

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'El-Oued



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique
et de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master en Hydraulique

Option: Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement

Etude du pouvoir épuratoire des eaux usées par filtre planté de macrophyte

Dirigé par :

Dr Khemissi YAHAOUI

Présenté par :

Asma ZOUBIEDI

Devant le jury :

M^{me}. Fattoum BOUCHEMAL..... Présidente.

Dr . Khemissi YAHAOUI..... Promoteur.

Mr. Abdelkader OUAOUAK..... Co-Promoteur.

Mr. Belgacem GUESSIER..... Examineur.

Soutenue : 26 Mai 2016

Année universitaire 2015-2016

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir accordé la force, le courage et les moyens à fin de pouvoir accomplir ce travail.

Je remercie tout particulièrement mon promoteur
Monsieur le docteur khemissi YAHAOUI pour ces orientations,
ses conseils et l'aide qu'il m'a donnée.

Je tiens également à remercier les membres du jury :
M^{me}. Fattoum BOUCHEMAL , pour avoir accepté de présider mon jury.
Mr. Belgacem GUESSIER , qui a accepté de juger mon travail en qualité
d'examineur.
Mr. Abdelkader OUAKEOUAK, qui a accepté de présenter comme
Co-promoteur.

Je tiens aussi à remercier :
L'équipe de la station STEP1 Commune de Kouinine , pour m'avoir accordée
l'accès pour réaliser notre protocole expérimental ,
surtout mademoiselle Zohra et Khaoula .

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans l'élaboration
de ce travail, surtout :

Mr. M.L .CHELIGUE, M.L , Mr . S.HADJ AMAR , Mr. A.HAROUN

LISTES DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
N°01	Normes de rejets internationales.	10
N°02	Normes de rejets des effluents liquides selon le JORAD.	11
N°03	Germes pathogènes rencontrés fréquemment dans les eaux usées et effet sur la santé humaine.	12
N°04	La taille des différents types du substrat.	33
N°05	Le volume de l'échantillon d'après la DBO présumée.	39
N°06	Les notices des prélèvements des eaux usées .	43
N°07	Les notices des prélèvements des eaux récupérés par les filtre .	44

LISTES DES FIGURES

Figure	Titre	Page
N°01	Principes de l'épuration dans un bassin à macrophytes flottants .	18
N°02	Schéma des filtres plantés de à écoulement verticale.	20
N°03	Schéma d'un filtre planté de à écoulement horizontale.	22
N°04	Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement hybride .	22
N°05	La variation temporelle de la température .	45
N°06	La variation temporelle de matière en suspension.	46
N°07	La variation temporelle de potentiel d'hydrogène.	48
N°08	La variation temporelle de la conductivité électrique.	49
N°09	La variation temporelle de l'oxygène dissous.	50
N°10	La variation temporelle de la demande biochimique en oxygène .	52
N°11	La variation temporelle de la Demande chimique en oxygène.	53
N°12	La variation temporelle de l'azote totale .	55
N°13	La variation temporelle de phosphore total.	57
N°14	Variation de concentration des métaux lourds.	59

LISTES DES PHOTOS

Photo	Titre	Page
N°01	Les différents tailles des graviers utilisés.	27
N°02	<i>Phragmites communis.</i>	28
N°03	<i>Juncus maritimus.</i>	28
N°04	<i>Nerium Oleander.</i>	29
N°05	<i>Moringa oleifera.</i>	29
N°06	<i>Acacia cyanophylla.</i>	30
N°07	<i>Cupressus sempervirens.</i>	30
N°08	Dispositif expérimental.	31
N°09	Dispositif expérimental des différents filtres.	32
N°10	Remplissage des bassines.	33
N°11	Le pH mètre.	35
N°12	Conductimètre.	36
N°13	Oxymètre.	37
N°14	DBO sensor ..	38
N°15	Spectrophotomètre .	39

LISTE DES ABREVIATIONS

ADE	Algérienne des Eaux
BEIERE	Bureau d'Etudes Industrielles Energies Renouvelables et Environnement
CE	conductivité électrique
DBO	Demande Biochimique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
FAO	Food and Agriculture Organisation
JORA	Journal Officiel de la République Algérienne
MES	Matières En Suspension
MMS	Matières Mineral en Suspension
MVS	Matières Volatiles en Suspension
NT	Azote Totale
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PT	Phosphore Totale
PH	Potentiel Hydrogène
STEP	Station d' Euration
T	Température
PVC	Polychlorure de vinyle

SOMMAIRE

Introduction générale

PARTIE SYHNTHES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX USEES

I.1. Introduction	03
I.2. Définition des eaux usées	03
I.3. Origine et nature de l'eau usée	03
I.3.1. Les eaux usées domestiques	03
I.3.2. Les eaux usées industriels	04
I.3.3. Les eaux usées agricoles	04
I.3.4. Les eaux usées pluviales	04
I.4. Définition de la pollution de l'eau	05
I.5. Les différents types de pollution des eaux	05
I.5.1. La pollution domestique	05
I.5.2. La pollution industrielle	06
I.5.3. La pollution agricole	06
I.5.4. Pollution microbiologique	06
I.5.5. La pollution diffuse	06
I.6. Les paramètres de pollution de l'eau	07
I.6.1. Les paramètres physiques	07
I.6.1.1 La Température.....	07
I.6.1.2. Les matières en suspension	07
I.6.2. Les paramètres chimiques	07
I.6.2.1. Potentiel hydrogène (pH)	07
I.6.2.2. La conductivité électrique(CE)	07
I.6.2.3. L'oxygène dissous	08
I.6.2.4. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	08
I.6.2.5. La demande chimique en oxygène(DCO)	08
I.6.2.6. L' azote	08
I.6.2.7. Phosphore	09
I.6.2.8. Les nitrates	09

I.6.2.9. Micro-éléments	09
I.6.3. Les paramètres biologiques.....	09
I.7. Normes des eaux de rejets	10
I.7.1. Normes internationales	10
I.7.2. Norme nationale selon le JORAD	11
I.8. Les conséquences de la pollution des eaux	11
I.8.1. Les conséquences sanitaires	11
I.8.2. Conséquences écologiques	12
I.8.3. Conséquences agricoles	12
I.8.4. Conséquences esthétiques	13
I.8.5. Conséquences industrielles	13
I.9. Systèmes de collecte des eaux usées	13
I.9.1. Système unitaire	13
I.9.2. Système séparatif	13
I.10. Conclusion	14

CHAPITRE II: LA TECHNIQUE DE LA PHYTOEPURATION

II.1.Introduction	15
II.2. Definition de la phytoépuration	15
II.3. Historique de la Phytoépuration.....	15
II.4. Les paramètres influençant la phytoépuration	16
II.5. Le principe de l'épuration par macrophytes	18
II.6. Rôles majeurs des macrophytes	19
II.6.1. Partie des plantes	19
II.6.1.Partie immergée	19
II.6.3. Racines et rhizomes dans les sédiments ou les dépôts de surface	19
II.7. Les types de filtres plantés	19
II.7.1. Les filtres plantés à écoulement vertical	20
II.7.2. Les filtres plantés à écoulement horizontal	21
II.7.3. Les systèmes hybrides	22
II.8. Avantage et inconvénient de la phytoépuration	23
II.8.1. Avantage de la phytoépuration	23
II.8.2. Inconvénients de la phytoépuration	23

II.9. Conception d'une station par la phytoépuration	24
II.9.1. Le dimensionnement du bassin	24
II.9. 2. Contrôle de la station d'épuration	24
II.10. La phytoépuration en Algérie	24
II.11. Conclusion.....	25

PARTIE EXPERIMENTAL

CHAPITRE IV : MATERIELS ET METHODES

III.1. Introduction	26
III.2. Matériels d'étude	26
III.2.1. Matériels de l'essai	26
III.2.2. Matériels Végétales	27
III.2.3. Les eaux usées	31
III.3. Méthode d'étude	31
III.3.1. Dispositif expérimental	31
III.3.1.1. Préparation des bassines	32
III.3.1.2. Préparation de gravier	32
III.3.1.3. Remplissage des bassines	32
III.3.1.4. Entretien au niveau des bassines	33
III.3.2. Méthode de dosage des paramètres physique.....	33
III.3.2.1. La température (T°).....	33
III.3.2.2. La matière en suspension (MES)	34
III.3.3. Méthode de dosage des paramètres chimique.....	35
III.3.3.1. Le potentiel hydrogéné (pH)	35
III.3.3. 2. Détermination de la conductivité électrique (CE)	36
III.3.3.3. L'oxygène dissous	37
III.3.3.4. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	38
III.3.3.5. La demande chimique en oxygène (DCO)	39
III.3.3.6. L'azote total (NT)	40
III.3.3.7. Le phosphore total (PT)	41
III.3.3.8. Métaux lourd	42
III.3.4. Analyse bactériologique	42

III.3.4.1. Coliforme totaux	42
III.3.4.2. Escherichia coli	43
III.4. Conclusion	43

CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSIONS

IV.1. Introduction	44
IV.2. Le rendement épuratoire	44
IV.3. Résultats et discussions des paramètres analysées	45
IV.3.1. Paramètres physiques	45
IV.3.1.1. La température	45
IV.3.1.2. Les matières en suspension	47
IV.3.2. Les paramètres chimiques.....	49
IV.3.2.1. Le Potentiel d'hydrogène (pH)	49
IV.3.2.2. Conductivité électrique	50
IV.3.2.3. L'Oxygène dissous	51
IV.3.2.4. La demande biochimique en oxygène	52
IV.3.2.5. La demande chimique en oxygène	54
IV.3.2.6. L'azote totale	56
IV.3.2.7. Le phosphore totale	59
IV.3.2.8. Les métaux lourds	60
IV.3.3. Les paramètres bactériologique	62
IV.3.3.1. Les coliformes totaux	62
IV.3.3.2. Escherichia coli	62
IV.4. Conclusion	62
Conclusion générale	

Introduction générale

Avec le développement de la population humaine, les milieux aquatiques ont servi de plus en plus de récepteurs des effluents domestiques avec des conséquences sans cesse plus visibles. La protection croissante des cours d'eau a donc conduit depuis un peu plus d'un siècle à la création de systèmes d'épuration maintenant bien connus.

A cet effet, Les eaux d'égout domestiques doivent être épurées avant leur rejet directement dans le milieu naturel à savoir ruisseaux, rivières et lacs. Cette épuration s'effectue dans des stations d'épuration à l'aide de bactéries qui détruisent les eaux polluées avant qu'elles ne soient rejetées. Elles transforment par la suite cette pollution en un sous-produit appelé « boues » qui sont ensuite épandues peut être comme engrais et matière organique sur les terrains agricoles (CEMAGREF. SATESE, ENSP, AGENCE DE L'EAU, 1997).

Les stations d'épuration classiques que l'on rencontre dans les villes demandent une grande technicité et une exploitation complexe et coûteuse notamment en matière d'énergie électrique. En particulier, l'évacuation régulière des boues est une contrainte forte qui, si elle n'est pas respectée, peut entraîner un dysfonctionnement de l'installation et donc à un rejet de la pollution mal traitée.

L'amélioration des connaissances dans ce domaine a fortement contribué à la conception de nouveaux systèmes d'épuration des eaux s'inspirant des processus naturels, dénommés «marais artificiels» Les stations d'épuration conçues selon le principe des « lagunes d'épuration » ou des « marais artificiels » constituent donc une solution importante pour le milieu rural et sont adoptées depuis plusieurs dizaines d'années par de nombreuses collectivités (CEMAGREF. SATESE, ENSP, AGENCE DE L'EAU, 1997). Les potentialités épuratoires des plantes aquatiques et plus particulièrement du roseau ont été mises en évidence par Seidel dès 1946 pour traiter des effluents industriels contenant des substances chimiques tels que les phénols, les chlorophénol et les métaux lourds. Depuis, cette nouvelle technologie extensive a été exploitée avec succès par plusieurs auteurs (FINLAYSON et CHICK, 1983 ; BIDDLESTONE et al., 1991 ; BRIX, 1993) pour le traitement de plusieurs types d'effluents.

Dans ce contexte, l'objectif fondamental de notre étude porte sur la performance épuratoire des macrophytes pour l'amélioration de la qualité des eaux usées.

Pour aboutir à notre objectif, Cette étude se présente en deux parties :

Une première partie comporte deux chapitres sera consacrée à une synthèse bibliographique :

- Le premier chapitre : Seront présentées, dans un premier chapitre, des généralités sur les eaux usées, les différents types de pollutions, les paramètres de pollution et sur les conséquences de cette dernière sur la santé publique et sur l'environnement
- Le deuxième chapitre : porte essentiellement sur les connaissances et les généralités sur la phytoépuration et en particulier sur les filtres plantés de végétaux macrophytes tel que les filtres plantés à écoulement vertical et ceux à écoulement horizontale.

La seconde partie sera consacrée aux essais expérimentaux et elle sera présentée en deux chapitres :

- Le premier chapitre : la méthodologie expérimentales, le matériel et le protocole suivi pour la réalisation de nos essais sur l'épuration des eaux usées brutes arrivant à la station d'épuration (STEP1) de la commune de kouinine daïra d'El-oued via les filtres plantés de six végétaux macrophytes.
- Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation des différents résultats des essais et leur interprétation relatifs aux certains paramètres physico-chimiques à savoir Température (T°),le Potentiel hydrogéné (pH) ,Conductivité électrique (CE) , Turbidité , Matière en suspension (MES), Oxygène dissous , Demande Biochimique en Oxygène après cinq jours (DBO_5), Demande Chimique en Oxygène (DCO) , l'azote total (NT) , phosphore total (PT), les métaux lourds (Pb,Ni,Cu,CN,Cd) et analyse bactériologique (coliforme totaux ,Escherichiacoli).

Cependant, l'ensemble de nos résultats seront comparés aux travaux qui ont été obtenu par divers chercheurs.

Enfin, nous terminerons par une conclusion générale qui sera un rappel de l'objectif de notre thèse et qui rassemblera les différents résultats des essais réalisées.

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES

I.1. Introduction :

Les eaux usées de mauvaise qualité peut présenter des risques sérieux pour la santé publique et l'environnement, la quantité de contaminants qui parvient dans l'environnement se nomme la charge excrétée. Sa composition dépend de la population à l'origine de la production des eaux usées, et notamment de la proportion d'individus infectés et des conditions d'hygiène.

I.2. Définition des eaux usées :

Une eau est dite usée ou polluée une fois qu'elle perd ses caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques (Audic JM , Esser D, 2006). La modification défavorable ou nocive de ces propriétés, produite directement ou indirectement par les activités humaines, les rendant impropres à l'utilisation normale. (Dugniolle, 1980 ; Glanic et Benneton, 1989).

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène , chargées de matières minérales et/ou organiques , pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère toxique (Bachi,2010)

I.3. Origine et nature de l'eau usée :

Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue quatre (04) catégories d'eaux usées :

I.3.1. Les eaux usées domestiques :

Ce sont les eaux utilisées par l'homme pour des besoins domestiques (Chocat ,1997), elles sont constituées d'une combinaison des eaux domestiques (habitations, bureaux, bains publics) et en moindre quantité d'eaux issues de fonds de commerce et de petites industries. Les eaux domestiques sont constituées d'eaux de bain, lessive, urines, fèces et résidus alimentaires.

Les eaux commerciales sont issues principalement de lavage de voitures, restaurants, cafés et pressing. Ces eaux sont chargées en matières organiques, graisses et produits d'entretiens ménagers.

Les effluents domestiques sont généralement constitués de matières organiques de bonne biodégradabilité et de matières minérales sous forme dissoute ou en suspension.

Ils constituent l'essentiel de la pollution et proviennent de (Chocat, 1997 et Franck, 2002):

- ❖ Des eaux de cuisine qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques, (glucides, lipides, protéines), et des produits détergents ;
- ❖ Des eaux de buanderie contenant principalement des détergents ;
- ❖ Des eaux de salle de bains chargées en produits pour l'hygiène corporelle. Généralement de matières grasses hydrocarbonées ;
- ❖ Des eaux de vannes qui proviennent des sanitaires (WC), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphorés et en microorganismes.

I.3.2. Les eaux usées industrielles :

Les eaux d'origine industrielles qui sont très différentes des eaux usées domestiques, proviennent des différentes usines de fabrication ou de transformation. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. Elles peuvent être chargées en matières toxiques difficilement biodégradables qui nécessitent un traitement spécifique (Rodier et al., 2009).

I.3.3. Les eaux usées agricoles :

Les eaux d'origine agricoles sont constituées essentiellement des eaux de drainage des champs agricoles et des rejets de lavage des fermes d'élevage. Il s'agit d'un mélange de composés relativement biodégradable. Néanmoins, ces eaux sont parfois caractérisées par de fortes concentrations de pesticides et d'engrais artificiels. Les paramètres qui doivent être pris en considération sont l'azote nitrique, le phosphate et les substances organiques.

L'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement :

- ❖ Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation) ;
- ❖ Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides,...) (Grosclaude, 1999).

I.3.4. Les eaux usées pluviales :

Ce sont les eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation, elles peuvent être particulièrement polluées (Franck, 2002). Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulés les polluants atmosphériques, poussières, débris, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. (Metahri, 2012)

I.4. Définition de la pollution de l'eau :

La pollution de l'eau est définie comme étant une dégradation de sa qualité naturelle due aux rejets continus de produit nuisibles en concentration excessives. En effet, L'eau peut dissoudre, souvent avec facilité, de nombreuses substances chimiques minérales ou organiques.

A la différence de divers phénomènes de pollution, celle des eaux qui se traduit par des effets alternatives qui rend son utilisation dangereuse et perturbe l'écosystème aquatique (rivières, 2005).

I.5. Les différents types de pollution des eaux :

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et perturbe l'écosystème aquatique. Les origines sont multiples : Les villes, Les industries, L'agriculture, les décharges de déchets domestiques et industriels.

La pollution d'une eau possède essentiellement quatre types sont la pollution domestique, la pollution industrielle, la pollution agricole, et la pollution diffuse (Cherrak et Bendia 2006)

Il existe cinq types de pollution dans les eaux usées :

I.5.1. La pollution domestique :

Dans le cas des rejets domestiques, la pollution est de nature minérale et bactériologique. Mais elle est surtout due aux matières organiques qui provoquent l'eutrophisation du milieu récepteur : l'ammoniaque des détergents et les phosphates des lessives sont autant de nutriments pour les algues, qui prolifèrent et deviennent des substances organiques supplémentaires (Niati et Chemirik, 2013).

La pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée entre :

- 70 à 90 grammes de matières en suspension.
- 60 à 70 grammes de matières organiques.
- 15 à 17 grammes de matières azotées.
- 4 grammes de phosphore.
- plusieurs milliards de germes pour 100 ml. (Richard, 1996).

I.5.2. La pollution industrielle :

Parmi les pollutions industrielles, on peut distinguer les pollutions de nature organique, assimilables aux pollutions domestiques et celles de nature toxique du fait de la présence de métaux ou substances chimiques dangereuses spécifiques (Youcefi et Bouosla, 2012).

