



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Hydraulique
Hydraulique Urbaine
Réf. : HU 02/2018

Présenté et soutenu par :
BENNIA Abidine
Le : mardi 26 juin 2018

Thème :

La dépollution des eaux usées provenant de deux rejets différents (domestique et industriel) par des filtres plantés de *Typha latifolia* et de *Phragmites Australis*.

Jury :

M. OUAKWAK Abdelkader	MCA	Université d'Oued souf	Président
M. HASSINI Linda	Dr	CRSTRA	Examineur
M. SGHAIRI Nora	MCA	Université de Biskra	Rapporteur

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

À toi ma **mère**, que je ne pourrais jamais te remercier pour ce que tu as fait pour moi.

À toi mon **père** qui m'as tout appris et m'as donné le meilleur de toi-même.

À tous mes frères et mes sœurs qui m'a toujours soutenu et encouragé.

À tous mes amis.

À tous mes professeurs Nora, Sara et Nawal.

REMERCIEMENT

A l'issue de cette étude, Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé tout au long de mon travail.

Ma reconnaissance va plus particulièrement à :

Mon encadreur **SEGHAIRI Nora** Docteur en hydraulique pour sa contribution à l'élaboration de cette mémoire.

Je suis également reconnaissant aux membres de Jury qui ont bien voulu examiner et discuter mon travail ; je les en Remercie vivement.

Je Remercie mon professeur **BADACHE Sara** qui m'a beaucoup aidé surtout dans le travail pratique.

Je Remercie toutefois tous les personnes du département d'Hydraulique d'université Mohamed Khider – Biskra.

Enfin, je voudrais souligner les contributions efficaces de tous mes Proches et Amis qui, à des titres divers, m'ont aidé et soutenu moralement, tout au long de la préparation de cette mémoire. Ce soutien moral est d'autant plus important que la rédaction d'une mémoire.

BENNIA Abidine

Partie bibliographique

<i>Liste des figures</i>		
Figure /photo	Titres	Pages
Figure I.1	Les mécanismes mis en jeu dans les bassins de lagunage naturel	17
Figure I.2	Schéma de principe d'un lagunage aéré	17
Figure II.3	Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical	24
Figure II.4	Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal	25
<i>Liste des photographies</i>		
Photo II.1	Tamarix	26
Photo II.2	Arundo donax	27
Photo II.3	Phragmites (Roseau)	27
Photo II.4	Typha	28
Photo II.5	Papyrus	29

Partie expérimentale

<i>Liste des photographies</i>		
Photo I.1	Dispositif expérimental (filtres plantés)	32
Photo I.2	Les différentes couches du substrat	33
Photo I.3	Filtre planté de <i>Typha latifolia</i>	34
Photo I.4	Filtre planté de <i>Phragmites australis</i>	34
Photo I.5	Localisation de la commune M'ziraa dans la wilaya de Biskra	35
Photo I.6	Carte géographique de l'UNICAB (Entreprise des Industries du Câble de (Biskra)	35
Photo I.7	pH mètre	37
Photo I.8	Conductimètre	38
Photo I.9	La gamme des Phosphates	39
Photo I.10	Spectromètre UV-visible	40
Photo I.11	La gamme des Nitrates	41
Photo I.12	La gamme de Nitrite	43
<i>Liste des figures</i>		
Figure I.1	La courbe d'étalonnage du phosphate	40
Figure I.2	La courbe d'étalonnage des Nitrates	41
Figure I.3	La courbe d'étalonnage de Nitrite	43
Figure II.1	Evolution du pH dans les eaux récupérées des filtres plantés de Typha	46
Figure II.2	Evolution du pH dans les eaux récupérées des filtres plantés de Phragmites	46
Figure II.3	Evolution de la conductivité dans les eaux récupérées des filtres plantés de Typha.	47
Figure II.4	Evolution de la conductivité dans les eaux récupérées des filtres plantés de Phragmites	48
Figure II.5	Evolution de la température dans les filtres plantés de Typha	49
Figure II.6	Evolution de la température dans les filtres plantés de Phragmites	49
Figure II.7	Evolution du Nitrate dans les filtres à macrophytes (Typha)	50
Figure II.8	Evolution du Nitrate dans les filtres à macrophytes (Phragmites)	50
Figure II.9	Evolution du Nitrite dans les filtres à macrophytes (Typha)	51
Figure II.10	Evolution du Nitrite dans les filtres à macrophytes (Phragmites)	51
Figure II.11	Evolution du Phosphate dans les filtres à macrophytes	52
Figure II.12	Rendement épuratoire des filtres à macrophytes après 10 jours de séjour	52

Liste des figures et des tableaux

<i>Liste des Tableaux</i>		
Tableau	Titres	Pages
Tableau I.1	Les caractéristiques du substrat	33
Tableau I.2	Données géographiques de M'ziraa	35
Tableau I.3	Caractéristiques physico- chimiques des eaux usées domestiques du rejet de M'ziraa	36
Tableau I.4	Caractéristiques physico- chimiques des eaux usées industrielle de l'unité de production de l'ENICAB	36
Tableau I.5	Calendrier de remplissage des filtres plantés et de prélèvement des échantillons	37
Tableau I.6	Préparation des solutions étalons de phosphate	39
Tableau I.7	Etablissement de la courbe d'étalonnage du phosphate	40
Tableau I.8	Préparation des solutions étalons de Nitrates	41
Tableau I.9	Etablissement de la courbe d'étalonnage des Nitrates	41
Tableau I.10	Préparation des solutions étalons de Nitrite	43
Tableau I.11	Etablissement de la courbe d'étalonnage de Nitrite	43

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Résumés

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des photos

SOMMAIRE

Introduction Générale..... 3

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Les eaux usées caractéristiques, Impacts et traitements.

I.1. Introduction.....	5
I.2. Origine des eaux usées.....	5
I.2.1. Origine domestique.....	5
I.2.2. Origine industrielle	6
I.2.3. Origine pluviale.....	6
I.2.4. Origine agricole	7
I.3. Caractéristiques des eaux usées	7
I.3.1. Paramètres Physiques.....	7
1. La température.....	7
2. La matière en suspension (MES)	7
I.3.2. Paramètres Chimiques.....	8
1. L'oxygène Dissous	8
2. Le potentiel Hydrogène (pH)	8
3. La Conductivité	8
4. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO).....	8
5. La Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	9

Sommaire

6. Les nitrate	9
7. L'azote.....	9
8. Phosphate	9
I.3.3. Paramètres Organoleptiques	10
1. La Turbidité	10
2. La couleur	10
I.4. Impacts des eaux usées sur la santé et sur l'environnement	
I.4.1. Le risque des eaux usées sur la santé	10
1. Le risque microbiologique	10
2. Le risque chimique	12
I.4.2. Le risque environnemental.....	13
I.5. Différents procédés d'épuration des eaux usées	
I.5.1. Les prétraitements	14
I.5.2. Les techniques intensives classiques	14
1. Lits bactériens	14
2. Boues activées	14
3. Avantages et inconvénients des différentes filières intensives	15
3.1. Avantages et inconvénients de Lits bactériens	15
a) Les avantages	15
b) Les inconvénients	15
3.2. Avantages et inconvénients des Boues activées	15
a) Les avantages	15
b) Les inconvénients	16
I.5.3. Les techniques extensives	16
1. Le lagunage naturel	16
2. Le lagunage aéré	17
3. Le lagunage à macrophyte	17
I.5.4. Avantages et inconvénients des différentes filières extensives	18
1. Avantages et inconvénients de lagunage naturel	18
a) Les avantages	18

Sommaire

b) Les inconvénients	18
2. Avantages et inconvénients de lagunage aéré	18
a) Les avantages	18
b) Les inconvénients	19
I.6. Les Traitements tertiaire.....	19
I.7. L'épuration des eaux usées par les filtres plantés (la phytoépuration)	
I.7.1. Généralités sur la phytoépuration	19
I.7.1. Les avantages et les inconvénients de la phytoépuration	19
a) Les avantages	20
1. Systèmes collectifs	20
2. Systèmes autonomes et petits collectifs	20
b) Les inconvénients	20
1. Systèmes collectifs	20
2. Systèmes autonomes et petits collectifs.....	20
I. 8. Conclusion	21
Chapitre II : Traitement des eaux usées par les filtres plantés à macrophytes	
II.1.Introduction	22
II.2.Les macrophytes, généralités et propriétés	22
II.2.1. Généralités sur Les macrophytes	22
II.2.2. Rôle des principales composantes de la phytoépuration.....	23
a) L'aération du substrat.....	23
b) La température.....	23
c) La composition du substrat.....	23
d) Le type de macrophytes.....	23
e) Les micro-organismes	24
II.3. Les différents filtres plantés	24
II.3.1. Les filtres verticaux	24
II.3.2. Les filtres horizontaux	25
II.4. Les plante les plus utilisées dans l'épuration des eaux usées.....	25
II.4.1. Tamarix	25

Sommaire

II.4.2. Arundo donax.....	26
II.4.3. Phragmites (Roseau)	27
II.4.4. Le typha	28
II.4.5. Papyrus	28
II.5. Le rôle du substrat dans le pouvoir épurateur des filtres plantés..	29
II.6. Synthèse des travaux réalisés sur l'efficacité des filtres plantés dans l'épuration des eaux usées (domestique et industrielles)	
II.6.1. Matières en suspension	30
II.6.2. Matières organiques	30
II.6.3. Composés azotés	30
II.6.4. Composés phosphorés	30
II.6.5. Métaux lourds	31
II.7. Conclusion	31

PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre I : Méthodes et matériels

I.1.Introduction.....	32
I.2. Mise en place du dispositif expérimental.....	32
I.2.1. Préparation du dispositif expérimental.....	32
I.2.2. Préparation du substrat.....	33
I.2.3. Remplissage des bacs et emplacement des plantes	33
I.2.4. Le choix des plantes.....	34
I.3. Choix des eaux usées.....	35
I.3.1. Points de collecte des eaux usées.....	35
I.3.2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées.....	36
I.3.3. Calendrier de remplissage et prélèvement des échantillons.....	36
I.4. Analyses physico-chimiques des eaux au niveau du laboratoire.....	37
I.4.1. pH.....	37
I.4.2. La conductivité électrique	38
I.4.3. Phosphates PO_4^{3-}	38
I.4.4. Nitrate NO_3^-	40
I.4.5. Nitrite NO_2^-	42
I.5. Conclusion	44

Sommaire

Chapitre II : Les capacités de deux filtres plantés dans l'épuration des eaux usées industrielles et domestiques

II.1.Introduction	45
II.2 Variation des paramètres physico-chimiques	45
II.2.1. Evolution du pH.....	45
II.2.2. La Conductivité électrique (CE).....	47
II.2.3.La température	48
II.3. Le taux d'abattement des nutriments à la sortie des filtres plantés .	50
II.3.1.L'élimination du Nitrate NO_3^-	50
II.3.2.L'élimination du Nitrite NO_2	51
II.3.3.L'élimination du phosphate PO_4^{3-}	52
II.4. Conclusion.....	53
Conclusion générale.....	54
Références Bibliographiques	

Résumé :

Depuis les temps anciens, l'environnement a souffert de problèmes d'eau résultant d'une exploitation domestique ou industrielle, qui sont chargés de plusieurs matériaux inorganiques tels que les phosphates, les nitrates, l'ammonium, le calcium, la magnésie ou les matériaux lourds. Notre objectif est d'éliminer ces substances nocives en traitant l'eau par des plantes aquatiques. L'eau utilisée est simplement placée dans une série de filtres à plantes ouverts où les polluants solubles dans l'eau sont consommés et qui supportent également de nombreux microorganismes (vie microbienne et anaérobie pour le traitement des polluants biodégradables et l'absorption des polluants non biodégradables). Notre travail consiste en une étude comparative entre deux filtres plantés l'un avec du *Typha* et l'autre avec le *Phragmite* et le temps de séjour est de 15 jours. Les résultats obtenus ont montré que la meilleure élimination était pour le phosphate et pour les deux plantes.

Mots clés : matériaux inorganiques, filtres plantés, plantes aquatiques.

المخلص :

منذ القرن العشرين و البيئة تعاني من مشاكل المياه الناتجة عن الاستغلال المنزلي أو الصناعي و التي تكون محملة بعدة مواد غير عضوية كالفوسفات , النترات , الامونيوم, أو مواد ثقيلة. ويتمثل هدفنا في إزالة هذه المواد الضارة بالبيئة عن طريق معالجة المياه بإستعمال النباتات المائية, حيث ان المياه المستعملة توضع بطريقة بسيطة في سلسلة من المرشحات المزروعة بالنباتات مفتوحة أين تستهلك الملوثات المنحلة في الماء و أنها أيضا بمثابة دعم للعديد من الكائنات الحية المجهرية (الكائنات الحية الدقيقة الهوائية و اللاهوائية من اجل معالجة الملوثات القابلة للتحلل و امتصاص الملوثات الغير قابلة للتحلل).

حيث قمنا بمقارنة مدى قوة تنقية مياه الصرف الصحي من طرف نبتتين الأولى *Typha* و الثانية *Phragmite* في مدة زمن المعالجة قدره ب 10 أيام. حيث أثبتت النتائج المتحصل عليها أن أحسن إزالة كانت للفوسفات و لكلا النبتتين. الكلمات المفتاحية : مواد غير عضوية ، فلاتر مزروعة ، نباتات مائية.

Summary:

Since ancient times, the environment has suffered from water problems resulting from domestic or industrial exploitation, which are loaded with several inorganic materials such as phosphates, nitrates, ammonium, calcium, magnesia or heavy materials. Our goal is to eliminate these harmful substances by treating water by water plants. The water used is simply placed in a series of open plant filters where water-soluble pollutants are consumed and they also support many microorganisms (Microbial and anaerobic life for the treatment of biodegradable pollutants and the absorption of non-biodegradable pollutants). We compared the strength of the purification of wastewater by the two plants Typha and the second Phragmite in the processing time of 10 days.

Where the results obtained showed that the best removal was for phosphate and for both plants.

Keywords: Inorganic Materials, Planted Filters, Aquatic Plants

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est la vie, en d'autres termes c'est un intérêt économique, social et environnemental. Il est donc essentiel et important de veiller à ce qu'ils soient disponibles au fil du temps grâce à des formes d'exploitation durables qui répondent aux exigences actuelles sans compromettre l'équilibre environnemental. Lorsque l'eau est utilisée dans la vie domestique, industrielle ou agricole, il en résulte des eaux usées qui contiennent des éléments nocifs qui peuvent conduire à de faibles rendements et à la qualité du produit. Cela a incité des scientifiques du monde entier à chercher un moyen de traiter les eaux usées, et cette méthode est respectueuse de l'environnement. Jusqu'à ce qu'ils atteignent le traitement des plantes, appelé La phytoépuration.

La phytoépuration veut dire l'action de l'épuration des eaux usée en présence de plantes. Elle peut être réalisée à travers différents systèmes, caractérisés par le fait que l'eau vient couler lentement et sous conditions contrôlées à l'intérieur de milieux végétales, de façon à en favoriser la dépuration naturelle, 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 l'épuration d'eaux de différentes provenances et avec caractéristiques différentes. Plusieurs travaux ont prouvés leur aptitude à exploiter efficacement les eaux usées municipaux (Abissy et Mandi, 1999 ; Moll . 2005 ; Mimeche. et al., 2010) et effluents industriels (Tiglyene., 2005 ; Ben Aneur., 2010 ; Seghairi . et Debabeche. 2011., Mimeche et al., 2016). C'est dans cette perspective que s'inscrit l'objectif de ce mémoire, qui est de mettre en évidence les potentialités de deux plantes macrophytes (*Typha latifolia* et *Phragmites Australis*) à épurer les eaux usées d'origine industrielle et domestique de la région de BISKRA. Ce travail consiste à contrôler le pouvoir épuratoire de ces plantes durant le passage des eaux polluées à travers ces filtres.

Le mémoire comporte quatre chapitres :

- Les deux premiers concernent une synthèse bibliographique sur les caractéristiques physico-chimiques des composés inorganiques présents dans les eaux usées et leurs impacts sur la santé humaine et sur l'environnement

Introduction générale

- d'une part et une description sur les procédés d'épurations les plus utilisés pour leur traitement.
- Le troisième et Le quatrième chapitre ont été dédiés respectivement aux méthodes et procédure expérimentale et à la présentation et discussion des résultats obtenus. En fin nous avons terminé le manuscrit par une conclusion générale relatant les principaux résultats de cette étude.

PREMIERE PARTIE
REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I :
Les eaux usées
caractéristiques, Impacts
et traitements

I.1. Introduction

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes. Elles sont altérées par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, agricole ou autre. Epurer des eaux usées polluées représente également un défi technologique et économique dont l'objectif commun est de préserver la biodiversité et protéger les ressources en eau, tout en garantissant le confort des riverains. Le traitement des eaux usées est une alternative susceptible de résoudre les différents problèmes de pollution des milieux aquatiques.

