

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie civil et d'Hydraulique  
Référence : ...../2019



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم الهندسة المدنية و الري  
المرجع...../2019

## Mémoire de Master

Filière : Hydraulique

Spécialité :Hydraulique urbaine

Thème

**L'efficacité des filtres plantés de macrophytes dans  
la dépollution des eaux usées urbaines dans les zones  
semi-aride –cas de Biskra**

Nom et Prénom de l'étudiant :  
Mezhoud Fatma

Encadreur : M<sup>me</sup>. Mimeche Leila

Promotion Juillet 2019

# Tableau des matières

Tableau des matières .....	I
Remercîments.....	IV
Dédicaces.....	V
Liste des tableaux.....	VI
Liste des figures.....	VII
Résumé.....	VIII
ملخص.....	VIII
Introduction générale.....	01
<b>Première partie : Synthèse bibliographique</b> .....	<b>03-28</b>
<b>Chapitre N° I : Caractéristique des eaux usées et protocole d'analyse</b> .....	<b>03-16</b>
I.1.Introduction.....	03
I.2.Difinition .....	03
I.3.Origine des eaux usées.....	03
I.3.1 Origine domestique.....	03
I.3.2. Origine agricole.....	03
I.3.3. Origine industriel .....	04
I.3.4.Eau de ruissellement .....	04
I.4. Caractéristiques des eaux usées .....	04
I.4.1.Parametres physique .....	04
I.4.1.1.Temperature (T) .....	04
I.4.1.2.Matieres en suspensions (MES) .....	05
I.4.2. Paramètres chimique .....	05
I.4.2.1.Le potentiel hydrogène(PH) .....	05
I.4.2.2.L'oxigène dissous (O <sub>2</sub> ) .....	05
I.4.2.3.Demande chimique en oxygène (DCO) .....	05
I.4.2.4. .Demande biologique en oxygène (DBO).....	05
I.4.2.5.Conductivité .....	06
I.4.2.6. L'azote .....	06
I.4.2.6.1. Azote ammoniacal .....	06
I.4.2.6.2. Les nitrate .....	06
I.4.2.6.3.Les nitrites.....	07
I.4.2.7. Le phosphore .....	07
I.4.2.8. Les métaux lourds .....	07
I.4.3. Paramètres Organoleptique .....	07
I.4.3.1. La turbidité .....	07
I.4.3.2.Couleur et odeur .....	07
I.4.3.Paramètres bactériologiques .....	08
- Les virus .....	08
- Bactéries .....	08
-Protozoaires .....	08
-Helminthes .....	08
I.5.Protocoles et méthodes d'analyse Physico chimiques.....	08-15
I.5.1 Détermination des matières en suspension .....	08
I.5.2 Détermination de l'azote ammoniacal .....	09
I.5.3. Détermination du nitrate .....	11
I.5.4. Détermination du Nitrite .....	11

## Tableau des matières

I.5.5. Détermination du phosphate .....	11
I.5.6. Détermination du pH .....	13
I.5.7. Détermination de la conductivité .....	14
I.5.8. Détermination de la turbidité .....	14
I.5.9. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO).....	14
I-5-10. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) .....	14
I .6 .Impact des eaux usées .....	15
I .6.1. sur la santé humaine .....	15
I .6.2 .sur l'environnement .....	15
I .6.2 .1. sur les sources d'eau .....	15
I .6.2.2. sur la flore .....	15
I .6.2.3. sur la faune .....	16
I.7. Conclusion .....	16
<b>Chapitre II : Epuration des eaux usées par filtre plantés (phyto-épuration)</b>	<b>17-28</b>
II .1. Introduction .....	17
II .2. Définition de la phyto-épuration.....	17
II .3. Principe de fonctionnement des filtres plantés .....	18
II .4. Historique de la phyto-épuration .....	18
II .5. Différent type des filtres .....	19
II .5.1. Les filtres à écoulement vertical .....	19
II .5.2. Les filtres à écoulement horizontal .....	20
II .5.3. Les filtres à système hybrides .....	20
II .6. Rôle du constituant d'un filtre .....	21
II .6.1. Rôle du substrat .....	21
II .6.1.1 Différent type de substrat.....	21
II .6.2. Rôle des microorganismes .....	22
II .6.3. Rôle des macrophytes .....	22
II .6.3.1. Les plantes utilisées (les macrophytes).....	23
II .6.3.1.1 Tamarix .....	23
II .6.3.1.2 Phragmit .....	24
II .6.3.1.3 Typha .....	24
II .6.3.1.4 Arundo donax .....	25
II .6.3.1.5 Papyrus .....	26
II .6.3.1.6 Nerium Oleander (Laurier rose) .....	26
II .7. Avantages et inconvénients de la phyto-épuration .....	27
II .7.1. Les avantages .....	27
II .7.2. Les inconvénients .....	27
II.8. Conclusion .....	28
<b>Deuxième partie : partie expérimentale</b>	<b>29-59</b>
<b>Chapitre N° I : Méthodes et matériels</b>	<b>29-46</b>
I .1. Introduction .....	29
I .2. Présentation de la zone d'étude .....	29
I .3. Caractéristique géographiques .....	29
I .4. Caractéristique climatologique .....	30
I .4.1. Pluviométrie .....	30
I .5. Aperçu sur le site de rejet .....	30
I .5.1. Caractéristique du rejet .....	30
I .6. Présentation de la station expérimentale .....	31

## Tableau des matières

I. 7.Préparation des dispositifs expérimental .....	32
I. 7.1.Les bacs .....	32
I. 7.2.Le substrat .....	32
I. 7.3.Choix du macrophytes .....	34
I. 8.Méthode d'analyse .....	36
I. 8.1.Prélèvement des échantillons .....	36
I. 8.2. Protocole d'analyse .....	36
I. 8.2.1.Détermination du PH, CE, température et O <sub>2</sub> dissout .....	37
I. 8.2.2.détermination de la DBO <sub>5</sub> .....	38
I. 8.2.3.Détermination de la DCO .....	40
I. 8.2.4.Détermination des paramètres azotés.....	41
I. 8.2.5.Détermination de phosphate.....	44
I. 8.2.6.Détermination des matières en suspensions (MES).....	46
I.9.Conclusion.....	46
<b>Chapitre N° II : Interprétation des résultats</b> .....	<b>47-59</b>
II .1.Introduction .....	47
II.2 Performance de filtres plantés de macrophytes .....	47
II .3.variation des paramètres physico-chimique.....	47
II .3.1.Évolution du PH .....	47
II .3.2.Évolution de La Conductivité .....	48
II .3.3. Évolution de la température .....	49
II .3.4. Évolution de l'oxygène dissout .....	50
II .3.5. Évolution de la MES .....	50
II .3.6. Évolution de la DCO .....	51
II .3.7. Évolution de la DBO <sub>5</sub> .....	53
II .3.8. Évolution de l'Azote ammoniacal .....	54
II .3.9. Évolution des Nitrate .....	55
II .3.10. Évolution du l'ortho phosphate .....	56
II.4.Interprétation des résultats .....	57
II.5. Conclusion .....	58
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>60</b>
Référence	
Annexe	

# *Remerciements*

*Avant tout, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir accordé la force et les moyens afin de pouvoir accomplir ce mémoire.*

*Ce mémoire n'aurait pas pu avoir lieu sans un encadrement de grande qualité, celui de Mme .MIMECHE LEILA pour avoir proposé et dirigé ce sujet de mémoire et pour son appui scientifique, sa disponibilité et son encouragement durant la préparation de mon projet de fin d'étude. Je la remercie également pour son aide précieuse et continue pendant l'élaboration de ce travail.*

*Mes grands remerciements aussi aux membres de jury qui ont pris la peine d'évaluer mon travail.*

*Je tiens à remercier aussi l'ensemble des enseignants de département d'hydraulique à l'université de Biskra pour leur soutien tout au long de ma formation.*

*Mes grands et sincère remerciements à M.DRIDI HOCINE mon directeur pour son soutien moral*

*Sans oublier le personnel du laboratoire de M'SILA pour leur aide dans notre travail*

*Mezhoud Fatma*

# *Dédicaces*

*C'est avec grande gratitude et sincères mots, que je dédie ce modeste travail de fin d'étude à la pensée de mes chers parents qui m'ont éclairés mon chemin par leurs conseils judicieux, et à la mémoire de frère Toufik*

*A mon très cher fils Mohamed Saïd*

*A mes deux chers frères, Salah et Hafnaoui et leurs épouses*

*A ma chère sœur Mahi et son mari Fayçal*

*A tous mes nièces et leur époux: Sara et Youcef, Iméne et Nossair, Zineb et Amine, Khouloud et Sofiane et leur fille, Doudja et Mahdi et leurs filles, Soumaya, Nada, Salsabil et Abir.*

*A tous mes neveux Brahim, Wail, Mohamed, Abed el Salem*

*A mes très chères amies Warda, Rabiaa, Hanane, Asma, Chafia, Meriem et surtout Fatiha à Awatef et Latra*

*A tous mes collègues de travail qui m'ont soutenu et encouragés tout le long de mes études*

*A tous qui m'ont aidé de loin ou de près*

*Mezhoud Fatma*

## Liste des tableaux

<b>Numéro du tableau</b>	<b>Nom du tableau</b>	<b>Numéro de la page</b>
01	Résultats d'analyses physico-chimiques des eaux usées brut	31
02	Taille des différentes couches du substrat	33
03	Les plantes choisies pour l'expérience	34
04	Plage de mesure de la DBO <sub>5</sub>	40
05	Gamme d'étalonnage	43
06	Établissement de la courbe d'étalonnage du phosphate	45

## Liste des figures

Numéro de la figure	Titre de la figure	Numéro de la page
<b>Partie bibliographique</b>		
<b>01</b>	Coupe transversales schématique d'un filtre à écoulement verticale	<b>19</b>
<b>02</b>	Coupe transversales schématique d'un filtre à écoulement horizontale	<b>20</b>
<b>03</b>	Système hybride	<b>21</b>
<b>04</b>	Photo de tamarix	<b>23</b>
<b>05</b>	Photo de phragmite	<b>24</b>
<b>06</b>	Photo de Typha	<b>25</b>
<b>07</b>	Photo d'Aronde	<b>26</b>
<b>08</b>	Photo de Papyrus	<b>26</b>
<b>09</b>	Photo de Nerium Oleander	<b>27</b>
<b>Partie expérimentale</b>		
<b>01</b>	Présentation de la situation géographique de la vile de Biskra	<b>29</b>
<b>02</b>	Photo du rejet	<b>30</b>
<b>03</b>	Photo station expérimental de la phyto-épuration	<b>31</b>
<b>04</b>	Photo de présentation du bac	<b>32</b>
<b>05</b>	Photo de lavage et séchage du substrat	<b>33</b>
<b>06</b>	Photo des déférentes couches de substrat	<b>33</b>
<b>07</b>	Photos présentant la période de développement racinaire	<b>35</b>
<b>08</b>	Photos montrant le développement racinaire des plantes	<b>35</b>
<b>09</b>	Photos montrant la méthode de transplantation des plantes	<b>36</b>
<b>10</b>		<b>36</b>
<b>11</b>	Photo d'un multi paramètre	<b>37</b>
<b>12</b>	OxiTop® 6 postes et Enceinte DBO WTW	<b>38</b>
<b>13</b>	Manomètre OxiTop®	<b>39</b>
<b>14</b>	Spectrophotomètre UV-VIS DR 5000	<b>40</b>
<b>15</b>	Ionometre de Type « HANNA » de type HI 4521	<b>42</b>
<b>16</b>	Courbe d'étalonnage du nitrate	<b>44</b>
<b>17</b>	Courbe d'étalonnage du phosphate	<b>46</b>
<b>18</b>	Evolution du PH	<b>48</b>
<b>19</b>	Evolution de la conductivité électrique	<b>49</b>
<b>20</b>	Evolution de la température	<b>50</b>
<b>21</b>	Evolution de l'O2	<b>50</b>
<b>22</b>	Evolution de la MES	<b>51</b>
<b>23</b>	Taux d'élimination de la MES	<b>51</b>
<b>24</b>	Evolution de la Demande chimique en oxygène	<b>52</b>
<b>25</b>	Taux diminution de la DCO	<b>53</b>
<b>26</b>	Evolution de la demande biologique en oxygène	<b>53</b>
<b>27</b>	Taux de diminution de laDBO5	<b>54</b>
<b>28</b>	Evolution de l'azote ammoniacal	<b>54</b>
<b>29</b>	Taux d'élimination l'azote ammoniacal	<b>55</b>
<b>30</b>	Evolution de nitrate	<b>55</b>
<b>31</b>	Taux d'élimination du nitrate	<b>56</b>
<b>32</b>	Evolution de l'ortho phosphate	<b>57</b>
<b>33</b>	Taux d'élimination de l'ortho phosphate	<b>57</b>

## Résumé

Les eaux usées urbaine présente une forte complexité et peuvent conduire à une pollution hydrique intensive si elles sont rejetées dans le milieu naturel sans un traitement préalable, en raison de leur charge organique élevé.

Pour notre étude nous avons présenté une expérience de traitement des eaux usées urbaine de la ville de Biskra par des filtres plantés dont l'objectif est de montrer l'efficacité de ces filtres.

On a utilisé comme pilote expérimental cinq bacs dont quatre sont plantés de macrophytes à savoir le Papyrus, le Phragmite, le Tamarix et le Nerium-Oléandre tandis que le cinquième est utilisé comme témoin (sans plante).

Les résultats obtenus montrent que les filtres plantés des macrophytes assurent une bonne élimination de DBO et DCO avec un rendement de 72.45% et 78.44% pour le tamarix et une diminution considérable de MES par le phragmite avec 90.28% et 91.28% pour le tamarix comme on a marqué une diminution importantes de nitrate 93.11%, de l'azote ammoniacal 68.76% et du phosphate 89.79%. On déduit que ces filtres plantés sont efficaces pour le traitement des eaux usées des zones semi arides.

**Mots clés :** phyto-épuration, efficacité, traitement des eaux usées, macrophytes, zone semi-aride.

## ملخص

تعتبر مياه الصرف الصحي في المناطق الحضرية شديدة التعقيد ويمكن أن تؤدي إلى تلوث مياه مكثف إذا تم إطلاقها في البيئة الطبيعية دون معالجة مسبقة بسبب الحمولة العضوية العالية التي تتميز بها. من خلال هذه الدراسة قمنا بتقديم تجربة لمعالجة مياه الصرف الصحي في المناطق الحضرية في مدينة بسكرة من خلال المرشحات المزروعة التي تهدف إلى إظهار كفاءة هذه المرشحات. تم استخدام خمسة أحواض كإطار تجريبي، أربعة منها زرعت مع النباتات المائية، وهي البردي، القيصوب، الطرفة والدفلة، بينما تم استخدام الخامس كعنصر مقارنة (بدون نبات).

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن المرشحات المزروعة مع النباتات المائية تضمن إزالة جيدة لـ DBO و DCO مع مردود قدره 72.45% و 78.44% بالنسبة للطرفة، وانخفاض معتبر لـ MES بواسطة القيصوب بمردود قدره 90.28% و 91.28% بالنسبة للطرفة، كما لاحظنا انخفاض كبير في النترات بنسبة 93.11%، نترات الأمونيوم بنسبة 68.79% والفوسفات بنسبة 89.79%.

من خلال النتائج المتحصل عليها، يتم الاستنتاج أن هذه المرشحات المزروعة فعالة في معالجة مياه الصرف الصحي في المناطق شبه جافة.

**الكلمات المفتاحية:** التطهير بواسطة النباتات، الفعالية، معالجة المياه المستعملة، النباتات المائية، منطقة شبه الجافة.

# INTRODUCTION GENERALE

## INTRODUCTION GENERALE

L'eau est la vie, en d'autres termes c'est l'élément le plus indépassable pour la survie des êtres vivants, comme il joue un rôle primordiale dans les activités humaines quelque soient leur nature, ce qui explique l'augmentation croissante de la demande de cet élément précieux qui est engendré par l'extension démographique, développement des activités industrielles et agricole ainsi que l'amélioration du niveau de la vie.

Malheureusement cet élément précieux est devenu un danger réel causé par la diversité de ces activités et leur accroissement qui mène à la production des quantités importantes d'eaux usées polluées contenant des substances toxiques et des nutriments dépassant certain seuil, conduisant à un déséquilibre des écosystèmes aquatiques. Comme ils peuvent nuire à la santé humaine à cause de leur évacuation dans le milieu naturel sans être traité.

En vue de la rareté des eaux, spécialement dans les zones arides et semi-arides où la sécheresse est récurrente à cause du climat, étant les scientifiques ont constaté que les eaux usées constituent une ressource en eau non négligeable et peuvent être réutilisées à condition qu'elles soient traitées. Ce qui a incité ces scientifiques à mener des recherches sur la méthode la plus respectueuse à l'environnement, peut être utilisée avec un bon rendement pour le traitement de ces eaux polluées car les méthodes classiques sont peu rentables et très coûteuses.

Grâce aux travaux de Dr. Seidel, le phénomène naturel de la capacité d'autoépuration des écosystèmes naturels ont commencé à être reconnus. Inspiré de ce dernier, des marais artificiels destinés à l'épuration des eaux usées ont été construits, tout en mettant en avant les processus naturels de l'autoépuration. L'idée était alors de ne plus considérer nos rejets comme des déchets à éliminer, mais comme une ressource valorisable pour l'écosystème.

Cette méthode appelée phyto-épuration est devenue très répandue dans le monde entier spécialement dans les pays développés. C'est un système innovant, particulièrement efficace, qui utilise le pouvoir épurateur des plantes aquatiques et qui offre une alternative écologique, économique, durable et esthétique au système classique. Le principe est simple : les bactéries aérobies (qui ont besoin d'oxygène et ne dégagent pas de mauvaises odeurs) transforment les matières organiques en matières minérales assimilables par les plantes. En retour, les plantes aquatiques fournissent de l'oxygène par leurs racines aux bactéries.

L'Algérie tout comme les pays en développement est exposé au même problème de la pollution hydrique car la plus part des eaux usées sont rejetées dans les écosystèmes aquatiques.

