

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département de Génie Civil et Hydraulique
Référence :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية والري
.....:

Mémoire de Master
2^{ème} année
Hydraulique urbaine

THEME :

**Influence de papyrus et de tamarix sur l'élimination du
phosphate et de l'azoté des eaux usées urbains**

Etudiant :

BADI HAYTTE

Encadreur :

MME MIMECHE LAILA

MME SEGHAIRI NORA

PROMOTION JUIN : 2013

REMERCIEMENT

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

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

Ma première pensée va tout naturellement à Mme **Mmimeche Leïla** d'avoir acceptée de m'encadrer. Je la remercie pour la confiance qu'elle m'a témoignée en me confiant ce travail, malgré les contraintes et les conditions de l'expérimental connues à l'avance et qui n'étaient pas du tout facile a surmonté. merci pour son encouragement sa générosité, son soutien dans les moments difficile durant mes expérimentations ce qui m'a donné le courage pour poursuivre la réalisation de ce thème. Mes remerciement vont aussi à Mme **Seghairi Nora** pour sa contribution à l'élaboration de ce travail.

Je présente mes remerciements aux membres de Jerry de bien vouloir accepter d'évaluer mon travail.

Je dois présenter mes remerciements les plus vifs à Mer le docteur **Bouziane Toufik** chef du département de génie civil et d'hydraulique.

J'adresse mes remerciements à Mer **Debabech Djamel** responsable de l'unité du traitement des eaux au niveau de la société T I F I B de Biskra pour m'avoir aidé à réaliser ma partie expérimentale au niveau de son laboratoire, je le remercie aussi pour sa gentillesse et ses conseils je remercie . Aussi tout les enseignants de notre département d'hydraulique.

Je remercie aussi Mer **Jedri Toufik** pour son serviabilité.

Je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, sans oublier mes collègues de promotion **2013**.

Enfin je tiens à remercier tous personnes qui m'ont aidée et encouragée pour compléter mon travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I : caractérisation des eaux usées domestiques

I.1. INTRODUCTION.....	1
I.2. ORIGINE ET QUANTITE DES EAUX USEES.....	1
I.2.1. Les eaux usées domestiques.....	1
I.2.1.1. Agent physiques	1
I.2.1.2. Agents chimiques organiques.....	1
I.2.1.3. Agents chimiques inorganiques.....	2
I.2.1.4. Agents biologiques.....	2
I.2.2. Les eaux usées industrielles.....	2
I.2.2.1. Polluants physiques.....	3
I.2.2.2. Polluants chimiques organiques.....	3
I.2.2.3. Polluants chimiques inorganiques.....	3
I.2.3. Les eaux pluviales.....	3
I.2.4. Les eaux agricoles.....	4
I.3. principaux paramètres physico- chimiques de pollution.....	4
I.3.1. Température.....	4
I.3.2. Conductivité électrique.....	4
I.3.3. Turbidité.....	5
I.3.4. Couleur.....	5
I.3.5. PH.....	6
I.3.6. Oxygène dissous.....	6
I.3.7. Les matières en suspension M.E.S	6
I.3.7.1 Les matières volatiles en suspension MVS	7
I.3.7.2. Les matières minérales M.M	7
I.3.8. La demande biochimique en Oxygène DBO	7
I.3.9. Demande chimique en oxygène DCO	8
I.3.10. Pollution par les différentes formes d'azote.....	8
I.3.10.1. Origines et caractéristiques.....	8

I.3.10.2. Impact de la pollution par l'azote ammoniacal sur l'environnement.....	9
I.3.11. La pollution phosphatée.....	10
I.3.11.1. Origine et caractéristiques.....	10
I.3.11.2. Impact sur l'environnement.....	10
I.3.11.3.1. effets connus sur la santé humaine.....	11
I.4. Les impact des eaux usées sur l environnement et la sante.....	11
I.4.1. Impact des eaux usées sur la flore.....	11
I.4.1.1. Sur la nutrition minérale des plantes.....	11
I.4.1.2. Sur la croissance des végétaux.....	11
I.4.1.3. Sur la santé humaine.....	11
I.5. Conclusion.....	12

Chapitre II : la phytoépuration

II.1. Introduction.....	13
II.2. Définitions des marais artificiels.....	13
II.3. L'épuration par les plantes des macrophytes.....	14
II.3.1. Définition du procédé de phyto-épuration.....	14
II.3.2. Le Principe de fonctionnement des filtres plantés à micropytes.....	14
II.3.2.1. Les filtres plantés à écoulement vertical.....	15
II.3.2.2. Le filtre planté de à écoulement horizontal.....	16
II.3.2.3. Les systèmes hybrides.....	17
II.4. Rôle des composants d'un filtre planté de macrophyte.....	18
II.4.1. Rôle des microorganismes.....	18
II.4.2. Rôle des macrophytes.....	19
II.4.3. Rôle des substrats.....	20
II.5. Les étapes de la phytoépuration.....	20
II.6. L'intérêt de la phytoépuration.....	21
II.7. Avantage et inconvénient de la phytoépuration.....	22
II.7.1. Avantage de la phytoépuration.....	22

II.7.2. Inconvénients de la phytoépuration.....	22
II.8. Conclusion.....	

Chapitre : III matériels et méthodes

III.1. Introduction.....	24
III.2. Caractérisation des eaux usées de la ville de Biskra.....	24
III.2.1. Présentation climatologique de la ville de Biskra.....	24
III.2.2. Situation du rejet des eaux usées domestiques (Chaabet Roba).....	24
III.2.3. Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées.....	25
III.3.1. Analyse de phosphate et des l'azote des eaux usées	25
a) Nitrate	25
	26
b) Ortho phosphate.....	
c) Azote ammoniacale.....	26
d) Nitrite	26
III.4. Dosage du phosphate	26
III.4.1 La solution nécessaire pour déterminer les phosphates.....	26
III.4.2 Représentation de la courbe d'étalonnage des phosphates	26
III.5. Dosage de l'azote ammoniacal	26
III.5.1. La solution préparée pour doser l'azote ammoniacal	27
III.5.2 Mise en place des dispositifs expérimentaux	27
III.5.2.1 Les bacs (filtres)	28
III.5.2.2. Macrophytes utilisées	28
III.5.2.2.1. Cyperus papyrus	29
III.5.2.2.2. Tamarix	30
III.5.2.3 La composition du substrat	31
III.6. Méthode de travail.....	32
III.7. CONCLUSION.....	33

Chapitre VI : Possibilité d'élimination des phosphates et de l'azote sur des filtres plantes de papyrus

VI.1. Introduction	34
VI.2. Performances épuratoires des filtres	34
VI.2.2.1.L'abattement de l'azote ammoniacal.....	34
VI.2.2.2Rendements d'élimination des phosphates	34
VI.3.CONCLUSION.....	35

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification des eaux d'après leurs conductivités (AFNOR).....	5
Tableau 2 : Classification des eaux d'après leur pH D'après (AFNOR).....	6
Tableau 3 : Echelle de valeurs de DBO ₅ AFNOR	8
Tableau III.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées testées.....	25

LISTES DES FIGURES

Figure. II.1. schéma des filtres plantés de à écoulement verticale.....	16
Figure. II.2. schéma d'un filtre planté de à écoulement horizontale.....	17
Figure II.3 : coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement hybride.....	18
Figure III.1: Rejet e la ville de Biskra.....	25
Figure III.2: La courbe d'étalonnage des phosphates.....	31
Figure III.3. Espace aménagé pour la phytoépuration.....	32
Fig. III.4. Dispositif expérimental.....	33
Figure III .5: Représentation du Papyrus cyperus	34
Figure III 6: Représentation du Tamarix africain	35
Figure III.7 : La composition du substrat.....	36
Figure III.8 : Méthode de prélèvement.....	39
Figure III.9 : Série d'échantillon de prélèvement.....	39
Figure VI. 1 : L'abattement de l'azote à l'entrée et la sortie du planté et témoin.....	44
Figure VI. 2 Teneur en phosphate avant et après filtration.....	45

INTRODUCTION GENERALE

Dans les pays à climat aride et semi-aride, tels que l'Algérie, le Maroc, et beaucoup de pays sud-méditerranéens, les eaux usées peuvent constituer un apport en eau non négligeable pour palier le déficit hydrique croissant et récurrent (Rodier.J, 1996 et Ouazzani. N, 1998).

Néanmoins, la réutilisation des eaux usées et ou leur déversement dans la nature, à l'état brut, peut d'accompagner de risques sanitaires et environnementaux. Le développement des végétaux dans les cours d'eau, les lacs ou les étangs est un phénomène normal, puisque c'est de la production de matière organique par la photosynthèse, mais lorsque ce développement est excessif, proliférant et déséquilibré (c'est l'eutrophisation) entraîne une dégradation des milieux aquatiques et une réduction de la biodiversité.

Les plantés aquatiques comme les plantes terrestres ont besoin pour croître de sels nutritifs, azote et phosphore (Brix.H, et al, 2000). Ces nutriments proviennent du lessivage des sols ou sont amenés avec les rejets d'eaux usées urbaines. Les rapports d'azote et de phosphore sont très variable suivant les différents secteurs du réseau hydrographique.

Pour répondre aux besoins de petites collectivités ayant des contraintes techniques et financières leur interdisant les systèmes techniques d'épuration classiques (Cieh, 1993), on a vu apparaître actuellement, des systèmes d'épuration « rustiques », techniques alternatives aux procédés artificiels tels que le lagunage, l'épandage et les lits filtrants plantés de macrophytes (Abissy et Mandi, 1999 et Poulet J.B et al, 2004). Le choix de la plante à cultiver on à implanter n'est pas aisé, car il doit satisfaire plusieurs critères (Hausler R et al, 1994

L'objectif de ce mémoire est de mettre en évidence les potentialités du papyrus et le tamarix éliminer l'azote et les phosphates présents dans ces eaux en concentrations importantes.

Le mémoire comporte quatre chapitres :

Les deux premiers concernent une synthèse bibliographique sur les caractéristiques des eaux usées et une description sur les procédés utilisés pour leur épuration ainsi que l'intérêt du développement d'une nouvelle technique (la phyto-épuration).

Les deux autres chapitres font l'objet du traitement par des filtres plantés de *Papyrus* et de *Tamarix* sur l'élimination de la pollution organique et particulièrement l'azote et les phosphates. En fin, nous avons terminé le manuscrit par une conclusion générale relatant les principaux résultats de cette étude.

I.1.Introduction :

La forte croissance des besoins en eau, induite par l'accroissement démographique, l'évolution industrielle, émanant des secteurs domestiques industriels engendrent des quantités de rejets d'effluent d'eau usée. Ces dernières sont rejetées dans la nature sans traitement ni épuration. Le rejet d'eau usée peut entraîner une pollution aussi bien des sols agricoles et la nappe d'eau potable à long terme. Les eaux usées proviennent essentiellement des activités domestiques et industrielles ainsi que des eaux des précipitations. Ces catégories d'eaux usées sont communément appelées respectivement eaux domestiques, eaux industrielles et eaux pluviales.

I.2.Origine et quantité des eaux usées

Les eaux usées demandent une attention particulière et ne doivent pas être laissées dans un état délabrant pour le bien de la nature et de l'homme. L'homme à travers ses différentes activités liées à l'utilisation de l'eau, provoque sans le vouloir un danger pour la nature.

