

Université Mohamed Khider -Biskra  
Faculté des Sciences et de la technologie  
Département : de génie civil et  
hydraulique

جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
الهندسة المدنية و الري :

Références :

:



**Mémoire de Master**  
**2<sup>ème</sup> Année**  
**Hydraulique Urbaine**

**Option**

**Eau et de L'environnement**

**Influence de la densité des macrophytes sur  
L'élimination des polluants des eaux usées par filtre planté**

**Etudiant:**

**CID Dhrifa**

**Encadreur:**

**M<sup>me</sup> MIMECHE Leila**

**Promotion juin 2104**



# Remerciement

*Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet de préparation de mémoire de fin d'étude.*

*Tout d'abord Je remercie vivement Dieu de m'avoir donnée la force et le courage pour accomplir ce travail.*

*Ma première pensée va tout naturellement à **M<sup>me</sup> Mimech Leila** d'avoir acceptée de m'encadrer. Je la remercie pour la confiance qu'elle m'a témoignée en me confiant ce travail, malgré les contraintes et les conditions de l'expérimental connues à l'avance et qui n'étaient pas du tout facile a surmonté. Merci pour son encouragement sa générosité, son soutien dans les moments difficile durant mes expérimentations ce qui m'a donné le courage pour poursuivre la réalisation de ce thème.*

*Je présente mes remerciements au jury pour avoir accepté de juger mon travail.*

*Je dois présenter mes remerciements les plus vifs à monsieur le Docteur **Bouziane Toufik** Chef du département de génie civil et d'hydraulique.*

*Je adresse mes remerciements à l'équipe du laboratoire du traitement des eaux usées de **CRSTRA** pour m'avoir aidé à réaliser ma partie expérimentale. Je leurs remercie aussi pour leur gentillesse et leur conseils. Aussi*

*Je remercie aussi tous les enseignants de notre département d'hydraulique.*

*Je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, sans oublier mes collègues de promotion 2014.*

# *Dédicaces*

*Avec les sentiments de la plus profonde humilité Je dédie ce modeste travail :*

*A ma bien-aimée très chère mère symbole de l'amour et de l'affection, celle qui m'a toujours « bitam aicha ».*

*A mon très cher père qui est à l'origine de ce que je suis. Rahmte Allah alih.*

*A ceux, qui sont si précieux à mes yeux, si chers à mon cœur, qui m'ont donné sans rien attendre en retour, à ma sœur « Yasmina ».*

*Très sincèrement du cœur qui par leur soutien moral coutant a fait que ce mémoire ait pu voir le jour en amie « Chikale Bariza » et mon cousin « Liadjale Ibrahim ».*

*A mes très tout frère « sallah eddine, ali, bagdadi, hichem », et la femme mon frère « Sabrina », et poussin « Mohamed ».*

*A mes très chère amies « farida, wafa, Souad, dalal, amira, asma, afafe, atra, chourok, dalal deba, fatma zehra, fatima, ghaniya, lamia bijawi, lamia barka, iman, khawla, yousra, saliha, chafai, fatma zehra manal, Naima, sana, yasmine, safia, hanane, boutina ».*

*A la famille « CID »*

*A la promotion 2014*

*DHRIFA* 

## Résumé :

Les eaux usées urbaines de la ville de Tolga sont évacuées, sans traitement, dans le milieu récepteur et génèrent d'énormes nuisances pour l'environnement. Dans ce mémoire, nous présentons l'étude d'essais de l'influence de la densité d'un macrophyte planté dans un substrat alluvionnaire. Les résultats d'analyses physico-chimiques des eaux traitées montrent que pour le *Phragmite australis*, une densité de 25 tiges /m<sup>2</sup> est la plus adéquate dans l'abattement des polluants des eaux usées. Avec cette densité, le rendement d'élimination arrive à 75% en moyenne.

**Mots clés :** Eaux usées, *Phragmite australis*, filtre planté, densité, traitement.

## الملخص

يتم تفريغ مياه الصرف بلدية طولقة دون علاج في البيئة المتلقية وتوليد الأضرار البيئية الضخمة. في هذه الورقة، نقدم اختبارات دراسة تأثير كثافة macrophyte زرعت في الركيزة الغرينية. وأظهرت نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية أن المياه المعالجة *Phragmite Australis*، كثافة ينبع 25 / 2 هو الأنسب في الحد من الملوثات من مياه الصرف الصحي مع هذه الكثافة، 75 .

الكلمات الرئيسية: المياه العادمة، *Phragmite Australis*

# ***SOMMAIRE***

Introduction Générale	1
<b>Chapitre 1 : Caractéristique des eaux usées.</b>	
1.1 Introduction	3
1.2 Origine des eaux usées	3
1.2.1 Les eaux usées domestiques	3
1.2.2 Eau pluviales	3
1.2.3 Les eaux usées industrielles	4
1.2.4 Les eaux usées d'origine agricole	4
1.3 Caractéristique de la pollution des eaux usées	4
1.3.2 Paramètres physiques	4
1.3.2.1 La température	4
1.3.2.2 La matière en suspension(MES)	5
1.3.3 Paramètres organoleptiques	5
1.3.3.1 La turbidité	5
1.3.3.2 La couleur	5
1.3.4 Paramètres chimiques	5
1.3.4.1 PH	5
1.3.4.2 La conductivité électrique	6
1.3.4.3 L'oxygène dissous	6
1.3.4.4 La demande chimique en oxygène (DCO)	6
1.3.4.5 La demande biochimique en oxygène (DBO)	6
1.3.4.6 L'azote	7
1.3.4.7 Les nitrates	7
1.3.4.8 L'azote ammoniacal	7
1.3.4.9 Le phosphore	8
1.3.4.10 Le sulfate	8
1.4 Utilisation des eaux usées	8
1.4.2 Utilisation agricole	8
1.4.2.1 Risque potentiels de la valorisation agronomique des eaux usées	9
1.4.2.2 Les risques sanitaires	9

1.4.3 Usage industriel	10
1.4.4 Usage destinées aux loisirs	10
1.5 Conclusion	11

**Chapitre 2 : Description des filtres planés des macrophytes.**

2.1 Introduction	12
2.2 Généralités sur les systèmes de phytoépuration	12
2.2.1 Définition des marais artificiels	12
2.2.2 Les composantes d'un marais artificiel	13
2.2.2.1 L'eau	13
2.2.2.2 Le substrat, sédiments et détrit	14
2.2.2.3 La végétation	14
2.2.2.4 Les microorganismes	15
2.3 Les type des marais artificiels	16
2.3.1 Bassin à écoulement superficiel	16
2.3.2 Bassin à écoulement sous- surface	16
2.3.3 Les systèmes hybrides	18
2.4 Système flottants(FS)	19
2.5 Principe de fonctionnement	19
2.5.1 Rôle des microorganismes	20
2.5.2 Rôle des macrophytes	20
2.6 Conclusion	22

**Chapitre 3 : Matériels et Méthodes.**

3.1 Introduction	23
3.2 Préparation du dispositif expérimental	23
3.2.1 Matériels utilisés	23

## Sommaire

---

3.2.1.1 Matériel végétale	24
3.2.1.2 Préparation du substrat	25
3.2.1.3 Remplissage des bacs et emplacement des plantes	26
3.2.1.4 Irrigation par les eaux usées	27
3.3 Analyse au	27
3.3.1 PH, Oxygène dissous, Conductivité électrique, Température	28
3.3.2 Turbidité	28
3.3.3 Couleur	28
3.3.4 Matières en suspension	28
3.3.5 L'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )	29
3.3.6 Phosphate ( $\text{PO}_4^{-3}$ )	29
3.3.7 Demande biochimique en oxygène ( $\text{DBO}_5$ )	29
3.3.8 La demande chimique en oxygène (DCO)	29
3.3.9 Nitrate, sulfate	30
3.4 Caractéristique des eaux usées de Tonga	31
3.5 Conclusion	32

## Chapitre 4 : Résultats et Discussion

4.1 Introduction	32
4.2 Performance de filtres plantes de macrophytes	32
4.2.1 PH	32
4.2.2 Conductivité	33
4.2.3 La couleur et la matière en suspension (MES)	34
4.2.4 Demande chimique en oxygène (DCO)	35
4.2.5 Demande biochimique en oxygène ( $\text{DBO}_5$ )	36



## Sommaire

---

4.2.6 Elimination de la pollution sulfate ( $\text{SO}_4^{-3}$ )	36
4.2.7 Elimination de la pollution azotée ( $\text{NH}_4^+$ )	37
4.2.8 Elimination des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )	38
4.2.9 Elimination de la pollution phosphate ( $\text{PO}_4^{-2}$ )	39
4.3 Résultats et interprétations	41
4.4 Conclusion	41
Conclusion générale	42
Références bibliographique	45

***LISTE DES TABLEAUX***

<b>Tableau 3.1 : Caractéristiques du substrat</b>	<b>26</b>
<b>Tableau 3.2 : Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques</b>	<b>30</b>
<b>Tableau 3.3 : Caractéristique d'eaux usées du rejet de Tolga</b>	<b>31</b>

## ***LISTE DES FIGURES***

Figure 2.1 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement vertical	17
Figure 2.2 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement horizontal	18
Figure 2.3 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement hybride	19
Figure 4.1. Variation du pH des eaux traitées en fonction de la densité du <i>Phragmite australis</i>	32
Figure 4.2. Variation de la conductivité des eaux traitées en fonction de la densité du <i>Phragmit Australis</i>	33
Figure 4.3 Variation de la MES et la couleur des eaux traitées en fonction de la densité du <i>Phragmite australis</i>	34
Figure 4.4 Variation de la DCO des eaux traitées en fonction de la densité du <i>Phragmite Australis</i>	35
Figure 4.5 Variation de la DBO <sub>5</sub> des eaux traitées en fonction de la densité du <i>Phragmite Australis</i>	36
Figure 4.6 Variation du sulfate des eaux traitées en fonction de la densité du <i>Phragmite Australis</i>	37
Figure 4.7 Variation de l'azote ammoniacal des eaux traitées en fonction de la densité du <i>Phragmite australis</i>	38
Figure 4.8. Evolution du NO <sup>-3</sup> dans les eaux récupérées des filtres plantés des macrophytes par Rapport aux temps de séjours	39
Figure 4.9. Evolution du PO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> dans les eaux récupérées des filtres plantés des macrophytes par Rapport aux temps de séjours	40

## Liste des figures

---

***LISTE DES PHOTOS***

<b>Photo 3.1 : Aire expérimentale de la phytoépuration</b>	<b>23</b>
<b>Photo 3.2 : Représentation du <i>phragmite australis</i></b>	<b>25</b>
<b>Photo 3.3 : Galet</b>	<b>25</b>
<b>Photo 3.4 : Gravier grossier</b>	<b>25</b>
<b>Photo 3.5: Gravier moyen</b>	<b>25</b>
<b>Photo 3.6 : Gravier fin</b>	<b>25</b>
<b>Photo 3.7 : Remplissage des bassines et emplacement des plantes</b>	<b>27</b>
<b>Photo 3.8 : Multi paramètre</b>	<b>27</b>
<b>Photo 3.9 : Turbidimètre</b>	<b>28</b>
<b>Photo 3.10: Oxitop Box</b>	<b>29</b>
<b>Photo 3.11.Cod pulsé colorimètre</b>	<b>29</b>
<b>Photo 3.12: Spectrophotomètre</b>	<b>30</b>
<b>Photo 3.13 : Rejet des eaux usées de Tolga</b>	<b>31</b>

*Introduction*  
*générale*

# *Introduction générale*

La plus part des pays en voie de développement sont confrontés à d'énormes problèmes environnementaux, notamment ceux liés à l'épuration des eaux usées urbaines. L'évacuation de ces effluents, sans traitement préalable, vers les rivières « Oued » peut donner naissance à des maladies à transmission hydrique et éventuellement contaminer les nappes souterraines par infiltration.

L'épuration des eaux usées doit actuellement franchir une étape importante du fait des récentes directives environnementales de plus en plus rigoureuses. Pour répondre aux besoins des petites collectivités ayant des contraintes techniques et financières leur interdisant les systèmes techniques d'épuration classiques, il y a l'apparition des systèmes d'épuration rustiques, techniques alternatives aux procédés artificiels, tels que le lagunage, l'épandage ou encore les lits filtrants plantés de macrophytes. (**Vymazal, 1998, Brix, 1987, Cristina, 2009**) mais le monde entier se penche actuellement sur l'utilisation des macrophyte ou microphyte (appelé aussi la Phytoépuration) comme moyen efficace et économique.