En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques. Selon leur origine industrielle elles peuvent également contenir :

- Des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage);
- Des hydrocarbures (raffineries);
- Des métaux (traitements de surface, métallurgie);
- Des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques divers, tanneries); (Metahri, 2012).

I.5.3. La pollution agricole :

Provenant des fermes ou des cultures, elle se caractérise par de fortes teneurs en sels minéraux (Azote, Phosphore, Potassium), provenant des engrais, des pesticides qui altèrent la qualité des nappes souterraines vers lesquelles ils sont entraînés (Menouer, 2014).

I.5.4. Pollution microbiologique :

Les eaux usées contiennent une multitude de microorganismes vivants, des virus, des bactéries, des protozoaires, voire même des parasites. La grande majorité de ces microorganismes nocifs, susceptibles d'engendrer des infections humaines redoutables, diffuse dans l'environnement hydrique par l'intermédiaire de souillures fécales humaines ou animales (Ansoia G et al, 1995).

I.5.5. La pollution diffuse :

Une pollution diffuse est une pollution due à de multiples rejets de polluants dans le temps et dans l'espace. Contrairement à une pollution accidentelle, qui se produit localement, ponctuellement et souvent massivement, une pollution diffuse est peu visible. Son effet sur l'environnement n'en est pas moins sensible.

La pollution des eaux par les nitrates et les pesticides de l'agriculture est un exemple de pollution diffuse : elle se produit sur le territoire, d'année en année et affecte grandement la qualité des eaux et les écosystèmes (Houari et Kherroui, 2007).

I.6. Les paramètres de pollution de l'eau :

I.6.1. Les paramètres physiques :

I.6.1.1. Température :

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

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique (Rodier et al, 2005).

I.6.1.2. Matières en suspension :

Les matières en suspension (MES) sont, en majeure partie, de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées, est associée aux MES (FAO, 2003). Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules organiques (MVS) ou minérales (MMS)

I.6.2. Paramètres chimiques :

I.6.2.1. Potentiel hydrogène (pH) :

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène (H^+) de la solution, il est mesuré à l'aide d'un pH-mètre. Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien.(Rodier, 1996)

I.6.2.2. Conductivité électrique(CE) :

La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau)(REJSEK, 2002).

La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau; L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m) (Rodier et al,2005).

I.6.2.3. Oxygène dissous :

L'oxygène dissous (O_2) est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux aquatiques.

L'oxygène, toujours présent dans l'eau, n'en est pas un élément constitutif. Sa solubilité est fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. (Ladjel et Bouchefer, 2005).

I.6.2.4. Demande biochimique en oxygène (DBO_5) :

Elle correspond à la quantité d'oxygène consommée en 5 jours par une biomasse pour décomposer les matières organiques. Elle est mesurée à partir d'un DBO mètre, et exprimée en $mg\ O_2/l$. L'échantillon est incubé dans l'enceinte thermostatée à $20^\circ C$ en présence d'air. Les microorganismes présents, consomment l'oxygène en provenance du volume d'air situé au dessus de l'échantillon. La mesure de cette perte en oxygène est effectuée durant cinq jours (Baumont, 1997) .

I.6.2.5. Demande chimique en oxygène (DCO) :

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non biodégradable contenue dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à $150^\circ C$. Elle est exprimée en $mg\ O_2/l$. (Suschka. J et Ferreira. E, 1986).

I.6.2.6. Azote :

Dans une eau résiduaire « fraîche », l'azote est essentiellement contenu dans les protéines et l'urée mais au cours du séjour dans le réseau d'égouts, une forte proportion de l'azote organique est hydrolysée en ammoniacque. À l'entrée de la station, l'azote se répartit typiquement en ammoniacque (60 à 75 %) et en azote organique (25 à 40 %) sous forme soluble et particulaire. Les sources d'azote susceptibles d'être utilisées par les différents micro-organismes incluent pratiquement toutes les sources d'azote organique et minéral. (Andriamirado L et al, 2005).

I.6.2.7. Phosphore :

Le phosphore est présent dans les eaux usées, soit sous forme d'orthophosphates, soit sous forme de polyphosphates ou de phosphore organique. Ce phosphore est incorporé essentiellement dans les acides nucléiques, les phospholipides et les polymères des parois bactériennes. Dans certains cas particuliers, il peut être stocké dans la cellule, sous des formes diverses (Andriamirado L et al, 2005).

I.6.2.8. Nitrates :

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

L'augmentation de la concentration des nitrates à plusieurs origines:

- ❖ Agricole : agriculture intensive avec utilisation massive d'engrais azoté ainsi que rejets d'effluents d'élevage.
- ❖ Urbaine : rejet des eaux épurées des stations d'épuration où l'élimination de l'azote n'est pas totale et qui peuvent rejeter des nitrates ou des ions ammonium qui se transformeront en nitrates dans le milieu naturel.
- ❖ Industrielle : rejet des industries minérales, en particulier de fabrication des engrais azotés. (Rejsek, 2002).

I.6.2.9. Métaux lourds:

Les éléments nocifs les plus importants sont les métaux lourds. Leur principale origine est industrielle. Le cuivre, le zinc, le cadmium, le chrome, le plomb, le mercure, le nickel sont les polluants les plus fréquemment rencontrés. (Bachi, O.E.K, 2010).

I.6.3. Paramètres biologiques :

Les eaux résiduaires urbaines transportent de nombreux microorganismes dont certains sont pathogènes (bactéries, virus et parasites).

Les germes les plus fréquemment rencontrés sont les salmonelles, les coliformes fécaux, les staphylocoques, les streptocoques, les helminthes, ... ext. (Bachi, O.E.K, 2010).

I.7. Normes des eaux de rejets :**I.7.1. Normes internationales :****Tableau N°01: Normes de rejets internationales (Baumant ,1997).**

Caractéristiques	Normes utilisées (OMS)
PH	6.5-8.5
DBO ₅	< 30 mg/l
DCO	< 90 mg/l
MES	< 20 mg/l
NH ₄ ⁺	< 0.5 mg/l
NO ₂	1 mg/l
NO ₃	< 1 mg/l
P ₂ O ₅	< 2 mg/l
Température	< 30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

I.7.2. Norme nationale selon le JORAD :**Tableau N°02:** Normes de rejets des effluents liquides selon le JORAD.

	Unités	Valeurs limites
Température	°C	30
PH	-	6.5-8.5
DBO5	mg/l	30
DCO	mg/l	120
MES	mg/l	35
Azote total	mg/l	30
Phosphor total	mg/l	10
Furfural	mg/l	50
Hydrocarbures	mg/l	10
Plomb	mg/l	0.5
Fer	mg/l	3
Mercure	mg/l	0.01
Cuivre	mg/l	0.5
Plomb	mg/l	0.5
Zinc	mg/l	3

I.8. Conséquences de la pollution des eaux :

Les conséquences de la pollution peuvent être classées en cinq catégories principales. (Ladjel et Bouchefer, 2005).

I.8.1. Conséquences sanitaires :

Ce sont celles qui ont trait à la santé des populations. Elles sont donc à prendre en compte en priorité. Le tableau N°03 présente l'effet nocif des germes pathogènes pouvant exister dans les eaux usées.

Tableau N°03: Germes pathogènes rencontrés fréquemment dans les eaux usées et effet sur la santé humaine (Moufouk, 2007).

Germes	Organisme	Maladie
<ul style="list-style-type: none"> • Bactéries pathogènes • Entérobactéries • Vibrions 	Salmonelles Shigelles Colibacilles Leptospires Mycobactéries Vibrio coma	Typhoïde Dysenterie Tuberculose Choléra
<ul style="list-style-type: none"> • Virus 	Entérovirus Réovirus Adénovirus Rotavirus	Poliomyélite Méningite Affections respiratoires Diarrhées
<ul style="list-style-type: none"> • Parasites 	Champignons Taenia -	Cysticercoses Eczémas, maladies de la peau

I.8.2. Conséquences écologiques :

Elles ont trait à la dégradation du milieu naturel. Les conséquences écologiques se mesurent en comparant l'état du milieu pollué par rapport à ce qu'il aurait été sans pollution. Ceci n'a rien d'évident, la pollution se traduisant parfois uniquement par l'accentuation d'un phénomène naturel. D'une manière générale, les conséquences écologiques sont à considérer au travers de la réduction des potentialités d'exploitation du milieu (pêche, aquaculture, tourisme...).

I.8.3. Conséquences agricoles :

L'eau est, dans certaines régions, largement utilisée pour l'arrosage ou l'irrigation, souvent sous forme brute (non traitée). La texture du sol, sa flore bactérienne, les cultures et le bétail, sont sensibles à la qualité de l'eau. De même, les boues issues de traitement des eaux usées pourront, si elles contiennent des toxiques (métaux lourds) être à l'origine de la pollution des sols.

I.8.4. Conséquences esthétiques :

Cette troisième catégorie de conséquences, peut être la plus subjective. Il s'agit de pollution n'ayant pas de conséquences sanitaires ou écologiques importantes, mais perturbant l'image

d'un milieu : par exemple, des bouteilles plastiques ou du goudron rejeté sur une plage ou sur la chaussée de la route.

I.8.5. Conséquences industrielles :

L'industrie est un gros consommateur d'eau, il faut par exemple 1m³ d'eau pour produire 1 kg d'aluminium. La qualité requise pour les utilisations industrielles est souvent très élevée, tant sur le plan chimique (minéralisation, corrosion, entartrage), que biologique (problèmes d'encrassement des canalisations par des organismes). Le développement industriel peut donc être stoppé par la pollution; c'est une des raisons pour laquelle la préoccupation pour la pollution est apparue d'abord dans les pays industrialisés.

I.9. Systèmes de collecte des eaux usées :

Les systèmes de collecte les plus utilisés en assainissement sont deux types unitaire et séparatif (Baumont, 2000 ; Mamadou, 2005).

I.9.1. Système unitaire :

Ce réseau collecte l'ensemble des eaux noires, claires et grises d'une ville ou d'une région. Les avantages de ce système sont la conception simple dont il est constitué d'un seul collecteur avec un seul branchement ainsi que pas de risque d'inversion de ce dernier. Les inconvénients sont lors d'un orage, les eaux usées sont diluées par les eaux pluviales avec l'apport de sable important à la station d'épuration.

I.9.2. Système séparatif :

Ce système consiste à spécialiser chaque réseau selon la nature des effluents. Le réseau d'évacuation des eaux usées domestiques et parfois industrielles (selon leurs caractéristiques) est séparé du réseau d'évacuation des eaux de pluie qui sont rejetées le plus souvent, directement dans le milieu récepteur (mer, fleuve ou lac). Ce système à l'avantage de permettre l'assurance d'un régime permanent dans les STEP et la diminution du diamètre moyen du réseau de collecte des eaux usées. L'inconvénient réside dans le coût élevé d'investissement.

I.10. Conclusion :

Il faut retirer des eaux usées un maximum de déchets, avant de les rejeter dans l'environnement, pour que leur incidence sur la qualité de l'eau, en tant que milieu naturel aquatique et son environnement, soit la plus faible possible.

Quant les eaux usées ou les eaux résiduaires industrielles ne sont pas épurées avant rejet dans le milieu naturel, l'altération de ce dernier et les déséquilibres qui s'y produisent ont non seulement des effets immédiats sur les utilisations de l'eau, mais aussi des effets à long terme, parfois irréversibles dans le domaine de la vie humaine.

CHAPITRE II

LA TECHNIQUE DE LA PHYTOEPURATION

II.1.Introduction :

La purification artificielle des eaux usées au niveau des stations d'épuration, à travers les pays utilisateurs de ce mode, a montré sa complexité et ses exigences matérielles et humaine (haute technicité) ; de ce fait d'autres moyens plus simples et efficaces ont été mis en place pour l'épuration des eaux. Parmi eux un mode purement naturelle où les agents actifs dans le processus sont des Macrophytes (plantes supérieures), pour cette technique l'intervention de l'homme est très limitée et l'installation n'est pas trop coûteuse (Saggai, 2004).

II.2. Définition de la phytoépuration :

La phytoépuration est un système de traitement des eaux usées en utilisant le pouvoir épurateur des plantes. Ces dernières sont des microphytes et/ou des macrophytes. 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 dépurature naturel, qui s'effectue à cause du processus d'aération, sédimentation, absorption et métabolisation de la part des microorganismes et de la flore.

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

II.3. Historique de la Phytoépuration :

La méthode du traitement des eaux usées grâce à la symbiose bactéries/végétaux est née dans l'ancienne Allemagne de l'Ouest dans les années 60. Depuis, elle n'a jamais cessé de s'améliorer et s'est développée au Danemark, en Autriche puis en Hollande, en Angleterre, aux USA et même en Australie. En France, l'une des premières implantations a été réalisée à pannessières, dans le Jura, en 1986. Cette technique s'oppose aux techniques classiques dites "à culture bactérienne libre" (exemple : stations d'épuration à boues activées) ou à "culture bactérienne fixée" (exemple : filtre bactérien), où l'oxygène nécessaire aux bactéries épuratrices est apporté mécaniquement au prix de coûts énergétiques importants.

II.4. Paramètres influençant la phytoépuration :

+ L'aération du substrat :

Qui se présente comme le plus important de ces paramètres car c'est un paramètre limitant. En effet, l'élimination des matières organiques et la nitrification sont deux réactions qui demandent beaucoup d'oxygène.

+ Température :

Elle a une influence déterminante sur l'activité biologique des micro-organismes et sur la réserve d'oxygène pour le processus d'auto-épuration. Pour l'ensemble des micro-organismes responsables des biodégradations, la zone de température favorable se situe entre 4 et 25 °c en aérobiose, et entre 10 et 65 °c en anaérobiose .

+ Oxygène dissous:

La présence d'oxygène dissous dans l'eau est indispensable; l'oxygène permet de maintenir plusieurs facteurs de la qualité de l'eau, notamment son goût, il est essentiel pour la survie de nombreux organismes aquatiques.

L'oxygène dissous dans l'eau peut provenir :

- + De la dissolution de l'oxygène de l'air par la diffusion à travers la surface;**
- + De l'apport d'un affluent plus oxygéné, surtout dans le cas des rivières, et parfois même, d'une aération artificielle;**
- + De la biosynthèse pour les plantes vertes aquatiques qui, sous l'effet de la lumière solaire, utilisent le CO₂ dissous dans l'eau grâce à leur fonction chlorophyllienne dans le cas du lagunage. (Mekhloufi , 2003)**

+ Pollution microbologique:

Le rejet urbain en général présente des conditions très favorables à la prolifération de certains germes pathogènes et d'organismes vivants. On peut citer les virus, les bactéries, les protozoaires, les vers et les microchampignons. Ces différents éléments garantissent une masse permanente en germes utiles à l'épuration par biodégradation.

Les micro-organismes ont un rôle essentiel à jouer dans tous les systèmes de traitement des eaux usées à partir des plantes. Qu'ils soient aérobies ou anaérobies, ce sont eux qui consomment la partie carbonée des eaux usées pour la transformer principalement en CO₂ pour les bactéries aérobies et aussi en méthane pour les bactéries anaérobies. Lorsqu'il est possible de maintenir des conditions séquentielles aérobies et anaérobies, les bactéries

nitrifiantes vont transformer l'azote ammoniacal en nitrites et nitrates dans les zones aérées et les bactéries dénitrifiantes vont permettre la transformation des nitrates et nitrites en azote gazeux dans les zones anaérobies (Medjdoub, 2014).

Constitution du filtre :

La qualité des matériaux est la condition majeure au bon fonctionnement des filtres (durée de vie et performances épuratoires). De par sa granulométrie, le matériau de remplissage a un rôle évident de filtration des matières en suspension et de la partie organique associées présentes dans les eaux usées, d'où le nom de filtres, Son efficacité dans ce rôle dépend en grande partie de la texture du matériau que l'on approche par sa granulométrie et qui interviendra notamment sur les caractéristiques hydrodynamiques (conductivité hydraulique en milieu saturé ou non).

Les graviers et les sables utilisés doivent être roulés, lavés et à fin d'éviter d'éventuelles contamination de la nappe souterraine, les bassins de phytoépuration doivent être imperméabilisés, en utilisant des géomembranes synthétiques ou de la bentonite, cependant, il est déconseillé de couler un radier en ciment pour une question de coût de réalisation et de problèmes d'étanchéité.

L'utilisation d'un sol argileux est la possibilité la plus économique, qui nécessite cependant une très faible perméabilité ($K < 10^{-8}$ m/s) et avec une profondeur de nappe à plus de 1m sous la base du lit du bassin (Carleton et *al.*, 2001).

Effets des plantes dans le système de phytoépuration:

Les macrophytes participent d'une façon indirecte à la décomposition des substances organiques des eaux usées brutes. Ces plantes disposent d'un système racinaire très dense qui améliore l'oxygénation des filtres, et par la suite le développement des micro-organismes adéquats. Poursuivant leur croissance même en hiver, les rhizomes assurent enfin le fonctionnement permanent de la station d'épuration (Bhupinder et *al.*, 2009).

Le développement racinaire limite le colmatage des filtres grâce à la formation de pores tubulaires le long des racines qui permet d'accroître la surface de fixation pour le développement des micro-organismes (Bhupinder et *al.*, 2009).

Temps de séjour :

Les eaux à traiter doivent séjourner dans les bassins pendant une durée supérieure ou égale au temps nécessaire à leur épuration, Aussi l'efficacité d'un traitement par lagunage dépend fortement du temps de séjour qui est plus long en hiver qu'en été.

(Middle Brooks S,E.J 1990).

Le temps de séjour de l'eau dans un marais est en fonction de la pente de celui-ci. Selon certains auteurs, la pente longitudinale d'un marais filtrant peut varier entre 0 à 1 %. (Johnson, 2002). Cependant, plus la pente est élevée, plus court sera le temps de séjour de l'affluent et moindre sera l'efficacité du traitement (Astebol et *al.*, 2004). Le temps de séjour minimum recommandé est de 24 heures (Galvão, 2005).