L'objectif principal de ce chapitre est de donner une idée sur les origines des eaux usées, leurs caractéristiques, ainsi que les différentes techniques utilisées pour leur épuration d'une part et nous passerons en revue les principaux paramètres physicochimiques analysés au cours de la partie expérimentale, ainsi que les paramètres bactériologiques les plus rencontrés dans les eaux usées d'une autre part.

I.2. Origine des eaux usées

En parlant de l'eau usée il semble important d'avoir une idée sur sa définition, son Origine et ses caractéristiques, ainsi que les différentes méthodes utilisées pour son Épuration. D'après **Grosclaude (1999)**, une eau d'origine urbaine constituées par les eaux ménagères (lavage corporel et du linge, lavage des locaux, eaux de cuisine) et les eaux vannes chargées de fèces et d'urines. Toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie et les eaux pluviales. Peuvent s'y ajouter suivant les cas les eaux d'origine industrielle et agricole. (**Rodier et al (2005)**).

I.2.1. Origine domestique

Les eaux d'origine domestique sont constituées d'une combinaison des eaux domestiques (habitations, bureaux, bains publics) et en moindre quantité d'eaux issues de fonds de commerce et de petites industries. Les eaux domestiques sont constituées d'eaux de bain, lessive, urines, fèces et résidus alimentaires. Les eaux commerciales sont issues principalement de lavage de voitures, restaurants, cafés et pressing. Ces eaux sont chargées en matières organiques, graisses et produits d'entretiens ménagers. Elles présentent en général une bonne biodégradabilité. Les effluents domestiques sont un mélange d'eaux contenant des déjections humaines : urines, fèces (eaux vannes) et eaux de toilette et de nettoyage des sols et des aliments (eaux ménagères). Ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. Elles se composent essentiellement

par des eaux de vanne d'évacuation de toilette. Et des eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bains. Elles proviennent essentiellement :

- Des eaux de cuisine qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protides) et des produits détergents utilisés pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses ;
- Des eaux de buanderie contenant principalement des détergents ;
- Des eaux de salle de bain chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées ;
- Des eaux de vannes qui proviennent des sanitaires (W.C), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et microorganisme (**Rejsek, 2002**).

I.2.2. Origine industrielle

Les eaux d'origine industrielles proviennent des différentes usines de fabrication ou de transformation. La qualité de ces eaux varie suivant le type d'industrie, elles peuvent être chargées en matières toxiques difficilement biodégradables qui nécessitent un traitement spécifique (**Rodier et al., 2009**). Les déchets et les effluents industriels définissent la qualité et le taux de pollution de ces eaux usées. Les établissements industriels utilisent une quantité importante d'eau qui tout en restant nécessaire à leur bonne marche, n'est réellement consommée qu'en très faible partie le reste est rejeté. On peut néanmoins, faire un classement des principaux rejets industriels suivant la nature des inconvénients qu'ils déversent :

- Pollution due aux matières en suspension minérales (Lavage de charbon, carrière, tamisage du sable et gravier, industries productrices d'engrais phosphatés....) ;
- Pollution due aux matières en solution minérales (usine de décapage, galvanisation...) ;
- Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissages, pâte à papier...) ;
- Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, porcherie, produits pharmaceutiques.....) ;

I.2.3. Origine pluviale

Ce sont les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours). Les eaux

qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des déchets végétaux, etc., et toutes sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides, détergents...etc) (**Desjardins, 1997**).

I.2.4. Origine agricole

Il s'agit de rejets liquides et agricoles issus du ruissellement d'eaux d'irrigation qui entraînent des engrais et des pesticides, des herbicides ou des rejets organiques dus à un élevage important. Les pollutions dues aux activités agricoles sont de plusieurs natures :

- Apport aux eaux de surface de nitrates et de phosphates utilisés comme engrais, par suite de lessivage de terres perméables. Ces composés minéraux favorisent la prolifération des algues (phénomène d'eutrophisation) qui en abaissant la teneur en oxygène des eaux courantes, compromettent la vie des poissons et des animaux aquatiques.
- Apport des pesticides chlorés ou phosphorés, de désherbants et d'insecticides.
- En région viticole, apport de sulfates de cuivre, de composés arsenicaux destinés à la protection des vignes (**Richard, 1996**).

I.3. Caractéristiques des eaux usées

Dans ce sous chapitre nous passerons en revue les principaux paramètres physicochimiques analysés au cours de la partie expérimentale ainsi que les paramètres bactériologiques les plus rencontrés dans les eaux usées.

3.1. Paramètres Physique

1. La température :

La température est un facteur écologique important du milieu. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Certains rejets présentent des écarts de température importants avec le milieu récepteur : ce sont par exemple, les eaux de refroidissement des centrales nucléaires thermiques induisant ainsi une forte perturbation du milieu (**Gaujous, 1995**).

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

2. La matière en suspension (MES)

Selon **Rejsek (2002)**, la pollution particulaire est due à la présence de particules de grande taille, supérieure à 10µm, en suspension dans l'eau, et que l'on peut assimiler aux

matières en suspension (MES). En fait, les matières en suspension ne sont des particules solides véritablement en suspension que dans des conditions moyenne d'écoulement des effluents correspondant à une vitesse minimale de 0,5 m/s. En fonction de la taille des particules, on distingue les matières grossières ou décan tables (diamètre supérieur à 100 μm) 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 $10^{-2}\mu\text{m}$).

I.3.2. Paramètres Chimiques

1. 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 $\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ (Rejsek, 2002).

2. Le potentiel Hydrogène (pH)

L'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse peut s'exprimer par la concentration en H_3O^+ (noté H^+ pour simplifier). De manière à faciliter cette expression ; on utilise le logarithme décimal de l'inverse de la concentration en ion H^+ : c'est le pH. (Mathieu et Pielain, 2003).

$$\text{pH} = \log 1/ [\text{H}^+]$$

3. La Conductivité

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).

4. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO)

DBO est considérée parmi les mesures globales qui permettent de caractériser les eaux résiduaires et les eaux de surface .La demande biochimique en oxygène en 5 jours (DBO_5), à 20°C et à l'obscurité. Le rejet des matières organiques fermentescibles par un émissaire d'égout, par exemple, provoque immédiatement une déplétion de la teneur en oxygène dissous par dégradation sous l'action des bactéries aérobies, qui va s'atténuer dans le sens du courant (Ramade ., 2002).

5. La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

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

6. Les nitrates

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. 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 et Industrielle). (**REJSEK, 2002**)

7. 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 (ammoniacque, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total (**RODIER, 2005**).

8. Phosphate

Les phosphates peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante, lessivage de minéraux) mais, à l'heure actuelle, leurs présences dans les eaux sont plutôt d'origine artificielle (engrais, poly phosphates des formulations détergentes, eaux traitées aux phosphates, industrie chimique...) (**Brmenond et al., 1973**). Le contenu en phosphore total comprend non seulement les ortho phosphates mais également les poly phosphates et les phosphates organiques. L'eutrophisation peut se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates (50 µg P/l) (**De Villers et al., 2005**).

I.3.3. Paramètres Organoleptiques

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. Les unités utilisées pour exprimer la turbidité proviennent de la normalisation ASTM (American Society for Testing Material) qui considère que les trois unités suivantes sont comparables : Unité JTU (Jackson Turbidity Unit) = unité FTU (Formazine Turbidity Unit) = unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

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 quant les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. (**Rodier et al, 2005**).

I.4. Impacts des eaux usées sur la santé et sur l'environnement

I.4.1. Le risque des eaux usées sur la santé

1. Le risque microbiologique

Les risques liés à la réutilisation des eaux usées en agriculture sont multiples et de nature microbiologique, chimique ou environnementale. La plus grande préoccupation associée à la réutilisation des eaux usées, même traitées, est la transmission potentielle de maladies infectieuses, essentiellement, les pathogènes entériques. Plusieurs pathogènes potentiellement présent dans les eaux usées brutes sont rapportés et décrits dans la littérature (**OMS, 1989; NRC, 1996; NRC, 1998; Blumenthal et al., 2000; Carr et al., 2004; NRC, 2004; Radcliffe, 2004; USEPA, 2004**). Les fèces des personnes et des animaux infectés représentent la source principale des pathogènes présents dans les eaux usées

Il est prouvé depuis longtemps que les microorganismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes (**Sheikh et al., 1999**). Ils vivent donc à la surface des plantes et sur le sol où le microclimat leur est favorable. Les

pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes (Asano, 1998). La contamination a lieu pendant la croissance des plantes ou à la récolte. Des contaminations fécales par l'intermédiaire de produits végétaux irrigués avec des eaux usées brutes ont été mises en évidence. Froese (1998) rapporte une corrélation entre une épidémie de la cyclosporiose (*Cyclospora cayentanensis*) et la consommation des framboises importées contaminées.

Devaux (1999) recense quatre études traitant des risques posés par la consommation des végétaux irrigués par les eaux usées brutes. Des infections parasitaires dues aux ascaris, aux trichocéphales et aux bactéries ont été observées chez les consommateurs des produits végétaux infectés. Le risque de contamination est élevé dans le cas de la réutilisation des eaux usées brutes comparativement à l'utilisation des eaux usées traitées (Devaux, 1999). Le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque. Ainsi, l'irrigation gravitaire affecté la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes ont lieu lors de la maintenance du système d'irrigation. L'irrigation par aspersion crée des aérosols contaminants. Afin de limiter l'impact sanitaire de la réutilisation d'eaux usées pour irriguer des plantes destinées à la consommation humaine, les modes d'arrosage localisés sont recommandés (Masséna, 2001; FAO, 2003).

L'irrigation localisée consiste à arroser les plantes une par une, avec le système goutte à goutte. Elle réduit les risques de contamination microbiologique (Masséna, 2001). Le système goutte à goutte expose le moins les professionnels et les consommateurs. Les risques sont possibles pendant la maintenance des goutteurs qui se bouchent fréquemment à cause des matières en suspension dans l'eau (Asano, 1998).

Cauchi (1996) cite les différentes populations humaines exposées à une pathologie associée à l'utilisation agricole d'effluents bruts ou traités. Le risque, pour les consommateurs de légumes crus, est plus élevé pour les helminthes et moindre pour les bactéries. Pour les consommateurs de viande bovine insuffisamment cuite, la contamination par le ver solitaire (*Taenia*) est possible car les bovins sont des hôtes intermédiaires. Pour les travailleurs agricoles, le risque est plus élevé pour les helminthes. Dans le laboratoire, l'exposition aux entérovirus est plus élevée. Cauchi (1996) mentionne que les helminthes intestinaux représentent le risque principal (ascaris, trichocéphales, ankylostomes), à un moindre degré, les affections bactériennes (choléra et shigellose), et enfin de façon très limitée, les virus. Devaux (1999) rapporte que les travailleurs agricoles sont plus exposés aux risques de contamination, quoique l'adaptation immunitaire aux bactéries et aux virus semble exister.

2 .Le risque chimique

Il est lié aux éléments traces. La seule voie de contamination préoccupante pour les éléments traces est la consommation des plantes cultivées, dans lesquelles ils s'accumulent (**Boumont, 2004**). L'accumulation des micropolluants dans les plantes est plus problématique, quoique certains de ces micropolluants soient d'intérêt en tant que facteurs de croissance des végétaux. Le compromis entre le risque sanitaire et l'intérêt agronomique doit être trouvé.

Les métaux lourds sont classés, selon qu'ils sont ou non indispensables au développement des végétaux, et qu'ils posent ou non des problèmes sanitaires. Le manganèse (Mn) et le fer (Fe) sont tous deux indispensables au bon développement des végétaux, et leur utilisation en agriculture ne pose pas de problèmes pour la santé humaine. Ils sont naturellement présents en forte proportion dans le sol. Les métaux suivants ne sont pas indispensables pour les végétaux, mais ils ne présentent pas de danger pour l'utilisation agricole. Le plomb (Pb) est fixé au sol et par conséquent ne pénètre pas dans les plantes. Le sélénium (Se), l'étain (Sn) et le mercure (Hg) sont présents à de très faibles teneurs dans les eaux épurées pour poser des problèmes sanitaires. Le chrome (Cr), sous forme ionique (Cr³⁺), est peu toxique et n'est pas absorbé par les végétaux. L'Aluminium (Al) est déjà présent naturellement dans les sols en forte proportion (**Tamrabet, 2011**).

Les métaux lourds indispensables pour les végétaux, mais dont l'utilisation en agriculture pose des problèmes sont le cuivre, le molybdène et le zinc. Le cuivre est toxique pour les animaux d'élevage. Le seuil de phytotoxicité est atteint avant celui de zoo toxicité (**Baumont et al., 2004**). Le molybdène n'est pas phytotoxique, mais qui pose des problèmes sanitaires pour le bétail. Le zinc est peu toxique, mais s'accumule très facilement dans les tissus végétaux (**Boswell, 1989**). Les métaux lourds non indispensables au développement des végétaux, et qui sont dangereux d'un point de vue sanitaire sont l'arsenic, le nickel, et le Cadmium. Le nickel est peu toxique, mais il s'accumule facilement dans les tissus végétaux. Le cadmium est le polluant non organique le plus préoccupant. Il est parfois présent à des concentrations importantes dans les eaux usées et il est très mobile dans le sol. Il s'accumule dans les plantes à de fortes concentrations engendrant la phytotoxicité (**Gupta et al., 2007**).

Il peut s'accumuler dans l'organisme et provoquer de graves intoxications (**Yang et al., 2008**). L'OMS (1997) préconise un apport alimentaire moyen de 0.057 à 0.071 mg/j/individu. La FAO (1999) fixe comme un taux maximal dans les aliments de 0.1 mg/kg pour les légumes et 0.05 mg/kg pour les céréales et leurs dérivés. Le risque posé par les

métaux lourds dépend, donc, de leur toxicité potentielle et du niveau d'exposition. Par ailleurs, certains métaux sont indispensables pour la croissance des végétaux. Ils s'éliminent facilement par les traitements physiques (décantation) et sont récupérés dans les boues (**Ademe, 2000**). De ce fait, il semble que la concentration de la majorité des métaux lourds dans les eaux usées épurées domestiques est trop faible pour poser un réel problème sanitaire, quelque soit la 17 réutilisation envisagée.

Le risque posé par les effets à long terme des micropolluants organiques est encore très peu étudié ainsi que celui d'apparition de nouvelles substances toxiques (**Garban et al., 2003**). L'existence de tels risques potentiels ne conduit, cependant, pas à une interdiction de l'utilisation d'eaux usées épurées pour l'irrigation (**Jiries et al., 2002**). La plupart des éléments traces sont peu solubles, et le traitement des eaux usées par décantation les élimine efficacement. On les retrouve plutôt dans les boues que dans les eaux usées épurées (**Cauchi, 1996**). Les concentrations infimes dans les effluents d'origine urbaine et leur absorption limitée par les végétaux réduisent le risque sanitaire dans le cas d'une réutilisation agricole (**Cauchi, 1996 ; Faby, 1997**). Le problème des pesticides et des métaux lourds est plus préoccupant dans le cas le recyclage des boues (**Miquel, 2003**).

I.4.2. Le risque environnemental

Il réside dans la dégradation de la qualité des sols, des eaux souterraines et de surface (**Pascual et al., 2004; Liu et al., 2005; Tijani, 2008**). Les sols qui ont une bonne capacité de rétention assurent une bonne assimilation par les plantes et un étalement de la pollution dans le temps. La capacité d'épuration des sols est assurée par la fixation des substances polluantes (adsorption, précipitation), par la transformation des molécules organiques par des micro-organismes et par l'exportation par les végétaux. Les sols ayant une perméabilité interstitielle (gravier, sable) permettent une bonne épuration à l'inverse des sols fissurés (calcaire, dolomies, granit, etc.). Les nappes libres sont les plus exposées à la contamination, non seulement parce qu'elles ne bénéficient pas d'une protection naturelle vers la surface, mais encore parce qu'elles sont en général peu profondes. Les nappes captives sont plus protégées mais peuvent être éventuellement contaminées par des forages ou un autre aquifère pollué. La réutilisation des eaux usées épurées peut donc être remise en cause dans des zones qui cumulent ces facteurs de risque.

Les bactéries, les protozoaires et les helminthes sont très rapidement éliminés, par les phénomènes d'adsorption et de compétition trophiques selon les mêmes processus des traitements par percolation/infiltration. Seuls les virus posent des problèmes. **Asano (1998)** mentionne qu'au-delà de 3 m de profondeur, la quasi-totalité des virus est éliminée.

