

PERFORMANCES EPURATOIRES ET INTERET DU PROCEDE DE PHYTOTRAITEMENT DES EAUX USEES PAR DES VEGETAUX MACROPHYTES

M.BENSLIMANE¹, T. MOSTEPHAOU², A. HAMIMED¹, Z.T.CHERIF³

¹ Laboratoire sur les systèmes biologiques et la géomatique Université de Mascara, Algérie

² Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides, Biskra. Campus universitaire Mohamed kheider

³ Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Mostaganem

RÉSUMÉ

Le but de ce travail est l'étude des performances épuratoires des eaux usées au profit des petites collectivités par le biais d'un système utilisant des lits plantés en végétaux. Les expériences à travers le monde, montrent l'intérêt grandissant de cette technique et de sa fiabilité, tant sur le plan économique que sur le plan et écologique. Dans une perspective d'application de cette nouvelle technique à échelle réelle, il a été procédé à la mise en œuvre d'un pilote expérimental, reproduisant le procédé dans toutes ses phases, suivie des analyses d'échantillons à l'entrée et la sortie des eaux traitées.

Quatre (4) filières de traitement ont été expérimentées, tenant compte de la variabilité des écoulements (vertical, horizontal, mixte). Chaque filière consiste à faire passer l'effluent à travers des bassins, remplis de graviers et plantés en phragmites. Les résultats des principaux indicateurs de la pollution hydriques par rapport à ceux obtenus par une station de référence (lagunage aéré de Ghriss), semblent être très prometteurs pour l'avenir de ce procédé d'épuration en Algérie, particulièrement au profit en milieu rural.

MOTS CLÉS: eaux usées, phytoépuration, recyclage des eaux traitées, protection de l'environnement.

ABSTRACT

The aim of this work is the study of wastewater purification efficiency for small communities through a system using beds planted with macrophytes. Many experiences around the world show a growing interest in this technique and its reliability, both economically and environmentally. In view of application of this new technique at actual scale, we proceeded to implement a pilot experiment, replicating the process in all its phases, followed by analyzes of samples at the input and output of treated water. Four treatment processes were tested, taking into account the flow variability (vertical, horizontal, mixed). Each process consists of passing the effluent through a basin filled with gravel and planted with Phragmites. The results of the main indicators of water pollution compared to those obtained from a reference station (aerated lagoon Ghriss) seem to be very promising for the future of this treatment process in Algeria, particularly in rural regions.

KEYWORDS: Biotechnology - economy of water - environmental protection – macrophyte – phytoepuration.

1 INTRODUCTION

L'Algérie fait partie des pays à pénurie d'eau chronique avec un ratio de 546 m³/personne/an ; ce ratio serait encore plus inquiétant en l'an 2025, où il atteindrait une disponibilité de 313 m³/personne/an, alors que le seuil universel admissible est estimé à m³/personne/an (MATE, 2001). Cette situation incite à des actions d'optimisation de l'usage de l'eau dans toutes ses formes. Le recyclage des eaux usées, dont le volume des rejets actuels est estimé à près de 0,7 Milliard de m³/an, permettant une augmentation

d'une superficie irriguée supplémentaire de 110 000 ha (PNE, 2002).

Paradoxalement, les effets conjugués d'une pollution liée aux rejets sporadiques des eaux usées en milieu rural incitent impérieusement à une gestion rationnelle de cette ressource hydrique par le recours à des procédés d'épuration adaptés. Dans ce sens, l'alternative du procédé de la phytoépuration des eaux usées offre une opportunité certaine de par ses intérêts multiples, notamment la simplicité de gestion et son coût raisonnable (LAMY, 2005).

A travers cette étude expérimentale, l'objectif recherché consiste à la mise en évidence des performances épuratoires de ce procédé de phytotraitement pour le suivi de l'abattement des principaux paramètres de la pollution des eaux usées. L'intégration des analyses obtenues à la sortie d'une station de lagunage aéré dans les environs immédiats du site pilote (Ghris) permettra une lecture comparée des résultats et le choix du procédé le mieux approprié.

2 MATERIELS ET METHODES UTILISEES

2.1 Principe du procédé

Le procédé d'épuration des eaux usées par les végétaux est une ancienne technique, connaissant un intérêt de réhabilitation et de modernisation très sollicité par les petites et moyennes collectivités. Son principe se base sur la fixation des végétaux de type macrophytes (phragmites, typha, juncos, etc), sur un support filtrant (granulats). Il s'agit d'un complexe faisant intervenir le mode d'écoulement des eaux aux fonctions biologiques des plantes (apport d'oxygène, fixations de microorganismes, digestion microbienne, etc.) (fig.1).