## INTRODUCTION GENERALE

Espérant que notre pays suit les pas des pays développés dans l'adaptation de la méthode d'épuration par les filtres plantés et élargie son expérience car elle a construit une station expérimentale unique de phyto-épuration situé à Timacine, ce qui nous a encourager à examiner ou plus précisément à chercher des réponses à nos question sur le rôle des composants de ces filtres plantés, les plantes les plus utilisée dans ce domaine et la question la plus importantes est celle sur l'efficacité des plantes dans le traitement des eaux usées.

Pour arriver à notre objectif on a procédé à des expériences sur quatre espèces de macrophytes

Notre modeste travail est constitué de deux parties :

Première partie : partie bibliographique englobe deux chapitres

➤ Le premier chapitre illustre les caractéristiques des eaux usées ainsi que leur origine et leur impact sur la santé humaine et sur l'environnement ainsi que les protocoles d'analyse

➤ Le second chapitre présente : l'essentiel de la technique de la phyto-épuration, les plantes utilisés ainsi que l'avantage et l'inconvénient de la méthode

Deuxième partie : partie expérimentale constitue de deux chapitres

➤ Le premier chapitre se consacre à : la présentation de la zone de l'étude et ses caractéristique, aperçus sur le site de rejet et ces caractéristique, préparation des dispositifs expérimentaux et les méthodes d'analyse

➤ Le second chapitre enveloppe l'interprétation des résultats obtenus.

# CHAPITRE I

**GENERALITE SUR *LES EAUX USEES***

# CHAPITRE II

*INTERPRITATION DES RESULTATS*

## I.1.Introduction :

L'eau après usage subira une modification défavorable de ces propriétés causé par l'activité humaine quel que soit la nature de ses activités (domestique, industriel ou agricole.), les rendant impropre à l'utilisation. L'objectif de ce chapitre est de donner une idée sur les eaux usées et leurs caractéristiques ainsi que leur impacte.

## I.2. Définition

Une eau est dite usée ou polluée une fois qu'elle perd ces caractéristiques physiques chimiques et organoleptiques (**Audic JM, Esser D, 2006**). Ce sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. (**Rejsek, 2002**) et selon (**Gros Claude, 1999**) une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels.

## I.3. Origine des eaux usées

On distingue quatre catégories des eaux usées :

**I .3 .1.Origine domestiques** : elles sont issues des habitations. Elles comprennent

- Les eaux ménagères : qui sont évacuées par les cuisines et les salles de bain elles sont polluée par des détergents, les lessives et des graisses
- Les eaux des vannes : qui proviennent des sanitaires (W.C), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et microorganisme (**Rejsek, 2002**)

**I.3.2.Origine agricole** : les eaux d'origine agricoles sont constituées essentiellement des eaux de drainage des champs agricoles et des rejets de lavage des fermes d'élevage Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole et qui peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement :

- Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation).

- Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides,..) (**Gros Claude, 1999**)

**I.3.3. Origine industrielle :** ce sont les déchets liquides résultants selon les activités exercées de l'extraction ou de la transformation de matières premières en produits industriels. (**Ben Slimane, 2001**)

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir (**Rodier, 2005**)

- Des graisses (industries agroalimentaires).
- Des hydrocarbures (raffineries).
- Des métaux (métallurgie).
- Des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques diverses, tanneries).
- De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques).
- Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

**I.3.4. Eaux de ruissellement :** Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées, surtout en début de pluie, par deux mécanismes.

- Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées. Les déchets solides ou liquides déposés, par temps sec, sur ces surfaces, sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent.
- La remise en suspension des dépôts des collecteurs. Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt des matières décantables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau, le plus important permet la remise en suspension de ces dépôts (**Rodriguez et Gracia, 2004**).

## I.4. Caractéristiques des eaux usées

### I.4.1. Paramètres Physiques

**I.4.1.1. Température :** elle joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Comme elle détermine le taux et la vitesse des réactions de dégradation, elle permet

également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité- PH- O<sub>2</sub>) (**Rejsek2002**).

L'augmentation de la température diminue la solubilité des gaz ce phénomène est important dans le cas de l'O<sub>2</sub> ce qui implique une insuffisance de la réserve en O<sub>2</sub> (**A. Gaid.1984**)

**I.4.1.2. Matières en suspension (MES) :** On appelle matière en suspension les très fines particules qui ne sont pas dissoutes dans l'eau qui donnent un aspect trouble à l'eau et qui s'opposent à la pénétration de la lumière nécessaire à la vie aquatique.

### **I.4.2. Paramètres chimiques :**

**I.4.2.1. Le potentiel Hydrogène (pH) :** ce paramètre donne le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau le PH est le reflet de la concentration d'une eau en ions H<sup>+</sup> il traduit la balance entre acide et base. Son rôle est capital pour la croissance des micro-organismes, cette croissance sera directement affectée lorsque le PH est inférieur à 5 ou supérieure à 8 (**Hamdani 2002**)

Ce paramètre doit être mesuré sur le terrain par un ph mètre ou par colorimètre (**Olivier1995**) Dont sa valeur optimum est entre 7 et 8.5.

**I.4.2.2 L'Oxygène Dissous (O<sub>2</sub>) :** C'est un paramètre important dans l'évaluation de la qualité des eaux. Il est dissous dans l'eau suite au contact entre l'air et l'eau ou grâce à la photosynthèse des plantes aquatiques la présence d'O<sub>2</sub> dans l'eau est indispensable pour les être vivant aérobie sa concentration dépend de nombreux facteurs dont la température de l'eau, la pénétration de la lumière, la salinité comme elle est en fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en O<sub>2</sub> par l'activité des organismes aquatique et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau.

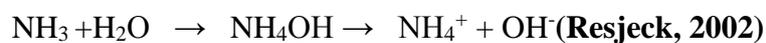
**I.4.2.3 La demande Chimique en Oxygène (DCO) :** Elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder par voie chimique toutes les substances oxydables trouvées dans l'eau la mesure de la DCO se fait par oxydation au dichromate de potassium

**I.4.2.4 La demande Biochimique en Oxygène (DBO) :** La DBO est l'un des paramètres les plus importants et utile indiquant la force organique des eaux usées. Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques (MO) biodégradables d'une eau (**Resjek2002**). La mesure la plus couramment réalisée est celle de la DBO<sub>5</sub> correspond à la demande biochimique en oxygène après 5 jours d'incubation de l'échantillon à une température 20°C.

**I.4.2.5 La conductivité :** La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, elle traduit le degré de minéralisation globale. Comme elle nous renseigne aussi sur le taux de salinité. Ce paramètre est dû à la présence des ions dans le milieu qui sont mobile dans un champ électrique, elle dépend de la nature de ces ions et de leur concentration (**Resjek2002**). Pour les EU elle dépend essentiellement de la qualité de l'eau potable utilisée, du régime alimentaire de la population ainsi que des activités industrielles.

**I.4.2.6 L'azote :** L'azote présent dans l'eau usée se trouve sous forme organique ou minéral. L'azote organique (constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée) dont leur concentration est souvent plus faible que celle de l'azote minérale (ammoniaque-nitrite-nitrate) qui constitue la majeure partie de l'azote totale (**Rodier, 2005**).

**I.4.2.6.1 L'azote ammoniacal :** 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 ( $\text{NH}_4^+$ ). Les réactions réversibles avec l'eau sont fonction également de la température et sont les suivantes :



**I.4.2.6.2 Les nitrate :** Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux provenant en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant dont sa nature joue un rôle essentiel dans leur présence et l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg /l dans les eaux superficielles et quelques mg/L dans les eaux souterraines. Ces dernières années la teneur en nitrates est en augmentation, de l'ordre de 0,5 à 1 mg/l/, dans certaines régions égale à 2 mg/l/an. Cette augmentation a plusieurs origines :

- Agricole : agriculture intensive avec utilisation massive d'engrais azoté ainsi que rejets d'effluents d'élevage. Cette source représente les 2/3 de l'apport en nitrates dans le milieu naturel ;

- Urbaine : rejet des eaux épurées des stations d'épuration où l'élimination de l'azote n'est pas total et qui peuvent rejeter des nitrates ou des ions ammonium qui se transformeront en nitrates dans le milieu naturel.
- Industrielle : rejet des industries minérales, en particulier de fabrication des engrais azotés. Cette source représente 1/9 des apports. **(Resjeck, 2002)**

**I.4.2.6.3 Les nitrites :** L'azote nitreux ( $\text{NO}_2^-$ ) provient d'une oxydation incomplète de l'azote ammoniacal ou par une réduction des nitrates par dénitrification. Les nitrites sont instables et se transforment rapidement en nitrates. Les nitrites sont toxiques pour l'organisme humain, sa présence en quantité importante dégrade la qualité de l'eau, ils sont dosés suivant la méthode colorimétrique.

**I.4.2.7 Le Phosphore :** Le phosphore est l'un des composants essentiels de la matière vivante. Les composés phosphorés ont deux origines, le métabolisme humain et les détergents. Dans les eaux usées, le phosphore se trouve soit sous forme d'ions ortho phosphates isolés, soit sous forme d'ions phosphates avec des molécules organiques. Les ortho phosphates correspondent au groupement  $\text{PO}_4^{3-}$ , ces phosphates sont fixés facilement par le sol, leur présence dans les eaux est souvent liée à la nature des terrains traversés, à la décomposition de la matière organique, aux engrais phosphatés industriels entraînés par lessivage. **(Dr. Rachid Salghi).**

**I.4.2.8 Les métaux lourds :** Les métaux lourds se trouvent dans les eaux usées urbaines à l'état de trace. Ils englobent l'ensemble des métaux lourds dont certains sont essentiels pour l'organisme vivant telle que le cuivre, le zinc, le chrome... en petite quantité alors que d'autres ont souvent un effet toxique, même à l'état de traces comme le plomb, le mercure, l'arsenic et le cadmium ... Leur présence, est nuisible pour l'activité des micro-organismes, donc perturbe le processus d'épuration biologique.

### **I.4.3 Paramètres Organoleptique**

**I.4.3.1 La Turbidité :** C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines (argiles, limons, microorganismes.) Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. Elle est mesurée à l'aide d'un turbidimètre **(Bontoux 1993)**

**I.4.3.2 Couleur et odeur :** Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'ondes courtes

sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement. (Rejesk, 2002).

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. (Rodier et al, 2005)

### I.4.4 Paramètres bactériologiques :

Le rejet urbain en général présente des conditions très favorables à la prolifération de certains germes pathogènes .en effet ces eaux usées contiennent une multitude d'organismes vivants apportés par les excréments d'origine humaine ou animale (Gaid ,1984).L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (Bamont et all. 2004)

✓**Les virus** : Les virus sont des parasites intracellulaires qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte

✓**Bactéries** : Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Une minorité de ces bactéries sont régulièrement pathogène dont les plus connus sont : Les coliformes, les streptocoques fécaux, Les bactéries sulfito-réductrices.

✓**Protozoaires** : Les protozoaires sont des organismes unicellulaires, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de Kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitement des eaux usées

✓**Helminthes**. Ce sont des vers multicellulaires tout comme les protozoaires ce sont majoritairement des organismes parasites. Les œufs d'helminthes sont très résistants et peuvent notamment survivre plusieurs semaines voire plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées (Baumont et all ,2004).

## I.5 Protocoles et méthodes d'analyse Physico chimiques

### I.5.1 Détermination des matières en suspension (J.Rodier et all.2009) :

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation

➤ **Méthode par filtration sur fibre de verre** : Cette méthode consiste à la filtration de l'eau et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle

### ❖ Mode opératoire

- Mouiller le filtre avec de l'eau distillée
- Mettre dans l'étuve pendant quelques minutes
- Sortir le filtre, puis le mettre dans le dessiccateur pour le refroidissement.
- Peser filtre sur la balance jusqu'à obtention d'un poids stable du filtre tare vide en(g)
- Prendre une fiole, laver abondamment avec de l'eau du robinet, puis avec de l'eau distillée
- Prendre une prise d'essai de 100 ml, placer le filtre dans la rampe de filtration
- Verser le volume d'eau (100 ml) jusqu'à filtration complète.
- Récupérer le filtre et le mettre à l'étuve à 105° pendant 2 heures.
- Mettre le filtre dans le dessiccateur pendant 15 minutes jusqu'à refroidissement total et peser le filtre tare séché en (g).

➤ **Méthode par centrifugation** : L'eau est centrifugée à environ 3 000 g (soit 5 000 tr/min pour un rayon de centrifugation de 10 cm) pendant 20 minutes. Le culot est recueilli, séché à 105 °C puis pesé.

### ❖ Mode opératoire

- Centrifuger un volume d'eau de façon à recueillir au moins 30 mg de matières.
- Séparer le liquide surnageant par siphonage sans perturbation du dépôt et jusqu'à une hauteur de 10 mm de liquide au-dessus du dépôt.
- Les culots de matières sont transvasés dans une capsule tarée.
- Rincer les tubes à centrifuger par 3 fois avec une petite quantité d'eau permutée (20 ml).
- Introduire les eaux de lavages avec les culots dans la capsule
- séchée à 105 °C.
- Évaporer l'eau de la capsule au bain-marie.
- Sécher à l'étuve à 105 °C jusqu'à masse constante.
- Laisser refroidir au dessiccateur puis on passe à la pèse.

### I-5-2 Détermination de l'azote ammoniacal (J.Rodier et *all.*2009)

#### ➤ Méthode au bleu d'indophénol

#### ❖ Principe

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme un catalyseur, les ions ammonium traités par une solution de chlore pour les transformer en monochloramine (NH<sub>2</sub>Cl) et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage par spectrométrie d'absorption moléculaire

### ❖ Réactifs

Utiliser pour la préparation des réactifs de l'eau fraîchement déionisée.

– Solution chlorée : ( 20 g de hydroxyde de sodium en pastilles, 380 g de citrate tri sodique, 4 g d'acide dichlorocyanurique, eau déionisée *q.s.p* 1 000 ml.

– Solution de nitroprussiate de sodium et de phénol : 35g de phénol ,0.4 g de nitroprussiate de sodium, eau déionisée

Transvaser cette solution dans un flacon en verre brun et la conserver au réfrigérateur.

– Solution mère étalon à 100 mg/l d'ions ammonium :

chlorure d'ammonium 2.97 mg

Eau déionisée *q.s.p.* 1 000 ml

– Solution fille étalon à 1 mg/l d'ions ammonium.

Diluer la solution mère au 1/100. Préparer cette solution au moment de l'emploi

### ❖ Mode opératoire

- Introduire dans une fiole conique de 100 ml, 20 ml d'eau à analyser

- Ajouter rapidement 1 ml de solution de nitroprussiate de sodium et de phénol et 1 ml de solution chlorée.

- Agiter et placer la fiole à l'obscurité pendant 6 heures au moins

- Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 630 nm

### ➤ Méthode potentiométrique

#### ❖ Principe

La mesure de l'activité ionique de l'ammoniac dans des conditions expérimentales bien définies de concentration en ions et de PH, permet de déterminer la concentration en ammonium dans l'eau.

#### ❖ Matériel spécial

– Électrode spécifique.

– Appareil de mesure

– Agitateur électromagnétique.

#### ❖ Réactifs

le même réactif utilise précédemment

#### ❖ Mode opératoire

- Introduire 25 ml d'eau à analyser dans un bécher de 100 ml

- Ajouter 25 ml de solution d'hydroxyde de potassium.

- Placer le bécher sur l'agitateur et immerger rapidement l'électrode,

- Laisser se stabiliser puis effectuer la lecture.

## I.5.3 Détermination du nitrate

Pour ce qui concerne les nitrates le choix de la méthode est déterminé par la concentration à doser et les interférences probables. On peut citer la méthode la plus utilisée

### ➤ Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire

Le principe de cette méthode est basé sur la présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du par-anitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique.

#### ❖ Matériel spécial

- Capsule de 60 ml environ.
- Bain-marie.

#### ❖ Réactifs

- Solution de salicylate de sodium à 10 g/L à renouveler toutes les 24 heures.
- Acide sulfurique concentré ( $d = 1,84$ ).
- Solution d'hydroxyde de sodium
- Solution d'azoture de sodium
- Solution mère étalon d'azote nitrique à 100 mg/L
- Solution fille étalon d'azote nitrique à 5 mg/L

## I.5.4 Détermination du Nitrite (J.Rodier et *all.*2009)

Les nitrites sont déterminés par plusieurs méthodes dont la méthode spectrométrique, méthode par flux continu, méthode par chromatographie ionique

### ➤ Méthode par flux continu

La détermination des nitrites consiste à faire une diazotation en milieu acide de la sulfanilamide en présence de dichlorures de N-(1-naphtyl) éthylène diamine. La solution obtenue est un complexe de couleur rose dosé par spectrophotomètre à 540 nm (Rodier, 1984)

#### ❖ Réactifs

- Réactif spécial :
- acide phosphorique 100 ml
- sulfanilamide 40 g
- dichlorhydrate de N-1 naphtyléthylènediamine 20 g
- eau déionisée

## I.5.5 Détermination du phosphate (J.Rodier et *all.*2009)

La détermination du phosphate se retourne vers la détermination de l'ortho phosphate en suivant les mêmes méthodes précédentes

### ➤ Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire

#### ❖ Principe

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho phosphates donnent un complexe phospho-molybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique.

#### ❖ Réactifs

- Solution d'acide sulfurique ( $d = 1,84$ ) à 15 % environ en volume.
- Solution de molybdate d'ammonium à 40 g/l (molybdate d'ammonium tétra hydraté 20g, eau déionisée) à conserver en flacon de polyéthylène à 4 °C
- Solution d'acide ascorbique à 20 g/l (acide ascorbique 2g, eau déionisée) à préparer chaque jour.
- Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium à 2,8 g/L (tartrate double d'antimoine et de potassium 0,28 g, eau déionisée)
- Réactif combiné : 50 ml solution d'acide sulfurique, 5 ml solution de tartrate double d'antimoine et de potassium, 15 ml de solution de molybdate d'ammonium, 100 ml d'eau déionisée (Conserver le réactif au réfrigérateur à 4 °C.)

#### ❖ Mode opératoire

- Vérifier le pH de l'échantillon qui doit être compris entre 2 et 7, l'ajuster si nécessaire.
- Introduire 20 ml d'eau dans une fiole jaugée de 25 ml,
- Ajouter 1 ml de solution d'acide ascorbique
- Agiter puis ajouter 4 ml de réactif,
- Mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 ml.
- Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 700 ou 800 nm en cuve de 1 cm.