Le filtre planté à macrophytes est devenu aujourd'hui une alternative intéressante pour le traitement des eaux usées, compte tenu des avantages qu'il présente. En effet, ce système quasi naturel est moins coûteux à réaliser et à exploiter, construit directement sur le site du rejet et nécessite peu d'équipements mécanisés (**Brix, 1997**). Les filtres plantés de macrophytes ont été une solution largement utilisées et jugées attrayantes, et un nombre important de travaux ont été effectués partout dans le monde depuis les recherches **de Seidel (1953)**. Les filtres plantés de macrophytes sont des systèmes d'épuration permettant un reconstituant contrôlé de phénomène d'autoépuration naturelle (**Vymazal 2005**). L'épuration résiduaire consiste à éliminer les éléments solides maintenus en suspension et à réaliser l'épuration biologique de l'eau en éliminant la pollution organique de manière naturelle ; des micro-organismes sont capables de transformer des molécules organiques ou minérales pour leur propre métabolisme. Selon **Christina et al (2009)**. Les macrophytes de part leur système racinaire ainsi que le substrat constitué d'une succession de gravier constituant le filtre planté de macrophytes, créent un milieu favorable pour l'activité biologique et le développement des micro-organismes responsable de l'épuration. L'intérêt que présentent ces macrophytes est dû particulièrement aux rhizomes horizontaux et verticaux qui fournissent un support pour la croissance des bactéries et pour la filtration des substances particulières (**Marika et al 2009**). Ces derniers sont capables de produire des exsudats toxiques pour les bactéries pathogènes.

Les potentialités épuratoires des plantes aquatiques ont été mises en évidence par **Seidel en 1978**, il a été montré qu'elles s'adaptent facilement à divers types de milieux. Cette nouvelle technologie extensive d'épuration a été exploitée avec succès par plusieurs chercheurs dans le monde. Cependant, en Algérie il existe très peu d'études dans le domaine du traitement des eaux usées par les macrophytes et l'université de Biskra est parmi les rares établissements qui sont entrain de conduire des recherches dans ce domaine, en collaboration avec l'université de Padoue en Italie.

L'objectif de ce travail est de déterminer la densité optimale de *Phragmite australis* nécessaire pour assurer un bon traitement par les filtres planté de macrophyte . A fin d'aboutir à cet objectif une série d'analyses des eaux usées avant et après irrigation des plantes a été réalisées au laboratoire.

Notre mémoire a été divisé en quatre chapitres, Le premier chapitre a été consacré au caractérisation des eaux usées. Au second chapitre nous avons mis l'accent sur les filtres à macrophytes et les éléments qui les constituent, en montrant en détaille le rôle de chacun d'eux. Le troisième chapitre a été entièrement consacré aux méthodes et procédure expérimentale. Le quatrième chapitre a été dédié à la présentation et discussion des résultats obtenus et la comparaison entre les quatre macrophytes proposés.



# *Chapitre 1*

*Caractéristique des eaux usées*

## 1.1. Introduction :

Les rejets hydriques urbains sont principalement constitués d'eaux usées domestiques et d'eaux pluviales. Ces eaux entraînent des substances minérales et organiques en suspension et en solution ainsi que des matières ou produits de charriages plus ou moins volumineux, et elles contiennent aussi des micro-organismes (bactéries, virus, champignons, insectes, parasites...etc.).

Ce présent chapitre sera consacré à la définition des sources et des caractéristiques des eaux usées urbaines et l'évaluation de leur qualité à travers les paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

## 1.2. Origines des eaux usées :

Les activités humaines produisent une grande variété de déchets, dont beaucoup sont entraînés par l'eau, qui doit alors être traitée avant d'être rejetée dans le milieu. L'eau chargée de convoyer ces déchets est qualifiée d'eau usée. Les eaux usées proviennent principalement de quatre sources : (**Olanrewaju et al., 2004**) :

### 1.2.1. Les eaux usées domestiques :

Pour une habitation, il existe deux types d'eau à évacuer : les eaux usées ménagères, ou eaux grises, et les eaux vannes, ou eaux noires. Les eaux ménagères proviennent de la cuisine, de la salle de bains (baignoire, douche, lavabo, bidet) et de la buanderie. Les eaux vannes sont essentiellement les eaux des WC. Elles présentent une charge bactériologique très élevée caractérisée par les germes de la flore intestinale, de l'ordre de 10 milliards de germes tests pour 100 ml. (**Olanrewaju et al., 2004**).

### 1.2.2. Eaux pluviales :

Les eaux ne pourront être rejetées dans le milieu naturel qu'après contrôle de leur qualité et si besoin après traitement approprié, les eaux pluviales doivent respecter certaines valeurs limites fixées et les règles liées au raccordement à une station d'épuration collective

Les réseaux de collecte des effluents doivent séparer les eaux pluviales et les diverses catégories d'eaux polluées. (**Rene, 2002**).

## 1.2.3. Les eaux usées industrielles :

On considère comme eau industrielle tout effluent qui ne peut être rejeté à l'égout en raison de ses caractéristiques ou de son volume. Les eaux usées industrielles sont caractérisées par leur diversité : il y a autant d'eaux usées industrielles que d'industries. (Olanrewaju *et al.*, 2004).

## 1.2.4. Les eaux usées d'origine agricole :

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement : des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation) ; et des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides,.....). (Grosclaude, 1999).

## 1.3 Caractéristique de la pollution des eaux usées :

La pollution toxique dans les eaux usées a pour origine des substances qui provoquent des altérations des fonctions de l'organisme au niveau moléculaire, cellulaire ou de l'organisme tout entier (Eugene, 2000).

### 1.3.1 Paramètres physiques :

#### 1.3.1.1 La température :

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc. (Rodier, 2005).

#### 1.3.1.2 La matière en suspension (MES) :

Selon (Rejsek, 2002), La pollution particulaire est due à la présence de particules de grande taille, supérieure à 10 $\mu$ m, en suspension dans l'eau, et que l'on peut assimiler aux matières en suspension (MES).

# Chapitre 1 : Caractéristique des eaux usée

---

En fait, les matières en suspension ne sont des particules solides véritablement en suspension que dans des conditions moyennes d'écoulement des effluents correspondant à une vitesse minimale de 0,5 m/s. En fonction de la taille des particules, on distingue les matières grossières ou décantables (diamètre supérieur à 100  $\mu\text{m}$ ) et les matières en suspension. On peut également prendre en compte une partie des matières colloïdales, de dimension inférieure, qui constitue la limite entre la phase solide et la phase dissoute (entre 1 et  $10^{-2}$   $\mu\text{m}$ ).

## 1.3.2 Paramètres Organoleptiques :

### 1.3.2.1 La turbidité :

Selon (Rejsek, 2002), La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale.

### 1.3.2.2 La couleur :

Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'onde courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement. (Rejsek, 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, 2005).

## 1.3.3 Paramètres Chimiques :

### 1.3.3.1 pH:

L'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse peut s'exprimer par la concentration en  $\text{H}_3\text{O}^+$  (notée  $\text{H}^+$  pour simplifier). De manière à faciliter cette expression ; on utilise le logarithme décimal de l'inverse de la concentration en ion  $\text{H}^+$  : c'est le pH. (Mathieu et Pielain, 2003).

### 1.3.3.2 La Conductivité électrique :

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ

électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. (**Rejsek, 2002**).

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup>, et l'unité de la conductivité est le siemens par mètre (S/m). (**Rodier, 2005**).

### **1.3.3.3 L'Oxygène dissous :**

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques.

La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu. La concentration en oxygène dissous est exprimée en mg O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> (**Rejsek, 2002**).

### **1.3.3.4 La Demande Chimique en Oxygène (DCO) :**

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydable dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présente dans l'eau quelle que soit leur origine organique ou minérale.

La DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités de l'oxydation. (**Rodier, 2005**).

La DCO est la concentration, exprimée en mg.L<sup>-1</sup>, d'oxygène équivalente à la quantité de dichromates consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies par la norme. (**Rejsek, 2002**).

### **1.3.3.5 La Demande Biochimique en Oxygène (DBO) :**

Pratiquement, la demande biochimique en oxygène devrait permettre d'apprécier la charge du milieu considéré en substances putrescibles, son pouvoir auto-épuration et d'en déduire la charge maximale acceptable, principalement au niveau des traitements primaires des stations d'épuration. (**Rodier, 2005**).

## Chapitre 1 : Caractéristique des eaux usée

---

Selon (**Rejsek, 2002**), la demande biochimique en oxygène après 5 jours ( $DBO_5$ ) d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes aérobies présents dans cet échantillon pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques.

### 1.3.3.6 L'azote :

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniaque, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total. (**Rodier, 2005**).

### 1.3.3.7 Les nitrates :

Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux proviennent en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg /L dans les eaux superficielles et quelques mg/L dans les eaux souterraines. La nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence et l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates.

La teneur en nitrates est en augmentation ces dernières années, de l'ordre de 0,5 à 1 mg/L/an, voire 2 mg/L/an dans certaines régions. Cette augmentation a plusieurs origines : agricole, urbaine et industrielle. (**Rejsek, 2002**).

### 1.3.3.8 L'azote ammoniacal :

Pour désigner l'azote ammoniacal, on utilise souvent le terme d'ammoniaque qui correspond aux formes ionisées ( $NH_4^+$ ) et non ionisées ( $NH_3$ ) de cette forme d'azote.

L'ammoniaque constitue un des maillons du cycle de l'azote. Dans son état primitif, l'ammoniac ( $NH_3$ ) 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 ( $NH_4^+$ ). Les réactions réversibles avec l'eau sont fonction également de la température et sont les suivantes :



### 1.3.3.9 Le phosphore :

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation, répondent au test spectrophotométrique sont considérés comme étant des orthophosphates. Chaque fraction (phosphore en solution ou en suspension) peut être séparée analytiquement en orthophosphates, phosphore hydrolysable et phosphore organique.

### 1.3.3.10 Le sulfate :

La présence de sulfate dans l'eau est généralement due à des rejets en provenance d'ateliers de blanchiment (laine, soie, etc.), d'usines de fabrication de cellulose (pâte à papier, etc.) et d'unités de dé chloration. Sont utilisées, par ailleurs, les propriétés réductrices des sulfites dans les eaux de chaudières pour éviter la corrosion liée à la présence d'oxygène dissous ; l'injection dans le circuit se fait habituellement en continu à la concentration de 20 mg/L. Cependant un excès d'ions sulfites dans les eaux de chaudières peut avoir des effets néfastes car il abaisse le pH et peut alors développer la corrosion. En cas de rejet dans l'environnement, les sulfites se combinent à l'oxygène en donnant des sulfates. (**Rodier, 2005**).

## 1.4. Utilisation des eaux usées :

### 1.4.1. Utilisation agricole :

L'emploi des eaux usées en agriculture est très ancien et les champs d'épandage ont constitué les premiers systèmes d'épuration. Le sol est un filtre efficace et 1 hectare contient jusqu'à une ou deux tonnes de micro-organismes épurateurs. Aujourd'hui l'intérêt principal de la réutilisation des eaux usées en culture est plus souvent l'apport d'eau indispensable aux plantations que l'épuration par le sol ou l'apport d'éléments nutritifs. (**Olanrewaju et al, 2004**).

#### 1.4.1.1 Risques potentiels de la valorisation agronomique des eaux usées :

Le risque principal pour le sol lors de l'irrigation des cultures au moyen des différentes techniques existantes est celui du colmatage. Il peut être d'origine physique, biologique ou chimique. (**Olanrewaju et al, 2004**).

## Chapitre 1 : Caractéristique des eaux usée

---

Les propriétés physiques du sol peuvent être modifiées par les pratiques d'épandage. La structure de sol argileux peut, en particulier, être détruite par un apport excessif de sodium et une absence de lessivage (en particulier dans les zones à trop faible pluviométrie).

Les risques liés aux composés chimiques sont les mêmes, tant pour les eaux d'épandage que pour les eaux d'irrigation, mais sont aggravés par le fait que les concentrations dans les eaux brutes peuvent être plus élevées. (**Olanrewaju et al, 2004**).

