

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de génie civil et hydraulique
Référence :

جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري
المرجع:



Mémoire de master

2^{ème} année

Hydraulique Urbaine

**Elimination des polluants organiques présents dans
les eaux usées domestiques de la commune de Sidi
Okba, par un filtre planté de macrophytes**

Etudiants :

KIHAL MAHMOUD

Encadreur :

M^{me} : SEGHAIRI NORA

Promotion juin 2014

Remerciements

Je remercie profondément mon encadreur Madame **SEGHAIRI NORA** Docteur à l'université Mohamed Khider de Biskra pour l'intérêt constant qu'elle a porté à ce travail en acceptant de diriger cette étude, pour sa disponibilité, ses orientations et ses remarques fructueuse. Qu'elle trouve ici ma profonde gratitude.

Nous remercions aussi **les membres de jury**, qui nous avons fait l'honneur d'évaluer ce travail.

Nous remercions **Mr.Bouziane Toufik**, chef du Département d'Hydraulique

Nous tenons à remercier **Mr. khelifa Mohamed Lamine**, pour sa grande disponibilité ainsi que pour ses nombreux conseils sa gentillesse, et sa patience.

Nos remerciements vont également aux plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

J'adresse mes remerciements à ma famille, tous mes amis. Merci pour votre soutien

Dédicaces

Mahmoud

Aux plus chers des cher,

Aux plus beaux de ce qu'a eu la terre,

A mon père et ma mère qui m'ont toujours soutenu et encourage tout au long de ma vie,

Aux meilleurs des frères, Samir ,

A mes très chers sœurs Amina et salima,oumaïma

A toute ma grande famille A mes cousins et cousines,

A tous mes amis (es),

A celui qui m'a épaulé pendant les plus durs et les plus beaux moments de ma vie,

A mon ami, complice, frère, Telli anis.

SOMMAIRE

Introduction Générale

Chapitre I :caractérisation des eaux usées domestiques

I.1 Introduction.....	2
I.2. Origine et quantité des eaux usées.....	2
I.2.1. Les eaux usées domestiques.....	2
I.2.1.1 Agent physiques.....	2
I.2.1.2 Agents chimiques organiques	3
I.2.1.3 Agents chimiques inorganiques.....	3
I.2.1.4 Agents biologiques	3
I.2.2. Les eaux usées industrielles	3
I.2.2.1 Polluants physiques.....	4
I.2.2.2 Polluants chimiques organiques.....	4
I.2.2.3 Polluants chimiques inorganiques.....	4
I.2.3. Les eaux pluviales.....	4
I.2.4. Les eaux agricoles.....	5
I.3. Les principaux paramètres physico- chimiques de pollution.....	5
I.3.1. Température.....	5
I.3.2 Conductivité électrique	5
I.3.3. Turbidité.....	6
I.3.4. Couleur	6
I.3.5. pH.....	7
I.3.6. Oxygène dissous.....	7
I.3.7. Les matières en suspension(M.E.S).....	7
I.3.7.1. Les matières volatiles en suspension(MVS)	8
I.3.7.2 Les matières minérales (M.M).	8
I.3.8. La demande biochimique en Oxygène(DBO).....	8
I.3.9. Demande chimique en oxygène (DCO).....	9
I.3.10. Pollution par les différentes formes d'azote.....	9
I.3.10.1 Origines et caractéristiques.....	9
I.3.10.2 Impact de la pollution par l'azote ammoniacal sur l'environnement.....	10
I.3.11.La pollution phosphatée.....	11

SOMMAIRE

I.3.11. 1 Origine et caractéristiques.....	11
I.3.11.2 Impact sur l'environnement.....	11
I.3.11.3.1 effets connus sur la santé humaine.....	12
I.4. L' impact des eaux usées sur l environnement et la sante.....	12
I.4.1. Impact des eaux usées sur la flore.....	12
I.4.1.1. Sur la nutrition minérale des plantes.....	12
I.4.1.2. Sur la croissance des végétau.....	12
I.4.1.3. Sur la santé humaine	12
I.5. Conclusion	13

Chapitre II :le proced de la phytoepuration

II. 1. Introduction.....	14
II.2. Historique de la Phytoépuration.....	14
II.3.Principales caractéristiques de l'épuration par lits planté.....	15
II.3.1. Rôle de macrophytes	15
II.3.2. Filtres plantés de roseaux	16
II.3.2. a) Filtres plantés de roseaux à écoulement vertical.....	16
II.3.2.b) Filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal.....	19
II.4. Les mécanismes d'élimination et les performances épuratoires.....	20
II.4.1. Les matières en suspension	21
II.4.2. La matière organique	22
II.4.3. Les métaux	22
II.5. Les plantes aquatiques.....	22
II.5.1. Définition de macrophytes	22
II.5.2. Classification de macrophytes	23
II.5.3. Les plantes utilisées dans le système d'épuration.....	23
II.5.3. 1 Typha Latifolia	24
II.5.3. 2. Arundo donax.....	24
II.6. Conclusion.....	25

Chapitre I :methodes et materiels

I.1. Introduction.....	26
I.2. Aperçu général sur la zone d'étude.....	26
I.2.1. Situation géographique.....	26
I.2.2. Caractéristique climatologique.....	27

SOMMAIRE

I.2.3. Rejet des collectivités.....	27
I.3. Mise en place du dispositif expérimental.....	28
I.3.1. Préparation des filtres et la plantation des macrophytes.....	28
I.3.2. Choix du substrat.....	30
I.3.3. Choix des plantes.....	30
I.4. Paramètres physico-chimiques.....	31
I.4.1. Les prélèvements des eaux traitées	31
I.4.2. Les analyse effectuées.....	32
I.4.3. Dosage des paramètres physico chimique des eaux usées.....	32
a) Température (T°).....	32
b) Oxygène dissous.....	33
c) Oxygène dissous.....	33
d) Conductivité électrique (CE)	34
e) Couleur.....	34
f) Les Nitrates	35
g) Les Nitrites.....	35
I.5. Conclusion.....	36
Chapitre II :Le rôle de macrophytes dans l'épuration des eaux usées de Sidi Okba	
II.1. Introduction.....	38
II.2. Performances des filtres plantés.....	38
II.2.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées.....	38
II.2.2. Variations des paramètres physico-chimiques.....	38
a) Le pH.....	38
b) La conductivité.....	39
c) La turbidité.....	40
d) L'oxygène dissous (O ₂)... ..	41
II.3. L'abattement des nitrates et des nitrites à la sortie des filtres plantés.....	42
II.3.1. L'élimination des nitrates sur les filtres de Typha et de l'Arundo donax.....	42
II.3.2. Le taux d'élimination des nitrites dans les filtres plantés.....	43
II.4. Conclusion.....	45

Liste des figures

Figure II.1: Schéma d'un filtre planté de roseaux a écoulement vertical (Stoter Denis, 2009)	17
Figure II.2.: Schéma d'un filtre à écoulement horizontal. (Stoter. Denis, 2009) ...	18
Figure II.3 : Typha Latifolia Hors-sol.....	21
Figure II.4 : Les racines de Typha Latifolia souterraine.....	22
Figure II.5: Arundo donax (la canne de Provenç)	21
Figure I.1: Carte géographique de la commune de Sidi Okba.....	26
Figure I.2 : Rejet des collectivités de la commune de Sidi Okba.....	28
Figure I.3 : Aire aménagée pour la phytoépuration.....	29
Figure I.4: Choix du substrat.....	30
Figure I.5: Représentation du Typha Latifolia et l'Arundo dona.....	31
Figure I.6 :méthode oxygène dissous.....	33
Figure I.7 : pH mètre.....	34
Figure I.8 : Conductimètre.....	34
Figure I.9 : Turbidimètre.....	34
Figure I.10 :Spectrophotomètre UV – Visible.....	35
Figure I.11 :Spectrophotomètre UV – Visible.....	36
Figure II.1 : Evolution du pH dans les eaux récupérées des filtres plantés par rapport aux temps de séjours.....	39
Figure II.2 : Evolution de la conductivité dans les eaux récupérées des filtres plantés par rapport aux temps de séjours.....	40
Figure II.3 : Teneurs de la turbidité au niveau du rejet et des filtres plantés.....	40
Figure II.4 : Les teneurs en Oxygène dissous à la sortie des filtres plantés.....	41
Figure II.5 : Evolution des nitrates dans les eaux récupérées des filtres plantés par rapport aux temps de séjours.....	42
Figure II.6: Teneurs en nitrates récupérées à la sortie des filtres plantés après 8 jours.....	43
Figure II.7. Le taux d'élimination des nitrites dans les filtres plantés.....	44
Figure II.8. Rendements d'élimination des nitrites sur le filtre planté de Typha.....	45

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification des eaux d'après leurs conductivités (AFNOR).....	7
Tableau 2 : Classification des eaux d'après leur pH D'après (AFNOR).....	6
Tableau 3 : Echelle de valeurs de DBO ₅ (AFNOR).....	9
Tableau I.1 : Caractéristique physico chimiques des eaux usées de la commune de Sidi Okba.....	28
Tableau I.2 : Caractéristiques du substrat.....	30
Tableau I.3. Matériels utilisées pour analyse physico chimique.....	32
Tableau I.5.lagamde nitrite.....	35
Tableau I.5 : La gamme des nitrites	36
Tableau II.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées testées.....	38

Introduction générale

Introduction générale

Le rejet des eaux usées chargées en substances polluantes, dans le milieu récepteur sans aucun traitement préalable est un motif de préoccupation croissant compte tenu des effets indésirables qu'elles peuvent engendrer sur l'environnement et sur la santé. Pour cette raison, les eaux usées devraient être soumises à un processus de traitement avant leur rejet dans l'environnement (**Messrouk .H, 2012**).

Le rejet des eaux usées domestiques peut provoquer de graves problèmes environnementaux en raison de sa forte demande en oxygène et la concentration élevée en azote et en phosphate (**Daniel et al. 2001**). Les systèmes classiques de traitement des effluents posent des problèmes fréquents en raison du fait qu'ils travaillent souvent au-dessus de leur capacité en raison d'une mauvaise conception ou de l'augmentation de la production. Comme solution devant les problèmes rencontrés par ces techniques de traitement on a une autre méthode qui sert à éliminé d'une manière naturelle et économique le phénol dissous dans les eaux usées quelque soit leur origine, c'est la phytoépuration. Cette technique très prometteuse, efficace, simple et peu coûteuse se reflète dans le traitement biologique de ces effluents.