### ➤ Méthode par flux continu

#### ❖ Principe

le principe de cette méthode est basé sur la formation d'un complexe phosphomolybdique en milieu acide, en présence de molybdate d'ammonium et d'ortho phosphates puis réduction de celui-ci en utilisant l'acide ascorbique avec le tartrate double d'antimoine et de potassium comme catalyseur

#### ❖ Mode opératoire

- Neutraliser les échantillons en présence de phénolphtaléine par une solution d'hydroxyde de sodium ou d'acide sulfurique.

- Régler la température du bain-marie à 50 °C
  - Régler le temps de rinçage à 1 min pour une prise 'échantillon de 1 min.
  - Faire fonctionner l'appareillage avec les réactifs et de l'eau permutée jusqu'à obtention d'une ligne de base stable.
  - Effectuer les lectures au spectromètre à 650 nm
- ❖ **Réactifs** : les réactif utilise sont les même de la méthode précédente

### I.5.6 Détermination du pH :

la détermination est effectuée par un pH Mètre

#### **Mode opératoire :**

#### ❖ **Etalonnage de l'appareil :**

- Allumer le pH Mètre.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Prendre dans un petit bêcher, la solution tampon pH = 7
- Régler l'agitation à faible vitesse.
- Tremper l'électrode de pH dans la solution tampon pH = 7
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard 2.
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.
- Ré étalonner de la même manière avec les solutions tampon pH = 9 où pH = 4.
- Puis rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.

#### ❖ **Dosage de l'échantillon :**

- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec une faible agitation.
- Tremper l'électrode dans le bêcher.
- Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation.
- Puis noter le pH

### I.5.7 Détermination de la conductivité :

#### ❖ **Matériel** : Conductimètre

#### ❖ **Mode opératoire :**

- Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner ; faire la mesure dans un deuxième récipient en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées.

-Agiter le liquide (barreau magnétique) afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide ambiant. Cette agitation permet aussi d'éliminer les bulles d'air sur les électrodes. Le résultat est donné directement en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### **I-5-8 Détermination de la turbidité :**

❖ **Appareil :** Turbidimètre

❖ **Mode opératoire :**

Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure. La mesure est obtenue directement en NTU

### **I-5-9 Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5) :**

❖ **Appareillages :**

- Matériel courant de laboratoire. (DBO mètre)
- Flacons d'incubation à bouchons rodés de 150 ml.
- Enceinte réglable à 20° C.
- Matériel nécessaire pour le passage de l'oxygène dissous.

❖ **Mode opératoire :**

L'échantillon est placé sous agitation dans un flacon incubateur hermétiquement relié à manomètre à mercure lors de la biodégradation des matières organiques. Les microorganismes consomment l'oxygène de l'air contenu dans le flacon provoquant une diminution de la pression au-dessus de l'échantillon. Cette dépression est transmise au manomètre à mesure et la consommation en oxygène est lue sur l'échelle monométrique

### **I.5.10 Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) :**

La demande chimique en oxygène est déterminée par la méthode d'oxydation moyennant le bichromate de potassium. Au milieu acide, en présence du sulfate d'argent et de sulfate de mercure, les matières oxydables sont oxydées. L'excès est dosé par le sel de Mohr en présence de la ferroïne (NFT 90-101)(**Dr. Rachid Salghi**).

❖ **Mode opératoire**

- Préparation tubes DCO
- 1,5 ml de bichromate (bichromate à 80 mg/l de mercure II sulfate)

-3,5 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (acide sulfurique concentré spécial DCO (avec fer)

-Ajouter 4 ml de la solution à tester (avec dilution si nécessaire) 700mg DCO/lmax

-Préparer 4 tubes avec 4 ml d'eau distillée (2 blancs froids + 2 blancs chauds)

-Mettre les tubes à tester à chauffer + 2 tubes avec de l'eau distillée pendant 2 heures à 120°C

### ❖ Dosage au sel de Mohr

-Verser le contenu des tubes dans un bécher et rincer le tube DCO en mettant l'eau de rinçage dans le bécher.

-Ajouter 1 goutte de rouge de méthyle

-Doser avec le sel de Mohr

## I.6 Impact des eaux usées

A cause de leur contenance de matières nocives les EU ont déferent impacte nuisible dont on peut citer :

### I .6.1sur la santé humaine :

L'homme est expose à des maladies hydrique par plusieurs voie

\* consommation des végétaux irrigué par des EU non traité.

\*contact cutané des EU

\*contact avec la terre et les poussières soulevé par le vent

Ces maladies hydriques comme le choléra, la typhoïde sont responsables de graves épidémies qui dévastent des régions entières. Elles sont classées parmi les trois grandes causes de mortalité dans les pays sous-développés (**Asano ,1998**)

### I.6.2 sur l'environnement

#### I.6-2 -1sur les sources d'eau :

\*Lorsque les eaux usées sont rejetés dans le milieu naturelle sans être traite les sources d'eau quelque soient leur nature souterraine ou superficiel sera affecté par ces eaux

\*Lors d'irrigation successive des sols qui ont une porosité élevé avec des eaux usées les nappes phréatiques seront affecté par le fait de percolation des EU charge des polluants (surtout les nitrate).

#### I.6.2.2sur la flore :

Lors de l'irrigation par les eaux usées le sol subira une augmentation de la concentration en éléments minéraux nutritif (azote, phosphore et potassium) qui sert au développement et à la croissance des végétaux (**Cherak1999**), mais si l'irrigation est excessive on constate :

- diminution du poids des grains
- changement dans la composition
- abondance de la diversité des espèces.

### I.6.2.3sur la faune

- la diminution de l'oxygène dans l'eau entraîne la mort des poissons et d'autres organismes aquatique et cela à cause du phénomène d'eutrophisation qui est favorisé par la présence excessive du phosphate
- trouble de la reproduction, malformation et mortalité embryonnaire
- concentration accrue des pathogènes dans les mollusques

## I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, on a illustré les caractéristiques des eaux usées ainsi que leur origine et leur impact sur la santé humaine et sur l'environnement .on a conclu que ces eaux doivent être traitées avant d'être rejeter dans le milieu naturel pour éviter toutes coïncidences sur tous les plans de vie.

# CHAPITRE II

## EPURATION PAR FILTRE PLANTE

### II .1.Introduction

Les eaux usées non traitées, lorsqu'elles sont mises en contact direct avec le milieu naturel, entraînent une pollution qui se caractérise par trois risques principaux :

- une nuisance liée à la stagnation des eaux usées et au dégagement de mauvaises odeurs
- une perturbation de l'équilibre écologique du milieu naturel (pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques).
- un risque sanitaire par contamination directe ou indirecte

Pour ces raisons, les eaux usées doivent subir un traitement dont l'objectif consiste à les traiter le plus économiquement possible, de manière à ce que celles-ci ne perturbent plus le milieu extérieur, qui les reçoit et leur qualité soit conforme aux normes algérienne .pour atteindre notre objectif il y a plusieurs méthodes. Tout le monde connaît les stations d'épuration classiques et les systèmes d'assainissement autonomes, type épandage souterrain. Mais il existe une troisième façon d'épurer des eaux usées, basée sur l'utilisation des végétaux aquatiques c'est la phyto-épuration

L'utilisation des filtres plantés pour traitement des eaux usées est en augmentation partout dans le monde. Ce système est devenu de plus en plus populaire et actuellement il fait l'objet de recherches intensives, principalement en Europe, afin d'optimiser ces paramètres de conception de base (**Leila.Mimeche .et all 2016**)

### II .2 Définition de l'épuration par filtre plantés (la phyto-épuration)

C'est un système innovant, particulièrement efficace, qui utilise le pouvoir épurateur des plantes aquatiques et qui offre une alternative écologique, économique, durable et esthétique au système classique. Selon (**Brix H, et al.2003**) se sont des systèmes complexes intégrant de l'eau, des plantes, des animaux, des microorganismes et le milieu qui les entoure.

Cette technique a pris plusieurs dénominations tels : le lagunage, les marécages ou marais construits, le phyto-filtre, la technique des zones humides, les lits filtrants, ...etc. et le terme « phyto-épuration » n'est utilisé que depuis très peu de temps il est en effet le résultat de la diversification des techniques de « marais artificiels », systèmes plantés d'espèces aquatiques pour le traitement des eaux usées

### II .3 Principe de fonctionnement des filtres plantés

Le principe est simple.il se base sur La fixation des végétaux de type macrophytes sur un support filtrant (granulats) et une symbiose entre les plantes et les bactéries au niveau des racines.

La végétation est peuplée de bactéries aérobies qui se trouvent dans les racines des plantes (qui ont besoin d'oxygène et ne dégagent pas de mauvaises odeurs). Leur rôle est de transformer les matières organiques en matières minérales qui pourront ensuite être assimilées par les plantes. En contrepartie, ces dernières fournissent l'oxygène nécessaire au développement de ces bactéries aérobies par leurs racines (**Poulet. J.B, & al, 2004**). Le cycle reste alors naturel et les deux protagonistes sont gagnants

### II .4 Historique de la phyto-épuration

La technologie de traitement des eaux usées en utilisant des plantes est apparue en Europe d'Ouest basée sur une recherche de SEIDEL qui a commencé durant les années soixante (1960), et par KICKUTH à la fin des années soixante-dix (1970) et dernièrement durant les années quatre-vingt (1980).

En 1955, Dr SEIDEL discuta dans un rapport la possibilité« de diminuer la sur-fertilisation, la pollution et l'envasement des eaux des terres intérieures à travers des plantes particulières permettant aux eaux polluées de devenir capables de supporter la vie de nouveau». Elle a proposé pour ce but le jonc commun « *Schoenoplectus Lacustres*», ayant observé dans sa recherche que cette espèce est capable de retenir de grande quantité de substances organiques des eaux contaminées.

Dans des expériences supplémentaires durant les années cinquante, Dr SEIDEL a montré que le *Schoenoplectus* améliore et enrichit le sol sur lequel il se développe, en bactérie et humus et ça exsude apparemment les antibiotiques. Un rang de bactéries (Coliformes, Salmonella et Entérocoque) évidemment disparaît des eaux polluées en passant à travers une végétation de joncs.

Le système développé par SEIDEL comprend des séries de lits composés de sable ou gravier supportant une végétation aquatique immergée tel que la massette « *Typha* », le jonc, et le phragmite qui ont été le plus communément utilisé, et dans la majorité des cas le plan d'écoulement été vertical.

En 1985, un nombre de systèmes de « lits de phragmite » a été construit en Angleterre basés sur les concepts de KICKUTH, mais plusieurs cas utilisaient le gravier au lieu des sols cohésifs dus à la conductivité hydraulique élevée. (Benyagoub et al, 2003)

## II .5 Défèrent type des filtres

Ces procédés épuratoires peuvent être subdivisés en deux branches principales selon le sens d'écoulement. Le premier groupe, comprend les filtres à écoulement vertical et le deuxième ceux à écoulement horizontal (Lienard. A. et all 2005)

### II .5.1 Les filtres à écoulement vertical

Les systèmes d'épuration à écoulement vertical sont constitués par des bassins imperméabilisés, qui sont remplis avec un matériau inerte avec une taille de particule choisie où se développent les racines des macrophytes émergentes leur fonctionnement est comme suite :

Les matières sont retenues en surface tandis que les eaux percolent verticalement à travers le filtre pour être ensuite drainée au fond du bassin. (Kevin Quentric, 2009). C'est le type de filtres le plus utilisé en vue de ces avantages. En effet, il a le pouvoir d'être alimentés en eaux brutes (sans traitement primaire), ce qui évite à l'exploitant de gérer des boues primaires non stabilisées. De plus, c'est un dispositif susceptible d'atteindre un bon niveau de performances épuratoires, spécialement pour les matières organiques et particulaires et l'azote ammoniacal (Agence de l'eau Adour Garonne 2001).

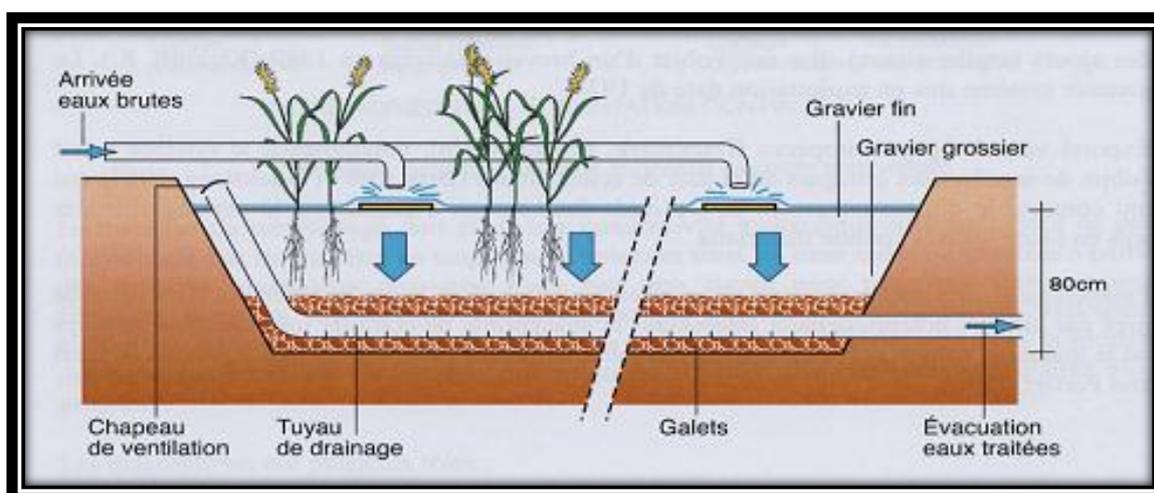


Figure n°1 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement verticale (Poulet et al, 2004)

### II .5.2 Les filtres à écoulement horizontal

Ces systèmes est assez similaire à celles décrites ci-dessus. La différence est que Les eaux usées sont acheminées à une extrémité du lit planté y s'écoulent sous la surface ou très près de cette dernière de façon horizontale pour être captées à l'autre extrémité du lit. Ces unités fonctionnent en conditions saturées et aérobies en partie supérieure.

L'oxygène est apporté par diffusion à travers la surface grâce aux végétaux, cependant, en partie inférieure, les conditions sont saturées et anoxiques (**Benyagoub et al, 2003**) Ces filtres sont surtout utilisés en traitement de finition, à la sortie des stations d'épuration classiques dans le but d'améliorer la qualité de l'effluent (**Cooper D.et Griffin2004**) Ils peuvent être aussi utilisés en sortie de filtres plantés à écoulement vertical, comme un troisième étage (**Brix H. 1987**).

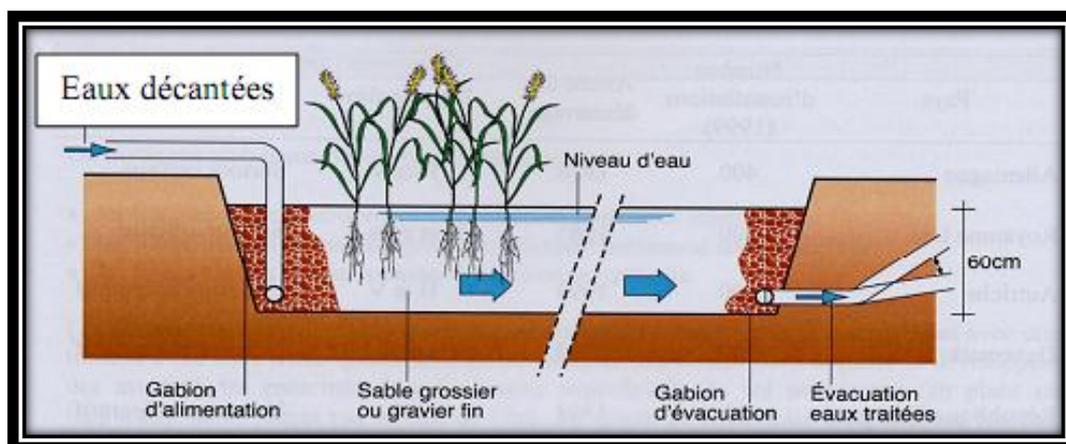


Figure n°2 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement horizontal (Poulet et al, 2004)

### II .5.3 Les filtres à système hybrides

Les systèmes hybrides c'est l'association des filtres verticaux et de filtres horizontaux en séries dont le but est d'avoir une bonne nitrification dans les filtres verticaux qui sont bien oxygénés, mais aussi une dénitrification dans les filtres horizontaux où l'on trouve les conditions d'anoxie nécessaires à cette réaction. Dans ce cas on n'obtiendra pas notre objectif car le rendement de la dénitrification n'est pas très élevé à cause de la dégradation de la majeure partie des matières organiques qui ont été dégradés dans le premier filtre (vertical). Mais des études récentes en Danemark ont montré que lorsqu'on met des filtres horizontaux en premier étage suivis de filtres verticaux dont les premiers filtres ont pour rôle la rétention des matières en suspension et l'élimination des matières organiques dissoutes, les seconds

mieux oxygénés assurent la nitrification. Une recirculation des effluents nitrifiés en tête de traitement peut permettre d'obtenir de bons résultats en matière de dénitrification (Mimeche .L. 2014)

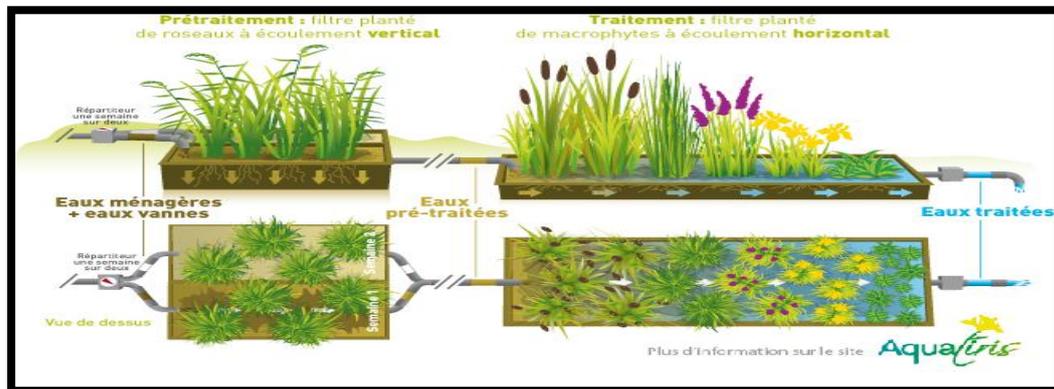


Figure n° 3 : Système hybrides [www.Hidrik.com]

## II .6.Rôle du constituant d'un filtre

### II .6.1.Rôle du substrat :

Les substrats utilisés pour construire un filtre comprennent le sol, le sable, le gravier, les pierres et de matières organiques telles que du compost ces derniers ont une importance qui se résume dans

- \*Filtrent automatiquement les matières en suspensions présentes dans l'eau usée à traiter.
- \*Ils servent de support à la végétation
- \*Lieu de nombreuses transformations biologiques (en particulier bactériennes) formant une source de carbone et d'énergie pour l'activité biologique
- \*Ils supportent d'un grand nombre d'organismes vivants
- \*Influencent le mouvement d'eau à travers le marais par sa perméabilité
- \*Les substrats assurent le stockage pour plusieurs contaminants (Tiglyene et al. 2005)

#### II .6.1.1 Différent type de substrat

Vu de leur importance pour les plantes ainsi que pour l'activité biologique on a opté de citer quelque type de substrat utilisé pour la construction des filtres plantés des macrophytes :

- Les sols organiques denses : ce sont des sols qui se caractérisent par une texture dense telle que l'argile et schiste qui empêche la pénétration des racines, l'écoulement des

eaux est lent comme ils sont pauvre en élément nutritif qui limite la croissance et le développement des plantes ce que nous oblige à éviter ses sols

- Les sols a texture moyenne : leur texture tendre et friable permet l'écoulement des eaux, facilite la pénétration des racines comme ils assurent une bonne retentions des polluants ce que favorise leur choix ce sont de nature limoneuse.
- Les sols sableux, graveleux : ce type de substrat se caractérise par un drainage rapide suite à leur porosité élevé ce que affaibli leur potentiel de retentions des polluants, leur influence sur la croissance racinaire et presque nul, présente un bon support au plante mais avec un apport médiocre des nutriments ce que implique un ajout des MO pour l'amélioration de la croissance des plantes et leur survie au cours des premières années

### II .6.2.Rôle des microorganismes :

Le principal rôle des micro-organismes est, comme dans tout procédé de traitement biologique, la dégradation de la matière organique et inorganique en solution inoffensive.