Une trop forte salinité de l'effluent ( $> 1$  ou  $2 \text{ g L}^{-1}$  suivant les cultures) entraîne aussi des difficultés et conduit à un contrôle plus attentif des quantités d'eaux épandues et de l'évolution de la salinité du terrain de culture. Le drainage des terrains est alors nécessaire pour y éviter l'accumulation de sel. (**Olanrewaju et al, 2004**).

### 1.4.1.2 Les risques sanitaires :

Des virus, des bactéries, des protozoaires et des helminthes pathogènes passent dans les excréta des personnes infectées et se retrouvent dans les eaux usées. Ils peuvent être transmis soit par voie orale (par la consommation de légumes contaminés), soit par la peau (dans le cas des ankylostomes et des schistosomes). Les eaux usées contiennent généralement de fortes concentrations d'agents pathogènes, en particulier dans les pays où les maladies diarrhéiques et les parasites intestinaux sont répandus. (**Olanrewaju et al, 2004**).

A l'heure actuelle, on estime que, pour minimiser les risques pour la santé, il serait judicieux d'adopter une approche plus intégrée, dans laquelle le traitement, qui reste en principe la meilleure méthode de protection, ne serait que l'une des mesures envisagées au stade de la planification, les autres étant la restriction des cultures, l'application contrôlée des eaux usées, le contrôle de l'exposition des groupes à risque et la promotion de l'hygiène. Le tableau 20 résume les nouvelles directives conseillées par l'Oms (Organisation mondiale de la santé). (**Olanrewaju et al, 2004**).

Par ailleurs, dans les programmes de réutilisation des eaux usées, il faut toujours veiller à ne pas créer un habitat pour les vecteurs de maladies, comme les moustiques ou les mollusques. Dans le passé, les champs d'épandage favorisaient parfois la reproduction des moustiques de l'espèce *Culex pipiens* dans les eaux polluées à faible courant et les bassins d'eau stagnante. Non seulement ils constituent une nuisance, mais ils peuvent aussi



transmettre la filariose bancroftienne (OMS, 1989). Dans la plupart des régions où cette maladie est endémique. Des méthodes classiques de lutte contre le développement des vecteurs devraient être appliquées en cas de besoin pour éviter la transmission des maladies qu'ils propagent. (Olanrewaju et al, 2004).

### 1.4.2 Usage industriel :

L'eau résiduaire, après traitement physique, peut être une source d'eau tout fait adaptée aux besoins industriels en particulier pour le refroidissement en circuit ouvert ou peu fermé et certains lavages. Les réalisations sont maintenu très nombreuses.

Pour les autres usages une élimination poussée de la pollution organique est nécessaire et un traitement biologique avec nitrification-dénitrification recommandé. (Vaillant, 1977).

### 1.4.3 Usage destinées aux loisirs :

Divers débouchés s'ouvrent aux eaux usées régénérées dans le domaine des installations destinées aux loisirs. Elles peuvent être très utiles et économiques à la fois pour arroser des terrains de jeux, pour créer des étangs dans des jardins publics, ou des lacs artificiels destinés à la pêche, à la baignade, aux sports nautiques. (Vaillant, 1977).

Après une épuration secondaire dans des étangs de stabilisation, les eaux usées subiront une coagulation par le sulfate d'alumine, une décantation, une filtration sur filtres à double couche et une chloration. La coagulation facilitera la précipitation des phosphates et d'une grande partie des algues provenant des étangs d'oxydation, le reste devant être retenu au cours de la filtration. Des études en station-pilote ont démontré qu'on peut abaisser la teneur moyenne de l'effluent en phosphates à moins 0,2 mg/l. En outre, des analyses bactériologiques et virologiques sont prévues pour s'assurer de l'innocuité des eaux ainsi régénérées pour la santé publique. (Vaillant, 1977)

## **1.5. Conclusion :**

Ce présent chapitre a été consacré à la présentation des sources et caractéristiques des eaux usées d'une manière générale, et la description des modes d'évaluation de leur qualité.

Généralement les eaux usées sont d'origine domestique, industrielle et pluviale. Utilisation des différents procédés de traitement ont pour objectif élimination des différents polluants qui extendeul dans les eaux usées.

# *Chapitre 2*

*Description des filtres plantés des  
macrophytes*

### 2.1. Introduction :

Actuellement, une attention considérable est donnée en Europe et en Amérique à l'épuration par filtres plantés à macrophytes (Phytoépuration) pour traiter les eaux usées urbaines et industrielles. La phytoépuration veut dire l'action de l'épuration des eaux usées en présence de plantes. Elle peut être réalisée à travers différents systèmes, caractérisés par le fait que l'eau vient couler lentement et sous conditions contrôlées à l'intérieur de milieux végétales, de façon à en favoriser la dépuratation naturel, qui s'effectue à cause du processus d'aération, sédimentation, absorption et métabolisation de la part des microorganismes et de la flore. Les systèmes de phytoépuration sont utilisés pour la dépuratation d'eaux de différentes provenances et avec caractéristiques différentes (**Maurizio, 2007**). Cette technique présente quelques avantages relativement aux systèmes classiques d'épuration :

- fonctionne à faible frais d'exploitation ;
- peu de dépense d'énergie pour son fonctionnement;
- simple maintenance ;
- ne nécessite pas un personnel qualifié pour sa gestion.

La phytoépuration est avantageuse surtout pour les petites communes à population dispersée et pour les pays en voie de développement. (**Brix, 1987**).

### 2.2. Généralités sur les systèmes de phytoépuration :

#### 2.2.1. Définition des marais artificiels :

Le marais est défini comme une terre où la surface d'eau est assez proche du sol pour maintenir chaque année des conditions saturées du sol, ainsi qu'une végétation liée. (**Cristina., et al., 2009**).

Le marais est un espace transitionnel entre terre et eau. Les limites entre le marais, la terre ou l'eau souterraine ne sont pas donc toujours distinctes. Le terme marais « wetland » englobe un large rang de milieux humides comprenant les marécages, les prairies immergées humides et les bandes humides le long des cours d'eaux. (**Brix, 1997**).

La technique d'épuration des eaux usées par les plantes ou phytoépuration a pris plusieurs dénominations tels que : le lagunage, les marécages ou marais construits, le phytofiltre, la technique des zones humides, les lits filtrants, ...etc. Les marais construits pour le traitement d'eau sont des systèmes complexes intégrant de l'eau, des plantes, des animaux, des microorganismes et le milieu qui les entoure. (**Vincent et al., 1994**).

## Chapitre 2 : Descriptions des filtres plantés des macrophytes

---

D'apparence simple, le fonctionnement des lits filtrants plantés de macrophytes fait intervenir des réactions épuratoires pouvant être complexes. Mais le principe de base reste l'infiltration d'un effluent brute à travers des lits composés d'un mélange sable-gravier ou de sol en place, plantés de macrophytes (le plus souvent, des roseaux communs). Le matériau du lit et la partie racinaire des plantes servent de support à une biomasse épuratrice. On peut ainsi considérer ces stations comme des marais artificiels. (**Cristina et al., 2009**).

### 2.2.2. Les composantes d'un marais artificiel :

Un marais construit est constitué par un bassin désigné proprement pour contenir de l'eau, un substrat, et souvent, des plantes vasculaires. D'autres composantes importantes des marais, tels que les communautés microbiennes et les invertébrés se développeront naturellement :

#### 2.2.2.1. L'eau :

Les marais se forment quand l'eau est dirigée vers une dépression profonde et où une couche superficielle imperméable empêche l'eau de s'infiltrer dans le sol. Ces conditions peuvent être créées pour construire un marais. Un marais peut être construit presque n'importe où dans le paysage en formant la surface du sol afin de collecter l'eau en scellant le bassin pour retenir l'eau.

L'hydrologie est le facteur le plus important dans la conception d'un marais construit car il lie tous les fonctions dans le marais et car il est souvent le facteur primaire du succès ou l'échec d'un marais construit. L'hydrologie d'un marais construit n'est pas très différente de celle des surfaces d'eau, bien qu'elle diffère en quelques aspects importants :

- De petits changements dans l'hydrologie peuvent avoir des effets assez significatifs sur un marais et l'efficacité de son traitement ;
- A cause de sa large superficie et sa petite profondeur, un système de marais communique vigoureusement avec l'atmosphère à travers la pluie et l'évapotranspiration (la perte combinée de l'eau par l'évaporation de la surface d'eau et la perte à travers la transpiration par les plantes) ;
- La densité de la végétation d'un marais influence vigoureusement son hydrologie, premièrement, en gênant les voies d'écoulement, quand l'eau parcourt son chemin sinueux à travers le réseau des tiges, des feuilles, des racines et rhizomes et, deuxièmement, en bloquant l'exposition au vent et au soleil. (**Vincent et al., 1994**).

## Chapitre 2 : Descriptions des filtres plantés des macrophytes

---

### 2.2.2.2. Le substrat, sédiments, et détritrus :

Les substrats utilisés pour construire un marais comprennent le sol, le sable, le gravier, les pierres et des matériaux organiques comme le compost. Les sédiments, et les détritrus s'accumulent dans le filtre à cause des vitesses basses d'eau et la haute productivité typique des marais. Les substrats, les sédiments, et le détritrus sont importants pour plusieurs raisons :

- Ils supportent beaucoup d'organismes vivant dans le marais ;
- La perméabilité du substrat influence le mouvement d'eau à travers le marais ;
- Plusieurs transformations biologiques (spécialement microbiennes) ont lieu dans le substrat ;
- Les substrats fournissent un stockage pour plusieurs contaminants ;
- L'accumulation du détritrus augmente la quantité de la matière organique dans le marais. La matière organique fournit des sites pour l'échange de matériaux et l'attachement microbien, c'est une source de carbone ; la source d'énergie qui règle certaines réactions biologiques importantes dans le marais.

Les caractéristiques physiques et chimiques des sols et autres substrats sont altérés quand ils sont submergés. Dans un substrat saturé, l'eau remplace les gaz atmosphériques dans les espaces des pores et le métabolisme microbien consomme l'oxygène disponible. Dès que l'oxygène est consommé il peut être remplacé plus rapidement par diffusion à partir de l'atmosphère, les substrats deviennent anoxiques (sans oxygène). Ce milieu réducteur est important dans le prélèvement des polluants tels que l'azote et les métaux. (Cristina., et *al.* 2009).

### 2.2.2.3. La végétation

Toutes deux, les plantes vasculaires (les hautes plantes) et les plantes non vasculaires (algues) sont importantes dans les marais construits. La photosynthèse par les algues augmente le contenu d'oxygène dissous dans l'eau qui à son tour affecte les réactions des nutriments et des métaux. Les plantes vasculaires contribuent au traitement des eaux résiduaires et des eaux de ruissellement en différentes manières :

## Chapitre 2 : Descriptions des filtres plantés des macrophytes

---

- \* Elles stabilisent les substrats et limite l'écoulement ;
- \* Elles ralentissent la vitesse de l'eau, permettant aux matières suspendues de se déposer ;
- \* Elles prélèvent le carbone, les nutriments, et les éléments traces et les incorporent dans les tissus des plantes ;
- \* Elles transfèrent les gaz entre l'atmosphère et les sédiments ;
- \* La fuite d'oxygène des surfaces supérieures des structures de la plante crée des macrosites oxygénés dans le substrat ;
- \* Les systèmes racinaires et leurs tiges fournissent des sites pour l'attachement microbien ;
- \* Elles créent le détritit quand elles meurent et pourrissent.

Les marais construits sont souvent plantés par une végétation immergée, qui se développe avec leurs racines dans le substrat et leurs tiges et feuilles apparaissent sur la surface d'eau. Les plantes émergentes communes utilisées dans les lits filtrants comprennent : les joncs, les massettes, les roseaux et un nombre d'espèces de feuilles larges. (**Cristina., et al., 2009**).

### 2.2.2.4. Les microorganismes

Les microorganismes comprennent les bactéries, les levures, les champignons, les protozoaires, les algues des écorces. La biomasse microbienne est un évier majeur du carbone organique et plusieurs nutriments. L'activité microbienne consiste à :

- \* Transformer un grand nombre de substances organiques et inorganiques en solution inoffensive ou insoluble ;
- \* Altérer les conditions réduction/oxydation (redox) du substrat et ainsi influence la capacité des processus du marais ;
- \* Elle est impliquée dans le recyclage des nutriments.

