



## Performances épuratoires d'un dispositif d'écoulement vertical à base de filtres plantés de typha

Mohamed Salem Mohamed Salem<sup>1,2</sup>, B.A. Dick<sup>1,2</sup>, Salah Souabi<sup>1</sup>, Abdelaziz Madinzi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>. Laboratoire de Génie des Procédés et de l'Environnement-FST de Mohammedia, Maroc

<sup>2</sup>. Unité de Recherche Eau Environnement et Pollution, FST, Nouakchott, Mauritanie

### Infos

Received: 31 January 2024  
Accepted: 24 November 2024

#### Keywords

Treatment, wastewater, urban, typha, pollution, environmental

#### Mots clés

Traitement, eaux usées, urbaines, Typha, pollution, Environnement

#### Corresponding authors emails:

ouldelymohamedsalem@gmail.com

### Abstract - Résumé

**Abstract:** Urban wastewater can lead to environmental pollution if discharged into nature without prior treatment, particularly due to its high organic load. The objective of this study is to test the role of typha in the treatment of urban wastewater. Indeed, a two-filter system was designed, including a raw water tank. The filling is done regularly with urban wastewater from with a frequency of once every one month. The purification performance study of the system shows that the latter ensures significant elimination of BOD5 (45.69% for typha), COD (37.55%) and acceptably reduces suspended solids (48.11%). The results obtained also show an average reduction in nitrogen N (42.41%) and phosphorus (38.33%). The BOD5/COD and COD/BOD5 (35, 78%; 299, 97%), (27, 52 %; 379, 54%), (137,075%, 78, 825) ratio respectively indicate that the wastewater is of domestic origin and easily biodegradable. For organic contaminants expressed in the form of COD and BOD5, the overall elimination efficiency was average in the vertical flow system used for typha cultivation. The reductions in pollution parameters are more or less satisfactory thanks to the combined action of macrophytes, bacteria and the physical barrier constituted by the massif. The purification efficiency reaches respectively approximately 50% and 45% for the planted filters used in terms of organic pollutants DBO5, DCO, is low efficiency reaches 42.41% for the nutrients Nitrogen N and 38.33% for PO4-3, an average efficiency is passable of 48.11% of the suspended matter.

**Résumé :** Les eaux usées urbaines peuvent conduire à une pollution de l'environnement si elles sont rejetées dans la nature sans traitement préalable, en particulier en raison de leur charge organique élevée. L'objectif de cette étude est de tester le rôle de typha dans le traitement des eaux usées urbaines. En effet un dispositif de deux filtres a été conçu, dont un bac d'eau brute. Le remplissage se fait régulièrement avec des eaux usées urbaines avec une fréquence d'une fois chaque mois. L'étude de performance épuratoire du système montre que ce dernier assure une élimination moins importante de la DBO5 (45.69% pour le typha) de la DCO (37.55%) et diminue des matières en suspension (48.11%) Les résultats obtenus montrent aussi une diminution moyenne de l'azote N (42.41%) et du phosphore (38.33%). Les rapports DBO5/DCO et DCO/DBO5 indiquent que les eaux usées sont d'origines domestiques et facilement biodégradables. Pour les contaminants organiques exprimés sous forme de DCO et DBO5, l'efficacité globale d'élimination était moyen dans le système à écoulement vertical utilisés la culture de typha. Les abattements des paramètres de pollution sont plus ou moins satisfaisants grâce à l'action conjuguée des macrophytes, des bactéries et de la barrière physique que constitue le massif. Le rendement épuratoire atteint respectivement environ 50% et 45% pour les filtres plantés utilisés en terme de polluants organique DBO5, DCO, est peu rendement atteint 42.41% pour les nutriments Azote N et 38.33% pour PO4<sup>-3</sup>, un rendement moyen est pas sable de 48.11% des matières en suspension.

## 1. INTRODUCTION

Aujourd'hui, assuré un accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure dans tous les pays du monde [1]. La conservation de sa qualité devrait être une préoccupation pour toute la société [2]. Il peut se concevoir à l'échelle d'une agglomération (assainissement collectif) ou d'habitations non raccordées à un réseau d'égout collectif (assainissement autonome). Les stations d'épuration du futur tendent à devenir de véritables usines de valorisation des eaux usées afin de produire de l'énergie verte, des matières fertilisantes et afin de réutiliser les eaux usées traitées.