I.2.1.Les eaux usées domestiques :

Les eaux domestiques proviennent des activités humaines de tous les jours : toilette, lavage du linge, évacuation des excréments et préparation des aliments et loisirs. Une personne génère en moyenne entre 150 litres (en milieu rural) à 300 litres (en milieu urbain) d'eau usée par jour. Elles sont composées de graisses, détergents, solvants, de déchets organiques azotés ou encore de différents germes. Les déchets présents dans ces eaux souillées sont constitués de matières organiques dégradables et de matières minérales. Ces substances sont sous forme dissoute et en suspension (Grommelle .C, Guerre. H, 1983).

I.2.1.1 Agent physiques :

La matière inerte contenue dans les eaux usées domestiques provient, d'une part, de l'infiltration et, d'autre part, des déchets ménagers incorporés dans les rejets des résidences. Elle fait partie des matières en suspension, et son élimination exige des procédés physico-chimiques : dessablage, filtration, coagulation et floculation. Notons aussi que la présence de particules aux dimensions très variables rend le traitement de ces eaux plus complexe, Franck .Rejets, 2002 .

I.2.1.2 Agents chimiques organiques :

Ils se manifestent sous différentes formes : en solution, en suspension, comme colloïdes, décan tables ou non. Dans les eaux usées domestiques, la plupart sont biodégradables. Des traitements biologiques conviennent en pareil ces. De par son origine, la matière organique comprend des protéines, des sucres, des gras, des composés cellulosiques non digérés et divers éléments du métabolisme. On retrouve de l'azote organique à des teneurs atteignant 35g/m^3 . Le phosphore organique se situe autour de 3g/m^3 . Certaines matières ont une bio durabilité plutôt faible. C'est le cas des huiles, graisses et certains détergents. Ils deviennent alors des agents perturbateurs dans les stations d'épuration biologique.

I.2.1.3 Agents chimiques inorganiques :

Les agents chimiques inorganiques se retrouvent surtout en solution dans les eaux usées domestiques .Fraîches, ces eaux sont exemptes de nitrites ou nitrates. Leur quantité de phosphore inorganique sous forme de PO^3 dépasse parfois 10g/m^3 . Les détergents sont responsables de cette forte concentration. L'eau de consommation contenant déjà des sels inorganiques, on les retrouve selon à peu près les mêmes proportions dans les eaux rejetées. Fabry J .A. Brissaud.F.1979 .

I.2.1.4 Agents biologiques :

Les fèces humaines renferment différents organismes, dont les coliformes et les streptocoques fécaux sont les plus connus. Les eaux usées ménagères contiennent parfois des virus de divers types, là ou' une partie de la population a été contaminée. D'autres micro-organismes pathogènes peuvent aussi y être décelés. Il existe une forte corrélation entre la concentration en coliformes fécaux et l'apparition de certains organismes pathogènes. L'existence des premiers dans une eau donnée indique la possibilité d'y voir apparaitre les seconds. Quand aux coliformes non fécaux, ils sont plus résistants que les fécaux et pos forcément de même origine. Fabry J.A. Brissaud. F., 1979 .

I.2.2. Les eaux usées industrielles :

Sont classés dans les eaux industrielles, tous les rejets correspondant à une utilisation de l'eau autre que domestique et résultant d'activités industrielles, commerciales, artisanales, ou autres, ainsi que les eaux issues des cuisines collectives et des bassins de natations. Elles contiennent également des matières organiques comme les eaux domestiques. Mais elles

Sont très différentes, car elles prouvent également contenir des produits toxiques, des hydrocarbures, des métaux lourds, des micropolluants. (Grommelle, Guerre, 1983).

I.2.2.1 Polluants physiques :

Les différentes industries rejettent en plus ou moins grande quantité des matières inertes. L'industrie des pâtes et papier en témoigne. Les matières en suspension dans lesquelles les substances inactives sont incluses appartiennent à la catégorie des paramètres à surveiller. Quand à la température des rejets, elle peut atteindre des valeurs gênant l'équilibre des écosystèmes aquatiques.

I.2.2.2 Polluants chimiques organiques :

Les polluants organiques industriels ont directement à voir avec l'industrie alimentaire, distilleries, conserveries, abattoirs, laiteries rejettent les une autant que les autres des quantités appréciables d'agents chimiques organiques. Ceux-ci ressemblent aux éléments habituellement contenus dans les eaux usées domestiques. par contre, les concentrations sont plus fortes. Ces quantités énormes de matières biodégradables n'exigent que les usines à traitements biologiques conventionnelles soient modifiées en vue d'une épuration plus efficace.

Les industries du textile, de l'automobile, du pétrole. Des produits chimiques, des pâtes et papiers et des fertilisants. Pour ne citer que celles là, concourent aussi à la pollution organique. Huiles, graisses, matières en solution ou en suspension, détergents et phénols constituent des polluants à neutraliser. Une combinaison de traitements physico-chimiques et biologiques sonne un pourcentage acceptable d'élimination dans la plupart des cas.

I.2.2.3 Polluants chimiques inorganiques:

Quelles que soient les industries, on retrouve, dans leurs effluents, des composés minéraux. Ils sont parfois toxiques. A cet égard, certaines industries alimentaires telles que les laiteries ou les manufactures de boissons peuvent être en cause. Le danger s'accroît dans le cas des industries minières, métallurgique et chimique. En industrie chimique, les polluants les plus dangereux sont les cyanures, le mercure, le chrome, le plomb...

I.2.3. Les eaux pluviales :

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

Le lessivage des sols et des surfaces imperméable. Les Déchets solides ou liquides déposés par temps sec sur Ces surfaces seront entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent.

La remise en suspension des dépôts des collecteurs. Par temps sec dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt de matières décan tables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau plus importants permet la remise en suspension de ces dépôts. (Chamoux, André et Claude Touant., 1988).Éléments d'hydrologie. Les éditions Le Griffon d'argile).réf

I.2.4.Les eaux agricoles :

Les engrais riches en nitrates et en phosphates, directement assimilables par les plantes, constituent un danger pour les plans d'eau. Appliqués en période de fort lessivage des sols, ou lorsque ces derniers ne retiennent que peu ou pas les nutriments, les fertilisants alimentent le processus d'eutrophisation des lacs. Ils se révèlent un partenaire non négligeable dans la famille des pourvoyeurs d'azote et de phosphore inorganique, dont font partie les eaux usées domestiques et celles de certaines industries. Ce sont des eaux des rejets de fermes. Ces eaux sont caractérisées par la présence de fortes concentrations de pesticides et d'engrain. Elles ont une valeur fertilisante importante.

I.3.Les principaux paramètres physico- chimiques de pollution :

I.3.1.Température :

La connaissance de la température est essentielle pour les réactions physico-chimiques et biologiques régies par leurs caractéristiques thermodynamiques et cinétiques. A titre d'exemple, la concentration à saturation de l'oxygène dissous, pH, la conductivité,...sont dépendants de la température de même que les processus de biodégradation carbonée, de nitrification ou plus généralement de production biologique. Olivier, 1995 .La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température conductivité notamment Meseck, 2002 .

I.3.2.Conductivité électrique :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à courir entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau Urios, 2005 .

La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25 °C.

La conductivité est généralement mesurée en micro-Siemens par cm (Us/cm) , approximativement la valeur en us/cm correspond à la salinité en mg/l tableau 1. On utilise également la résistivité, inverse de la conductivité, mesurée en ohms.cm Rodier, 1984 .

Tableau 1 : Classification des eaux d'après leurs conductivités (AFNOR)

50 à 400	Qualité excellente
400 à 750	Bonne qualité
750 à 1500	Qualité médiocre mais eau utilisable
1500	Minéralisation excessive

I.3.3.Turbidité :

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau débris organiques, argiles, organismes microscopiques... .Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre Bon toux, 1993 .

I.3.4.Couleur :

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle éléments métalliques, matières humiques, micro-organismes liés à un épisode d'eutrophisation,... , soit associée à sa pollution composés organiques colorés .La coloration d'une eau est donc très souvent synonyme de la présence de composés dissous. La mesure normalisée de la coloration AFNOR a fait l'objet d'une révision récente. Elle s'effectue soit par comparaison

avec une gamme de concentration comme de solutions colorées, soit par mesure spectrophotométrie Olivier, 1995 .

I.3.5.pH:

Le pH potentiel Hydrogène mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14,7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, don l'origine de l'eau tableau 2.Lé pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie Olivier, 1995 .

Tableau 2 : Classification des eaux d'après leur pH D'après (AFNOR).

pH 5	Acidité forte présence d'acides minéraux ou organique dans les eaux naturelles
pH=7	pH neutre
7 pH 8	Neutralité approchée majorité de eaux de surface
5,5 pH 8	Majorité des eaux souterraines
pH=8	Alcalinité forte, évaporation intense

I.3.6.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. Dans le domaine de l'épuration, il est indispensable pour la dégradation de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs dont la température, la pression et la force ionique du milieu. La solubilité relativement faible de l'oxygène dans l'eau dépend de la température 5mg/l à 0°C et 7mg/l à 35°C). Meseck,2002 .

I.3.7.Les matières en suspension M.E.S :

La pollution en M.E.S. des eaux usées urbaines est a l'origine a l'origine de nombreux problèmes au niveau de la station d'épuration, comme ceux liés au dépôt des matières dans les bassins ou les canalisations, a leur capacité d'adsorption physico-chimique métaux, microorganismes... Ou aux phénomènes de détérioration des matériels abrasion .Cette

pollution représente L'essentiel de la charge des rejets urbains des réseaux unitaires par temps de pluie. Dans le milieu récepteur, les MES peuvent entraîner des perturbations de l'écosystème par une diminution de la clarté de l'eau, limitant la photosynthèse végétale par le dépôt, l'envasement, et l'asphyxie des poissons par colmatage des branchies. Les dépôts dans les zones calmes sont susceptibles d'entraîner le développement de bactéries anaérobies, avec la conséquence habituelle : fermentation, production de composés acides et d'odeur. Franck Rejets, 2000 .

I.3.7.1. Les matières volatiles en suspension MVS :

Elles sont constituées par la partie organique des MES, elles sont mesurées par calcination à 600°C en deux heures et présentent en moyenne 70% des MES.

I.3.7.2. Les matières minérales M.M :

Elles représentent la fraction minérale des MES.C'est la différence entre les matières en suspension et matières volatiles en suspension, Elles représentent par conséquent le résidu de la calcination.

I.3.8.La demande biochimique en Oxygène DBO :

La DBO, ou Demande Biochimique en Oxygène correspond à la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières Organiques biodégradables d'une eau toute matière organique biodégradable polluante entraîne une consommation de l'oxygène au cours des procédés d'autoépuration O_2 . La matière organique est présente sous forme dissoute et sous forme solide. Sous forme solide elle constitue une partie des matières en suspension. Elle est composée d'atomes de carbone associés à d'autres éléments, principalement : l'hydrogène, l'oxygène, et l'azote.