II.5. Principe de l'épuration par macrophytes :

La phytoépuration comprend l'épuration par les filières plantées de macrophytes, qui favorisent la biodiversité des espèces végétales plantées dans les bassins. Une station d'épuration par filtres plantés de macrophytes fonctionne comme un marais naturel. Dans ce cas, les eaux brutes (eaux grises et eaux vannes) passent à travers des bassins remplis d'un substrat minéral (sable, gravier, pouzzolane selon les cas) où sont plantés différents végétaux sub-aquatiques : roseaux, massettes, joncs, iris... (espèces locales de préférence car elles sont adaptées au climat). Ces plantes, et plus spécifiquement les roseaux (*Phragmites Communis* ou *Phragmites Australis*) ont la particularité de former un tissu racinaire et un réseau de galeries qui drainent, apportent de l'oxygène et servent de support aux bactéries aérobies. Ces bactéries, ainsi que la macrofaune du sol (lombrics...), ont un rôle de dégradation et de minéralisation de la matière organique, qui devient dès lors assimilable par les plantes. Ainsi le système ne produit pas de boues, lesquelles sont compostées et forment un humus sur place. (B.E.I.E.R.E,2009)

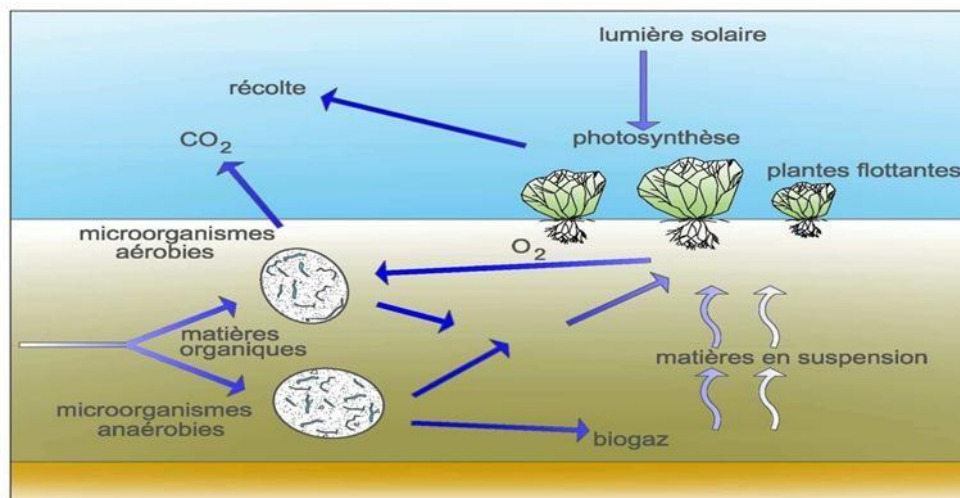


Figure N°01 : Principes de l'épuration dans un bassin à macrophytes flottants (Rakotoarison, 2008)

II.6. Rôles majeurs des macrophytes :

II.6.1. Partie des plantes :

- Atténuation de la lumière, réduction de la photosynthèse dans les eaux,
- Influence du microclimat, isolation (hiver ou été) ;
- Réduction de la vitesse du vent et du risque de remise en suspension des sédiments ;
- Évapotranspiration estivale ;
- Aspect esthétique positif du système ;
- Stockage d'éléments nutritifs.

II.6.1.Partie immergée :

- Réduction de la vitesse du courant et augmentation du taux de sédimentation, réduction du risque de remise en suspension ;
- Production d'oxygène photosynthétique ;
- Absorption des éléments nutritifs ;
- Augmentation de surface de fixation du périphyton.

II.6.3. Racines et rhizomes dans les sédiments ou les dépôts de surface :

- Stabilisation de la surface des sédiments, réduction de l'érosion ;
- Prévention du colmatage dans les systèmes à écoulements verticaux, effet de filtre des gros déchets ;
- Augmentation de surface de contact pour les développements bactériens ;
- Libération d'oxygène augmentant la nitrification et la dégradation bactérienne ;
- Absorption des éléments nutritifs ;
- Production d'antibiotiques, de phytometallophores* et de phytochélatines*. (Sciences Eaux et Territoires ,2014)

II.7. Types de filtre planté :

Les filtres plantés peuvent être soit à écoulement vertical, soit à écoulement horizontal. La combinaison en série des deux est largement répandue (systèmes hybrides), elle permet d'améliorer la qualité de l'épuration ainsi réalisée. Ils diffèrent par leur mode d'alimentation, par le sens de l'écoulement de l'eau et par les conditions aérobies de traitement.

II.7.1. Filtres plantés à écoulement vertical :

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

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

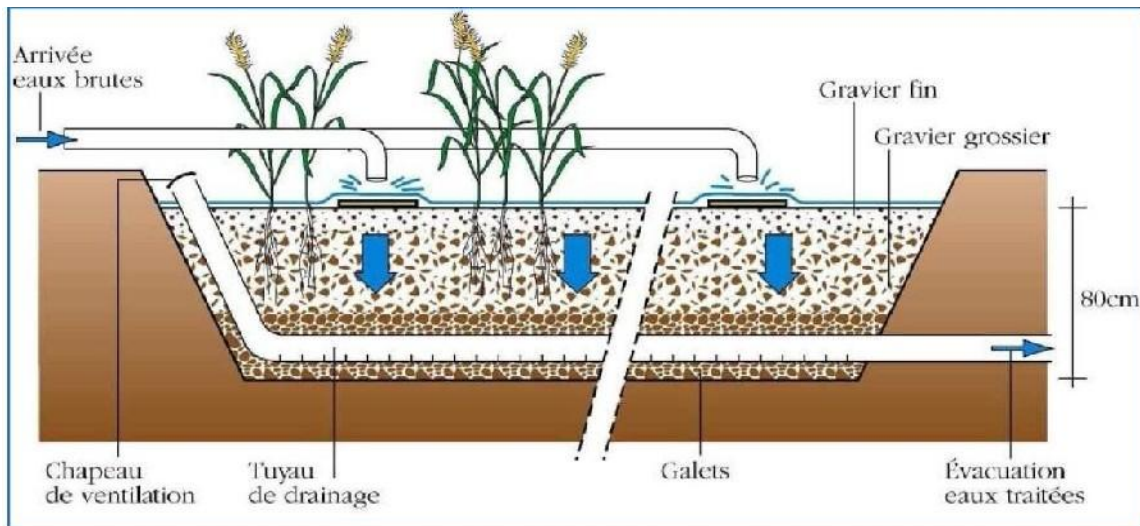


Figure N°02 : Schéma des filtres plantés de à écoulement verticale.(Bris, 1997).

Pour des questions de capacité d'oxygénation, les filtres du premier étage contribuent essentiellement à la dégradation de la fraction carbonée alors que ceux du deuxième étage terminent la dégradation de cette fraction et peuvent permettre une nitrification qui sera en fonction des conditions d'oxygénation, de la température et du pH (Poulet et al., 2004).

Ce procédé, qui nécessite 2 étages de 3 bassins parallèles, permet d'accepter des eaux usées brutes, de composter la pollution filtrée en surface, et d'obtenir des rendements d'épuration très intéressants. Il nécessite un entretien hebdomadaire, pour l'alternance des bassins, mais de faible technicité. Ce procédé est particulièrement intéressant pour les petites unités de traitement, de capacité comprise entre 100 et 1000 habitants raccordés. (B.E.I.E.R.E,2009)

Un seul filtre est alimenté durant trois à quatre jours, puis un autre filtre en parallèle encore trois à quatre jours, pendant que les autres sont « au repos ». Les phases de repos doivent avoir une durée au moins égale à celle de la phase d'alimentation. Elles sont nécessaires pour favoriser l'aération et l'apport d'oxygène à l'intérieur du massif afin d'y maintenir des conditions aérobies et pour réguler la croissance de la biomasse fixée. Elles permettent également aux dépôts de matière organique accumulés à la surface du lit de se déshydrater et de se minéraliser. (B.E.I.E.R.E,2009)

II.7.2. Filtres plantés à écoulement horizontal :

Les filtres horizontaux ne sont pas alimentés par la surface, comme les filtres verticaux.

Les eaux usées décantées entrent, via un gabion d'alimentation, directement dans le massif filtrant. Il est donc nécessaire de débarrasser l'effluent, au préalable, des matières en suspension, soit par l'intermédiaire d'un décanteur placé en amont, soit par un premier étage de filtration verticale. Les matières dissoutes sont dégradées dans le massif de filtration par la biomasse bactérienne fixée sur le support. Le niveau d'eau dans un filtre horizontal est normalement constant.

L'aération est limitée par l'absence d'un mouvement de la ligne de saturation et se fait de manière très faible par une diffusion gazeuse. L'apport d'oxygène est faible par rapport à la demande totale.

La pénurie en oxygène, limite la dégradation de la pollution carbonée et azotée, oxydation du carbone organique et de l'ammonium, et par conséquence limite la croissance bactérienne hétérotrophe et autotrophe (Poulet et al., 2004).

L'action des bactéries aérobies est ici réduite, contrairement à celle des bactéries anaérobies qui sont très actives. Or les mécanismes anaérobies participent à la transformation des formes réduites de l'azote NO_3^- (nitrates) en azote gazeux. L'étape de dénitrification peut donc avoir lieu, à condition qu'il y ait eu une première étape de nitrification. C'est pourquoi ces filtres sont souvent utilisés en aval des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical. (B.E.I.E.R.E,2009).

Il est utile de signaler que le filtre planté de roseaux à écoulement horizontal est plus sensible aux températures froides car il y a une lame d'eau permanente à la surface du filtre et cette eau peut geler.

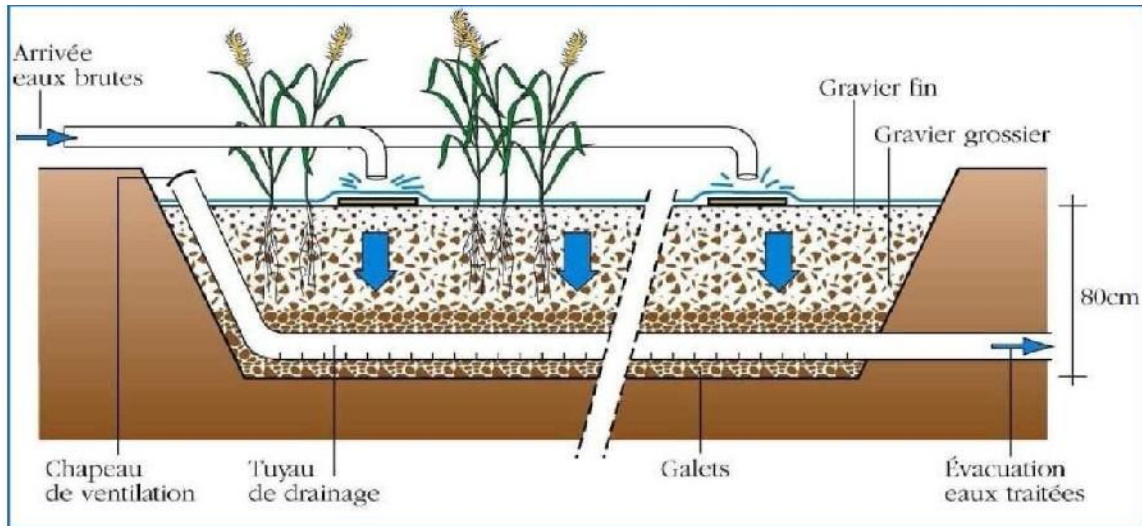


Figure N°03: Schéma d'un filtre planté de à écoulement horizontal. (Bris, 1997).

II.7.3. Systèmes hybrides :

Son intérêt réside dans la combinaison des deux sortes de filtres : bonne nitrification dans les filtres verticaux bien oxygénés (dégradation de la matière organique) suivie d'une dénitrification dans les filtres horizontaux par des bactéries dénitrifiantes (conditions d'anoxie nécessaires

Les rendements de la dénitrification ne sont pas très élevés car les bactéries ont besoin de matière organique pour se développer et dénitrifier correctement (Grison, 1999).

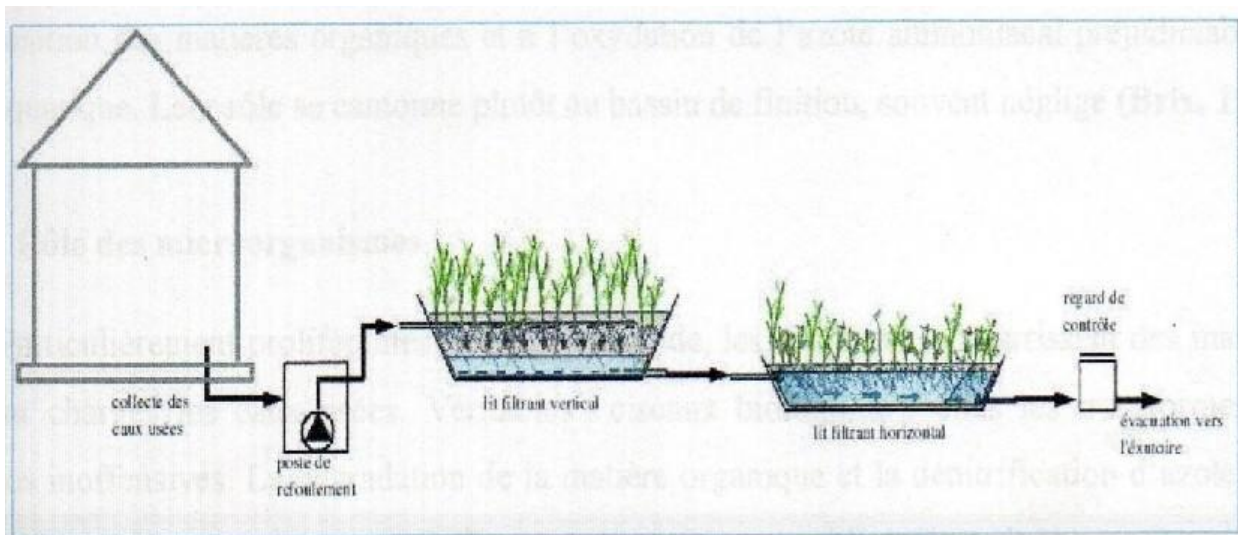


Figure N°04 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement hybride

(source : Hendrik, 2008).

II.8. Avantage et inconvénient de la phytoépuration :

II.8.1. Avantage de la phytoépuration :

- Elle ne dégrade pas l'environnement principalement dut 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)
- Moins coûteux à construire et à exploiter que les systèmes conventionnels
- Facilité de mise en œuvre
- Nécessite peu d'équipements mécanisés
- Consomme peu d'énergie
- Contrairement au lagunage, cette installation peut intégrer le tissu urbain (Cors, 2007).
- 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.8.2. 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 assurer une pente naturelle suffisante, entre l'entrée et la sortie de la station pour que l'eau puisse couler (Anne., 2001).
- Variation saisonnière de la qualité de l'eau en sortie.
- En cas de mauvais fonctionnement, risque d'odeurs pourrait apparaître.

II.9. Conception d'une station par la phytoépuration :

Le lagunage est utilisé pour le traitement des effluents domestiques d'une région qui ne dépasse pas 2000 habitants. Une étude préalable du sol est recommandée avant d'installer les bassins épurateurs pour éviter toute contamination avec le milieu. Cette étude concerne la perméabilité du sol, la présence d'une nappe phréatique, s'il y a un risque d'infiltration, il vaut mieux étanchéifier le fond du bassin en mettant un film plastique ou en apportant de l'argile. Pour diminuer les dépenses liées au traitement des eaux (nécessité de pompage électrique par exemple), il faut que le sens d'écoulement de l'eau suive la pente naturelle du terrain. Les données de base sont les suivantes :

II.9.1. Dimensionnement du bassin :

Le calcul du dimensionnement des bassins dans un lagunage à macrophytes se fait en suivant le nombre d'habitants qui se traduit en l'équivalent-habitant (EH) c'est-à-dire une unité conventionnelle qui représente la moyenne de la charge polluante engendrée par habitant et par jour, dans un volume moyen de 150 litre d'eau.

L'épuration par lagunage aéré seul a besoin d'une surface de 10m²/ EH tandis que la surface des bassins à filtres plantés est en dessous de la moitié de celle-ci. C'est pour cette raison que le lagunage à microphytes seul n'est pas praticable en milieu urbain. Il est plutôt destiné en milieu rural. (Rakotoarisoa, 2011).

II.9. 2. Contrôle de la station d'épuration :

Le contrôle des rejets des stations d'épuration s'inscrit dans le cadre général de l'auto-surveillance réalisée par l'exploitant. Cette surveillance s'effectue sous le contrôle des services administratifs. (Rajaonarivelo ,F, J 2013)

II.10. Phytoépuration en Algérie :

En Algérie, cette technique d'épuration, par filtres plantés, a fait son apparition que tardivement. En effet, ce n'est qu'en 2007 que le ministère des ressources en eau a procédé à la mise en place d'un système expérimental d'épuration des eaux usées basé sur un procédé naturel.

Ce pilote expérimental, destiné pour les petites agglomérations de moins de 2000 habitants est le premier du genre en Algérie, réalisé dans la région de Témacine servira de test pour une éventuelle vulgarisation à travers les zones et les hameaux enclavés de notre pays et qui sont dépourvus de système d'épuration.

Les premiers résultats obtenus à travers ce pilote sont concluantes vis à vis des objectifs tracés relatifs aux rendements épuratoires des éléments responsables de la pollution. Ce travail constituera avant tout une contribution à la compréhension du système et mécanismes d'épuration par lits plantés particulièrement en zones arides.(Madjoub,2014)

II.11.Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons passé en revue les principales recherches, relatives à la technique d'épuration par la phytoépuration et en l'occurrence par les filtres plantés à macrophytes. Ce procédé permet d'obtenir une eau débarrassée d'une grande partie de ces polluants et des boues constituant un sous produit de l'épuration. L'eau épurée peut enfin être rejetée dans le milieu naturel sans risque majeur.

PARTIE
EXPERIMENTAL

CHAPITRE III

MATERIELS ET METHODES

III.1. Introduction :

L'objectif principal de notre mémoire consiste en l'analyse expérimentale durant l'étude de l'évolution des performances des plantes macrophytes épuratrices utilisées en tenant compte du changement climatique lorsqu'on passe du mois de Février jusqu'à le mois d'Avril.

Les différents types de plantes testées sont : *Moringa oleifera* , *Cupressus sempervirens* , *Juncus maritimus* , *Phragmites communis* , *Acacia cyanophylla* et *Nerium Oleander* .

La réalisation d'une série d'analyses au laboratoire , des eaux usées est faite avant et après l'irrigation des plantes au niveau de la station d'épuration.

L'eau usée testée au cours de notre étude expérimentale provient de la station d'épuration (STEP1) de la commune de kouinine daïra d'El-oued qui se gère par l'office national d'assainissement (ONA) de la wilaya. Les analyses ont été réalisées aux sein des laboratoires de l'office national de l'assainissement (ONA) d'El-Oued , ADE d'El- Oued et l'Hôpital d'El-Oued .

Nos mesures ont portées sur les paramètres physico-chimiques suivants: Température (T), Matière en suspension (MES) le Potentiel d'hydrogéné (pH) ,Conductivité électrique (CE), Oxygène dissous , Demande Biochimique en Oxygène après cinq jours (DBO₅), Demande Chimique en Oxygène (DCO) , l'azote total (NT) , phosphore total (PT), les métaux lourds (Pb,Ni,Cu,CN,Cd) et analyse bactériologique (coliforme totaux ,Escherichiacoli).

Trois périodes de prélèvements des eaux épurées ont été faites pendant un mois , Ces prélèvement sont faites chaque 10 jour .

Le but de ces essais est de suivre l'évolution des performances des plantes utilisées lorsqu'on passe du mois de Février jusqu'à le mois d'Avril.

III.2. Matériels d'étude :

Dans cette expérience nous avons utilisé le matériel suivant :

III.2.1. Matériels de l'essai :

❖ Bassines :

Nous avons utilisé 7 bassines identiques de forme ronde en plastique, d'une hauteur de 30 cm, l'ouverture supérieure est de 45 cm et la base inférieure de 35 cm de diamètre.

❖ Tubes en PVC:

Tubes en PVC de 60 mm de diamètre perforé pour assurer l'entrée de l'air au fond de la bassine.