Les techniques extensives d'épuration des eaux usées par leur rusticité présentent des atouts importants comme le faible coût s de construction et de maintenance, l'adaptation aux variations de charges et la faible demande d'énergie (**Brix., 1993. Vethoeven et al 1999**). Ces caractéristiques, expliquent l'intérêt et les espoirs suscités par ce type de technologie dans les pays en développement (**Kivaisi,2001**). C'est dans cette perspective que s'inscrit l'objectif de ce mémoire, qui est de mettre en évidence les potentialités de deux plantes (*Arundo donax* et *Typha latifolia*) à épurer les eaux usées domestiques de la commune de Sidi Okba, ville de Biskra.

Outre l'introduction générale et la conclusion générale, notre étude est constituée de deux parties:

Dans la première partie de ce mémoire, nous rappellerons quelques concepts de base relatifs aux caractéristiques propres eaux usées ainsi qu'aux plantes épuratrices adaptées aux systèmes de phytoépuration. La deuxième partie permettra de donner d'une part un aperçu sur les différentes méthodes et matériels utilisés et d'observer d'autre part, l'influence de plusieurs paramètres, sur l'épuration des eaux usées. Enfin, nous avons terminé le mémoire par une conclusion générale résumant les principaux résultats de ce modeste travail.

CHAPITRE I :
Caractérisation des eaux
usées domestique

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 variées 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 .Fraiches, ces eaux sont exemptes de nitrites ou nitrates. Leur quantité de phosphore inorganique sous forme de PO_4^{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 apparaître 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 surveilles. 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 courant 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 (**Uri**

os, 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 (**Bontoux, 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. Le 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 entrainer 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 (O₂). 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 DBO₅, retenue par la direction Européenne du 21 mai 1991 (Norme AFNOR NF T.90.103) tableau 3. La DBO₅ correspond à la demande biochimique en oxygène après 5 jours d'incubation de l'échantillon à une température de 20°C. **(Ouali, 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

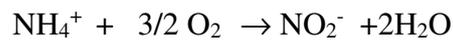
1.3.10.1 Origines et caractéristiques

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).

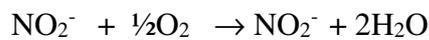
L'élément azote existe principalement sous forme ionique (ammonium NH₄⁺, nitrite NO₂⁻ et nitrate NO₃⁻) ainsi que sous forme gazeuse (N₂). L'origine de ces polluants est par ordre décroissant : l'utilisation massive des engrais, le développement industriel et le rejet des eaux résiduaires urbaines. Nos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



Lamotte gâteaux 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 faible 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 (Cl_{50}) pour un certain nombre d'espèces de poissons varie entre 0.2 et 1.1 mg NH_3/L pour les salmonidés et entre 0.7 et 3.4 mg NH_3/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. Etres 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.L' 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 résiduares, 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. (Cherak, 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. (Cherak, 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 (Asano, 1998).Les voies d'exposition sont multiples :

»Contact avec la terre et les poussières soulevés 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'être 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.

CHAPITRE II :

Le procédé de la phytoepurat

II. 1. Introduction

Les techniques extensives d'épuration des eaux usées par leur rusticité présentent des atouts importants comme le faible coût de construction et de maintenance, l'adaptation aux variations de charges et la faible demande d'énergie (**Brix., 1993; Verhoeven et Meuleman, 1999**). Bien que cette technologie soit normalement conçue pour le traitement des eaux usées domestiques, elle peut avoir des applications plus larges, comme les rejets industriels (**Dunbabin et Bowmer, 1992**). Il s'agit d'une application faisant partie d'un domaine particulier de l'ingénierie environnementale, la phytoépuration. Elle est basée sur l'utilisation des plantes pour la décontamination des eaux et des sols contaminés par des polluants organiques et inorganiques. (**J.B. Poulet & al, 2004**).

II.2. Historique de la Phytoépuration

La technologie de traitement des eaux usées en utilisant des plantes est apparue en Europe d'Ouest basée sur une recherche de SEIDEL qui a commencé durant les années soixante, et par KICKUTH à la fin des années soixante-dix et dernièrement durant les années quatre-vingt. Des travaux avancés ont commencé aux Etats Unies au début des années quatre-vingt (1980) avec la recherche de WOLVERTON, GERBERGET et al. (**EPA, 1993**). Le système développé par SEIDEL comprend des séries de lits composés de sable ou gravier supportant une végétation aquatique immergée tel que la massette « Typha », le jonc, et le phragmite qui a été le plus communément utilisé, et dans la majorité des cas le plan d'écoulement été vertical. (**EPA, 1993**). Dans le nord d'Amérique, des observations de la capacité assimilatives des terres émergées naturellement mène à l'expérimentation avec différents modèles de marécages construits durant les années soixante-dix. (**EPA, 1993**.)

Commençant en 1985, un nombre de systèmes de « lits de phragmite » a été construit en Angleterre basés sur les concepts de KICKUTH, mais plusieurs cas utilisaient le gravier au lieu des sols cohésifs dus à la conductivité hydraulique (élevée) (**EPA, 1993**). La technologie des filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux usées domestiques est une technique au développement récent. Apparue en France dans les années quatre-vingt cette technique de traitement a vu son développement s'accroître depuis 1997. La forte demande actuelle pour ce type de station d'épuration de la part des élus est réelle. Il s'agit d'une technologie fiable, simple d'exploitation, facilitant grandement la gestion des boues d'épuration et qui, de surcroît, est bien acceptée par les habitants en raison de sa bonne

aptitude à l'intégration paysagère. Ainsi, elle s'avère fortement recommandée pour les petites collectivités et les pays à faibles ressources financières (**Brix., 1993**).

II.3.Principales caractéristiques de l'épuration par lits plantés

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 :

- 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.

- 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.

- 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.

- 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., 2003**).

- Aussi la présence des macrophytes assure une protection contre le gel dans la mesure où les massifs en hiver sont couverts par la végétation. (**Agence de l'eau, 2007**).

II.3.1. Rôle de macrophytes

La présence de plantes épuratrices contribue à :

- empêcher la formation d'une couche comatante en surface liée à l'accumulation des matières organiques retenues par filtration mécanique.

favoriser le développement de micro-organismes cellulolytiques lesquels contribuent au même titre que les rhizomes, racines, radicules mais aussi lombrics à une minéralisation poussée de

la matière organique avec formation d'une sorte de terreau parfaitement aéré et de perméabilité élevée. (Molle.P, 2003)

- assurer une protection contre le gel dans la mesure où les massifs en hiver sont couverts par la végétation.
- Créer de l'ombre et donc maintenir une hygrométrie contribuant à la formation d'une biomasse bactérienne
- accroître la surface de fixation des microorganismes par le développement racinaire. De plus, il semblerait que les tissus racinaires et leurs exsudats constituent des niches plus accueillantes que des substrats inertes car un sol planté est biologiquement plus riche et actif qu'un sol nu.
- participer à l'intégration paysagère des dispositifs.

II.3.2. Filtres plantés de roseaux

Les filtres plantés de roseaux ou rhizosphères sont des excavations étanches au sol remplies de couches successives de gravier ou de sables de granulométrie variable, et leur fonctionnement alterne des phases d'alimentation et de repos.

a) Filtres plantés de roseaux à écoulement vertical

Le traitement est effectué sur plusieurs étages en série (en général deux) constitués en général de trois surfaces élémentaires en parallèle et fonctionnant en alternance. Où ils sont alimentés par bâchées et par immersion temporaire de la surface permettent un renouvellement de l'atmosphère du massif par convection; ils fonctionnent ainsi en conditions insaturées, aérobies (Armstrong, 1988).

La caractéristique principale de ce type d'épuration réside dans le fait que les filtres du premier étage de traitement, dont le massif actif est constitué de graviers fins, peuvent être alimentés directement avec les eaux usées brutes dégrillées (sans décantation préalable). Cela évite à la commune de gérer les boues primaires qui présentent une stabilisation imparfaite. Chaque filtre du premier étage reçoit la totalité de la charge pendant la phase d'alimentation, d'une durée de 3 à 4 jours, avant d'être mis au repos pendant une période double.

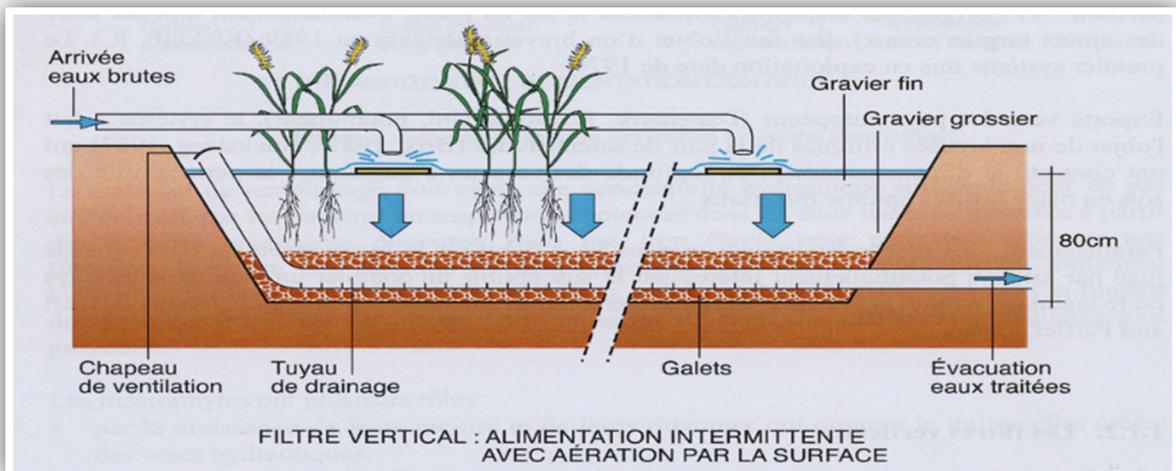


Figure II.1: Schéma d'un filtre planté de roseaux a écoulement vertical
(Stoter Denis, 2009)

Ces phases d'alimentation et de repos sont fondamentales pour contrôler la croissance de la biomasse au sein des filtres, maintenir des conditions aérobies à l'intérieur des filtres et minéraliser le dépôt de matières organiques issu de la rétention des matières en suspension à la surface (figure II.1). L'effluent est dirigé vers un deuxième étage de traitement pour affiner l'épuration particulièrement en ce qui concerne le traitement de l'azote. Les processus épuratoires sont assurés par des microorganismes fixés, présents dans le massif filtrant mais aussi dans la couche superficielle de boues retenues sur la plage d'infiltration.