Les composés organiques peuvent être naturels ou synthétiques. Ils se décomposent par voie biologique suivant des cinétiques variables. Les produits de dégradation génèrent des composés intermédiaires éventuellement toxiques. Au stade ultime de décomposition, la matière organique est transformée en nutriments : azote, phosphore, gaz carbonique...Ils sont conventionnellement classés en trois grandes familles : les glucides, les lipides et les protéines. La mesure la plus couramment réalisée est celle de la DBO_5 , retenue par la direction Européenne du 21mai 1991 Norme AFNOR NF T.90.103 tableau 3.La DBO_5

correspond à la demande biochimique en oxygène après 5 jours d'incubation de l'échantillon à une température de 20°C. Oubli, 2001 .

Tableau 3 : Echelle de valeurs de DBO₅ AFNOR .

Situation	DBO ₅ mg/l d'O ₂
Eau naturelle pure et vive	1
Rivière légèrement polluée	1 C 3
Egout	100 C 400
Rejet station d'épuration efficace	20 C 400

I.3.9.Demande chimique en oxygène DCO :

La demande chimique en oxygène traduit la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques contenant dans l'effluent. La mesure de la DCO se fait par l'aide d'un oxydant énergétique bichromate de potassium, en milieu acide, et à chaud pendant deux heures. Elle est représentative de la majeure partie des composés organiques ainsi que les sels minéraux oxydable. Elle donne une idée de la charge polluante. Il convient toutefois de rester prudent quant à son interprétation car certains composés ne sont pas oxydés lors de l'essai normalisé hydrocarbure par faunique et cycle par faunique, sels ammoniacaux, urée par exemple.... .

La pollution oxydable est essentiellement due aux rejets industriels et urbains. Les rejets diffus peuvent également constituer une part importante de cette pollution.

I.3.10.Pollution par les différentes formes d'azote :

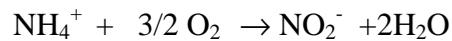
1.3.10.1 Origines et caractéristiques :

L'azote, élément chimique non métallique de symbole N, de numéro atomique égal à 7. Il a pour masse atomique 14, 0067, avec 5 électrons dans sa couche de valence, il fait partie du groupe Va (colonne 15) du tableau périodique des éléments. Il est principalement trivalent (comme dans la molécule de NH₃). (Encarta. 2004).

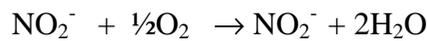
L'élément azote existe principalement sous forme ionique (ammonium NH₄⁺, nitrite NO₂⁻ et nitrate NO₃⁻ ainsi que sous forme gazeuse (N₂). L'origine de ces polluants est par ordre décroissant : l'utilisation massive des engrais, le développement industriel et le rejet des eaux résiduaires urbaines. Nos eaux usées contiennent de l'azote organique et de l'azote

ammoniacal. L'azote organique est un élément constituant des cellules vivantes : végétales ou animales. L'azote ammoniacal NH_4^+ provient de la décomposition de l'azote organique par les bactéries et des rejets directs des êtres vivants (urines, excréments).

Les nitrites NO_2^- proviennent de la dégradation de la matière organique et de l'oxydation de l'azote ammoniacal :



Les nitrates NO_3^- sont le résultat final de l'oxydation de l'azote ammoniacal :



L'azote gazeux N_2 est très présent dans l'air (70%), et peut être soluble dans l'eau ; ce sont les bactéries dénitrifiantes qui permettent la transformation finale de l'azote organique en azote gazeux.

Les ions NH_4^+ et NO_2^- sont très toxiques pour la faune aquatique et posent des problèmes pour la santé publique. Ils induisent une prolifération bactérienne dans les eaux. Par contre, les nitrates NO_3^- sont la principale source d'inquiétude. Ces ions se transforment en milieu acide en ions nitrites qui sont toxiques pour l'organisme humain. Les nitrates constituent aussi un agent fertilisant susceptible de favoriser le développement excessif des algues dans le milieu aquatique. Sandrine Cabrait, 2008. Féras, 2000, Miquel, 2003.

1.3.10.2 Impact de la pollution par l'azote ammoniacal sur l'environnement

Des niveaux excessifs d'ammoniac peuvent être néfastes à la vie aquatique. Les poissons peuvent souffrir d'une perte d'équilibre, d'hyperexcitabilité, d'une augmentation de l'activité respiratoire et de la consommation d'oxygène, d'une augmentation du rythme cardiaque. Des effets sublétaux divers peuvent apparaître : réduction du succès d'éclosion, réduction du taux de croissance et du développement morphologique, lésion des branchies, du foie, des reins... À des niveaux extrêmes en ammoniac, ils peuvent souffrir de convulsions, suivies de coma et de mort. La concentration létale $\text{Cl}_{50/96\text{h}}$ pour un certain nombre

d'espèces de poissons varie entre 0.2 et 1.1 mg NH₃/L pour les salmonidés et entre 0.7 et 3.4 mg NH₃/L pour les cyprinidés. Garrec, 1987 .

I.3.11. La pollution phosphatée :

I.3.11.1 Origine et caractéristiques :

Découvert vers 1669 par l'alchimiste allemand Henning Brand, le phosphore est un élément chimique non métallique réactif de symbole P et de numéro atomique 15. Il appartient au groupe 15 ou Va de la classification périodique Encarta, 2004 . Le phosphore entre dans la composition de toutes les cellules des organismes vivants. Êtres humains, animaux, plantes et microorganismes, tous dépendent entièrement du phosphore pour vivre et se reproduire. Les acides nucléiques constituant le matériel génétique aussi bien que les protéines des organismes vivants en contiennent. Le phosphore, élément essentiel à la vie, n'a pas de toxicité propre et ne présente pas de risque sanitaire direct. Il peut néanmoins provoquer des dommages très importants à l'environnement et particulièrement au milieu aquatique au travers de son principal effet : l'«eutrophisation», c'est-à-dire l'enrichissement du milieu qui se manifeste par le développement exacerbé d'algues et de végétaux aquatiques. Lemercier, 2003 .

La pollution par les phosphates provient à la fois de l'utilisation des engrais, des rejets industriels et des rejets domestiques déjections humaines, détergents, lessives . On estime ainsi que chaque jour, un individu rejette 35 g de phosphate par jour dont 12 g proviennent de ses excréments et le restant, c'est-à-dire plus de la moitié, provient des détergents et des lessives. Concernant les sources agricoles, on n'estime que 0,25% à 2,5% du phosphore contenu dans les engrais n'est pas absorbé par les plantes et migre vers les milieux aquatiques. Les phosphates ne sont pas toxiques pour les plantes et faune aquatique. Mais leur présence dans l'eau peut contribuer à provoquer certains déséquilibres.

I.3.11.2 Impact sur l'environnement :

Comme l'azote, le phosphore est un constituant essentiel de la matière organique et est un nutriment indispensable pour les organismes vivants. Cependant il doit être considéré comme un polluant lorsqu'il est présent à de fortes concentrations dans l'environnement. Des teneurs dans l'eau supérieures à 0,5 mg/l doivent constituer un indice de pollution Rodier et al. 1996 . Les rejets de phosphore dans l'écosystème aquatique constituent l'un des plus

sérieux problèmes environnementaux car ils contribuent à accélérer l'eutrophisation de ces milieux.

La dystrophisation ou la prolifération excessive d'algues est souvent liée à la pollution par les phosphates. En effet, les algues peuvent se développer à des teneurs en phosphate aussi faible que 0.05 mg/L. tandis que, de façon générale, les eaux usées municipales contiennent environ 25 mg/L de phosphate ortho phosphates, poly phosphates et phosphates insoluble Monahan, 2000 .

I.3.11.3.1 effets connus sur la santé humaine :

Si les composés phosphorés utilisés à haute concentrations dans l'industrie phosphore blanc qui est par exemple un constituant de la mort aux rats, p rouge, p noir, etc. peuvent avoir des effets très toxique sur l'homme, les concentrations normalement observées dans l'eau ou dans l'habitat semblent ne pas présenter de risque direct pour la santé humaine Carpenter et al, 1998 .

I.4. Les impact des eaux usées sur l'environnement et la sante :

1.4.1. Impact des eaux usées sur la flore :

1.4.1.1. Sur la nutrition minérale des plantes :

L'épandage des boues résiduaires, ou l'irrigation par les eaux usées provoque notamment une augmentation de la concentration des sols en éléments minéraux nutritifs essentiels pour le développement des végétaux l'azote, le phosphore et le potassium .et par conséquent, ils favorisent une croissance importante des végétaux. Chera, 1999 .

1.4.1.2. Sur la croissance des végétaux :

Les apports répétés des eaux usées sur le sol agricole plusieurs fois provoquent une augmentation de la concentration des sols en éléments nutritifs et par conséquence, ils favorisent une croissance importante des végétaux. Chera, 1999 .

1.4.1.3. Sur la santé humaine :

Les maladies transportées ou occasionnées par les eaux usées, comme la typhoïde, Le choléra, jusqu'à la fin du siècle dernière, responsables de graves épidémies qui dévastaient

des régions entières. Cependant, les maladies hydriques ce sont encore parmi les trois grandes causes de morbidité et de mortalité dans les pays sous développés Asan, 1998 .Les voies d'exposition sont multiples :

»Contact avec la terre et les poussières soulèves par le vent ou par manipulation en particulier pour des enfants en bas âge .

»Ingestion accidentelle directe ou par aérodistorsion voie orale .d'eau usée.

»Contact cutané des eaux usées.

»Consommation des végétaux cultivés sur les terres d'épandages susceptibles d'êtres contaminés.

I.5.Conclusion :

L'azote et le phosphore sont deux éléments importants des cycles biogéochimiques. Leur rôle privilégié dans le métabolisme des cellules vivantes explique le fait qu'ils constituent les éléments principaux des engrais utilisés depuis longtemps pour accroître les productions végétales. Cependant, dans l'environnement les apports d'azote et de phosphore ne sont pas limités aux seules activités agricoles.

Chaque habitant rejette par jour 9 à 12 g d'azote essentiellement associé aux urines et 3 à 4 g de phosphore, provenant principalement des détergents et des poudres à lessiver ou' son usage vise à limiter les inconvénients entartrage induits par la dureté de l'eau. On les retrouve ainsi sous des formes solides et dissoutes dans les eaux usées et, finalement, en partie tout au moins dans les milieux aquatiques, en particulier les eaux de surface.

II.1. Introduction:

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

Cette technique présente quelques avantages relativement aux systèmes classiques d'épuration :

- Fonctionne à faible frais d'exploitation.
- Peu de dépense d'énergie pour son fonctionnement Simple maintenance.
- Ne nécessite pas un personnel qualifié pour sa gestion.

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

II.2. Définitions des marais artificiels :

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

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

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

II.3. L'épuration par les plantes des macrophytes:**II.3.1. Définition du procédé de phyto-épuration:**

Depuis l'antiquité chez les Grecs et les romains, ainsi qu'en Chine, les plantes sont utilisées pour traiter la pollution. L'effet dépolluant des micropyles (végétaux aquatiques visibles à l'œil nu) est connu de façon empirique depuis très longtemps, cependant, ce n'est qu'à partir des années 1950 que des chercheurs allemands commencent à analyser ce phénomène de façon scientifique. Ils mettent en évidence que ce ne sont pas les plantes elles-mêmes qui ont une activité dépolluante mais plutôt les bactéries vivant autour de leurs rhizomes (tige souterraine en forme de racines).