Ils assurent les différents processus d'oxydation et de réduction ils génèrent grâce à la dégradation de la matière organique l'énergie nécessaire à la biosynthèse.

Ils minéralisent les composés azotés et phosphorés, et les rendent ainsi assimilables par les plantes.

Ils assurent également les réactions de nitrification/dénitrification.

### II .6.3.Rôle des macrophytes :

Au-delà de l'aspect esthétique et de leur rôle mécanique primordial il faut citer l'importance des plantes comme élément permettant d'intégrer les installations de traitement dans le paysage cette importance se présente dans :

\*Elles empêchent la matière organique retenue en surface de former une croûte relativement imperméable qui gênerait l'infiltration des eaux

\*Elles assurent l'ouverture du support minéral

\*Elles assimilent certaines substances, telles l'azote et le phosphore

\*Elles stabilisent les substrats et limite l'écoulement

\*Elles ralentissent la vitesse de l'eau, permettant aux matières suspendues de se déposer

\*Elles transfèrent l'O<sub>2</sub> entre l'atmosphère et les sédiments

\*Les systèmes racinaires et leurs tiges fournissent des sites pour l'attachement microbien

\*Elles créent le détritus quand elles meurent et pourrissent.

### II .6.3.1.Les plantes utilisées(les macrophytes)

Dans le traitement des eaux usées par filtre planté les plantes jouent un rôle essentiel donc : Elles doivent être des plantes aquatiques ou bien des plantes adaptées au milieu humide comme elles doivent répondre à des critères importants :

- Adaptation aux conditions climatiques locales
- Taux de croissance rapide
- Facilité d'exportation de la biomasse produite
- Avoir un système racinaire important
- Tolérance à des concentrations élevées de polluants (composé toxique, pH, salinité, métaux)
- Facilité d'établissement (par ensemencement ou propagation par rhizome)

\*On peut citer quelque plantes les plus utilisé dans ce domaine

**II .6.3.1.1.Tamarix:** c'est une plante qui se trouve abandonnée dans des vastes terrains, aussi au bord des cours d'eau et des rejets. Elle est formée d'un petit tronc et un houppier léger aux rameaux retombants et porte des feuilles à de menues écailles, équipées de glandes sécrétant de sel. Les fleurs tenues blanches ou roses sont groupées en racèmes effilés. Les fruits sont des capsules. Leur culture est spécifique des zones arides. Ces arbres s'adaptent à quantité de situations et de climats, tolérant même l'aridité et les embruns, comme elles apprécient un sol profond et sableux et peuvent être taillés après la floraison, leur multiplication se fait par semis, ou par boutures aoûtées en hiver ou semi- aoûtées en automne et en fin de printemps.(Mimeche .L. 2014)



Figure n°4:Photo tamarix

### II .6.3.1.2.Phragmites(Roseau)

Plante vivace à rhizome rampant, très ramifié, émettant des tiges nombreuses, Elle se trouve spécialement au bord des cours d’eaux ou dans les rejets. Le Phragmite est une plante qui résiste aux milieux les plus argileux et rocailleux, facile à implanter aux marécageux. Sa hauteur est de 1 à 5 mètres, cette plante comporte 2sortes de tiges : les une souterraines appelées rhizomes, les autres aériennes dressées et simples portant de longues feuilles rubanées qui se terminent par des inflorescences (**Mimeche .L. 2014**) .Cette plante peut s’adapter facilement aux périodes d’inondation et d’assèchement et tolère de grands écarts de température.

Le roseau est la plante filtrante la plus utilisée au monde pour dépolluer les eaux usées quecela soit sous forme de filtre alluvionnaire végétalisé ou sous forme de bassins plantés transportant de l’oxygène pur dans ses rhizomes, elle est très performante pour traiter les charges organiques (demande chimique en oxygène DCO ou DBO<sub>5</sub> ou MES)



**Figure n°5 : Photo Phragmite**

### II .6.3.1.3.Typha :

Le typha appelé aussi massette est une plante d'eau vivace avec des racines rampantes, de longues feuilles aplaties elle colonise les marées, étangs, rivière rapidement à l’aide de son système racinaire. Les espèces les plus connues restent la massette à larges feuilles, qui atteint entre 1,50 et 3 m de hauteur, des fleurs terminées par des épis cylindriques denses et un fruit de forme ovoïde, duveteux et de couleur brune

Le typha est une plante très résistante qui peut être utilisée pour les cas de pollution les plus désespérés. Elle est capable de dépolluer des eaux usées très polluées à la limite de l’asphyxie

(lisiers, eaux de décharges). Elle est très performante dans les milieux à la limite de l'anoxie (peu d'oxygène). Elle biodégrade très bien les produits pétroliers, les composés chlorés, et résiste à tout : métaux lourds, sels, excès de DCO et DBO<sub>5</sub>.



Figure n°6 : Photo de Typha

### II .6.3.1.4 .Arundo donax :

C'est une graminée géante à souche rhizomateuse, elle peut atteindre 6m d'hauteur, elle a un magnifique feuillage estival. Ses feuilles tombantes sont de 60cm de longueur et de 6 cm de largeur. Elle est très commune dans le bassin méditerranéen, où elle forme des peuplements impénétrables sur les berges des rivières et des étangs (**Mimeche .L. 2014**)

C'est une plante qui s'accommode à de nombreux types de sols, mais elle préfère cependant un bon drainage donc elle est peu à l'aise dans les sols très argileux comme elle supporte une relative sécheresse et aridité, c'est une plante très utilisée dans la phyto-épuration et la phyto-extraction. Elle possède des rhizomes très puissants qui apprécient les sols frais mais bien drainés.



Figure n°7 : Photo d'Arundo

### II .6.3.1.5 Papyrus

Le papyrus est une plante qui pousse notamment sur les rives de Nil. C'est Au bord de l'eau que le Cyperus développe d'impressionnantes tiges souples bien vertes que coiffent des feuilles disposées en étoile à son sommet. (Mimeche .L. 2014)

Cette plante peut atteindre plusieurs mètres de hauteur, répandues surtout dans les habitats humides de presque toutes les régions du globe, sauf les plus froides. Elles tolèrent les rayons directs du soleil. Multiplier par semis ou division. (Mimeche .L. 2014)



Figure n°8 : Photo de papyrus

### II .6.3.1.6 Nerium Oleander (Laurier rose) :

Son nom : Nerium, vient de Nerion qui signifie en grec « eau ». Laurier rose en effet, préfère les terres bien arrosés. Ses feuilles sont plus grandes et sa floraison plus abondante (Mimeche .L. 2014) Le Neirum oléander est originaire d'Afrique du Nord où des buissons fleuris se

retrouvent sur le parcours des oueds. Le Nerium oléander se présente sous la forme d'un arbuste pouvant atteindre 2 à 3 mètres. Les feuilles sont résistantes, vivaces, ovales très allongées et ressemblant beaucoup à celle de laurier.



**Figure n°9 : Photo de Nerium Oleander**

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

#### **II .7.1.Avantages :**

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

#### **II .7.2.Inconvénients les plus souvent cités sont :**

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

### II .8.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé de présenter l'essentiel de la technique d'épuration par filtres plantés à macrophytes dite la phyto-épuration dont les systèmes les plus connus sont : le système à écoulement vertical, le système à écoulement horizontal et les systèmes hybride. Comme on a cité quelques plantes les plus utilisées dans cette technique ainsi que le rôle de chaque composant du filtre plante.

La phyto-épuration est très avantageuse puisqu'elle traite les eaux usées convenablement, elle crée un écosystème comme elle est esthétique.

# CHAPITRE I

## MATERIEL ET METHODE

## I. 1.Introduction :

On a vu dans la partie précédente que la phyto-épuration est basée sur la combinaison des plantes et le substrat utilisé alors Le but de ce chapitre est de montrer le protocole expérimental installé afin de tester le pouvoir épurateur des plantes choisis à épurer les eaux usées.

## I.2 .Présentation de la zone d'étude :

Notre étude est sur les eaux usées de la ville de Biskra dans ce cas il faut connaître quelque caractéristique sur cette ville et qui peut influencer notre expérience

## I.3.Caractéristiques géographique :

La wilaya de Biskra se situe au sud- est de la capital d'Algérie, son altitude est de 128m au niveau de la mer. Elle est caractérisé par un climat froid en hiver, chaud et sec en été .comme elle est limité par :

- \*Au nord par la wilaya de Batna et la wilaya de M'sila
- \*À l'est par la wilaya de Khenchla
- \*À l'ouest par la wilaya de Djelfa
- \*Au sud par la wilaya d'El Oued

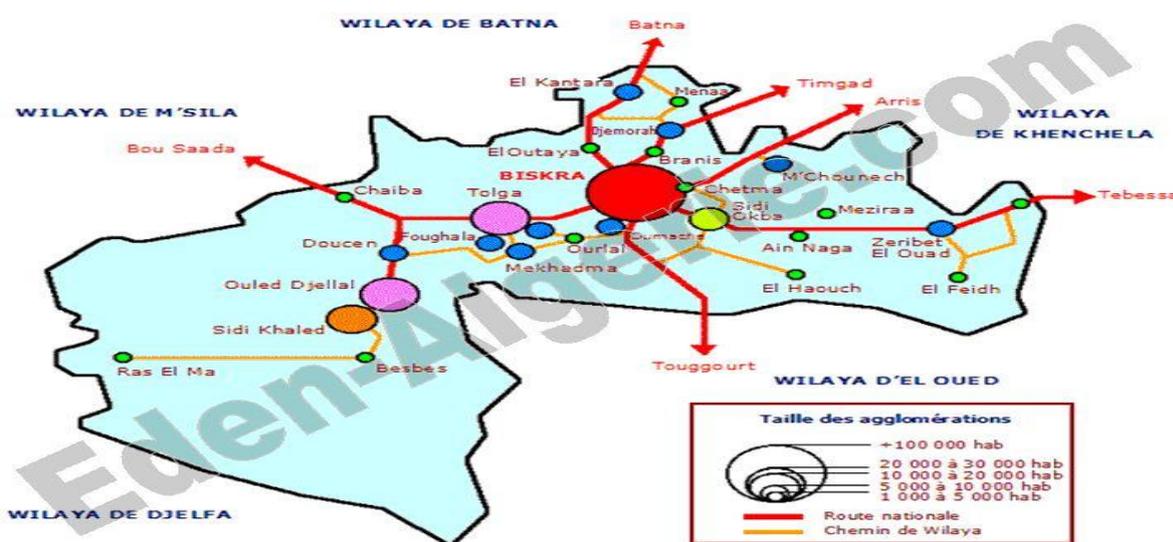


Figure n° 01 : présentation de la situation géographique de la ville de Biskra

#### **I.4.Caractéristiques climatologique :**

Le climat de Biskra est chaud et sec, la température moyenne minimale est de 5°C pendant la période froide quant aux périodes chaudes, le maximum absolu dépasse très fréquemment la valeur de 45°C e. Les minima absolus sont toujours supérieurs à 20°C. On constate que la température moyenne maximale est de l'ordre de 33,8°C et que la température moyenne minimale est de 23°C (Malki, 2004).

##### **I.4.1. Pluviométrie**

Sur le bassin oriental les moyennes interannuelles de pluies sont de l'ordre de 40 à 50 mm pendant l'année. Seule la période d'octobre à avril, avec des pluies éventuelles d'intensité supérieure à 10 mm/24h, est favorable à l'infiltration (Malki, 2004). En effet, dans ces régions arides, le caractère exceptionnel de certaines pluies tombées en 24 h est très important à considérer puisqu'elles peuvent être à l'origine de recharges des nappes d'eau souterraines.

#### **I.5.Aperçu sur le site de rejet :**

Notre point d'enlèvement est le rejet de la ville de Biskra situé à côté de la caserne militaire de la wilaya (cartier Lebcheche),

##### **I.5.1.Caractéristique du rejet :**

Ce rejet collecte la majorité des rejets domestiques de la zone de la ville de Biskra avec un diamètre de 1200mm et un débit considérable et cela d'après la subdivision d'hydraulique de la wilaya



**Figure n° 02 : Photo du rejet**

Après l'apport de l'eau usée on a procédé à déterminer ces caractéristique physico-chimique dans le laboratoire de Msila, les résultats sont reporté dans un tableau(voir tableau n°1)

**Tableau n°01 :Résultats d'analyses physico-chimiques des eaux usées brut**

Les paramètres	Résultats
PO4 <sup>3-</sup> (mg/l)	10,641
SO4 <sup>2-</sup> (mg/l)	3,76
NO3 <sup>-</sup> (mg/l)	15,43
NH4 <sup>+</sup> (mg/l)	50,81
DBO (mg/l)	266
DCO (mg/l)	405,79
O2dissous (mg/l)	2,98
MES (mg/l)	253,5
Couleur	461,35
CE (µs/cm)	3139,8
Turbidité (NTU)	120,8
pH	8,461
Température °C	22,214

Les résultats d'analyses physico-chimiques effectuées sur les eaux usées brut du rejet montre que ces eaux ont un degré de pollution très important, dont laDBO5 dépasse 200mg/l, la DCO supérieure à 400mg/l et la présence de nutriment est remarquable ainsi que la conductivité électrique qui dépasse les normes (3139,8>1500) due à la minéralisation des eaux de consommation, tandis que le PH (8.461>8) on a conclu que ces eaux sont de nature biodégradable cela à partir du rapport DCO/DBO =1.525<3.

### **I.6.Présentation de la station**

Nos essais expérimentaux ont été effectués dans l'aire expérimentale du département d'hydraulique de l'université de Biskra, cette station est aménagée spécialement pour les essais de la phyto-épuration.



**Figure n° 03 : photo de la station expérimentale de la phyto-épuration**

## I.7.Préparation des dispositifs expérimentaux

Dans notre expérience nous avons utilisé le matériel suivant :

### I.7.1.Les bacs

Nous avons utilisé 05 bassines identiques de forme circulaire en plastique dont 4 parmi ces bac sont plantés de macrophytes et le 5eme est utilisé comme témoin (sans plantes) et à 4cm du fond de ces bacs des robinets en plastique sont placé pour l'évacuation de l'eau épurée.

Chaque bac est équipé d'un tube circulaire en PVC perforé introduit verticalement au centre des bacs pour faciliter l'écoulement et assurer une aération supplémentaire, entouré par un filtre en plastique pour éviter tout colmatage des orifices constituant le tube.



Figure n° 04 : Photo présentation du bac

### I.7.2.Le substrat

Pour notre expérience on a utilisé des gravies alluvionnaire de déférente taille, ce dernier est lavé avec de l'eau de robinet pour se débarrasser des impuretés qui peut influencer les résultats de notre expérience. Puis on les a exposés au soleil pour le sécher. Après séchage on a procédé au remplissage des bacs par 3 couches de substrat de déférente taille du plus gros au plus fin à partir du fond des bacs tandis que la 4<sup>eme</sup> couche sera mise après la transplantation des plantes.



Figure n° 05 : photo du lavage et séchage du substrat

Tableau n°02 : Taille des différentes couches du substrat

Substrats	Taille	Profondeur des couches dans les bassines (cm)
Galet	2 à 5 cm	5
Gravier grossier	0,7 à 2 cm	10
Gravier moyen	0,5 à 0,7 cm	10
Gravier fin	0,2 à 0,5 cm	10



Figure n° 06 : Photo des différentes couches de substrat

### I.7 3 Choix du macrophytes

Notre étude est de montrer l'efficacité de filtres plantés de macrophytes. Pour arriver à notre objectif on a choisi quatre type de plante qui répond le plus possible aux critères qu'on a cité dans le 2eme chapitre du premier partie. Après le prélèvement de ces plantes on les a met dans des bacs remplis d'eau de robinet jusqu'à ce que leur système racinaire soit bien développé puis on les transplantera dans le substrat déjà préparer dans les bacs et cela à partir du troisième couche du substrat, on plante dans chaque bac 15 tige d' un seul type de plante ensuite on les irriguera avec de l'eau de robinet pour quelles s'adapte au nouveau milieu pendant une période d'1 mois puis on les arrosera avec un mélange d'eau usée et d'eau de robinet pour bien s'adapter au milieu. Enfin on commencera a les irrigué par de l'eau usée.