Les eaux provenant de puits de moins de 30 m de profondeur sont plus polluées par l'azote que les eaux plus profondes (Froese, 1998). Les rejets directs d'eaux épurées posent des problèmes d'eutrophisation des cours d'eau, de qualité de l'eau destinée à la production d'eau potable et de contamination microbiologique des zones de conchyliculture. C'est pourquoi une réutilisation des eaux usées épurées est quasiment toujours préférable à un rejet direct dans le milieu.

I.5. Différents procédés d'épuration des eaux usées

I.5.1. Les prétraitements

Les eaux brutes doivent subir un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations, uniquement physiques ou mécaniques, destiné à extraire la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature et/ou la dimension constitue une gêne pour les traitements ultérieurs. Le prétraitement peut comprendre (Perera et Baudot, 1991) :

- le dégrillage principalement pour les déchets volumineux ;
- le dessablage pour les sables et les graviers ;
- le dégraissage-déshuilage ou d'écumage-flottation pour les huiles et les graisses.

I.5.2. Les techniques intensives classiques

1. Lits bactériens :

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs. Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux.

2. Boues activées :

Le principe des boues activées réside dans une intensification des processus d'auto-épuration que l'on rencontre dans les milieux naturels. Le procédé "boues activées" consiste à mélanger et à agiter des eaux usées brutes avec des boues activées liquides, bactériologiquement très actives. La dégradation aérobie de la pollution s'effectue par mélange intime des microorganismes épurateurs et de l'effluent à traiter.

Ensuite, Les phases “eaux épurées” et “boues épuratrices” sont séparées. Une installation de ce type comprend les étapes suivantes :

- les traitements préliminaire et, éventuellement, primaire ;
- le bassin d'activation (ou bassin d'aération) ;
- le décanteur secondaire avec reprise d'une partie des boues ;
- l'évacuation des eaux traitées ;
- les digesteurs des boues en excès provenant des décanteurs.

3. Avantages et inconvénients des différentes filières intensives

3.1. Avantages et inconvénients de Lits bactériens

a) Les avantages

- faible consommation d'énergie ;
- bonne décantabilité des boues ;
- plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées ;
- généralement adaptés pour les petites collectivités ;
- résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment) ;
- fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôle que la technique des boues activées.

b) Les inconvénients

- performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées. Cela tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes ;
- coûts d'investissement assez élevés (peuvent être supérieurs d'environ 20 % par rapport à une boue activée) ;
- nécessité de prétraitements efficaces ;
- sensibilité au colmatage ;
- ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.

3.2. Avantages et inconvénients des Boues activées

a) Les avantages

- adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites) ;
- bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO5, N par nitrification et dénitrification)

- adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles ;
- boues (cf. glossaire) légèrement stabilisées ;
- facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée.

b) Les inconvénients

- coûts d'investissement assez importants ;
- consommation énergétique importante ;
- nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière ;
- sensibilité aux surcharges hydrauliques ;
- décantabilité des boues pas toujours aisée à maîtriser ;
- forte production de boues qu'il faut concentrer.

I.5.3. Les techniques extensives

1. Le lagunage naturel

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est de 3. Cependant, utiliser une configuration avec 4 voire 6 bassins permet d'avoir une désinfection plus poussée. Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carbonique formé par les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier. Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques, également dénommées "microphytes". Ce cycle s'auto-entretient tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique.

En fond de bassin, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique (figure 1). Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau. La charge surfacique appliquée journalière est de l'ordre de 4,5 g DBO5 par m2 de surface totale, ce qui correspond à une surface de plans d'eau de l'ordre de 10 à 15 m2/ EH (**Berland J.M et al, 2001**).

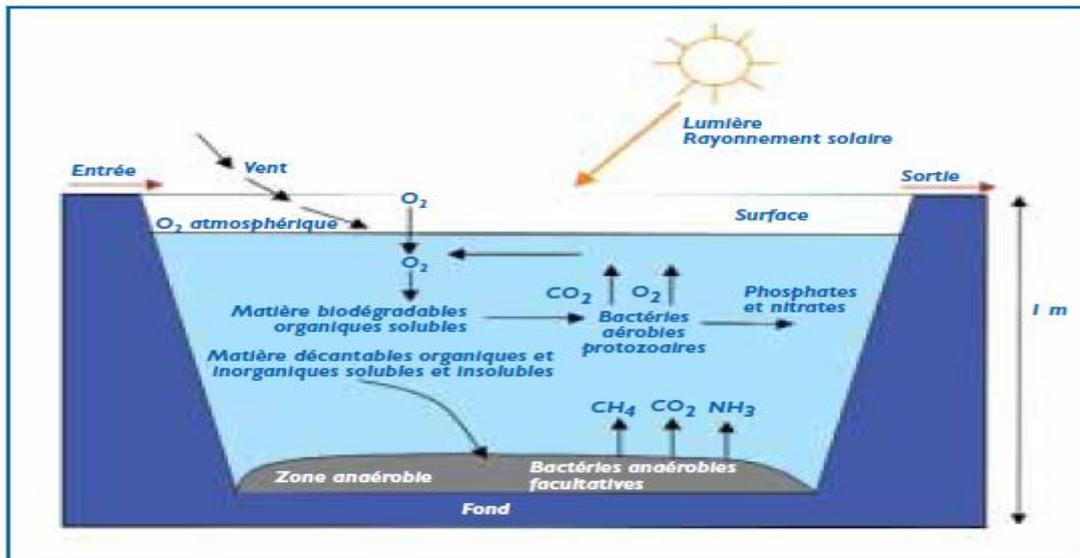


Figure I.1 : Les mécanismes mis en jeu dans les bassins de lagunage naturel (Berland J.M et al, 2001)

2. Le lagunage aéré

L'oxygénation est, dans le cas du lagunage aéré, apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Ce principe ne se différencie des boues activées que par l'absence de système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu. La consommation en énergie des deux filières est, à capacité équivalente, comparable (1,8 à 2 kW/kg DBO5 éliminée). (Berland J.M et al, 2001).

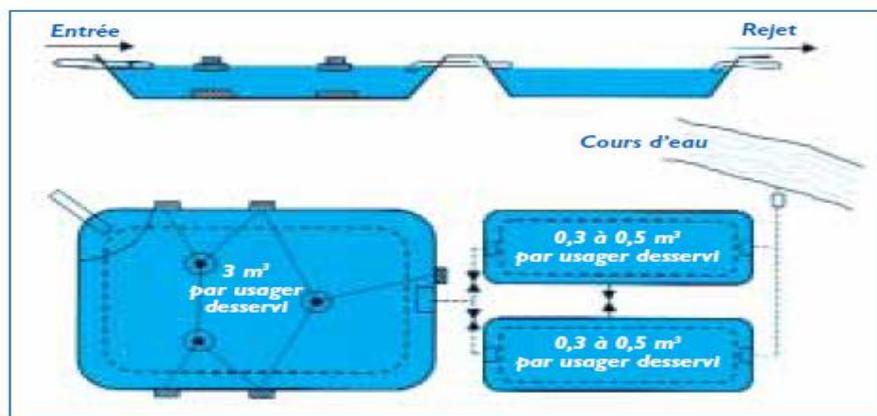


Figure I.2 : Schéma de principe d'un lagunage aéré (Berland J.M et al, 2001)

3. Le lagunage à macrophyte

Les lagunes à macrophytes reproduisent des zones humides naturelles comportant une tranche d'eau libre, tout en essayant de mettre en valeur les intérêts des écosystèmes

Naturels. Elles sont peu utilisées en Europe, mais sont souvent réalisées pour des traitements tertiaires à la suite de lagunage naturel, de lagunes facultatives ou de lagunage aéré aux Etats-Unis. Cette filière est généralement utilisée en vue d'améliorer le traitement (sur les paramètres DBO5 ou MES) ou de l'affiner (nutriments, métaux,...). Cependant l'utilisation d'une lagune de finition à microphytes permettra d'obtenir de meilleurs rendements et sera plus commode d'entretien (**Berland J.M et al, 2001**)

I.5.4. Avantages et inconvénients des différentes filières extensives

1. Avantages et inconvénients de lagunage naturel

a) Les avantages

- Un apport d'énergie n'est pas nécessaire si le dénivelé est favorable ;
- L'exploitation reste légère mais, si le curage global n'est pas réalisé à temps, les performances de la lagune chutent très sensiblement ;
- Elimine une grande partie des nutriments : phosphore et azote (en été).
- Faibles rejets et bonne élimination des germes pathogènes en été ;
- S'adapte bien aux fortes variations de charge hydraulique ;
- Pas de construction "en dur", génie civil simple ;
- Bonne intégration paysagère ;
- Bon outil pour l'initiation à la nature ;
- Absence de nuisance sonore ;
- Les boues de curage sont bien stabilisée sauf celles présentes en tête du premier bassin.

b) Les inconvénients

- Forte emprise au sol (10 à 15 m²/EH) ;
- Coût d'investissement très dépendant de la nature du sous-sol. Dans un terrain sableux ou instable, il est préférable de ne pas se tourner vers ce type de lagune ;
- Qualité du rejet variable selon les saisons ;
- La maîtrise de l'équilibre biologique et des processus épuratoires reste limitée.

2. Avantages et inconvénients de lagunage aéré

a) Les avantages

- Tolérant aux variations de charges hydrauliques et/ou organiques importantes ;
- Tolérant aux effluents très concentrés ;
- Tolérant aux effluents déséquilibrés en nutriments (cause de foisonnement filamenteux en boues activées) .

- Traitement conjoints d'effluents domestiques et industriels biodégradables.

b) Les inconvénients

- Rejet d'une qualité moyenne sur tous les paramètres ;
- Présence de matériels électromécaniques nécessitant l'entretien par un agent spécialisé ;
- Nuisances sonores liées à la présence de système d'aération ;
- Forte consommation énergétique.

I.6. Les Traitements tertiaire

A l'issue des procédés décrits précédemment, les eaux sont normalement rejetées dans le milieu naturel. Dans le cadre d'une réutilisation des eaux usées épurées (REUE), les eaux usées nécessitent des traitements supplémentaires, essentiellement pour éliminer les microorganismes qui pourraient poser des problèmes sanitaires. Ce ne sont pas des traitements 02 d'épuration « classiques » (mis à part le lagunage) ; par contre ils sont fréquemment utilisés dans les usines de production d'eau potable (Edline, 1996).

I.7. L'épuration des eaux usées par les filtres plantés (la phytoépuration)

I.7.1. Généralités sur la phytoépuration

Les traitements des eaux usées sont les processus fait dans le but de diminuer la quantité des polluants pour atteindre la norme de rejet des effluents dans le milieu naturel ou de réutiliser l'eau. Le traitement des eaux usées a pour but de diminuer suffisamment la quantité de substances polluantes des eaux usées et de restituer au milieu naturel une eau qui est loin d'être pure, mais qui apporte le moindre danger (RAKOTOARISON, 2008). «Phyto» signifie en grec «**plante**». Le mot phyto-épuration veut donc dire épuration avec l'aide de plantes. La phytoépuration est un système de traitements des eaux usées en utilisant le pouvoir épurateur des plantes. Ces plantes sont des microphytes et/ou des macrophytes. Elle est souvent appelée lagunage à microphytes ou lagunage aéré et lagunage à macrophytes ou filtres plantés.

I.7.1. Les avantages et les inconvénients de la phytoépuration

a) Les avantages

1. Systèmes collectifs

- Pas ou peu de production de boues : enlèvement d'une couche de terreau tous les 15 à 20 ans sur le premier étage ;
- Systèmes particulièrement efficaces au niveau de l'épuration, qui rejettent des eaux réellement recyclées: niveau de qualité «eau de baignade» ;

- Faible emprise au sol: 2 m² par habitant ;
- Coût d'exploitation faible ;
- Peu ou pas de consommation d'énergie si le dénivelé est suffisant;
- Tolérance aux variations de charges et de débits ;
- Pas de dégagements d'odeurs ni de moustiques ;

Bonne intégration paysagère.

2. Systèmes autonomes et petits collectifs

- Alternative écologique aux traditionnels filtres à sable ou champs d'épandage souterrains : pas de risque de pollutions si le procédé est bien maîtrisé ;
- Alternative pour les terrains en pente (bien que possible avec peu ou pas de pente) et les sols argileux et mal drainés;
- Emprise au sol raisonnable en milieu rural ou périurbain (2 à 5 m² par habitant);
- Investissement raisonnable qui incite à faire des économies *via* un mode de vie et de consommation prenant en compte l'enjeu environnemental: de 1000 € de matériaux seuls à 2500 € de matériaux + main d'œuvre pour une famille de 4 personnes (système «Eau Vivante» de traitement des eaux grises associé à des toilettes sèches) ;
- Responsabilisation de chaque famille par rapport à ses rejets;
- Économie d'eau en amont puisqu'on peut, après contrôle de la qualité par analyses, l'utiliser facilement en fin de parcours pour arroser son jardin.

b) Les inconvénients

1. Systèmes collectifs

- Difficulté de mise en œuvre au-dessus de 2000 équivalents habitants;
- Nécessité d'une exploitation régulière : vérification, manœuvre des vannes d'alimentation.

2. Systèmes autonomes et petits collectifs :

- Système non officiellement reconnu par les administrations pour l'individuel;
- Réticences plus ou moins importantes de la part des administrations pour le petit collectif privé;
- Systèmes méconnus par les entrepreneurs, ce qui peut amener à commettre certaines erreurs de mise en œuvre (manque de formation appropriée);
- Peu d'expériences françaises, encore moins d'études techniques et scientifiques sérieuses ;

- Système inadapté pour les personnes qui s'absentent pendant plus de 2 mois en période de forte chaleur et de sécheresse (risque de manque d'eau pour les plantes) ou qui vivent au-dessus de 1200 m en montagne (risque de gels prolongés) ;
- Nécessité d'un entretien minime, comme pour un jardin.

I. 8. Conclusion

Les eaux usées contiennent de nombreux éléments polluants, provenant de la population, des activités commerciales, industrielles et agricoles et des phénomènes naturels. Pour déterminer les caractéristiques d'une eau usée et connaître son degré de pollution, il est impératif de déterminer ses différentes composantes et les paramètres qui sont mis en jeu. Cependant, selon le besoin, nous sommes, souvent, amené à déterminer les paramètres essentiels qui entrent directement dans la conception d'un procédé d'épuration. Les différents procédés classiques des eaux usées permettent d'obtenir une eau débarrassée d'une grande partie des polluants et des boues qui constituent un sous-produit de l'épuration. La phytoépuration c'est une autre alternative qui permet d'éliminer les différents polluants, car la conception de filtres plantés de macrophytes possède réellement de nombreux avantages.

Chapitre II :
Traitement des eaux usées par
les filtres plantés à
macrophytes

II.1.Introduction :

La phytoépuration veut dire l'action de l'épuration des eaux usées en présence de plantes. Elle peut être réalisée à travers différents systèmes, caractérisée 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. Actuellement, une attention considérable est donnée en Europe, en Amérique et en Algérie à l'épuration par les filtres plantés à macrophytes (Phytoépuration) pour traiter les eaux usées urbaines et industrielles. 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. Les systèmes de phytoépuration sont utilisés pour l'épuration d'eaux de différentes provenances et avec caractéristiques différentes (**Brix., 1987 ; Maurizio., 2007**).

L'objectif principal de ce chapitre est de donner une idée sur l'épuration des eaux usées par les filtres plantés à macrophytes, ainsi que les différents filtres plantés et les plantes les plus utilisées dans cette technique.

II.2.Les macrophytes, généralités et propriétés :

II.2.1. Généralités sur Les macrophytes :

Les macrophytes sont représentées par des végétaux amphibies appartenant à diverses familles situées en bordure du biotope aquatique. Près de la rive existe une ceinture de végétation constituée par des joncs, des roseaux et autres plantes amphibies dénommées héliophytes. Quand on s'éloigne un peu plus des rives croissent aussi des hydrophytes, plantes entièrement aquatiques constituant la végétation flottante et (ou) fixée. La plupart sont des rhizophytes, enracinés dans les vases benthiques (Potamogeton, Myriophyllum, renoncules aquatiques, nénuphars, etc.). Certaines d'entre elles, que l'on dénomme pleustophytes, flottent librement à la surface de l'eau cas des Lemnacées (lentilles d'eau). Beaucoup de ces dernières correspondent à des espèces tropicales telles les jacinthes d'eau par exemple. (**Ramade, 2003**). La base du traitement par les macrophytes enracinés repose particulièrement sur le fait que ; ce sont pour la plus part des plantes à rhizome horizontal et vertical qui fournissent un support pour la croissance des bactéries et pour la filtration des substances particulières. Le rhizome assure aussi avec les racines une forte perméabilité du sol et une grande surface de contact entre sol-

eaux usées. Ces racines produisent des exsudats toxiques pour les bactéries pathogènes, ils ont l'aptitude de transmettre l'oxygène **Ramade, 2003** des feuilles à travers la tige dans la rhizosphère qui stimule la dégradation de la matière organique et la croissance des bactéries nitrifiantes.