Les systèmes de phyto-épuration offrent une solution économique et durable pour l'épuration des eaux. L'investissement n'est pas aussi élevé que pour une station d'épuration avec bassins en béton, des pompes, etc. Un filtre à phragmites à lits verticaux, système le plus coûteux, revient, pour 1000 habitants, moitié moins cher qu'une station d'épuration classique. La simplicité des systèmes permet également de diminuer notablement les interventions de maintenance. Enfin, il ne faut pas négliger les autres avantages, matériels et immatériels : pas de bruit, ni d'odeurs, ni de consommation d'énergie, en plus c'est écologique. (Vincent. G. 1997).

La phyto-épuration de l'eau semble être une bonne alternative aux stations d'épuration classiques au moins pour les petites collectives. La qualité de l'eau en sortie respectant largement la réglementation et le faible coût de fonctionnement en font un système très intéressant. Toutefois, ce système est en développement et son évolution dans le temps n'est pas connue. En tout cas, pour une fois, les mentalités semblent prêtes à changer et ainsi préférer l'épuration rustique à l'épuration classique.

II.3.2 Le Principe de fonctionnement des filtres plantés à micropyles :

La phyto-épuration est réalisée grâce à des bassins successifs, étanches, remplis de gravier et plantés de divers espèces aquatiques, appelées micropyles, (roseaux, joncs, ris, phragmites, massette, salicaire...). Ces saprophytes ont un rôle de structuration et d'aération du massif ; tout en servant de support aux bactéries qui font l'essentiel du travail. Les graviers de granulométries croissantes en évoluant vers la profondeur (10 cm à 1 m), permettent la filtration mécanique des eaux usées. Les végétaux fixent les colonies de bactéries sur la base de leurs tiges et leurs rhizomes, ce qui améliore la performance des

organismes épurateurs. Par ailleurs, ils absorbent par leurs racines une partie (10 % environ) des sels minéraux-nitrates et phosphates-issus de la décomposition des matières organique présente dans les eaux usées. (Vincent G, 1997.et Brix, 1997).

La plupart des micropyles sont capables d'assimilées les métaux lourds, toujours présents dans les eaux usées et nocifs pour l'environnement. Plusieurs espèces de plantes peuvent être utilisées mais les rousseaux (de types phragmites australes), par leur résistance aux conditions rencontrées (longue période submergée du filtre, période sèches, fort taux de matières organiques), et la rapide croissance du chevelu de racines et rhizomes, sont les plus souvent utilisés dans les climats tempéré. (Finlayson C M; 1983). La densité de plantation est de 4 plantation/m².

Pour réaliser une station d'épuration par les plantes, il est important de mener une étude de faisabilité qui permet de choisir le meilleur site d'implantation de la station. Plusieurs critères interviennent tel que : l'accessibilité, la topographie, la géologie et la nature du sol. L'épuration est réalisée selon le principe de l'épuration biologique majoritairement aérobie dans les milieux granulaires fins à grossiers. On ne procède pas renouvellement régulier du massif filtrant ni à l'évacuation des boues biologiques. On distingue deux types de filtres plantés, suivant le sens de l'écoulement (filtres à écoulement vertical et les filtres à écoulement horizontal).

II.3.2.1. Les filtres plantés à écoulement vertical :

La configuration de ces systèmes est assez similaire à celles décrites ci-dessus. La différence est que Les eaux usées s'écoulent verticalement (percolation) dans le milieu de remplissage avec alternance discontinue.

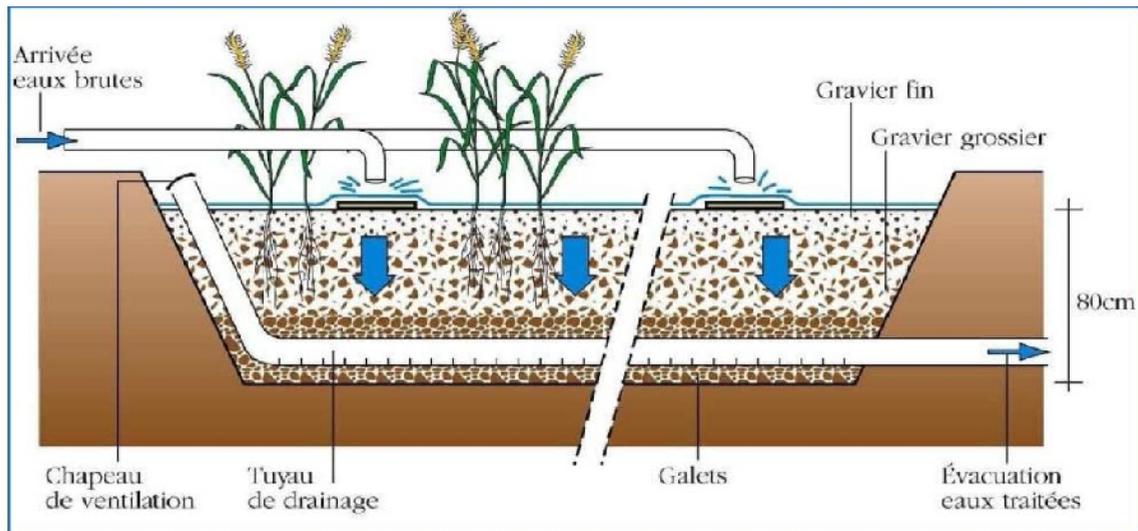


Figure. II.1. schéma des filtres plantés de à écoulement verticale. (Bris, 1997).

Les filtres du premier étage sont exclusivement constitués de différents types de graviers dans lesquels les phénomènes d'aération par diffusion sont sensiblement plus élevés que dans du sable. La granulométrie augmente généralement avec la profondeur tout en sachant que plus la granulométrie de la surface est fine plus les risques de colmatage sont importants. L'alternance de l'alimentation permet de limiter le colmatage. Les filtres à écoulement verticaux sont alimentés en surface, l'effluent s'infiltré verticalement à travers le substrat. L'alimentation par bâchées, créant une convection naturelle avec l'atmosphère puis par diffusion gazeuse lorsque la plage d'infiltration est dénoyée. Chaque bâchée doit se répartir uniformément sur l'ensemble de la surface du lit, pour un traitement optimum. La rétention des MES s'effectue en surface des filtres (figure 2.1). Ce type de dispositif permet le stockage puis la minéralisation des boues sur le premier filtre de traitement. Ce filtre joue entre autre le rôle de bassin de décantation. La dégradation biologique des matières dissoutes est réalisée par la biomasse bactérienne aérobie fixée sur le support. En raison du taux d'oxygène dissout important, les filtres du premier étage contribuent essentiellement à la dégradation de la fraction carbonée et à la nitrification. Néanmoins la décontamination est faible voir nulle en raison des faibles temps de séjour des effluents dans le système. De plus, la déphosphoration est également faible du fait des faibles pouvoirs adsorbants des matériaux filtrants utilisés.

II.3.2.2. Le filtre planté de à écoulement horizontal :

Les systèmes d'épuration à écoulement horizontal sont constitués par des bassins horizontaux imperméabilisés, qui sont remplis avec un matériau inerte avec une taille de particule choisie (par exemple gravier), où se développent les racines des micropyles émergentes (phragmites australes, couramment utilisés).

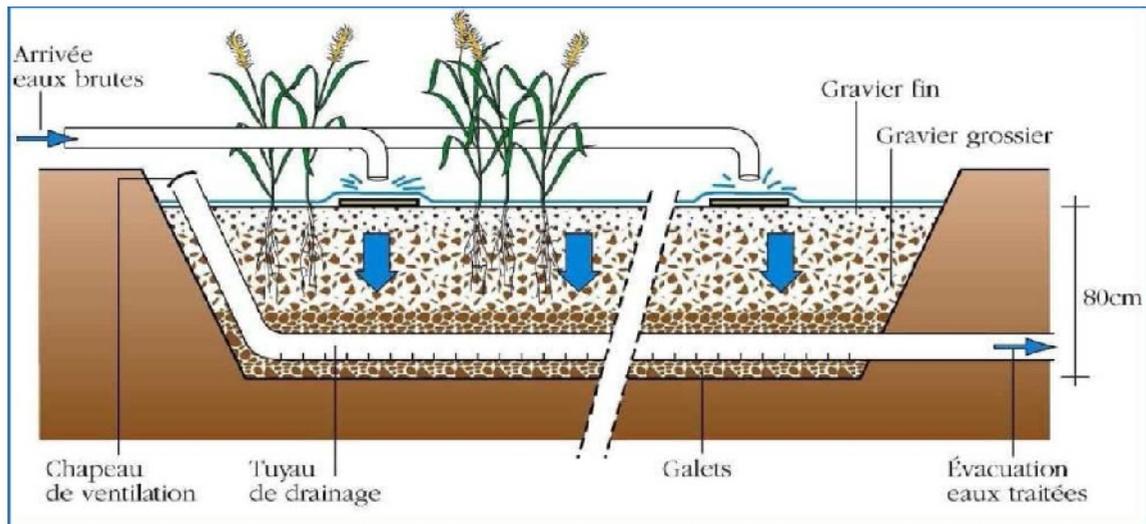


Figure.II.2.schéma d'un filtre planté de à écoulement horizontale. (Bris, 1997).

Les matériaux de la couche supérieure du filtre sont composés de sable de nature siliceuse et d'origine alluvionnaire (figure 2.3).L'alimentation ne s'effectue pas en surface comme les filtres verticaux. Les eaux usées décantées entrent, via un gabion d'alimentation, directement dans le massif filtrant. Le bassin est maintenu à saturation d'eau afin de maintenir des conditions anaérobies. L'oxygénation est limitée par l'absence de brassage de l'eau. Elle est constituée uniquement par la diffusion gazeuse et par l'apport d' O² par les racines des plantes. Le taux d'oxygène disponible pour la croissance bactérienne hétérotrophe est donc beaucoup plus faible permettant par la même d'en réguler la croissance. La pénurie en oxygène limite la minéralisation des molécules carbonées et la nitrification, toutefois elle favorise la dénitrification.

II.3.2.3. Les systèmes hybrides :

Les systèmes hybrides sont en fait l'association en séries de filtres verticaux et de filtres horizontaux. L'intérêt d'une telle association est d'obtenir une bonne nitrification dans les filtres verticaux qui sont bien oxygénés, mais aussi une dénitrification dans les filtres d'anoxie nécessaires à cette réaction. Les rendements de la dénitrification ne sont pas très

élevés car les bactéries dénitrifiantes ont besoin de matières organiques pour se développer et dénitrifier correctement. Or, en sortie des filtres verticaux, la majeure partie de la matière organique a été dégradée, elle n'est donc plus disponible pour les bactéries.

