :

$$R\% = \frac{C_E - C_S}{C_E} \times 100$$

**R:**Rendement d'épuration.

**C<sub>E</sub>** :Concentration du média dans les eaux usées entrant dans le bassin (mg/l).

**C<sub>S</sub>** :Concentration des médias présents dans les eaux usées sortant du bassin (mg/l).

## I.6. Paramètres physicochimiques

### I.6.1. Mesure de température

Pour mesurer la température nous avons utilisé un analyseur multi paramètres, Un appareil peut également être utilisé pour mesurer la conductivité et la salinité, et pour mesurer la température dans un milieu aqueux.



**Figure (22):** PH mètre pour mesurer la température

- **Méthode de travail:**
  - Allumer l'appareil.
  - On plonge l'électrode de l'appareil dans l'échantillon.
  - On lit immédiatement la température lorsqu'elle est stable sur l'appareil.

### I.6.2. Détermination des substances en suspension MES

-Nous prenons 10 ml d'eau distillée (témoin)et le mettons dans un tube calorimétrique, puis pour remettre le spectromètre à zéro.

-Nous prenons 10 ml d'échantillon et le mettons dans un tube calorimétrique, puis le mettons à spectrophotomètre DR3900.

-On lit le résultat directement sur l'appareil.

### I.6.3. Mesure de la conductivité électrique

La conductivité électrique a été mesurée avec un conductivimètre sension5.



**Figure (23):**Conductivimètre

- **Méthode de travail:**

- Nous connectons l'électrode de mesure de la conductivité à sa place désignée dans l'appareil.

- Laver le poteau avec de l'eau distillée.

-On insère l'électrode dans Becher contenant l'échantillon.

-On lit la valeur de la conductivité électrique directement sur l'appareil lorsqu'elle est stable.

#### I.6.4. Mesure de la salinité

La conductivité électrique a été mesurée avec un conductivimètre sension5 et même méthode de travail.

#### I.6.5. Mesure pH

Le pH a été mesuré par le pH mètre type de pH mètre sension1 et par la méthode (AFNOR, X31-103). (Afnor, 1983)

- **Méthode de travail :**

- Réglage de l'appareil.
- Allumer le pH-mètre.
- Laver l'électrode avec de l'eau distillée.
- On met dans une petite coupelle Becher une solution temporaire de 7 = pH.
- Réglez le shaker sur la vitesse la plus basse (basse vitesse).
- Insérez une électrode dans la solution tampon.
- Nous le laissons pendant une courte période jusqu'à ce qu'il se stabilise et que la demande d'introduction de la deuxième solution temporaire apparaisse sur l'appareil.
- On retire l'électrode, puis on la lave bien à l'eau distillée, puis on l'insère dans le godet Becher n°2 contenant une solution temporaire (pH=4 ou pH=10) selon la nature du milieu à mesurer.
- Retirez l'électrode de l'appareil et Lavez-le avec de l'eau distillée.



**Figure (24):** pH mètre pour mesurer le pH

- **Méthode de mesure du pH :**

- Nous prenons 100 ml de l'échantillon et le mettons dans une Becher.
- On met une électrode magnétique dans la cupule de Becher sur un mouvement faible.
- Insérez l'électrode de l'appareil dans Becher.
- Laissez-le jusqu'à ce qu'il se stabilise, puis lisez le résultat directement sur l'appareil.

### I.6.6. Mesure de la quantité d'oxygène dissous $O_{diss}$

L'oxygène dissous à l'intérieur de l'échantillon a été mesuré par la méthode ampérométrique selon (AFNOR T90-106 ; T90-106). (Afnor, 1983)

- Appareil de dosage Oxymétrie BPL Inolab.



**Figure (25):** Oxymètre

- **Méthode de travail :**

- Nous ouvrons l'appareil et lavons l'électrode de l'appareil avec de l'eau distillée.
- Nous prenons 100 ml de l'échantillon et le mettons dans une Becher.
- Trempez l'électrode de l'appareil dans un béccher et laissez-le jusqu'à ce qu'il se stabilise.
- Nous enregistrons depuis l'appareil les résultats (concentration - saturation – pression partielle d'oxygène) lorsqu'ils sont fixés sur l'appareil Calculez le résultat, la lecture est prise directement à partir de l'appareil.

**Tableau (04):** unités de mesure d'oxygène

Pression partielle d'oxygène	Taux de saturation en oxygène	Concentration en oxygène
Barre M	%	mg/litre

### I.6.7. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

Le DCO a été déterminé par la méthode d'oxydation par le bichromate de potassium en milieu acide en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure au moyen d'un appareil spectrophotomètre DR3900 par le réacteur par méthode Digestion.

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

- **Outils utilisés :**

- Support - bécher - pipette - eau distillée-spectrophotomètre DR3900.

-Générateur de chaleur Thermoréacteur.

**Figure (26):** Réacteur

- **Mode d'action :**

- Bien agiter la capsule contenant les réactifs afin de mélanger les précipités.
- A l'aide d'une pipette propre prélever 2 ml de l'échantillon et le verser sur la paroi interne du tube (capsule) contenant le réactif de manière à ce que la capsule soit inclinée.
- Bien fermer la capsule et bien secouer.
- Chauffer la capsule pendant 120minutes à une température de 148°C dans un Thermoréacteur.
- Retirer la capsule du Thermoréacteur et la laisser refroidir sur un support pendant 10 minutes.
- Après 10 minutes, bien agiter le tube (capsule) puis le laisser refroidir à température normale (temps de refroidissement environ 30 minutes ou plus).
- Une fois le temps de refroidissement terminé, nous mettons la capsule à l'intérieur du spectrophotomètre DR3900.
- Nous lisons la valeur DCO directement à partir de l'appareil, et le résultat reste stable pendant un certain temps, et le résultat est exprimé en (mgO<sub>2</sub>/ l).

#### **I.6.8. Détermination de la quantité de nitrite**

La quantité de nitrite a été déterminée par un spectrophotomètre DR3900 (méthode de diazotation).

- **Outils utilisés :**

- Spectrophotomètre DR3900.
- Tube colorimétrique (Cuvette colorimétrique) capacité 10ml, 20ml, 25ml.
- Becher d'une contenance de 50ml.

- **Interaction:**

- Réactif (Nitri ver 3), sous forme de sachet commercial pré-préparé.
- Eau distillée.

- **Mode d'action :**

- Nous prenons 10 ml de l'échantillon et le mettons à l'intérieur du spectrophotomètre DR3900.
- Verser le contenu du réactif dans le tube.
- Bien refermer le tube, bien agiter et laisser agir 15 minutes.

Nous prenons 10 ml d'eau distillée (témoin) et le mettons dans un deuxième tube Calorimétrique, puis versons le contenu du réactif, agitons bien, puis le mettons à l'intérieur Du spectrophotomètre DR3900.

- Nous mettons l'appareil à zéro.

- Après 15 minutes de réaction, on met le tube contenant l'échantillon à l'intérieur de l'appareil de mesure, puis on lit le résultat directement sur l'appareil.

#### **I.6.9. Détermination de la quantité d'orthophosphore $PO_4^{3-}$**

L'artrophosphate a été quantifié par un spectrophotomètre DR3900.

Selon la méthode Phos ver 3 (acide ascorbique).

- **Outils utilisés :**

- Appareil spectrophotomètre DR3900.
- Bécher.
- Tube colorimétrique (Cuvette colorimétrique) capacité 10ml, 20ml, 25ml.

- **Interactions :**

Réactif Phos Ver3 : sous forme de sachet commercial pré-préparé.

- **Mode d'action:**

- Nous prélevons 10 ml de l'échantillon et le mettons dans un tube colorimétrique.
- Nous ajoutons au tube le contenu du sachet Ver3 Phos.
- Bien refermer le tube, puis le secouer et le laisser réagir deux minutes.

- Pendant la période de réaction, on prépare un deuxième tube et on y ajoute 10ml d'eau distillée (le témoin) et on y ajoute Phos Ver3 Réactif.
- Placer le tube témoin sur l'appareil et mettre l'appareil à zéro.
- Nous prenons le tube contenant l'échantillon et le mettons à l'intérieur du spectrophotomètre DR3900.