Les macrophytes et plus spécifiquement les roseaux (*Phragmites australis*) ont la particularité de former un tissu racinaire et un réseau de galeries qui drainent apportent de l'oxygène et servent de support aux bactéries aérobies. Ces bactéries, ainsi que la macrofaune du sol, ont un rôle de dégradation et de minéralisation de la matière organique, qui devient dès lors assimilable par les plantes. Ainsi le système ne produit pas de boues, lesquelles sont compostées et forment un humus sur place (**Tiglyene et al., 2005 ; Mimeche et al., 2010 et Medjdoub, 2014**).

II.2.2. Rôle des principales composantes de la phytoépuration:

Les lits plantés de macrophytes peuvent assurer un traitement satisfaisant pour un investissement moyen, ses résultats épuratoires dépendent de plusieurs paramètres, parmi lesquels on peut citer

- a) **L'aération du substrat** : qui se présente comme le plus important de ces paramètres car il est limitant. En effet, l'élimination des matières organiques et la nitrification sont deux réactions qui demandent beaucoup d'oxygène.
- b) **La température** : Une température élevée augmente l'activité des micro-organismes dégradeurs. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est amoindrie et sa consommation par les bactéries est accrue.
- c) **La composition du substrat** : Un sol fin permet un plus grand contact de l'effluent avec les micro-organismes fixés sur la surface des granulats et un temps de rétention plus important. Un sol grossier permet quant à lui une meilleure aération du substrat et permet d'éviter au maximum le colmatage des pores ou de la surface du substrat. Une nouvelle méthode consiste à superposer deux couches distinctes du même type et ainsi tirer profit de toute la granulométrie du substrat, tout en améliorant l'apport d'air par convection dans le substrat.
- d) **Le type de macrophytes** : L'efficacité des macrophytes incombe aux racines qui ont un excellent support pour les micro-organismes et qui par leur développement permettent un brassage et un certain décolmatage du substrat. (**Poulet, et al, 2004**).

- e) **Les micro-organismes** : Les micro-organismes ont un rôle essentiel à jouer dans tous les systèmes de traitement des eaux usées à partir des plantes. Qu'ils soient aérobies ou anaérobies, ce sont eux qui consomment la partie carbonée des eaux usées pour la transformer principalement en CO_2 pour les bactéries aérobies et aussi en méthane pour les bactéries anaérobies. Lorsqu'il est possible de maintenir des conditions séquentielles aérobies et anaérobies, les bactéries nitrifiantes vont transformer l'azote ammoniacal en nitrites et nitrates dans les zones aérées et les bactéries dénitrifiantes vont permettre la transformation des nitrates et nitrites en azote gazeux dans les zones anaérobies (Medjdoub, 2014).

II.3. Les différents filtres plantés :

II.3.1. Les filtres verticaux :

Les filtres sont des excavations, étanchées du sol, remplies de couches successives de gravier ou de sable de granulométrie variable selon la qualité des eaux usées à traiter. Contrairement à l'infiltration-percolation précédemment évoquée, l'influent brut est réparti directement, sans décantation préalable, à la surface du filtre. Il s'écoule en son sein en subissant un traitement physique (filtration), chimique (adsorption, complexation...) et biologique (biomasse fixée sur support fin).

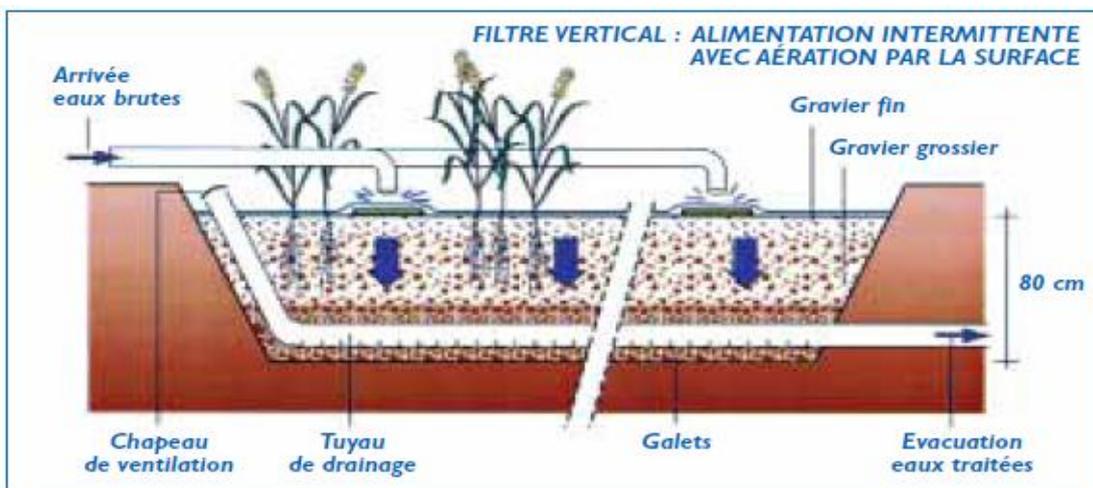


Figure II.3: Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical (Berland J.M et al, 2001).

Les eaux épurées sont drainées. Les filtres sont alimentés en eaux usées brutes par bâchées. Pour un même étage, la surface de filtration est séparée en plusieurs unités permettant d'instaurer des périodes d'alimentation et de repos. Le principe épuratoire repose sur le développement d'une biomasse aérobie fixée sur un sol reconstitué. L'oxygène est apporté par convection et diffusion. L'apport d'oxygène par les

radicelles des plantes est, ici, négligeable par rapport aux besoins (Berland J.M et al, 2001).

II.3.2. Les filtres horizontaux :

Dans les filtres à écoulement horizontal, le massif filtrant est quasi-totalement saturé en eau. L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du lit par un système répartiteur situé à une extrémité du bassin ; il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontal au travers du substrat. La plupart du temps, l'alimentation s'effectue en continu car la charge organique apportée est faible. L'évacuation se fait par un drain placé à l'extrémité opposée du lit, au fond et enterré dans une tranchée de pierres drainantes. Ce tuyau est relié à un siphon permettant de régler la hauteur de surverse, et donc celle de l'eau dans le lit, de façon à ce qu'il soit saturé pendant la période d'alimentation. Le niveau d'eau doit être maintenu environ à 5 cm sous la surface du matériau. En effet, l'eau ne doit pas circuler au-dessus de la surface pour ne pas court-circuiter la chaîne de traitement ; il n'y a donc pas d'eau libre et pas de risque de prolifération d'insecte (Berland J.M et al, 2001).

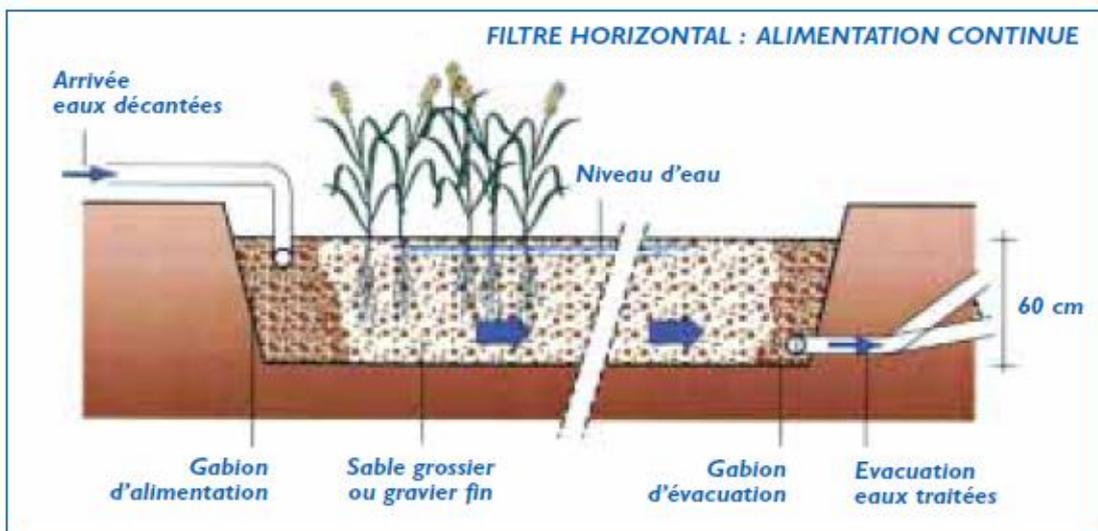


Figure II.4 : Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal (Berland J.M et al, 2001)

II.4. Les plante les plus utilisées dans l'épuration des eaux usées :

II.4.1. Tamarix :

Dans leur habitat naturel du sud de l'Europe, d'Afrique du Nord et d'Asie tempérée, les quelques cinquante-quatre espèces d'arbustes et petits arbres composant ce genre croissent le long des côtes ou des cours d'eau, même souterrains, souvent en sol

salin. La plupart sont caduques, quelques-unes persistantes. Elles forment un petit tronc et un houppier léger aux rameaux retombants et portent des feuilles, pareilles à de menues écailles, équipées de glandes secrétant de sel. Les fleurs tenues blanches ou roses sont groupées en racèmes effilés. Les fruits sont des capsules.

Culture : plantés en brise vent ou pour l'ornement, ces arbres s'adaptent à quantité de situations et de climats, tolérant même l'aridité et les embruns. De rusticité variable, ils apprécient un sol profond et sableux et peuvent être taillés après la floraison. Multiplier par semis, ou par boutures aoûtées en hiver ou semi- aoûtées en automne et en fin de printemps. (Burnie et al, 2006)



Photo II.1 : Tamarix.

II.4.2. Arundo donax :

Cette graminée géante de la méditerranée atteint 6 m en tous sens. Avec son magnifique feuillage estival, c'est une ornementale parfaite pour grand jardin. Elle porte des feuilles tombantes, de 60 cm de longueur pour 6 cm de largeur. En climat doux, la plante peut se révéler si vigoureuse qu'il faut contrôler sa croissance. En hiver, son feuillage devient désordonné, et il faut le couper à ras, On obtient ainsi une bonne repousse, 'Versicolor' est un cultivar panaché apprécié dont les feuilles s'ornent de bandes crème. Les tuyaux de certains instruments de musique, orgue ou clarinette, proviennent des tiges soigneusement sélectionnées et évidées de la canne de Provence, comme jadis ceux des flûtes de pan. (Burnie et al, 2006).



Photo II.2 : Arundo donax.

II.4.3. Phragmites (Roseau) :

Plante vivace à rhizome rampant, très ramifié, émettant des tiges nombreuses, élevées (de 60 cm à deux mètres), dures et luisantes ; feuilles glauques, à ligule courte et ciliée, à limbe de plusieurs décimètres de long et large d'un pouce, très pointu au sommet et rude sur les bords, strié en long sur les deux faces ; inflorescence grande, très étalée, brun-jaunâtre, à axe velu sur les noeuds inférieurs ; épillet très nombreux, grands (1-2 cm), à glumes très inégales, à axe sinueux très velu, portant 4 – 10 fleurs à longue arête.- Espèce cosmopolite, surtout représentée au Sahara par une forme à feuilles courtes, raides et piquantes, un peu enroulées en long, à tiges plus courtes que dans le roseau habituel d'Europe. Lits des torrents, gueltas, un peu partout au Sahara septentrional, occidental et central (**Ozenda ,1991**).



Photo II.3 : Phragmites (Roseau)

II.4.4. Le typha :

Le typha est une plante vivace de 1-2 mètres, glabre, à tige robuste ; feuilles largement linéaires (6 à 18 mm.), planes, glaucescentes, dépassant la tige ; épi proches ou à peine espacés et qui colonise les marées, étranges, rivière dans presque toute la France, l'Europe, l'Asie, l'Afrique et l'Amérique boréale (**Quezel et al. (1962 – 1963)**). 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 DBO₅.



Photo II.4 : Typha.

II.4.5. Papyrus :

Le papyrus est une plante qui pousse notamment sur les rives de Nil. Il est constitué d'une tige ligneuse de section triangulaire supportant des feuilles disposées en étoile à son sommet. Cette plante peut atteindre plusieurs mètres de haut. Ce genre compte plus de six cents espèces de laiches, dont des annuelles et des vivaces persistantes, répandues surtout dans les habitats humides de presque toutes les régions du globe, sauf les plus froides. Les larges touffes d'épaisses tiges cylindriques ou triangulaires portent des feuilles graminiformes issues de la base et sont coiffées d'inflorescences compactes ou de grandes ombelles de petits épis floraux palés formes. La plupart des espèces ornementales se plaisent au bord de l'eau ou en sol marécageux.

Cultiver dans un compost riche, et bien arroser. Elles tolèrent les rayons directs du soleil. Multiplier par semis ou division. (Burnie et al, 2006).



Photo II.5 : Papyrus.

II.5. Le rôle du substrat dans le pouvoir épurateur des filtres plantés :

Les couches de matériaux posées dans les lits, filtrent automatiquement les matières en suspensions présentes dans l'eau usée à traiter. Leur rendement dépend des caractéristiques hydrodynamiques, de la granulométrie et du type des matériaux utilisés. L'optimisation et le choix des matériaux de remplissage sont imposés par l'épaisseur et du type de filtre utilisé (FV ou FH). On doit avoir une filtration efficace tout en évitant le colmatage et la migration des particules entre les différentes couches ainsi les matériaux utilisés seront des granulats silicatés, roulés, lavés et calibrés.

Un filtre est constitué de terre, de sable, de gravier, et de matières organiques telles que du compost. Leur perméabilité affecte la circulation de l'eau ainsi, ils retiennent les sédiments et les déchets qu'elle transporte. Non seulement ils servent de support à la végétation, mais deviennent aussi le support d'un grand nombre d'organismes vivants, et le lieu de nombreuses transformations chimiques et biologiques (en particulier bactériennes) formant une source de carbone et d'énergie pour l'activité biologique. En fin ces substrats assurent le stockage de nombreux contaminants (Tiglyene et al., 2005)

II.6. Synthèse des travaux réalisés sur l'efficacité des filtres plantés dans l'épuration des eaux usées (domestique et industrielles) :

II.6.1. Matières en suspension :

Selon (Vymazal, 2005) des rendements épuratoires de 66 à 98 % et de 69 à 100 % ont été obtenus en utilisant respectivement des marais artificiels à écoulement horizontal et à drainage vertical. Rawehd et al. (2011) ont obtenu un rendement moyen de 86,4%.

II.6.2. Matières organiques :

D'après Coulibaly et al. (2008) ont obtenu une élimination de la DCO de l'ordre de 62 à 70 % sur des eaux usées domestiques n'ayant subi aucun traitement Préalable. D'ailleurs, le rendement moyen estimé à 71.64% se rapproche de celui mentionné par Mensous (2011).

II.6.3. Composés azotés :

D'après (Molle, 2003) Les abattements de NH_4^+ sont sensibles aux conditions de dimensionnement et d'alimentation des filtres. Selon les charges hydraulique et organique appliquées, une réduction de 60 à 95 % de NH_4^+ de l'eau usée brute peut être enregistrée.

Selon Seghairi et Debabeche, (2011) ils ont trouvé une diminution très nette de l'azote ammoniacal de 92,76% pour le papyrus et de 85,98% pour le filtre nu.

II.6.4. Composés phosphorés :

Selon (Agence de l'eau, 1999) l'élimination du phosphore, certains concepteurs de marais artificiels ajoutent de la limaille de fer, de l'argile ou de la chaux au substrat de filtration pour augmenter sa capacité de rétention. De manière générale, les marais artificiels sont moins performants pour éliminer le phosphore des eaux usées. Son élimination dans les marais artificiels varie entre 48 et 70 %.

D'après Les résultats des travaux de KONE, Martine et al (2011) sont en accord avec les nôtres. En effet, ayant travaillé sur *panicum maximum* sous climat tropical, ils ont obtenu un rendement moyen sur les thophosphates de 75%, contre 67% pour un témoin non planté.

D'après Seghairi et Debabeche, (2011). Les rendements épuratoires correspondants sont plus élevés dans le filtre planté par rapport au témoin. Ou obtient en moyenne, une réduction de 70,65% et 49,18% respectivement pour le filtre de papyrus et le filtre nu.

II.6.5. Métaux lourds :

D'après **Ghaouch, 1998 ; Seghairi et Debabeche, (2011)**, l'utilisation du papyrus pour le traitement des métaux lourds dans les eaux usées a montré une capacité importante dans la rétention des métaux spécialement pour le Cu, Zn et Fer. Ces plantes ont retenu de 80% à 90% des métaux. Les métaux absorbés par ces plantes sont accumulés au niveau des racines pour le cuivre et dans les feuilles pour le Zn et le Fer.

En présence de phragmites australis, une élimination de 87 % en chrome total est obtenue par (**Begg et al, 2001**) et un abattement de 99% (**Tiglyènes et all, 2005**).