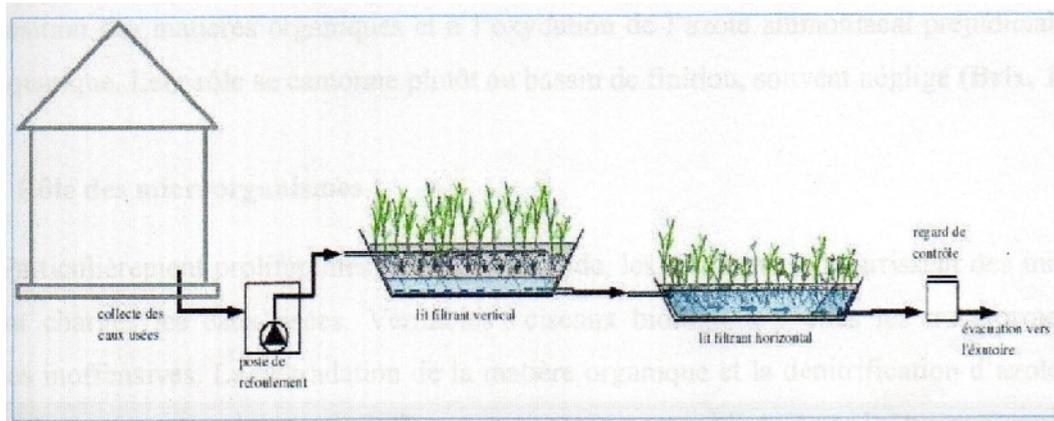


Figure II.3 : coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement hybride (source : Hendrik, 2008).

II.4. Rôle des composants d'un filtre planté de macrophyte :

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

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

II.4.1 Rôle des microorganismes:

Particulièrement proliférantes en milieu humide, les bactéries se nourrissent des matières dont sont chargés les eaux usées. Véritables (ciseaux biologiques) elles les transforment en molécules inoffensives. La dégradation de la matière organique et la dénitrification d'azote dans la région des racines des plantes où s'effectue le traitement est médiée par les microorganismes. L'émission d'oxygène par les racines des macrophytes crée des zones oxygénées autour des racines.

La plupart du contenu organique des eaux résiduaires est décomposé en dioxyde de carbone (CO_2) et eau dans ces zones en utilisant l'oxygène comme dernier accepteur d'électrons. En plus l'ammoniaque est oxydée en nitrates par bactéries nitrifiante dans ces zones. Ici la dégradation de la matière organique peut avoir lieu par bactéries dénitrifiant. Par ces processus les nitrates sont convertis en azote (N_2), qui s'évapore vers l'atmosphère. Dans une région de la hizosphère, la matière organique peut être décomposée anaérobique ment en dioxyde de carbone (CO_2) et méthane (CH_4) par des processus ferment ifs. L'existence simultanée des zones oxydées, anoxiques, et de réduction, et l'interaction entre les différent types de processus de dégradation microbiennes dans ces zones, est essentiel pour une décomposition de la matière organique et un prélèvement des nutriments efficace dans la région des racines des plantes ou s'effectue le traitement. En plus de tels interactions peuvent être favorables pour la décomposition des composés persistants, tel que les hydrocarbures chlorées (Brix, 1987).

II.4.2. Rôle des macrophytes :

- L'apport de forte concentration en matières en suspension, la granulométrie fine des filtres et l'accumulation des matières organiques en surface des bassins peuvent provoquer le colmatage des filtres. Les tiges, rhizomes et racines des micropyles permettent la formation de pores tubulaires permettant de régulation de la conductivité hydraulique initiale.
- La couverture foliaire joue le rôle de régulateur thermique aussi bien en hiver qu'en été. En effet, elle diminue la dessiccation des filtres en période de chaleur permet le maintien des populations microbienne épuratrice tout en réduisant par évapotranspiration le volume d'eau. En hiver, le maintien des parties aériennes diminue les risques de gel.
- De l'oxygène est rejetés à l'apex des racelles des plantes et favorise la nitrification. De plus, l'enchevêtrement des racines associé au fonctionnement par bâchée, assure l'aération des filtres verticaux et le maintien des conditions aérobies pour le processus de nitrification. Le développement racinaire assure la cohésion du sol est le maintien de la répartition granulométrique des bassins au cours du temps. Les racines sont le « ciment » des bassins et jouent un rôle important dans la rétention des matières en suspension dans les bassins à filtration

vertical. Il y a ainsi accumulation de boues qui vont ensuite subir une phase de nitrification.

- Les oscillations des micropyles sous l'effet du vent entraînent un mouvement des tiges et racines dans la masse des boues et au sein du massif. Ainsi, les boues ne risquent pas de colmater les lits des filtrants. Le développement racinaire augmente la surface disponible pour la fixation et le développement des micro-organismes et ainsi la formation de la rhizosphère. Les tissus racinaires et leurs exsudats stimulent l'activité et la diversité des microorganismes.
- Par absorption racinaire les micropyles contribuent à la dépollution des eaux en phosphore de l'ordre de 10 % pour Azote (maximum 20 %) et de 5 % pour le phosphore (maximum 10%). Certains micropyles ont des propriétés intéressantes en termes d'épuration, par exemple l'iris jaune des marais qui émet des toxines par ses racines, réduisant fortement le nombre des coliformes fécaux et éliminant certaines bactéries pathogènes. (Brix, 1997, Vincent. G, 1997).

II.4.3 Rôle des substrats :

Les substrats utilisés pour construire un marais comprennent le sol, le sable, le gravier, les pierres et les matériaux organiques comme le compost.

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

II.5. Les étapes de la phytoépuration :

- L'eau subit d'abord un prétraitement (bac à graisse) pour éliminer les plus grosses particules et matières et éviter le colmatage des eaux de distribution.
- Puis elle passe dans différents bassins remplis de substrat drainant de galets, graviers, pouzzolane et de plante qui servent de support aux bactéries aérobies et aux autres

micro-organismes qui transforment la matière organique présente dans les eaux usées.

- Les plantes aquatiques développent des racines et des rhizomes (rhizosphère) qui envahissent rapidement le substrat. (ceux-ci permettant au milieu de rester bien oxygéné et de conserver une bonne aptitude à la filtration.
- L'exposition de l'eau à des rayons ultra-violets complète efficacement ce traitement par l'action stérilisante de ceux-ci.
- Le traitement peut se terminer par un séjour dans une mare qui affine l'épuration. (Empreinte).

II.6. L'intérêt de la phytoépuration :

- L'intérêt majeur de ce type d'installation est l'intégration harmonieuse dans le paysage.
Les stations d'épuration plantées de macrophytes sont
- En assurant une exploitation fidèle aux préconisations (comme l'alimentation alternée, le coup d'œil régulier sur le circuit hydraulique), le problème des odeurs ne se pose pas l'aération oxygénation en la clé.
- Il est possible, et souvent préférable, de traiter les eaux usées brutes en tête de station, sans décantation préalable : les matières filtrables amenées par les eaux (papier, matières fécales, Ets.) se déposent en surface des lits du 1^{er} étage et constituent ainsi une couche de filtration fine, qui se composte et se minéralise progressivement.
- A la différence des systèmes conventionnels, il n'y a pas de production de boues, mais d'un résidu peu volumineux, stable et minéralisé, à l'aspect de terreau sur le 1^{er} étage de traitement (1,5 cm par an). Il n'y a donc pas de problème de stockage ou de traitement de déchets (un simple raclage de la surface du 1^{er} étage tous les 10 ans suffit).
- L'application d'une filière plantée de macrophytes, du fait de la diversité des facteurs de dégradation mis en jeu, est adaptée à un large éventail d'effluents (Vymazal et al, 1998).
- Les stations d'épurations plantées de macrophytes s'adaptent facilement aux regroupements d'habitations isolés (hameaux, lieux-dits), et offrent ainsi une alternative pertinente à la construction de réseaux de collecte coûteux. De plus, ces

filières n'ont besoin que d'un environnement technique simple (clôture, zones de circulation rustiques, cabanon technique).

- En raison de sa rusticité, ce procédé réduit grandement le coût de la maintenance et la consommation d'énergie.
- En été, moment de l'année où les milieux récepteurs doivent être particulièrement protégés, les zones tampons plantées d'arbres offrent la possibilité de réduire sensiblement le volume et l'impact des rejets.

II.7. Avantage et inconvénient de la phytoépuration :

II.7.1. Avantage de la phytoépuration :

- Elle ne dégrade pas l'environnement principalement dû au fait qu'elle ne dégage pas de gaz à effet de serre. Ainsi elle est constituée de matériaux naturels
- L'exploitation de la station d'épuration est simple et peu contraignante que se soit au niveau du temps qu'au niveau de sa complexité, elle demande donc peu de compétences (Pauline, 1995)
- Le coût de la station d'épuration sur lit de roseaux est peu élevé, en effet à rapport à un système d'épuration intensif, on réalise 20 à 30 % d'économie sur les coûts d'investissement et de 40 à 50 % sur les frais de fonctionnement.
- Du fait qu'elle soit naturelle elle s'intègre totalement dans ce qui l'entoure, ne cassant ainsi pas le paysage. Par les roseaux elle maintient la perméabilité, ce qui laisse peu d'odeur remonter, ainsi il y a peu de nuisances olfactives.
- l'eau traitée par cette station d'épuration est de bonne qualité par rapport à d'autres infrastructures (Yvan, 2002).
- Elle possède une excellente élimination de la pollution microbiologique.
- Contribue au développement et à la diversification de la flore locale, ainsi qu'à la protection de la faune et de la biodiversité. (Yvan, 2002).
- Le traitement est 100 % naturel, sans produit chimique
- la tolérance aux variations de charges et de débits est très importante (Yvan, 2002).

II.7.1. Inconvénients de la phytoépuration :

- Elle ne s'adapte qu'aux petites collectivités de moins de 2000 équivalent-habitants, plus il y a d'habitants plus il y a besoin d'une grande surface, en effet il faut entre 2 et 4.5 m² par habitants.
- Il faut également une pente naturelle suffisante, c'est dire au moins 4m entre l'entrée et la sortie de la station pour que l'eau puisse couler.
- eDe plus même si l'eau a été nettoyée elle n'est pas potable on peut seulement la rejeter dans la nature (Anne., 2001).
- Variation saisonnière de la qualité de l'eau en sortie.
- En cas de mauvais fonctionnement, risque d'odeurs.

II.8. Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons passé en revue les principales recherches, relatives à la technique d'épuration par filtre plantés à macrophytes dite la phytoépuration ou marais artificiels.

L'eau épurée peut enfin être rejetée dans le milieu naturel sans risque majeur. Il est vrai que dans la nature les plantes aquatiques ou non, jouent un rôle considérable dans la purification et l'épuration des eaux naturelles .en faite sont surtout les bactéries qui vivent en symbiose avec les racines ou celles qui s'y fixant le travail d'épuration.

III .1.Introduction :

Les conditions climatiques de la ville de Biskra constituent une niche écologique pour tous les aérophytes et les microphytes, ainsi que les microorganismes tels que les bactéries, les champignons qui assurent à leurs tours le potentiel épurateur des lits à macrophytes à traiter les eaux usées et qui assurent le bon déroulement de ce processus de la phyto-épuration.

Le dispositif expérimental utilisé est situé dans une aire aménagée pour les essais de la phyto-épuration au niveau de l'université de Biskra. Ville caractérisée par un été très chaud et sec et un hiver doux. Son but est d'étudier le rôle du filtre pour la diminution de pollution ainsi celui des macrophytes dans l'élimination du problème de son colmatage.

III.2.Caractérisation des eaux usées de la ville de Biskra.