❖ Robinets :

Ce sont des robinets en plastique à 4 cm du fond des bassines pour l'évacuation de l'eau épurée.

❖ Tuyau transparent :

Sont mis en œuvre pour déterminer le niveau d'eau dans les bassines.

❖ Substrat :

On a utilisé le gravier de différents tailles (3 tailles) après leur lavage.



Photo N°01 : Les différentes tailles des graviers utilisés

III.2.2. Matériels Végétales :

Plusieurs plantes ont été utilisées dans le processus de la phytoépuration, dont les espèces épuratrices sont choisies selon les conditions suivantes :

- Supportant les conditions climatiques existantes et les conditions hydriques en excès.
- Se développant en bordures des cours d'eau.
- Elles sont tolérantes aux apports en polluants.
- Introduisant des nouvelles espèces pour évaluer leurs pouvoirs épuratrice.

Pour notre étude on a choisi les six espèces suivantes :

✚ *Phragmites communis* :

Nom commun : Roseau

Famille : Poaceae

Espèce : *Phragmites communis*

Date de prélèvement hors sol : 31/01/2016

La date de l'implantation dans le bassine : 31/01/ 2016

Origine : Cité Chott - commune El-Oued



Photo N°02 : *Le Phragmites communis*

✚ *Juncus maritimus* :

Nom commun : Jonc

Famille : Joncaceae

Espèce : *Juncus maritimus*

Date de prélèvement hors sol :28/01/2016

La date de l'implantation dans le bassine : 31/01/ 2016

Origine : Cité chott - commune El-Oued



Photo N°03 : *Juncus maritimus*

+ Nerium Oleander :

Nom commun : Le Laurier Rose

Famille : Apocynacées

Espèce : *Nerium Oleander*

Date de prélèvement hors sol : 28/01/2016

La date de l'implantation dans le bassine : 31/01/2016

Origine : Pépinière de forêt Cité Akfadou - commune Debila



Photo N°04 : *Nerium Oleander*

+ Moringa oleifera :

Nom commun : Moringa

Famille : Moringacées

Espèce : *Moringa oleifera*


Date de prélèvement hors sol : 28/01/2016

La date de l'implantation dans le bassine : 31/01/2016

Origine : La subdivision de forêt - commune Guemar



Photo N°05 : *Moringa oleifera*

 *Acacia cyanophylla* :

Nom commun : Acacia

Famille : Mimosaceae

Espèce : *Acacia cyanophylla*

Date de prélèvement hors sol : 28/01/2016

La date de l'implantation dans le bassin : 31/01/2016

Origine : Pépinière de forêt Cité Akfadou - commune Debila



Photo N°06 : *Acacia cyanophylla*

 *Cupressus sempervirens* :

Nom commun : Cyprès

Famille : Cypressaceae

Espèce : *Cupressus sempervirens*

Date de prélèvement hors sol : 28/01/2016

La date de l'implantation dans le bassin : 31/01/2016

Origine : Pépinière de forêt Cité Akfadou - commune Debila



Photo N°07 : *Cupressus sempervirens*

III.2.3. Les eaux usées : Les eaux usées d'origine domestique utilisées dans cette expérimentation proviennent de la STEP 01 .

III.3. Méthode d'étude :

III.3.1. Dispositif expérimental :

Le dispositif utilisé pour nos essais porte sur une série de bassines groupées, comportant six plantes (*Moringa oleifera*, *Cupressus sempervirens*, *Juncus maritimus*, *Phragmites communis*, *Acacia cyanophylla*, *Nerium Oleander*) et le témoin (filtre nu) .



Photo N°08 : Dispositif expérimental (photo original)



Photo N°09 : Dispositif expérimental des différents filtres (photo original)

III.3.1.1. Préparation des bassines :

Les robinets en polyéthylène sont placés à 4 cm à partir du fond des bassines. Un tube en PVC perforé est introduit verticalement dans ces bassines.

III.3.1.2. Préparation de gravier :

Le gravier est lavé à plusieurs reprises avec de l'eau du robinet et classé en trois tailles de diamètre quasi-uniforme.

III.3.1.3. Remplissage des bassines :

On remplit la bassine par le massif filtrant, celui-ci est composé d'une succession de couches de gravier de diamètre décroissant, avec l'implantation des plantes au niveau de la deuxième et la troisième couche.

Tableau N°04 : La taille des différents types du substrat .

Substrats	Taille	Profondeur dans les bassines
Gravier grossier	2 à 5 cm	4 cm
Gravier moyen	0,5 à 2 cm	08 cm
Gravier fin	0,2 à 0,5 cm	12 cm

**Photo N°10** : Remplissage des bassines (photo original)**III.3.1.4. Entretien au niveau des bassines :**

L'entretien au niveau des bassines, comprenant des gestes simples qui doivent être assurés de la façon suivantes :

- On a ajouté l'eau après chaque mois pour lessiver toutes les sels et les matières organiques restés dans les bassins.
- On a emporté les feuilles sèches des plantes qui existent au niveau des bassins.

III.3.2. Méthode de dosage des paramètres physique:**III.3.2.1. Température (T°):**

La température régit la quantité d'oxygène élevée, elle influence également sur la décomposition de la matière organique, le développement des parasites responsables de Certaines maladies.

- **Expression des résultats:**

La valeur est lue directement sur l'écran de l'appareil.

III.3.2.2. Matière en suspension (MES)

La vaporisation de l'échantillon à une température de 105 °C pendant 2 heures et détermination des matières en suspension par pesée différentielle. Lorsqu'il s'agit des eaux non chargées en MES : on utilise des filtres pour la filtration.

- **Mode opératoire :**

- Mouiller le filtre avec de l'eau distillée ;
- Mettre le filtre pendant quelque minute dans l'étuve chauffée à 105 °C préalablement ;
- laisser refroidir les filtres dans le dessiccateur quelques minutes après l'étape précédente ;
- Peser le filtre sur la balance (soit P_0 en mg) ;
- placer le filtre (la partie lisse en bas) dans la rampe de filtration et la connecter à pompe à vide ;
- filtrer un volume (V ml) de l'échantillon, puis rincer l'éprouvette graduée avec environ 20 ml d'eau distillée, et rincer les parois internes de l'entonnoir avec un autre volume de 20ml d'eau distillée ;
- Retirer avec précaution le filtre de l'entonnoir à l'aide de pinces à extrémités plates. si nécessaire, le filtre peut être pilé ;
- Placer le filtre dans l'étuve à (105 ± 2) °C pendant 2 heures ;
- Laisser s'équilibrer à température ambiante dans le dessiccateur sans le contaminer et le peser comme précédemment (soit P_i en mg) ;
- calculer la teneur de la matière en suspension d'après l'expression suivante:

$$MES = ((P_2 - P_1)/V) \times 1000.$$

Où: P_1 : Poids du filtre sec avant filtration (en mg)

P_2 : Poids du filtre sec après filtration (en mg)

$P_2 - P_1$: Poids de la matière retenue par le filtre sec

V : Volume de la prise d'eau en (ml)

III.3.3. Méthode de dosage des paramètres chimique:

III.3.3.1. Le potentiel hydrogéné (pH) :

- Principe :

Le potentiel hydrogéné (pH) est en relation avec la concentration des ions hydrogène présent dans l'eau ou les solutions. La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel-KCL saturé). Plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ .

- Appareil :

pH mètre EUTECH PH 510

Electrode : Electrode de pH combiné.

Réactifs : Tampon pH 10 Tampon pH = 7 Tampon pH= 4



Photo N°11 : Le pH mètre.

- Étalonnage de l'appareil :

- Allumer le pH mètre ;
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée ;
- Prendre dans un bêcher la solution tampon pH =7 ;
- Régler l'agitation à faible vitesse ;
- Tremper l'électrode de pile dans la solution tampon pH =7 ;
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard ;

- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée ;
- Réétalonner dans la même manière avec les solutions tampon pH = 10 ou pH = 4.
- **Dosage de l'échantillon :**
 - Prendre environ 100 ml d'eau à analyser (brute, traitée) ;
 - Mettre un agitateur avec une faible agitation ;
 - Tremper l'électrode dans le bêcher ;
 - Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation ;
 - Puis noter le pH.

III.3.3. 2.Détermination de la conductivité électrique (CE) :

- **Principe :**

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

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 est l'inverse de la résistivité et qui s'exprime en siemens par mètre.

- **Appareil :** conductimètre terminal 740 WTW



Photo N°12 : Conductimètre.

- **Mode opératoire :**

- Vérifier le calibrage de l'appareil suivant la procédure ci-jointe ;
- Plonger l'électrode dans la solution à analyser ;
- Lire la CE et la salinité et la température des stabilise de celle-ci ;
- Rincer bien l'électrode après chaque usage et conserve l'électrode toujours dans l'eau déminéralisée.

III.3.3.3. L'oxygène dissous :

- **Principe :**

La concentration réelle en oxygène dépend en outre de la température, de la consommation d'oxygène due à des processus microbiologique de la décomposition des substances organiques biodégradables ou à une production d'oxygène par les algues.

Actuellement, la mesure électrochimique est la méthode reconnue par les différentes normes pour déterminer la concentration en oxygène des eaux.

- **Appareil :** INOLAB- OXI 730 WTW



Photo N°13 : Oxymètre.

- **Mode opératoire :**

- Allumer l'oxymétrie ;
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée ;
- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser ;
- Tremper l'électrode dans le bêcher ;
- Laisser stabiliser un moment.

Puis on noter la concentration de l'oxygène.

III.3.3.4. La demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

- **Principe :**

L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermo-staée est mis sous incubation. On fait la lecture de la masse d'oxygène dissous, nécessaire aux présences d'air pendant cinq jours. Les micro-organismes présents dans l'eau usée testée consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par l'oxygène de l'air, contenu dans le flacon provoquant une diminution de la pression au-dessus de l'échantillon cette dépression sera enregistrée par une OXI TOP.



Photo N°14 : DBO sensor .

- **Mode opératoire :**

La prise d'essai dépend de la charge de l'échantillon, celle-ci dépend de l'origine de l'échantillon d'eaux brute et épurée. Régler la DBO sensor à partir de la gamme.

- Appuyer sur le bouton (A) et (B) au même temps pour changer le programme ;
- Appuyer sur le bouton (A) pour régler la gamme ;
- Appuyer sur le bouton (B) jusqu'à l'affichage de (00) ;
- Mettre le Barrou-magnétique dans la bouteille de DBO₅ ;
- Mettre le volume (V) dans la bouteille de DBO₅ ;
- Mettre le support d'alcalin (caoutchouc) sur la bouteille ;
- Ajouter 3 ou 4 pastilles de KOH sur le support d'alcalin en évitant la chute d'une Masse de KOH dans l'eau a analysée ;
- Poser la bouteille dans le système d'agitation ;
- Introduire le système d'agitation dans l'étuve réfrigérée (20°C) ;

- laisser la bouteille dans l'étuve pendant 30 minutes ;
- Fermé bien la bouteille par la DBO sensor.

Tableau N°05 : Volume de l'échantillon d'après la DBO présumée.

Gammes (mg O ₂ /l)	0-1000	0-600	0-250	0-90
Volume d'échantillon (V) (ml)	100	150	250	400

- **Expression des résultats :**

Indiquer la valeur de DBO après 5 jours en mg/l.

III.3.3.5. La demande chimique en oxygène (DCO) :

- **Principe :**

Dans des conditions bien définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromate de potassium en milieu acide et en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de Fer et d'ammonium

- **Préparation :**

- Analyser les échantillons immédiatement après leur prélèvement ;
- Homogène les échantillons ;
- Vérifier la teneur en chlorures.

- **Appareil :** Photo lab spectral WTW



Photo N°15 : Spectrophotomètre .

- **Mode opératoire :**

- Agiter le tube à essai pour amener le résidu en suspension ;
- Pour les échantillons d'eaux brut, utilisée les gammes de réactif concentrée (50-500) ou (25-1500) ;
- Pour les échantillons d'eaux épurées, utilisée les gammes de réactif de faible concentration (10-150) ;
- Faire couler avec précaution de la pipette sur le réactif le long de la paroi interne du tube à essai incliné ;
- Boucher hermétiquement le tube avec le bouchon fileté ;
- Mélanger énergiquement le contenu de tube et toujours saisir le tube par son bouchon ;
- Chauffer le tube pendant 120 minutes à 148°C dans le thermo-réacteur portoir ;
- Au but de 10 minutes, agiter le tube et le remettre dans le portoir jusqu'à refroidissement à température ambiante (temps de refroidissement au moins 30 minutes) ;
- Mesurer l'échantillon dans le spectrophotomètre.

- **Expression des résultats :**

- Le résultat est donné directement en mg/l.

III.3.3.6. L'azote total (NT) :

- **Principe :**

Les composés azotés organiques et inorganiques sont transformés en nitrates selon la méthode de Koroleff à l'aide d'un oxydant dans un thermoréacteur.

Dans une solution acidifiée avec de l'acide sulfurique et phosphorique, les nitrates forment avec le diméthyl-2,6-phénol (DMP) le nitro-4-diméthyl-2,6-phénol qui est dosé par photométrie.

- **Réactifs :**

Réactif I : N-1K

Réactif II : N-2K

- **Appareil :** Spectrophotomètre UV-Visible

- **Mode opératoire :**

- ❖ Prendre 1 ml d'eau à analyser ;
- ❖ Ajouter 0.9 ml d'eau distillée ;
- ❖ Ajouter 1 micro cuiller du réactif **I** ;
- ❖ Ajouter 6 gouttes du réactif **II** ;
- ❖ Boucher hermétiquement le tube et mélanger ;
- ❖ Chauffer le tube pendant 1 heure à 120 °C dans le thermoréacteur préchauffé ;
- ❖ Laisser refroidir le tube bouché jusqu'à la température ambiante dans un support d'éprouvette ;

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

III.3.3.7. Le phosphore total (PT) :

- **Principe :**

Une minéralisation transforme le phosphore organique en orthophosphates et permette ainsi d'accéder au phosphore total. Cette minéralisation a été réalisée à l'aide d'un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique. Après minéralisation, les orthophosphates ainsi formés sont dosés par colorimétrie (méthode au molybdate d'ammonium) à l'aide d'un colorimètre de type HACH.

III.3.3.8. Métaux lourds:

On a utilisé la méthode de test en tube pour toutes les analyses de métaux lourds des eaux usées de la STEP1.

- ❖ **Plomb (Pb) (mg/l):** dans une solution alcaline, les ions plomb forment avec Le (pyridyl-2-azo)-4-résorcinol un complexe rouge que nous avons dosé par photométrie.
- ❖ **Cadmium (Cd) (mg/l):** dans une solution alcaline, les ions cadmium forment avec un dérivé du cation un complexe rouge qui est dosé par photométrie.
- ❖ **Cuivre (Cu) (mg/l):** le Cu avec le cuprizon en milieu ammoniacal, les ions Cu forment un complexe bleu que nous avons le dosé par la photométrie.
- ❖ **Cyanure (CN)(mg/l):** l'argent de chlorocynure qui réagit avec l'acide diméthyl -1-3-barbiturique en donnant un colorant violet, nous permis de doser CN par photométrie.
- ❖ **Nickel (Ni) (mg/l):** après une oxydation des ions de Ni par de l'iode, puis une

transformation par diméthyl-glyoxime dans une solution ammoniacale en un complexe rouge brun, nous avons dosé cet élément par photométrie selon la méthode appliquée pour cette analyse qui est analogue à US standard méthodes 3500-NiE.

III.3.4. Analyse bactériologique :

III.3.4.1. Coliforme totaux :

- **Mode opératoire :**

On Prélève 10 ml de l'eau épurée de chaque plante, puis on pose dans tube épreuve, il contient un solution bouillon pourpre de bromocresol (BCPL D/C), laisser a durée 48 h.

- **Composition de réactif :**

Solution bouillon pourpre de bromocresol BCLP S/C (10 ml + cloche /tube) Bouillon lactose au pourpre de bromocresol milieu non sélectif, utilisée pour la détection de bactéries coliforme dans l'eau.

- **Expression des résultats :**

Flotté de cloche donc il y a coliforme totaux.

III.3.4.2. Escherichia coli :

- **Mode opératoire :**

On prend 1 ml des échantillons qui mesurée déjà dans coliforme totaux pour chaque plante puis passer au étuve à 44°, laisser à durer 24 h. Puis on ajoute quelques gouttes de kovacs, et agiter jusqu' à l'apparition du cercle :

- Si jaune donc, elle indique la présence des coliformes totaux.
- Si rouge donc, elle indique la présence d'Escherichia coli.

- **Expression des résultats :**

Si un cercle rouge apparait donc, ceci indique la présence d'Escherichia coli.

III.4. Conclusion :

Dans ce chapitre il a été présenté les matériels et méthodes permettant l'analyse expérimentale du pouvoir épurateur des six plantes macrophytes choisies, à savoir : *Moringa oleifera* , *Cupressus sempervirens* , *Juncus maritimus* , *Phragmites communis* , *Acacia cyanophylla* et *Nerium Oleander* . Ces plantes ont été implantées dans sept bassines identiques, remplies de gravier roulé préalablement lavé. L'étude a été effectuée pour trois périodes : le mois de Février , le mois de mars et le mois d'Avril .

CHAPITRE III

MATERIELS ET METHODES

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. Introduction :

Les prélèvements des eaux traitées en trois périodes (les mois de Février , Mars , Avril) les prélèvements des eaux traitées ont été faites, et entre chaque deux périodes on a récupéré toutes les quantités d'eau restées dans les bassines, et en suite on ajoute l'eau potable pour lessiver toutes les sels et les matières organiques restées dans les bassines. Dans chaque période les prélèvements des eaux stagnées sont effectués sur toutes les bassines, après chaque 10 jours , pour une période de un mois, avec donc trois prélèvements. Le remplissage avec les eaux usées brutes est effectué chaque mois , sachant que les analyses des prélèvements ont été réalisées avec un échantillon de prélèvement.

IV.2. Rendement épuratoire :

L'interprétation des résultats a été essentiellement basée sur le rendement épuratoire des paramètres physico-chimiques, calculés par la relation suivante :

$$\text{Rendement \%} = 100 (C_{\text{ERU}} - C_{\text{f}}) / C_{\text{ERU}}$$

Tels que :

C_{ERU} : Concentration du paramètre considéré dans l'eau résiduaire urbaine (eaux usées brutes) appliquée sur le lit filtrant.

C_{f} : Concentration du paramètre considéré dans le filtrat . (Petemanagnan, 2008).

Les résultats des analyses de la période du mois on adoptera dans tout ce qui va suivre la notice suivante :

Tableau N°06 : Les notices des prélèvements des eaux usées.

Mois	Date de prélèvement (P)	Symbole de prélèvement
Février	01/02/2016	BF
Mars	01/03/2016	BM
Avril	01/04/2016	BA

Tableau N°07 : Les notices des prélèvements des eaux récupérés par les filtres.