Ensuite, nous lisons le résultat sur le spectrophotomètre DR3900 directement avec (l/mg).



**Figure (27):** DR 3900™ spectrophotomètre

**CHAPITRE**

**2 : RÉSULTATS ET**

**DISCUSSIONS**

### II.1. Caractéristiques des eaux usées utilisation pour l’nutrition des bassins

**Tableau (05) :** Valeurs moyennes des milieux mesurés pour les eaux usées urbaines utilisées dans nutrition des bassins lors du processus d’épuration au cours de la période d’étude

Paramètre	Nombre d'échantillons	Valeur Max	Valeur Minimum	Valeurs moyennes
O <sub>diss</sub>	6	1.95	0.34	1.03
T (c°)	6	26.7	20.2	23.87
PH	6	7.79	7.09	7.41
Conductivités	6	4.90	4.14	4.55
Salinité	6	2.5	2.2	2.27
MES	6	101	79	87.33
DCO	6	218	205	211.67
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	6	2.63	1.92	2021
NO <sub>2</sub>	6	0.269	0.243	0.25

Les résultats de traitement après séjour de l’eau dans les bassin en 5 jours, nous avons obtenu pour les deux types de plantes *Cyperus papyrus*, *Juncus effusus* et témoin des résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau (06) :** Valeurs moyennes des milieux mesurés pour l’eau traitée dans le bassins avec des plantes ,*Cyperus papyrus*, *Juncus effusus* et témoin lors du processus d’épuration durant la saison 2022

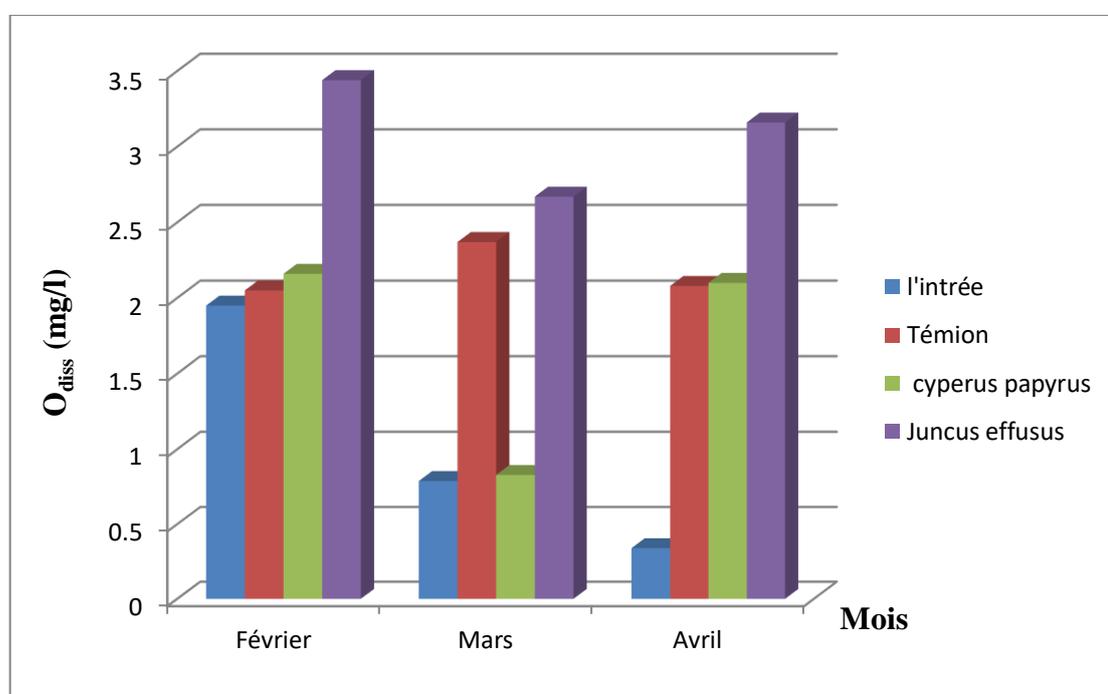
Paramètre	Nombre d'échantillons	Témoin	Bassin 01 <i>Cyperus papyrus</i>	Bassin 02 <i>Juncus effusus</i>
O <sub>diss</sub>	6	2.17	1.70	3.09
T (c°)	6	20.87	19.73	20
PH	6	7.51	6.87	6.69
Conductivités	6	6.85	9.49	16.82
Salinité	6	3.73	5.37	10.07
MES	6	6	14.33	10.67
DCO	6	64.67	78.07	66.1

PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	6	0.94	0.95	0.69
NO <sub>2</sub>	6	0.33	0.42	0.70

## II.2. Discutez des résultats

### II.2.1. Evolution de l'oxygène dissous (O<sub>diss</sub>)

D'après la figure (26), nous remarquons que les valeurs moyennes d'oxygène dissous augmentent dans les bassins traités par rapport aux eaux usées, où l'on remarque que les valeurs d'oxygène dissous évoluent entre la valeur la plus basse de 0.34mg/l au mois d'avril dans les eaux usées, et la plus grande valeur de 3.44 mg/l l'eau traitée dans le bassin de l'usine de *Juncus effusus* au mois de février.



**Figure (28):** Evolution dans le temps de l'oxygène dissous (O<sub>diss</sub>) de l'entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin

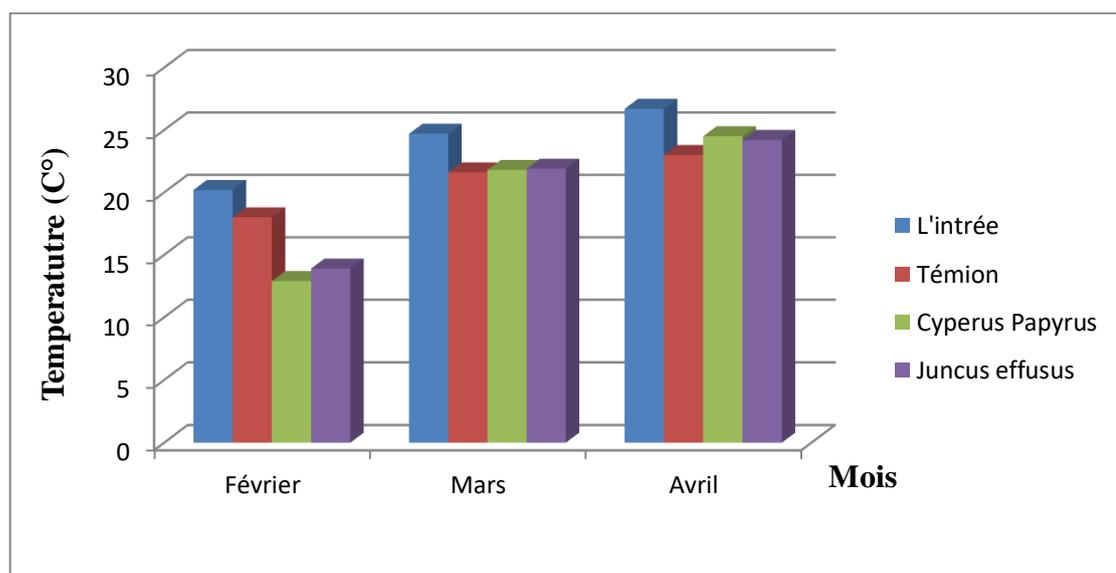
On constate que la valeur de l'O<sub>diss</sub> augmente progressivement dans les eaux usées où il prend la valeur la plus faible et traverse ce nombre énorme de micro-organismes (bactéries, champignons...) qui consomment une grande quantité d'oxygène pour l'exploiter dans leur travail et activité représentée dans les processus d'oxydation, en plus du degré élevé de turbidité qui a entravé la perméabilité de l'oxygène aérobie dans les eaux usées.