Et le massif filtrant dans le deuxième étage de traitement est majoritairement constitué de sables, complète le traitement de la fraction carbonée de la matière organique, essentiellement dissoute, ainsi que de l'oxydation des composés azotés. L'oxydation de la matière organique s'accompagne d'un développement bactérien qui doit être régulé pour éviter un colmatage biologique interne.

L'autorégulation de la biomasse est obtenue grâce à la mise en place de plusieurs massifs indépendants alimentés en alternance. Pendant les phases de repos, le développement des bactéries, placées en disette, est réduit par la prédation et la dessiccation.

b) Filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal

Ce procédé épuratoire consiste à infiltrer des eaux usées prétraitées dans un milieu granulaire insaturé sur lequel est fixée la biomasse épuratoire, ce prétraitement a pour rôle la rétention des graisses et la décantation des matières en suspension contenues dans l'effluent, et ce dernier est réparti sur toute la largeur et la hauteur du lit par un système répartiteur, il s'écoule ensuite en déplacement horizontal (figure II.2).

L'évacuation est obtenue par un drain, au fond, enterré dans une tranchée de pierres drainantes. Ce tuyau est relié à un siphon, pour régler la hauteur de surverse pour assurer la saturation de l'alimentation, et le niveau d'eau doit être maintenu à 5 cm sous la surface du matériau. Comme il n'y a pas d'eau libre, il n'y a pas de risque de prolifération d'insectes. L'aération est limitée par l'absence d'un mouvement de la ligne de saturation et se fait de manière très faible par une diffusion gazeuse. L'apport d'oxygène est faible par rapport à la demande totale.

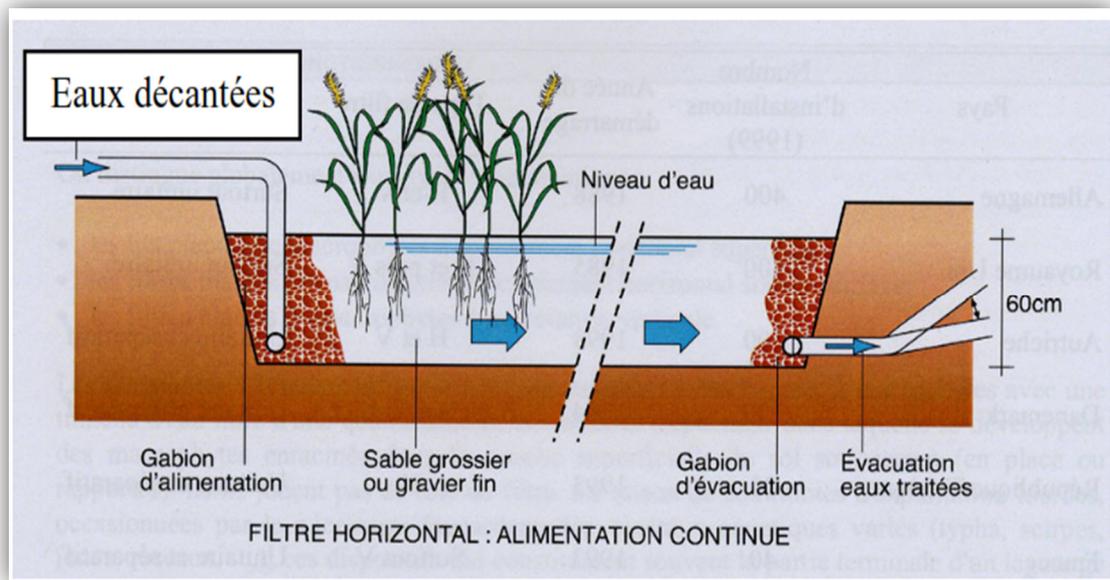


Figure II.2.: Schéma d'un filtre à écoulement horizontal. (Stoter. Denis, 2009)

La pénurie en oxygène limite la dégradation de la pollution carbonée et azotée, l'oxydation du carbone organique et de l'ammonium et par voie de conséquence limite la croissance bactérienne hétérotrophe et autotrophe. La filtration sur sable en milieu insaturé permet principalement une oxydation de la matière organique; une nitrification de l'azote ammoniacal et une réduction des germes pathogènes.

II.4. Les mécanismes d'élimination et les performances épuratoires

Les mécanismes d'élimination sont régis par les processus physiques, chimiques, physicochimiques ou encore biologiques.

II.4.1. Les matières en suspension :

Bien que les filtres plantés de roseaux soient encore considérés comme des «boîtes noires», les auteurs s'accordent généralement sur le fait que les matières polluantes, dissoutes ou

particulaires, sont d'abord adsorbées ou filtrées puis dégradées de façon biologique pendant la phase de repos (**Henrichs & al. 2007**).

Les particules les plus grossières sont piégées à la surface du filtre au cours de l'alimentation, puis minéralisées pendant la période de temps sec grâce aux microorganismes présents à la superficie du filtre et dans la couche de sédimentation déjà formée. Lorsqu'elles sont très organiques, les longues chaînes carbonées qui les composent (ex : amidon) favorisent la formation d'une couche de colmatage, qui peut entraver la circulation de l'influent dans le massif en diminuant le volume des pores (**Zhao & al, 2009**). Dans le système allemand, ce phénomène est cependant réduit par l'utilisation d'un réservoir d'eaux pluviales en amont du filtre. Par ailleurs, les macrophytes ont un rôle de décolmatation physique de par leurs mouvements latéraux. Ils contribuent ainsi à fissurer cette couche de dépôt.

Les particules plus fines passent au travers du filtre ou sont retenues par les pores du matériau filtrant. Elles contribuent alors à en diminuer la porosité et la conductivité hydraulique. Elles peuvent également subir une adsorption, qui peut être biotique ou abiotique.

Les rendements sur les MES des filtres plantés sont constamment élevés et augmentent avec la charge appliquée. Concernant la DCO particulaire sont généralement très élevés (>90%). Les concentrations dans l'effluent atteindraient 2 à 4 mg.l⁻¹ sur des installations à taille réelle (**Dittmer, 2006**).

II.4.2. La matière organique

La matière organique est dégradée par des bactéries hétérotrophes aérobies ou anaérobies.

L'enlèvement de la DBO₅ est assuré par une biodégradation à partir des micro-organismes aérobies ou anaérobies.

- La *dégradation aérobie* transforme la matière organique en biomasse bactérienne et en éléments minéraux simples :



Les nouvelles cellules ainsi formées seront dégradées à leur tour.

- La *dégradation anaérobie* est limitée par la présence d'oxygène. C'est pourquoi elle peut avoir lieu dans les filtres horizontaux, saturés en eau en permanence et où des zones dépourvues d'oxygène existent à proximité de zones aérobies, et très peu dans les filtres verticaux. (**Wozniak, 2008**). Les plantes et le sol n'ont pas d'influence directe sur l'enlèvement de la DBO₅ mais indirecte en favorisant la croissance des micro-organismes. De plus, les plantes fournissent une proportion de l'oxygène nécessaire (**Radoux, 1986 b**).

II.4.3. Les métaux

Dans les eaux usées, on trouve les métaux sous forme soluble ou particulaire. Les formes particulières sont retenues par *filtration*. Les formes solubles sont éliminées, par principalement deux mécanismes. D'une part, les métaux *précipitent* sous forme d'oxydes et de sulfides métalliques grâce à, respectivement, des bactéries métallo-oxydantes dans les zones aérobies et des bactéries sulfato-réductrices dans les zones anaérobies. Ils sont ensuite retenus dans la matrice du filtre. D'autre part, à l'interface racine/sédiment, on rencontre de forts gradients rédox qui provoquent la précipitation d'hydroxydes ferriques complexes. Ceux-ci s'accumulent dans la rhizosphère formant une sorte de gaine autour des racines. Elle constitue une barrière efficace contre l'assimilation végétale et favorise la *co-précipitation* avec d'autres métaux lourds dans la plaque d'hydroxyde ferrique. (Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse.1999).

II.5. Les plantes aquatiques

II.5.1. Définition de macrophytes

Le concept « plantes aquatiques » couvre un vaste domaine aux frontières parfois malaisées à délimiter et variables selon les auteurs. Il est donc préférable ici d'utiliser le terme de macrophytes qui couvre les plantes aquatiques supérieures visibles à l'œil nu en opposition aux microphytes qui comprennent les algues microscopiques (phytoplancton). (Demierre & al, 1999).

II.5.2. Classification de macrophytes

Les macrophytes, dont ne font pas partie les algues filamenteuses, peuvent se diviser en :

- charophytes (characées)
- bryophytes (mousses, hépatiques)
- ptéridophytes (fougères, prêles)
- spermatophytes (plantes à graines)

Les deux derniers groupes recouvrent les plantes aquatiques vasculaires, qui peuvent être définies comme les espèces dont les parties photosynthétiquement actives sont submergées ou flottent à la surface de l'eau de manière permanente ou au moins quelques mois par année (Cook, 1990). Dans l'embranchement des spermatophytes (sous embranchement des angiospermes) se distinguent quatre types de macrophytes, selon leur forme de croissance

- les plantes émergentes (hélrophytes, ex : roseau)
- les plantes flottantes libres (pleustophytes, ex : lentille d'eau)

- les plantes à organes submergés et flottants (rhizophytes à feuilles flottantes, ex : nénuphar)
- les plantes ordinairement submergées (rhizophytes submergés, ex : potamot)

II.5.3. Les plantes utilisées dans le système d'épuration

Dans notre étude on a choisi deux plantes aquatiques Typha Latifolia & Arundo donax.

a) Typha Latifolia

Taxonomie: Le nom scientifique de larges quenouille est Typha latifolia ; Typha shuttleworthii ; Massette de Shuttleworth ; Typhaceae (Kartesz, John T. 1999)

Diffusion générale: quenouille à feuilles larges est une espèce cosmopolite trouvée en Amérique du Nord, le Mexique, la Grande-Bretagne, l'Eurasie, l'Inde, l'Afrique, la Nouvelle-Zélande et en Australie. Au Canada, les quenouilles à feuilles larges se produisent dans toutes les provinces et les territoires du Nord-Ouest (Grace, James B. & al 1986). Aux États-Unis, de feuillus quenouille est originaire de tous les États sauf Hawaï, où il est introduit.