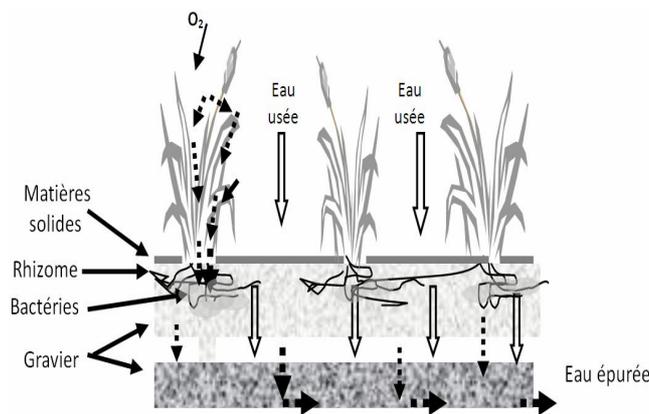


Figure 1: Principe de fonctionnement de la phytoépuration

Ainsi, les fonctions attribuées à chacune des composantes du système, se résume comme suit :

- Le *substrat de gravier et galet* joue le rôle de filtration, captant les matières solides présentes dans les eaux (Boutin, 1987).
- Les *végétaux*, développent la faculté de transférer l'oxygène vers le système racinaire, où se développe un métabolisme assurant l'assimilation de certaines substances nutritives (N, P).
- Les *micro-organismes* colonisant les racines, complètent le mécanisme de dégradation de la matière organique, par les différents processus d'oxydation et de réduction (Brix et al., 1990).

2.2 L'aire d'étude

Les travaux de cette expérimentation se déroulent dans la commune de Mascara (Algérie), sur le site de la station expérimentale de l'université (Fig.2). La station de référence (lagunage de Ghriss) se situe à 10 Km du site expérimental, jouissant des mêmes conditions climatiques.

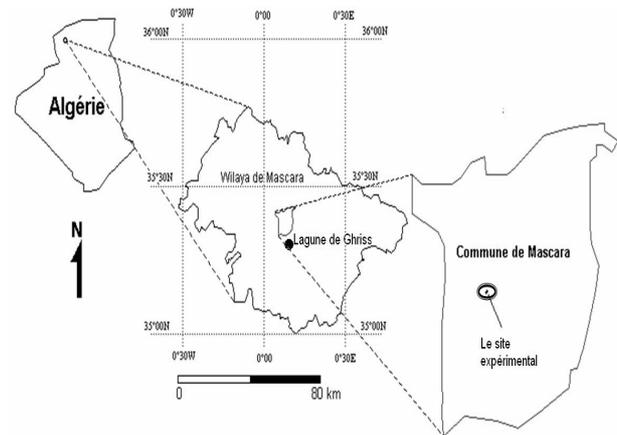


Figure 2: Localisation des stations d'étude

2.3 Description du dispositif expérimental

Le protocole expérimental est constitué d'une série de bassins imperméables, remplis de graviers, servant de support à des végétaux macrophytes (Benslimane et al., 2009). Les eaux usées transitent au travers du massif filtrant selon une circulation gravitaire, selon les différents types d'écoulement envisagés (vertical, horizontal et mixte). Ainsi, les filières épuratoires mettent mises en jeu se composent de quatre combinaisons ou variantes d'écoulement des eaux usées, objet du traitement, à savoir (fig.3):

- *Filière V_1H_1* : elle consiste à faire passer l'eau usée à travers les deux types de bassins ; le premier à écoulement vertical (V_1), suivi du second bassin à écoulement horizontal (H_1).
- *Filière V_2H_1* : dans cette filière, le même scénario est reconduit en faisant passer l'effluent selon deux passages verticaux (V_2), suivi d'un seul passage à écoulement horizontal (H_1).
- *Filière V_1H_2* : il s'agit de la démarche inverse du protocole précédent, à savoir un seul passage de l'effluent à écoulement vertical (V_1), suivi de deux passages de l'eau dans des bassins à écoulement horizontal (H_2).
- *Filière V_2H_2* : enfin dans cette variante, il s'agit de faire passer l'eau usée successivement en deux passages à travers les bassins à écoulement vertical (V_2), suivi de deux passages en écoulement horizontal (H_2), soit un temps de séjour global de 96 heures.