Quelques transformations microbiennes sont aérobiques (c.à.d. nécessitent l'oxygène libre) et d'autre sont anaérobiques, c.à.d. elles sont capables de fonctionner sous les deux conditions aérobiques ou anaérobiques selon le changement des conditions du milieu.

## Chapitre 2 : Descriptions des filtres plantés des macrophytes

---

La communauté microbienne d'un marais construit peut être influencée par les substances toxiques, tels que les pesticides et les métaux lourds, et des soins doivent être prises pour éviter de telles substances chimiques d'être introduites à des concentrations préjudiciables. (Vymazal *et al.*, 1998).

### 2.3. Les type des marais artificiels

Il y a différents types de marais construits : bassin à écoulement en surface, bassin à écoulement sous surface et des systèmes hybrides, qui incorporent les deux systèmes précédents. (Cristina., *et al.*, 2009).

#### 2.3.1. Bassin à écoulement superficiel :

Un bassin à écoulement en surface (SF surface flow) consiste en un bassin profond, sol ou autre matériel pour supporter les racines de la végétation, et une structure contrôlant l'eau pour maintenir une petite profondeur. Des marais à écoulement en surface ressemblent aux marais naturels et peuvent offrir un habitat naturel et des bénéfices esthétiques en plus du traitement d'eau. Dans le marais à écoulement en surface, les couches superficielles sont souvent anaérobiques. Les marais des eaux de tempête et les marais construits pour traiter les eaux de drainage des mines et les ruissellements d'agriculture sont habituellement des marais à écoulement en surface.

Les marais à écoulement en surface sont quelque fois appelés des marais à surface d'eau libre ou, s'ils sont pour les eaux de drainage des mines, des marais aérobiques. Les avantages des marais à écoulement en surface sont que leur coût capital et de fonctionnement sont bas, et que leur construction, fonctionnement et maintenance sont simples. L'inconvénient principal des systèmes à écoulement en surface est qu'ils nécessitent une plus grande surface que les autres systèmes. (Marika., *et al.*, 2009).

#### 2.3.2. Bassin à écoulement sous-surface :

Un bassin à écoulement sous surface consiste en un bassin en cachette avec un substrat poreux de roche ou de gravier. Le niveau d'eau se présente sous la surface du substrat. Dans la plupart des systèmes des Etats Unies, l'écoulement est horizontal, bien que quelques systèmes Européens utilisent des flux à écoulement vertical. Les systèmes à écoulement sous surface sont appelés par plusieurs noms : les lits immergés végétés, la méthode de zone de racine, le filtre microbien de roche - phragmite, et les systèmes filtrants plante .



## Chapitre 2 : Descriptions des filtres plantés des macrophytes

A cause des contraintes hydrauliques imposées par le substrat, les filtres à écoulement sous surface sont plus convenables aux eaux usées à basses concentrations en solides et sous des conditions d'écoulement uniformes. Les filtres à écoulement sous surface ont été souvent utilisés pour réduire la demande biochimique en oxygène ( $DBO_5$ ) des eaux usées domestiques. (Marika., et al., 2009). On distingue deux types de filtres plantés suivant le sens d'écoulement :

### ➤ Les filtres plantés à écoulement vertical

Les principaux mécanismes d'épuration s'appuient sur la combinaison de plusieurs processus en conditions aérobie, qui se déroulent successivement sur deux étages de traitement en série au minimum

- Les filtres à écoulement vertical sont alimentés en surface, l'effluent percole verticalement à travers le substrat ;
- La rétention physique des matières en suspension s'effectue en surface des filtres ;
- Ce type de dispositif permet un stockage et une minéralisation des boues sur le premier filtre de traitement par stabilisation des boues ;
- La dégradation biologique des matières dissoutes est réalisée par la biomasse bactérienne aérobie fixée sur le support non saturé.

Pour des questions de capacité d'oxygénation, les filtres du premier étage contribuent essentiellement à la dégradation de la fraction carbonée alors que ceux du deuxième étage terminent la dégradation de cette fraction et peuvent permettre une nitrification qui sera fonction des conditions d'oxygénation, de la température et du pH. (Cristina., et al., 2009).

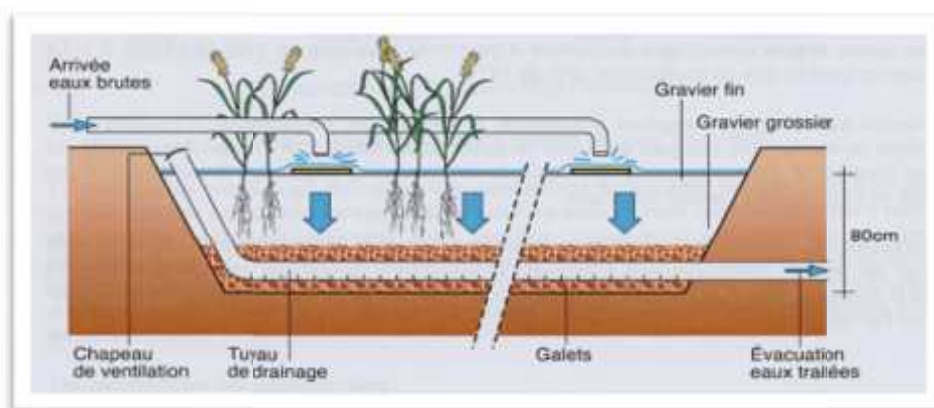


Figure 2.1 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement vertical (source : guide des mariales artificielle -SQAE-)

### ➤ Les filtres plantés à écoulement horizontal

Les filtres horizontaux ne sont pas alimentés par la surface, comme les filtres verticaux. Les eaux usées décantées entrent, via un gabion d'alimentation, directement dans le massif filtrant. Il est donc nécessaire de débarrasser l'effluent, au préalable, des matières en suspension, soit par l'intermédiaire d'un décanteur placé en amont, soit par un premier étage de filtration verticale.

Les matières dissoutes sont dégradées dans le massif de filtration par la biomasse bactérienne fixée sur le support.

Le niveau d'eau dans un filtre horizontal est normalement constant. L'aération est limitée par l'absence d'un mouvement de la ligne de saturation et se fait de manière très faible par une diffusion gazeuse. L'apport d'oxygène est faible par rapport à la demande totale. La pénurie en oxygène, limite la dégradation de la pollution carbonée et azotée, oxydation du carbone organique et de l'ammonium, et par conséquent limite la croissance bactérienne hétérotrophe et autotrophe. (Pant., et al., 2001).

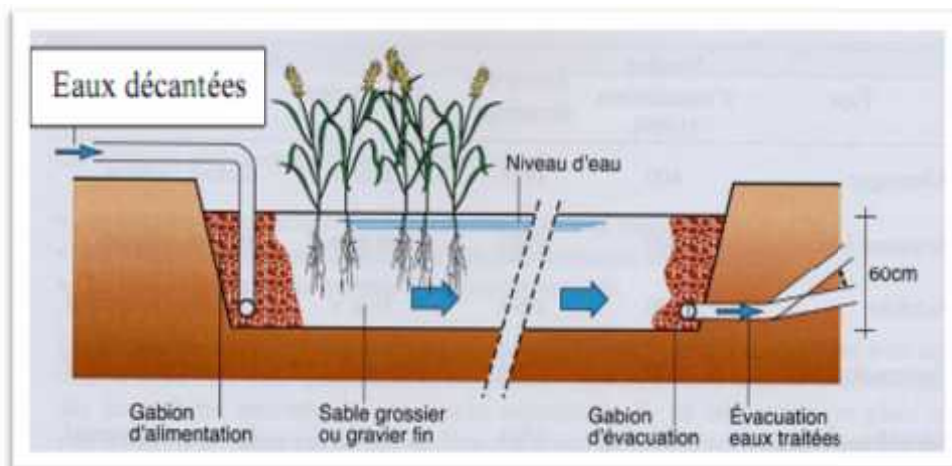
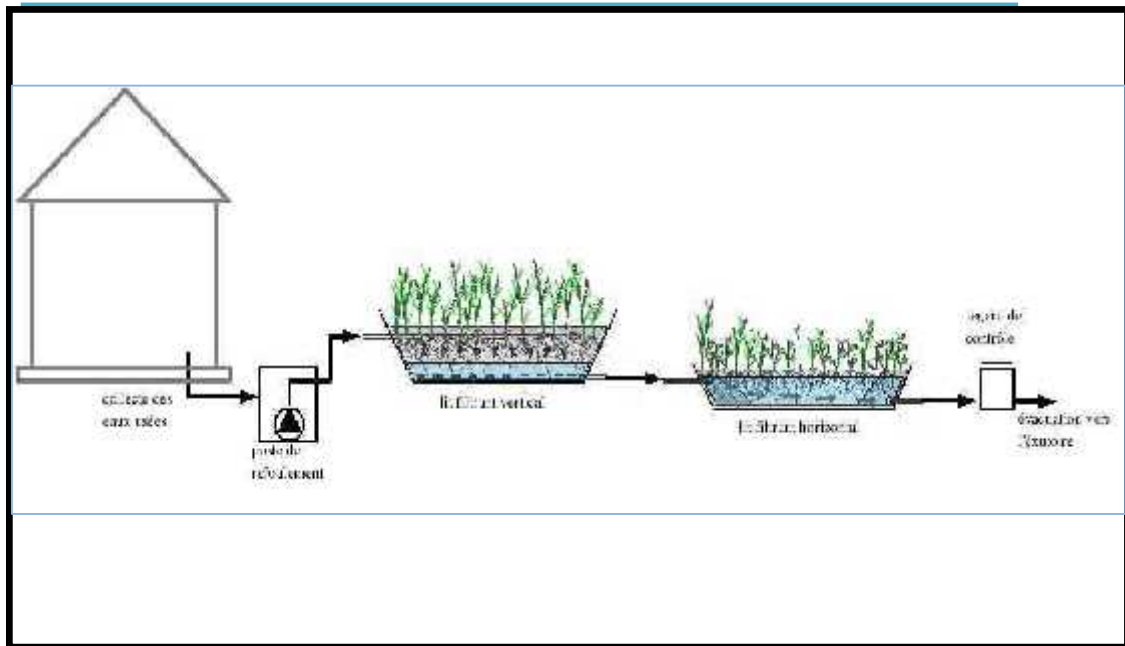


Figure 2.2 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement horizontal (source : guide des marais artificielle -SQAE-)

### 2.3.3. Les systèmes hybrides

Les systèmes hybrides à plate forme nécessitent que tous les processus de prélèvement aient lieu dans le même espace. Dans les systèmes hybrides il y a plusieurs cellules désignées pour différents types de réactions.

Un traitement effectif des drainages de mines peut nécessiter une séquence de différentes cellules de marais pour promouvoir les réactions aérobiques – anaérobiques. Comme pour le prélèvement de l'ammoniac des eaux usées d'agriculture.



**Figure 2.3 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement hybride (source : guide des maraie artificielle -SQAE-)**

### 2.4. Systèmes flottants (FS)

Ils sont réalisés en utilisant des plantes flottantes ou structure flottantes pour soutenir les plantes adaptées à la phytoépuration. Ils constituent une barrière de traitement des eaux à l'intérieur des rivières, cours d'eau, naturels ou artificiels.

### 2.5. Principe de fonctionnement

La phytoépuration veut dire l'action d'épuration des eaux usées en présence de plantes. Elle peut être réalisée à travers des différents systèmes, caractérisé par le fait que l'eau vient couler lentement et sans conditions contrôlées à l'intérieur de milieux végétales, de façon à en favoriser l'épuration, naturel qui s'effectue à cause du processus d'aération, sédimentation, absorption et métabolisation de la part des microorganismes et de la flore (Borin, 2007).

Cette filière d'épuration s'appuie sur le pouvoir épurateur des végétaux aquatiques : algues, hydrophytes (plantes d'eau libre) et héliophytes (plantes du bord des eaux). Les eaux usées séjournent simplement dans une série de bassins à ciel ouvert peuplés de ces végétaux.

Le roseau (ou phragmite) et autres plantes vigoureuses ont été largement utilisés à cet effet sous le nom de « macrophytes ». Ces dernières consomment les composés polluants dissous dans l'eau – azote et phosphore, qui constituent pour eux des éléments nutritifs. Par

## Chapitre 2 : Descriptions des filtres plantés des macrophytes

---

ailleurs elles servent de supports à de nombreux organismes microscopiques – algues et bactéries qui font le gros du travail.