II.7. Conclusion :

Cette étude bibliographique révèle la simplicité et l'efficacité des procédés naturels par filtres plantés par rapport à la complexité d'une station d'épuration classique qui fractionne les opérations de traitement de l'eau et coute très cher. Le concept de filtres plantés de macrophytes possède réellement de nombreux avantages. C'est une technique simple, économique, efficace et faible.

DEUXIEME PARTIE

ANALYSE

EXPERIMENTALE

Chapitre I:
**Méthodes et
matériels**

I.1.Introduction

Les eaux à travers un lit de gravier planté avec des espèces dont les racines se nourrissent des éléments nutritifs de l'eau. C'est un système qui permet non seulement de traiter les eaux usées sans produits chimiques ni énergie mais aussi d'irriguer des plantes utiles avec ces eaux épurées. Les potentialités épuratoires des plantes aquatiques et plus particulièrement du (Typha et du Phragmites australis) ont été mises en évidence par plusieurs chercheurs pour traiter des effluents domestiques et industriels contenant des substances organiques et inorganiques.

Le but de ce chapitre est de montrer le protocole expérimental installé afin de tester le pouvoir épurateur de ces deux plantes à épurer les eaux usées. Pour cela, il a été procédé à l'analyse de quelques paramètres physico-chimiques des eaux usées à l'entrée et à la sortie des filtres plantés.

I.2. Mise en place du dispositif expérimental**I.2.1. Préparation du dispositif expérimental**

Les essais expérimentaux ont été réalisés dans la station expérimentale du département de Génie Civile et Hydraulique à l'université de Biskra, aménagée spécialement pour les essais de la Phytoépuration (photo I.1). Le matériel utilisé pour la préparation des filtres plantés est le suivant :

- Quatre bassines en plastique identiques de forme ronde, d'une hauteur de 28 cm, de base supérieure de 50 cm et de base inférieure de 42cm de diamètre ;
- Tube en PVC de 50cm de diamètre pour assurer l'aération ;
- Robinets en plastique au fond des bassines pour la collecte du filtra ;
- Gravier de différentes tailles tamisés et lavés.



Photo I.1 : Dispositif expérimental (filtres plantés)

I.2.2. Préparation du substrat:

Le substrat consiste à une superposition verticale de quatre couches différentes en dimensions des particules de gravier qui a été préalablement tamisé et lavé. Le (tableau I.1) et la (photo I.2) ci-dessous présentent les caractéristiques du substrat.

Tableau I.1 : Les caractéristiques du substrat

Substrat	Taille	Epaisseur
Galet	2 à 5 cm	4 cm
Gravier grossier	0.7 à 2 cm	6 cm
Gravier moyen	0.5 à 0.7 cm	6 cm
Gravier fin	0.2 à 0.5 cm	6 cm

*Couche 4 : Gravier fin**Couche 3 : Gravier moyen**Couche 2 : Gravier gross**Couche 1 : Galets***Photo I.2 :** Les différentes couches du substrat**I.2.3. Remplissage des bacs et emplacement des plantes :**

Pour la mise en place du filtre planté, nous avons procédé les étapes suivantes :

- Remplissage des bassines avec les deux premières couches : galet et gravier grossier ;
- Emplacement du tube PVC perforé enveloppé par un filtre (pour vérifier le niveau d'eau dans chaque bassine, le filtre est utilisé pour éviter le colmatage) ;
- Implantation de plantes pourvue d'un bon système racinaire ;
- Enfin, le remplissage est achevé par l'ajout des deux dernières couches ; le gravier moyen et le gravier fin ;
- Remplissage du filtre planté avec l'eau de robinet pendant 7 à 10 jours pour assurer l'adaptation des plantes.

I.2.4. Le choix des plantes

Généralement le choix des végétaux à implanter s'appuie sur un certain nombre de critères importants :

- ✓ adaptation aux conditions climatiques locales ;
- ✓ durée du cycle de végétation ;
- ✓ vitesse de croissance ;
- ✓ facilité d'exportation de la biomasse produite et efficacité d'épuration.

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.

Notre travail est basé essentiellement sur deux espèces de plantes macrophytes qui sont *Phragmites australis* et *Typha latifolia* (photos I.3 et I.4). Ces plantes ont été utilisées comme filtres pour épurer les eaux usées d'origine domestique et industrielle.



Photo I.3 : Filtre planté de *Typha latifolia*



Photo I.4 : Filtre planté de *Phragmites australis*

I.3. Choix des eaux usées

I.3.1. Points de collecte des eaux usées

Les eaux usées utilisées pour cette étude sont d’origine domestique et industrielle de la région de Biskra.

- Les eaux usées domestiques ont été prélevées du rejet domestique de la commune de M'ziraa. Elle est située à l'Est de chef-lieu de la wilaya de Biskra. Les coordonnées géographiques sont dans le (tableau I.2) et la (photo I.5).

Tableau I.2 : Données géographiques de M'ziraa

Latitude	Longitude	Altitude
34° 43' 18"	6° 17' 34"	115



Photo I.5 : Localisation de la commune M'ziraa dans la wilaya de Biskra.

- Les eaux usées industrielles ont été ramené auprès de l’unité de production de l’ENICAB (photo I.6) (Entreprise des Industries du Câble de Biskra)

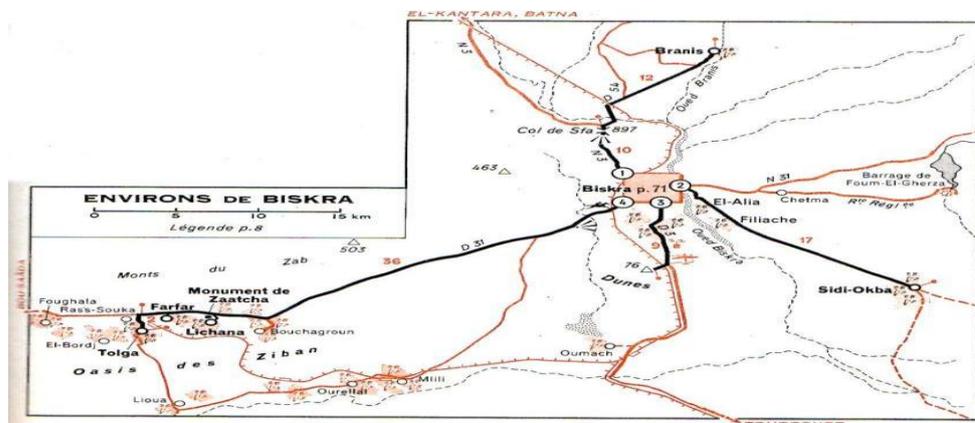


Photo I.6 : Carte géographique de l’UNICAB (Entreprise des Industries du Câble de Biskra)

I.3.2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées

Au niveau du laboratoire LARGHYDE, des analyses ont été faites pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées domestiques et industrielles conçues pour le remplissage des bacs. Les résultats obtenus sont regroupés dans les (tableau I.3 et I.4).

Tableau I.3 : Caractéristiques physico- chimiques des eaux usées domestiques du rejet de M'ziraa.

Paramètres	Eau usée brute	Unité
pH	7,76	-
C.E	2,78	ms/cm
Température	23,6	C°
NO ₃ ⁻	35,63	mg/l
NO ₂ ⁻	0,506	mg/l
PO ₄ ³⁻	3,08	mg/l

Tableau I.4: Caractéristiques physico- chimiques des eaux usées industrielle de l'unité de production de l'ENICAB.

Paramètres	Eau usée brute	Unité
pH	7,6	-
C.E	2,19	ms/cm
Température	18,2	C°
NO ₃ ⁻	549,14	mg/l
NO ₂ ²⁻	0,05	mg/l

I.3.3. Calendrier de remplissage et prélèvement des échantillons :

Nous avons effectué un premier remplissage des filtres plantés avec l'eau usée d'origine industrielle. Nous avons opté pour 4 prélèvements en variant le temps de séjour de 2, 5, 7 et 10 jours. Avant avoir appliqué un deuxième remplissage avec l'eau usée domestique, nous avons effectué un lavage des bacs avec l'eau de robinet. Le (tableau I.5) ci-dessous illustre le calendrier de remplissage et de prélèvements.

Tableau I.5: Calendrier de remplissage des filtres plantés et de prélèvement des échantillons

Eau Usée	Jour	Date	Heure	Temps de séjour
Industrielle	Remplissage I	Lun 26/02/2018	11 ^h 15 ^{min}	/
	1 ^{er} prélèvement	Mer 28/02/2018	11 ^h 15 ^{min}	02 jours
	2 ^{ème} prélèvement	Sam 03/03/2018	11 ^h 15 ^{min}	05 jours
	3 ^{ème} prélèvement	Lun 05/03/2018	11 ^h 15 ^{min}	07 jours
	4 ^{ème} prélèvement	Jeu 08/03/2018	11 ^h 15 ^{min}	10 jours
Domestique	Remplissage II	Mar 13/03/2018	11 ^h 45 ^{min}	/
	1 ^{er} prélèvement	Jeu 15/03/2018	11 ^h 45 ^{min}	02 jours
	2 ^{ème} prélèvement	Dim 18/03/2018	11 ^h 45 ^{min}	05 jours
	3 ^{ème} prélèvement	Mar 20/03/2018	11 ^h 45 ^{min}	07 jours
	4 ^{ème} prélèvement	Ven 23/03/2018	11 ^h 45 ^{min}	10 jours

I.4. Analyses physico-chimiques des eaux au niveau du laboratoire

Les échantillons de l'eau brute et des eaux collectés à la sortie des filtres plantés après chaque temps de séjour ont été analysés au niveau du laboratoire LARGHYDE. Ces échantillons ont fait l'objet d'une mesure de pH, Conductivité électrique, Température, Nitrates, Nitrites et Phosphates.

I.4.1. pH : Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène [H⁺] présent dans l'eau ou dans les solutions. La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel-KCL saturé) plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H⁺. Pour cette mesure, nous avons utilisé une électrode de pH d'un multi paramètre de type Consort C5020 (photo I.7).



Photo I.7 : pH mètre.

I.4.2. La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise deux électrodes métalliques de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m) et s'exprime généralement en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Elle est mesurée une électrode de CE d'un multi paramètre de type Consort C5020 (photo I.8).



Photo I.8 : Conductimètre

II.4.3. Phosphates PO_4^{3-} **✚ . Méthode de dosage du phosphate**

Le dosage de Phosphate est fait à l'aide de spectromètre UV-visible. La lecture est effectuée à la longueur d'onde $\lambda = 880 \text{ nm}$.

✚ Préparation des solutions**1. Réactifs Mixte**

- 6.5g hyptamolybdate d'ammonium dans 100 ml d'eau distillée (A)
- 0.175g de tartrate d'antimoine dans 50ml d'eau distillée (B)
- 75 ml d'acide sulfurique concentré dans 75 ml d'eau distillée (C)

Mélanger A+B+C=250 ml. Ce réactif est stable pendant 2 mois.

2. Acide ascorbique (DHARIWAL et al., 1991)

Dissoudre 10g d'acide ascorbique dans 100 ml d'eau distillée. Cette solution est stable pendant une semaine.

3. Solution mère 50mg/l d'ions PO_4^{3-}

Ajouter une quantité de 0.02197g de $\text{KH}_2\text{PO}_4^{3+}$ dans 80 ml d'eau distillée plus 1 ml d'acide sulfurique (20%) et compléter jusqu'à 100 ml avec l'eau distillé. Cette solution est stable pendant une semaine.

4. Solution fille 2mg/l d'ions PO_4^{3-}

Diluer la solution mère 50mg/l d'ions PO_4^{3-} au 4/100 ml. Cette solution est préparée au moment de l'emploi (tableau I.6) et (photo I.9).

Tableau I.6 : Préparation des solutions étalons de phosphate

S. fille (1mg/l)	0	2	4	6	8	10
E. D. (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 minutes						



Photo I.9 : La gamme des Phosphates

🔧 Mode Opérateur

Prendre 40ml d'eau à analyser plus 1ml d'acide ascorbique et 2ml de réactifs mixte, attendre 10 minutes et effectuer la lecture par spectromètre UV-Visible (photo 10) à 880nm, l'apparition de coloration bleu indique la présence du Phosphate. L'étalonnage est répété avant chaque série d'essai. Nous présentons sur le (tableau I.7) et la (figure I.1) un exemple d'étalonnage pour le Phosphate.

Tableau I.7 : Etablissement de la courbe d'étalonnage du phosphate

Concentration (mg/l)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Absorbance (A)	0	0,072	0,13	0,198	0,262	0,333	0,385

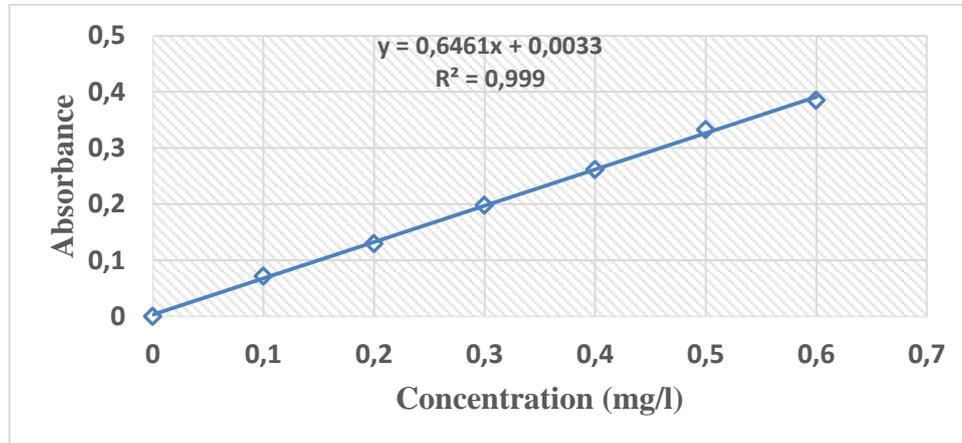


Figure I.1: La courbe d'étalonnage du phosphate



Photo I.10 : Spectromètre UV-visible

I.4.4. Nitrate NO₃⁻ :

✚ Méthode de dosage

Le dosage de Nitrates est fait à l'aide de spectromètre UV-visible. La lecture est effectuée à la longueur d'onde $\lambda = 220 \text{ nm}$.

✚ Préparation des solutions étalons

1. Solution mère 100mg/l de N-NO₃⁻

Dissoudre 0,7218g de nitrate de Potassium préalablement séché à 105°C pendant 24h dans 1000ml d'eau distillée.

2. Solution fille 10mg/l de N-NO₃⁻

Préparer une solution à partir de la précédente avec un rapport de dilution de 1/10

3. Solutions étalons

A partir d'une solution fille à 10mg/l de $N-NO_3^-$, préparer une gamme étalon dans des fioles jaugées de 50 ml comme indiqué sur le (tableau I.8) et la (photo I.11) suivant :

Tableau I.8: Préparation des solutions étalons de Nitrates

Concentration des solutions filles (mg/l)	0,2	0,4	0,8	1,4	2	4	5	7
Vol solution fille (ml)	1	2	4	7	10	20	25	35
Vol E.D. (ml)	49	48	46	43	40	30	25	15



Photo I.11 : La gamme des Nitrates

Mode opératoire

- ✓ Utiliser l'eau distillée pour régler le zéro d'absorbance ;
- ✓ Préparer un témoin : 50ml d'eau distillée + 1ml d'HCl à 1mol/l
- ✓ Préparer l'échantillon à analyser en prélevant une prise d'essai de 50ml de l'échantillon (filtrer si nécessaire pour éliminer le trouble du aux matières en suspension) puis en ajoutant 1ml d'HCl à 1mol/l et mélanger fortement.

Le (tableau I.9) et la (figure I.2) ci-dessous montrent la gamme d'étalonnage.