Description Hors-sol:

Massette à larges feuilles est une plante aquatique ou semi-aquatique émergente (Great Plains Flora Association. 1986). (Figure II.3).



Figure II.3 : Typha Latifolia Hors-sol

Les plantes sont normalement de 3 à 10 pieds (1-3 mètres) de hauteur et largement clonale (Larson, Gary E. 1993). À feuilles larges tiges de quenouilles sont robustes, de forme cylindrique, et non ramifiées. Longueur de la tige de floraison est généralement égale ou

légèrement supérieure à la longueur des feuilles (Mason, Herbert L. 1957). Les feuilles sont épaisses, linéaire, plat, et de mesurer de 6 à 29 mm de large. Floraison 6-7.

Description souterraine:

Floras de toute la plage de larges quenouilles de décrire ses rhizomes aussi dur, gros (Figure II.4.) est étendu. Rhizomes poussent à l'horizontale juste en dessous de la surface du sol. Dans une étude, les rhizomes latéraux auraient été jusqu'à 28 pouces (70 cm) de long, avec un diamètre de 0,2 à 1,2 pouces (0,5-3 cm). Peu profondes racines fibreuses sont fixées sur les



rhizomes (Bare, Janet E. 1979).

Figure II.4 : Les racines de Typha Latifolia souterraine.

b) Arundo donax

En haie, en touffe, en bord de mer, en plantation de plein champ, la canne de Provence (Figure II.5) a de nombreux usages. Elle est souvent confondue avec le bambou dont elle n'a pas une qualité importante pour un jardin, le feuillage persistant. Cette plante reste néanmoins très décorative si elle est utilisée de façon judicieuse.



Figure II.5: Arundo donax (la canne de Provence).

Noms français : Canne de Provence.

Famille : Poacées (graminées).

Origine : Graminée des lieux humides des régions méditerranéennes.

Type : Vivace à souche rhizomateuse.

Rusticité : Résiste à -7°C.

Hauteur : Pousse jusqu'à 5 m de hauteur dans de bonnes conditions de culture et si les tiges ne sont pas rabattues au ras du sol tous les ans. Après la chute des feuilles qui met en valeur les chaumes beiges, la plante a un côté dégarni.

Feuillage : Longues feuilles caduques étroites et retombantes, vert glauque. Il existe une forme panachée moins vigoureuse très décorative dans un jardin (Arundo donax var. versicolor). Dans le genre Arundo, on distingue 4 espèces qui peuvent se distinguer par la longueur des entrenœuds ; l'espèce donax aurait les plus longs.

Floraison : Minuscules fleurs regroupées en panicules terminaux en fin d'été, sans grand intérêt décoratif.

Plantation/Sol/Rempotage : Tout sol bien drainé, plutôt humide, mais la canne de Provence colonise de nombreux milieux, même secs en été. La plante se propage par des rhizomes. Elle peut servir à stabiliser des sols soumis à l'érosion. Elle supporte le bord de mer et les sols salés.

Taille : Une taille régulière est recommandée, afin de conserver des tiges vigoureuses portant de longues feuilles. Les pousses d'un an sont en effet les plus décoratives. Les plus vieilles se ramifient et prennent un aspect moins esthétique. Pour conserver des touffes d'un bon volume tous les ans, on peut supprimer au ras du sol 1 tige sur 2 chaque début de printemps, en ne gardant que les tiges d'un an. On obtient ainsi un mélange de tiges hautes et ramifiées et de tiges jeunes plus basses non ramifiées à plus grosses feuilles.

Utilisations : Dans certains milieux, la canne de Provence est considérée comme une plante invasive. Elle est traditionnellement utilisée comme haie brise-vent, et pour fabriquer des cannisses et des paniers. Ses tiges ont également une résistance mécanique idéale pour les travaux de calligraphie. Mais son usage le plus important et le plus connu mondialement, surtout pour les cannes produites dans le département du Var (83), est pour la fabrication des anches vibrantes pour les instruments de musique : clarinettes, saxophones, hautbois, bassons, etc. (www.plantesdusud.com)

Ces plantes croissent dans la plupart des régions subtropicales et tempérées chaudes, les trois espèces qui composent ce genre de graminées rhizomateuses vivaces forment de fortes tiges

feuillées, rappelant celles du bambou, mais sans ramules latérales. Elles portent de minces et plates feuilles aux extrémités tombantes, placées en position alterne distique sur les tiges, terminées en été, par de grandes panicules plumeuses de minuscules fleurs à texture de paille. Contrairement à la plupart des roseaux et des joncs, ces plantes n'exigent pas un sol hydromorphe, quoiqu'elles le tolèrent bien. N'importe quel sol ne séchant jamais tout à fait leur convient. Elles apprécient le plein soleil ou la mi-ombre. Multiplier par semis ou division. **(Burnie et al., 2006).**

L'espèce utilisée c'est (**Arundo donax**), figure (II.5). 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).**

II.6. Conclusion

La technologie des filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux usées domestiques est une technique au développement récent. La forte demande actuelle pour ce type de stations d'épuration de la part des élus est réelle. Il s'agit d'une technologie fiable, simple d'exploitation, facilitant grandement la gestion des boues d'épuration et qui, de surcroît, est bien acceptée par les habitants en raison de sa bonne aptitude à l'intégration paysagère. La conception de filtres plantés de macrophytes possède réellement de nombreux avantages; c'est une technique simple, économique, efficace, fiable, adaptable au lieu.

Les plantes vont soit absorber le contaminant pour le métaboliser ou le stocker, soit réduire voire empêcher la libération du contaminant dans d'autres compartiments de l'environnement. Le plus souvent, les composés organiques ou non peuvent être dégradés et métabolisés pour la croissance de la plante.

CHAPITRE I :

Méthodes et matériels

I.1. Introduction

L'épuration des eaux usées doit actuellement franchir une étape importante du fait des récentes directives environnementales de plus en plus rigoureuses. Pour répondre aux besoins des petites collectivités ayant des contraintes techniques et financières leur interdisant les systèmes techniques d'épuration classiques, il y a l'apparition des systèmes d'épuration rustiques, techniques alternatives aux procédés artificiels, tels que le lagunage, l'épandage ou encore les lits filtrants plantés de macrophytes. (Poulet, et all, 2003)

Le but de ce volet de notre mémoire consiste en l'analyse expérimentale du pouvoir épurateur de quelques plantes aquatiques, dans le but de traiter les eaux usées urbaines des la ville de Biskra situé dans une région arides et particulièrement celles de la commune de Sidi Okba. Dans ce cadre, un choix s'est penché sur le (*Typha latifolia* et l'*Arundo donax*).

I.2. Aperçu général sur la zone d'étude

I.2.1. Situation géographique

Les eaux usées utilisées pour le remplissage des bacs sont prélevées d'un rejet situant dans la commune de Sidi Okba. C'est une commune algérienne de la wilaya de Biskra située à une vingtaine de kilomètres de Biskra, et qui compte 33 509 habitants. Au centre des oasis, la ville est entourée par des dizaines de milliers de palmiers.

Coordonnées géographiques Sidi Okba

Latitude: **34.75**, Longitude: **5.9**
34° 45' 0" Nord, 5° 54' 0" Est

Superficie Sidi Okba

25 455 hectares
254,55 km² (98,28 sq mi)

Altitude Sidi Okba

54 m



Figure I 1: Carte géographique de la commune de Sidi Okba

La région de Sidi Okba constitue la transition entre les domaines atlasiques plissés du nord et l'étendue plate et désertique du Sahara au sud. Par ailleurs, il y a lieu de signaler que Sidi Okba, se caractérise par un sol hétérogène constitué principalement par des alluvions et des limons argileux favorables à l'agriculture, par des crêtes de calcaire gypseuses et des dépôts de sable aux piedmonts des montagnes limitrophes. (Zekiri, 1993).

I.2.2. Caractéristique climatologique

Le climat de Sidi Okba est chaud et sec, les minima absolus atteignent rarement le zéro. La période froide correspond aux mois de décembre - janvier- février et mars dont la température moyenne minimale est de 5°C . Quant aux périodes chaudes, le maximum absolu dépasse très fréquemment la valeur de 45°C en juin – juillet et août. Les minima absolus sont toujours supérieurs à 20°C. On constate que la température moyenne maximale est de l'ordre de 33,8°C et que la température moyenne minimale est de 23°C (Malki, 2004).

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

I.2.3. Rejet des collectivités

Le rejet collectif, de la commune de Sidi Okba est notre point de prélèvement des eaux usées pour les tests expérimentaux. Ce site se caractérise par la présence de conduites dont le diamètre est de 1600mm, il collecte les rejets domestiques de toute la zone de la ville de Sidi Okba (Figure 3.1). Les caractéristiques physico chimique des eaux usées testées ont été déterminé dans les laboratoires les résultats sont reporté dans le tableau (Tab.I.1). Les résultats d'analyse des eaux usées, sont principalement.

Le pH est d'environ 8. La conductivité électrique est importante qui est du spécialement à la minéralisation des eaux consommés. Les nutriments sont aussi importants. On peut donc conclure que ces eaux nécessitent un traitement rigoureux avant qu'elle soit rejetée dans la nature.



Figure I.2 : Rejet des collectivités de la commune de Sidi Okba

Tableau I.1 : Caractéristique physico chimiques des eaux usées de la commune de Sidi Okba

Paramètres	Brute	Unité
pH	7,9	
T°	26	C°
CE	4610	ms/cm
Turbidité NTU	40.9	NTU
NO ₂	0.862	mg /l
NO ₃	43.04	mg /l

I.3. Mise en place du dispositif expérimental

I.3.1. Préparation des filtres et la plantation des macrophytes

Les essais expérimentaux ont été effectués dans l'aire expérimentale du département d'hydraulique de l'université de Biskra, aménagée spécialement pour les essais de la phyto-épuration (Figure I.2).