Les plantes qu'on a choisies pour note travail sont présentées dans le suivant tableau (**voir tableau n°03**)

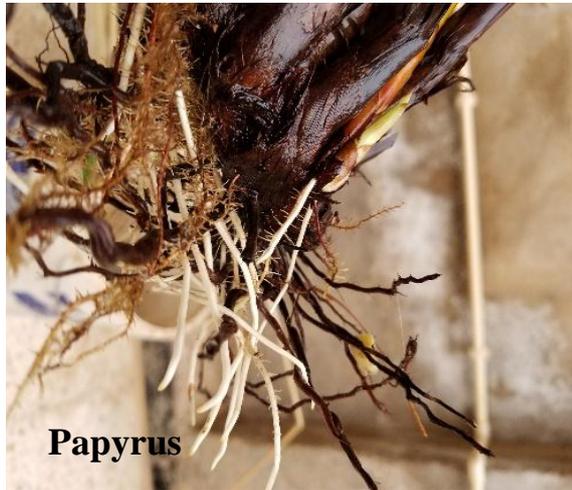
**Tableau n°03 : les plantes choisies pour l'expérience**

<b>Plantes</b>	<b>Caractéristiques</b>	<b>Lieu d'extraction</b>	<b>Date d'extraction et de transplantation</b>	<b>Période de développement racinaire</b>
<b>Papyrus</b>	Famille : cypéacées Origine : Egypte Hauteur : 1à3 m Croissance : rapide	Biskra	18/12/2018 28/01/2019	30 jours
<b>Phragmite</b>	Famille : graminée Origine : Biskra Hauteur : 1à5 m Croissance : rapide et envahissante	Sidi Khaled (Biskra)	18/12/2018 28/01/2019	30 jours
<b>Tamarix</b>	Famille : tamaricacées Origine : Asie, Europe du sud Hauteur : 2à5 m Croissance : moyenne	Sidi Khaled (Biskra)	18/12/2018 28/01/2019	30 jours
<b>Nerium oléander</b>	Famille : apocynacées Origine : bassin méditerranéen Hauteur : 2à3 m Croissance : rapide	Sidi Khaled (Biskra)	18/12/2018 28/01/2019	30 jours



**Figure n° 07 : Photos présentant la période de développement racinaire**

Après 30 jours on a constaté que le système racinaire des plantes est très développé comme le montre les photos ci-après, ce que nous permet leur implantation dans le substrat.



**Figure n° 08 : Photos montrant le développement racinaire des plantes**



**Figure n° 09 : Photos montrant la méthode de transplantation des plantes**

## **I.8.Méthode d'analyse**

### **I. 8.1 prélèvements des échantillons**

Après la période d'adaptation qui a duré 6 mois les filtres plantés sont prêt pour l'expérience alors on les a irrigue avec les eaux usées le **10-06-2019** à 16 :30 , après 24 heures le **11-06-2019** à la même heure on a commencé le prélèvement des échantillons de chaque bac (**voir photo n°09**). Cette prise d'échantillons est répété chaque jour jusqu'à épuisement de la quantité d'eau dans les bacs.



**Figure n° 10 : photo de prélèvement**

### I. 8.2 protocoles d'analyse

Lorsque les prises d'échantillons sont achevées on a commencé notre analyse de détermination des paramètres de pollution (DBO, DCO, MES,...) tout on suivant une méthode d'analyse précise.

#### I. 8.2.1.Détermination du PH, CE, température et O<sub>2</sub> dissout :

Pour la détermination de ces paramètres on a utilisé un multi- paramètre qui est un appareil permettant la mesure de différents paramètres chimique, l'appareil change de mode en fonction de la sonde qui lui est connecté, elle permet des mesure rapide et fiable

##### ●Mode opératoire

- Réglage de l'appareil selon le paramètre à mesurer
- Broncher la sonde équivalente au paramètre à mesurer
- Prendre un échantillon d'eau usée dans une éprouvette
- Rinçage de la sonde avec de l'eau distille
- Mètre la sonde dans l'échantillon
- lecture directe des résultats sur l'écran de l'appareil

\*Ces étapes concernent tous les paramètres mesurés par cet appareil sauf la température qui mesuré au même temps que le PH



Figure n°11 : photo d'un multi paramètre

### I. 8.2.2. Détermination de la DBO<sub>5</sub>

La DBO « Demande Biochimique en Oxygène » il s'agit d'une consommation potentielle de l'oxygène par voie biologique. Il est mesurée au bout de 5 jours (=DBO<sub>5</sub>), à 20 °C (température favorable à l'activité des micro-organismes consommateurs d'O<sub>2</sub>) et à l'obscurité par un DBOmètre dont on a présenté la méthode par des photos (**voir l'annexe**)



**Figure n° 12 : OxiTop® 6 postes et Enceinte DBO WTW**

#### Principe de mesure

Le poste de mesure de la DBO consiste en 1 flacon d'échantillon et une sonde DBO et constitue un système fermé. Dans le flacon, au-dessus du volume d'échantillon, se trouve un volume de gaz ayant une quantité définie d'air. Au cours de la détermination de la DBO, les bactéries présentes dans l'eau usée (l'échantillon peut être utilisé dilué ou non dilué) consomment l'oxygène dissout dans l'échantillon. Celui-ci est remplacé par l'oxygène contenu dans le volume de gaz du flacon. Le dioxyde de carbone qui se forme alors est absorbé avec NaOH qui se trouve dans le joint caoutchouc du flacon. Ainsi la pression diminue dans le système. Celle-ci est mesurée par les sondes DBO est affichée directement comme valeur DBO sur le Manomètre OxiTop® à lecture digitale

#### Préparation de l'échantillon

- le volume d'échantillon à l'aide du ballon de débordement et le verser dans un flacon DBO<sub>5</sub> (éventuellement utiliser un entonnoir).
- Si nécessaire ajouter de l'inhibiteur de nitrification ATH (*N*-Allylthiourea).

La nitrification est un processus, contrôlé. Évaluer la plage de mesure de l'échantillon à analyser et choisir le volume d'échantillon, (ex : 164ml), (suivre le tableau « sélection le volume d'échantillon »).

- Mesurer exactement par l'action de certains micro-organismes spécifiques, qui conduit à la transformation de l'ammoniac en nitrite (nitrosation par Nitrosomonas) puis à la transformation du nitrite en nitrate
- Placer un barreau d'agitation dans le flacon DBO<sub>5</sub>.
- Remplir le joint caoutchouc avec 3-4 comprimés de NaOH et le placer dans le flacon.
- Visser le manomètre OxiTop® à lecture digitale du DBO<sub>5</sub> sur le flacon, et régler le manomètre suivant les étapes visées au (I).
- Poser l'échantillon sur le support à flacons.
- Démarrage et Incubation de l'échantillon selon la norme (DBO<sub>5</sub> sur 5 jours à 20°C).
- Lecture des valeurs mémorisées après 5 jours (voir II).

### I) Manomètre OxiTop®

- + • Appuyez simultanément sur **S**, **MS** et **M** jusqu'à l'affichage de 2 sec 00

--

00

- après 5 jours appuyez sur **M** jusqu'à ce que la valeur mesurée est affichée **M** (1 seconde)

38



Figure n°13 : Manomètre OxiTop®

### II) Sélection le volume d'échantillon

Convertir la valeur mesurée affichée dans le manomètre OxiTop® avec le tableau ci-dessous

(La valeur mesurée \* facteur = DBO<sub>5</sub> en mg/l) :

**Tableau n°04 : Plage de mesure de la DBO<sub>5</sub>**

Volume d'échantillon en ml	Plage de mesure DBO mg/l	Gouttes ATH ( <i>N</i> -Allylthiourea)	facteur
432	0 – 40	09	1
365	0 – 80	07	2
250	0 – 200	05	5
164	0 – 400	03	10
97	0 – 800	02	20
43.5	0 – 2000	01	50
22.7	0 – 4000	01	100

### I. 8.2.3. Détermination de la DCO :

Pour la détermination de ce paramètre on a utilisé la méthode Spectrophotomètre UV-VISDR 5000 c'est une méthode analytique quantitative dont le principe consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée, généralement en solution. Plus l'échantillon est concentré, plus il absorbe la lumière dans les limites de proportionnalité énoncées par la loi de Beer-Lambert.



**Figure n° 14 : Spectrophotomètre UV-VIS DR 5000**

### Mode d'emploi

- Raccordez l'alimentation.
- Fermez le compartiment pour cuve.
- Mettez l'appareil sous tension en appuyant sur l'interrupteur «Marche/Arrêt» situé au dos.

- A chaque mise sous tension de l'appareil, une série de tests de diagnostic est exécutée automatiquement pour garantir le fonctionnement des principaux composants du système.
- Le «Menu principal" s'affiche quand les diagnostics à la mise sous tension sont terminés.
- Appuyez sur la touche "Longueur d'onde unique" pour sélectionner la valeur de longueur d'onde.
- Appuyez sur la touche "options ".
- Appuyez sur  $\lambda$  pour saisir la longueur d'onde.
- Entrez la longueur d'onde à l'aide du clavier alphanumérique.
- Appuyez sur "OK" pour confirmer le retour à l'écran "Longueur d'onde unique".
- Pour déterminer la valeur du blanc, on utilise de l'eau désionisée à la place d'un échantillon, fermez le compartiment pour cuves puis appuyez sur "Zéro".
- Insérez la cuve d'échantillon dans le compartiment pour cuves, fermez le compartiment puis appuyez sur "Mesurer".
- Répétez l'opération jusqu'à ce que tous les échantillons aient été mesurés.
- Quand vous aurez terminé, mettez l'appareil hors tension et remettre la couverture.

#### **I. 8.2.4.Détermination des paramètres azotés**

##### **1-Dosage de l'ammonium**

Le dosage de l'ammonium est réalisé avec un ionomètre de Type « **HANNA** » **HI 4521**

##### **Mode opératoire**

- 1.Preparer des solution de  $1.10$ ,  $1.10^{-2}$ ,  $1.10^{-3}$ ,  $1.10^{-4}$ ;  $1.10^{-5}$ ,  $1.10^{-6}$ , de  $\text{NH}_4$  dans l'eau distillé.
- 2-Ajouter à chcue de ces solutions étalons un volume égale de  $\text{NH}_4$ .
- 3-Connecter l'électrode spécifique et l'électrode de référence à jonction double à l'appareil de mesure.Programmer l'appareil à l'aide des valeurs de concentration des solutions étalon
- 4.Plonger successivement les electrodes dans chaque solution et commencer par le moin concentrée et calibrer le système

5. La courbe de calibrage est construite et mémorisée par l'appareil.

6. Préparer les échantillons de la même manière que les solutions étalons. Plonger les électrodes dans ces solutions et lire la concentration sur l'afficheur de l'appareil de mesure.



**Figure n°15 : Ionometre de Type « HANNA » de type HI 4521**

## **2-Dosage des nitrates**

On a effectué ce dosage par la méthode **spectrophotométrie UV (T90-012)**

### **1. principe et domaine d'application**

Les  $\text{NO}_3$  en solution aqueuse présentent un spectre d'absorption dans l'UV avec un maximum entre 200 à 250nm. La mesure de l'absorbance en UV à 220 nm permet une détermination rapide de la concentration en nitrates d'une eau. Cette méthode n'est pas recommandée pour des eaux riches en matière organique.

L'acidification de l'échantillon avec de l'acide chlorhydrique à  $1 \text{ mol.L}^{-1}$  permet d'éviter les interférences de l'hydroxyde ou de carbonate de calcium à des concentrations supérieures à  $1 \text{ g de CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ . La droite d'étalonnage respecte la loi de Beer-Lambert pour des concentrations en nitrates inférieures à  $11 \text{ mg d'azote des nitrates par litre}$ .

#### **▪ Préparation des solutions**

##### **✓ Solution étalon de nitrates à $100 \text{ mg N-NO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$**

-Dissoudre  $0.7218 \text{ g}$  de nitrate de potassium, préalablement séché à  $105^\circ\text{C}$  pendant  $24 \text{ h}$ , dans  $1000 \text{ mL}$  d'eau distillée.

##### **✓ Solution étalon de nitrate à $10 \text{ mg N-NO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$**

-Diluer la solution précédente au  $1/10$ .

## 2. Mode opératoire

### Gamme d'étalonnage

- A partir d'une solution étalon à 10 mg de N-NO<sub>3</sub>, préparer une gamme étalon dans des fioles jaugées de 50 ml comme indiqué sur le (tableau n°) :

**Tableau n°5 : gamme d'étalonnage**

Volume de solution étalon ml	1	2	4	7	10	20	25	35
Masse d'azote des nitrates mg N-NO <sub>3</sub>	0,2	0,4	0,8	1,4	2	4	5	7

Réalisation de la gamme d'étalonnage (Figure III.11) pour des nitrates par spectrophotométrie UV

- Compléter à 50 ml avec de l'eau déionisée
- Lire l'absorbance à 220 nm en utilisant de l'eau distillée pour régler le zéro d'absorbance et en utilisant des cuves spéciales pour UV.

#### ▪ Dosage de l'eau à analyser

- Prélever une prise d'essai de 50 ml d'échantillon.
- Filtrer si nécessaire pour éliminer le trouble du aux matières en suspension.
- Ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique à 1 mol.L<sup>-1</sup> et mélanger fortement.
- lire l'absorbance dans les mêmes conditions que pour la gamme étalon.

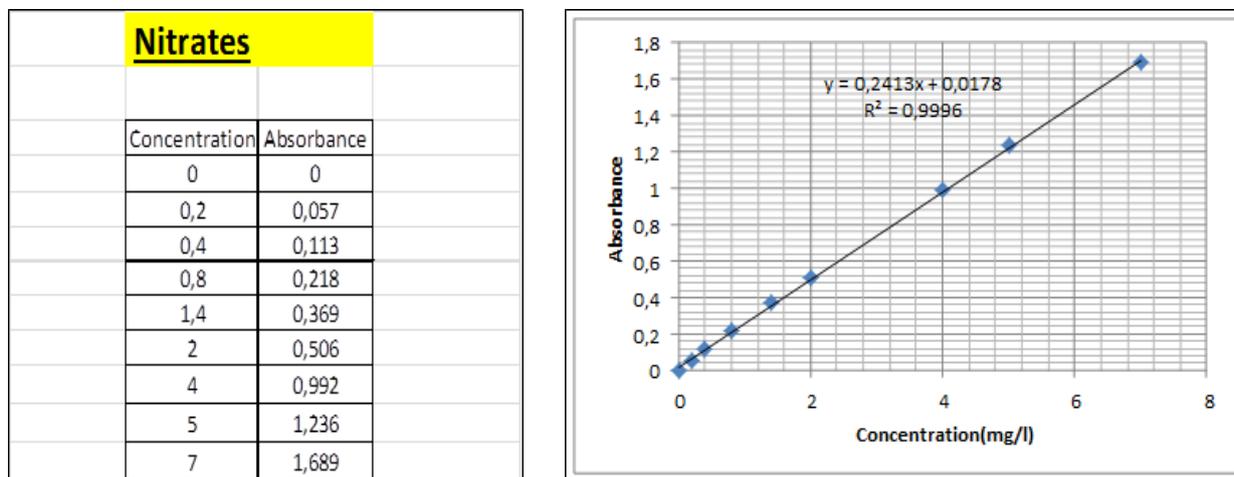
#### ▪ Expression des résultats

Déduire, de la courbe d'étalonnage et de l'absorbance de l'échantillon, la masse d'azote des nitrates exprimée en mg de N-NO<sub>3</sub>. L<sup>-1</sup>. Il est possible de transformer cette concentration en concentration en NO<sub>3</sub>. L<sup>-1</sup> par la formule suivante :

$$C_{NO_3} = C_{N-NO_3} * 62/14$$

**62** : masse molaire de l'ion nitrate en g.mol<sup>-1</sup>.

**14** : masse molaire de l'azote en g.mol<sup>-1</sup>



**Figure n°16 : Courbe d'étalonnage du nitrate**

### I. 8.2.5. Détermination de phosphate

#### \*Dosage de l'ortho-phosphate

C'est la méthode spectrométrique qui est utilisée pour ce dosage

#### Principe :

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho phosphates donnent un complexe phospho- molybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique

#### Réactifs :

##### 1. réactif mixte :

- A. Solution de molybdate d'ammonium
- B. Solution de tartrate double d'antimoine
- C. Solution d'acide sulfurique.

Mélanger A+B+C cette solution est stable pendant 2 mois si elle est gardée dans un flacon en verre bien fermé et 4 °c.

**2. acide ascorbique :**

Peser 10 g d'acide ascorbique est dissoudre dans 100 ml d'eau distillait cette réactif est stable pendons une semaine.

**3. solution mère 50 mg/l d'ions  $\text{PO}_4^{3+}$  :**

Dissoudre 0.2197g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4^{3+}$  dans 800 ml d'eau distillait + 10 ml d'acide sulfurique 20% est complète à 1000 ml cette réactif est stable pendons une semaine.

**4. Solution fille 2 mg/l d'ions  $\text{PO}_4^{3+}$  :**

Diluer la solution mère 50 mg/l d'ions  $\text{PO}_4^{3+}$  au 20/500 ml préparer cette solution au moment De l'emploi.