Mois	Date de prélèvement (P)	Symbole de prélèvement
Février (F)	09/02/2016	PF1
	19/02/2016	PF2
	29/02/2016	PF3
Mars (M)	10/03/2016	PM1
	20/03/2016	PM2
	30/03/2016	PM3
Avril (A)	10/04/2016	PA1
	20/04/2016	PA2
	30/04/2016	PA3

IV.3. Résultats et discussions des paramètres analysés :

IV.3 .1.Paramètres physiques :

IV.3 .1.1. Température :

La température des eaux usées constitue un des paramètres influençant leur composition (effet sur la solubilité des sels). Elle favorise aussi la formation d'une biomasse bactérienne importante. (Meink et al, 1977, Harzouli et al, 2007). Les valeurs de la température durant notre expérimentation est varier, Cette variation est en relation avec la température de l'atmosphère .Les températures moyennes de mois de Février est de 14.6 °C ; le mois de Mars est de 16.8°C et le mois d'Avril est de 23.2°C (DT , 2016).

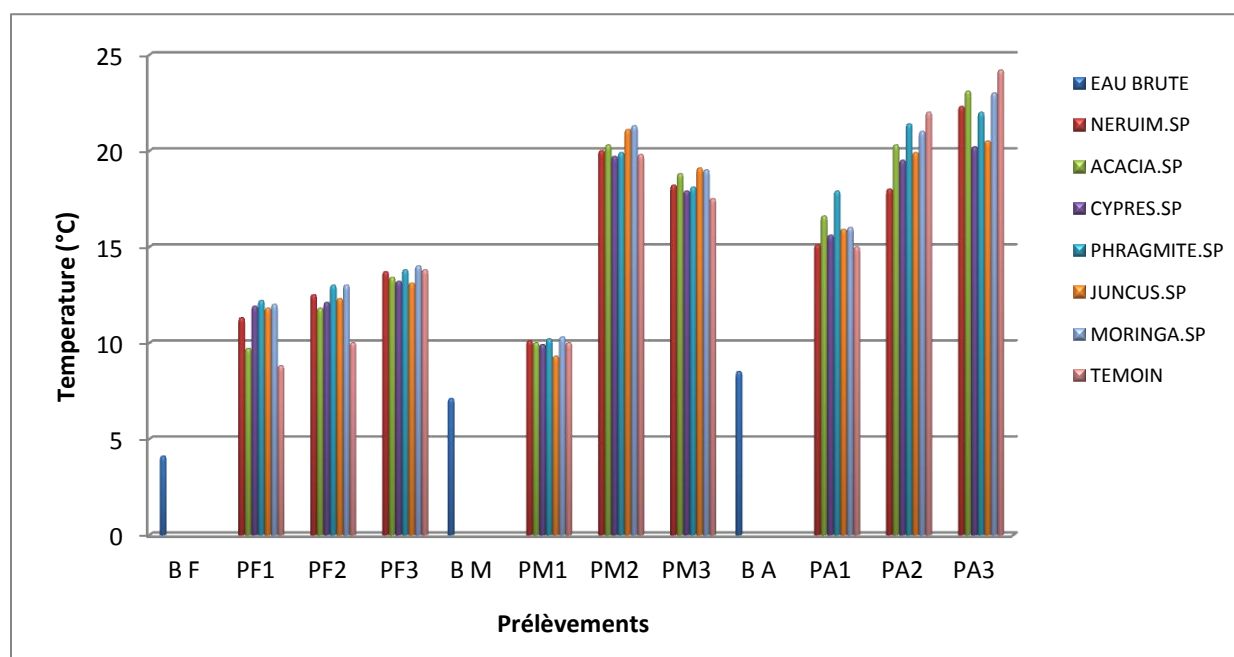


Figure N°05 : Variation temporelle de la température .

D'une façon générale, la température de l'eau du mois Février est faible par rapport au mois de Mars et le mois d'Avril, on notons la valeur minimale est de 8.8 °C dans le témoin (filtre nu). La température moyenne de moi Février d'eau récupérer par chaque plante est : 11.63°C (*Acacia*), 12.4°C (*Cypres, Juncus*), 12.5°C (*Neruim*), 13°C (*Phragmite, Moringa*).

La température présente une augmentation progressive lorsqu'on passe du mois de Mars au mois d'Avril, on constate une valeur de 9.3°C au PM1 pour la plante de *Juncus* et de 24.2°C à la fin de PA3 pour le filtre nu.

La température moyenne de mois d'Avril d'eau récupérer par chaque plante est : 18,43°C (*Cypres*), 18,46°C (*Neruim*), 18,76°C (*Juncus*), 20°C (*Acacia, Moringa*), 20,43°C (*Phragmite*).

IV.3.1.2. Matières en suspension :

Les matières en suspension (MES) constituent une bonne partie de la pollution carbonée. Leur abattement contribue donc à un meilleur rendement d'élimination de la DBO₅ et de la DCO (Wolverton, 1987).

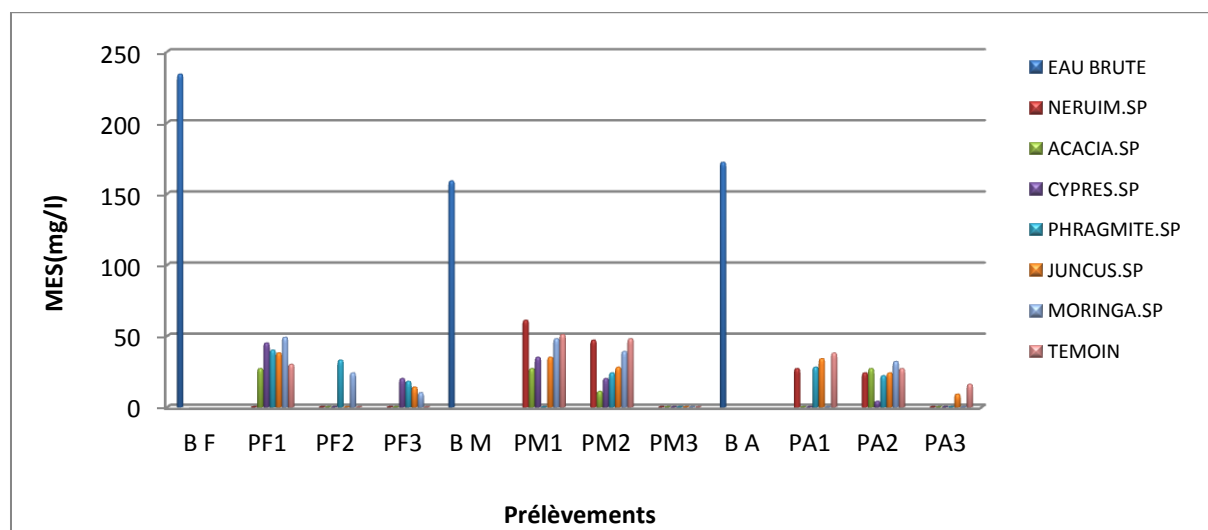


Figure N°06 : Variation temporelle de matière en suspension.

La figure N°06 montre que la concentration des matières en suspension des eaux usées brutes varie de 159 mg/l jusqu'à 234 mg/l, c'est-à-dire que ces eaux usées sont très chargées par matières volatiles et matières minérales, supérieur au norme algérien de rejet 35 mg/l. Par contre, on observe que les résultats obtenus à la sortie de témoin mettent en évidence que la teneur en MES varie de 8,7 à 51 mg/l.

Les résultats que nous avons obtenus nous ont permis de constater que la concentration de matières en suspension des prélèvements effectués diminue progressivement en allant de la première prélèvement vers le troisième prélèvement de chaque mois.

Les moyennes des concentrations prennent une valeur maximale de l'ordre de 40,74 mg/l, enregistrée au niveau de la bassine qui implanté par le *Neruim*, et une valeur minimale de l'ordre de 14,93 mg/l, enregistrée au niveau de la bassine qui implanté par l'*Acacia*.

Les moyennes des rendements de leur élimination sont résumées comme suit:

✚ Dans le mois de Février :

86.48 % (*Cypres*), 87.03 % (*Phragmite*), 88.17 % (*Moringa*), 88.69% (*Juncus*),
90.55 % (*Neruim*), 92.20 % (*Acacia*).

✚ Dans le mois de Mars :

74.37 % (*Neruim*), 76.12 % (*Moringa*), 76.71 % (*Phragmite*), 84,32 % (*Juncus*),
84.71 % (*Cypres*), 91.61 % (*Acacia*).

✚ Dans le mois d'Avril :

82,71 % (*Moringa*), 87 % (*Acacia*), 87,01 % (*Juncus*), 88,47 % (*Neruim*),
88,8 % (*Phragmite*), 90,87 % (*Cypres*).

Au vu de ces résultats, nous remarquons que les meilleurs rendements d'élimination des MES sont observés dans les bassines implantées par l' *Acacia* (mois de Février et Mars) et par *Cypres* (mois d'Avril).

En général, nous pouvons dire les pourcentages d'élimination de la matière en suspension présentes dans l'eau usée brute après filtration en utilisant des plantés macrophytes sélectionnés sont très élevés est remarquables. Cette élimination est due a l'absorption des matières solubles par les racines et aussi par le traitement physique (filtration).

Nos résultats coïncident parfaitement par les résultats de l'étude menée par Vymazal, (2005). Il indique que la diminution de la matière en suspension est expliquée par le fait que le massif implanté par les plantes épuratrices permet une bonne élimination des matières en suspension et matières organiques dégradé par l'activité bactérienne au niveau des racines .

IV.3.2. Paramètres chimiques:

IV.3.2.1. Potentiel d'hydrogène (pH) :

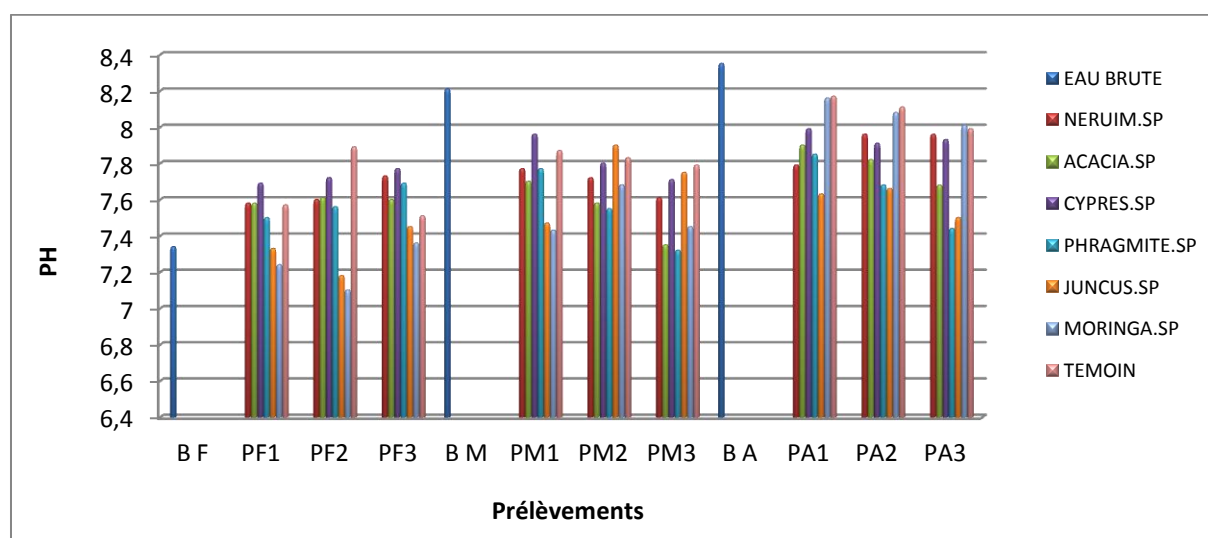


Figure N°07 : Variation temporelle de potentiel d'hydrogène.

D'une façon générale, le pH des eaux usées brutes fluctuent entre 7.74 et 8.49. Les résultats du pH dans le filtre nu (témoin), varient entre 7.51 et 8.17. Les pH de dans les prélèvements sont basiques, assez proches de la neutralité. Les résultats obtenus au mois de Février ont presque la même allure : entre 7.23 (*Moringa*) jusqu' a 7.72 (*Cypres*) . Une légère augmentation du pH a été remarquée en allant de mois de Mars au mois d'Avril, les valeurs varient entre 7.52 (*Moringa*) et 7.82 (*Cypres*) au mois de Mars , entre 7.59 (*Juncus*) et 8.08 (*Moringa*) au mois d' Avril. Cette augmentation du pH au niveau les bassines sont expliqués par la respiration des plantes et l'activité photosynthétique consommatrice des protons H⁺ (Smith et al, 1987; Slimani, 2006).

Donc on peut dire que dans les bassines avec les plantes filtrants , plusieurs facteurs peuvent expliquer cette diminution de pH :

- ✚ L'accumulation de H⁺ suite à l'activité des bactéries nitrifiantes.
- ✚ L'accumulation de CO₂ dûe au métabolisme des plantes ou à la dégradation de la matière organique par les bactéries hétérotrophes.
- ✚ La production des ions H⁺ par la plante pour compenser le prélèvement de certains cations (nutrition minérale) (Kone, 2002)

IV.3.2.2. Conductivité électrique :

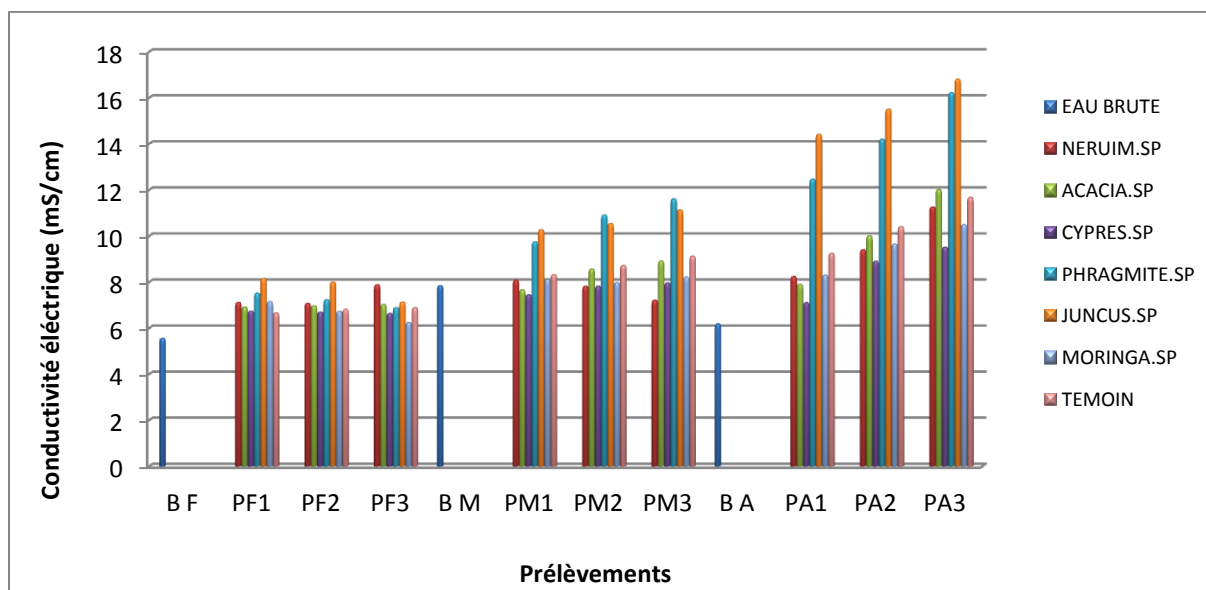


Figure N°08 : Variation temporelle de la conductivité électrique.

D'après nos résultats, les valeurs de la conductivité électrique enregistrées des eaux usées brutes oscillent entre 5.54 ms/cm et 7.83 ms/cm ,

Au mois Février la conductivité électrique des eaux récupérées est d'une moyenne entre 6.73 ms/cm (*Cypres*) et 7.46 ms/cm (*Juncus*).

Durant le mois d'Mars , les valeurs moyennes de la conductivité électrique des eaux récupérées est entre de 7.69 ms/cm (*Neruim*) jusqu' a 10.74 ms/cm (*Phragmite*).

Durant le mois d'Avril, les valeurs moyenne de la conductivité électrique des eaux récupérées augmentent en allant de 9.47 ms/cm (*Moringa*) jusqu' a 15.56 ms/cm (*Juncus*).

D'après nos résultats, on a constaté que la conductivité électrique des eaux usées récupérées des bassines suit une évolution croissante de mois Février vers le mois d' Avril cette évolution est due à l'augmentation de la température atmosphérique et la durée d'insolation qui influe directement sur l'évaporation de l'eau et l'évapotranspiration de la plante donc une élévation de la concentration des sels solubles dans toutes les bassines. On constate que les valeurs de la conductivité électrique sont maximales chez le phragmite et le *Juncus* respectivement 16.21 ms/cm et 16.80 ms/cm a cause de leurs capacité d'absorption intensive par ce que sont des plante aquatique (hydrophile).

Ces valeurs sont supérieures à celle des eaux récupérées par le filtre nu , donc il y'a une augmentation remarquable des valeurs en conductivité électrique , avec une accumulation des sels jusqu'au PA3 où cette accumulation est augmentée avec l'existence des plantes, en conclusion on peut dire que les plantes favorisent la production des matières minérales dues à la minéralisation de la matière organique par les bactéries.

IV.3.2.3. L'Oxygène dissous :

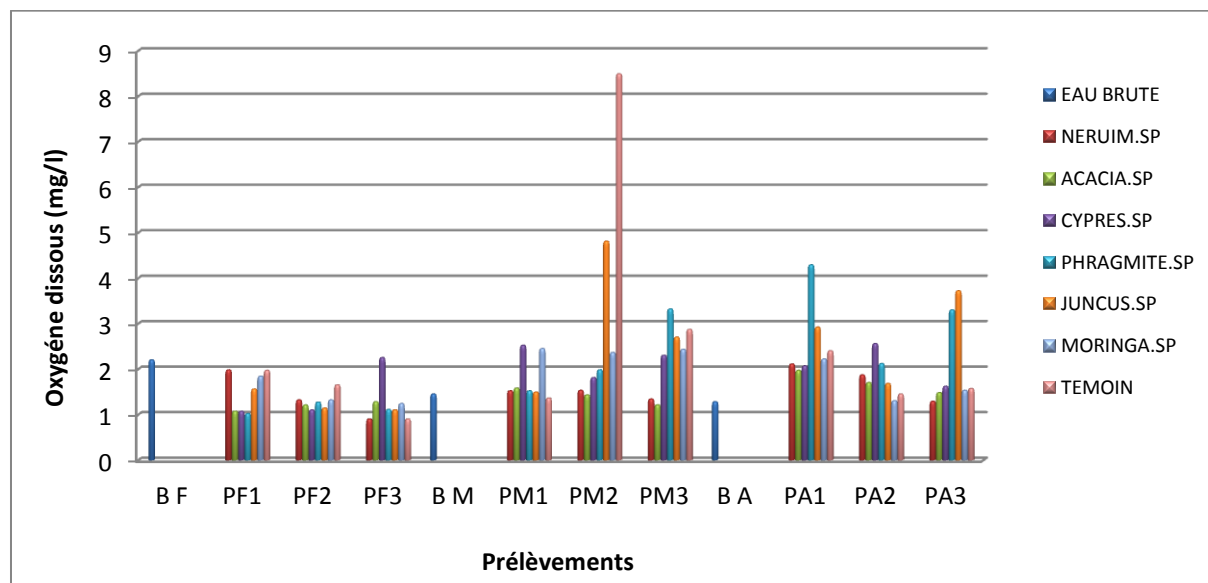


Figure N°09 : Variation temporelle de l'oxygène dissous.