III.2.1 Présentation climatologique de la ville de Biskra

La ville de Biskra se situe au Sud-est de l'Algérie, elle occupe une superficie de 21.671 Km², son altitude est de 128 mètre/au niveau de la mer. Elle est caractérisée par un climat froid en hiver, chaud et sec en été Avec une température qui dépasse 50° C dans la période chaude. Biskra est caractérisée par des pluies rares et avec des intensités faibles, des vents de sable dominant et le sirocco qui dure plus que trois mois.

III.2.2. Situation du rejet des eaux usées domestiques (Chaabet Roba):

L'agglomération de Biskra rejette actuellement plus de 70.000m³/j d'eau usée. (A.N.A.T, 2010). Le rejet de la ville de Biskra (Figure I.2) est notre point de prélèvement des eaux usées pour les tests expérimentaux. Ce site collecte les rejets domestiques de la totalité de la ville de Biskra.



Figure III.1: Rejet de la ville de Biskra.

III.I.2.3. Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées:

L'eau usée conçue pour l'irrigation des hélrophytes implantés dans le substrat a été prélevée d'un rejet d'origine domestique. Les analyses physico-chimiques des eaux usées (pH, conductivité, turbidité, MES, MO, l'azote, phosphate, nitrate, sulfate, fer, DBO₅ et DCO) ont été réalisées au laboratoire de TIFIB (Entreprise tissage-finissage-Biskra). Les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux sont regroupées dans le tableau I.1:

Les paramètres	Nitrate mg/l	Phosphate mg/l	Azote mg/l
Eau usée brute	3,19	29,90	33,90

Tableau III. 1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées testées

III.3. Analyse de phosphate et des l'azote des eaux usées

a) **Nitrate** : Le nitrate est mesuré en utilisant la méthode engendrée par Rodier 1996, selon le protocole suivant :

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser, ajouter 2 à 3 gouttes de Na OH 30 %. ajouter ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75-80 °C (ne pas surcharger ni surchauffer).
- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser, ajouter 2 à 3 gouttes de Na OH 30 %. ajouter ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75-80 °C (ne pas surcharger ni surchauffer).
- Laisser reposer 10 mn.
- Ajouter 15 ml d'eau distillé.
- Ajouter 15 de tartre double de sodium et de potassium puis passer au spectrophotomètre.
- Effecter la lectures 420 nm.

c) Ortho phosphate:

La détermination de valeurs d'ortho phosphate (PO^{3-}) est effectuée par l'utilisation du réactif molybdovanadate : On ajoute 1 ml de réactif molybdovanadate à un échantillon d'eau distillé de 5 ml, puis effectuer la lecture au spectrophotomètre à 430 nm.

d) Azote ammoniacale :

L'azote ammoniacal est effectué selon la méthode spectrophotométrique au réactif de Nessler (norme NF T90-015).

e) Nitrite :

On utilisant la méthode spectrométrique à la sulfanilamide (ISO 5667). Dont les nitrates réagissent avec la sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui après copulation avec le N-1 Naphtylénediamine dichloride donc naissance une coloration rose. On poursuit le mode opératoire suivant : Dans une fiole, prendre 50 ml d'eau à analyser plus 1 ml du réactif mixte (de la sulfanilamide et le spectrophotomètre pour une longueur d'onde fixée à 534 nm).

III.4. Dosage des phosphates:

III.4.1 La solution nécessaire pour déterminer les phosphates

-10 ml eau distillée.

-10 ml eaux usées.

-Ajouter 1 ml indicateur de phosphate (heptamolybdate d'ammonium)

-attendre 10 min le développement de la couleur bleue.

La détermination de la concentration se fait par un spectrophotomètre visible à une longueur d'onde = 880 nm

III.4.2 Représentation de la courbe d'étalonnage des phosphates :

Après chaque série d'essai, on trace la courbe d'étalonnage $A = f(C)$, absorbance (A) = f (concentrations) mg/l. Dont les résultats sont présentés sur le tableau I.2 et sur la (figure I.2).

Concentration des phosphates (mg/l)	10	15	20	25	30	35	40	45
absorbance	0.285	0.381	0.523	0.638	0.758	0.889	0.968	1.157

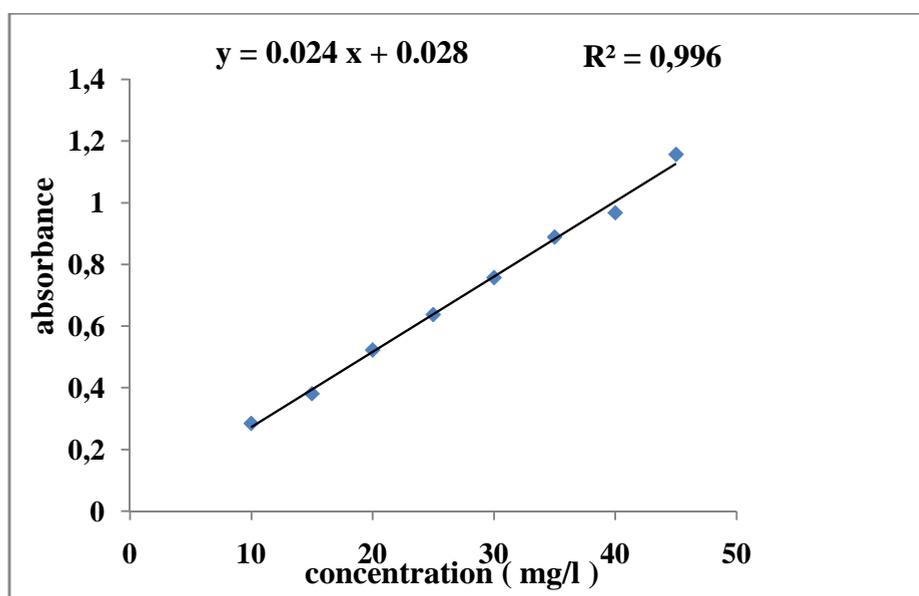


Figure III.2: La courbe d'étalonnage des phosphates.

III.5. Dosage de l'azote ammoniacal :

III.5.1. La solution préparée pour doser l'azote ammoniacal :

- 1 ml eau usée.
- 9 ml eau distillée.
- Ajouter 1 ml sel rochelle.
- Ajouter 1 ml Nessler.
- attendre 1h 30m.

La détermination de la concentration se fait par spectrophotomètre visible à une longueur d'onde = 655nm.

III.5.2 Mise en place des dispositifs expérimentaux :

Les essais expérimentaux ont été réalisés dans la station expérimentale à ciel ouvert situé à coté département de l'hydraulique de l'université de Biskra, aménagée pour effectuer différents essais de la phytoépuration.



Figure III.3. Espace aménagé pour la phytoépuration

Le pilote expérimental est constitué de 05 bacs en plastique d'une capacité de 90L chacun, remplis avec une granulométrie décroissante de couche de gravier alluvionnaire de diamètre $d = 5$ mm, fixée à l'avance, et rempli d'une épaisseur de 40 cm. Deux bacs sont plantés de jeune plante de *Papyrus Cypurus* avec deux densité l'un avec 10 jeunes tiges et l'autres 15 jeunes tiges. Les deux autres sont plantés avec de *Tamarix* aussi un bac avec 10 jeunes tiges et l'autres avec 15 jeunes tiges. Le 5^{eme} est laissé comme témoin. Les cinq bacs sont remplis avec des eaux usées du rejet de la ville de Biskra.

III.5.2.1 Les bacs (filtres) :

Les substrats dans lesquels sont implantées les jeunes plantes de macrophytes, constituant le filtre à base de gravier, remplissant des bacs en plastique à section circulaire, munis de robinets montés à la base. Dans chaque bac (Figure III.4) est disposé d'un massif filtrant plantés d'hélophytes, est équipé d'un tube circulaire en PVC perforé servant à faciliter l'écoulement et un moyen supplémentaire pour l'aération, entouré par un filtre en plastique servant d'éviter tout colmatage des orifices constituant le tube.

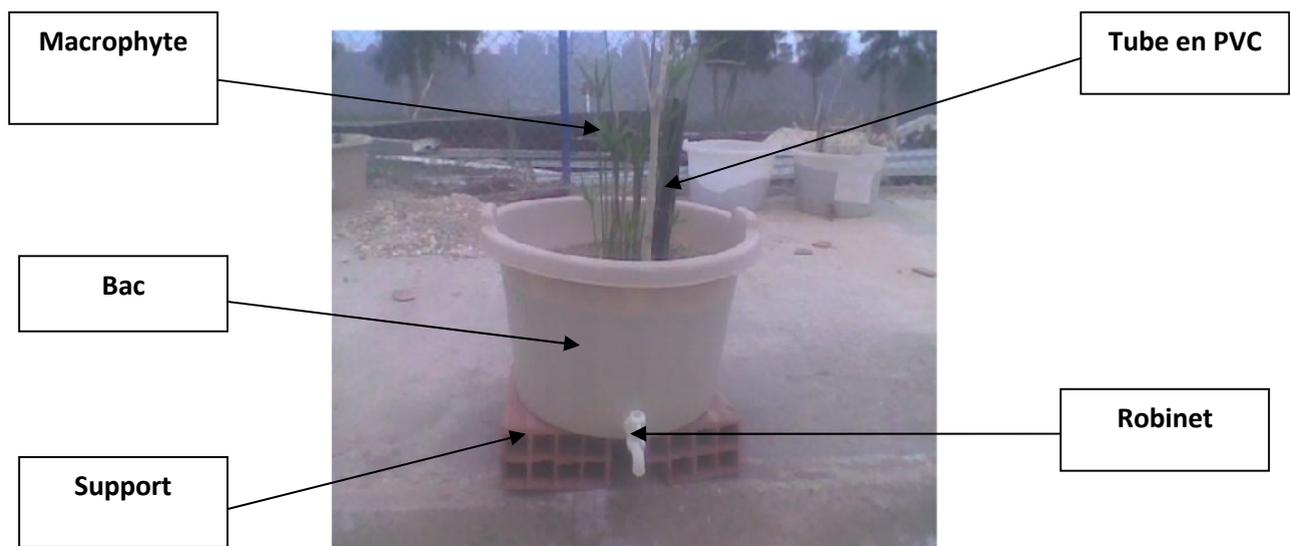


Fig. III.4. Dispositif expérimental

III.5.2.2. Macrophytes utilisées :

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, et l'abondance sans aucun entretien particulier.

Notre travail est basé essentiellement sur deux types de plantes : le *Tamarix* et le Papyrus sont des macrophytes qui appartiennent au groupement des hélophytes et se caractérisent particulièrement par leurs systèmes racinaires très actifs et capables de résister à des conditions très défavorables même si la partie aérienne de la plante est desséchée.

III.5.2.2.1 *Cyperus papyrus* :

Ce genre compte plus de six cents espèces de laïches, 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 paléiformes.

La plupart des espèces ornementales se plaisent au bord de l'eau ou en sol marécageux. Cultivar dans un compost riche, et bien arrosé. Elles tolèrent les rayons directs du soleil. Multiplier par semis ou division. (Burnie et *al*, 2006).

Le papyrus du genre souchet est une plante qui pousse notamment sur les rives du Nil et de son delta. Il est constitué d'une tige ligneuse de section triangulaire supportant des feuilles disposées en étoile à son sommet, Les fleurs sont petites, d'un blanc crème virant au brun à maturité.