A travers cette étude, on constate que la quantité d'oxygène dissous dans les bassins traités est élevée par rapport aux eaux usées en général. Aussi, l'oxygène mesuré à l'intérieur des bassins est le résultat du métabolisme de la plante, ainsi que du transfert d'oxygène résultant de la diffusion de l'air. De manière générale, on constate que l'oxygène dissous évolue en fonction de la densité organique des eaux usées et de la profondeur des bassins traités. On note également qu'il existe une différence de quantité d'oxygène dissous pour les bassins plantés et le bassin non cultivé. (le témoin), en raison de la présence de végétaux qui transfèrent l'oxygène de l'air à l'intérieur des bacs depuis les feuilles vers les tiges puis les racines. (Jedicke *et al.*, 1989)

Les chercheurs ont remarqué que les jeunes plantes sont plus efficaces pour fournir de l'oxygène par leurs racines au fond du réservoir par rapport aux plantes plus âgées, qui ont une couche grasse sur leurs racines qui empêche la fuite d'oxygène. ( Jedicke *et al.*, 1989 ; Reddy *et al.*, 1989 )

### II.2.2. Evolution de la température (C°)

A travers la Figure (27), on remarque que les valeurs moyennes de température diminuent dans l'eau traitée dans différents bassins par rapport aux eaux usées, à travers les résultats obtenus à la figure (27), la valeur la plus élevée de 26.7 °C enregistrée dans le mois d'avril et la valeur la plus basse de 12.9 °C en février.



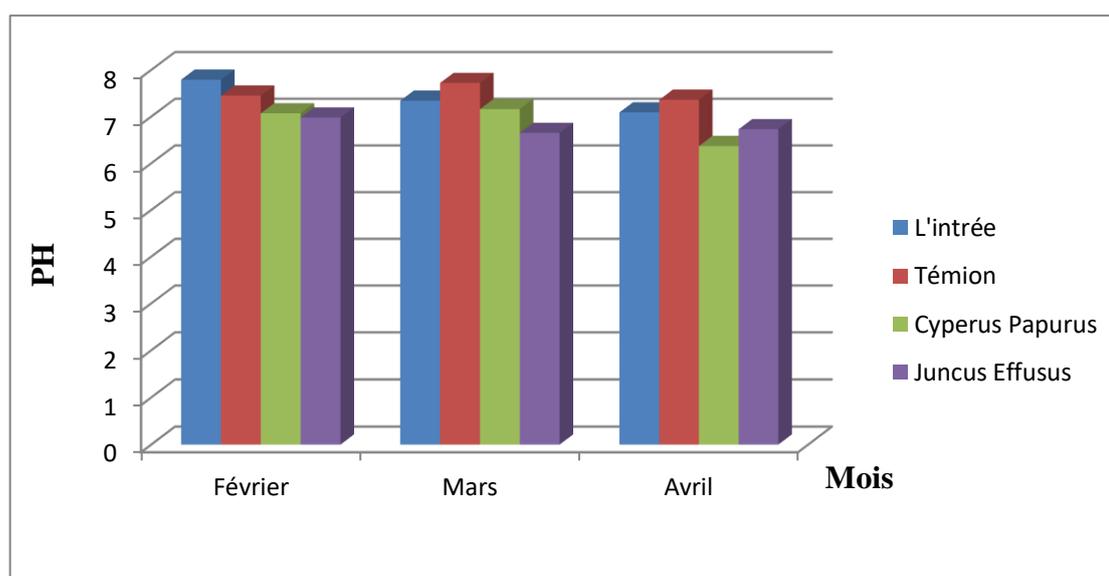
**Figure (29):** Evolution dans le temps de la température T(c°) de l'entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin

La diminution de la température dans les bassins traités s'explique par une diminution du nombre de bactéries et une diminution du nombre de bactéries réactions biochimiques.

Quant aux eaux traitées des bassins plantés et du bassin témoin, elles sont proches de la durée de la période d'étude au fond des bassins à une profondeur de 20 cm Cette différence de température n'affecte pas la sélection des microorganismes responsables de épuration.(Edeline, 1993)

### II.2.3. Evolution du pH

On note sur la Figure (28) que le pH moyen diminue dans l'eau traitée dans différents bassins par rapport aux eaux usées, il diminue d'un taux de 7.41 à 6.69 et 6.87 pour les bassins plantés avec des plantes *Juncus effusus* et *Cyperus papyrus* respectivement, et 7.51 pour le bassin témoin.



**Figure (30):** Evolution dans le temps du pH de l'entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin

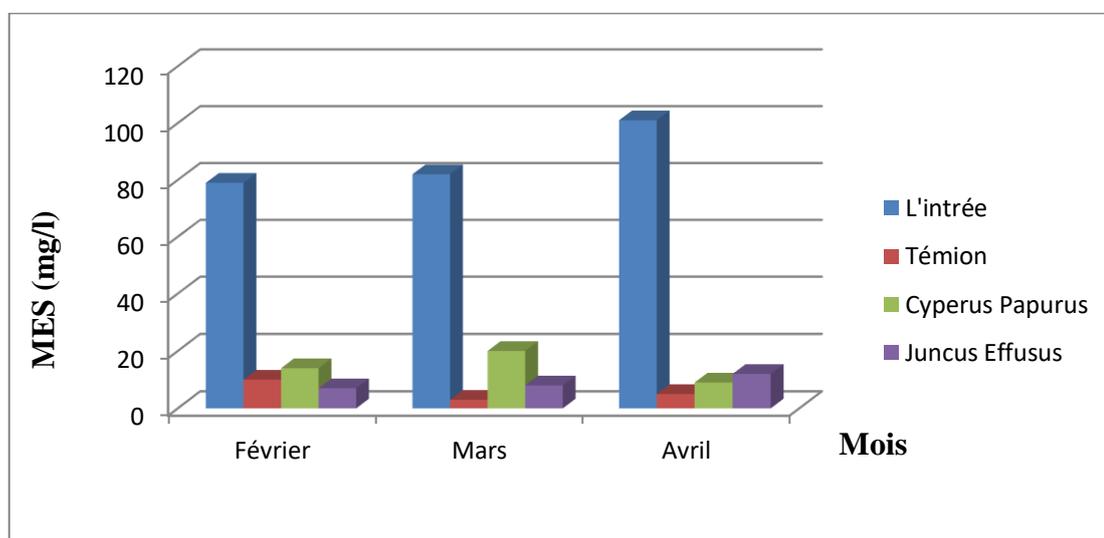
L'explication de la diminution du pH moyen dans les bassins d'élevage est due à plusieurs facteurs, dont l'oxydation des nitrites et du DCO.( Dommergues &Mangenot, 1970 ;Much & Kuschk , 2004 )

L'oxydation du DCO donne du  $\text{CO}_2$  qui à son tour conduit à l'acidité du milieu et l'oxydation des nitrites conduit à au nitrate, qui à son tour conduit à l'acidité du milieu, et la raison en est due à:

- Collecte d'hydrogène résultant de l'activité des bactéries responsables de la nitrification.
- Le  $\text{CO}_2$  est collecté suite au métabolisme des plantes ou à la dégradation de la matière organique par les bactéries.( **Attionu, 1976 ; Sridhar & Sharma, 1985** )
- Production d'ions  $\text{H}^+$ du côté de la plante pour remplacer une partie des cations impliqués dans la nutrition minérale de la plante.( **Bowes & Beer, 1987** )
- La production de certaines sécrétions (acides organiques) par les racines de la plante.( **Ndzomo et al., 1994** )

#### II.2.4. Evolution des matières en suspension (MES)

La figure (29), montre l'évolution des substances en suspension MES, entre la valeur minimale de 79 mg/l et la valeur maximale de 101 mg/l à raison de 87,33 mg/l dans les eaux usées urbaines, comme pour les eaux traitées, la valeur de MES est en le bassin planté avec la plante *Juncus effusus* 10,67 mg/l avec un rendement de 87,78%, et dans le bassin planté avec la plante *Cyperus papyrus* 14,33 mg/l avec un rendement de 83,59 %, et le bassin témoin était de 6 mg/l avec un rendement de 93.13% .