Quant aux hydrophytes, elles absorbent les nutriments en excès à travers les parois cellulaires de leurs tiges et feuilles très ramifiées et produisent de l'oxygène nécessaire à la décomposition des matières organiques et à l'oxydation de l'azote ammoniacal préjudiciable au milieu aquatique. Leur rôle se cantonne plutôt au bassin de finition, souvent négligé (**Brix, 1993**).

### 2.5.1. Rôle des microorganismes

Particulièrement proliférâtes en milieu humide, les bactéries se nourrissent des matières dont sont chargés les eaux usées. Véritables « ciseaux biologique » elles les transforment en molécules inoffensives. La dégradation de la matière organique et la dénitrification d'azote dans la région des racines des plantes où s'effectue le traitement est médiaturé par les microorganismes. L'émission d'oxygène par les racines des macrophytes crée des zones oxydées autour des racines. La plupart du contenu organique des eaux résiduaires est décomposé en dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et eau dans ces zones en utilisant l'oxygène comme dernier accepteur d'électrons. En plus l'ammoniaque est oxydée en nitrates par bactéries nitrifiante dans ces zones. Ici la dégradation de la matière organique peut avoir lieu par bactéries dénitrifiantes. Par ces processus les nitrates sont convertis en azote ( $\text{N}_2$ ), qui s'évapore vers l'atmosphère. Dans une région de la rhizosphère, la matière organique peut être décomposée anaérobiquement en dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et méthane ( $\text{CH}_4$ ) par des processus fermentifs. L'existence simultanée des zones oxydées, anoxiques, et de réduction, et l'interaction entre les différents types de processus de dégradation microbiennes dans ces zones, est essentiel pour une décomposition de la matière organique et un prélèvement des nutriments efficace dans la région des racines des plantes où s'effectue le traitement. En plus de tels interactions peuvent être favorables pour la décomposition des composés persistants, tel que les hydrocarbures chlorés (**Brix, 1987**).

### 2.5.2. Rôle des macrophytes

Au delà de l'aspect esthétique, les macrophytes contribuent indirectement à la dégradation des matières volatiles en suspension (MES) de l'effluent brute ;

**La croissance des racines et des rhizomes** permet une régulation de la conductivité hydraulique initiale. La faible granulométrie du substrat (sable ou gravier) ainsi que l'apport important de matière organique sont propice au colmatage du filtre. La croissance des parties

## Chapitre 2 : Descriptions des filtres plantés des macrophytes

---

racinaires limite ces risques en formant des pores tubulaires le long des racines qui se développent. Toutefois dans des filtres à écoulement horizontal, il ne faut pas escompter une conductivité hydraulique supérieure à celle des matériaux d'origine. (**Cristina., et al., 2009**).

**La couverture foliaire** est un régulateur thermique ayant un impact sur les rendements épuratoires sous des climats froids.

**De petites quantités d'oxygène** provenant des parties aériennes sont rejetées à l'apex des radicelles des plantes, mais elles sont insuffisantes pour contribuer seules à la satisfaction des besoins d'oxygène de la biomasse bactérienne, responsable de la dégradation. (**Tiglyene., et al., 2005**).

Selon le même auteur, le développement racinaire accroît la surface de fixation pour le développement des microorganismes et pour des réactions de précipitation. A cet accroissement de surface active, s'ajoute très certainement aussi un facteur encore très mal documenté de stimulation de l'activité, voire de la diversité et de la densité des microorganismes, impliqués à divers titres dans les processus épuratoires. Il s'agit d'un concept bien connu en agronomie et qui peut se résumer sous la forme triviale suivante « un sol planté est biologiquement plus riche et actif qu'un sol nu ». Les tissus racinaires et leurs exsudats constituent vraisemblablement des niches plus accueillantes pour les microorganismes que des substrats minéraux inertes.

**Le rôle du métabolisme des plantes** (assimilation des nutriments) affecte plus ou moins le traitement en fonction des surfaces mises en jeu. Si pour les filtres plantés verticaux l'assimilation est négligeable, les surfaces plus importantes mises en jeu dans les filtres horizontaux peuvent conduire à de prélèvement pouvant être raisonnablement prises en compte dans les bilans, mais qui devraient cependant se situer au maximum à 20% pour l'azote et 10% pour le phosphore. Tous ces éléments ne sont pas directement exportables dans la biomasse faucardable, mais se trouvent aussi piégés dans le système racinaire dont le devenir à long terme, c'est-à-dire 10-15 ans, n'a pas encore été étudié. (**Pant., et al., 2001**).

### 2.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons passé en revue les principales recherches, relatives à la technique d'épuration par filtres plantés à macrophytes dite la phytoépuration ou Marais artificiels. En effet, en se basant sur une panoplie de recherches telles que celles de **Seidel** et bien d'autres, nous avons essayé de présenter l'essentiel de la phytoépuration.

En effet, les systèmes les plus connus sont : le système à écoulement superficiel (SF, Surface Flow), le système à écoulement sous superficiel (SSF, Sub-Surface Flow) et le système à écoulement flottant (FS, Floating System). Pour ces trois catégories de systèmes de phytoépuration il a été présenté la typologie et les mécanismes d'élimination des éléments polluants.

# *Chapitre 3*

*Matériels et Méthodes*

### 3.1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de montrer la procédure expérimentale adoptée, afin d'évaluer l'influence de la densité des plantes sur le pouvoir épurateur de filtre planté de macrophytes. Pour cela, l'analyse de quelques paramètres physico-chimiques a été effectuée au laboratoire de traitement des eaux de CRSTRA.

### 3.2. Préparation du dispositif expérimental

Les essais expérimentaux ont été effectués dans l'aire expérimentale du département d'hydraulique de l'université de Biskra, aménagée spécialement pour les essais de la phytoépuration (**Photo3.1**). L'expérience a été menée durant quatre mois (Février-Mai) avec un mois de préadaptation des plantes dans le substrat.



**Photo 3.1** aire expérimentale de la phytoépuration

#### 3.2.1. Des Matériels utilisés

Pour bien accomplir l'analyse expérimentale des quatre plantes citées plus haut, nous avons utilisé le matériel suivant :

- 3 bassines identiques de forme ronde et en matière plastique, d'une hauteur de 28 cm, de base supérieure de 50 cm et de base inférieure de 42 cm de diamètre.



## Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

---

- Tube en PVC de 50 cm de diamètre pour assurer l'entrée de l'air au fond des bassines et pour faciliter la mesure des paramètres physico-chimiques (pH, oxygène dissous, la température, Salinité).
- Robinets en plastique au fond des bassines pour l'évacuation de l'eau épurée.
- On a utilisé un gravier de différentes tailles (4 tailles), et on les a mis dans les bassines (après tamisage et lavage) en couches décroissantes de bas en haut.

### 3.2.1.1. Matériel végétal

Le dispositif expérimental est constitué de trois bacs comprenant chacun du *Phragmites australis* avec des densités différentes. Les *Phragmites australis* plante qui résiste aux milieux les plus argileux et rocaillieux facile à planter ou marécageux (**Fauteux, 2002**).

C'est une plante herbacée à faible profondeur (2 à 3 m) (**Schemell, 1977**). Sa hauteur est de 1 à 5 mètres, cette plante comporte 2 sortes de tiges : les une souterraines, appelées rhizomes, les autres aériennes dressées et simples, portant de longues feuilles rubanées qui se terminent par des inflorescences (**Gausen et al., 1982**). Elles sont dressées au bord de l'eau (nappe de roseau) et appelées roselier ou phragmitaire (**Gaujous, 1995**).

Ce sont des macrophytes qui appartiennent au groupement des héliophytes et se caractérisent tout particulièrement par leurs systèmes racinaires très actifs et capables de résister à des conditions très difficiles même lorsque la partie aérienne de la plante est desséchée.

Le développement de nouvelles tiges intervient entre le printemps et l'automne (d'avril à octobre). Ce végétal peut même supporter des périodes de gel dont l'action est positive sur la déshydratation des boues (phénomène gel – dégel– rétractation) (**Esser, 1999**).

Les roseaux sont capables d'absorber et de concentrer des quantités importantes de certains polluants et ils contribuent à l'autoépuration des eaux. Leur développement s'accélère dans les eaux calmes et les rivières (**Dajoz, 1985**).



**Photo3.2: Représentation du *phragmite Australis***

### 3.2.1.2. Préparation du substrat

Le substrat est constitué de gravier qui a été préalablement tamisé en 4 groupes selon les dimensions pour constituer quatre couches superposées verticalement après lavage.



**Photo 3.3 : Galet (2à5 cm)**



**Photo 3.4 : Gravier grossier (0,7à2cm)**



**Photo 3.5: Gravier moyen(0,5à0,7)**



**Photo 3.6 : Gravier fin(0,2à0,5)**

## Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

Tableau 3.1 : Caractéristiques du substrat

Substrats	Taille	Epaisseur de la couche
Galet	2 à 5 cm	4 cm
Gravier grossier	0,7 à 2 cm	8 Cm
Gravier moyen	0,5 à 0,7 cm	5 Cm
Gravier fin	0,2 à 0,5 cm	6 Cm

### 3.2.1.3. Remplissage des bacs et emplacement des plantes

Dans cette étape on a procéder comme suit :

- Fixation d'un robinet à une hauteur de 4 cm du fond de chaque bassine, permettant de prélever les eaux usées après une durée d'incubation dans chaque bassine (le robinet été emballé du coté intérieur par un filtre pour éviter l'introduction du gravier) ;
- Remplissage des deux premières couches : galet et gravier grossier ;
- Emplacement du tube PVC perforé enveloppé par un tamis (pour vérifier le niveau d'eau dans chaque bassine, le tamis est utilisé pour éviter les particules de gravier de s'introduire dans le tube et de le boucher) ;
- Implantation des les plantes ;
- Enfin, le remplissage est achevé par l'ajout des deux dernières couches ; le gravier moyen et le gravier fin.



**Photo 3.7 : Remplissage des bassines et emplacement des plantes**

### 3.2.1.4. Irrigation par les eaux usées

- La date du premier remplissage des bassines est le : 20 Mars 2014
- Le temps de séjour étant de 5 jours, le premier prélèvement a été donc le : 25 Mars 2014. Et ainsi de suite jusqu'à la fin du travail

## 3.3. Analyse au laboratoire

Les analyses physico chimiques ont été effectuées dans le laboratoire de **traitement des eaux usées de CRSTRA**. Les appareils utilisés dans cette analyse sont pH mètre, thermomètre, conductivimètre, spectrophotomètre, DBO mètre, étuve, balance, agitateur, plaque chauffante .

**3.3.1. PH, Oxygène dissous, Conductivité électrique, Température :** La mesure est faite un multi- paramètre de (Narmer Multi 3430).



**Photo 3.8 : Multi-paramètre**

**3.3.2. Turbidité:** Est mesurée avec un Turbidimètre (Norme H/88703)



**Photo 3.9 : Turbidimètre**

**3.3.3. Couleur :** Méthode spectrophotométrique, à la longueur d'onde de 120nm (Norme NF EN ISO 7789).

**3.3.4. Matières en suspension :** Nous avons utilisé méthode par différence des poids des filtres avant et après filtration (AFNOR, T90-101).

**3.3. 5. L'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) :**

Méthode spectrophotométrique avec une longueur d'onde de 380 nm (1 minute de réaction).

Réactifs: Sel de Rochelle, Nessler. (Norme NFT 90-015).

**3.3. 6. Phosphate  $\text{PO}_4^{-3}$  :**

Méthode spectrophotométrique à une longueur d'onde de 480 nm (3 minutes de réaction).

Réactif: -Molybdovanadate. (Méthodes Standard pour Examen des Eaux et des Eaux usées).

**3.3.7. Demande biochimique en oxygène ( $\text{DBO}_5$ ):** Cette méthode se fait par dilution  $\times 5$ , en utilisant 3 comp

rimés de NaOH. Elle est suivie pendant 5 jours d'incubation dans un DBO mètre à 20°C (Norme Oxitop Box).



**Photo 3.10: Oxitop Box**

### 3.3. 8. La demande chimique en oxygène (DCO) :

Produits chimiques: Acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N). Acide oxalique (0,01N). Permanganate de potassium ( $\text{KMnO}_4$  0,01N).