Les résultats obtenus indiquent que les concentrations en oxygène dissous des filtres plantés dépassent celles sortant de la bassine sans plante (témoin) et celles des eaux usées brutes. Nous constatons ainsi que la teneur en oxygène dissous des eaux brutes varie de 1.28 à 2.2 mg/l , ces eaux sont dans l'ensemble moins oxygénées et sont conformes avec la couleur de l'eau des bassins qui ne traduit pas un développement algal.

Ceci serait dû seulement à l'interface eau-air et également à l'absence de l'oxygène libéré par la photosynthèse. Cette diminution dans les eaux usées avant épuration est due à un excès de matière organique, l'autoépuration ne suffit plus pour les éliminer, ce qui peut provoquer une asphyxie, en période chaude.

Tandis que, nos résultats soulignent que la concentration de l'oxygène dissous à la sortie de témoin varie de 1.5 à 4.24 mg/l.

Concernant, les filtres plantés, les valeurs des concentrations se résument comme suit :

- ✚ Dans le mois de Février : elles varient de 1.13 mg/l (*Phragmite*) à 1.47 mg/l(*Cypres*).
- ✚ Dans le mois de Mars : elles varient de 1.4 mg/l (*Acacia*) et 3mg/l (*Juncus*).
- ✚ Dans le mois d'Avril : elles varient de 1.68 mg/l (*Moringa*) et 3.23mg/l (*Phragmite*).

L'augmentation de l'oxygène dissous après le passage de l'eau à travers les deux systèmes d'épuration planté et non planté pourrait être expliquée par la forte activité métabolique des plantes macrophytes puisque cet oxygène est résultant de leur métabolisme ainsi que du transfert dû à la diffusion de l'air, donc il est utile de dire que les plantes testées apportent de l'oxygène nécessaire aux réactions de dégradation aérobie de la matière organique. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Kurniadie et al. (2011).

Celle-ci est accentuée avec la *Phragmite* et *Juncus*, probablement à cause de leur biomasse racinaire.

IV.3.2.4. Demande biochimique en oxygène:

La DBO₅ (Demande Biochimique en Oxygène) est l'un des paramètres physico-chimiques d'estimation du carbone organique biodégradable dans une eau. En milieu pollué, le carbone est utilisé par les bactéries comme source d'énergie et pour la synthèse de nouvelles cellules.

Cette dégradation peut se faire en présence ou en absence d'oxygène (Edeline, 1993).

D'une façon générale, Les résultats de DBO₅ des eaux usées brutes à l'entrée de la station d'épuration 01 d'El oued fluctuent entre 270 et 380 mg/l, selon la nature des eaux usées introduites dans la station qui a une charge organique importante.

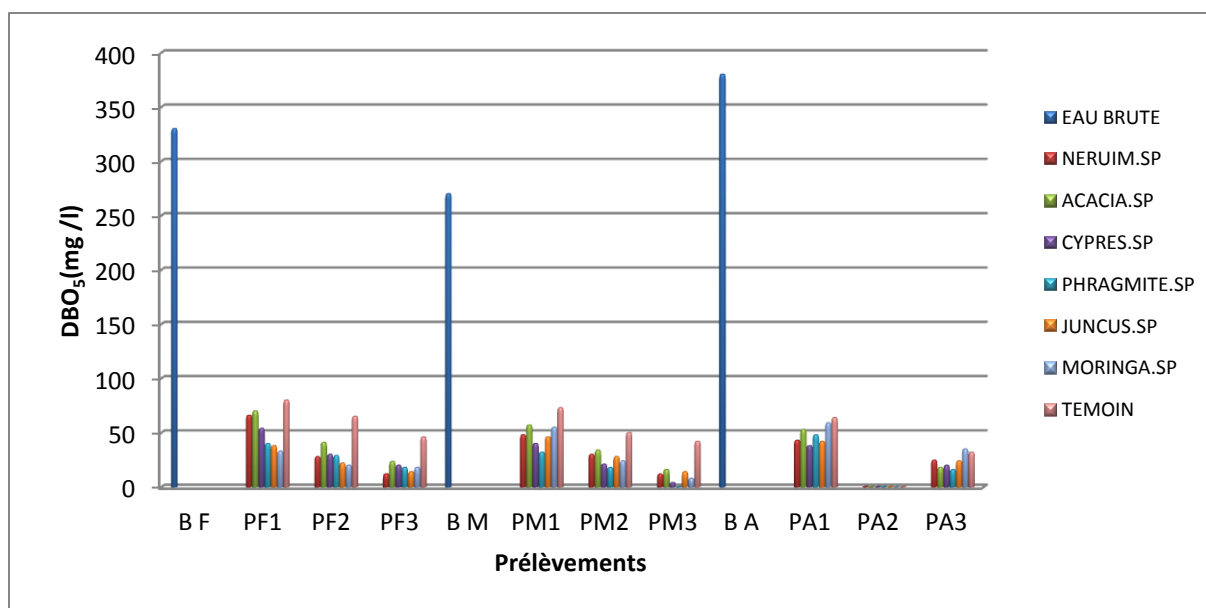


Figure N°10 : Variation temporelle de la demande biochimique en oxygène .

La figure N°10 montre clairement que les valeurs de DBO₅ dans les eaux usées récupérées après filtration sont toujours inférieures à celles des eaux usées brutes.

A la sortie de témoin les concentrations de la DBO₅ varient de 32 mg/l à 80 mg/l avec un bon rendement d'élimination de l'ordre de 87,36 % , car le témoin est considéré également comme procédé d'épuration des eaux usées .

La plus part des concentrations de la DBO₅ enregistrées après filtrations des eaux usées au niveau des bassines sont proches aux normes algériennes admises au rejet (40mg/l).

Sachant que 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 NH⁴⁺ et le CO₂ sont utilisés par la plante (Polprasert and Khatiwada, 1998).

Les rendements d'élimination pour chaque mois sont classés par ordre croissantes :

✚ Dans le mois de Février :

86.4 % (Acacia) , 89.3 % (Neruim) , 89.49 % (Cypres) , 91.21 % (Phragmite) , 92.52 % (Juncus) , 92.82 % (Moringa) .

✚ Dans le mois de Mars :

86.79 % (Acacia) , 88.82 % (Neruim) , 89.13 % (Juncus) , 89.25 % (Moringa) , 91.97 % (Cypres) , 92.81 % (Phragmite) .

✚ Dans le mois d'Avril :

87.63 % (*Moringa*), 90.65 % (*Acacia*), 91.1 % (*Nerum*), 91.31 % (*Juncus*), 91.57 % (*Phragmite*), 92.36 % (*Cypres*).

Selon nos résultats, les meilleurs rendements d'élimination sont enregistrés par *Moringa* (92,82 % dans le mois de Février), *Phragmite* (92,81 % dans le mois de Mars), (92,36 % dans le mois d'Avril), cela nous laisse à penser que le système de la phytoépuration permet une réduction quasi totale de DBO5 et que les bactéries qui décomposent la pollution organique sont donc très efficaces pour ce système d'épuration.

IV.3.2.5. Demande chimique en oxygène :

La comparaison des teneur en DCO dans les différents points de prélèvement durant les trois mois, montre une diminution de ces valeurs pour la totalité des bassines, s'explique essentiellement à la filtration d'une grande quantité de matières organiques à l'aide des filtres implantés.

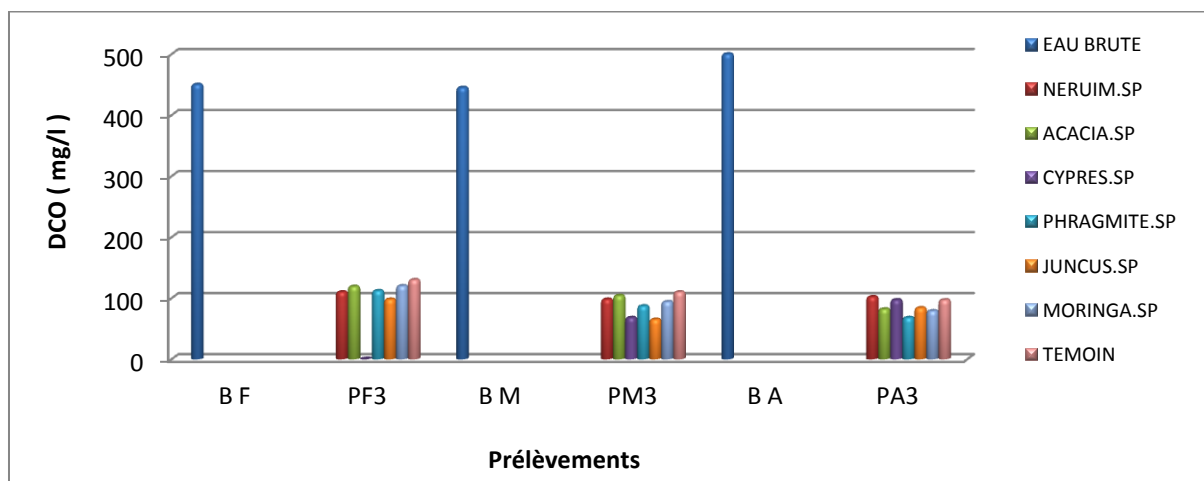


Figure N°11 : Variation temporelle de la Demande chimique en oxygène.

D'après les données de la figure N°11, les valeurs de la DCO des eaux usées brutes sont très élevées et peuvent atteindre 500 mg/l. Ceci la, peut s'expliquer par la charge importante des eaux usées en matières organiques.

Les prélèvements sont effectués à la fin de chaque mois, leurs analyses montrent que ces concentrations de DCO oscillent entre 65 mg/l en utilisant la plante macrophyte *Juncus* et 120 mg/l avec la plante macrophyte *Moringa*, ces valeurs de concentrations obtenues respectent bien les normes algériennes admises aux rejets (120 mg/l) (JORA, 1993). Par contre, le témoin présente une valeur de 130 mg/l de DCO supérieure légèrement la norme applicable.

Les taux d'élimination de DCO enregistrés pour chaque mois par ordre croissantes sont donnés comme suit:

✚ Dans le mois de Février :

73.33 % (*Moringa*), 73.55 % (*Acacia*), 75.11 % (*Phragmite*), 75.55% (*Neruim*), 78.22 % (*Juncus*), 83.95 % (*Cypres*).

✚ Dans le mois de Mars :

76.62 % (*Acacia*), 77.97 % (*Neruim*), 78.87 % (*Moringa*), 80.44 % (*Phragmite*), 84.72 % (*Cypres*), 85.39 % (*Juncus*).

✚ Dans le mois d'Avril :

78.87 % (*Moringa*), 79.6 % (*Neruim*), 80.6 % (*Cypres*) 83.2 % (*Juncus*), 83.6 % (*Acacia*), 86.4 % (*Phragmite*).

Les rendements d'élimination oscillent entre de 73.33% dans le mois de Février en testant la plante *Moringa* et de 86.4 % obtenu par la plante *Phragmite* dans le mois d'Avril. Ces valeurs indiquent également la minéralisation de la matière organique par voie chimique.

Le *Phragmite* a montré donc la meilleure capacité de rétention de DCO de l'ordre de 86.40 % après un temps de séjour par rapport aux autres plantes.

De ces résultats, nous pouvons dire que la présence des six plantes épuratrices testées assure nettement l'amélioration de l'abattement de la charge organique (DBO₅ et DCO) par rapport au système non planté.

En fin, il est clair que nos résultats montrent un abattement très important de la DBO₅ et de la DCO dans les six filtres plantés par rapport au filtre nu et par rapport les eaux sans épuration; résultats confirmés par (Bensmina et al., 2013) et (Garcia et al., 2005). Ceci est lié à une meilleure oxygénation du substrat dans les filtres plantés permettant aux bactéries aérobies de proliférer et d'assurer en conséquence une meilleure minéralisation et oxydation de la matière organique. Selon Tiglyene et al. (2005), *Phragmites australis* à l'aptitude de transférer l'oxygène du rhizome vers les racines à travers un système lacuneux interne ce qui favorise la création d'une zone aérobie autour des racines. Cette zone aérobie va permettre la prolifération des micro-organismes qui sont les principaux décomposeurs de la matière organique dans la zone racinaire.

IV.3.2.6. Azote totale :

L'azote présent dans l'eau se trouve sous deux formes :

- Minérale, principalement sous forme d'ions ammoniums (NH_4^+), d'ions nitrites (NO_2^-), et d'ions nitrates (NO_3^-)
- L'azote organique est présent sous forme de protéines qui donnent par hydrolyse, des acides aminés conduisant eux-mêmes par condensation aux peptides et polypeptides. Il se trouve également dans une grande variété d'autres combinaisons organiques (urée, acide urique, créatinine etc....) (Gaid, 1984).

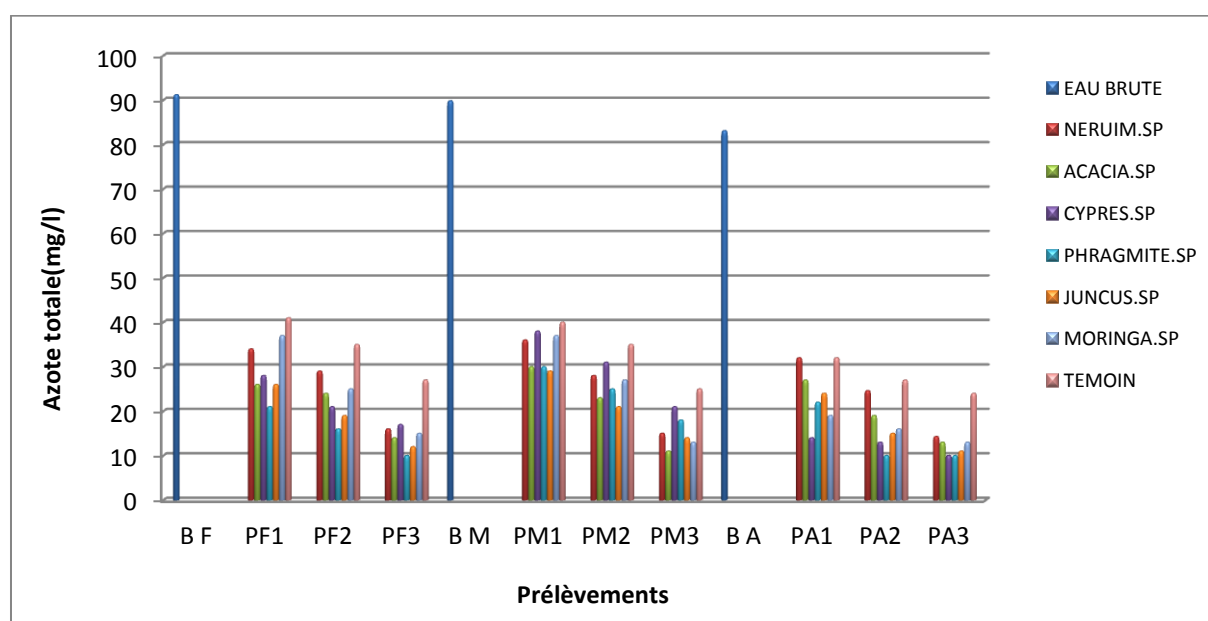


Figure N°12 : Variation temporelle de l'azote totale.

Les résultats obtenus d'azote totale des eaux usées brutes, varient entre 91.2 mg/l et 83.1 mg/l, ceci est résulté à la forte charge en matière de la pollution azotée présente dans ces eaux. Le suivi de l'évolution de l'azote est basé sur une relation symbiotique plantes-bactéries, dans la quelle les bactéries utilisent l'oxygène fourni au milieu par les plantes pendant la Photosynthèse pour dégrader le carbone organique. La concentration de l'azote pour le filtre témoin est de 27.66 mg/l à 34.33 mg/l.

Pour les filtres plantés la concentration de l'azote est de moyen entre 12.33 mg/l et 30 mg/l (*Cypres*), ces valeurs étant conforme aux normes algériennes de rejets (30 mg/l).

Les moyennes des rendements d'élimination de chaque mois par ordre croissantes sont:

✚ Dans le mois de Février :

71.12 % (*Neruim*), 71.86 % (*Moringa*), 75.87 % (*Cypres*), 76.61 % (*Acacia*),
79.16% (*Juncus*), 82.83 % (*Phragmite*).

✚ Dans le mois de Mars :

66.59% (*Cypres*), 70.67 % (*Neruim*), 71.53 % (*Moringa*), 72.9 % (*Phragmite*),
76.24 % (*Juncus*), 76.24% (*Acacia*).

✚ Dans le mois d'Avril :

71.56% (*neruim*), 76.34 % (*Acacia*), 79.95 % (*Juncus*), 80.74 % (*Moringa*),
83.15 % (*Phragmite*), 85.16 % (*Cypres*).

Nous observons que le meilleur pourcentage d'élimination de l'azote (85.16 %) est obtenu par le filtre planté de *Cypres* dans le mois d'Avril.

Nous avons également mis en évidence via les résultats que nous avons obtenus une réduction remarquable des nitrates après le passage des eaux usées brutes à travers le système d'épuration planté et non plantés. Les mécanismes prédominants dans l'abattement de l'azote dans les filtres plantés sont la conversion microbienne sous forme gazeuse et le stockage dans le sol, les détritiques et la biomasse végétale. La séquence nitrification-dénitrification est considérée comme le processus majeur d'élimination de l'azote à long terme (Bensmina et al., 2009).

L'oxygène qui diffuse à travers les racines des plantes stimule la croissance des bactéries nitrifiantes en particulier *Nitrosomonas* au niveau de la rhizosphère (Brix, 1997).

Ces bactéries assurent la transformation de l'ammonium en nitrites puis en nitrates (Mimèche, 2014), la nitrification peut être partielle et produit seulement du nitrite et pas de nitrate, les nitrites formés sont ensuite mis en œuvre par les bactéries anammox. En effet, ce type de bactéries a été identifié dans des réactions biologiques anoxiques et dans les sédiments marins ou elles sont responsables de l'oxydation de l'ammonium en azote élémentaire (N_2) (Jetten et al., 2001 ; Thamdrup, 2003).

Ainsi, García et al.(2005) ont pu montrer, que les plantes macrophytes absorbent essentiellement de l'azote inorganique sous forme de nitrates (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+). Ces nutriments sont utilisés par les plantes pour la croissance de ses tissus, ils peuvent être emmagasinés dans les racines et rhizomes, les tiges et les feuilles (Kucuk et al.,2003), ce qui explique leur diminution dans les six filtres plantés

En effet les macrophytes aquatique tels que le *Phragmite* et *Juncus* sont dotés d'une espace d'air interne bien développé à travers les tissus de la plante qui assure le transfert de

l'oxygène vers les racines et les rhizomes (Brix, 1994). Ces quantités d'oxygène favorisent pratiquement la prolifération bactérienne nitrifiante au niveau de la rhizosphère.