Tableau I.9: Etablissement de la courbe d'étalonnage des Nitrates

C (mg/l)	0,2	0,4	0,8	1,4	2	4	5	7
Absorbance (A)	0,113	0,162	0,274	0,406	0,549	1,026	1,278	1,747

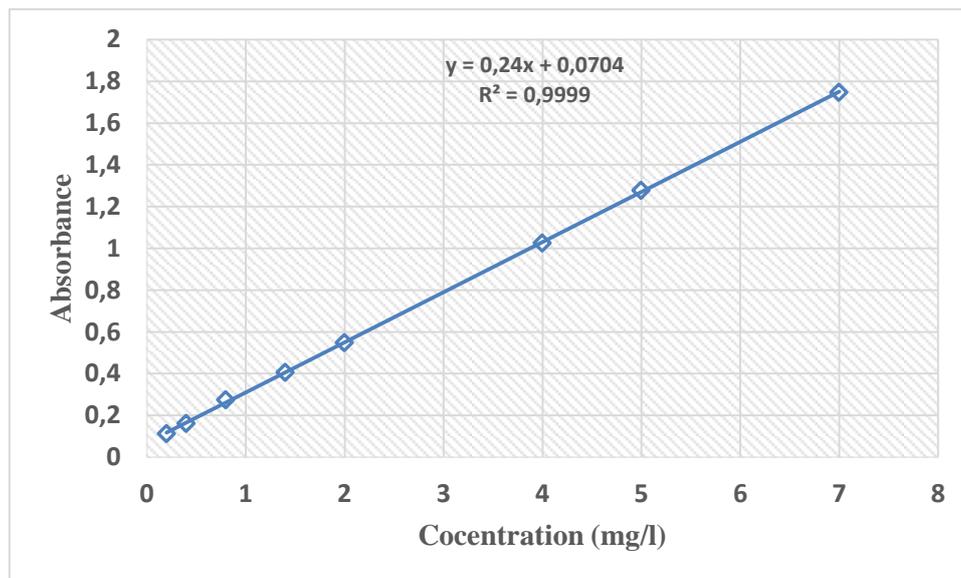


Figure I.2 : La courbe d'étalonnage des Nitrates

✚ 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_3^- /l. Il est possible de transformer cette concentration en NO_3^- /l par la formule suivante :

$$C_{\text{NO}_3} = (C_{\text{N-NO}_3} * 62) / 14$$

Avec :

62 : C'est la masse molaire de l'ion nitrate en g/mol.

14 : C'est la masse molaire de l'azote en g/mol.

I.4.5. Nitrite NO_2^- :

✚ Méthode de dosage

Le dosage de Nitrates est fait à l'aide de spectromètre UV-visible. La lecture est effectuée à la longueur d'onde $\lambda = 543 \text{ nm}$.

✚ Préparation des réactifs

1. Réactif mixte

Dissoudre 20g de Sulfanilamine ($\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$) dans 50 ml acide phosphorique H_3PO_4 ($d=1,7 \text{ g/ml}$ 85%) et 250 ml d'eau distillée, dans cette solution dissoudre 1g de N-1 naphtyéthylénediamine ($\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{Cl}_2$) compléter avec l'eau distillée dans une

fiolle à un volume 500 ml. Cette solution est stable pendant 1 mois si elle est gardée dans verre brun bien fermé et à 4°C.

1. Solution mère 0,1g/l d'ions NO_2^-

Dissoudre 0,492g de nitrite de Sodium dans 1000ml d'eau distillée. Cette solution est stable pendant un mois, si elle est gardée dans verre brun bien fermé et à 4°C.

2. Solutions fille 0,001g/l d'ions NO_2^-

Diluer la solution mère 0,1g/l d'ions NO_2^- au 1/100 ml. Préparer cette solution au moment de l'emploi.

4. Solutions étalons

A partir d'une solution fille à 0,001g/l de NO_2^- , préparer une gamme étalon dans des fioles jaugées de 50 ml comme indiqué sur le (tableau I.10) et la (photo I.12) suivant :

Tableau I.10 : Préparation des solutions étalons de Nitrite

Vol solution fille (mg/l)	0	1	2	5	20	40
Vol E.D. (ml)	50	49	48	45	30	20
Réactif mixte (ml)	1	1	1	1	1	1
Attendre 10 minutes						
$[\text{NO}_2^-]$ (mg/l)	0	0,02	0,04	0,1	0,4	0,8



Photo I.12 : La gamme de Nitrite

Mode opératoire

Dans une fiole prendre 50ml d'eau à analyser, ajouter 1ml de réactif mixte et attendre 10min. Effectuer la lecture à 543nm. La courbe d'étalonnage est représentée dans le (tableau I.11) et la (figure I.3).

Tableau I.11 : Etablissement de la courbe d'étalonnage de Nitrite

C (mg/l)	0	0,02	0,04	0,1	0,4	0,8
Absorbance (A)	0	0,062	0,116	0,313	0,93	1,793

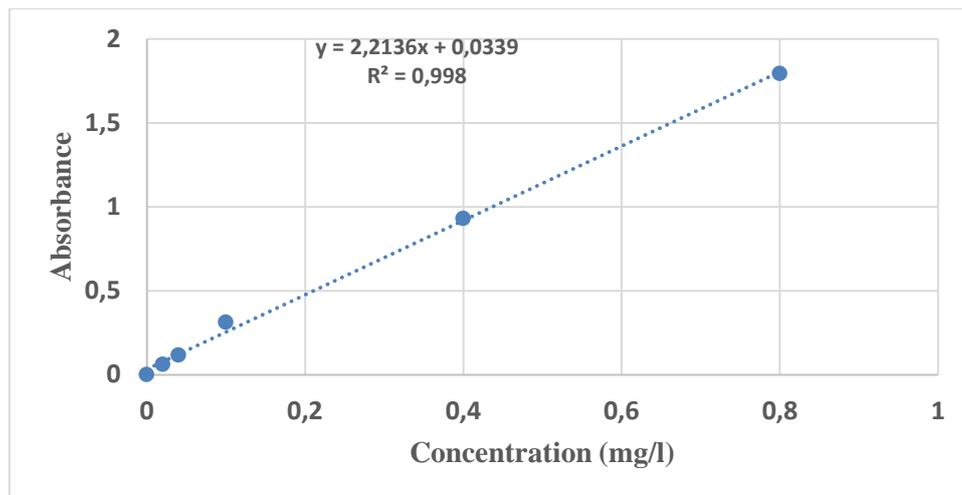


Figure I.3 : La courbe d'étalonnage de Nitrite

I.5. Conclusion

Dans ce Chapitre nous avons essayé de présenter le matériel et les méthodes utilisés afin d'évaluer le pouvoir épurateur des substrats plantés de Typha et Phragmites sur une période de plus d'un mois. Nous avons opté pour l'analyse au laboratoire, à fin de déterminer les paramètres physico-chimiques des eaux usées à l'entrée et à la sortie des filtres plantés. Les paramètres testés sont: (pH, conductivité électrique, Température, Nitrate, Nitrite et Phosphate).

Chapitre II :

**Les capacités de deux filtres
plantés dans l'épuration des
eaux usées industrielles et
domestiques**

Chapitre II : Les capacités de deux filtres plantés dans l'épuration des eaux usées industrielles et domestiques

I.1.Introduction :

Parmi les techniques d'épuration des eaux usées, la phytoépuration est un mode purement naturelle où les agents actifs dans le processus sont des macrophytes (plantes supérieures), pour cette technique l'intervention de l'homme est très limitée et l'installation n'est pas trop coûteuse. Ces systèmes d'épuration des eaux par plantes aquatiques, fonctionnant comme assimilateurs biologiques en éliminant des composés tant biodégradables que non biodégradables ainsi que les nutriments, les métaux et les microorganismes pathogènes.

Ce chapitre est dans l'objectif d'étudier les possibilités de rétention de certains composés inorganiques, présents dans les eaux usées domestiques provenant du rejet de M'ziraa ainsi que les eaux usées industrielles provenant de l'unité de production de l'ENICAB (région de Biskra), par deux filtres plantés à macrophytes de *Typha latifolia* et *Phragmites australis*. Une comparaison est également proposée en évaluant la qualité des eaux usées à l'entrée et à la sortie des filtres après un temps de séjours variant de 2 jours à 10 jours.

II.2 Variation des paramètres physico-chimiques :

L'évaluation de l'efficacité du traitement résulte de la détermination d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques caractérisant cette eau usée avant et après traitement. Les échantillons d'eau à l'entrée et à la sortie de chaque filtre, ont fait l'objet d'une mesure de pH, température, conductivité électrique, Nitrates, phosphates, ammonium

II.2.1. Evolution du pH :

La figure suivante représente les valeurs du pH enregistrées dans les eaux usées brutes (domestiques et industrielles) et les eaux récupérées, après différents temps de séjour, des lits plantés de Typha.

Chapitre II : Les capacités de deux filtres plantés dans l'épuration des eaux usées industrielles et domestiques

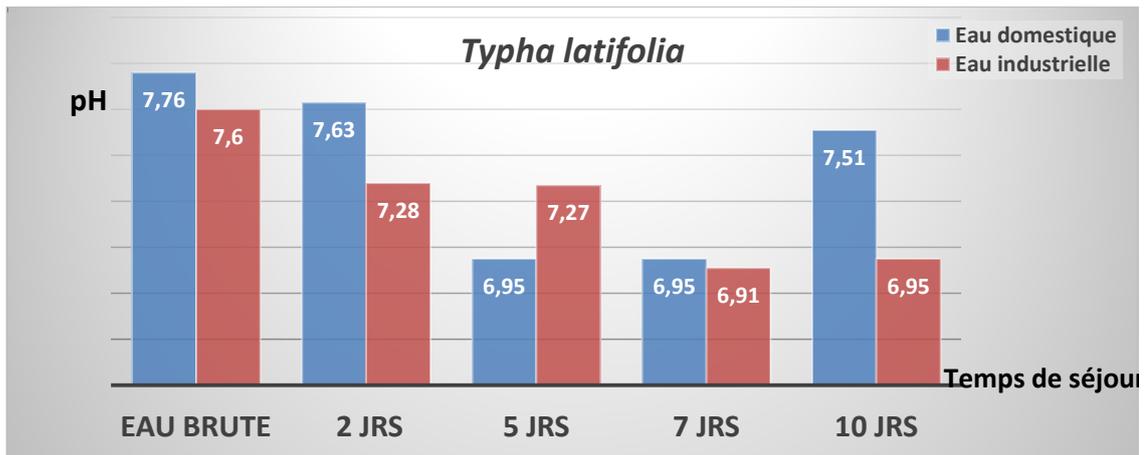


Figure II.1 : Evolution du pH dans les eaux récupérées des filtres plantés de Typha

Nous constatons un abaissement du pH à la sortie des filtres par rapport à celui des eaux brutes à l'entrée. Les valeurs du pH enregistrées pour les deux eaux usées (domestique et industrielle), et pour les lits plantés de Typha conviennent aux normes de rejet délimitées entre 5,5 et 8,5 (Journal Officiel de la République Algérienne, 2010).

Les valeurs du pH, mesurées pour les eaux usées brutes et les eaux récupérées à la sortie du filtre de Phragmites après différents temps de séjour, sont présentées dans la **Figure II.2**.

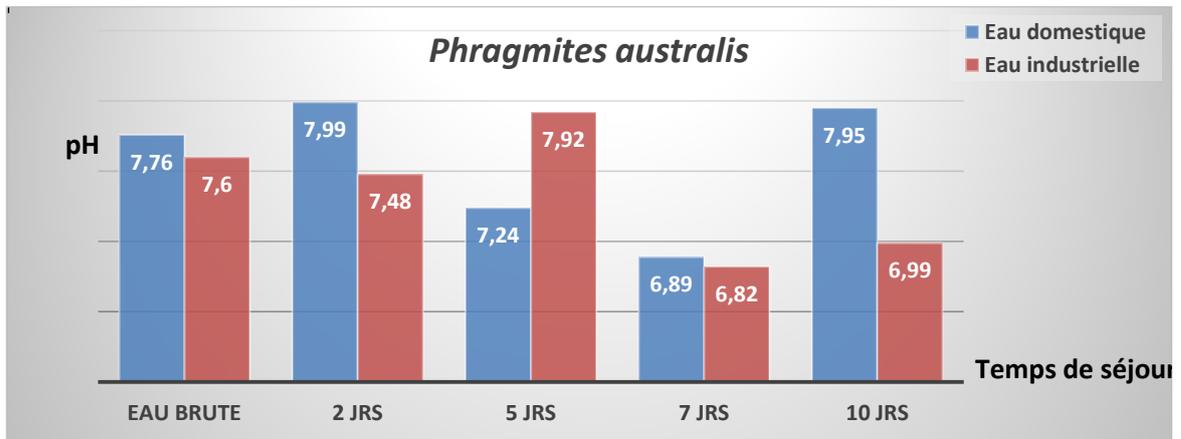


Figure II.2 : Evolution du pH dans les eaux récupérées des filtres plantés de Phragmites

Nous remarquons une diminution du pH à la sortie des filtres par rapport à celui des eaux brutes à l'entrée pour l'eau usée industrielle ; contrairement à une augmentation pour l'eau usée domestique. Les valeurs du pH enregistrées pour les deux eaux usées (domestique et industrielle), et pour les lits plantés de Phragmites conviennent aux normes de rejet délimitées entre 5,5 et 8,5 (Journal Officiel de la République Algérienne, 2010).

Les études de (Tanner et al.,1995 ; Ben ameur, 2010 ; Seghairiet al., 2013) ont révélés une légère diminution du pH passant de 7,2 dans les eaux usées brutes à environ 6,6

Chapitre II : Les capacités de deux filtres plantés dans l'épuration des eaux usées industrielles et domestiques

à 7 dans les eaux usées sorties des filtre plantés de *Typha*. Contrairement à une augmentation du pH de 2 à 3 unités à la sortie d'un filtre de Phragmites (Tiglyeneetal.,2005).

II.2.2. La Conductivité électrique (CE):

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau (Rodier et al, 2005). Elle dépend de la Quantité des sels ionisables. Elle constitue une bonne appréciation des concentrations globales des matières en solution dans l'eau. Figure II.3 représente les valeurs de CE mesurées dans les eaux usées brutes et les eaux récupérées des lits plantés de *Typha*.

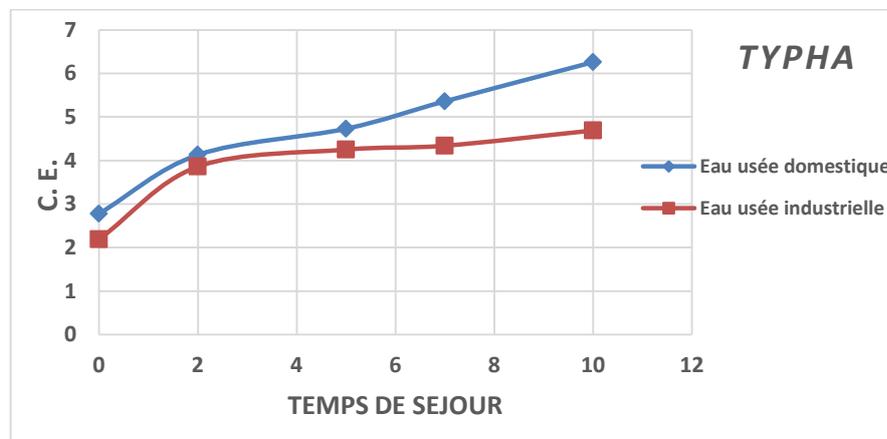


Figure II.3: Evolution de la conductivité dans les eaux récupérées des filtres plantés de *Typha*.

A partir du graphe, nous remarquons une grande variation de CE à la sortie des filtres plantés par rapport à celle des eaux brutes. Aussi, une moyenne de CE mesurée pour les eaux récupérées aux quatre temps de séjour est supérieure à celle des eaux brutes. Les valeurs de CE enregistrées pour les eaux usées à l'entrée et à la sortie des filtres plantés de *Phragmites* sont mentionnées dans la figure suivante.

Chapitre II : Les capacités de deux filtres plantés dans l'épuration des eaux usées industrielles et domestiques

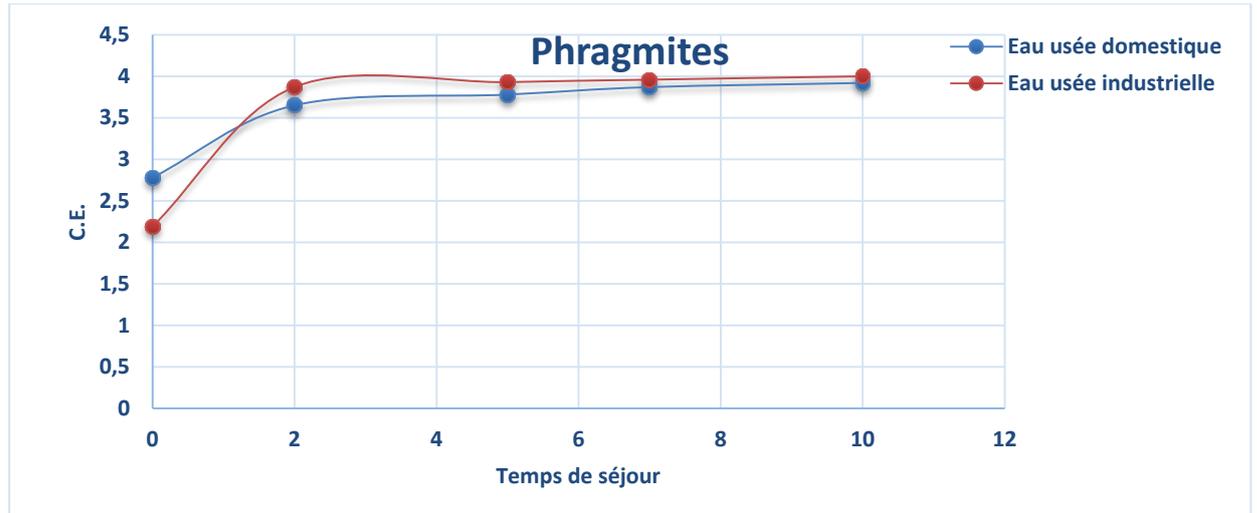


Figure II.4 : Evolution de la conductivité dans les eaux récupérées des filtres plantés de Phragmites.