Détermination du facteur :

$$F = \frac{15}{X} \text{ ml}$$

(X:est en ml de  $\text{KMnO}_4$  0,01N).

Le calcul des résultats se fait comme suit :

$$\text{DCO (Mg/l)} = \frac{(v_v + 15) \times (F - 15) \times 316}{PE}$$

DCO: la demande chimique en oxygène (mg/l).

PE : prise d'échantillon (ml).

$V_v$  : le volume versé de  $\text{KMnO}_4$  pour le titrage (mg/l) (Norme CR 3200).



**Photo 3.11.Cod plus colorimeter**

## Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

### 3.3.9. Nitrate, Sulfate :

La méthode par absorption moléculaire à 420 nm.

Produits chimiques : NaOH (30%). Salicylate de sodium. Tartrate double de sodium et de potassium. (Rodier ,2005).



Photo 3-12 : Spectrophotomètre

Tableau 3.2 : Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques.

Paramètre	Méthode.
Conductivité Electriques CE (ds/cm), pH, oxygène dissous (mg/l), Température T(c°).	Multi-paramètre.
DBO (mg d'oxygène/l)	Oxitop Box.
DCO (mg d'oxygène/l)	Cod plus colorimètre.
Nitrate, (mg/l), sulfate, (mg/l)	Spectrophotomètre.
Turbidité (NTU).	Turbidimètre.
Matière en suspension (mg/l)	Filtration et séchage avec l'étuve.

### 3.4. Caractéristique des eaux usées de Tolga :

Les eaux usées utilisées dans notiez étude sont d'origine de Tolga (Photo 3.13)



**Photo 3.13 : Rejet de l'eau usée de Tolga**

Dont les caractéristiques sont présentées dans le **tableau (3.3)**

**Tableau 3.3 :Caractéristique de eaux usées du rejet de Tolga.**

Paramètre	Unité	Min	Max
PH		7,85	8,7
T°	C°	18,3	28,9
Cond	Mc/cm	4,4	6,6
Couleur	Unité couleur	250	800
MES	Mg/l	50	480
DBO	Mg/l	75	350
DCO	Mg/l	190	650
PO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Mg/l	11,5	27
NO <sup>+4</sup>	Mg/l	15	23
NO <sup>-3</sup>	Mg/l	0,18	10,08
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Mg/l	0,420	0,700



### 3.5. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre, les matériels et méthodes permettant l'évaluation du pouvoir épurateur de *Phragmites australis* en faisant varier la densité de 5, 10 et 15 jeunes tiges . Il a été procédé à l'analyse au laboratoire, des paramètres physico-chimiques des eaux usées avant et après irrigation de ces plantes. Les paramètres testés sont : DBO, DCO, Ortho-Phosphate, Turbidité, couleur, Matière en suspension, pH, conductivité électrique, oxygène dissous et azote Ammoniacal. Les expérimentations ont été réalisées dans la station expérimentale du département d'hydraulique. Les analyses ont été effectuées au laboratoire de traitement des eaux usées du laboratoire CRSTRA.

# *Chapitre 4*

*Résultats et discussion*

### 4.1 Introduction :

Après préparation des bacs plantés et détermination des analyses physico chimiques des eaux récupérés des trois bacs planté respectivement de 5, 10, 15 jeunes tiges de *Phragmite Australis* ; on procède dans ce chapitre à une interprétation des résultats. L'objectif de ce travail est de chercher la densité optimale qui permet d'avoir un abattement des polluants des eaux usées. Donc une comparaison est également proposée en évaluant la qualité des eaux à l'entrée et à la sortie des filtres pour chaque densité après un temps de séjour proposés.

### 4.2 Performance de filtres plantés de macrophytes:

Ce travail était basé sur l'évaluation des taux de rétentions de pollution de différentes densités du *Phragmite australis* planté dans un bac à gravier. Les résultats des paramètres sont présentés dans les graphes 1 jusqu'à 9 (pr1 : *Phragmite australis* avec une densité de 5 tiges dans le bac d'essai, pr2 avec une densité de 10 et pr3 avec 15) Les paramètres pris en considérations pour l'interprétation des résultats sont :

#### 4.2.1 pH :

Les résultats du pH des eaux usées brutes et des eaux récupérées après un temps de séjours sont représentés dans la ( **figure 4.1**).

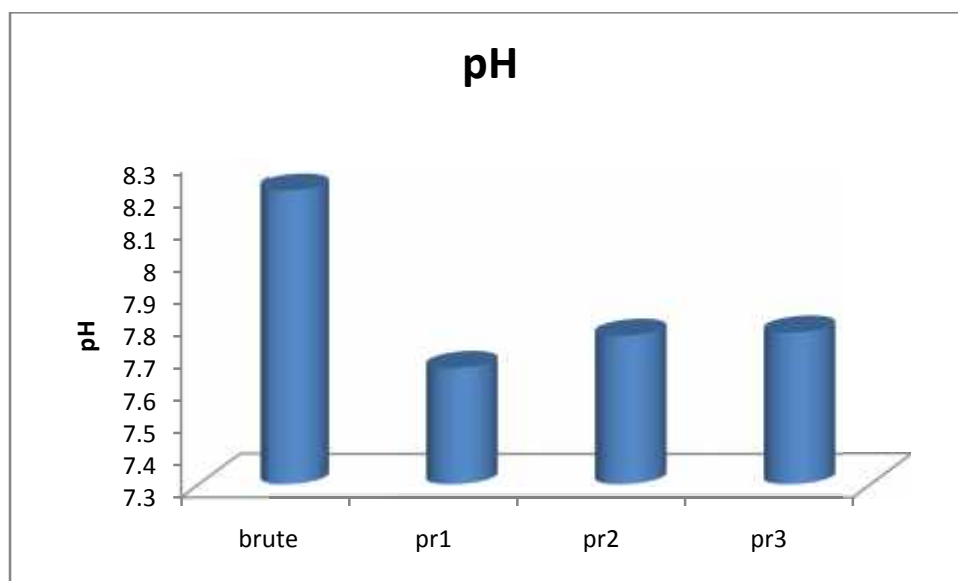
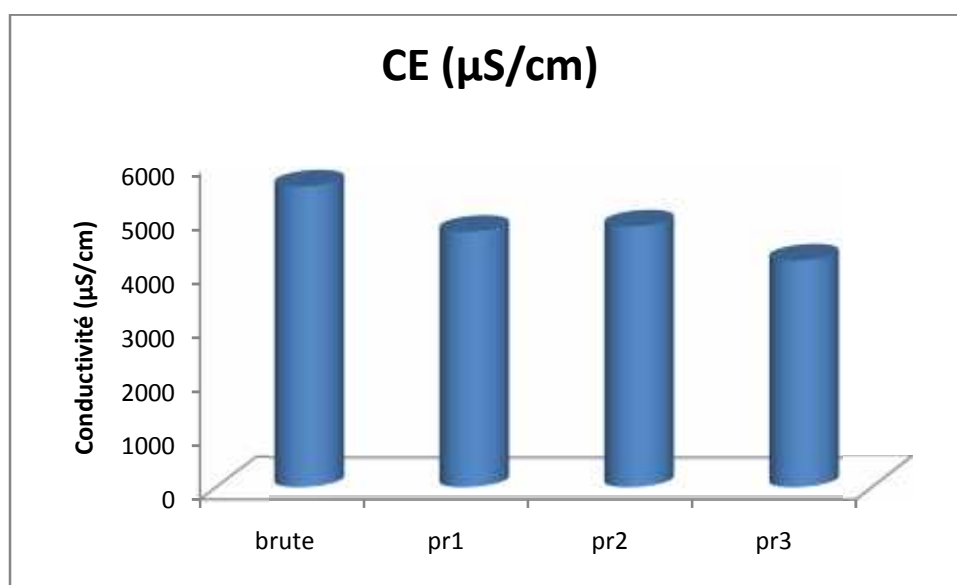


Figure 4.1. Variation du pH des eaux traitées en fonction de la densité du *Phragmite australis*

Le pH moyen à l'entrée des systèmes est de 8.15, à la sortie des systèmes plantés et est de l'ordre de 7.6 et 7.8. On constate que le pH moyen à la sortie des systèmes plantés représente une diminution par rapport à celui des eaux usées brutes, (respectant les normes de rejet délimitée entre  $5.5 < \text{pH} < 8.5$ ) (Journal Officiel de la République Algérienne, 2010)). Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette baisse de pH : - L'accumulation de  $\text{H}^+$  suite à l'activité des bactéries nitrifiantes. - L'accumulation de  $\text{CO}_2$  dû au métabolisme des plantes ou à la dégradation de la matière organique par les bactéries hétérotrophes. La production des ions  $\text{H}^+$  par la plante pour compenser le prélèvement de certains cations (nutrition minérale). La sécrétion d'exsudats (acides organiques) au niveau des racines. (Kone, 2002)

### 4.2.2 Conductivité :

Les résultats de la conductivité des eaux usées brutes et des eaux récupérées après les temps de séjours proposées sont présentés dans la ( **figure 4.2**).



**Figure 4.2. Variation de la conductivité des eaux traitées en fonction de la densité du *Phragmites australis***

On remarque que la conductivité moyenne à la sortie des filtres est toujours proche de celle des eaux usées brutes. La conductivité des eaux récupérées par filtres plantés sont légèrement inférieure à celle des eaux brutes. Pour le filtre de densité égale à 5 est légèrement inférieure à celui de filtre avec la densité égale à 10 alors que dans le filtre plantés avec 15 jeunes tiges, la conductivité a diminué. Cette diminution est liée à la densité de système

## Chapitre 4: Résultats et Discussion

racinaire qui peut fixer les éléments minéraux au niveau des poils des plantes et qui vont être absorbé par la plante. Le phragmite australis a une capacité remarquable à diminuer la conductivité électrique. 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).

### 4.2.3 La couleur et la matière en suspension (MES) :

Les valeurs de la couleur et de la matière en suspension (MES) des eaux usées brutes et récupérées pour les différents densités sont présentées dans les( figures 4.3).

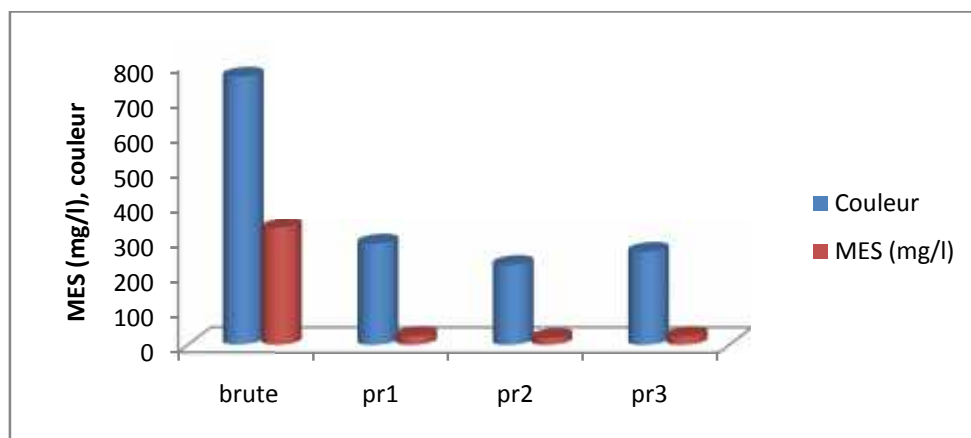


Figure 4.3 Variation de la MES et la couleur des eaux traitées en fonction de la densité du *Phragmite australis*

La diminution de la couleur des eaux récupérées par les macrophytes est importante quelque par rapport à celle de l'eau usée brute (762mg/l). Le meilleur rendement est observé dans les bacs. Alors que la densité de la plante n'a pas influé l'élimination de la couleur qui est due à la présence de matières minérales ou organiques, résultat confirmé par Olivier, (1995).