Le rôle des plantes dans l'élimination de l'azote semble être prépondérant soit par stockage dans ses tissus, soit par stimulation des réactions de nitrification/dénitrification.

IV.3.2.7. Phosphore totale :

Le phosphore est un constituant essentiel pour le développement des plantes, sa disponibilité ayant une influence directe sur leur croissance.

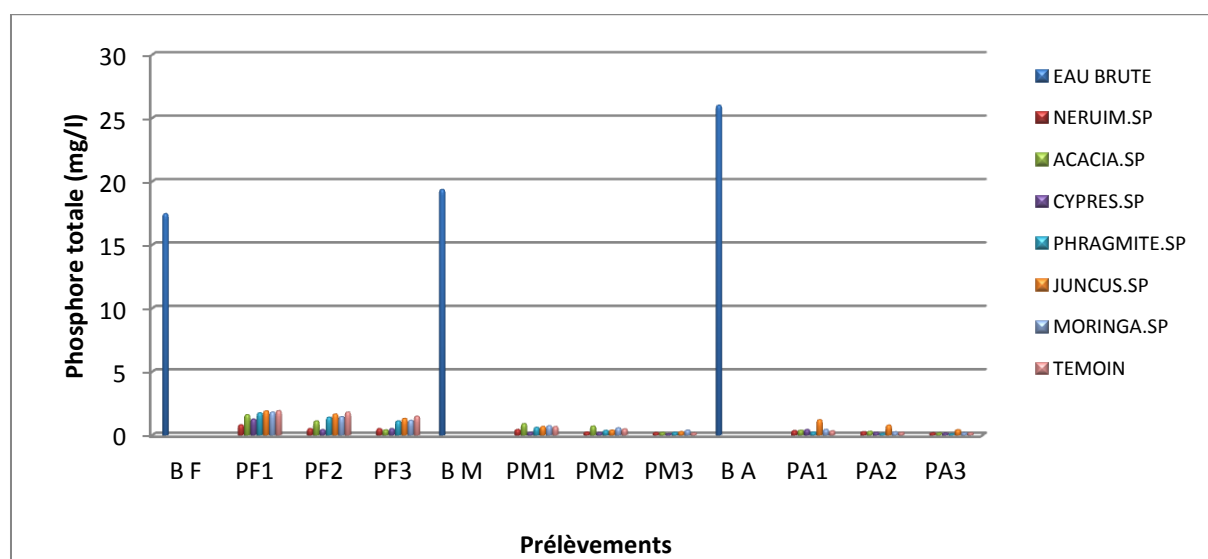


Figure N°13 : Variation temporelle de phosphore total.

La figure N°13 montre une diminution de la valeur en phosphore total. Les eaux usées brutes à des valeurs entre 17.45 mg/l et 26mg/l. Pour le témoin les moyennes des concentrations de phosphore total sont comprises entre 1.89 mg/l et 2.76 mg/l.

Dans les eaux récupérées par les filtres plantés, les moyennes des teneurs en phosphore sont variées de 0.14 mg/l (*Phragmite*) à 1.61 mg/l (*Juncus*), ces valeurs étant conformes aux normes algériennes de rejets (10 mg/l).

La présence des plantes crée un environnement physico-chimique favorable à l'absorption du phosphore inorganique, qui est ainsi assimilé sous forme d'ortho-phosphate au niveau des racines et des parties immergées. Cette assimilation est influencée par la disponibilité de l'azote. Elle s'accroît avec les concentrations d'azote et peut ainsi être freinée par une carence en azote (Ower *et al.*, 1981; Reddy and Tucker, 1983).

L'assimilation du phosphore augmente avec la productivité et la densité de la plante (Reddy et Tucker, 1983; Tucker et Debusk, 1983; Reddy et D'Angelo, 1990).

Les moyennes des rendements d'élimination des phosphates totales pour chaque mois sont données par ordre croissantes :

✚ Dans le mois de Février :

90.77 % (*Juncus*) , 91.63 % (*Moringa*) , 91.92 % (*Phragmite*) 94.09 % (*Acacia*) ,
95.87 % (*Cypres*) , 96.56 % (*Neruim*).

✚ Dans le mois de Mars :

96.95 % (*Acacia*) , 97.15 % (*Moringa*) , 97.77 % (*Juncus*) , 97.98% (*Phragmite*) ,
98,55% (*Neruim*) , 99.17 % (*Cypres*) .

✚ Dans le mois d'Avril :

96.96 % (*Juncus*) , 98.92 % (*Moringa*) , 98.,96 % (*Acacia*) , 99 % (*Cypres*) ,
99.04 % (*Neruim*) , 99.42 % (*Phragmite*) .

Les rendements d'abattement obtenus en présence des plantes épuratrices sont très élevés dans le filtre planté et peut atteindre 99.17 % à la sortie de filtre planté de *Cypres*. 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.

Pour son tour, Mancer (2010) a souligné que le phosphore est un constituant essentiel pour le développement des plantes, qui est assimilé sous forme d'orthophosphate au niveau de leurs racines. L'élimination des orthophosphates peut impliquer deux phénomènes différents: soit l'absorption par le substrat y compris la litière ou la consommation par les plantes.

IV.3.2.8. Métaux lourds :

Dans les eaux usées brutes on trouve les métaux lourds sous forme soluble ou particulaire (Grison, 1999). Les formes particulières sont retenues par filtration et les formes solubles sont éliminées par deux mécanismes :

- Précipitation des métaux sous forme d'oxydes métalliques (zone aérobie) ou sous forme sulfides métalliques (zone anaérobie) ; Il sont retenus dans la matrice du filtre.
- A l'interface racine/sédiment, on rencontre de forts gradients redox.

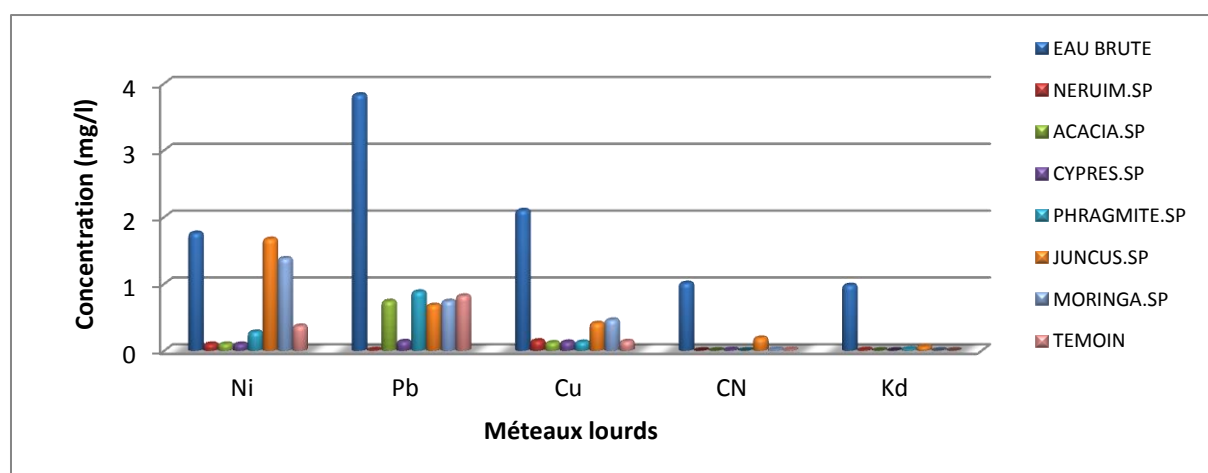


Figure N°14 : Variation temporelle de métaux lourds.

On a fait les analyses des métaux lourds tels que le Plombe, le Nickel, le Cuivre, le Cyanure et le Cadmium a la fin de mois de Février, les résultats obtenus des eaux usées brutes relatifs aux concentrations des métaux lourds sont supérieures à ceux des eaux récupérées par les filtres.

Pour les filtres plantés et le témoin nos résultats ont montré une capacité de rétention importante des métaux testés après un temps de séjour de 30 jours. Nous pouvons ainsi dire que les résultats obtenus montrent d'une façon clair que les plantes aquatique choisies sont très efficace pour à absorber les métaux lourds. Le sol qui joue également un rôle dans sur l'abattement de concentration des métaux lourds.

Nos résultats obtenus dans cette étude confirment les observations déjà rapportées par plusieurs recherches sur l'accumulation des métaux lourds dans les tissus de plantes (Kleche, 2013 ; Ladislav, 2012 ; Remon, 2006 ; Semadi, 2010).

D'après Mishra et al, (2008), la plus part des héliophytes, surtout les *Phragmites australis* possèdent des propriétés de tolérance et d'accumulation des éléments traces métalliques (Cu, Zn, Cd, Pb) grâce à ses racines et faire diminuer ainsi leur quantité dans le milieu.

Des essais d'épuration des eaux usées réalisés dans des bacs pilotes (Wittenberg, 1980) ont montré aussi une diminution remarquable de la teneur en plomb et en zinc en présence des héliophytes : *Typha latifolia*, *Phragmites australis* et *Scipus lacustris*.

En fin, il est à noter remarquons que le risque posé par les métaux lourds dépend directement de leur toxicité potentielle et du niveau d'exposition (concentration, durée) ; par ailleurs, certains métaux sont bons pour la croissance des végétaux.

Ils s'éliminent facilement par des traitements physiques (décantation). Il est important de dire qu'avec un bon traitement, les concentrations de la majorité des métaux lourds dans les eaux épurées domestiques sont trop faibles et ne posent pas un réel problème sanitaire, quelle que soit la réutilisation envisagée, même agricole.

IV.3.3. Paramètres bactériologique :

Le procédé expérimental utilisé dans notre étude indique l'existence des germes (coliformes totaux, escherichia coli).

D'après, les analyses bactériologiques effectuées et expliquées précédemment dans le chapitre IV, nous avons obtenu les résultats suivants :

IV.3.3. 1. Coliformes totaux :

Pour les coliformes totaux, on a observée flotté de cloche , indication de la présence des coliformes totaux.

IV.3.3.2. Escherichia coli :

L'apparition du cercle rouge, elle indique la présence d'Escherichia coli.

IV.4. Conclusion :

L'objectif principal de ce chapitre est de mettre en évidence les potentialités des filtres plantés à éliminer la pollution surtout l'organique des eaux usées résiduaire. L'intérêt est porté plus particulièrement sur la comparaison d'un système planté avec un système non planté (témoin),

L'épuration de ces eaux par des filtres planté est assurée par la présence des plantes macrophytes épuratrices et grâce à la prolifération des bactéries soient se trouvant au niveaux des eaux usées ou bien aux niveaux des racines des plantés.

Nous pouvons conclure d'après l'ensemble des résultats obtenus que l'utilisation des six plantes macrophytes sélectionnées pour l'épuration des eaux usées brutes a donné des résultats remarquables, satisfaisants et encourageants.

Conclusion générale

L'épuration des eaux usées par les filtres plantés de macrophytes (phytoépuration) apparaît comme une technique incontournable pour le développement durable des stratégies d'assainissement.

De ce fait le mode purement naturel où les agents actifs dans le processus sont des macrophytes est de plus en plus utilisé. Cette technique plus écologique, a beaucoup d'avantages (fiabilité, faible coût d'entretien, l'intervention de l'homme est très limitée, odeurs contrôlées, résistance aux variations de charge et intégration paysagère).

Les résultats décrits dans ce travail expérimental, montrent généralement la performance des pouvoirs épuratoires des plantes macrophytes utilisées, les données obtenues permettent de tirer les conclusions suivantes :

- L'augmentation de la température à la sortie des filtres plantés varie entre 9.3 et 23°C lorsqu'on passe du mois de Mars au mois d'Avril, Le rendement des systèmes augmente avec la température. Ils sont donc très intéressants pour un rendement principalement en été par rapport à l'hiver. En été, il peut être nécessaire d'apporter un supplément d'eau pour que le système continue à bien fonctionner.
 - Une légère augmentation du pH a été remarquée en allant du mois de Mars au mois d'Avril, les valeurs varient entre 7,52 (*Moringa*) et 7,82 (*Cypres*) au mois de Mars, entre 7,59 (*Juncus*) et 8,08 (*Moringa*) au mois d'Avril.
Cette augmentation du pH au niveau du bassin est expliquée par la respiration des plantes et l'activité photosynthétique consommatrice des protons H⁺
 - Les valeurs de la conductivité électrique sont maximales chez le *Phragmite* et le *Juncus* respectivement 16.21 ms/cm et 16.80 ds/m à cause de leur capacité d'absorption intensive par ce qu'ils sont des plantes aquatiques (hydrophiles).
En conclusion on peut dire que les plantes favorisent la production des matières minérales dues à la minéralisation de la matière organique par les bactéries.
 - Les pourcentages d'élimination de la matière en suspension présentes dans l'eau usée brute après filtration en utilisant des plantes macrophytes sélectionnées sont très élevés et remarquables. Cette élimination est due à l'absorption des matières solubles par les racines et aussi par le traitement physique (filtration).
 - Les meilleurs rendements d'élimination de DBO5 sont enregistrés par *Moringa*. (92,82 % dans le mois de Février), *Phragmite* (92,81 % dans le mois de Mars), (92,36 % dans
-

le mois d'Avril), cela nous laisse à penser que le système de la phytoépuration permet une réduction quasi totale de DBO5 et que les bactéries qui décomposent la pollution organique sont donc très efficaces pour ce système d'épuration.

- Un abattement très important de la DBO5 et de la DCO dans les six filtres plantés par rapport au filtre nu et par rapport les eaux sans épuration . Ceci est lié à une meilleure oxygénation du substrat dans les filtres plantés permettant aux bactéries aérobies de proliférer et d'assurer en conséquence une meilleure minéralisation et oxydation de la matière organique. Le *Phragmite* montré donc la meilleure capacité de rétention de DCO de l'ordre de 86,40 % % après un temps de séjour par rapport aux autres plantes.
 - L'augmentation de l'oxygène dissous après le passage de l'eau à travers les deux systèmes d'épuration planté et non planté pourrait être expliquée par la forte activité métabolique des plantes macrophytes puisque cet oxygène est résultant de leur métabolisme ainsi que du transfert dû à la diffusion de l'air, donc il est utile de dire que les plantes testées apportent de l'oxygène nécessaire aux réactions de dégradation aérobie de la matière organique. Celle ci est accentuée avec le *Phragmite* et *Juncus*, probablement à cause de leurs biomasse racinaire.
 - Une diminution remarquable de l'azote total dans les filtres plantés , montrent que les plantes macrophytes tels que le *Phragmite* et *Juncus* absorbent essentiellement de l'azote inorganique sous forme de nitrates (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+). Ces nutriments sont utilisés par les plantes pour la croissance de ses tissus, ils peuvent être emmagasinés dans les racines et rhizomes, les tiges et les feuilles
 - Les macrophytes aquatique tels que le *Phragmite* et *Juncus* sont dotés d'une espace d'air interne bien développé à travers les tissus de la plante qui assure le transfert de l'oxygène vers les racines et les rhizomes . Ces quantités d'oxygène favorisent pratiquement la prolifération bactérienne nitrifiante au niveau de la rhizosphère.
 - Le rôle des plantes dans l'élimination de l'azote semble être prépondérant soit par stockage dans ses tissus, soit par stimulation des réactions de nitrification/dénitrification.
 - Les rendements d'abattement obtenus par le phosphore total en présence des plantes épuratrices sont très élevés dans le filtre planté et peut atteindre 99,17 % à la sortie de filtre planté de *Cypres*. Selon certaines plantes consomment une quantité appréciable de phosphore lors de leur croissance. Elles peuvent emmagasiner celui-ci dans les racines et rhizomes, les tiges et les feuilles.
 - Une capacité de rétention importante des métaux lourds testés après un temps de séjour de 30 jours. Nous pouvons ainsi dire que les résultats obtenus montrent d'une façon
-

claire que les plantes aquatique choisies sont très efficace pour à absorber les métaux lourds. Le sol qui joue également un rôle dans sur l'abattement de concentration des métaux lourds.

- La technologie des filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux usées domestiques est une technique de développement récente. 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 de 1000 habitants.
-

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andriamirado L, et al, 2005:** Memento technique de l'eau, Tome 1, Degrémont, France.
- Anne,2001:** Epuration des eaux uses domestique par les bassins filters à plantes aquatiques. Rivière de l'association Eau Vivante .
- Anne rivières, 2005:** Gestion écologique de l'eau, volume 1, Association eau vivante
- Ansoia G, Fernfindez C, Luis E, 1995 :** Removal of organic matter and nutrients from urban wastewater by using an experimental emergent aquatic macophyte system, faculty of biology, university of Leon, Spain, Elsevier ecological engineering.
- Astebol, S.O, Hvitved-Jabobsen T, Simonsen, O, (2004):** Sustainable stormwater management at Fornebu -from an air port to an industrial and residential area of the city of Oslo, Norway, Science of The Total Environment 33.
- Audic JM , Esser D,2006:** L'épuration: Nettoyée pour protéger l'écosystème aquatique, un récit de vingt-cinq ans de recherche partenariale pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement avec suez environnement et société d'ingénierie nature et technique, Ed Cemagref .
- Bachi, 2010 :** mémoire présenté en vue de L'obtention du diplôme de magister thème diagnostic sur la valorisation de quelques plantes du jardin d'épuration de station du vieux ksar Témacin.Ouargla .
- Baumont S, 1997 :** Réutilisation des eaux usées épurées , risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France .
- Bensmina M L,etal, 2013:** Capacité de filters plantés de macrophytes pour l'épuration des eaux usées dans le climat semi-aride. Courrier du Savoir .
- Beiere, 2009 :** Eco-gestion d'habitats Bureau d'Etudes Industrielles Energies Renouvelables et Environnement .
- Brix H, 1994:** Functions of macro- phytes in constructed wetlands. Wat. Sci. Tech. vol.29,
- Carleton, J.N., et al ,2001:** Factors affecting the performance of storm water treatment wetlands, Water Research 35: 1552-1562.n°.29.
- Chelle F, et Dellale M,2005:** Festival des sciences de la ville. Séminaire.France.
- Cherrak R et BENDIA N,2006:** Traitement biologique des effluents liquide de la raffinerie d'Arzew.
- Chocat B,1997 :** Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Ed. Tec & Doc
-