Le papyrus a été utilisé pendant longtemps comme matière première pour fabriquer une forme de papier.

Cyperus papyrus atteint de 1m à plus de 2m selon les conditions de culture. Les tiges sont érigées, triangulaires et d'une couleur vert olive. Chaque filament est enserré dans une tunique brune et port une petite fleur à son sommet.

Cette plante est la plus difficile à cultiver car elle réclame plus de chaleur humide que les autres espèces. (wikipédia).



Figure III.5: Représentation du Papyrus cyperus

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 bonne repousse, 'Versicolor ' est un cultivar panaché apprécié dont les feuilles s' ornent de bandes crème

III.5.2.2.2. 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 sécrétant 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)

Tamaris africana : Feuille nettement translucides aux bords et à la pointe aiguë, d'un vert un peu glauque ; fleurs dépassant 3 mm de diamètre, ovoïdes en bouton, à étamines non saillantes, disposées en épis cylindriques épais, denses, nombreux et plus ou moins serrés le long des rameaux ; capsule courte ; 2 à 3 m. (Marika et al, 2009).



Figure. III.6: Représentation du Tamarix africain

III.5.2.3 La composition du substrat :

Un sol 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. Actuellement, dans les lits ou l'écoulement se faisait en percolation, on utilise un sol à granulométrie croissante du haut vers le bas (Fig.III.9). 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.



Figure III.7 : La composition du substrat

III.6. Méthode de travail:

Notre travail consiste à irriguer les quatre bacs de filtres de papyrus respectivement avec, l'eau usée domestique. L'écoulement se fait percolation à travers le substrat. Le prélèvement d'eau de percolation pour le dosage physico-chimique et métallique s'effectue par le biais des robinets à l'aide des flacons en plastiques de différents volumes. Des conditions climatiques, chaleur extrême et l'effet de l'évapotranspiration, les prélèvements ont été procédés à un intervalle de 7 et 10 à 15 jours (figure I.10 et I.11).



Figure III.10 : Méthode de prélèvement



Figure III.11 : Série d'échantillon de prélèvement.

III.7. CONCLUSION:

Les conditions de déroulement de l'expérimentale n'était pas parfait, implantation, prélèvement, conditions climatiques, l'étroitesse de la période expérimentale. Les résultats obtenus selon ces méthodes d'analyses seront illustrés, interprétés et discutés au chapitre suivant.

IV.1. Introduction :

Sur le plan de l'élimination des nutriments, les filtres plantés des macrophytes s'avèrent une solution. Les processus d'élimination du phosphore et de l'azote dans les systèmes de phytoépuration ne sont pas encore connus avec précision. Les mécanismes régulièrement cités pour expliquer l'élimination de N et P sont l'assimilation biologique, la volatilisation de N, la sédimentation des formes particulières et la précipitation chimique de P sous forme de sels de phosphates.

Ces mécanismes sont sous la dépendance de l'activité photosynthétique, laquelle conditionne la croissance des macrophytes et l'élévation du pH au cours de la journée. L'objectif du travail est d'examiner le devenir de N et P des eaux usées traitées par un filtre planté de macrophyte..

IV.2. Performances épuratoires des filtres :

IV.2.2.1. L'abattement de l'azote ammoniacal :

Le suivi de l'évolution de l'azote est basé sur une relation symbiotique plantes-bactéries, dans laquelle les bactéries utilisent l'oxygène fourni au milieu par les plantes pendant la photosynthèse pour dégrader le carbone organique. L'abattement de l'azote à l'entrée et la sortie du filtre et même pour le filtre témoin est présenté sur la figure (IV. 1).

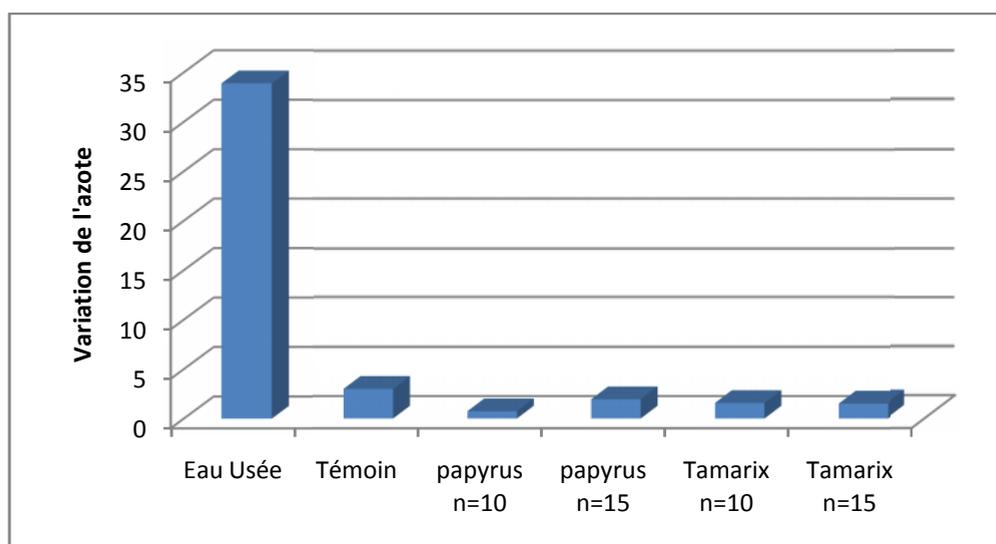


Figure IV. 1 L'abattement de l'azote à l'entrée et la sortie du planté et témoin.

Nous observons une augmentation très nette des rendements d'élimination de l'azote ammoniacal de l'ordre de 92,76% pour le papyrus et de 91,98% pour le filtre planté de Tamarix (figure IV.2). La séquence nitrification-dénitrification est considérée comme le processus majeur d'élimination de l'azote (Reddy et al, 1989). En conditions anaérobies, les nitrates peuvent être éliminés par dénitrification microbienne.

Cela explique la diminution du taux de l'azote ammoniacal par le filtre planté de papyrus et même pour le filtre on planté. L'absorption de l'azote par la plante résulte d'une élimination temporaire d'une portion disponible de nitrate et d'ammonium. Ce pendant, à moins que les plantes ne soient faucardées, une portion non négligeable d'azote fixé peut retourner dans le système sous forme dissoute (Reed., 1990).

Pour la réduction des nitrates, nous constatons une augmentation très remarquable des teneurs en nitrates à la sortie du filtre de papyrus et avec une augmentation aussi supérieure pour le filtre nu. En effet les macrophytes aquatique tels que le roseau sont dotés d'une espace d'air interne bien développé à travers les tissu de la plante qui assure le transfert de l'oxygène vers les racines et les rhizomes (Brix, 1994). Ces quantités d'oxygène favorisent pratiquement la prolifération bactérienne nitrifiante au niveau de la rhizosphère

IV.2.2.2.Rendements d'élimination des phosphates :

La concentration de PO_4^{-3} dans les filtrats du filtre planté de papyrus est inférieure à celle des filtrats du témoin. Elle augmente légèrement avec la croissance des plantes Figure (IV. 8).

Chapitre IV Possibilité d'élimination des phosphates et de l'azote sur des filtres plantes de papyrus et tamarix

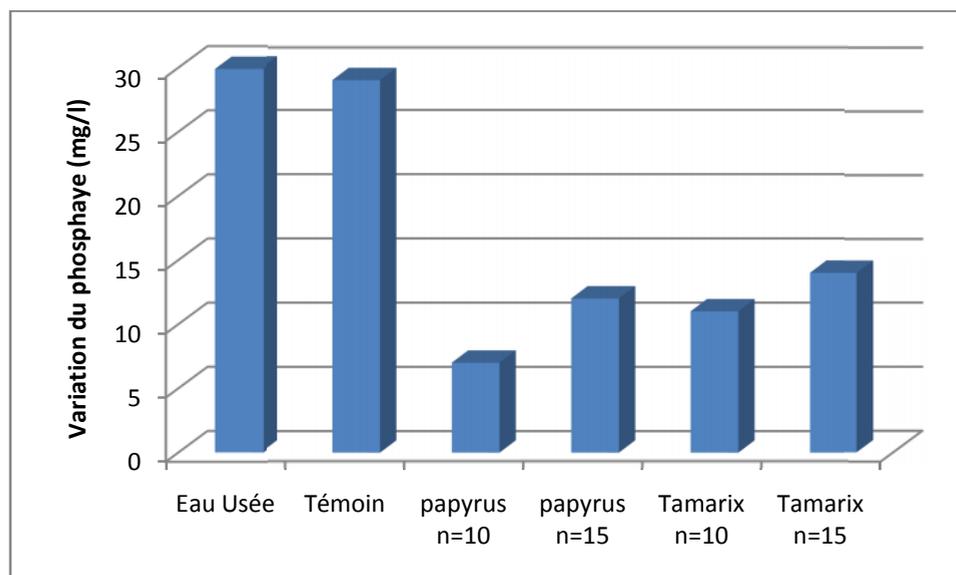


Figure IV. 2. Teneur en phosphate avant et après filtration.

Les rendements épuratoires correspondants sont plus élevés dans le filtre planté par rapport au témoin. On obtient en moyenne, une réduction de 70,65% et 49,18% respectivement pour le filtre de papyrus et le filtre nu (Figure IV. 2). Selon (Brix., 1997), certaines plantes consomment une quantité appréciable de phosphore lors de leur croissance. Elles peuvent emmagasiner celui-ci dans les racines et rhizomes, les tiges et les feuilles.

La concentration de PO_4^{-3} a diminué dans le filtre planté cette diminution pourrait résulter d'une assimilation bactérienne et ou végétale et par l'absorption de PO_4^{-3} dans le filtre planté, (Molle, 2003), (Brix, al.2000 et kayambadde. J, et al, 2004). Comparativement au témoin (49,18%), le filtre planté donne le meilleur rendement d'enlèvement de PO_4^{-3} (70,56%). Cette observation serait due a la prise de PO_4^{-3} par P. maximum pour assurer ses besoins physiologiques, ce qui augmente l'enlèvement de PO_4^{-3} dans le filtre a papyrus.

IV.3.CONCLUSION :

L'épuration des eaux usées domestiques par des filtres planté de papyrus et de Tamarix avec des densités variable est assurée par la prolifération des bactéries soient qui se trouvent au niveaux des eaux usées ou bien aux niveaux des racines des plantés.

L'objectif de ce chapitre était de mettre en évidence les potentialités des filtres plantés de Papyrus et de Tamarix à éliminer le phosphore et de l'azote qui existe dans les effluents du rejet de Biskra. D'après les résultats détenues ou a observé une élimination imprévue du

Chapitre IV Possibilité d'élimination des phosphates et de l'azote sur des filtres plantes de papyrus et tamarix

phosphate et de l'azote par le filtré plou lé de papyrus avec une densité de $d = 20$. Plante /m²
mémé observation est déterminée pour tamarix

Alors que par rap pst aux macrophte le papyrus est plus rentable que le tamarix le filtré a pour rôle de purger Ces deux polluants et laisser le temps suffisant pour dégrader les deux polluants

CONCLUSION GENERALE

Le rejet des nutriments (phosphates et nitrates) issues des eaux usées domestiques entraînent la dégradation des écosystèmes (74 % du territoire français concerné en 2006). Depuis la fin des années 1990, la technologie des filtres plantés de roseaux (FPR) est de plus en plus employée pour le traitement des eaux usées domestiques. Cependant, des limites de traitement existent sur les concentrations résiduelles en azote (rejet de 70-80 mg NTOT.L-1) et en phosphore (rejet > 10 mg PTOT.L-1), en vue de répondre à la réglementation future. Ce travail a eu pour objectif de tester le pouvoir des filtres plantés des macrophytes à piéger le phosphore et l'azote. Le suivi des performances épuratoires a été réalisé au cours du temps.