Figure I.3 Aire aménagée pour la phytoépuration

Notre étude expérimentale a été effectuée au département d'hydraulique (Université de Biskra). Nous avons utilisé 2 bacs identiques de forme ronde en plastique. Des tubes en PVC sont mis dans les bacs afin d'assurer l'aération le fond de bac et pour faciliter la mesure des paramètres physico-chimiques (pH, oxygène dissous, température,). Des robinets en plastique sont placés à 4 cm du fond des bacs pour le prélèvement des eaux épurées.

I.3.2. Choix du substrat

Notre étude est d'évaluer l'effet du substrat dans les filtres plantés de macrophytes. Pour aboutir à cet objectif on a choisi quatre types de substrat : gravier alluvionnaire (cailloux), graviers concassés, (figure I.4) et caractéristique du substrat dans le (Tableau 3.2).



Figure I.4. Choix du substrat

Substrat	Taille	Profondeur
Galet	2 à 5 cm	4 cm
Gravier grossier	0,7 à 2 cm	8 cm
Gravier moyen	0,5 à 0,7 cm	5 cm
Gravier fin	0,2 à 0,5 cm	6 cm

Tableau I.2 : Caractéristiques du substrat

I.3.3. 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, et l'abondance sans aucun entretien particulier. Notre travail est basé essentiellement sur l'effet de substrat sur la phyto-épuration. Le choix de *Typha Latifolia* est justifié par le fait que c'est une plante épuratrice (Mimeche et al 2011). Le *Typha* utilisé est une plante endémique vivace de 1 à 2

mètres, à tige robuste ; feuilles largement linéaires (6 à 18 mm.), planes, glaucescentes, dépassant la tige ; épis 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.

L'**Arundo donax** est une graminée à rhizome caractéristique des lieux aquatiques des régions méditerranéennes. Elle a de grandes feuilles effilées, retombantes, glauques, et des panicules terminales d'épillets de couleur vert pâle à violacé. Elle ressemble à un roseau ou à un bambou, notamment avant l'apparition des épillets. Sa hauteur varie de 1 m à 8 m selon les variétés et les conditions de culture. Avec l'hiver elle prend un aspect desséché. L'inflorescence apparaît de septembre à octobre, c'est une panicule d'épillets pollinisée par le vent (anémogamie). Le fruit est un caryopse.



Figure I.5 : Représentation du Typha Latifolia et l'Arundo donax

I.4. Paramètres physico-chimiques

I.4.1. Les prélèvements des eaux traitées

Une fois les bacs préparés, un premier remplissage des bacs est réalisé, laissé pendant trois jours puis on fait le 1^{er} prélèvement. Après deux jours, on fait le deuxième prélèvement puis

trois autres jours, un troisième prélèvement. On lessive bien le filtre puis on répète la même procédure.

Une fois les bacs préparés, un deuxième remplissage des bacs est réalisé, laissé pendant 10 jours. On lessive bien le filtre.

I.4.2. Les analyses effectuées

Les analyses physico chimiques des eaux usées (nitrate, nitrite, Turbidité, couleur, pH, conductivité électrique, oxygène dissous) ont été réalisées au laboratoire. Dans ces essais on a effectué deux analyses : une analyse des eaux brutes avant traitement et une autre analyse des eaux récupérées après épuration à la sortie de chaque bassine. Les matériels utilisés est cités dans (le tableau I.3).

Tableau I.3. Matériels utilisés pour analyse physico chimique

Analyse	Matériels utilisés
<ul style="list-style-type: none"> • Conductivité Electrique CE (ms/cm) • pH • Oxygène dissous (mg /l) • Nitrate, (mg/l) • Nitrite(mg /l) • Turbidité 	<ul style="list-style-type: none"> • Conductimètre . • Méthode électro métrique avec pH mètre. • Méthode électro métrique avec oxymétrie • spectrophotomètre • spectrophotomètre • spectrophotomètre • Turbidimètre

I.4.3. Dosage des paramètres physico chimique des eaux usées

a) Température (T°)

La température est mesurée à l'aide d'un thermomètre ce paramètre est mesurée en degré Celsius.

b) Oxygène dissous

L'oxygène dissous est mesuré par la méthode électrochimique obéit aux normes, EN 25814 et ISO 5814.



Figure I.6 : multi paramètre

c) pH

Le pH est en relation avec la concentration en ions hydrogène H^+ présents dans une eau, sa mesure peut être réalisée par différentes méthodes. La méthode utilisée ici est celle par un pH-mètre de type Benchtop, HANNA, HI 221. (Norme NFT 90-017).



Figure I.7 : pH mètre

d) Conductivité électrique (CE)

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 dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. La température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité. La conductivité s'exprime en siemens par mètre. On détermine la conductivité directement, en mesurant, à l'aide d'un instrument approprié, le courant conduit par les ions présent dans l'eau. L'appareil utilisé s'appelle un conductimètre (Norme NFT 90-111).



Figure I.8 : Conductimètre

a) Turbidité

La turbidité est mesurée à l'aide d'un turbidimètre ce paramètre est mesurée en NTU



Figure I.9 : Turbidimètre

b) Les Nitrates



Figure I.10 : Spectrophotomètre UV – Visible

Concentrations (mg/l)	Absorbances(A)
0	0,0431
1	0,0729
2	0,2058
5	0,7358
10	1,4211

Tableau I.5.lagamde nitrite

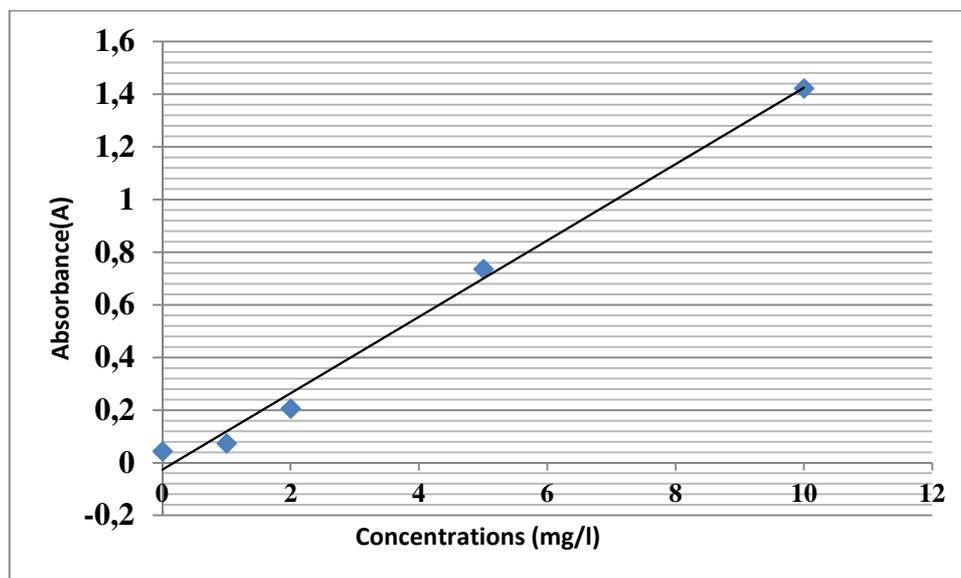


Figure I.11 : La courbe d'étalonnage des nitrates

Le nitrate est mesuré en utilisant la méthode engendrée par Rodier 1996; selon le protocole suivant:

- Prendre 10ml de l'échantillon à analyser, ajouter 2à3 gouttes de NaOH 30%, ajouter 1ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain de sable a 75-80 °C(ne pas surcharger ni surchauffer).
- laisser reposer 10 min.
- Ajouter 15ml d'eau distillée.
- Ajouter 15ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectromètre.
- Effectuer la lecture à 415 nm.

c) Les Nitrites

Concentrations (mg/l)	Absorbances(A)
0	0,0039
1	0,0594
2	0,1152
5	0,3152
20	0,9745
40	1,718

Tableau I.5 : La gamme des nitrites

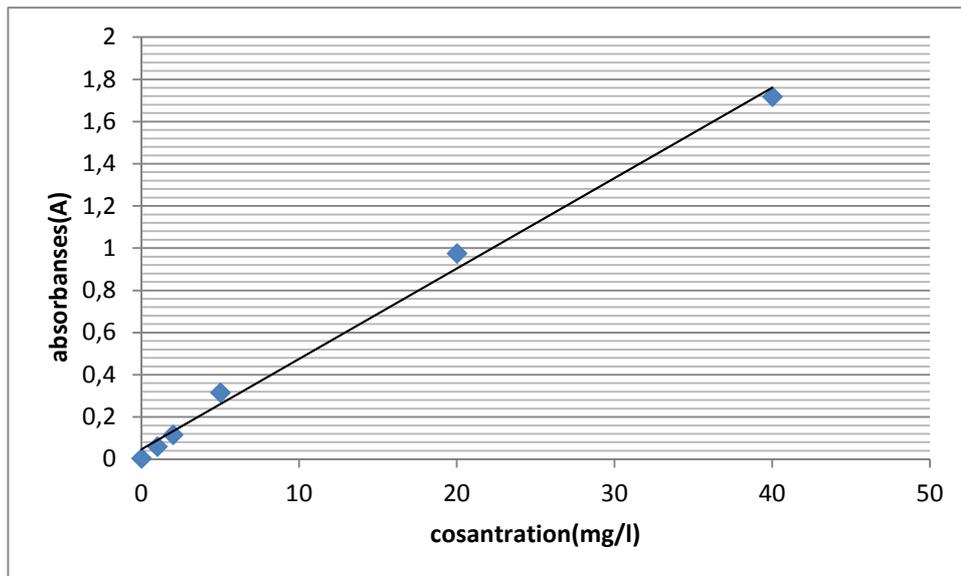


Figure I.12 : la courbe de talonnages de nitrite

On utilisant la méthode spectrométrique à la sulfanilamide (ISO5667). Dont les nitrites réagissent avec la sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui après copulation avec le N-1 Naphtylénediamine dichlorure donne naissance à une coloration rose. On poursuit le mode opératoire suivant:

Dans une fiole, prendre 50ml d'eau à analyser plus 1ml du réactif mixte (de la sulfanilamide et de l'acide phosphorique et de N-1 Naphtylénediamine) et attendre 10min.