Les résultats obtenus montrent une variation remarquable de CE entre les eaux brutes à l'entrée du filtre cultivé de Phragmites et les eaux récupérées à la sortie aux quatre temps de séjour.

Cette augmentation est liée à une minéralisation excessive de la matière organique et au phénomène d'évapotranspiration qui tend à concentrer davantage l'effluent, à cause de la température élevée. Selon (Achak, 2010, Seghairi et al., 2013 et Mimeche et al., 2016), une augmentation de la conductivité, des eaux usées traitées par des plantations de (Typha, Phragmites, Roseau, papyrus et tamarix), est associée au phénomène d'évapotranspiration de la végétation et aussi par le début d'adaptation et de développement des plantes.

II.2.3. La température :

Des températures enregistrées à l'entrée et à la sortie des filtres plantés de Typha et Phragmites sont mentionnées dans les figures ci-dessous.

Chapitre II : Les capacités de deux filtres plantés dans l'épuration des eaux usées industrielles et domestiques

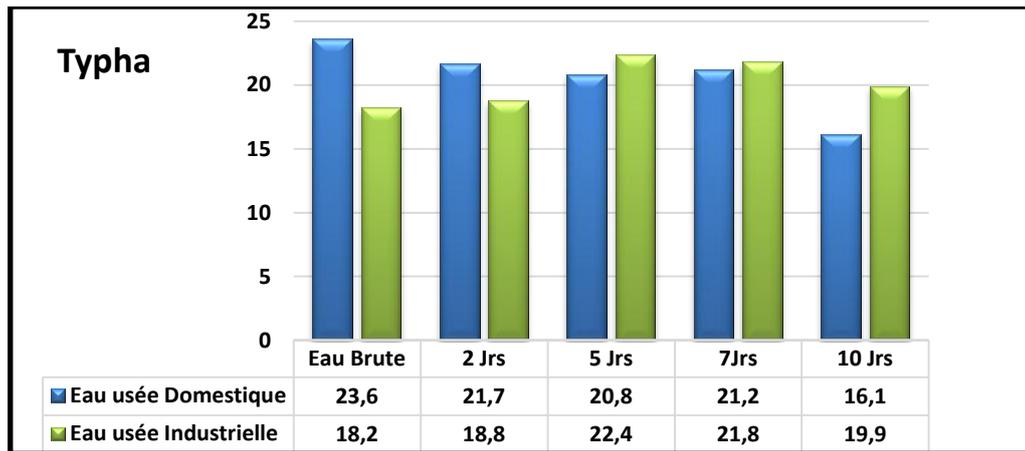


Figure II.5 : Evolution de la température dans les filtres plantés de Typha

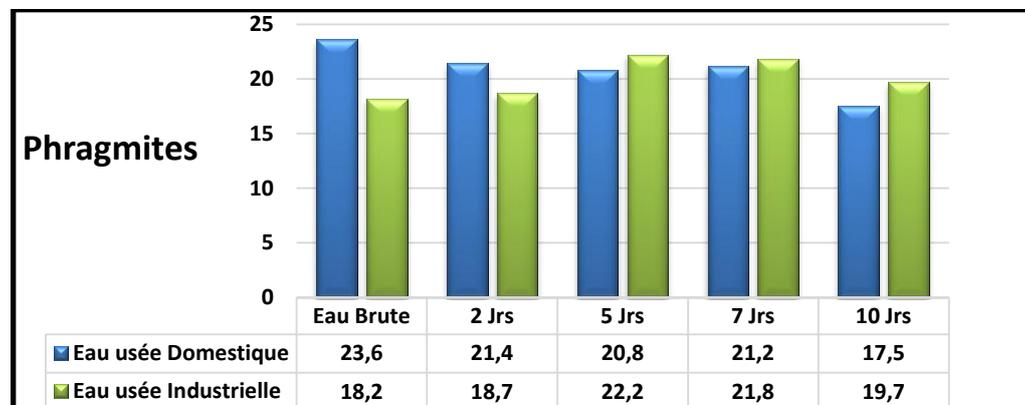


Figure II.6 : Evolution de la température dans les filtres plantés de Phragmites

Nous observons dans les figures II.5 et II.6 que les températures enregistrées à l'entrée et à la sortie des filtres plantés varient avec les changements des températures atmosphériques. Ceci est dû à l'impact du couvert végétal qui constitue un écran limitant la pénétration du rayonnement solaire source de chaleur dans la profondeur du bassin. La température joue un rôle important dans la qualité de l'épuration et elle réduit le colmatage. En effet, **Makni (1995)** a montré que la capacité d'épuration dépend de la température qui semble influencer les cinétiques d'oxydation de la pollution dissoute. Une basse température ralentit l'activité.

II.3. Le taux d'abattement des nutriments à la sortie des filtres plantés

II.3.1. L'élimination du Nitrate NO_3^- :

Les résultats de dosage de Nitrate, à l'aide d'un spectromètre UV-VIS, pour les eaux usées brutes et celles récupérées des lits cultivés sont présentés dans les graphes suivants.

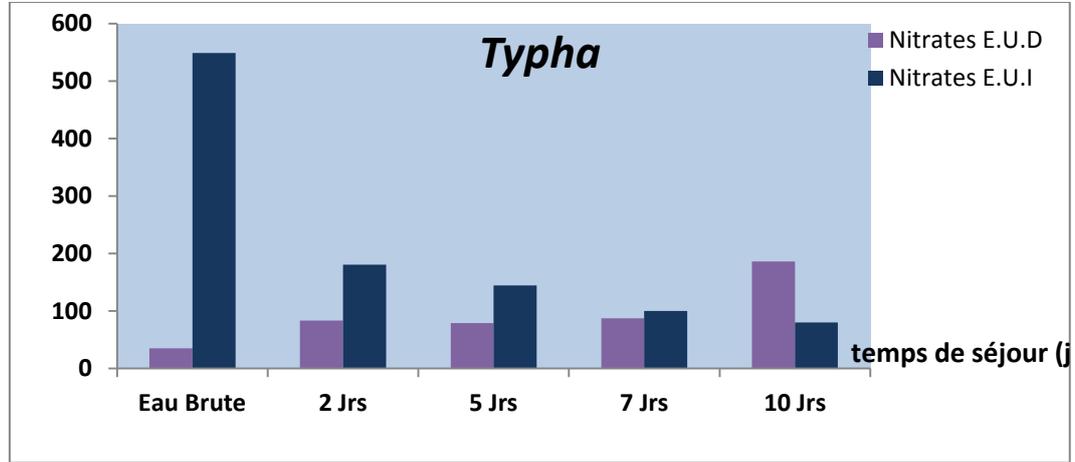


Figure II.7 : Evolution du Nitrate dans les filtres à macrophytes (Typha)

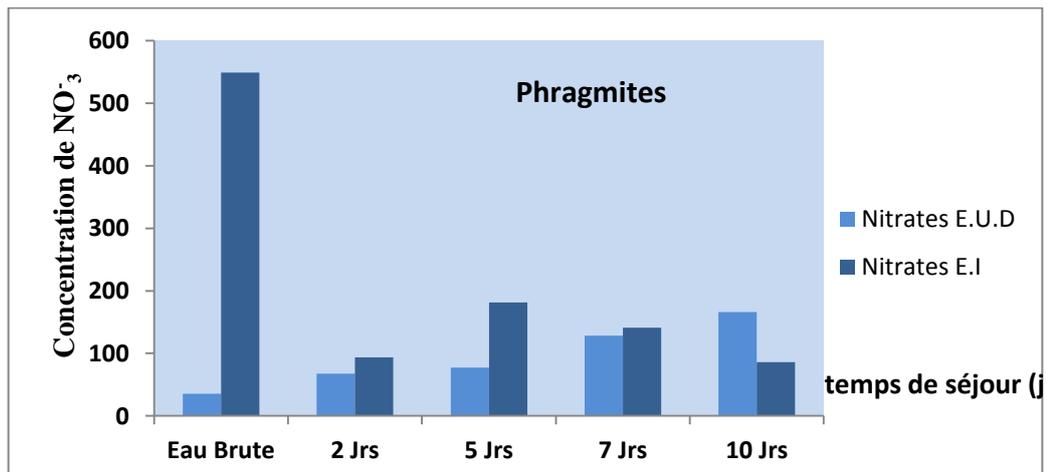


Figure II.8 : Evolution du Nitrate dans les filtres à macrophytes (Phragmites)

Dans l'eau usée industrielle, la quantité de Nitrate est très élevée ; alors qu'elle est faible dans l'eau usée domestique. Nous avons noté que la proportion de Nitrate a diminué progressivement pendant les quatre temps de séjour pour le cas de l'eau industrielle ; contrairement à l'eau domestique où la concentration de Nitrate augmente avec le temps.

D'après les travaux de **Brix (1994)** et **Ben Ameur (2010)**, les macrophytes aquatiques tels que le roseau sont dotés d'une espace d'air interne bien développé à travers les tissus de la plante qui assure le transfert de l'oxygène vers les racines et les rhizomes. Ces quantités d'oxygène favorisent pratiquement la prolifération bactérienne nitrifiante au niveau de la rhizosphère

Chapitre II : Les capacités de deux filtres plantés dans l'épuration des eaux usées industrielles et domestiques

II.3.2.L'élimination du Nitrite NO_2^- :

Les figures II.9 et II.10 représentent le taux de Nitrite contenu dans les eaux usées brutes et les eaux récupérées des lits cultivés de *Typha* et *Phragmites*.

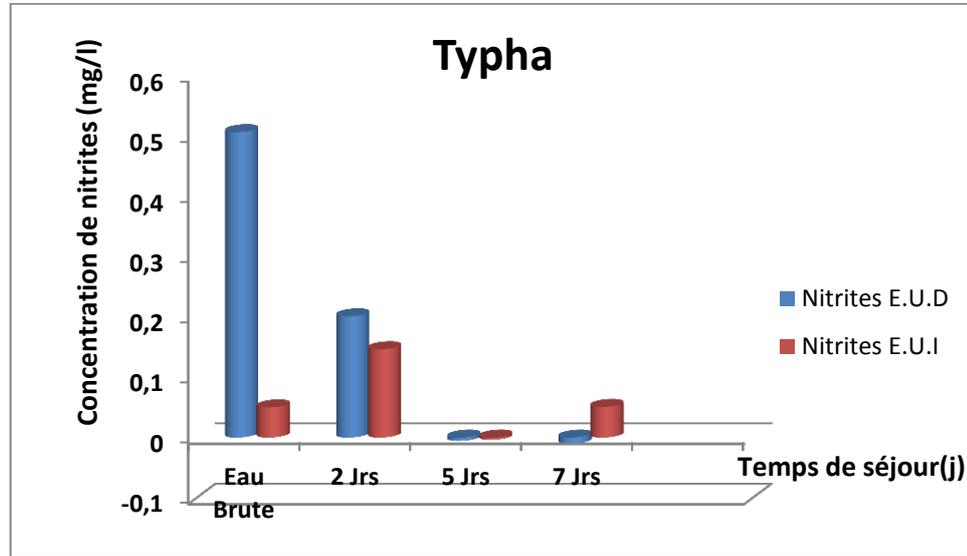


Figure II.9 : Evolution du Nitrite dans les filtres à macrophytes (*Typha*)

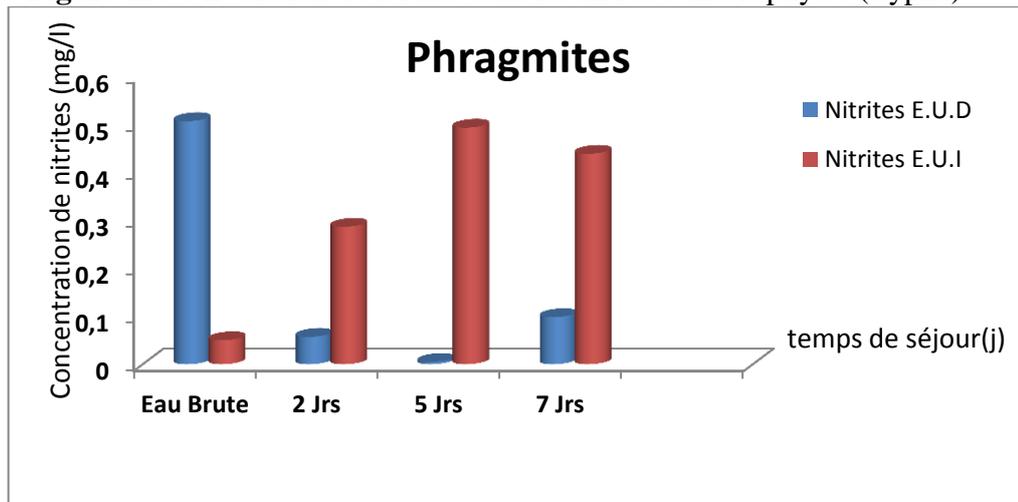


Figure II.10: Evolution du Nitrite dans les filtres à macrophytes (*Phragmites*)

Les graphes montrent un taux de Nitrite très élevé mesuré dans l'eau domestique ; tandis qu'un taux très faible est mesuré dans l'eau usée industrielle. Après avoir placé ces eaux brutes dans les filtres plantés à macrophytes de *Typha latifolia* et *Phragmites australis*, nous avons remarqué une diminution significative dans l'eau domestique. Mais, les concentrations faibles de Nitrite dans l'eau industrielle ont augmenté considérablement avec le temps.

Chapitre II : Les capacités de deux filtres plantés dans l'épuration des eaux usées industrielles et domestiques

II.3.3.L'élimination du phosphate PO_4^{3-} :

Un dosage par Spectromètre UV-VIS a révélé des concentrations de Phosphate que dans l'eau usée d'origine domestique. Les résultats obtenus pour l'eau brute et les eaux récupérées des filtres cultivés de macrophytes (Typha et Phragmites) pour les quatre temps de séjour sont dans la figure ci-dessous.

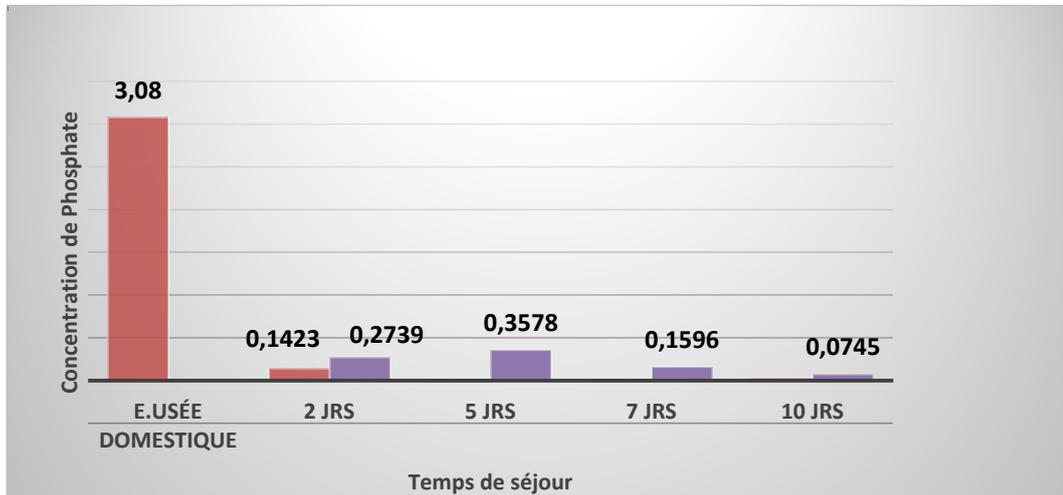


Figure II.11: Evolution du Phosphate dans les filtres à macrophytes.

A partir du graphe, nous remarquons que les filtres plantés par Typha ont complètement éliminé le Phosphate. Tandis que dans les filtres plantés de phragmites, la quantité de Phosphate a augmenté relativement après deux jours de séjour, puis elle commence à diminuer arrivant au dernier temps de séjour (10 jours). En se basant sur les concentrations de Phosphate à l'entrée et à la sortie des lits plantés de macrophytes, Nous avons calculé les rendements épuratoires correspondant à chaque plante (Figure II.12).