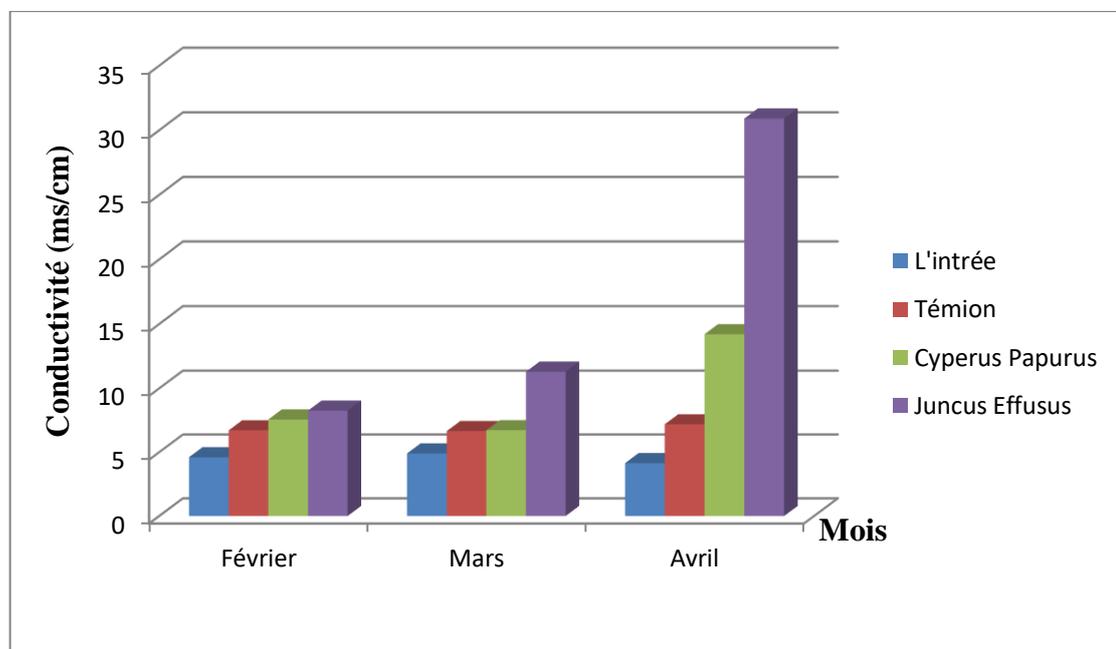


**Figure (31):** Evolution dans le temps des matières en suspension (MES) de l'entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin

La diminution de la concentration en MES dans les différentes eaux traitées est principalement due au traitement physique comme la filtration, (Sridhar & Sharman, 1985) où les matières grossières restent en suspension et les matières fines sont piégées dans les pores du filtre ou par réaction chimique Van Der waals. (Chachuat, 1998) L'eau traitée dans les étangs cultivés est plus turbide que l'eau traitée dans les bassins non cultivés (le témoin), ce résultat a été conclu par MOLLE P. (Molle, 2003) La cause de cette perturbation est causée par la plante plantée dans le bassin. La présence de racines et de rhizomes forme (se produit) des canaux dans les matériaux de garnissage, à travers lesquels les matériaux fins passent et apparaissent dans l'eau traitée. (العابدي, 2015)

### II.2.5. Evolution de la conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique de l'eau traitée dans les bassins plantés est toujours supérieure à la conductivité électrique de l'eau traitée dans les eaux non cultivées (témoins) et usées, Figure (30). Quant à la conductivité électrique du bassin non cultivé, l'évolution est la même avec les eaux usées. La conductivité électrique des eaux usées est de 4.55 ms/cm Quant aux bassins plantés des végétaux suivants, *Juncus effusus* (16.82ms/cm), *Cyperus papyrus* (9.49ms/cm), et pour le témoin (6.85ms/cm).



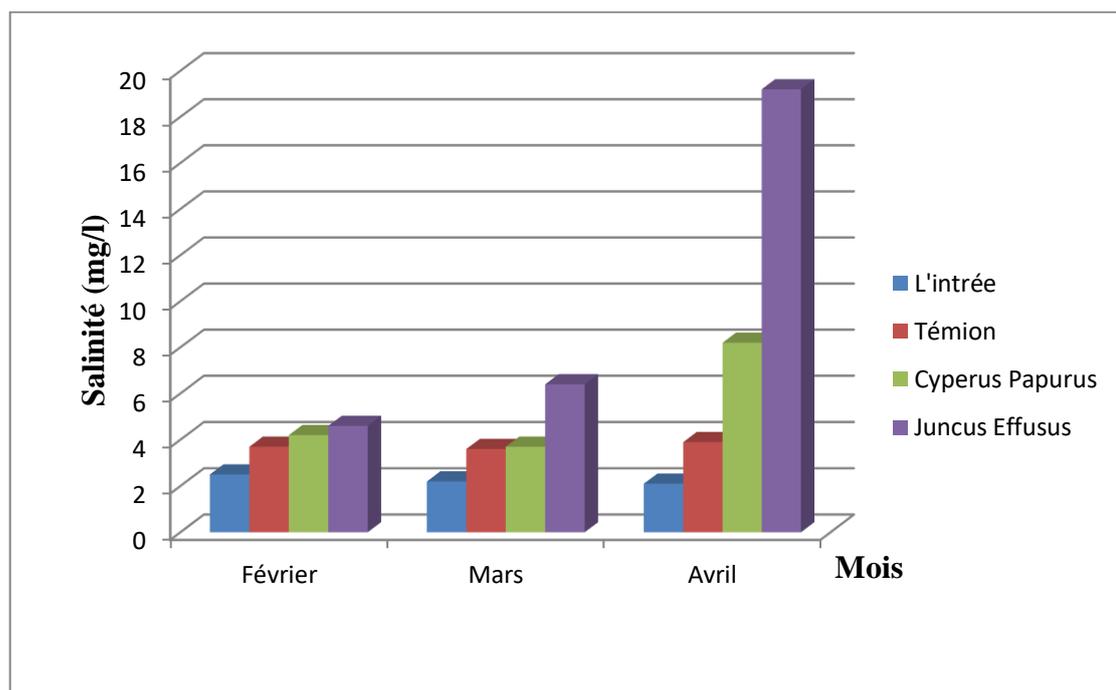
**Figure (32):** Evolution dans le temps de la conductivité électrique (CE) de l'entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin

L'analyse statistique a montré une différence contrastée entre le bassin planté en *Juncus effusus* et les deux bassins témoins plantés en *Cyperus papyrus*, et il n'y avait pas de

différence différentielle entre le bassin planté en *Cyperus papyrus* et le bassin témoin. La présence de faisceaux végétaux est à l'origine de l'augmentation de la conductivité électrique, et la cause de l'augmentation est également due à la transpiration et à l'évaporation des plantes, et conduit ainsi à la concentration du milieu. Dans l'interprétation de Ranjani K. (Ranjani, 1996), la raison de l'augmentation de la conductivité électrique est due à la transformation de substances organiques en substances métalliques, dans ce cas, nous nous attendons à ce que tous ces changements entrent dans l'augmentation de la conductivité électrique. (Finlayson & Chick, 1983)

### II.2.6. Evolution du Salinité

On remarque sur la figure (31) que les valeurs de salinité sont plus élevées dans l'eau traitée par rapport à avec de l'eau usée. Où il se trouve dans les eaux usées à un taux de 2.27mg/l, comme pour les bassins plantés de plantes *Cyperus papyrus* et *Juncus effusus* à un taux de 5.37mg/l, 10.07mg/l respectivement, et le bassin témoin à un taux de 3.73mg/l.