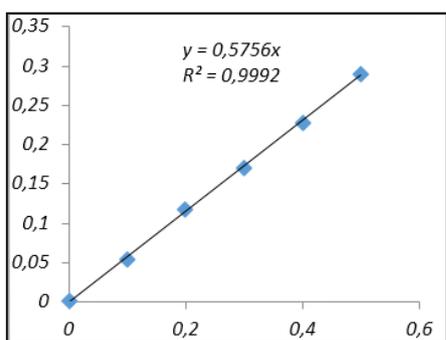
**Appareillage :** Spectrophotomètre UV-VISIBLE

**Tableau n°6 : Etablissement de la courbe d'étalonnage du phosphate**

\$ fille 1mg/l	0	2	4	6	8	10
Eau distillait (ml)	40	38	36	34	32	30
Acide ascorbique (ml)	1	1	1	1	1	1
Réactif mixte (ml)	2	2	2	2	2	2
Attendre 10 min						
$[\text{PO}_4^{3+}]$ en mg/l	0	0.306	0.612	0.918	1.224	1.530

- Mode opératoire :**

Dans un la fiole prendre 40 ml d'eau à analyser +1 ml d'acide ascorbique + 2 ml du réactif mixte et attendre 10 min. L'apparition de la coloration bleu indique la présence de  $[\text{PO}_4^{3+}]$  en mg/l. Effectuer la lecture à 880.



C (mg/L)	ABC (880 nm)
0	0
0,1	0,054
0,2	0,118
0,3	0,171
0,4	0,227
0,5	0,291

**Figure n°17 : Courbe d'étalonnage du phosphate**

**I. 8.2.6. Détermination des matières en suspensions (MES) :**

Le paramètre MES englobe tous les éléments en suspension dans l'eau :

MES = MMS (matières minérales en suspension) + MVS (matières volatiles en suspension).

**•Principe**

La technique de mesure consiste à filtrer l'eau à analyser sur une membrane filtrante. La différence de poids de la membrane avant et après filtration, nous donnera la teneur en matières en suspensions de l'eau après avoir séché à l'étuve à 150°C.

**•Matériel**

Entonnoir, papier filtre, étuve, une pipette de 100 ml et un dessiccateur.

**•Mode opératoire**

Peser le papier filtre. Après séchage de celui-ci à l'étuve à 105°C. Durant une heure de refroidissement au dessiccateur. Filtrer 200 ml de l'échantillon d'eau à analyser, sécher le filtre à l'étuve (150°C) jusqu'à ce que le poids reste constant après refroidissement.

**•Calculs**

Le taux de matières en suspension, exprimé en milligrammes par litres, est donné par l'expression :

$$M.E.S = (M1 - Mo) * 1000 / PE \text{ en mg/l}$$

Soient : PE : le volume, en millilitres de la prise d'essai. = 200 ml

Mo : la masse, en milligrammes de la capsule vide.

M1 : la masse en milligrammes, de la capsule et de son contenu après séchage à 105°C.

**I.9 Conclusion :**

Au début de ce chapitre on a essayé de donner d'une part une présentation de la zone d'étude géographique, climatologique, ainsi qu'un aperçu sur le rejet dont l'étude est basée. Et d'autre part un aperçu sur la préparation du dispositif expérimental (bacs, substrat et plantes) ainsi que les méthodes d'analyse dont les résultats seront interprétés et discutés dans le prochain chapitre.

# CHAPITRE II

## INTERPRETATION DES RESULTATS

**II.1.Introduction**

Après la détermination des analyses physico-chimique de l'eau récupérée des bacs plantés de macrophytes et du bac témoin, on passera dans ce chapitre à l'interprétation des résultats obtenue dont l'objectif consiste à montrer l'efficacité des filtres plantés dans l'abattement des différents paramètres de pollution en faisant une comparaison entre les eaux usées brutes et les eaux récupérées des bacs.

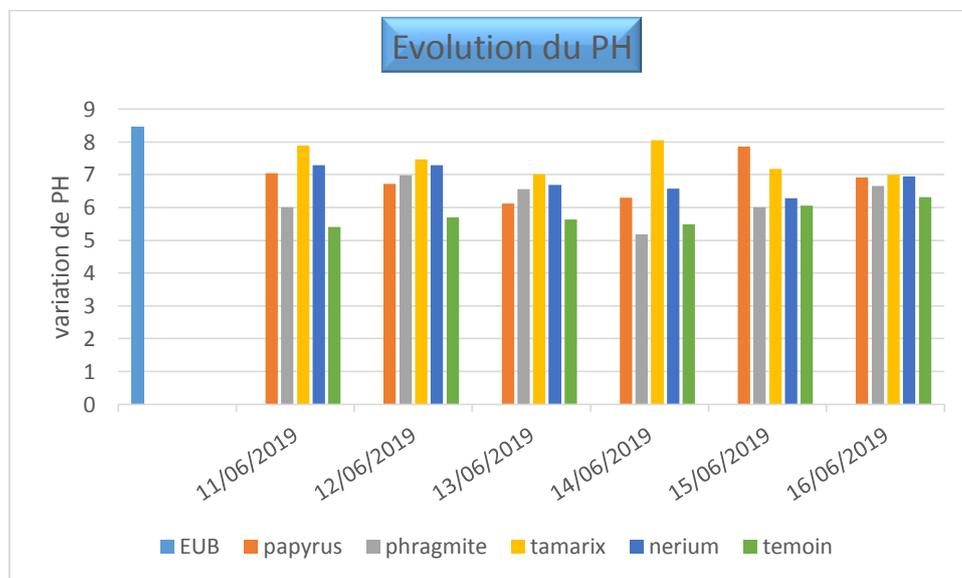
**II.2 Performance de filtres plantés de macrophytes :**

Ce travail était basé sur l'évaluation des taux de rétentions de pollution des plantes étudiées par rapport au temps de séjour de tous les paramètres présentés dans les graphes 1 jusqu'à 16. Les résultats obtenus sont importantes à cause de :

- L'âge des macrophytes qui dépasse quatre mois donc le système racinaire est très développé ce qui peut assurer une bonne dégradation des polluants ;
- Ce remplissage s'est effectué en période estivale qui peut expliquer le phénomène d'épuration sous les conditions chaudes ;
- Dans ce remplissage le temps de séjour est plus variable, (1jour ,2jours, 3jours, 5jours, 6jours).

**II.3.variation des paramètres physico-chimique**

**II.3.1.Évolution du PH :** les résultats du PH des eaux usées brutes et les eaux récupérées des filtres après un temps de séjour sont présentés par l'histogramme suivant



**Figure n°1 : Evolution du PH**

D'après ce graphe on peut constater que les valeurs de PH des eaux récupérés de tous les bacs ont subi une diminution par rapport aux eaux usées brut. Comme on peut constater que les eaux usées sont de nature basic avec un PH  $8.461 > 7$  contrairement aux eaux récupérés des bacs de phragmite et bac témoin qui ont une nature acide avec un PH qui varie entre 6.66 et 5.4 tandis que les eaux des bacs restant tend vers la neutralité avec un PH entre 6.9 et 7.8

Cette baisse peut se conjuguer par plusieurs facteurs :

- L'accumulation de  $H^+$  suite à l'activité des bactéries nitrifiantes.
- L'accumulation de  $CO_2$  dû au métabolisme des plantes ou à la dégradation de la matière organique par les bactéries hétérotrophes.
- La production des ions  $H^+$  par la plante pour compenser le prélèvement de certains cations (nutrition minérale)

D'après (**Rejsek, 2002**), pour les processus d'épuration aérobies, la biomasse a besoin d'un pH proche de la neutralité pour réaliser son activité épuratrice, ce qui est le cas général des eaux résiduaires urbaines. Lors de la fermentation, il y a production d'acides organiques qui peuvent diminuer le pH du milieu qui seront utilisés par la biomasse anaérobie avec une production finale de méthane ( $CH_4$ ). Si l'installation fonctionne correctement, le pH sera proche de la neutralité. Les résultats obtenus sont confirmés par les résultats de **Micmeche L (2014)**.

**II.3.2.Évolutions de la Conductivité :** le graphe ci-après nous montre l'évolution de la conductivité électrique des eaux récupéré par rapport aux eaux usées brut en fonction du temps.

On remarque que la conductivité moyenne à la sortie des filtres est toujours supérieure de celle des eaux usée brutes. Pour les quatre filtres plantés et par rapport aux temps de séjour, la conductivité électrique est très élevée. Cette augmentation est liée à une minéralisation excessive de la matière organique (supérieur à 1500) et au phénomène d'évapotranspiration qui tend à concentrer d'avantage l'effluent (à cause de la température élevé et du vent). En effet l'évapotranspiration et la minéralisation sont plus accentuées en période estivale (Mai et Juin). La même constatation est effectuée par **Abissy et al, (1999)**. Un résultat similaire est obtenu par **Finlayson et al, (1983)** et **Tiglyene, et al (2005)** ; **Mimeche (2014)** qui ont associé cette augmentation de la conductivité au phénomène d'évapotranspiration de la végétation, qui tend à concentrer davantage l'effluent. Malgré l'augmentation de certaines

valeurs de la conductivité, le filtre planté de Tamarix a permis d'avoir une valeur inférieure par rapport aux autres.

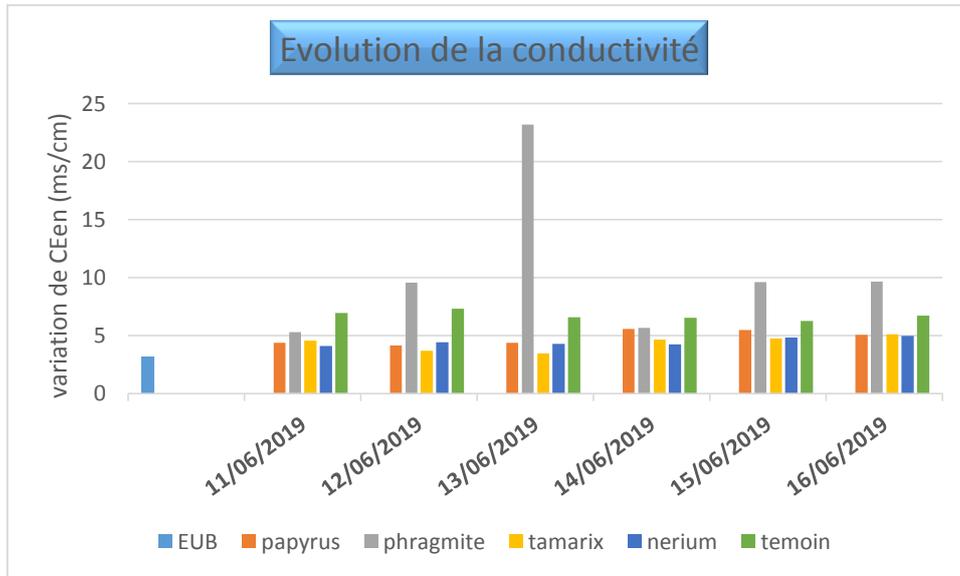


Figure n° 2 : Évolutions de la conductivité électrique

II.3.3. Evolution de la Température

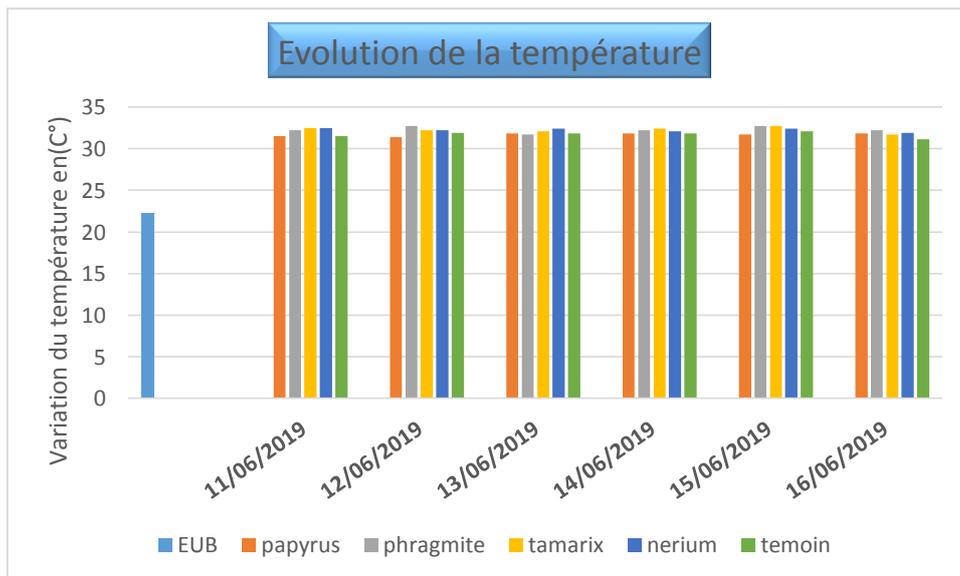
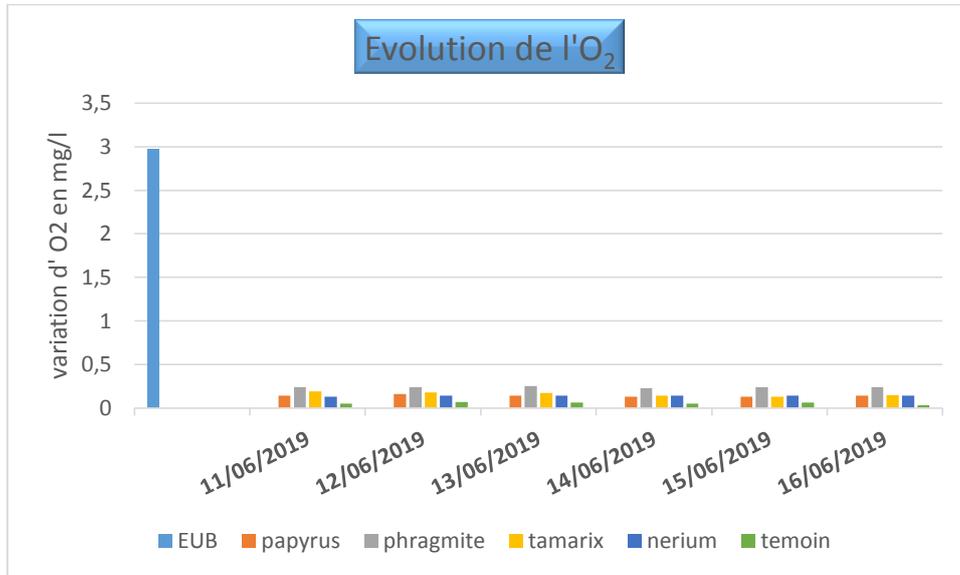


Figure n° 3 : Évolutions de la température

D'après le graphe on constate que les valeurs de la température ont augmenté dans les filtres en comparant avec les eaux brutes cela est dû au changement climatique ainsi que l'activité des bactéries qui dégage de la chaleur cette augmentation est très importantes pendant la

période estivale, qui est un facteur positif pour l'augmentation du rendement de l'épuration des eaux usées.

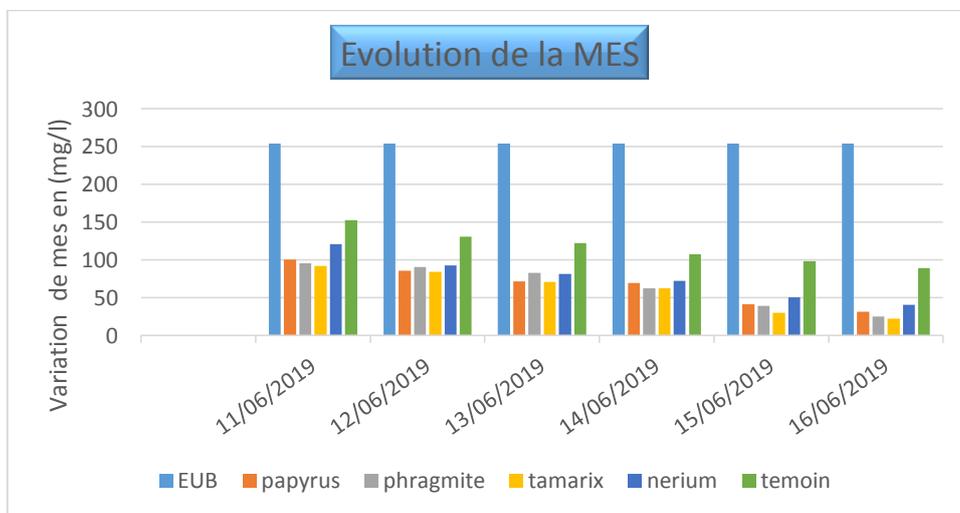
**II.3.4. Évolutions de l'O<sub>2</sub> :**



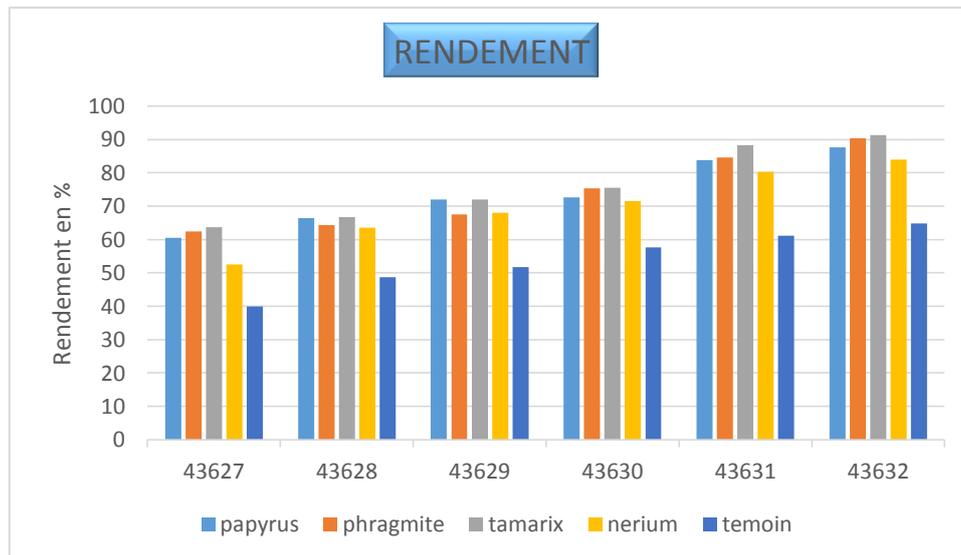
**Figure n° 4 : Évolutions de l'O<sub>2</sub>**

On remarque une diminution importante dans les valeurs de l'O<sub>2</sub> dans tous les bacs ce qui permet de dire qu'il existe une activité aérobie importante qui permet une consommation de l'oxygène dissous, aussi l'existence de nitrification et dénitrification participe à la diminution du taux d'oxygène résultat confirmé par **Mimeche (2014)**.