L'apparition de la coloration rose indique la présence de NO_2^- en mg/l mesuré par un spectromètre à la longueur d'onde de 543nm.



Figure I.13 : Spectrophotomètre UV – Visible

I.5. Conclusion

Dans ce Chapitre nous avons essayé de présenter le matériel et les méthodes utilisés afin d'évaluer la rigueur épurateur des substrats plantées de *Typha Latifolia* et l'*Arundo* sur une période de 2 mois, où on a procédé à l'analyse au laboratoire, à fin de déterminer les paramètres physico-chimiques des eaux usées avant et après remplissage. Les paramètres testés sont : Température, pH, conductivité électrique, nitrite, nitrate, Turbidité, couleur, , oxygène dissous .

CHAPITER II :

***Le rôle de macrophytes dans
l'épuration des eaux usées de
Sidi Okba***

II.1. Introduction

Après la détermination des caractéristiques des filtres plantés et la qualité des eaux usées testées. Notre travail est porté sur le calcul des rendements de chaque plante, dont l'objectif est d'observer les capacités de rétention de chaque filtre planté. 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 1 jour à 10 jours.

II.2. Performances des filtres plantés

II.2.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées

L'eau usée conçue pour l'irrigation des helophytes implantés dans le substrat a été prélevée d'un rejet d'origine domestique appartenant à la commune de Sidi Okba Wilaya de Biskra. Les analyses physico-chimiques des eaux usées, ont été réalisées aux laboratoires de l'Hydraulique et d'Agronomie. Les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux sont regroupées dans le tableau1.

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

Les paramètres	pH	T °C	O₂ (mg /l)		Cond (µs/cm)	Turbidité NTU	Nitrites (mg/l)	Nitrates (mg/l)
Eau usée brute	7,9	26	5.24		4610	40.9	0.862	43.04

II.2.2. Variations des paramètres physico-chimiques

a) Le pH

Le pH moyen à l'entrée des bacs est de 7.9, à la sortie des systèmes plantés est de l'ordre de 7.8 et 6.7. Nous constatons d'après les résultats présentés sur la figure II.1, que le pH à la sortie des bacs plantés représente une diminution par rapport à celui des eaux usées brutes $5.55 < \text{pH} < 8.5$ (Journal officiel de la République Algérienne, 2006).

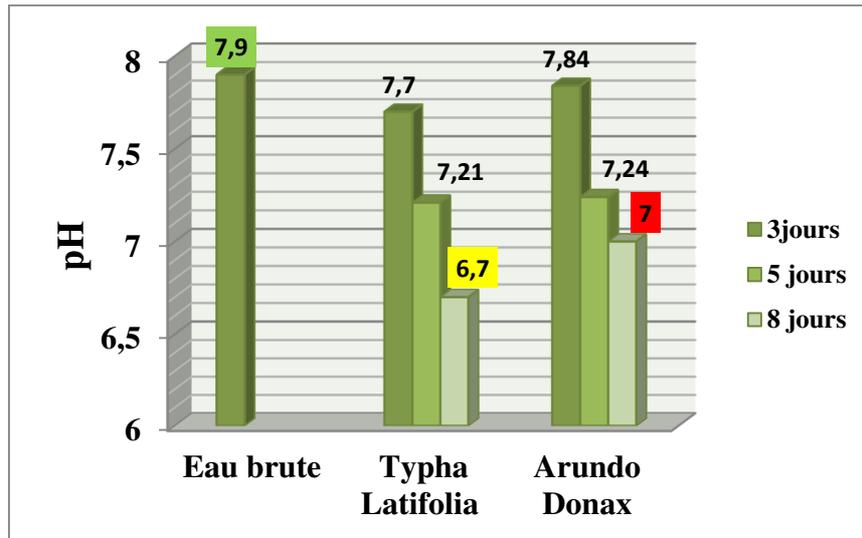


Figure II.1: Evolution du pH dans les eaux récupérées des filtres plantés par rapport aux temps de séjours

D'après (Resjeck, 2002), pour les processus d'épuration aérobies, la biomasse a besoin d'un pH proche de la neutralité pour réaliser son activité épuratrice.

b) La conductivité

De la figure II.3, présentée ci-dessus, nous remarquons que la conductivité à la sortie des filtres plantés, présente une grande variation par rapport aux eaux brutes. Pour les deux plantes et par rapport aux trois temps de séjour, la conductivité des eaux récupérées par filtres plantés, atteint une moyenne supérieure à celle des eaux brutes. Cette augmentation est liée à une minéralisation excessive de la matière organique (supérieure à 1500) et au phénomène d'évapotranspiration qui tend à concentrer davantage l'effluent, à cause de la température élevée. La même constatation est effectuée par (Tiglyène et al, 2005) et aussi par (Abissy et al, 1998), ils ont associé cette augmentation de la conductivité au phénomène d'évapotranspiration de la végétation.

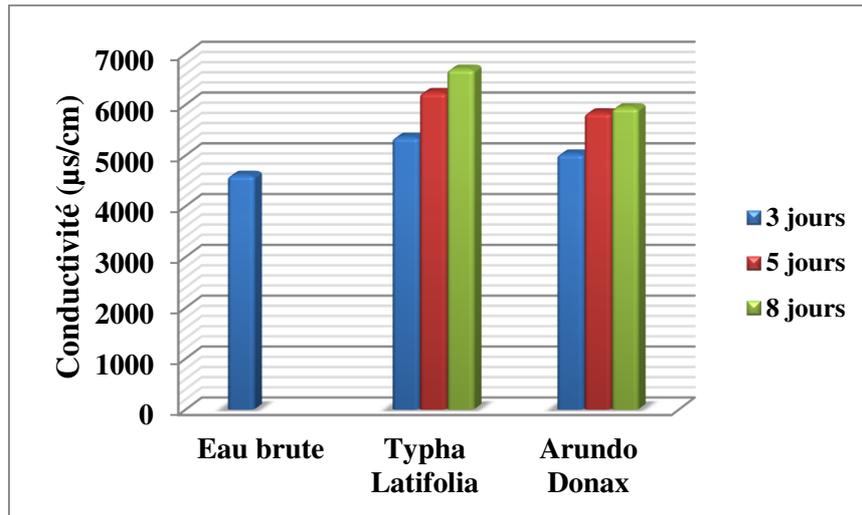


Figure II.3 : Evolution de la conductivité dans les eaux récupérées des filtres plantés par rapport aux temps de séjours

c) La turbidité

Selon (Olivier, 1995), la mesure de la turbidité est très importante pour l'estimation rapide de MES. Dans notre cas, présenté dans la figure II.3, la diminution enregistrée de la turbidité, montre que l'eau est devenue assez claire (10mg/l).

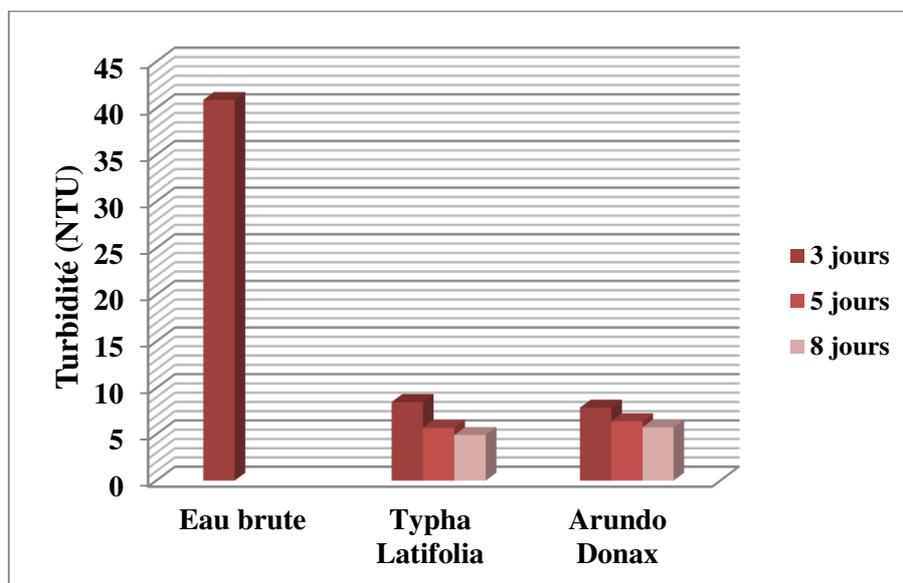


Figure II.4 : Teneurs de la turbidité au niveau du rejet et des filtres plantés

Nous pouvons dire que la diminution de la turbidité et l'élimination des MES permet la diffusion de la lumière dans le substrat filtrant, ce qui engendre l'élimination des micro-organismes par l'ultra Violet (Boution, 1987).

d) L'oxygène dissous (O₂)

Pour une période de séjour égale à 8 jours, la réduction d'oxygène dissous est de 1.83 mg/l pour le Typha et 2.04 mg/l pour l'Arundo donax. Nous remarquons d'après les résultats présentés dans la figure II.4, que les valeurs en oxygènes dissous dans les eaux récupérées des bacs plantés sont inférieures à celles des eaux usées brutes (5.42 mg/l).

Selon (Gros Claude et al, 1999), pour tout végétal, l'activité photosynthétique s'intensifie avec l'augmentation de l'énergie lumineuse reçue et spécialement dans le stade de développement, ce qui explique les résultats obtenus.