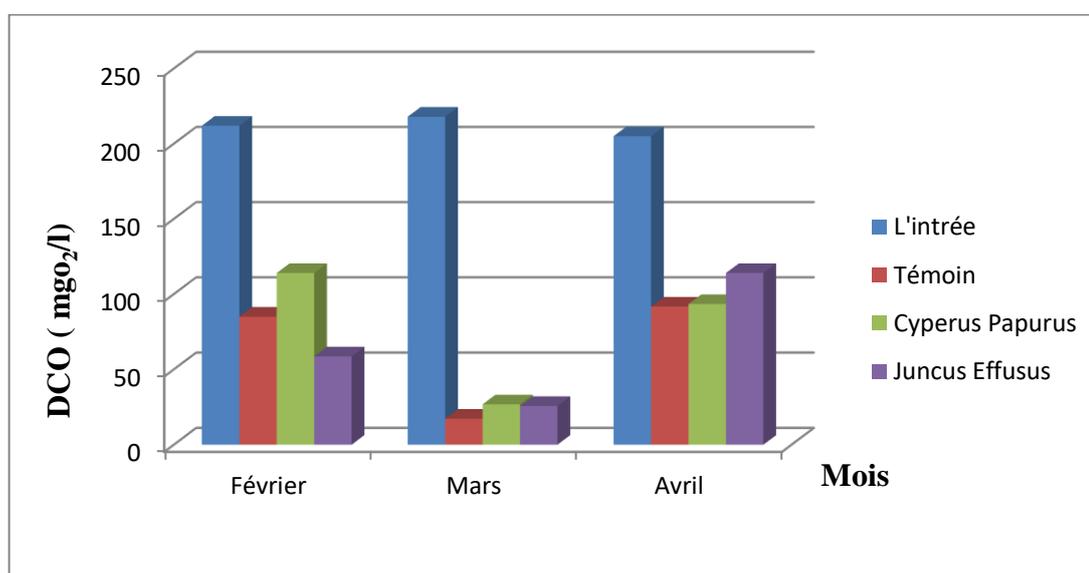


**Figure (33):** Evolution dans le temps du Salinité de l'entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin

La raison de la salinité élevée de l'eau est due à l'effet combiné des températures élevées, qui ont provoqué un taux d'évaporation élevé et une diminution des précipitations, ce qui a entraîné une diminution de l'approvisionnement en eau. (Noui & Taleb, 2011)

### II.2.7. Evolution de la demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène, DCO, dans les eaux usées varie entre 205 mg/l et 218 mg/l, et au cours de l'évolution temporelle de DCO sur la figure (32) Utilisé à un taux de 211,67 mgo<sub>2</sub>/l Comme pour l'eau traitée , valeurs DCO : 78,07 mgo<sub>2</sub>/l dans le bassin planté avec la plante *Cyperus papyrus* avec un rendement de 63.12 % et 66.1 mgo<sub>2</sub>/l le bassin planté avec la plante *Juncus effusus* avec un rendement de 68,77% et 64,67 mgo<sub>2</sub>/l dans le bassin non cultivé (témoin) avec un rendement de 69.45%.



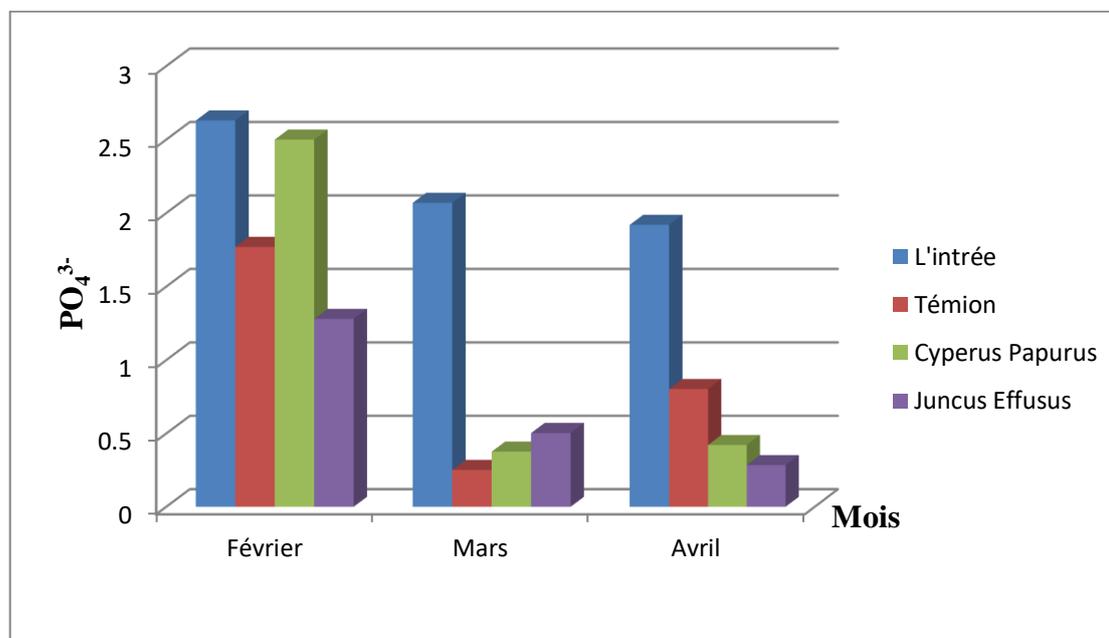
**Figure (34):** Evolution dans le temps de la demande chimique en oxygène (DCO) de entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin

Les bassins cultivés et le témoin ont donné de l'eau avec une concentration en DCO inférieure à l'eau utilisée, ceci est un résultat sur l'absorption physique des matières organiques dans les eaux usées dans le filtre et l'aération du milieu par des organismes bactériens. Ce bac planté a donné un meilleur rendement par rapport au bac non cultivé. Cette diminution est causée par la présence de la plante, qui fournit des conditions physico-chimiques qui fournissent de l'oxygène au milieu filtré à travers les feuilles jusqu'aux tiges, puis les racines et les rhizomes par des organismes bactériens qui provoquent l'oxydation du DCO. (Brix, 1994; Martens, 1982; Kroer, Barkay, Soerensens & Weber, 1998)

### II.2.9. Evolution de L'orthophosphore (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

On remarque sur la figure (33), en général, que la concentration de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> pour les eaux usées évolue avec le temps et est supérieure à la concentration de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> dans l'eau traitée, où

l'on trouve la concentration de  $\text{PO}_4^{3-}$  dans les eaux usées diminue au taux de 2.21mg/l Pour le bassin planté en *Juncus effusus* avec le taux 0.69mg/l rendement 68.79% et pour le bassin planté en *Cyperus papyrus* au taux 0.95mg/l rendement 57.01% et pour le bassin témoin 0.94mg/l avec le rendement 57.47%.

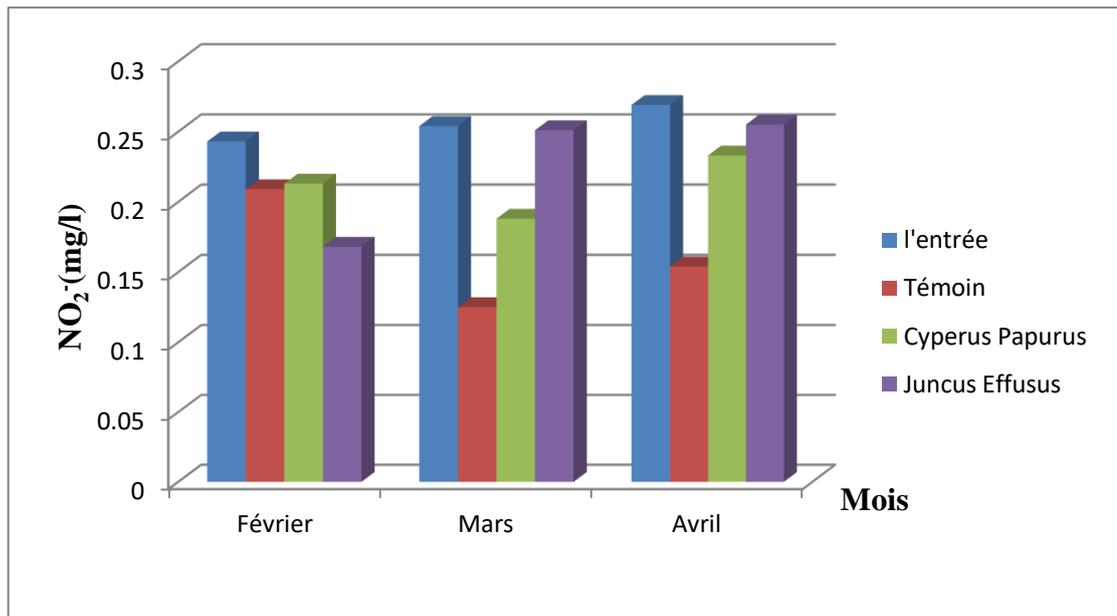


**Figure (35):** Evolution dans le temps de L'orthophosphore ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) de entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin

La concentration d'orthophosphore dans l'eau traitée dans tous les bassins est causée par l'absorption de  $\text{PO}_4^{3-}$  dans le filtre, ainsi que la qualité du gravier qui aide à absorber le  $\text{PO}_4^{3-}$ . (Jetens, Wagner, Fuerst, Vanloosdresht, Kuenen & Strous, 2001 ; Jetens, 2002) L'élimination élevée d'orthophosphore dans le bassin cultivé est causée par l'interaction des bactéries et des plantes et l'absorption de  $\text{PO}_4^{3-}$  par la plante pour ses besoins physiologiques. (Drizo, 2002 ; Molle, 2003)

### II.2.8. Evolution de Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ )

Grâce à l'évolution temporelle du nitrite  $\text{NO}_2^-$  dans la figure (34), la concentration de nitrite  $\text{NO}_2^-$  dans les eaux usées change avec le temps, et elle est supérieure à la concentration de  $\text{NO}_2^-$  dans l'eau traitée où la concentration de  $\text{NO}_2^-$  à 0.38 mg/l dans les eaux usées diminue et 0.22mg/l dans le bassin planté avec la plante *Juncuseffusus* avec un rendement 42.10 % et 0.21 mg/l dans le bassin planté avec *Cyperuspapyrus* avec un rendement 44.73% , 0.16 mg/l pour le bassin témoin avec un rendement 57.89%.