Cette étude met en lumière les mécanismes qui sont à l'origine de l'élimination des nutriments N et P au cours de l'épuration des eaux usées dans un filtre planté de macrophyte. L'alternance entre le processus de sédimentation dominant pendant la période d'adaptation et celui de la minéralisation, qui conduit à la mobilisation de ces deux éléments en phase stationnaire, est mise en évidence. Une telle situation suggère la mise en place lente et progressive d'une flore principalement des macrophytes.

Ce travail révèle la simplicité et l'efficacité des procédés naturels par filtres plantés par rapport à la complexité d'une station d'épuration classique. La conception de filtres plantés de macrophytes possède réellement de nombreux avantages ; c'est une technique simple, économique, efficace, fiable, adaptable au lieu, demandant peu d'entretien et qui s'insère bien de le paysage local.

L'azote ammoniacal, présent dans les eaux usées par l'apport de l'urée et l'ammonification de l'azote organique (des protéines) est fortement consommatrice d'oxygène : il faut environ 4,5 g d'oxygène pour nitrifier un gramme d'azote ammoniacal. De plus, l'azote ammoniacal est potentiellement toxique pour les alevins, car lorsque le pH augmente le NH_4^+ se transforme en gaz ammoniac. L'élimination du phosphore contenu dans les eaux résiduaires vise en général à lutter contre l'eutrophisation des milieux aquatiques qui affecte différents usages de l'eau. Nous pouvons affirmer qu'il est aujourd'hui tout à fait possible techniquement d'obtenir des bonnes performances en azote global avec des filtres plantés de macrophytes.

Les résultats obtenus dans cette étude permettent de confirmer la performance globale des systèmes à macrophytes à traiter les eaux domestiques, sous climat aride et sous les conditions expérimentales adoptées.

Une élimination importante est observée dans le filtre de papyrus et de Tamarix avec des densités variables. Cette élimination peut atteindre, l'azote 90,76% et les phosphates 90.25%. Le filtre planté de macrophyte sont des systemss robuste est efficace.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

1. **Resjeck. F, 2002.** Analyse des eaux, aspect réglementaire et technique. Edition : Scérène.p. 166-195.
2. **Fabry J.A. Brissaud. F., 1997.** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office international de France de l'eau, p 76.
3. **Champoux. André et Claude Toutant, 1988.** Éléments d'hydrologie. Les éditions Le Griffon d'argile.
4. **Urinos.I, 2005.** Techniques d'épuration des eaux usées. Techniques et dimensionnement. Paris : 11
5. **Rodier. J, 1984.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Édition : bordas, Paris, Pi 365.
6. **Bontoux. J, 1993.** Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelle, eaux usées de boisson ; qualité et santé 2^{ème} Edition : Lavoisier Technique et documentation. Paris, p 163.
7. **Olivier. T, 1995.** Métrologie des eaux résiduaires. TEC et DOC. P : 7-56.
8. **Oubli. M. s, 2001.** Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux Edition : OPU, Ben Aknoun, Alger. PI7.
9. **Rodier, j. 1996.** Analyse d'eau : eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer, 8^{ème} édition DUNOD. P01.
10. **Vincent G, 1997.** Les capacités naturelles d'épuration des écosystèmes aquatiques. Quatre-temps 20,38-41.
11. **Brix. H et al., 2000.** How car phosphorus removal de sustained in subsurface-flow constructed wet lands? In 7th international conference on wet lands systems for water pollution control. Nov 11-16-18. Florida (USA).
12. **Anne. 2001.** Epuration des eaux uses domestique par les bassins filters à plantes aquatiques. Rivière de l'association Eau Vivante 18.
13. **Yvan S. J., Cécile T., Michel J., 2002.** Dossier « Assainissement autonome. Histoires d'eau usée », revue la maison écologique n° 8.p14-22
14. **Abissy et mandi, 1999.** Utilisation des plantes aquatiques enraciées pour le traitement des eaux usées urbaines : ces du Roseau.

- 15.Cieh, 1993.** Comité Interafricain d'études Hydrauliques « Etude comparative des systèmes d'épuration collectifs dans le contexte africain ». Cieh, Ougadougou, 66p.
- 16.Abissy et Mandi. ,1998.** Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines : cas des roseaux, revue des sciences de l'eau rev.sci.eau 12(2), p 285- 315.
- 17. Brix. H., 1994.** Functions of macro- phytes in constructed wetlands. Wat. Sci. Tech. vol.29, n°.29, p71- 78.
- 18.Molle. P, 2003.** Filters plantés de roseaux: limites hydrauliques et rétention du phosphore. Thèse de doctorat, université mont pallié II, 217p.
- 19.Juive ph., 2004.** Basse Flor Index botanique, écologique et chronologique de la flore de France. Version 23 Avril 2004. P10.
- 20.Brix. H., 1987.** Treatment of waste water in the **rhisosphere** of wetland plants – the root –zone method, wat. Sci. Tech, 19, Rio, p 71- 78.
- 21.Biddelstone A.J et al., 1991 b.** A botanical approach to the treatment of waste waters, journal of biotechnology, 17, 209- 220.
- 22.Biddelstone A.J et al, 1991,** A treatment of dairy farm waste waters in engineered reed bed systems, Process Biochemistry, 26, p 265- 268.
- 23.Boutin.C, 1987.** Domestic wastewater treatment in tanks planted with rooted macro- phytes: case study, description of the system, design criteria and efficiency. Wat. Sci.**Tech**, p 29 -40.
- 24.Boutin.C. (1987).** Domestic wastewater treatment in tanks planted with rooted macrophytes: case study, description of the system, design criteria and efficiency. Wat. Sci. Tech. pp29-40. uptake of water hyacinth,
- 25.Kyambadde J. et al, 2004.** A comparative study of cyperus and miscanthidium violaceum-based.Constructed wetland for waste water treatment in a tropical country.wat.res.38, 475-485.
- 26.Ben Ameer. Nassima. 2010.** Analyse des micro-organismes presents dans les lits à macro-phtes lors de la phyto-épuration des eaux useés. Mémoire de Magister en biologie. Université M^{ed} Khider-Biskra.
- 27. Rodier,J. 1996.** Analyse d'eau : eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer, 8^{eme} édition DUNOD. P01.

- 28. Ouazzani N, 1998.** Traitement extensive des eaux usées sous climat aride en vue d'une reutilization en agriculture. Th. Doct. Unir. Cadiayyad, Maroc, 193 P.
- 29. Finalyson C. M., Chick A.J., 1983.** Testing the potential of aquatic plants to treat abattoir effluent. Wat. Res., 17, (4), 415-422.
- 30. Cristina S. C. Calheiros, Antonio O. S.S. Rangel, Paula M.L, Castro 2009:** Constructed Wetland system vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater. Water research 41 p1790-1798.
- 31. Reddy, K. R et al, 1989.** Oxygen transport through aquatic macro-phytes: the role in waste water treatment. Journal of environmental quality 19: 216-267.
- 32. Miquel G.** La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 2003, tome i, 98p
- 33. Reed. S.C. 1990.** Natural system for waste water treatment. WPCF, p 211-260.
- 34. Vincent G., D'allaire S., Lauzer D. (1994).** Antimicrobial properties of roots exudates of three macrophytes: *Mentha aquatic L.*, *Phragmites australis* (Cav.) Trin and *Scirpus lacustris L.*... proceedings of the 4th International Conference on Wetlands Systems for Water pollution Control, Guangzhou, China. p150-155
- 35. Brix H., 1987.** The applicability of the wastewater treatment plant in Othfresen as scientific documentation of the root-zone method, Wat. Sci. Tech., 19-24.
- 36. Pauline M.S., 1995.** Cours de procédé unitaires biologiques et traitement des eaux. Edition OPU, Ben Aknoun, Alger.
- 37. Cherak. X., 1999.** Etude expérimentale de l'influence des eaux répudiées (Batna, fendis, el-Madler) sur certaine activité microbiennes (minéralisation du carbone et de l'azote) dans un sol calcaire de la région d'el Madler (W. de Batna) incidence sur les microflore telluriques et le comportement d'une graminée fougère (*avena abla* « WL »-88). Thèse magister- institue d'agronomie. Université Batna. 108p
- 38. Hidrik. 2008 ; www. Hidrik. Com**

RESUME

Dans les zones arides et semi-arides ou l'eau constitue un facteur limitant de la production végétale et ou les besoins liés à l'accroissement de la population et de son niveau de vie augmentent, le volume des eaux résiduaires produites augmente, de façon importante et continuera à augmenter régulièrement

On peut, alors, considérer que les eaux résiduaires constituent, dans ces conditions, une source inépuisable

C'est d'ailleurs la seule ressource en eau qui va croître dans l'avenir sa prise en compte est donc primordiale et sa valorisation doit en conséquence être intégrée dans les objectifs de développement durable à condition qu'elles soient épurées

Les filtres plantées de macrophytes (phytoépuration) est une solution importante à fin de traiter les eaux usées, ils offrent une alternative écologique, économique, durable et esthétique le principe est simple :les bactéries aérobies (qui ont besoin d'oxygène et ne dégagent pas de mauvaises odeurs) transforment les matières organiques en matières minérale assimilables par les plantes en retour, les plantes aquatiques (macrophytes) fournissent de l'oxygène par leurs racines aux bactéries

في المناطق القاحلة و شبه القاحلة حيث الماء هو العامل المحدد في المحاصيل الزراعية الاحتياجات المرتبطة بالزيادة السكانية و بمستوى الحياة المتزايدة و حجم مياه الصرف الصحي في تزايد بصفة مهمة و مستمرة و ارتفاع منتظم

نستطيع مياه الصرف الصحي في ظل هذه الظروف مصدر لا يمكن الاستغناء عنه هي المصدر الوحيد في الماء الذي سيتضاعف في المستقبل مع الأخذ بعين الاعتبار مياه الصرف الصحي كأولوية و يجب له قيمة في أهداف التطوير الدائم مع شرط تكون هذه المياه مصفاة.

المرشحات المزروعة بالنباتات المائية هي الحل الوحيد لمعالجة مياه الصرف الصحي و هي تمنح توازنا بيئيا اقتصاديا جماليا و مستداما. بسيط البكتيريا الهوائية (أكسجين و لا تبعث منها رائحة) تحويل المواد العضوية مواد معدنية التي اتخذت من قبل النباتات. في المقابل النباتات المائية توفر الأوكسجين جذورها من البكتيريا.

الهدف من هذه الدراسة هو مقارنة قوة التقنية

كلمات مفتاح مياه الصرف الصحي معالجة بالنباتات نباتات مائية