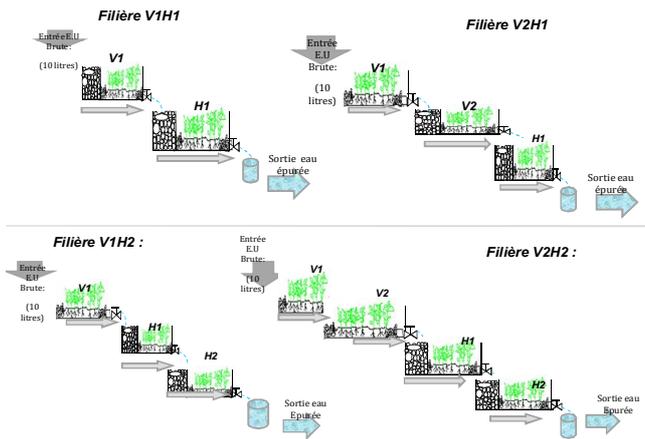


Figure 3: Les filières de phytoépuration retenues dans le pilote expérimental (V: écoulement vertical; H: écoulement horizontal)¹

3 MODE OPERATOIRE DES ANALYSES D'EAU

Les analyses ont concerné les paramètres physico-chimiques ayant un impact prépondérant sur l'environnement et la santé publique (température, pH, conductivité électrique, matière en suspension, oxygène dissous, turbidité, DBO₅, DCO et certains métaux lourds), effectuées selon le mode opératoire universel (Rodier, 1978), résumé dans le tableau ci-après (Tab.1).

4 RESULTATS ET DISCUSSION

Les analyses de l'abattement de la pollution ont été approchées à partir des échantillons d'eau prélevés durant la période s'étalant du mois d'Avril, Mai et Juin 2010 (Tableaux 1, 2, 3, 4 et 5). L'interprétation des résultats concernant les principaux paramètres analysés par les quatre filières de phytoépuration successives se résume comme suit (Fig.5) :

- Le potentiel hydrométrique : les valeurs de pH des eaux usées traitées à la sortie des deux stations présentent une légère alcalinité par rapport à l'entrée de la station. Les résultats des valeurs de pH obtenus sont conformes aux normes requises (fig. 5.1).
- La température (T°C): la température des eaux traitées à la sortie des bassins (différentes variantes) de notre dispositif expérimental sont inférieures par rapport à celles de la station de lagunage et sont conformes aux normes requises avec un niveau maximal de 30 °C. Cette diminution de température au niveau des cuves de notre pilote expérimental est due à l'ombre provoqué

par le feuillage des roseaux (fig. 5.2).

- L'Oxygène Dissous : les valeurs de l'oxygène dissous fluctuant de 1,96 mg/l à 2,92 sont conformes aux normes nationales requises (1.9 mg/l). Ces valeurs d'oxygène sont obtenues dans les variantes (V₂H₁, V₁H₂ et V₂H₂) dues à la durée de séjours des eaux usées dans ces différents lits qui est respectivement de 72 heures et 96 heures ainsi qu'à la présence des roseaux (fig. 5.3).
- La conductivité électrique (CE): Les valeurs obtenues à la sortie varient entre 1405 µs/cm et 1690 µs/cm. Elles sont constamment supérieures aux valeurs de conductivités trouvées à la sortie de la station de référence (lagunage), fluctuant entre 1376 µs/cm et 1592 µs/cm. Cette augmentation de la CE est liée à la minéralisation de la matière organique (fig. 5.4).
- La Turbidité: on remarque une régression de la turbidité au niveau des eaux usées traitées par la diminution des matières en suspension à la sortie des deux stations et particulièrement au niveau du pilote expérimental, dont la végétation et la biomasse microbienne jouent un rôle important (fig. 5.5).
- Matière en suspension (MES) : Les valeurs de la MES à l'entrée et à la sortie de la station de lagunage sont élevées, favorisant la diminution de l'oxygène dissous. Par contre, au niveau du pilote expérimental, les valeurs enregistrées au niveau des variantes (V₂H₁ et V₂H₂) sont acceptables par rapport aux normes admises (< 30 mg/l). Le rendement d'abattement des MES atteint les 82,35% par la phyto-épuration, dépassant celui du lagunage (25%) (fig. 5.6).
- DBO₅ : On enregistre un abattement très significatif de la DBO₅ à la sortie du pilote expérimental, par rapport à la station de lagunage, ce qui confirme la dégradation des charges polluantes par la présence des végétaux macrophytes. En effet, les valeurs obtenues sont acceptables par rapport au seuil admis (<40 mg/), notamment au niveau des filières (V₂H₁ et V₂H₂). Les rendements enregistrés en matière d'abattement de la DBO₅, sont nettement en faveur du procédé de phyto-épuration (69,87 %), à celui du lagunage (29,73 %) (fig. 5.7).
- DCO : Les résultats obtenus par le pilote expérimental (V₁H₂ et V₂H₂) présentent des valeurs conformes aux normes admises des rejets d'eau usée (< 120 mg/l). Les rendements sont l'avantage de la phyto-épuration (24,19 %), par rapport au lagunage (50,12 %) (fig. 5.8).
- Nitrates : le rendement de l'abattement des nitrates au niveau du pilote de phyto-épuration est de 36,13 %, alors qu'il se situe à hauteur de 9,76 % pour la station de lagunage (fig. 5.9).
- Chrome hexavalent (Cr6+): les teneurs en chrome hexavalent sont faibles à l'entrée et à la sortie des deux stations par rapport aux normes admises (< 0,3 mg/l). L'abattement du chrome hexavalent au niveau de la station de lagunage est de l'ordre de 36 %, tandis qu'à