**II.3.5.Évolution de la MES**



**Figure n°5 : Évolution de la MES**



**Figure n° 6 : Taux d'élimination de la MES**

D'après le graphe on constate que la concentration de la matière en suspension de l'eau brute 253.5 mg/l dépasse les normes par contre on a obtenu une diminution importante dans les eaux récupérées des bacs avec un taux d'élimination qui varie entre 60.46% et 87.61% pour le papyrus, 62.39% et 90.28% pour phragmite, 63.66% et 91.28% pour le tamarix, 52.44% et 83.98% pour Nerium, 39.91% et 64.79% pour le bac témoin.

On conclut que l'élimination des matières en suspension est excellente dans les bacs plantés. Les résultats sont parfaits puisque la théorie admise à ce sujet est celle qui présente les plantes aquatiques comme des barrières physiques freinant le transport de MES vers la sortie des bassines et contribuant ainsi à leur décantation et digestion dans les sédiments (**Vymazal, 2007 ; Kadlec, et al. 2000 ; Marika et al. 2009**).

### II 3.6.Évolution de la DCO

Les résultats d'analyses présentent une baisse remarquable en DCO dans les eaux des bacs où le rendement atteint 87.44% marqué par le bac planté de tamarix

On peut dire que cette diminution des valeurs en DCO indique la minéralisation de la matière organique, donc l'existence des plantes qui stimule ce phénomène (**Vymazal, et al. 1998**). La DCO est un paramètre qui nous permet d'évaluer d'une manière plus claire la quantité des matières organiques biodégradables et non biodégradables contenue dans les eaux usées. Dans l'ensemble, les systèmes implantés de macrophytes fournissent des eaux claires et limpides avec une charge organique réduite par rapport à celle des eaux usées brutes pour une période de séjours égale à 6.

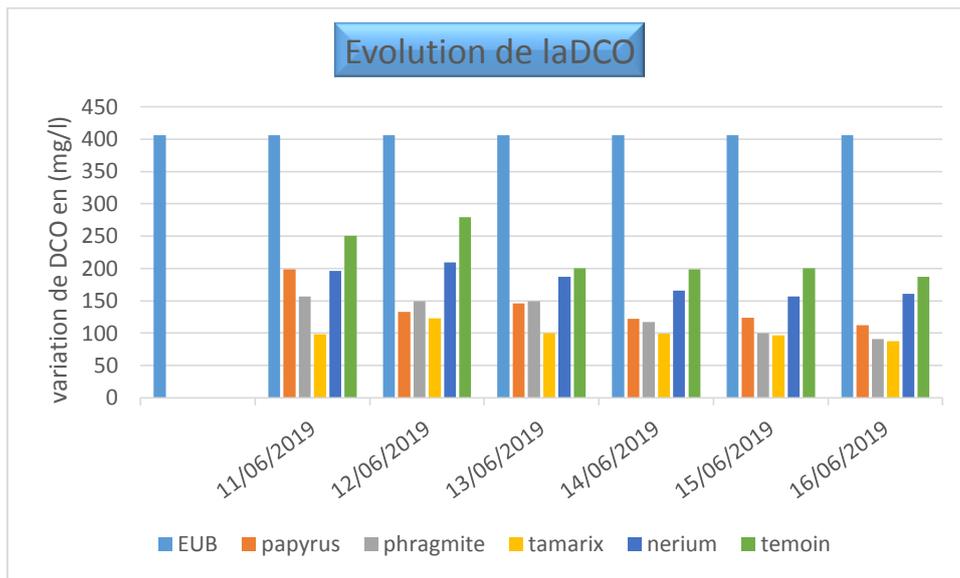


Figure n° 7 : Évolution de la Demande chimique en oxygène

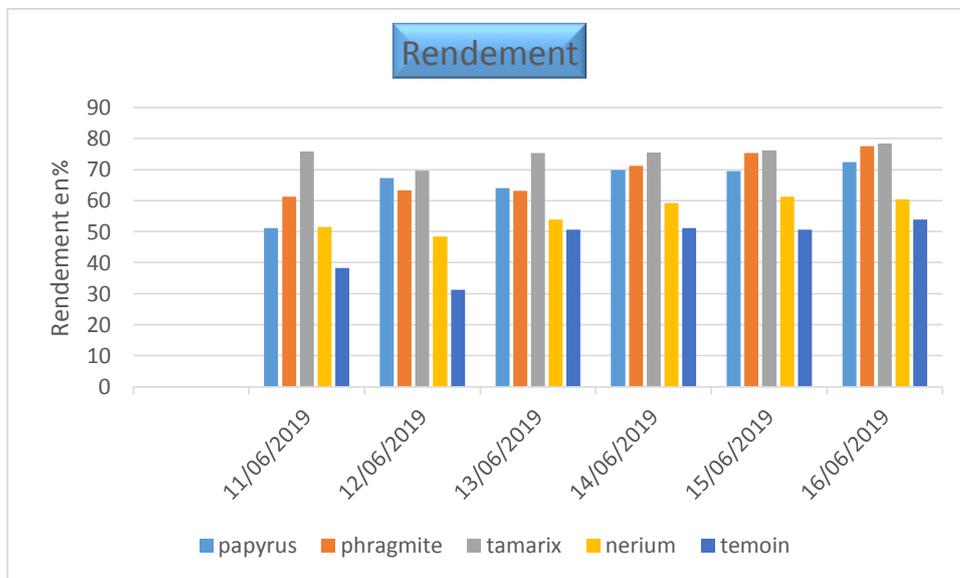


Figure n°8 : Taux de diminution de la DCO

II.3.7.Évolution de la DBO<sub>5</sub>

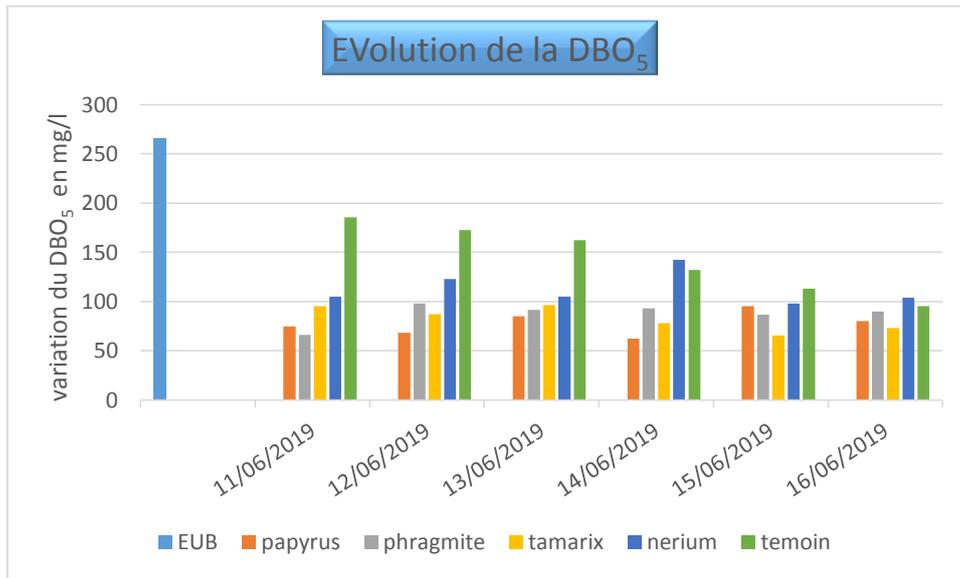


Figure n°9 : Évolution de la demande biologique en oxygène

Selon le graphe on constate que les valeurs enregistré de la DBO<sub>5</sub> concernant les eaux récupérées sont inférieure à celle des eaux usées brute elle varie entre 105.28mg/l et 95.24 mg/l

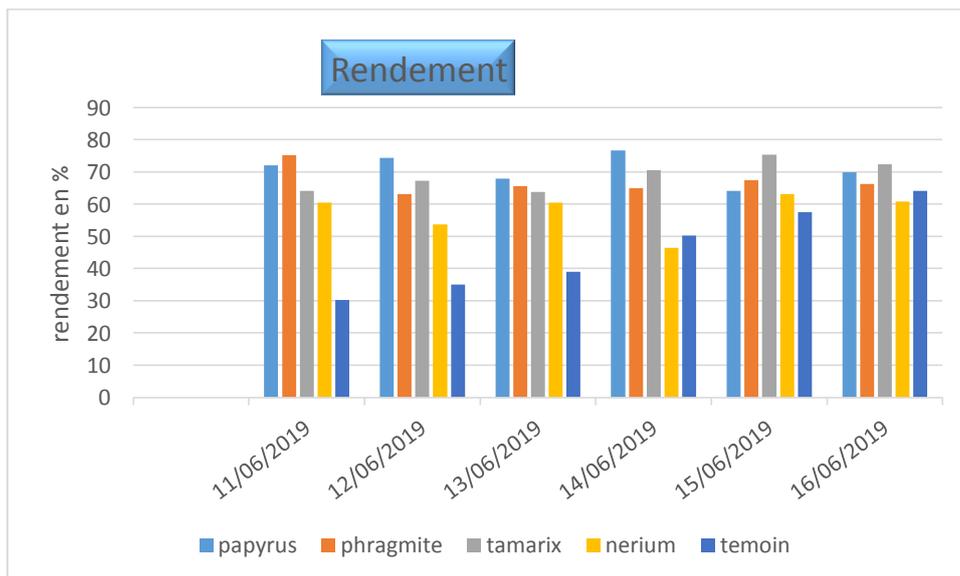


Figure n°10 : Taux de diminution de la DBO<sub>5</sub>

Le pourcentage d’abattement de cet élément est entre 76,62% et 60,90 % dont la moyenne est de 68.76% ce que nous donne une bonne réduction.

Cette dégradation peut se faire en présence ou en absence d’oxygène (Mimeche.l 2014). L’élimination de la charge organique se fait par simple filtration en plus des processus biologiques dus à la flore bactérienne et aux plantes. (Vymazal, 2007).

II.3.8. Évolution de l'Azote ammoniacal

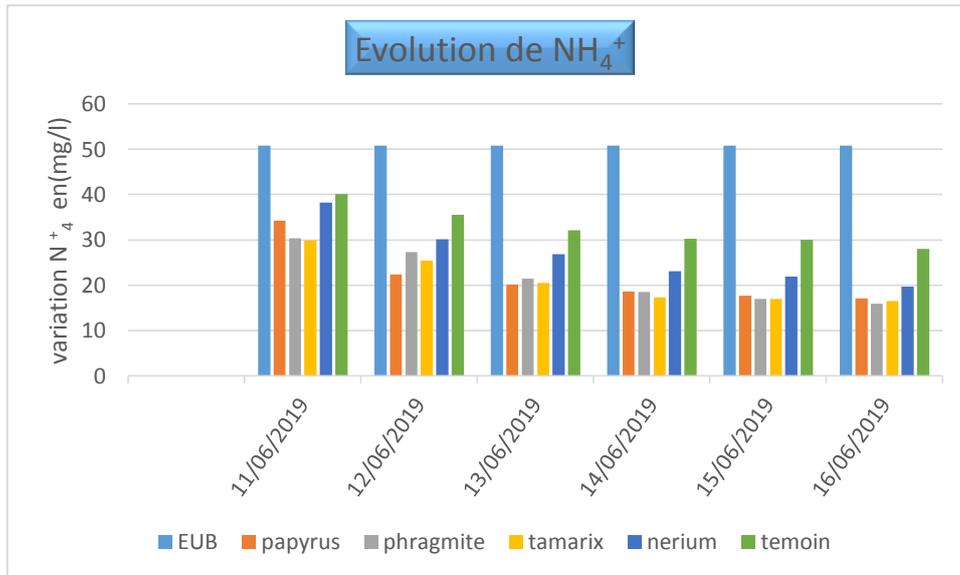


Figure n°11 : Évolution de l'azote ammoniacal

Selon la figure (12) la teneur en azote dans les eaux usées récupérées connaît une diminution au cours de temps par rapport à celle des eaux usées brutes.

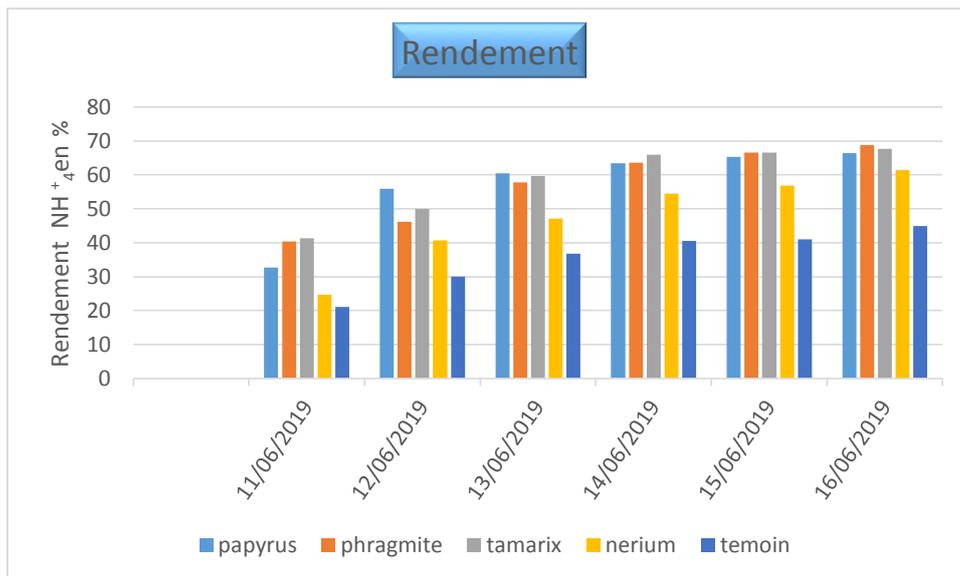


Figure n°12 : Taux d'élimination l'azote ammoniacal

Comme nous observons une augmentation très nette des rendements d'élimination de l'azote ammoniacal de l'ordre de 68.76% pour le filtre planté de phragmite et de 67.62% pour le tamarix et de 66.46% pour le papyrus tandis que pour le Nerium et le bac témoin et De

61.32% et 44.89%. La séquence nitrification-dénitrification est considérée comme le processus majeur d'élimination de l'azote (Reddy et al, 1989). En conditions anaérobies, les nitrates peuvent être éliminés par dénitrification microbienne.

II.3.9.Évolution du Nitrate

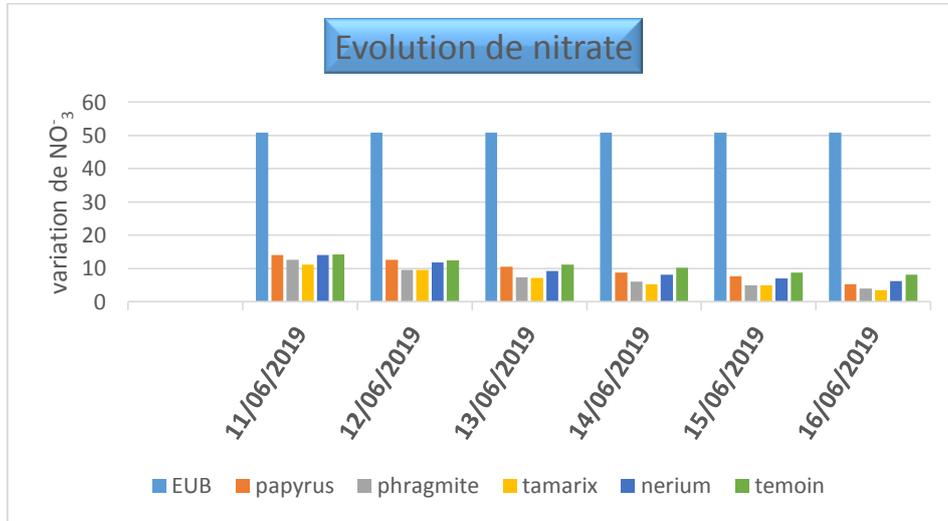


Figure n°13 : Évolution de nitrate

D'après cet histogramme on remarque que la teneur en nitrates dans les eaux usées récupérées est remarquablement inférieure à celle des eaux usées brutes 50.81 mg/l. on a observé que les eaux usées récupéré des filtres ont atteigne une teneur en nitrates tés faible en les comparant avec les eaux usées brut.