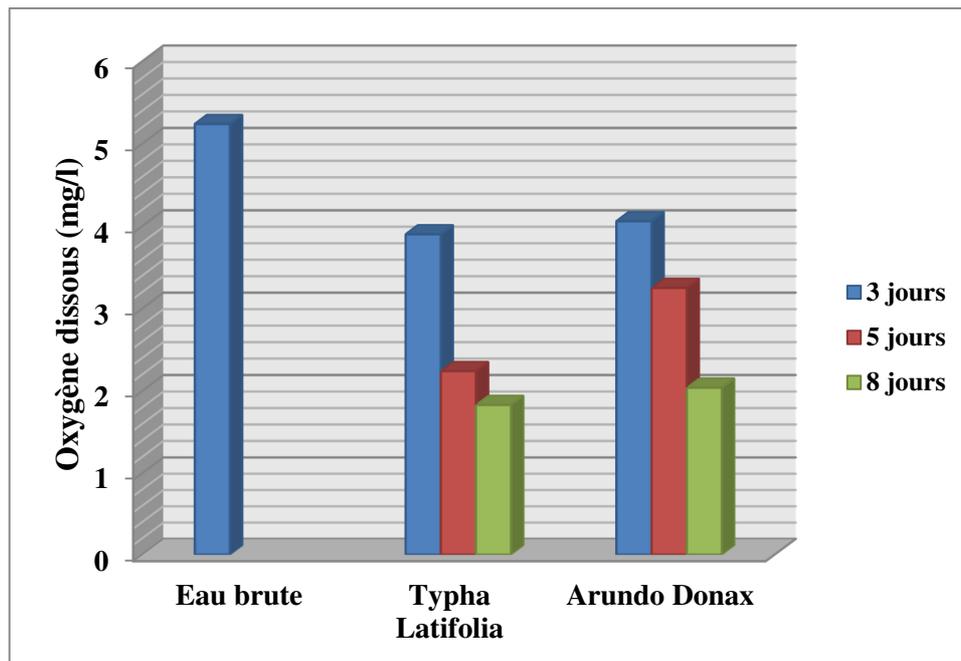


Figure II.5 : Les teneurs en Oxygène dissous à la sortie des filtres plantés

A ce niveau, l'oxygène joue un rôle important en stimulant la croissance des bactéries aérobies, en particulier les bactéries nitrifiantes (Reddy et al, 1987).

II.3. L'abattement des nitrates et des nitrites à la sortie des filtres plantés

II.3.1. L'élimination des nitrates sur les filtres de Typha et de l'Arundo donax

L'élimination de la matière organique dans les bassines à macrophytes est basée 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. En retour, les sous-produits de cette réaction tels que NH_4^+ et le CO_2 sont utilisés par la plante. Les nitrites et les nitrates sont des substances chimiques qui entrent dans le cycle de l'azote. Ce dernier est consommé par les plantes sous forme de nitrates qui sont beaucoup utilisés dans les engrais inorganiques et les explosifs, comme agent de conservation des aliments et comme substances chimiques brutes dans divers procédés industriels. Les nitrites servent surtout d'agents de conservation des aliments, en particulier dans les viandes de salaison. Ils permettent d'éviter le développement du germe responsable de la toxi-infection alimentaire grave. La présence de ces ions dans l'environnement engendre des nuisances à la santé de l'homme (méthémoglobinémie) sans oublier le phénomène d'eutrophisation (Idrissi. Leila, 2006). Plusieurs techniques ont été utilisées pour la détermination des ions nitrates et nitrites dans les eaux.

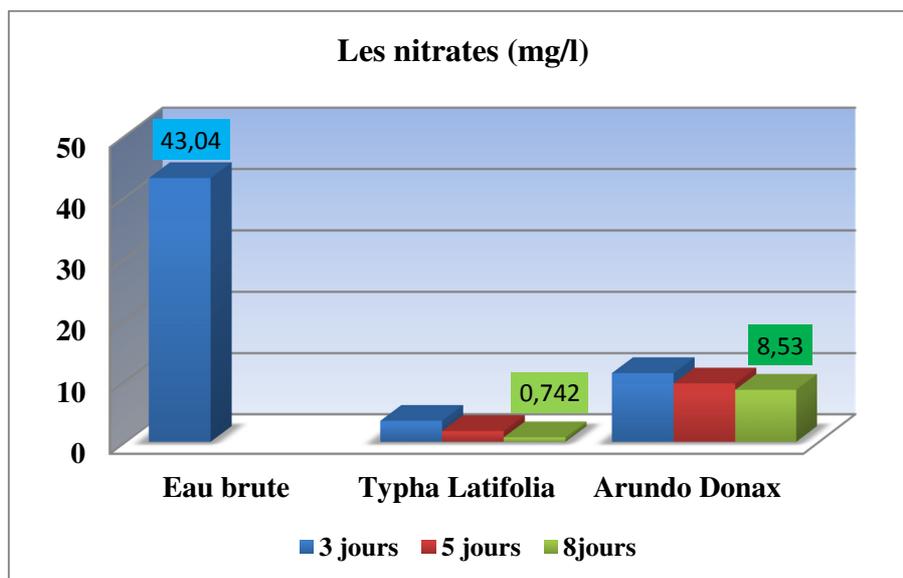


Figure II.6 : Evolution des nitrates dans les eaux récupérées des filtres plantés par rapport aux temps de séjours

Pour la réduction des nitrates, nous constatons d'après les résultats présentés dans la figure II.5, une diminution très remarquable des teneurs en nitrates à la sortie du filtre planté de Typha et avec une diminution aussi supérieure pour le filtre planté de l'Arundo donax avec des teneurs de 8.53 mg/l et 0.742 mg/l après un temps de séjour de 8 jours respectivement

pour le Typha et l'Arundo donax, par rapport à la teneur des eaux usées en nitrates qui est de l'ordre de 43.04 mg/l.

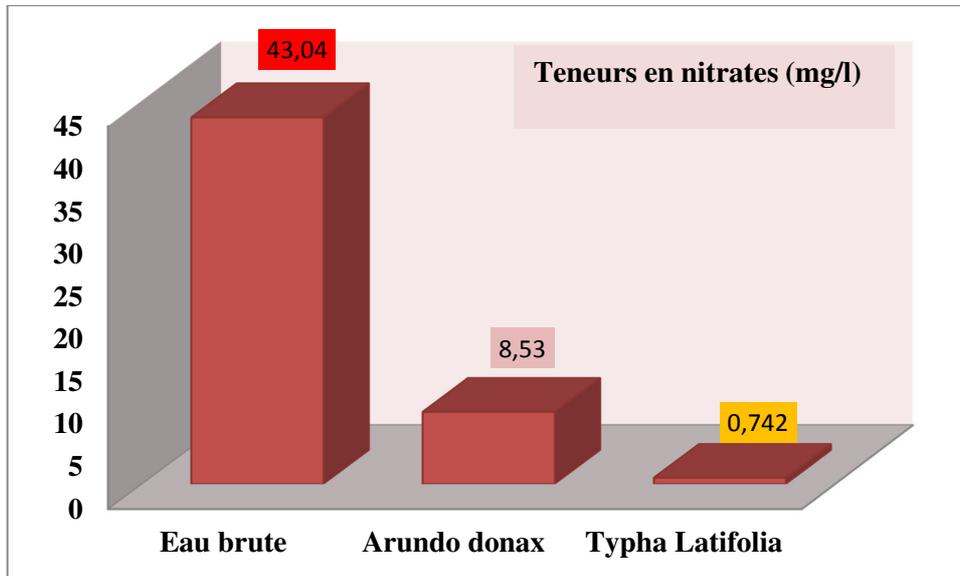


Figure II.7 : Teneurs en nitrates récupérées à la sortie des filtres plantés après 8 jours

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, et Ben ameur, 2010). Ces quantités d'oxygène favorisent pratiquement la prolifération bactérienne nitrifiante au niveau de la rhizosphère.

II.3.2. Le taux d'élimination des nitrites dans les filtres plantés

Les nitrates et les nitrites sont utilisés par la plante pour la croissance de ses tissus, ils peuvent être emmagasinés dans les racines et rhizomes, les tiges et les feuilles. Lorsque le milieu est aérobie, le procédé qui vise à consommer les nitrates présents dans les eaux usées est l'assimilation de la molécule par les plantes via leur système racinaire. L'absorption des ions nitrates (NO_3^-) et, dans une moindre mesure, de l'ammonium est possible grâce à des transporteurs à haute ou basse affinité. Les nitrates sont soit :

- Stockés dans les vacuoles
- Réduits sur place
- Transportés dans le xylème pour être stockés ou réduits

Transformation des nitrates en nitrites dans le cytoplasme par les nitrates réductases (NR)

Transformation des nitrites en ammonium dans les plastes (chloroplastes des feuilles ou proplastates des racines) par les nitrites réductases (NiR). Ces deux enzymes peuvent être dans les racines ou dans les feuilles.

Dans des conditions pauvres en oxygène seulement certaines espèces de macrophytes sont aptes à libérer de l'oxygène au niveau de leur partie racinaire. Soit, une espèce incapable de fournir de l'oxygène au niveau de sa rhizosphère sera une espèce aidant à la libération de méthane.

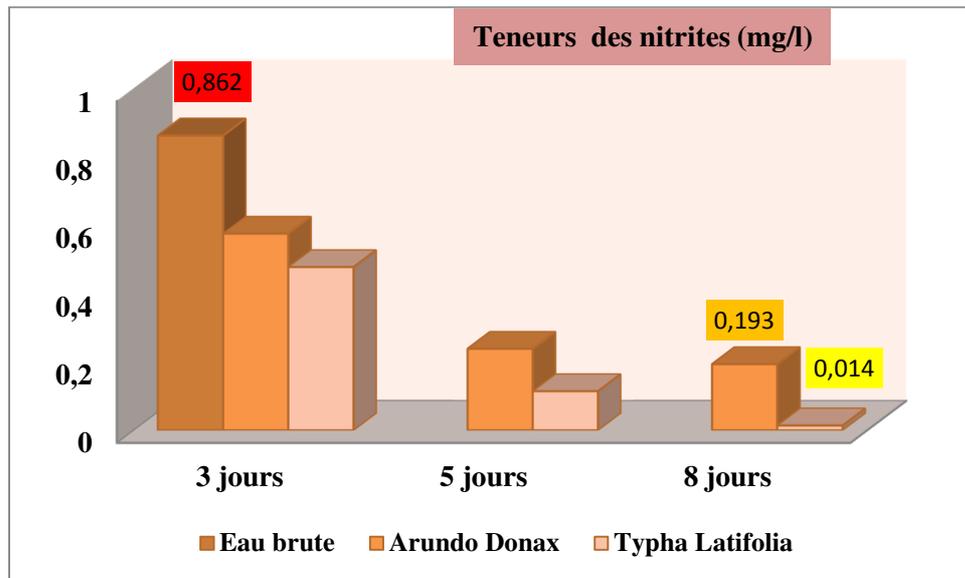


Figure II.8. Le taux d'élimination des nitrites dans les filtres plantés

Les résultats présentés sur la figure II.6, montrent une élimination presque complète des nitrites à la sortie des filtres plantés de Typha, avec un pourcentage de réduction allant jusqu'à 98.28%, par contre le deuxième filtre planté de l'Arundo donax a présenté un rendement de l'ordre de 77.61 %. Avec un temps de séjour de 8 jours (figure II.7).