¹ Note et abréviations : E : entrée de la station de lagunage ; S : sortie de la station de lagunage ; V₁: 1 circulation verticale ; H₁: 1 circulation horizontale ; V₁H₁: 1 circulation verticale + 1 circulation horizontale ; V₁H₂: 1 circulation verticale + 2circulations horizontales ; V₂H₁: 2 circulations verticales + 1 circulation horizontale ; V₂H₂:2 circulations verticales + 2 circulations horizontales.

la sortie du pilote expérimental, il est de 76,32 % dans la variante V₁H₂ (fig. 5.10).

- Le Fer : Les résultats de l'abattement des teneurs en fer de la station de lagunage est de 28,89 %, alors que pour le pilote il est de 64,95 % ; ce qui déduit les bonnes performances de la phyto-épuration particulièrement pour la variante V₁H₂ (fig. 5.11).
- Manganèse (Mn₂⁺) : Les teneurs du Manganèse pour les deux stations sont moins importantes par rapport aux normes admises (< 1 mg/l). L'abattement moyen au niveau de la station de lagunage est de 23,77 % alors qu'il atteint les 75,18 % pour le pilote expérimental, enregistré au niveau de la variante V₁H₂ (fig.5.12).

Tableau 1 : Modes opératoires des analyses physico-chimiques effectuées

Paramètres	Mode opératoire	Unités
Température	L'appareil utilisé est un oxymétrie portable type (multi 315 SET).	degré Celsius (°C)
pH	L'appareil utilisé est un pH-mètre portatif CG.718	-
oxygène dissous	L'appareil utilisé est un oxymétrie (multi 315 SET)	mg/l
conductivité	L'appareil utilisé est un conductimètre portable	µS/cm
matières en suspension (M.E.S)	Déterminées par pesée après séchage à 105°C	mg/l
demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	L'appareil utilisé est un DBO-mètre.	mg/l
Demande chimique en oxygène (DCO)	Dosage à l'acide sulfurique H ₂ SO ₄ et titrage au KmNO ₄ à 80°C.	mg/l
Dosage de chlorure	réalisée selon la méthode de mhor : Cl ⁻ = v * 10 * 3.55 (v : le volume de la solution Ag NO ₃).	mg/l
Dosage des nitrites NO ₂ ⁻	Dosage au H ₂ SO ₄ , puis titrage avec KmNO ₄ à 40°C.	mg/l
Dosage de nitrates (NO ₃ ⁻)	Réactifs de salicyte de sodium à 0,5 % ; l'acide sulfurique (d=1.84), hydroxyde de sodium 400 g, potassium 10 g et eau distillée (1000 cm ³)	mg/l d'eau
Phosphore	Les phosphores sont déterminés sous formes (MgNH ₄ , PO ₄ H ₂ O). Les résultats sont obtenus par la pesée.	mg/l
Azote Kjeldahl	Dosage en NaOH (0,01N) + 2 gouttes de méthylorange. Titrage par HCL (0.01N).	mg/l