**Figure (36):** Evolution dans le temps de Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) de entrée et de la sortie des bassins plantés et de témoin

La différence d'élimination de  $\text{NO}_2^-$  entre les bassins plantés et le témoin est causée par la présence de la plante aquatique qui a la propriété d'absorber l'oxygène de l'atmosphère et qui est transférée par les feuilles puis les tiges jusqu'aux racines et rhizomes..( **Chachuat, 1998 ;** ) Cet oxygène active les bactéries qui convertissent le nitrite  $\text{NO}_2^-$  en nitrate  $\text{NO}_3^-$  dans la zone racinaire. Ce processus est appelé nitrification. ( **2015, العابد,** )

# CONCLUSION

## Conclusion

Notre travail démontre clairement la capacité des plantes, *Juncus effusus*, *Cyperus papyrus* pour l'épuration des eaux usées uniquement pour : la pollution organique, où le taux d'élimination du DCO a atteint 68.77%, la pollution particulaire MES a atteint 87.78%, la pollution par les nitrites organique, où le taux d'élimination de  $\text{NO}_2^-$  a atteint 44.73%, la pollution par le phosphore organique, où le taux d'élimination du  $\text{PO}_4^{3-}$  a atteint 68.79%. Les résultats obtenus ont montré que le pourcentage d'activité varie d'une plante à l'autre, et que la plante *Juncus effusus* a une grande efficacité dans le traitement, et elle est considérée comme une plante avec une activité remarquable, la plus en croissance et la plus stable, car elle a donné une meilleure résultats en termes de performances et de capacité à éliminer les matières en suspension (MES), et les orthophosphore ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) par rapport à l'autre plante *Cyperus papyrus* dont le taux d'élimination des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) est plus important. En ce qui concerne les milieux physiques, la capacité de filtration des bassins infusés était plus élevée à partir d'étangs non plantés (témoin). L'objectif de cette étude est de montrer la performance des plantes cultivées dans l'épuration des eaux usées urbaines, en climat semi-aride, en dotant les bassins d'un écoulement souterrain horizontal, où cinq jours d'eau à l'intérieur des bassins suffisent à éliminer polluants d'une manière acceptable. Les résultats obtenus ont clairement montré une réduction significative des principaux types de pollution : pollution organique par les nitrites et le phosphore dans des proportions importantes, et les plantes ont montré une adaptation et une coexistence utiliser cette eau dans le climat semi-aride de la région. Malgré les différences climatiques (températures, vent et pluie) durant la période d'étude, ces stations ont donné de bons résultats en termes d'épuration et les températures étaient proches dans la profondeur des bassins. Les deux usines ont prouvé leur efficacité et leur capacité à atteindre les spécification souhaitées pour l'épuration des eaux usées en réduire le pourcentage de polluants et atteindre les limites autorisées pour l'utilisation des eaux issues des bassins de phyto-épuration en agriculture (arrosage des arbres, des fruits et des céréales), qui ont la capacité de résister la salinité de cette eau sans recours à des solutions chimiques et à moindre coût par rapport aux autres techniques de traitement.

RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES

## Références

1. **Abibsi N. 2011.** réutilisation des eaux usées épures par filtres plantes (phytoépuration) pour l'irrigation des espaces verts application à un quartier de la ville de Biskra. Mém de magister. Unvi de Mohamed Khider. Biskra.
2. **Abissy M, Mandi L. 1999.** Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines, cas du roseau. Rev, sci, eau 12/2. Ppp 285- 315
3. **Afnor. 1983.** Recueil de normes françaises : eau, méthodes d'essai, 2ème édition. Paris
4. **Agnew A D Q. 1961.** The ecology of *Juncus effusus* L, in North Wales. J, Ecol, 41 pp 83-102
5. **AL-Mayah A A. 1994.** The aquatic plants of the marshes of southern Iraq marinsci cent. 18. PP 127-143
6. **Al-Mayah AA, Al-Hamin F I, 1991.** Aquatic plants and the Algae. University of Basrah ( in Arabic). PP 699-701
7. **Armstrong J, Armstrong W. 1988.** *Phragmites australis*-preliminary study of soiloxidising sites and internal gas transport pathways. New Phytol. 108. PP 373-382
8. **Armstrong J, Armstrong W. 1990.** Pathways and mechanisms of oxygen transport in *phragmites australis* ( Cav). Trin ex Streud. In : constructed wetlands in water pollution control. P. F. Cooper and B. C. Findlter ( Eds). Pergamon press. PP 529-534
9. **Attionu R H. 1976.** Some effects of water lettuce ( *Pistia stratiotes* L ). On its habitat. Hydrobiologia. 50 (3). pp 245-254
10. **Audra PH. 2020.** Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes « Cas de l'université Kimpa d'Uige / Angola ». Thèse de doctorat. Contrôle, Optimisation et Prospective. Univ côte d'Azur. .p 39.
11. **Boulos L. 2005.** Flora of Egypt, volume 4, Monocotyledons Alimataceae-Orchidaceae, Cairo: Al Hadara Publishing, Cairo Egypt. p 617
12. **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
13. **Boutinc C, Liénard A, Esser D. 1997.** Development of a new generation of reed-bed filters in France: First results. Wat. Sci. Tech. 35 (5). PP 32-315
14. **Bouziani. 2000.** L'eau de la pénurie à la maladie. Édition Iben Khaldom.
15. **Bowes G, Beer S. 1987.** Physiological plant processes : photosynthesis. Aquatic plant for water treatment and resource. Recovery. Deddy K Ra and Smith W h, Orlando. Mangnolia Publiching Inc. pp 311-335

16. **Brix H, Schierup H H. 1990.** Soil oxygenation in constructed reed beds : the role 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
17. **Brix H. 1994.** Function of Macrophytes in Constructed Wetlands. Wat. Sci. Tech. 29 (4). pp 71-78
18. **Chachuat B. 1998.** Traitement d'effluents concentrés par culture fixes gravier. Rapport de DEA. Engees-Cemagref. p 118
19. **Chivalier G. 2015.** Conception d'un station de traitent des eaux usées dans une commune rurale. Univ François – Rabelais Tours. France. pp 24-26
20. **CIEH ( Comité inter-africain d'études hydrauliques ), 1993.** « Étude comparative des systèmes d'épuration collectifs dans le contexe africain». CIEH. Ouagadougou, Burkina Faso. P 66.
21. **Dahlgren R M T, Clifford H T & Yeo P F. 1985.** The families of the Monocotyledons. Structure, evolution and taxonomy. Speringer. Berlin. pp 179- 182
22. **Dommergues Y, Mangenot F. 1970.** Ecologie microbinne du sol. Paris. Masson et Cie. p 796
23. **Drizo A, Comeau Y, Forget C & Chapuis R P. 2002.** Phosphorus saturation potential : A parameter for estimating the longevity of constructed wetland systems. Env. Sci. Tech 36. pp 4642-4648
24. **Edeline F. 1993.** L'épuration biologique des eaux théorie & technologie des réacteurs. Liège, Cebedoc Editeur . p 303
25. **Fabio M, Nicola M. 2006.** Constructed wetlands for the Mediterranean coutries. Hyprid systems for water reuse and sustainable sanitation. Italy. PP 14-18
26. **Farrell C A, Doyle G J. 2003.** Rehabilitation of industrialcultaway Atlantic blanket bog in county Mayo, North-west Ireland. Westland. Ecol, Manage. 11:pp 21- 35
27. **Finlayson CM, Chick A J. 1983.** Testing the potential of aquatic plants to treat abattoir effluent. water Res. 17 (4). pp 415-422
28. **Grime J P J, Hodgson G & Hunt R. 1990.** Comparative plant ecology. Unwin Hyman. London. pp 216.
29. **Haberl R, Perfler R. 1990.** Seven years of research work and experience with wastewater treatment by a reed bed system. In : constructed wetlands in water pollution control. P. F. Cooper and B. C. Findlater (Eds). Pergamon press. PP 215-214
30. **Hakuno D. 2005.** Medicinal plants and phytomedicines. In : The Cultural History of plants.( consulting Editor: Ghillean Prance, Scientific Editor: M, Nesbitt). Taylor and Francis. New York. Routledge. pp 205-238