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cors Marie, 2007:** Techniques extensives d'épuration des eaux usées domestiques. Le meilleur choix environnemental en zone rurale Dossier IEW Inter-Environnement Wallonie
- Dugniolle H, 1980:** L'assainissement des eaux résiduaires domestiques, CSTC - revue n° 3-septembre .
- Edeline J M, Pham P, Weinberger NM,1993:** Rapid development of learning-induced receptive field plasticity in the auditory cortex.
- Gaid A, 1984 :** Epuration biologique des eaux usées urbaines », Tome I et Tome II, Ed. Office des publications universitaires.
- García P,et al ,2005:** Effect of key design parameters on the efficiency of horizontal subsurface flow constructed wetlands. Ecol. Eng.
- Grison, 1999:** Epuration des eaux usées par des filters plantés de macrophytes, étude bibliographie agence de l'eau Rhone Méditerranée et Corse ,
- Grosclaude, Gérard, dir. ,1999:** L'eau, tome 1 : Milieu naturel et maîtrise et tome 2 : Usages et polluants. Versailles, Institut National de la recherche Agronomique
- Hazourli S, Boudiba L et Ziati M, 2007:** Caractérisation de la pollution des eaux résiduaires de la zone industrielle d'EL-HADJAR, ANNABA, laryss journal, n° 06 .
- Houari et Kherroubi , 2007:** propriétés, analyse physico chimique et bactériologique de l'eau potable dans la ville de CHLEF et ses environs .
- Jetten, J, et al,2011:** The Social Cure: Identity, health, and well-being. New York: Psychology Press.
- Jetten MS, et all, 2001:**"Microbiology and application of the anaerobic ammonium oxidation ('anammox').
- Johnson, B.R., Hill, K., 2002:** Ecology and design, Frameworks for learning, Island Press, Washington D.C.
- JORA, 1993:** Journal Officiel de la République Algérienne n° 46. Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets.
- Kleche M, 2013:**Utilisation des systèmes biologiques dans l'épuration des eaux usées cas de la région d'Annaba. Thèse de Doctorat, Université d'Annaba.
- Kone D, 2002:** Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes en Afrique de l'ouest et du centre: état des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement, Thèse de Doctorat, Univ de Luxembourg, Belgique,
-

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Kucuk OS, Sengul F, Kapdan IK, 2003:** Removal of ammoniam from tannery effluents in a reed bed constructed wetland. Water Sci. Technol.
- Kurniadie D, 2011:** Wastewater treatment using vertical subsurface flow constructed wetland in indonesia. American Journal of Environmental Sciences.
- Ladislav S, 2012:** Transfert de polluants au sein d'un ouvrage de traitement des eaux issues du ruissellement urbain -Mise au point d'un procédé de traitement complémentaire. Thèse de doctorat, Ecole Doctorale des Mines de Nantes.
- Ladjel F et Bouchefer S, 2005 :** Exploitation d'une station d'épuration à Boues activées Niveau II ONA .
- L'OMS,1989:** (organisation mondiale de la santé), l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquiculture recommandation à visées sanitaires, série de rapports techniques 778, Genève.
- Mamadou LN, 2005:** Impacts des eaux usées sur l'évolution chimique et microbiologique des sols : étude de cas à Pikine (Dakar-Sénégal). Diplôme d'études supérieures en sciences naturelles de l'environnement. Univ. LAUSANNE.
- Mancer H, 2010:** Analyse du pouvoir épurateur de quelques plantes macrophytes dans les régions arides. Mémoire de magister, Université de Biskra.
- Medjdoube T , 2014 :** Etude ,conception et dimensionnement d' une STEP par filtre plantés de reseaux des eaux usées des zones éparses de la commune de Terny .
- Meinck F, Stooff H, Kohlschütter H, 1977:** Les eaux résiduaires industrielles,2ème Ed. Masson, paris.
- Mekhloufi. N,2003 :** Etude des performances epuratoires du lagunage naturel et l'impact du cadmium sur ces performances. ensh blida 2003 .
- Metahri mohammed Saïd ,2012:** élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes.cas de la step est de la ville de tizi-ouzou .
- Moll D, 2002 :** Rapport sur les paramètres d'analyses de la pollution des eaux.
- Moufouk F, 2007 :** Rôle du laboratoire dans la surveillance des M.T.H. séminaire régional de formation des laborantins en microbiologie alimentaire, eaux de boisson et eaux de baignade. du 21 au 25 avril 2007 à TIPAZA .
- Niati T et Chemirik N, 2013:**Suivi et contrôle du traitement des rejets liquides de la raffinerie d'Arzew .
-

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Pauline M.S, 1995:** Cours de procédé unitaires biologiques et traitement des eaux. Edition OPU, Ben Aknoun, Alger.
- Pétémanagnan O et al, 2008:** Traitement des Eaux Résiduaires Urbaines par un Marais Artificiel à Drainage Vertical Planté Avec *Panicum Maximum* sous Climat Tropical, European Journal of Scientific Research .
- Poulet J.B, et al 2003 :** Station d'épuration à lits filtrants plantes de macrophytes. In: Poulet J.B, et al., (Eds). I.C.O.W.a.P, Biskra, September, I.N.S.A Strasbourg .
- Reed. S.C, 1990:** Natural system for waste water treatment. WPCF.
- Reddy, K. R et al, 1989:** Oxygen transport through aquatic macro-phytes: the role in waste water treatment. Journal of
- Remon E, 2006:** Tolérance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée des friches métallurgiques : vers de nouvelles méthodes de bio-dépollution. Thèse de doctorat, Université Jean Monnet.
- Renou S, 2006 :** Analyse de cycle de vie appliquée aux systèmes de traitement des eaux usées, Thèse Doctorat, Institut national polytechnique de Lorraine.
- Resjeck. F, 2002:** Analyse des eaux, aspect réglementaire et technique. Edition : Scéréne.
- Rodier J, 2005 :** L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} Edition. Dunod, Paris .
- Rodier J, 1996 :** L'analyse de l'eau (eaux naturelles résiduaires eaux de mer). Tome II.
- Rodier J,et al. 2009:** L'analyse de l'eau, 9e édition. DUNOD (éditeur), Paris, France.
- Richard C, 1996 :** Les eaux, les bactéries, les hommes et les animaux Ed.Scientifiques et médicale Elsevier, Paris .
- environnemental qualité.
- Saggai M.M,2004:** Contribution à l'étude d'un système d'épuration à plantes Macrophytes pour les eaux usées de La Ville de Ouargla.
- Semlali RM,et al, 2001:**Estimating distributions of endogenous and exogenous Pb in soils by using Pb isotopic ratios. Environ Sci Techno.
- Sciences Eaux et Territoires,2014 :** Note – Des macrophytes pour épurer les eaux N°15 .
- Slimani R, 2006:** Contribution à l'évaluation d'indicateurs de pollution environnementaux dans la région de Ouargla: cas des eaux de rejets (agricoles et urbaines), thèse de magister. Univ.Ouargla .
- Smith S V,1987:** Stoichiometry of C, N, P, and Si fluxes in a temperate-climate embayment.
-

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Suschka J, Ferreira E,1986:** Activated sludge respirometric measurements. *Water Research* .
- Thamdrup B et Dalsgaard T, 2003:** Production of N(2) through anaerobic ammonium oxidation coupled to nitrate reduction in marine sediments. *Applied and Environmental Microbiology*.
- Tiglyene S, Mandi L, Jaouad AE, 2005:** Enlèvement du chrome par infiltration verticale sur lits de phragmites australis. *Rev. Sci.Eau* .
- Vymazal J, 2005:** Constructed wetlands with horizontal sub-surface flow and hybrid systems for wastewater treatment. *Ecol. Eng.*
- Wolverton B.C, 1987:** Aquatic plants for wastewater treatment: An overview. In: *Aquatic plants for water treatment and Ressource recovery*, Magnolia.
- Youcefi F.Z, BOUBOSLA,2012:**Etude de l'unité de traitement des eaux usées au niveau du complexe GP1/Z.
- Yvan S. J, Cécile T, Michel J, 2002:** Dossier « Assainissement autonome. Histoires d'eau usée », revue la maison écologique n° 8.
-

Liste des tableaux représente les résultats des paramètres physico-chimique

Tableau N°01 : Evolution de la température

	<i>Eau brute</i>	<i>Neruim.</i>	<i>Acacia</i>	<i>Cypres</i>	<i>Phragmite</i>	<i>Juncus</i>	<i>Moringa</i>	<i>Temoin</i>
B F	4,1							
PF1		11,3	9,7	11,9	12,2	11,8	12	8,8
PF2		12,5	11,8	12,1	13	12,3	13	10
PF3		13,7	13,4	13,2	13,8	13,1	14	13,8
B M	7,1							
PM1		10,1	10	9,9	10,2	9,3	10,3	10
PM2		20	20,3	19,7	19,9	21,1	21,3	19,8
PM3		18,2	18,8	17,9	18,1	19,1	19	17,5
B A	8,5							
PA1		15,1	16,6	15,6	17,9	15,9	16	15
PA2		18	20,3	19,5	21,4	19,9	21	22
PA3		22,3	23,1	20,2	22	20,5	23	24,2

Tableau N°02 : Evolution de la matière en suspension

	<i>Eau brute</i>	<i>Neruim.</i>	<i>Acacia</i>	<i>Cypres</i>	<i>Phragmite</i>	<i>Juncus</i>	<i>Moringa</i>	<i>Temoin</i>
B F	234							
PF1		32,5	27	45	40	38	49	30
PF2		21,3	20,2	29,9	33	27,4	24	19,8
PF3		12,5	7,5	20	18	14	10	8,7
B M	159							
PM1		61	27	35	76,05	35	48	51
PM2		47	11	20	24	28	39	48
PM3		14,28	6,8	18,3	10,6	11,8	26,9	22,1
B A	172							
PA1		27	29,9	35,2	28	34	39,3	38
PA2		24	27	4	22	24	32	27
PA3		8,5	10,2	7,9	7,8	9	17,9	16

Tableau N° 03 : Variation de la potentiel d'hydrogène

	<i>Eau brute</i>	<i>Neruim.</i>	<i>Acacia</i>	<i>Cypres</i>	<i>Phragmite</i>	<i>Juncus</i>	<i>Moringa</i>	<i>Temoin</i>
B F	7,34							
PF1		7,58	7,58	7,69	7,5	7,33	7,24	7,57
PF2		7,6	7,61	7,72	7,56	7,18	7,1	7,89
PF3		7,73	7,6	7,77	7,69	7,45	7,36	7,51
B M	8,21							
PM1		7,77	7,7	7,96	7,77	7,47	7,43	7,87
PM2		7,72	7,58	7,8	7,55	7,9	7,68	7,83
PM3		7,61	7,35	7,71	7,32	7,75	7,45	7,79
B A	8,35							
PA1		7,79	7,9	7,99	7,85	7,63	8,16	8,17
PA2		7,96	7,82	7,91	7,68	7,66	8,08	8,11
PA3		7,96	7,68	7,93	7,44	7,5	8,01	7,99

Tableau N° 04 : Evolution de l'oxygène dissous

	<i>Eau brute</i>	<i>Neruim.</i>	<i>Acacia</i>	<i>Cypres</i>	<i>Phragmite</i>	<i>Juncus</i>	<i>Moringa</i>	<i>Temoin</i>
B F	2,2							
PF1		1,98	1,07	1,07	1,02	1,56	1,84	1,97
PF2		1,32	1,21	1,1	1,27	1,14	1,32	1,65
PF3		0,9	1,28	2,25	1,11	1,1	1,24	0,9
B M	1,45							
PM1		1,52	1,58	2,52	1,52	1,49	2,45	1,36
PM2		1,53	1,43	1,81	1,98	4,81	2,36	8,49
PM3		1,34	1,21	2,3	3,32	2,7	2,43	2,87
B A	1,28							
PA1		2,11	1,97	2,07	4,29	2,92	2,22	2,4
PA2		1,87	1,7	2,56	2,12	1,68	1,3	1,45
PA3		1,29	1,48	1,62	3,3	3,72	1,53	1,57

Tableau N° 05 : Evolution de la conductivité électrique

	<i>Eau brute</i>	<i>Neruim.</i>	<i>Acacia</i>	<i>Cypres</i>	<i>Phragmite</i>	<i>Juncus</i>	<i>Moringa</i>	<i>Temoin</i>
B F	5,54							
PF1		7,1	6,9	6,72	7,5	8,14	7,14	6,65
PF2		7,06	6,95	6,68	7,22	7,98	6,71	6,8
PF3		7,87	7,01	6,62	6,87	7,12	6,23	6,87
B M	7,83							
PM1		8,07	7,65	7,43	9,73	10,26	8,1	8,31
PM2		7,8	8,55	7,8	10,9	10,53	7,96	8,71
PM3		7,2	8,9	7,95	11,6	11,12	8,21	9,11
B A	6,17							
PA1		8,23	7,89	7,1	12,45	14,4	8,29	9,24
PA2		9,39	9,99	8,89	14,19	15,49	9,64	10,39
PA3		11,24	12	9,5	16,21	16,8	10,48	11,67

Tableau N° 06 : Evolution de l'azote total

	<i>Eau brute</i>	<i>Neruim.</i>	<i>Acacia</i>	<i>Cypres</i>	<i>Phragmite</i>	<i>Juncus</i>	<i>Moringa</i>	<i>Temoin</i>
B F	91,2							
PF1		34	26	28	21	26	37	41
PF2		29	24	21	16	19	25	35
PF3		16	14	17	10	12	15	27
B M	89,8							
PM1		36	30	38	30	29	37	40
PM2		28	23	31	25	21	27	35
PM3		15	11	21	18	14	13	25
B A	83,1							
PA1		32	27	14	22	24	19	32
PA2		24,6	19	13	10	15	16	27
PA3		14,3	13	10	10	11	13	24

Tableau N° 07 : Evolution de la phosphore total

	<i>Eau brute</i>	<i>Neruim.</i>	<i>Acacia</i>	<i>Cypres</i>	<i>Phragmite</i>	<i>Juncus</i>	<i>Moringa</i>	<i>Temoin</i>
B F	17,45							
PF1		0,8	1,6	1,25	1,74	1,9	1,8	2,91
PF2		0,5	1,1	0,42	1,4	1,65	1,44	2,8
PF3		0,5	0,4	0,5	1,1	1,3	1,16	2,48
B M	19,35							
PM1		0,43	0,89	0,2	0,6	0,67	0,73	3,66
PM2		0,22	0,7	0,19	0,36	0,38	0,56	2,48
PM3		0,19	0,2	0,09	0,21	0,26	0,38	2,16
B A	26							
PA1		0,34	0,37	0,43	0,23	1,2	0,43	2,32
PA2		0,25	0,28	0,2	0,12	0,78	0,24	2,2
PA3		0,16	0,16	0,15	0,09	0,41	0,18	1,17

Tableau N° 08 : Evolution de la DBO5

	<i>Eau brute</i>	<i>Neruim.</i>	<i>Acacia</i>	<i>Cypres</i>	<i>Phragmite</i>	<i>Juncus</i>	<i>Moringa</i>	<i>Temoin</i>
B F	234							
PF1		32.5	27	45	40	38	49	30
PF2		21.3	20.2	29.9	33	27.4	24	19.8
PF3		12.5	7.5	20	18	14	10	8.7
B M	159							
PM1		61	27	35	76.05	35	48	51
PM2		47	11	20	24	28	39	48
PM3		14.28	6.8	18.3	10.6	11.8	26.9	22.1
B A	172							
PA1		27	29.9	35.2	28	34	39.3	38
PA2		24	27	4	22	24	32	27
PA3		8.5	10.2	7.9	7.8	9	17.9	16

Tableau N° 09 : Evolution de la DCO

	<i>Eau brute</i>	<i>Neruim.</i>	<i>Acacia</i>	<i>Cypres</i>	<i>Phragmite</i>	<i>Juncus</i>	<i>Moringa</i>	<i>Temoin</i>
B F	450							
PF3		110	119	72,2	112	98	120	130
B M	445							
PM3		98	104	68	87	65	94	110
B A	500							
PA3		102	82	97	68	84	79	97

Tableau N° 10 : Evolution des métaux lourds

	<i>Eau brute</i>	<i>Neruim.</i>	<i>Acacia</i>	<i>Cypres</i>	<i>Phragmite</i>	<i>Juncus</i>	<i>Moringa</i>	<i>Temoin</i>
Ni	1,76	0,1	0,1	0,1	0,28	1,67	1,38	0,37
Pb	3,83	0,01	0,74	0,14	0,88	0,68	0,74	0,82
Cu	2,1	0,15	0,12	0,13	0,13	0,41	0,46	0,14
CN	1,01	0,003	0,002	0,015	0,003	0,19	0,017	0,015
Kd	0,98	0,011	0,002	0,003	0,024	0,06	0,002	0,002

الملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو إثبات قدرة أداء النباتات المستعملة على تنقية المياه المستعملة، شملت هذه الدراسة مقارنة

بين عدة انواع من النباتات (*Moringa oleifera* , *Cupressus sempervirens* , *Juncus maritimus* ,)

(*Phragmites communis* , *Acacia cyanophylla* , *Nerium Oleander* .) غرست في احواض مختلفة

، حيث كل حوض يحتوي على نوع واحد من هذه النباتات وحوض غير مزروع كشاهد.

الدراسة منجزة عبر نموذج تجريبي في منطقة تطهير المياه المستعملة الحضرية بمؤسسة الديوان الوطني

للتطهير ببلدية كوينين دائرة الوادي ولاية الوادي .

من خلال هذه الدراسة التي دامت ثلاثة أشهر بداية من شهر فيفري إلى غاية شهر أفريل سنة 2016

تحصلنا على نتائج مشجعة من خلال المقاييس الفيزيوكيميائية والبكتريولوجية حيث أثبتت هذه النباتات تأقلمًا وتعايشًا

باستعمال هذه المياه في مناخ المنطقة ، وقدرة التنقية بالأحواض المغروسة بالنباتات كانت أعلى من الأحواض غير

المغروسة وكانت نباتات (*Phragmites communis* - *Juncus maritimus*) أحسن من حيث أداءها وقدرتها على

إزالة الملوثات العضوية مقارنة بالنباتات الأخرى .

نخلص القول بأن الانخفاض المعتبر للملوثات والكانات الضارة يجعلنا نهتم أكثر بإنشاء مثل هذا النموذج من محطات

التنقية بالنباتات في التجمعات السكانية الصغيرة المعزولة عن شبكات الصرف الصحي وكذلك في إعادة استعمال المياه

المعالجة في الزراعة والصناعة.

الكلمات الدالة : مياه الصرف الصحي، النباتات ، التنقية بالنباتات ، الملوثات العضوية .

Résumé :

L'objectif de cette étude est la mise en évidence des performances épuratoires des plantes:

(*Moringa oleifera* , *Cupressus sempervirens* , *Juncus maritimus* , *Phragmites communis* , *Acacia cyanophylla* , *Nerium Oleander* .) vis-à-vis des eaux usées brute.

Cette étude a englobé une comparaison entre les différents filtres des plantes et le témoin.

L'étude a été effectuée à travers un protocole expérimental dans la zone d'épuration des eaux

usées urbaines au niveau de l'office national d'assainissement STEP 1 Commune de kouinine

daira d'El-oued . A la base des résultats des paramètres physico-chimiques et bactériologique

étudiés ,les plantes utilisées montrent leurs pouvoir d'élimination des polluants organiques et

minérales. Les plantes (*Juncus maritimus* , *Phragmites communis*) sont plus efficace par

rappor les autres plantes. En conclusion , la diminution importante des polluants et les

pathogènes nuisibles nous permet d'installer une station pilote d'épuration par les plantes

macrophytes(phytoépuration) au profit les petites agglomération isolées et aussi à réutiliser

les eaux traitées dans l'agriculture et l'industrie.

MOTS-CLÉS : Eau usée brute , Macrophyte , Phytoépuration ,Polluants organiques.