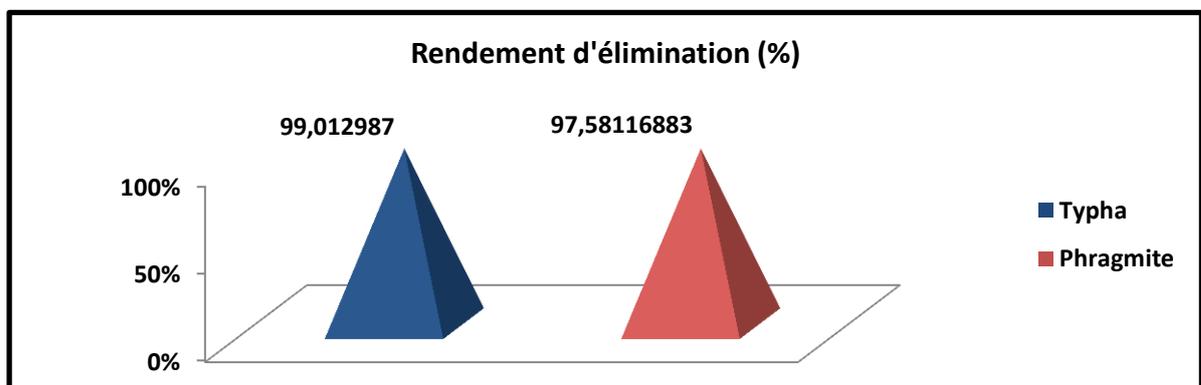


Figure II.12 : Rendements épuratoire des filtres à macrophytes après 10 jours de séjour.

Chapitre II : Les capacités de deux filtres plantés dans l'épuration des eaux usées industrielles et domestiques

Nous remarquons que les rendements épuratoires sont très élevés pour les deux plantes d'étude ; dont nous avons enregistré un pourcentage de réduction de **99.01%** et **97.58%** pour *Typha latifolia* et *Phragmites australis* respectivement.

Selon (Brix, 1997, Seghairi et al., 2013, Mimecheet al., 2016) 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.

II.4. Conclusion

L'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence les potentialités de deux plantes aquatiques (TYpha et Phragmites) à épurer les eaux usées brutes d'un rejet (domestique) provenant de la commune de M'ziraa et d'un autre industriel de l'unité (UNICAB) de Biskra. Globalement, que ce soit les paramètres physico-chimiques des eaux usées à l'entrée et la sortie des filtres. Après avoir placé ces eaux brutes dans les filtres plantés à macrophytes de *Typha latifolia* et *Phragmites australis*, nous avons remarqué :

- Une diminution significative des nitrites dans l'eau domestique, mais, les concentrations faibles de Nitrite dans l'eau industrielle ont augmenté considérablement avec le temps.
- Nous avons observé une augmentation très nette des rendements d'élimination des phosphates de l'ordre de 99.01% pour le Typha et de 97.58% pour le filtre planté de Phragmites.

Conclusion générale

Conclusion générale

La dépollution des eaux usées urbaines nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, Le traitement des eaux usées par les filtres plantés est une alternative susceptible de résoudre les différents problèmes de pollution des milieux aquatiques. Plusieurs travaux ont prouvés les performances des macrofiltres dans l'épuration des eaux usées industrielles et domestiques.

C'est dans cette perspective que s'inscrit l'objectif de ce mémoire, qui a été de mettre en évidence les potentialités de deux plantes macrophytes (*Typha latifolia* et *Phragmites Australis*) à épurer les eaux usées d'origine industrielle et domestique de la région de BISKRA.

Les résultats obtenus à l'issue de cette étude montrent que :

- ❖ Les résultats obtenus montrent que les valeurs du pH des eaux du BISKRA à la sortie des deux filtres étudiés planté de *Typha latifolia* et *Phragmites Australis* sont dans la fourchette des normes de l'OMS (1989).
- ❖ La conductivité électrique des eaux usées traitées est constamment supérieure à celle des eaux usées brutes.
- ❖ Pour la réduction des nitrites, Nous constatons que la quantité de nitrate est très élevée dans l'eau brute industrielle, tandis qu'une faible quantité se trouve dans l'eau domestique.
- ❖ Pour la réduction des nitrates, Le taux de nitrite est très élevé dans l'eau brute domestique, tandis que dans l'eau brute industrielle, il est très faible. Mais pour les eaux brutes industrielles avec le temps nous constatons que cette quantité augmente considérablement.
- ❖ Le taux d'abattelements des phosphates correspondants sont plus élevés dans les filtres plantés pour les deux plantes avec un pourcentage de réduction de 99.01% et 97.58% respectivement pour *Typha* et le *Phragmite*.

Conclusion générale

Enfin, nous espérons que cette étude aura un impact sur les possibilités d'exploiter la possibilité de réutiliser des ressources en eau non conventionnelles telles que les eaux usées, qui sont purifiées par les filtres plantés dans plusieurs domaines, notamment le domaine agricole.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Asano, T. (1998)** Irrigation with reclaimed municipal wastewater : California experiences. CIHEAM Options Méditerranéennes, Bari (Italy). pp. 119-132
- **Agence de l'eau, (1999)**. Epuration des eaux usées par des filtres plantes de macrophytes : une étude bibliographique. Office International de l'Eau, 79p.
- **Ademe (2000)** Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture. CSTB. Réglementation Thermique. 59 p.
- **Bremond R, Vuichard R., (1973)**. Paramètres de la qualité des eaux, OSPEPE, Paris.
- **Froese, K.L. (1998)** Health effects associated with wastewater treatment, disposal and reuse. Water .
- **Boswell, F.C., Parker, M.B. and Gaines, T.P. (1989)** Soil zinc and pH effects on zinc concentrations of corn plants. Communications in soil Science and Plant analysis 20:1575-1600.
- **Blumenthal, U.J., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G. and Mara, D.D. (2000)** Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence. WELL128 Study, Task No. 68 Part 1, London School of Hygiene & Tropical Medicine, UK WEDC, Loughborough University (UK). 67p.
- **Blumenthal, U.J., Mara, D.D. Peasey, A., Ruiz-Palacios, G. And Stott, R. (2000a)** Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. Bulletin of the World Health Organization, 78(9):1104-1116.
- **BEGG, J.S., Lavigne, R.L., VENEMAN, P.L.M. (2001)**, Reed beds: Constructed wetlands for municipal wastewater treatment plant sludge dewatering. Wat. Sci. Tech., 44,11-12, 393- 398.
- **Berland J.M., Boutin C., Molle P., Cooper P., (2001)**.procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités. Ed. Office de publications officielles des communautés européennes.de France, pp : 4-20.
- **Bernier, M. A. (2001)**. Libertinage et figures du savoir: rhétorique et roman libertin dans la France des Lumières, 1734-1751. Presses Université Laval.
- **Baumont, S., Camard, J.P., Lefranc, A. et Franconi, A. (2004)** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Observatoire Régional de Santé d'Île-de-France, 176 p.
- **Burnie G., Forrester S., Greig D., Guest S., Harmony M., Hobley S., Jackson G.,**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Lavarack P., Ledgett M., McDonald R., Macoboy S., Molyneux B., Moodie D., Moore J., Newman D., North T., Pienaar K., Purdy G., Ryan S., Schien G., Silk J., 2006,** BOTANICA, Encyclopedie de botanique d'horticulture. Plus de 10000 plantes du monde entier, place des victoires, 1020p.
- **Ben Ameer, N, 2010 :** Analyse des micro-organismes présents dans les lits à macrophytes lors de la phyto-épuration des eaux usées. Mémoire de Magister en biologie. Université Med Khider – Biskra.
 - **Brix, H., 1994:** Functions of macrophytes in constructed wetland, Water Sci, Technol, 29 (4), pp, 71-78.
 - **Cauchi, Hyvrard, Nakache, Schwartzbrod, Zagury, Baron, Carre, Courtois, Denis, Dernat, Seguret (1996)** La réutilisation des eaux usées après épuration. Techniques, Sciences et méthodes, 2:81-118.
 - **Carr, R.M., Blumenthal, U.J. and Mara, D.D. (2004)** Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture: Developing Realistic Guidelines. In: Scott, C., N. Faruqui, and L. Raschid-Sally (ed.), Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities, CAB International, London.
 - **Coulibaly, L., Manizan, P. N., & Gourene, G. (2008).** Traitement des eaux résiduaires urbaines par un marais artificiel à drainage vertical planté avec *Panicum maximum* sous climat tropical. Eur. J. Sci. Res, 23(1), 25-40.
 - **Communications in soil science and plant analysis**, 20(15-16) :1575-1600.
 - **DHARIWAL, K.R, HARTZELL, W.O, LEVINE, M.** Ascorbic acid and dehydroascorbic acid measurements in human plasma and serum .The American journal of clinical nutrition, 1991,54.4:712-716.
 - **Devaux I. (1999)** Intérêts et limites de la mise en place d'un suivi sanitaire dans le cadre de la réutilisation agricole des eaux usées traitées de l'agglomération clermontoise. Thèse en Sci. De la vie et de la santé. Univ. J. Fourier, Grenoble (France). 257 p. Environ. Research, 70(4):962-968.
 - **Desjardins R, (1997).** Le traitement des eaux. 2ème édition. Ed. Ecole polytechnique.
 - **De Villers J, Squilbin M, yourassowsky C., 2005.** Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.
 - **Edline F, (1996).** L'épuration physico-chimique des eaux. 3eme édition. Ed. CEBEDOC.
 - **Faby, J.A. et Brissaud, F. (1997)** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigatin. Office International de l'Eau, 76 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **FAO (2003)**. L'irrigation avec les eaux usées traitées. Manuel d'utilisation. Bureau Régional pour le Proche Orient et l'Afrique du Nord. Caire Egypte. 68p.
- **GAUJOUS D. (1995)** La pollution des milieux aquatique : aide-mémoire. Edition technique et Documentation Lavoisier, P 220.
- **GHAOUCH, M. (1998)**. Détermination des métaux lourds dans les eaux usées, épuration par des polymères d'origines naturelles et test sur les végétaux, Mémoire de DEA. Agence universitaire de la Francophonie- France.
- **GROSCLAUDE, G. (1999)**: L'eau milieu naturel et maîtrise.Ed INRA, Paris 1999 tomeI.
- **GROSCLAUDE, G. (1999)** : L'eau usages et polluants.Ed INRA, Paris 1999 tomeII.
- **Garban, B., Ollivon, D., Teil, M.J., Blanchard, M., Blanchoud, H., Motelay-Massei, A., Chesterikoff, C., Hanselin, L., Rolet, J., Le Genti, J. Et Chevreuil, M. (2003)** Activités humaines et transferts de polluants organiques persistants (POP). Laboratoire Hydrologie et Environnement, Université Pierre et Marie Curie, Paris. 36 p.
- **Gupta, N., Khan, D.K. and Snatra, S.C. (2007)** an assessment of heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater irrigated areas of Titagarh, West Bengal, India. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 80 :115-118.
- **Jiries, N.G., Al Nasir, F.M. and Beese, F. (2002)** Pesticide and heavy metals residue in wastewater, soil and plants in wastewater disposal site near Al-Lajoun Valley, Karak, Jordan. Water, Air and Pollution, 133:97-107.
- **KONE, Martine, et al.** Traitement d'eaux résiduaires urbaines par filtres plantés à flux vertical sous climat Soudano-Sahélien. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 2011, 5.1.
- **Liu, W.H., Zhao, G.Z., Ouyang, Z.Y., Derlund, L.S. and Liu, G.H. (2005)** Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. Environ. International 31:805– 812.
- **Masséna P.A. (2001)** Valorisation des eaux usées en irrigation localisée. Office International de l'Eau, 14 p.
- **Molle, 2003 ; Vymazal & Kröpfunglová, 2009** Wastewater Treatment in Constructed wetlands with horizontal sub-surface flow (HF CWs) 407, 3931-3943
- **Miquel, G. (2003)** La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Tome I, 198 p.
- **Mathieu, C. and Pieltain, F., (2003)** Analyse chimique des sols méthodes choisies. Editions Tec et Doc/Lavoisier, Paris, 408

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Mimeche BL., Mancer H., Debabeche M, 2010.** Analyse du pouvoir epuratoire d'un filtre implante de Phragmite australis pour le traitement des eaux usées sous climat semi - aride - région de Biskra. International Network Environmental Management Conflicts 1(1), 10-15.
- **MENSOUS M, 2011.** Étude du système de gestion des eaux usées dans la cuvette d'Ouargla. Mémoire Magistère en sciences de la Nature Et de la Vie. Kasdi Merbah Ouargla. 149 p.
- **Medjdoub, 2014.** Etude, Conception et dimensionnement d'une STEP par filtres plantés de roseaux des eaux usées des zones éparses de la commune de Terny. Mémoire de master, Université de Tlemcen, 108p.
- **National Research Council (NRC) (1998)** Issues in Potable Reuse: The Viability of Augmenting Drinking Water Supplies with Reclaimed Water. National Academy Press, Washington D.C. (USA).
- **National Research Council (NRC) (2004)** Indicators for Waterborne Pathogens. National Academy Press, Washington, DC (USA).
- **OZENDA (1991):** Flore et végétation du sahara. Ed CNRS, Paris 1991,2004.
- **OMS. (1989)** L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à avisées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé. Série de rapports techniques n° 778. OMS. Genève.
- **OMS. (1997)** Aspects sanitaires et nutritionnels des oligo-éléments et des éléments en traces. Editions de l'OMS, 366 p.
- **Perera, P et Baudot. (1991).** Etat procédés extensifs d'épuration des eaux usées relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. Mise en oeuvre de la directive du conseil N° 91/271 du 21 mai 1991.
- **Poulet, J. B., Terfous, A., Dap, S., et Ghenaim, A. (2004).** Stations d'épuration à lits filtrants plantes de macrophytes. INSA Strasbourg–France.
- **Pascual, I., Antolín, M.C., García, C., Polo, A. and Sánchez-Díaz, M. (2004)** Plant availability of heavy metals in a soil amended with a high dose of sewage sludge under drought conditions. Biol Fertil Soils, 40: 291–299.
- **Quezal , P., Santa L., (1962-1963)** : Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionale. Edition CNRS, tome 2. Paris. 1170p.
- **RICHARD C. (1996)-** Les eaux, les bactéries, les hommes et les animaux. Ed. Scientifiques et médicale Elsevier. Paris.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **RAMADE F. (2000)** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed. Ediscience international, Paris, 689p.
- **Ramade F., (2002)**. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Ralston J., 1971. De-icing salts as a source of water pollution. Ministère de l'Environnement de l'Ontario, Toronto.
- **REGSEK F., (2002)** - analyse des eaux, aspect réglementaire et techniques, Edition scréren CRDPA quitaine; Bordeaux.
- **Radcliffe, J.C. (2004)** Water Recycling in Australia. Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, Parkville, Victoria (Australia).
- **RODIER, J., BAZIN, C., BROUTIN, J.P. (2005) : CHAMBON P., CHAMPSAUR, H. et RODI, L. (2005)** : L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Ed Dunod, Paris.
- **RAKOTOARISON H.A. 2008**. Analyse de la qualité des eaux usées municipales dans la commune urbaine de Toliara: proposition de dimensionnement d'une station de lagunage.
- **Rodier Jean, Legube Bernard , Merlet Nicole , Brunet Régis. (2009)**. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 9eme Édition 1383p.
- **RAWEHD, BELGHYTI A, AI ZAEMEY Y, EI GUAMRI, EI KHARRIM K, 2011**. Qualité physico-chimique des eaux usées de la station d'épuration de la ville de S'Anaa (Yemen), International Journal of Biological and Chemical Sciences, Vol 5, N° 1.
- **Sheikh, B., Cooper, R.C. and Israel, K.E. (1999)** Hygenic evaluation of reclaimed water used to irrigate food crops: a case study. Water Science and Technology, 40(4-5)261-267.
- **SEGHAIRI, N., DEBABECHE, M. (2011)**. Possibilités de rétention du cuivre et du zinc sur un filtre planté de papyrus, Communication orale, 3ème Edition du Congrès International sur Eau, Déchets et Environnement- Fès- Maroc.
- **SEGHAIRI, et al , 2013** : Elimination du cuivre présent dans les eaux usées industrielles sur un filtre plante de tamarix. Laboratoire de recherche en génie civil, Hydraulique, Développement Durable et Environnement, Ingénieur en hydraulique, Université de Biskra.2013.
- **Tiglyene, S., Mandi, L., et Jaouad, A. (2005)**. Enlèvement du chrome par infiltration verticale sur lits de *Phragmites australis* (Cav.) Steudel. Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science, 18(2), 177-198.
- **Tijani, M.N. (2008)** Contamination of shallow groundwater system and soil–plant transfer of trace metals under amended irrigated fields. AGWAT-2678, 8 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **TAMRABET, L. (2011)** Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage. (Doctoral dissertation, Université de Batna 2)
- **U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (2004)** Guidelines for water use.
- U.S. Environmental 141 Protection Agency, Office of Research and Development, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio (USA).