31. **Hammadi B. 2017.** Lagunage aéré en zone aride performances Epuratoires, Paramètres Influent. Cas de la région de Ouargla. Thèse de doctorat. Univ Kasdi Merbah. Ouargla. PP 5-7-8-9-44.
32. **Hofmann K. 1990.** Use of Phragmites in sewage sludge treatment. In :Constructed Wetlands in Water Pollution Control. P.F. Cooper and B. C. Findlater (Eds), Pergamon Press. pp 269-277
33. **Huygh W, Larridon I, Reynders M, Muasya A, Govaerts R, Simpon D & Goetghebeur P. 2010.** Nomenclature and typification of names of genera and subdivisions of genera in Cyperaceae (Cyperaceae): 2. Names of genera of Cyperus clade, Taxon, Volume 59, (8) 6, Number 3, pp 1883- 1890
34. **Image, Cnes Astrium. 2014.** Google earth
35. **Jedicke A, Furch B, Saint P U & Schlueter U B. 1989.** Increase in the oxygen concentration in Amazon waters resulting from the root exudation of two notorious water plant, *Eichhornia crassipes* ( *Pontederiaceae* ) and *Pistia stratiotes* ( *Araceae* ). Amazoniana 11 (1). pp53-70
36. **Jetens M S M. 2002.** Aerobic and ammonia oxidizing bacteria competitors or natural partners. FEMS Microbiol. Ecol 39 (3). pp 175-181
37. **Jetens M S, Wagner M, Fuerst J, Vanloosdresht M, Kuenen G & Strous M . 2001.** Microbiology and application of the anaerobic ammonium oxidation ( anammox ) process. Current Opinion in Biotechnology 12 (3). pp 283-288
38. **Kadlec R H, Knight R L. 1996.** Treatment wetlands. CRC Press Inc. Boca Raton, FL. P 893
39. **Kirschner J. 2002.** Juncaceae3: *juncus subg, agathryon*, in: Orchard, A, E. ed, Species Plantarum: Flora of the world. Canberra. pp88- 94
40. **Kloppmann W, Bourhane A, Asfirane F.2011.** Méthodologie de diagnostic de l'origine de la salinité des masses d'eau. Rapport final. Emploi des outils géochimiques, isotopiques et géophysiques. France. pp 14-35
41. **Kroer N, Barkay T, Soerensens S & Weber D. 1998.** Effect of root exudates and bacterial metabolic activity on conjugal gene transfer the rizophers of marsh plant. FEMS Microbiol. Ecol. 25. pp 375-384
42. **Laabassi A. 2016.** L'épuration des eaux usées par le système de lagunage à Macrophytes. Thèse de doctorat. Biotechnologie Végétale. Univ Ferhat Abbas Sétif 1. Algérie. p 1-5-23-30-32

- 43. Langevin J, Lefevre R, Toutant C.1997.** Histoires d’eaux tout ce que il faut savoir sur l’eau et l’hygiène publique. Editions berger, Montréal. ISBN 2-9214116-13-1. pp 157-159.
- 44. Larridon I, Huygh, Reynders M A, Muasya A, Govaerts R, Simpson D & Goetghebeur P. 2011.** Nomenclature and typification of names of genera and subdivisions of genera in Cyperaceae (Cyperaceae): 2. Names of subdivisions of Cyperus, Taxon, Volume 60, (17), Number 3, pp 868- 884
- 45. Lemore C.1984.** colmatage et décolmatage des tranchées d’épandage en assainissement autonome. Thèse de doctorat. Univ de Paris Val de Marne- École Nationale des Ponts et Chaussées. Paris. p 93
- 46. Liénard A, Boutinc C, and Esser D. 1990.** Domestic wastewater treatment with emergent hydrophyte beds France. In: onstructed wetland in water pollution control (Adv. Wat. Pollut. Control n° 11). P. F. cooper and B.C. Findlater ( Eds ). Pergamon press. PP 183-192
- 47. Martens R. 1982.** Apparatus to study the qualitative relationship between root exudates and microbial population in the rhizosphere .*soil. bio. Biochem.* 14. pp 315-317
- 48. Mccarthy J. 1971.** Investigations into juncus species in Ireland. M, Agr. Sc, thesis, University College Dublin. pp 20-25
- 49. Mekkaoui Y, Hamdi D. 2006.** Etude de réutilisation des eaux usées traitées de la STEP de Touggourt dans l’irrigation. Mém. Ing. Génie des procédés. Génie de l’environnement. Univ. D’Ouargla. p 60.
- 50. Merabet S. 2010.** Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun. Mém de magister chimie analytique. Univ mentouri de constantine. pp 4-5-9
- 51. Microsoft, Encarta. 2006.** Microsoft, corporation tous droits réservés
- 52. Mimeche L. 2014.** Etude de faisabilité 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. Hydraulique. Univ Mohamed Khider. Biskra. p 34
- 53. Mitchell R, Nevo Z. 1964.** Effect of bacterial polysaccharide accumulation on infiltration of water through sand. *Appl. Microbiol* 12. pp 219-223
- 54. Moole P. 2003.** Filtres plantés de roseaux : limites hydraulique et rétention du phosphore. Thèse de doctorat. Univ Montpellier II. p 217
- 55. Moussa Haidar CH. 2014.** Evaluation de la qualité de l’eau du bassin supérieur de la rivière du litani, liban : approche hydrogéochimique. Thèse doctorat. Géosciences. Univ de Lorraine. France. p 60-61

- 56. Much C, Kuschk P.2004.** La stimulation racinaire de l'élimination de l'azote concerne-t-elle des zones limitées ou l'ensemble d'un marais artificiel. Ingénieries N° spécial2004. pp 5-11
- 57. Ndzomo G T, Ndoumou D O & Awah A T. 1994.** Effect of  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ , and  $Pb^{2+}$  on  $H^+$ /  $K^+$  fluxes and excised *Pistia stratiotes* roots. *Biologia Plantarum Prague*. 36 (4). pp 591-597
- 58. Nora N. 2017.** Contribution a la réduction du Cr (VI ) par voie biologique. Effet del'azote etdu carbone. Thèse de doctorat. Univ des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf. Oran. pp 17-18.
- 59. Noui M, Taleb R. 2011.** Caractéristiques physico-chimiques et niveau trophique d'un plan d'eau saumâtre (Lac Méggarine ). Mém d'ingénieur d'état. Univ d'Ourgla. P 19
- 60. Owino A O, Ryan P G. 2006.** Habitat associations of papyrus specialist birds at three papyrus swamps in western. Kenya. *Afr, J, Ecol* 44 pp 438- 443
- 61. Ozenda. 1991.** Flore de sahara (3 édition mise à jour et augmenté). Paris édition du CNRS, p 136- 137
- 62. Quezel P, Santa C. 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. C, NRS. 2vol. p184
- 63. Ramade F. 1982.** Éléments d'écologie ( écologie appliquée ) Mcgraw-Hill. Pris. p 372.
- 64. RanjaniK, Kneidinger CH Riosr, Salinas N, Soto G & Duran-DE-Bazua C. 1996.** Treatment of maize processing industry water by constructed wetlends. Proceeding of 5<sup>th</sup> International conference on wetlands system for water pollution control. Vol. 1. Vienna. Sept. pp 9, 15-19
- 65. Reddy K R, D'Angelo E M & Debusk T A. 1989.** Oxygen transport through aquatic macrophytes: The role in Wastewater treatment. *J. Environ, Qual*. 19. pp 261-267
- 66. Références**
- 67. Rejsek F. 2002.** Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques. CRDP d'aquitaine. PP125-255
- 68. Renou S. 2006.** Analyse de cycle de vie appliquée aux systèmes de traitement des eaux usées. Thèse de doctorat. Génie des procédés et des produits. Univ Lorraine. France. p 21
- 69. Reynders M, Huygh W, Larridon I, Muasya A, Govaerts R, Simpon D & Goetghebeur P. 2011 .** Nomenclature and typification of names of genera and subdivisions of genera in Cypereae (Cyperaceae): 3. Names of segregate gener of *Cyperus*, *Taxon*, Volume 60, (11), Number 3, pp 885- 895
- 70. Richard C . 1996.** Les bactéries, les hommes et les animaux. Collection option bio. Paris. p 82.