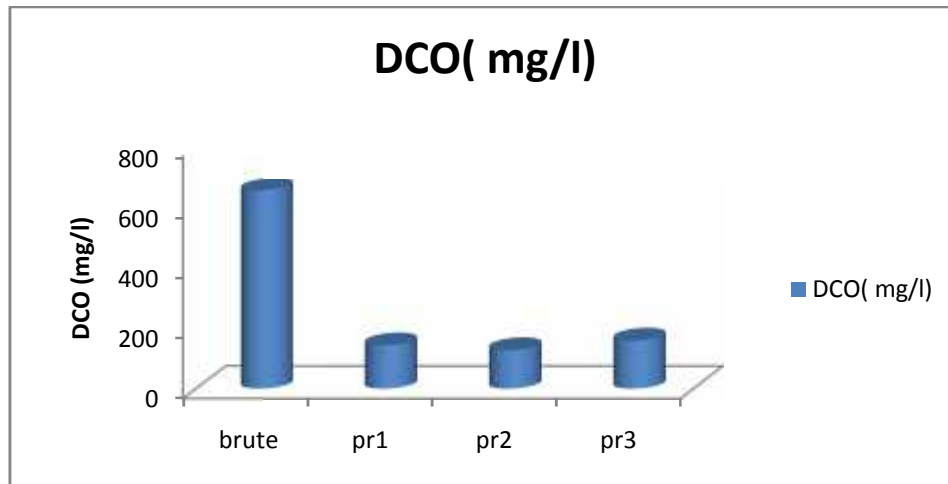
La concentration de la matière en suspension des eaux usées brutes est d'une moyenne de 330. mg/l dépasse énormément les normes (35 mg/l). A la sortie des filtres nous avons obtenu des concentrations en MES qui diminuent dans le temps.

On a remarqué que l'élimination des matières en suspension est excellente dans tous les systèmes plantés, donc une grande disparition des matières en suspension et des matières colloïdales. 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 des 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).

### 4.2.4 Demande chimique en oxygène (DCO) :

Les valeurs de la DCO des eaux usées brutes et récupérées sont présentées dans la (figure 4.4).



**Figure 4.4** Variation de la DCO des eaux traitées en fonction de la densité du *Phragmite australis*

Les résultats d'analyses présentent des teneurs en DCO optimales sont celle observées pour pr2 où le rendement atteint 81,4%, résultats confirmé par (Vymazal, et al., 1998).

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 7jours.

### 4.2.5 Demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) :

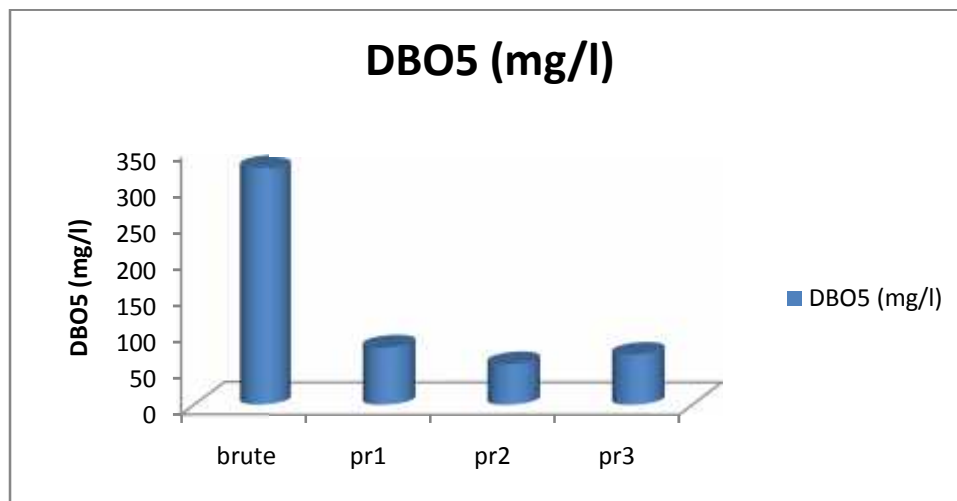


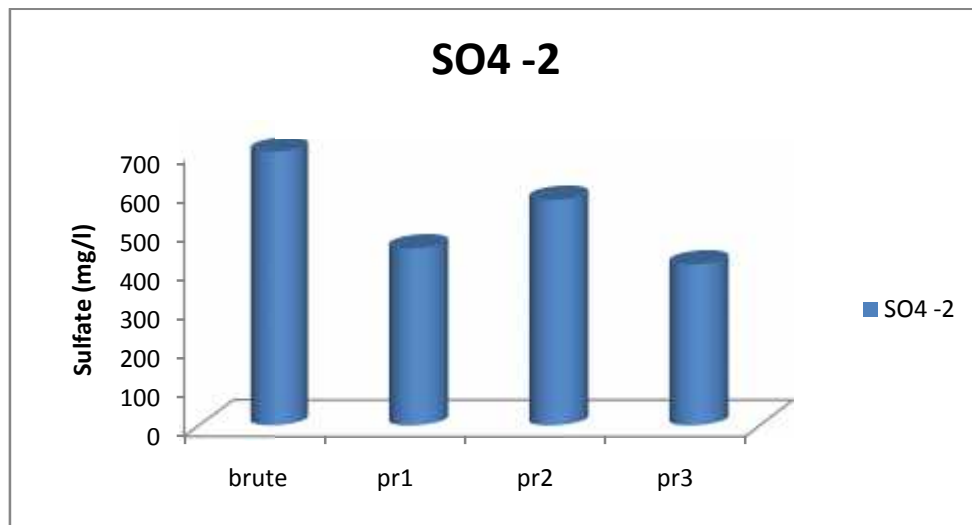
Figure 4.5 Variation de la DBO<sub>5</sub> des eaux traitées en fonction de la densité du *Phragmites australis*

La DBO<sub>5</sub> représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour oxyder (dégrader) l'ensemble de la matière organique d'un échantillon d'eau maintenu à 20°C, dans l'obscurité, pendant 5 jours. D'après la (figure 4.6). On remarque que les moyennes des valeurs en DBO<sub>5</sub> dans les eaux récupérées des filtres plantés varient (pour un temps de séjour égale 5) varient entre 47 à 52 mg/l. Le rendement le plus important est observé dans le filtre à 10 tiges. Résultats confirmé par *Brix, H., (2005)*, qui explique que cette décroissance est assurée par une densité moyenne.

La diminution de la DBO<sub>5</sub> (Demande Biochimique en Oxygène) montre que le système est bien oxygéné, et nous donne une estimation sur la biodégradabilité dans une eau, dont le carbone est utilisé par les bactéries comme source d'énergie et pour la synthèse de nouvelles cellules. (*Debabeche et al., 2009*).

### 4.2.6 Elimination de la pollution sulfaté (SO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) :

Les concentrations du sulfate des eaux usées brutes et récupérées sont présentées dans la (figure 4.6). Cette figure présente l'abattement des sulfates dans les eaux des trois filtres pour tous un temps de séjour égal à 5. Durant toute la période d'étude, il apparaît qu'il y a une diminution dans tous les bacs par rapport aux eaux usées. Mais le meilleur rendement est remarqué pour le filtre à 15 tiges, résultat confirmé par (*Marika et al., 2009*) qui montre que l'augmentation du système racinaire influe sur l'élimination du sulfate des eaux usées..

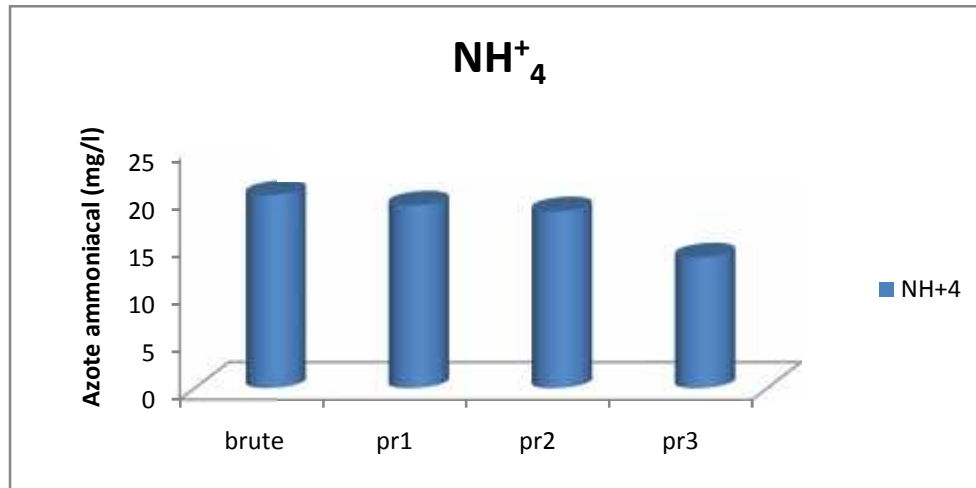


**Figure 4.6** Variation du sulfate des eaux traitées en fonction de la densité du *Phragmite australis*

### 4.2.7 Elimination de la pollution azotée (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) :

Les concentrations de l'azote ammoniacal des eaux usées brutes et récupérées sont présentées dans la **(figure 4.8)**. Selon cette figure la teneur en azote dans les eaux usées récupérées connaissent une variation au cours de temps qui peut être expliquée par la décomposition de la matière organique qui donne l'ammonium (ammonification) et ce dernier se transforme en ammoniac (volatilisation), résultat confirmé par **(Tanner., et al 1993)**. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées au niveau du *Phragmite .australis* (d15). Ce résultat est confirmé par le fait que l'azote est transformé en nitrites puis en nitrates en fonction de facteurs physiques (température, lumière) ou biologique.



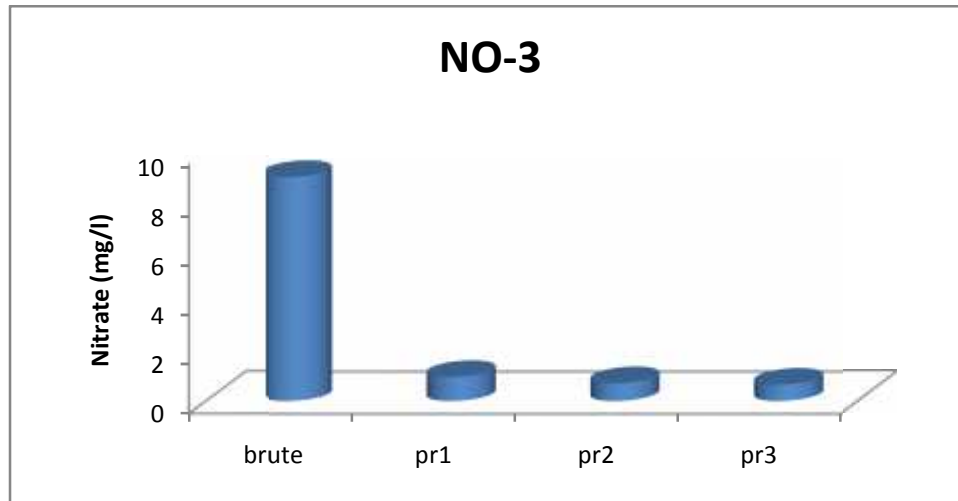


**Figure 4.7** Variation de l'azote ammoniacal des eaux traitées en fonction de la densité du *Phragmites australis*

Des bactéries nitrifiantes donc ce phénomène est influencé par la présence d'oxygène pour la nitrification et milieu anaérobique pour la dénitrification donc une densité moyenne peut assurer une aération dans la partie supérieure.

#### 4.2.8 Elimination des nitrates (NO<sub>3</sub>-)

Les concentrations de nitrate des eaux usées brutes et récupérées sont présentées dans la( figure 4.8).