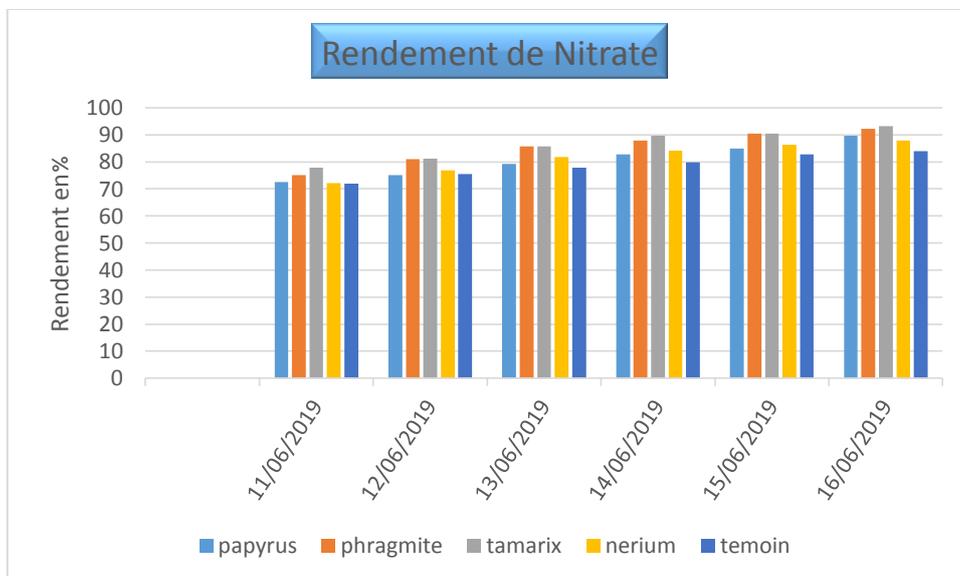


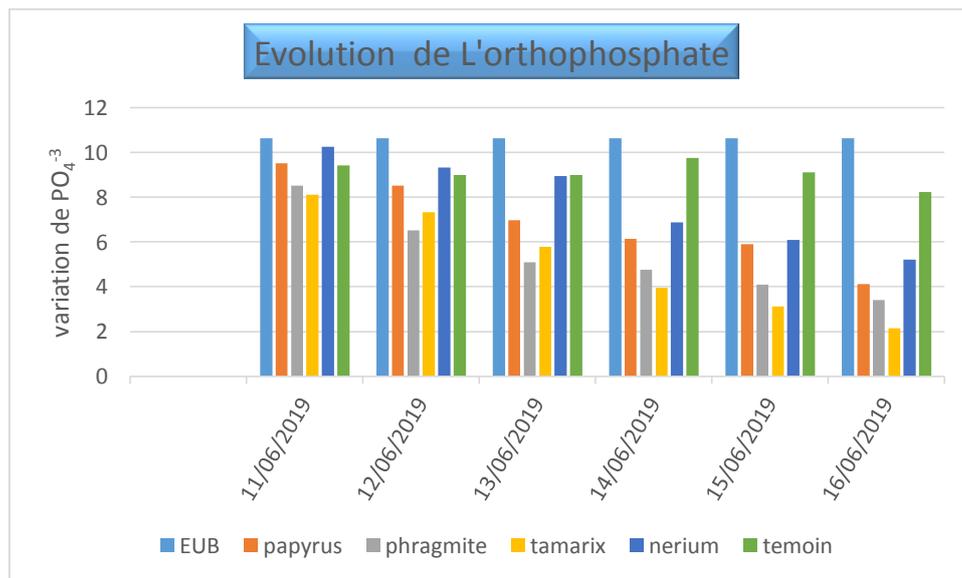
Figure n°14 : Taux d'élimination du nitrate

On constate qu'il y a un abattement de ce paramètre analysé dont le taux d'élimination obtenu varie entre 93.11% pour le tamarix et 83.97% pour le bac témoin. Ce qui implique deux phénomènes, soit l'absorption par le substrat soit la consommation par les plantes. L'élimination du nitrate à long terme est généralement limitée par la capacité d'absorption du (Reed, 1990).

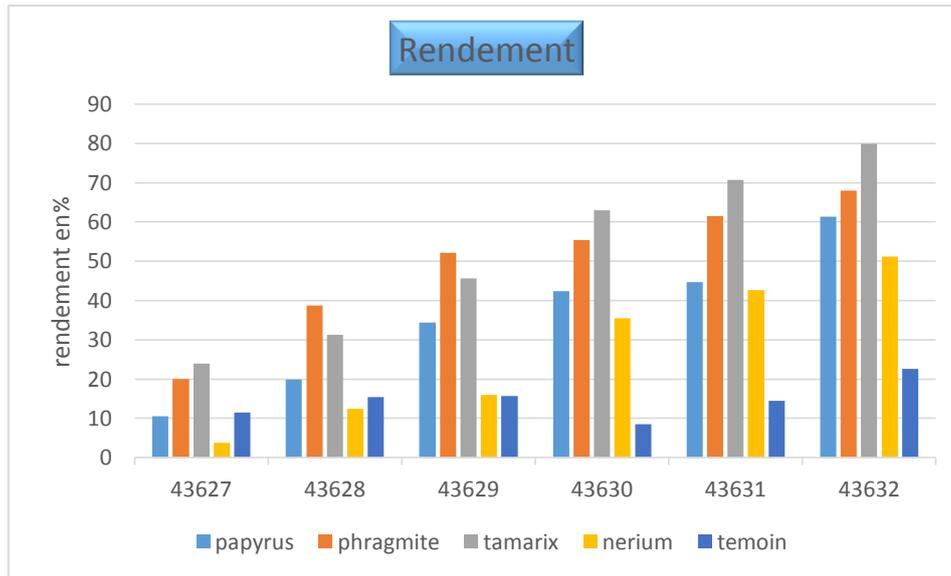
En effet les macrophytes aquatique tels que le roseau sont dotés d'une espace d'air interne bien développé à travers les tissu de la plante qui assure le transfert de l'oxygène vers les racines et les rhizomes (Brix *et al.*, 1994). Ces quantités d'oxygène favorisent pratiquement la prolifération bactérienne nitrifiante au niveau de la rhizosphère.

**II.3.10. Evolution de l'ortho phosphate**

On constate une différence entre la teneur de phosphate des eaux usées brute et celle récupéré des bacs comme on peut remarquer une diminution importante de cet élément dans tous les bacs et cela à partir du 3<sup>eme</sup> jour (voir graphe n° 15) ce qui implique une élimination considérable du phosphate dont le taux d'élimination a atteint 79.88% marqué par le bac planté de tamarix (voir graphe n°16).



**Figure n°15 : Évolution de l'ortho phosphate**



**Figure n°16 : Taux d'élimination de l'ortho phosphate**

L'élimination du orthophosphate à long terme est généralement limitée par la capacité d'absorption du substrat y compris la litière (Reed, 1990). Il s'effectue également une adsorption du phosphore inorganique dissous par la plante. Cette absorption est rapide mais temporaire vu qu'une partie du phosphore peut retourner dans le système à la mort de ces végétaux (Reed, 1990).

Selon (Brix, 1997), Certaines plantes consomment une quantité appréciable de phosphore lors de leur croissance. Elles peuvent emmagasiner celui-ci dans les racines et rhizomes, les tiges et les feuilles. Une forte proportion du phosphate est emmagasinée par les plantes émergentes dans leurs racines lors de la fanaison.

#### II.4. Interprétations des résultats

D'après les résultats illustrés dans les graphes précédents qui présentent l'évolution de principaux paramètres de pollution pendant 6j on a observé une diminution importante de ces paramètres dans les eaux récupère des bacs planté de macrophytes par rapport au bac témoin. Tandis que le taux d'élimination est comme suit :

- **la DBO<sub>5</sub>** : on a enregistré un abattement de 69.87% pour le papyrus, 66.26% pour le phragmite, 60.90% pour le Nerium et pour le tamarix a marqué le rendement le plus élevé avec 72.45%. Ces résultats montrent que l'abattement de la DBO<sub>5</sub> est important dans les bacs plantés comparant au bac témoin 64.19%

Ces résultats montrent un abattement très important de la DBO<sub>5</sub> dans les filtres plantés par rapport au filtre témoin résultats confirmés par (**Bensmina-Mimeche., et al 2010**) et (**Garcia et al. 2005**) qui expliquent que cette décroissance est assurée par le bon fonctionnement du système

-**La DCO** : on a constaté d'après les résultats que le taux d'élimination maximale est obtenu par le bac planté de tamarix (78.44%) suivit de phragmite et papyrus (77.56% - 72.37%) et le rendement minimal est enregistré par le bac planté de nerium (60.36%) par rapport au bac témoin (50.67%). Résultat confirmé par (**Tiglyene et al. 2005**), qui a obtenu une élimination moyenne de la DCO 74% pour le système planté.

-**La MES** : on a remarqué une élimination remarquable de la MES dans les eaux récupéré au niveau des filtres plantés avec 91.28% pour le tamarix, 90.28% pour le phragmite, 87.61% pour le papyrus, 83.98% pour le nerium en comparaison avec le bac témoin (64.79%).

Selon (**Vymazal, 2005**) ces résultats expliquent que le massif implanté des macrophytes permet une bonne élimination des matières en suspension et matière organique dégradé par l'activité bactérienne au niveau des racines.

- Pour l'abattement du Phosphate on a constaté des valeurs qui varient de 79.88% pour le tamarix 67.95% pour le phragmite, 61.28% pour le papyrus et 51.13% pour le nerium par rapport au bac témoin 22.56%.

- Ce qui concerne les nitrates on a observé une efficacité d'élimination maximale enregistrée dans les bacs plantés de macrophytes avec 93.11% pour le tamarix, 92.18 % pour le phragmite, 89,71% pour le papyrus et 87.79% pour le nerium par rapport au bac témoin 83.97%.

-Pour l'azote ammoniacal l'élimination a atteint le taux maximal dans le bac planté de phragmite (68.76%) suivit du tamarix (67.62%), papyrus (66.46%) et 61.32% pour le nerium.

La diminution de ces nutriments dans les filtres plantes est expliquée par leur utilisation dans la croissance de tissus des plantes (**García et al 2005**) comme ils peuvent être emmagasinés dans leurs racines et rhizomes, les tiges et les feuilles (**Kucuk et al. 2003**).

## Conclusion

Ce chapitre a été entièrement consacré à étudier les résultats obtenus par les analyse effectué sur les eaux usées de la ville de Biskra traité par les filtres plantés de papyrus, phragmite,

nerium et tamarix qui ont montré un rendement efficace pour un temps de séjour égale à 6j. Chaque plante a des caractéristiques qui lui permettent d'être efficace dans l'élimination d'un ou plusieurs polluants. On peut conclure que pour avoir un rendement efficace il est favorable d'utiliser des filtres plantés chacun d'une végétation différente adéquate pour l'élimination des différent polluants.

## CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

La raréfaction des ressources en eau ainsi que la pollution hydrique causé par les rejets des eaux usées dans le milieu naturel sans être traité mène à un déséquilibre de l'écosystème et peut nuire à la santé humaine pour cette raison il faut procéder à l'épuration de ces eaux.

Dans notre travail on a proposé comme méthode de traitement l'épuration par filtre planté de macrophytes dite phyto-épuration, pour notre expérience on a choisi quatre plantes aquatique (papyrus, phragmite, tamarix, Nerium) planté dans un substrat de différent taille pour tester leur efficacité dans le traitement des eaux usées urbaine.

Notre étude enveloppe deux parties dont le premier est consacré à l'étude bibliographique sur les eaux usées et leurs caractéristiques, comme il présente un aperçu sur la phyto-épuration dont on a expliqué les principaux travaux relatif à la phyto-épuration, les systèmes les plus connus (système à écoulement vertical, système à écoulement horizontal et le système hybride).

La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale qui englobe les matériels et méthodes utilisé afin d'évaluer l'efficacité des quatre plantes choisi. Ainsi que l'interprétation des résultats obtenus sur les paramètres de pollution (DBO, DCO, LA MES, Azote, Phosphate) par les analyses effectuées sur les eaux récupérées des bacs plantés.

Les résultats obtenus ont montré que les filtres plantés sont très efficace dans l'épuration des eaux usées avec des rendements considérables pour chaque plante et que le tamarix a montré son efficacité dans l'abattement de la DBO, le DCO, la MES,  $PO_4^{-3}$  et  $NO^{-3}$  alors que le phragmite est efficace dans l'élimination de l'azote ammoniacal ainsi que les paramètres précèdent mais avec un rendement inférieure à celle du tamarix tandis que pour le papyrus et le Nerium sont aussi efficace pour l'élimination de ces paramètres avec des rendement qui varie successivement entre 69.87% et 60.90% pour la DBO, 72.37% et 60.32% pour le DCO, le  $NH_4^+$  est entre 66.46% et 61.32% pour les nitrate 89.70% et 87.79% et pour le phosphate est entre 61.28% et 51.13%.

Finalement on peut dire que ces plantes ont une efficacité remarquable pour la dépollution des eaux usées urbaine et qui peuvent être utilisé dans des stations d'épuration par filtres plantés de macrophytes car elles possèdent des caractéristiques qui leur permettent l'élimination tous les charge polluant quelque soient leur nature.

**REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE**

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

**Agence de l'eau Adour Garonne 2001** : Aide au choix des filières de traitement adaptées aux petites collectivités (étude de l'agence)

**Asano, T. (1998)** Irrigation with reclaimed municipal wastewater : California experiences CIHEAM Options Méditerranéennes, Bari (Italie). pp. 119-132

**Audic JM, Esser D, 2006** l'épuration : nettoyée pour protéger l'écosystème aquatique, \*\*

**Baumont et all, 2004** Réutilisation des eaux usées:risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p

**Ben Slimane R., 2001**-Contribution à l'étude des eaux résiduaires de la ville de Skikda et sa périphérie. Mém. Ing. Eco et Env. Patho. Des écosystèmes. Université d'Annaba 95p.

**M. Benyagoub, M. Adjim, Poet F. Bensaoula** : Proceeding du Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement SIHE 2013 Ouargla .L'épuration des eaux usées par des macrophytes. Département d'Hydraulique, Faculté de technologie université de Tlemcen, Algerie.laboratoire25 de l'université de Tlemcen : promotion des ressources hydriques, pédologiques et minière.Laboratoire 60 de l'université de Tlemcen : valorisation des ressources en eau (VREn°60)

**Bontoux. J, 1993.** Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelle, eaux usées de boisson ; qualité et santé 2eme Edition : Lavoisier Technique et documentation. Paris

**Brix H, et al. 2003** Experiments in a two-stage constructed wetland system: nitrification capacity and effects of recycling on nitrogen removal. In: Vymazal J, Editor. Wetlands: nutrients, metals and mass cycling. Leiden, the Netherlands: Backhuys Publisher; 2003.

**Brix .H. (1987)** : treatment of wastewater in the rhizosphère of wetland plants- the roots-zone method .Wat .Sci. Tech.19 -107-118

**Cherak. X., 1999.** Thèse magister- institue d'agronomie. Université Batna. Etude expérimentale de l'influence des eaux répudiâtes sur certaine activité microbiennes (minéralisation du carbone et de l'azote) dans un sol calcaire de la région d'el Madler (W. de Batna) incidence sur les microflores telluriques et le comportement d'une graminée fougère

**Cooper.D.et Griffin.P. (2004)** : facteur affectant la longévité des filtres à écoulement horizontal en traitement tertiaire d'effluent domestiques

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

**Dr. Rachid Salghi**, Professeur à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir .Cours chimie des eaux

**Gaid, A**, Epuration biologique des eaux usées urbaines. Tome 1.OPU, Alger, 1984.

**Garcia,P. Aguirre J.Barragan, R.Mujeriego , V.Matamoros et J.M.Bayona. ; 2005 :** Effect of key design parameters on the efficiency of horizontal subsurface flow constructed wetlands,Ecol. Eng.

**Gomella C, Guerre H. (1982).** Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales, tome I, édition : Ayrolle, Paris (France)

**Grosclaude G. 1999.** L'eau usage et polluant, Tome II. 4eme Edition : INRA paris

**Hamadani 2002.** Caractérisation et essais de traitement des effluents d'une industrie laitière : aspects microbiologiques et physico-chimiques. Thèse de l'Université Chouaib Doukkali, El jadida, Maroc

**Kevin Quentric2009** fiche pédagogique n°18 sur la phyto-épuration.

**Lienard.A. et all.2005 :** traitement des eaux usées par marais artificiel .action des plantes et développement de la technique en France

**Leila Mimeche, Mahmoud Debabeche, Nora Seghairi, Nassima Benameur :**

Possibilité d'élimination des polluants des eaux usées urbains sous climat aride par filtre planté du cyperus papyrus Laboratoire de Recherche en Génie Civil, Hydraulique, Développement Durable et Environnement. Université de Biskra Courrier du Savoir – N°21, Novembre 2016,

**Mimeche.L, 2014** Thèse de Doctorat Etude de faisabilité de l'installation de station D'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride.

**.Malki D., 2004.** Contribution à l'étude de l'influence de l'irrigation par les eaux usées sur quelques propriétés physiques et chimiques des sols de la palmeraie de Bordj Nosse (wilaya de Biskra). Mémoire d'ingénieur. Univ. Batna.

**Olivier. T, 1995.** Métrologie des eaux résiduaires.

**Poulet. J.B, & al, 2004.**Stations dépurations à lits filtrants plantés de macrophytes

**Rejsek F. (2002).** Analyse des eaux, Aspects Réglementaires Et Techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine. France.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

**Rodier J. (2005)** .Analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 8<sup>ième</sup> Ed. Dunod, Paris(France)

**Rodriguez C. Garcia. A.2004.** Etude de la congélation comme technique de traitement des eaux : applications spécifiques. Thèse de doctorat. L'institut national des sciences appliquées de Toulouse. Université de Toulouse .France

**Tiglyene et al. 2005 ;** Enlèvement du chrome par infiltration verticale sur lits de Phragmites australis, Rev.Sci.Eau.

**Vymazal, J., 2005** - Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment, *Ecol. Eng.* 25 pp. 478–490.

**[www.Hidrik.com](http://www.Hidrik.com)**

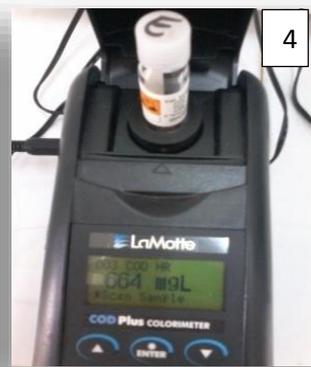
# ANNEXE

# ANNEXE

## Méthodes d'analyse par photos

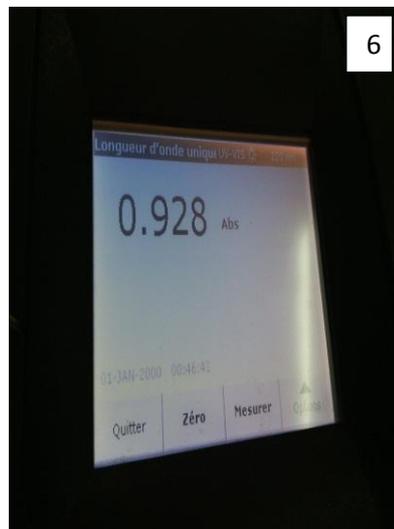
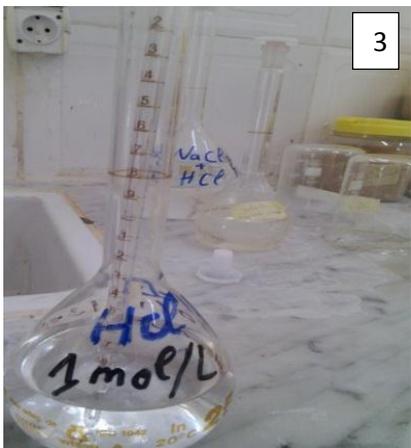


## Méthode d'analyse de DBO<sub>5</sub>



## Méthode d'analyse de DCO

# ANNEXE



## Méthode d'analyse des nitrates

# ANNEXE



Méthode d'analyse des phosphates