- 71. Richards P W, Clapham A R. 1941.** *Juncus L*, Biological flora of the British Isles. Journal of Ecology, 29. pp 362-391
- 72. Rodier J, Legube B, Marlet N & Coll. 2009.** L'analyse de l'eau. 9<sup>e</sup> édition. Ed. Dunod. Paris. p 1475
- 73. Rodier J. 1996.** L'analyse de l'eau ( chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats ) DUNOD Paris. 8<sup>e</sup> édition. Paris. pp 36-63
- 74. Ronner A B, Wonga 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
- 75. Satin M, Selmi B. 1995.** Guide technique de l'assainissement : Evacuation des eaux usées et pluviales conception et composant des réseaux, épuration des eaux et protection de l'environnement, exploitation et gestion des systèmes d'assainissement. ISBN 2-281-1152-0. Edition le moniteur. Paris. pp 75-86.
- 76. Serag M S. 2003.** Ecology and biomass production of *Cyperus papyrus L.* on the Nile bank at Damietta Egypt. Journal of Mediterranean Ecology, 4, pp 15-24
- 77. Sridhar M k C, Sharma B M. 1985.** Some observations on the oxygen changes in lake covered with *Pistia stratiotes L.* Water Res 19 (7). Pp 935-939
- 78. Terer T, Triest L & Muasya AM. 2012.** Effects of harvesting *Cyperus* in undisturbed wetland Lake Naivasha Kenya. Hydrobiologia, 680, pp 135- 148
- 79. Tiglyene S, Mandi L & Jaouad A. 2005.** Enlèvement du chrome par infiltration verticale sur lits de *Phragmites australis (Cav)*. Steudel, rev, sci, eau 18/2. Ppp 177-198
- 80. Tournay R. 1950.** La nomenclature et la synonymie des sous-espèces de *Cyperus L.* Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique. Tome 82. p 345
- 81. Vincent G, Dallaires S & Lauzer D. 1994.** Antimicrobial properties of roots exudates of three macrophytes : *Mentha aquatic L*, *Phragmites australis (Cav)* Trine and *Scirpus lacustris L.* proceeding of the 4<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Guangzhou, China. pp 290-296
- 82. Vymazal J, Lenka K, 2008.** Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow. PP 203-322
- 83. Vyzamal J, Brix H, Cooper P F, Green M B, Haberl R. 1998.** Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe. Backhuys publ. Leiden. 76. PP16-17-18
- 84. Webb D A, Parnell J & Doogue D. 1996.** An Irish flora. Dundalgan press, Dundalk. p 337

## مراجع باللغة العربية

1. إبراهيم العابد. 2015. معالجة مياه الصرف الصحي لمنطقة تقرت بواسطة النباتات منقية محلية. أطروحة دكتوراه. كيمياء عضوية تطبيقية. جامعة ورقلة. ص 1، 12، 18-22
2. إبراهيم بن محمد الساسي العوامر. 1977. الصروف في تاريخ الصحراء و سوف. الدار التونسية للنشر. القاهرة. ص 81
3. أميرة محمد بخيت. 2018. دراسة كفاءة نبات القصب (*Phragmites comminus (australis)*) في تنقية مياه الصرف الصحي. جامعة دمشق. ص ص 23-24
4. البيئة والتنمية. 1997. المجلة البيئية الإقليمية الأولى في العالم العربي . المجلة الثانية. عدد 7
5. التركماني عبد الرزاق. 2009. محطات المعالجة بالنباتات. دليل تخطيط وتصميم و تنفيذ محطات المعالجة بالنباتات. شبكة خبراء المياه السوريين. ص ص 22-28
6. جورجيسيم ماهر. 2007. تحليل و تقويم جودة المياه. دار نشأة المعارف جلال حزي و شركاءه . ص 121
7. السعداني عبد الرحمان، السيد عودة ثنائي مليجي. 2007. مشكلات بيئية : طبيعتها – أثارها - كيفية معالجتها. دار الكتاب الحديثة. ص 45-55 .
8. السعدي حسين علي. 2006. أساسيات علم البيئة و التلوث. دار اليازوري العلمية. عمان الأردن.
9. عباس مصطفى عبد اللطيف. 2004. حماية البيئة من التلوث. الطبعة الأولى. دار الوفاء لندنيا الطباعة و النشر. م ب 01/10614.
10. عبد الحميد ابراهيم قادري. 1999. التعريف بوادي ريغ. منشورات جمعية الوفاء للشهيد. تقرت. الآمال للطباعة- الوادي ص ص 05، 06، 09.
11. عبد الرحمان ابن خلدون. 1983. كتاب العبر و ديوان المبتدأ أو الخبر المجلد السابع. بيروت و لبنان. ج 13 ص 98.
12. عبد الرحمان الجيلاني. 1980. تاريخ الجزائر العام. دار الثقافة. بيروت. ج 1 ص 138
13. عفيفي فتحي عبد العزيز. 2000. دور السموم والملوثات البيئية في مكونات نظام البيئي. دار الفجر للنشر والتوزيع.

# ANNEXES

Résultats obtenus au cours de l'étude

Parameters		Mois	Févié	Mars	Avril
<b>O<sub>diss</sub></b>	Eaux usées		1.95	0.79	0.34
	Témoin		2.05	2.37	2.08
	Cyperus papyrus		2.16	0.83	2.10
	Juncus effuses		3.44	2.67	3.16
<b>T°</b>	Eaux usées		20.2	24.7	26.7
	Témoin		18	21.6	23
	Cyperus papyrus		12.9	21.8	24.5
	Juncus effuses		13.9	21.9	24.2
<b>pH</b>	Eaux usées		7.79	7.34	7.09
	Témoin		7.45	7.72	7.36
	Cyperus papyrus		7.07	7.16	6.37
	Juncus effuses		6.98	6.65	6.43
<b>MES</b>	Eaux usées		79	82	101
	Témoin		10	3	5
	Cyperus papyrus		14	20	9
	Juncus effuses		6	8	12
<b>CE</b>	Eaux usées		4.60	4.90	4.14
	Témoin		6.71	6.65	7.18
	Cyperus papyrus		7.56	6.72	14.20
	Juncus effuses		8.25	11.30	30.9
<b>Salinité</b>	Eaux usées		2.5	2.2	2.1
	Témoin		3.7	3.6	3.9
	Cyperus papyrus		4.2	3.7	8.2
	Juncus effuses		4.6	6.4	19.2
<b>DCO</b>	Eaux usées		212	218	205
	Témoin		85	17.3	91.7
	Cyperus papyrus		114	26.8	93.4
	Juncus effuses		58.6	25.7	144
	Eaux usées		-0.55	-0.658	-0.505
	Témoin		-6.13	-4.27	-1.49

<b>Ammonium</b>	Cyperus papyrus	-7.15	-7.62	-7.48
	Juncus effuses	-8.36	-7.71	-0.583
<b>PO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	Eaux usées	2.63	2.07	1.92
	Témoin	1.77	0.251	0.803
	Cyperus papyrus	2.05	0.376	0.421
	Juncus effuses	1.28	0.503	0.284
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	Eaux usées	0.243	0.254	0.269
	Témoin	0.209	0.125	0.154
	Cyperus papyrus	0.213	0.188	0.233
	Juncus effuses	0.168	0.251	0.255