**Figure 4.8. Evolution du  $\text{NO}^3$  dans les eaux récupérées des filtres plantés des macrophytes par rapport aux temps de séjours.**

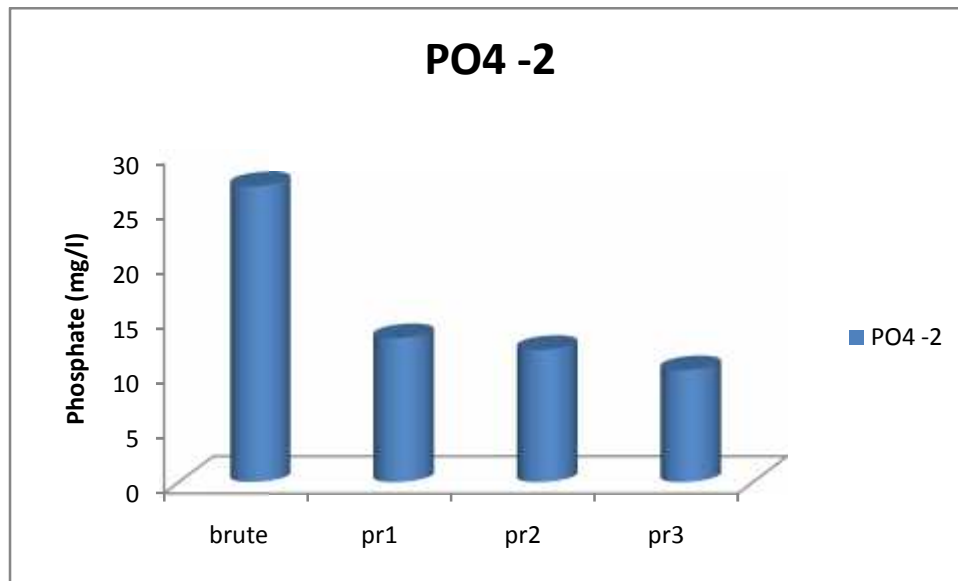
D'après cet histogramme on remarque que la teneur en nitrates dans les eaux usées récupérées est remarquablement inférieure à celle des eaux usées brutes. Les teneurs moyennes en nitrates dans les eaux récupérées des filtres plantés atteignent des valeurs très faibles après un temps de retentions de 5 jours.

Les eaux plus riches en nitrate à la sortie du système planté témoignent d'une activité nitrifiante plus intense. En effet les macrophytes aquatiques sont dotés d'un espace d'air interne bien développé (aerenchyme) à assuré le transfert de l'oxygène vers les racines et les rhizomes (**Brix, 1994**).

Selon la (**figure 4.8**). Les teneurs en nitrate dans les eaux usées récupérées des bacs sont inférieures à celles des eaux usées brutes, on observe qu'il y a un abattement très importante dans le filtre à 15 ce paramètre analysé impliquer 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**).

#### **4.2.9 Elimination de la pollution Phosphaté ( $\text{PO}_4^{-2}$ ) :**

Les concentrations du phosphate des eaux usées brutes et récupérées sont présentées dans la (figure 4.9).



**Figure 4.9. Evolution du  $\text{PO}_4^{-2}$  dans les eaux récupérées des filtres plantés des macrophytes par rapport aux temps de séjours.**

Tout comme l'azote, le phosphore est un constituant essentiel pour le développement des plantes, sa disponibilité ayant une influence directe sur leur croissance. La présence des plantes crée un environnement physico-chimique favorable à l'absorption et à la complexation du phosphore inorganique, qui est ainsi assimilé sous forme d'orthophosphate au niveau des racines et des parties immergées. Cette assimilation est influencée par la disponibilité de l'azote. Elle s'accroît avec les concentrations d'azote et peut donc être freinée par une carence en azote.

Selon la (**figure 4.9**) les teneurs en phosphate dans les eaux usées récupérées des bacs sont inférieures à celles des eaux usées brutes (27 mg/l), On remarque une diminution importante de ce paramètre est de d15

L'enlèvement du phosphate peut impliquer deux phénomènes, soit l'absorption par le substrat soit la consommation par les plantes. L'assimilation du phosphore augmente avec la productivité et la densité de la plante. 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 (**Wathugala et al., 1987**).

Les conditions aérobies créées par la libération d'oxygène au niveau du substrat à travers le système racinaire (**Armstrong, 1990**) pourraient être responsables à cette adsorption additionnelle du phosphore sur le sol et les bacs planté (**WathgalaA et al; 1987**). **Esser (1989)** a attribué cette libération du phosphore à une modification de pH ou une alcalinisation du sol.

## Chapitre 4: Résultats et Discussion

---

De plus les conductions d'anaérobies qui règnent probablement durant le colmatage du système. La plante assimile le phosphore et l'azote pour ses tissus en croissance, Elles peuvent emmagasiner celui-ci dans les racines et rhizomes, les tiges et les feuilles.

### 4.3 Résultats et interprétations :

D'après cette étude, on peut conclure que la meilleure densité pour l'élimination de la pollution dans filtre planté est de 15 tiges, dans bac circulaire de 70 cm de diamètre ( $0.50\text{m}^2$ ) et de 40 cm de hauteur, à cause du taux d'élimination élevé observé. Le filtre planté de *Phragmites Australis* avec une densité de 15 tiges/ $0.5\text{ m}^2$  (30 tiges/ $\text{m}^2$  est très efficace dans l'élimination des MES et diminution de la couleur, de l'azote ammoniacale, du phosphates et des nitrates. Alors que pour une densité de 20 tiges/ $\text{m}^2$  dans les même bacs l'efficacité du filtre pour l'abattement de la DCO et de la BO5 et du sulfates,

Finalement on peut conclure que la densité des plantes intervient efficacement dans l'élimination des polluants. Dans un filtre réel (pour le cas du Phragmite australis) et pour assurer un rendement important, un choix de 25 tiges/ $\text{m}^2$  est optimal.

### 4.4 Conclusion :

Ce chapitre a été entièrement consacré à une comparaison entre d l'effet de la densité des plantes sur la diminution de la pollution des eaux usées de la ville de Tolga traité par des filtres plantés de *Phragmite Australis* ( $d_1= 10$  plantes  $d_2= 15$  plantes,  $d=15$ ).

Le résultat obtenu montre que le meilleur rendement est obtenu pour une densité de 25 tiges/ $\text{m}^2$ . Chaque plante possède des caractérisations spécifiques qui lui permettent d'être efficace dans l'élimination d'un ou plusieurs polluants. Finalement on peut conclure que pour avoir un très bon rendement il est préférable d'utiliser des filtres avec la densité adéquate et qui varie suivant le type de plante choisi.

*Conclusion*  
*Générale*

## *Conclusion générale*

Les procédés de traitement d'eaux usées par marais artificiels offrent des avenues intéressantes. Bien que quelques systèmes expérimentaux doivent être suivis avant d'établir une politique et de fixer des critères de conception définitifs, les résultats obtenus lors de cette étude permettent de croire que ce type de procédé est applicable en Algérie. Compte tenu principalement des températures et de la faible dilution des eaux usées Algérienne, les critères de construction et de conception nécessiteront une certaine adaptation.

Le traitement d'eaux usées par marais artificiels offre de bons rendements pour l'enlèvement des matières organiques, des matières en suspension et des nutriments. Des études plus approfondies pourraient permettre d'optimiser la capacité de ces systèmes à désinfecter les eaux usées.

L'utilisation des filtres plantés de macrophytes (appelé aussi phyto-épuration), pour traitement des eaux usées est une technique très ancienne. Depuis que l'homme rejette des effluents pollués dans le milieu naturel, la phytoépuration a été impliquée – volontairement ou non – dans l'épuration de ceux-ci. Le présent travail se veut une contribution à la mise en valeur des techniques d'épuration des effluents domestiques des zones arides. Le traitement par filtres plantés de macrophytes, apparaît comme un système efficace et particulièrement bien adapté pour les eaux usées avec une charge polluante variable.

L'objectif de cette étude est de déterminer la densité optimale du *Phragmite australis* pour assurer un traitement efficace des eaux usées par des filtres plantés de *macrophyte*

En effet à travers cette étude trois bacs sont plantés de *Phragmite australis* avec trois densités différentes, le premier avec 5 jeunes tiges, le deuxième avec 10 jeunes tiges et le troisième avec 15 jeunes tiges. Le temps de séjour choisi est de 5 jours Les bacs sont remplis des eaux usées du rejet de Tolga avec 4 remplissages.

Des résultats obtenues montrent que les filtres plantés de *phragmite australis* avec variation de densité peinent une éluviation irupataute des polluants des avec une densité de d=10 permettent une élimination de la DCO et de la DBO alors que ceux avec d= 15 ont une efficacité dans l'élimination des nutriments.

On peut refaire conclure que les filtre place les de *phragmite australis* avec une densité de enlie 10 et 15 sont les plis rentables.

## *Références bibliographique*

**Armstrong J. (1990):** Pathways and mechanisms of oxygen transport in *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steud. In : Constructed Wetlands in Water Pollution Control, P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds), Pergamon Press, pp 529-534.

**Abissy M. (1999) :** utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines : cas du roseau, revue des sciences de l'eau, rev. Sci.. eau 12 (2), 285-315

**Brix, H. (1987):** Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants \_ the root-zone method. Great Britain (ed.) Prog.Wat. Tech, Vol. 19, Rio, pp. 107\_118.

**Brix H. (1993):** macrophyte-mediated oxygen transfer in wetlands: treansport mechanisms and rates. Reprint from constructed wetlands for water quality improvement (G.A. Moshiri, Editor). Lewis publishers. Boca Raton, Ann arbot, London, Tokyo.

**Brix H. (1994):** Functions of macrophytes in constructed wetlands. Wat.sci. Tech. vol . 29, N°. 4, 71-78.

**Brix, (1997):** Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands, Water Science and Technology Vol 35 No 5 pp 11-17 © IWA

**Banad. ( 2003):** Station d'épuration à lits filtrants plantes de macrophytes. In : (Eds). I.C.O.W.a.P, Biskra, Septembre 2003, Algérie, PP 323-326.

**Brix H. (2005):** The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New danish guidelines. *Ecological Engineering*, 25(5), 491-500

**Cristina. 2009:** Constructer wethande system vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater\_ watre rescarche 41p1790-1998

**Dbabeche M., Mimeche L.,2009 :** épuration des eaux usées domestiques par les macrophytes dans un milieu semi aride ;séminaire international d'hydraulique El oud.

**Eugène A,( 2000) :** écologie des eaux courantes, TEC et DOC, Paris pp 199.

**Finalayson C.- 1983):** Testing the potential of aquatic plants to treat abattoieffluent.Wat.Res. , 17, (4),415-422.

**Grosclande.G.Goord, (1999) :**L'eau usage et polluant, Tome II.4<sup>ème</sup> Edition : INRA, paris. P : 11



**Kone D,( 2002) :** Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes en Afrique de l'ouest et du centre: état des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement, Thèse de Doctorat, Univ de Luxembourg, Belgique, PP 170.

**OMS. (1989) :** L'utilisation des eaux usées en agricultures et en aquacultures: recommandations à visées sanitaires. *Rapp. Tech.*, (788), 82 p.

**Olivier .T, (1995) :** Métrologie des eaux résiduaires. TEC et DCO, paris. P :7-57

**Olanrewaju B. S. 2004:** Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone Enjeux, concepts et méthodes, CIRAD et CRDI, Sénégal, pp173

**Pant H.K. 2001:** Phosphorus retention capacity of root bed media of sub-surface flow constructed wetland. *Ecol. Eng.* 17, 345-355.

**Reed. G.H,( 1990):** Natural system for wastewater treatment.WPCF, 211-260

**René M,( 2002) :**Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires, ed TEC DOC, Paris, pp 600

**Resjeck.F,(2002) :**Analyse des eaux des eaux,aspects rétegmentaire et technique.Edition :Scérén.p.166-195

**Rodier .j, (2005) :** L'analyse de l'eau

**Seidel. 1978 :**macrophytes and water purification. In : Biological Control of Water Pollution, J. Tourbier and R. W. Pierson (eds.), PennsylvaniaUniversityPress, Philadelphia, Pennsylvania, PP. 109-122

**Tanner C.C. (1993):** Constructed wetlands and denitrifying bioreactors for on-site and decentralised wastewater treatment: Comparison of five alternative configurations. *Ecological Engineering*, 42(0), 112-123.

**Tiglyene S .(2005) :** Enlèvement du chrome par infiltration verticale sur lits de *Phragmites australis* (Cav.) , *Rev.Sci.Eau* . p177-198

**Vaillant, J. R.( 1977) :** Accroissement et gestion des ressources en eau, EYROLLES, paris, pp 246

**Vincent G. (1994) :** Antimicrobial properties of roots exudate of three macrop hytes: *Mentha aquatica* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. and *Scirpus lacustris* L.. Proceedings of the 4th International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, Guangzhou, China.p150-155

**Vymazal, J. 1998:** Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe. Backhuys Publishers, Leiden, p. 366

**Vymazal, j., (2007):** *removal of nutrients in various types of constructed wetland.* Sci. Total environ. 380, 48-65.

**Wathugala A.G. 1987:** Removal of nitrogen, phosphorus and COD from wastewater using sand filtration system with *Phragmites australis*. Wat. Res., 21, (10), 1217-1224