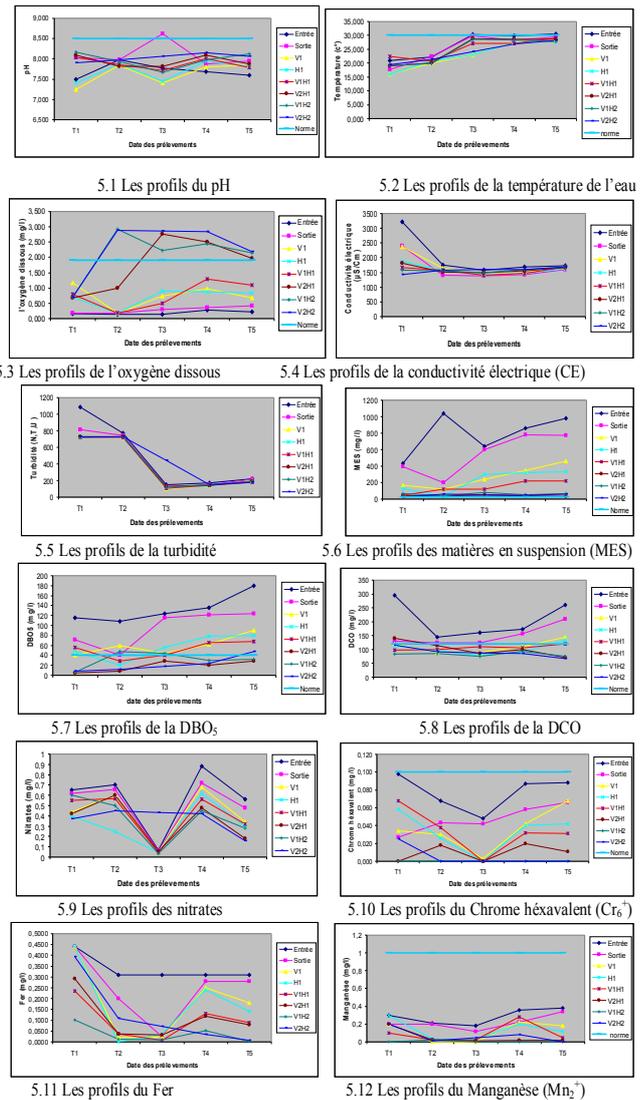


Figure 5: Profils de l'abattement de la pollution physico-chimique

5 CONCLUSION

En guise de conclusion, il ressort que la réalisation de ce type de station de traitement des eaux usées par le procédé de phytotraitement est primordiale et tout à fait justifiable au profit des petites et moyennes collectivités, d'autant plus qu'elle se caractérise par sa simplicité et son coût moins onéreux. En effet, l'alternative de la phytoépuration offre une meilleure opportunité, notamment par une exploitation rationnelle des ressources en eau non conventionnelles, tout en assurant des niveaux de performances épuratoires compétitifs et à des coûts modérés.

En perspectives, il est attendu la mise en place d'une station de phytoépuration à échelle réelle pour pouvoir approfondir les connaissances relatives à cette filière, notamment en ce qui concerne l'abattement de la pollution microbienne, l'optimisation de la géométrie des lits plantés, la connaissance de l'hydrodynamique du système et, par voie de conséquence, l'amélioration de son fonctionnement aux différents contextes urbains, oasiens et ruraux, dans cadre du développement durable.

REFERENCES

- [1] BENSLIMANE M., HAMIMED A., MELIANI H.A et MEDERBAL K., 2009. Essais sur un pilote expérimental du procédé d'épuration des eaux usées par les végétaux macrophytes. Revue SDT ANDRU, Volume n°5, pp 22-37, Aout 2009.
- [2] BOUTIN P. (1981). Problèmes sanitaires résultants de l'utilisation agricole des Eaux, Etude N°2, 1-93.
- [3] BRIX H. and SCHIERUP H.H. 1990. Soil oxygenation in constructed reed beds : the role of macrophyte and soil-atmosphere interface oxygen transport. In: Constructed Wetlands in Water Pollution Control, P.F. Cooper and B.C Findlater (Eds), Pergamon Press, 53-66.
- [4] LAMY Yann, 2005 : La phytorestauration de l'eau ou l'utilisation des végétaux dans l'épuration des eaux usées et pluviales. Bulletin d'étude semestriel n°2, U.C.O Bretagne Nord.
- [5] MATE (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement), 2001 : Plan National d'actions Environnementales, 1ere Phase : bilan et diagnostic. Rapport d'expert n°3 des ressources en eaux, Algérie.
- [6] RODIER J. (1978). Analyse de l'eau : eau naturelles, eaux résiduelles, eaux de mer. Tome 1, Edition Dunod.