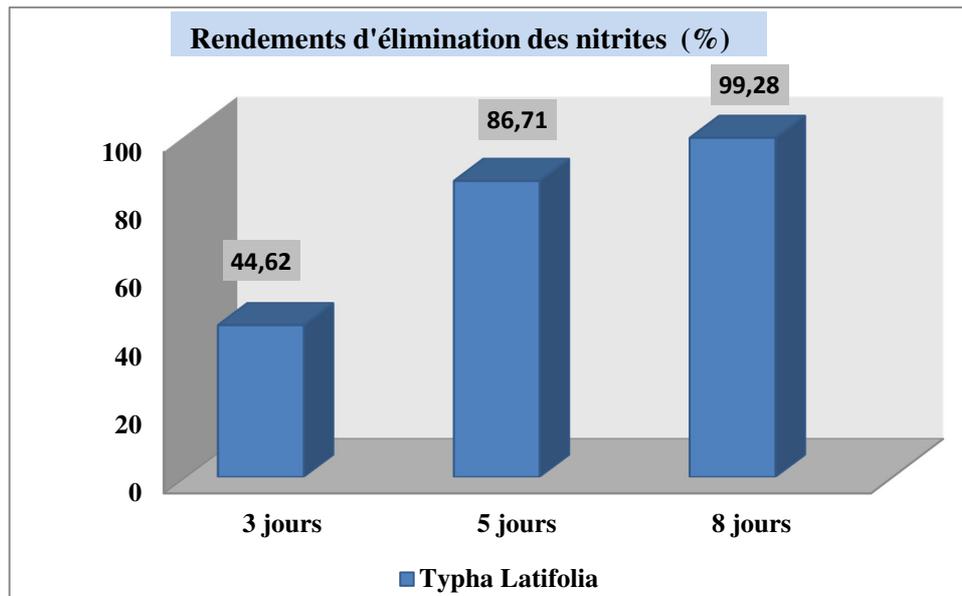


Figure II.8 Rendements d'élimination des nitrites sur le filtre planté de Typha

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, il a été question d'analyser le pouvoir épurateur de deux plantes (Typha latifolia et l'Arundo Donax). Les résultats obtenus montrent que Le filtre planté de Typha, assure un bon abattement de tous les paramètres testés par rapport au filtre planté de l'Arundo donax. On peut conclure que le meilleur temps de séjours pour l'élimination des polluants à la sortie des filtres plantés est de 8 jours à cause du taux d'élimination élevé observé. Le traitement par filtres plantés à macrophytes semble être donc une alternative efficace et assez bien adapté aux eaux usées à charge polluante variable.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Un système de traitement des eaux usées utilisant les plantes aquatiques peut être aisément implanté, il serait judicieux d'adapter la culture d'une plante aquatique dans un substrat pour filtrer la charge polluante d'une eau usée. Le traitement de ces effluents est impératif. En effet il participe à la protection de l'environnement, la sauvegarde des composantes et richesses naturelles et surtout il offre la possibilité de réutiliser les eaux usées dans les domaines agricole et industriel.

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.

Donc l'objectif de ce mémoire, a été d'analyser le pouvoir épurateur de deux plantes macrophytes à épurer les eaux usées provenant d'un dans la commune de Sidi Okba d'un rejet situant dans la région de Biska.

Le choix des plantes est un enjeu important dans les filtres plantés à macrophytes, car ils doivent survivre aux effets toxiques potentiels des eaux usées et de leur variabilité. Le matériel végétal (*Typha Latifolia* et *Arudo Donax*), utilisé dans les unités pilotes a été choisi sur la base des espèces végétales trouvées dans les alentours des rejets d'eaux usées.

Nous avons constaté d'après les résultats obtenus, que le pH à la sortie des bacs plantés représente une diminution par rapport à celui des eaux usées brutes.

La conductivité à la sortie des filtres plantés, présente une grande variation par rapport aux eaux brutes. Pour les deux plantes et par rapport aux trois temps de séjour, la conductivité des eaux récupérées par filtres plantés, atteint une moyenne supérieure à celle des eaux brutes. 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.

Conclusion générale

Pour la réduction des nitrates, nous avons constaté d'après les résultats obtenus, une diminution très remarquable des teneurs en nitrates à la sortie du filtre planté de Typha et avec une diminution aussi supérieure pour le filtre planté de l'Arundo donax avec des teneurs de 8.53 mg/l et 0.742 mg/l après un temps de séjour de 8 jours respectivement pour le Typha et l'Arundo donax, par rapport à la teneur des eaux usées en nitrates qui est de l'ordre de 43.04 mg/l.

Le filtre planté de Typha, assure un bon abattement de tous les paramètres testés par rapport au filtre planté de l'Arundo donax. On peut conclure que le meilleur temps de séjours pour l'élimination des polluants à la sortie des filtres plantés est de 8 jours à cause du taux d'élimination élevé observé. Le traitement par filtres plantés à macrophytes semble être donc une alternative efficace et assez bien adapté aux eaux usées à charge polluante variable.

Références bibliographiques

- Abissy M., Mandi L. (1998).** Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines : cas du roseau. Revue des sciences de l'eau, Rev Sci . Eau 12/2 (1999), pp 285-315
- Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse (1999),** Epuraton des eaux usees domestique par des filtres plantes de macrophyte, étude bibliographique, 78p
- Agence de l'eau seine-normandie (1999),** guides des procédés épuratoires intensifs proposés aux petites collectivités, naterre,130p .
- Armstrong J. Armstrong W. (1988).** Phragmites australis – a preliminary of study of soil oxidising sites and inernal gaz transport pathways. Newphytol., 108, pp 373-382
- Asano . T, (1998).** Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library, wat. St. Tech. 1998, 1475.
- Bontoux.J, (1993).**Introduction a l'étude des eaux douce, eaux naturelle, eaux usees, eaux de boisson : qualité et sante. 2eme Edition : Lavoisier Technique et documentation. Paris. 163p
- Boutin.C.(1987).** Domestic wastewater treatment in tanks planted with rooted saprophytes: case study, description of the system, design criteria and efficiency wat . sci . tech .pp29-40
- Brix., (1993);** Macrophyte mediated oxygen transfer in constructed wetlands: transport mechanisms and rates wetlands laboratory and the University of West. Florida institute for coastal and estuarine research, Constructed wetlands for. water quality improvement, Backhuys publisher. P 391-398.
- Campagnes 1997 et 1998. Dans rapports sur les études et recherches entreprises dans le bassin lémanique. Programme quinquennal 1996-2000. Campagne 1998 . CIPEL lausanne pp.129-217.
- Cherak.L, (1999).** Étude expérimentale de l'influence des eaux résiduaires (Batna, fedis, El- madher) sur certaines activités microbiennes (minéralisation du carbone et de l'azote) dans un sol calcaire de la région d'El-Madher (W.de Batna). Incidence sur les microflores telluriques et le comportement d'une graminée fougère (Avena abla "WL"-88).Thèse magister- institue d'agronomie. Université Batna. 108p
- Demierre & al, (1999)** .la végétation macrophytique du léman.
- EPA, (1993).** Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Wildlife Habitat EPA832-R-93-005 September 1993

- Franck .Rejets, (2002)** Analyse des eaux ,aspects réglementaires et techniques
Edition :Scérène. P. 166-198
- Grosclaude .G, coord, (1999).** L'eau : usage et polluant, Tome II. 4^{eme} Edition : INRA
Paris. p : 11
- Guerree H., Gomella C., (1978).** Les eaux usées dans les agglomérations urbaines
ou rurales : la collecte. Edition Arolles, Paris.
- IDRISSI Leila., (2006).**: Nitrates et nitrites, polluants qui menacent la santé et
environnement. FST Mohammedia
- Mandi., Leila** Laboratoire d'Hydrobiologie, d'Écotoxicologie et d'Assainissement
(Unité associée au CNRST/URAC33), Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi
Ayyad, BP 2390, Marrakech, Maroc. Centre National d'Études et de Recherches sur
l'Eau et L'Énergie (CNEREE), Université Cadi Ayyad, BP 511, Marrakech, Maroc
- Olivier, T. (1995).**Métrieologie des eaux residuaire.TEC et DOC, paris : 7-57
- Ouali, 2001 M ,S (2001).** Cours de procédé unitaires biologique et traitement des
eaux. Edition ; OPU, Ben aknon, Alger p ;17
- Poulet (2004).** Martian surface mineralogy from observatoire pour la mineralogie,
l'eau, les glaces et l'activité´ on board the mars express spacecraft (omega/mex):
global mineral maps. Journal of geophysical research, vol. 112, e08s02,
doi:10.1029/2006je002840, 2007
- Poulet, et al, (2003).** Urban wastewater treatment in stabilization ponds: occurrence
and removal of pathogens. Urban water 2002 ; 4:255-262.
- Reddy, K R tukuer,J,C (1983)** ; productivity and nutrient uptake of water hyacinth,
eichh Crassipes,l'effect of nitrogen source P237 247
- Resjeck.F, (2002).**Analyse des eaux, aspects réglementaire et technique. Edition :
sceren. p.166-195.
- Rodier. J, (1984).**L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer.
Edition : bordas, paris P 1365.
- Sandrine Cabrait, 2008. Féras, 2000, Miquel, (2003)** la qualité de l'eau et de
l'assainissement en France. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques
et technologiques, ,tome i,198p
- Tiglyene, S. Mandi, L. et. Jaouad , (2005).** Enlèvement du chrome par infiltration
verticale sur lits de phragmites australis (Cav). *Rev. Sci.Eau.* 18 (2), 177,198
- Urios.L, (2005).** Technique D'épuration des eaux usées. Technique et documentation.
Paris P : 11.

Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green M.B., Haberl R. (1998). Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe Ecological Studies, 190, 69-96-