Face à la nécessité de protéger les sources d'eau, de contribuer à la protection de la santé publique et de fournir des ressources en eau supplémentaires pour soutenir le développement agricole et industriel, de nombreux concepts de traitement des eaux usées ont été développés. Le principe général du traitement des eaux usées par des lits permanents de macrophytes est basé sur l'utilisation d'écosystèmes. Généralement, le système utilise le flux d'eau par gravité et ne nécessite pas d'alimentation complémentaire [2].

En Mauritanie, les conditions économiques rendent peu probable la mise en place rapide des équipements publics suivant le mode d'assainissement collectif des pays industriels. La politique nationale de décentralisation attribue les responsabilités de l'assainissement aux communes. Mais, ces dernières ont généralement peu de revenus et des possibilités de mobilisation de ressources pour le développement très faible. D'où l'absence de la gestion de l'assainissement. Bien que le lagunage, relativement peu onéreux, avec un rendement économique certain grâce à l'utilisation de biomasse végétale et d'autres sous-produits, peut constituer une alternative crédible pour le traitement des eaux usées en Mauritanie.

Il s'avère nécessaire de valoriser la quantité d'eau usée domestique produite quotidiennement par le biais d'un dispositif de traitement par lagunage à macrophytes.

L'objectif de la présente étude est de tester la capacité épuratoire de plante typha, qui est une plante macrophyte jouissant de potentialité épuratoire et d'un pouvoir d'absorption des contaminants, et de mettre en évidence ses potentialités à épurer une eau usée prise dans une source. Et ainsi qu'est l'élimination des matières organiques et des nutriments des eaux usées par la plante aquatique locale.

## 2. METHODES ET MATERIELS

### 2.1. Eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques constituent la plus grande partie des eaux usées produites par les ménages. Leur qualité dépend de plusieurs facteurs, tels que la taille et la composition du foyer, les habitudes de consommation d'eau, les pratiques de nettoyage et d'entretien, ainsi que les caractéristiques du système de plomberie [3]. Les eaux des toilettes, appelées "eaux noires", sont plus concentrées en Matière Organique et en germes fécaux que les eaux ménagères, ce qui rend leur traitement plus complexe et plus coûteux [1]. En général, les eaux usées domestiques contiennent également des micropolluants tels que des médicaments, des produits cosmétiques et des produits chimiques ménagers, qui peuvent avoir des effets nocifs sur l'environnement et la santé humaine [3].

### 2.2. Infiltration-percolation

Cette technique consiste à distribuer de l'eau à traiter sur la surface d'un lit filtrant constitué de matériaux granulaires (sable, gravier, etc.) pour permettre une infiltration progressive à travers le lit.

L'eau est ensuite collectée et traitée avant d'être rejetée dans l'environnement. Cette technique permet une bio filtration aérobie des eaux usées en milieu particulaire, c'est-à-dire en présence de la matière organique et de micro-organismes, qui permettent de dégrader les polluants présents dans l'eau. Les hauteurs hydrauliques d'alimentation varient en fonction des caractéristiques du lit filtrant et des eaux à traiter, mais peuvent atteindre plusieurs centaines de litres par mètre carré de lit filtrant et par jour. La plage de distribution est ouverte et visible pour faciliter la distribution uniforme de l'eau à traiter sur le lit filtrant [4].

### 2.3. Méthode et Matériel

Les eaux usées sont des eaux dont les caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques ont été altérées en raison de l'introduction de certaines substances qui les rendent dangereuses pour certaines utilisations telles que la consommation ou les activités quotidiennes de l'homme [5]. Certaines de ces substances comprennent les déchets corporels (féces et urine), les produits de soins capillaires, les cheveux, les restes de nourriture, les graisses, les poudres à lessive, les adoucissants de tissus, le papier toilette, les produits chimiques, les nettoyants ménagers, les détergents, la saleté et les micro-organismes qui peuvent rendre les êtres humains malades et endommager l'environnement.

#### 2.3.1. Conception du dispositif expérimental

Cette partie est réservée à la description des différentes étapes nécessaires à la conception du dispositif expérimental, à la façon de le réaliser et à la présentation de l'idée générale du principe de technique de traitement. La matière végétale utilisée dans ce dispositif c'est le typha (plante émergente), Plus abondant et plus envahissant dans les côtes du fleuve Sénégal et ainsi que certaines régions de la Mauritanie, où il évolue depuis plusieurs années, dans des conditions naturelles.

### 2.3.2. Typha

Les Typha, communément appelées quenouilles, sont de la famille des Typhacées. La hauteur de la tige varie entre 100 à 270cm et la taille de la feuille entre 6 à 25 mm. Sans aucun parfum ni nectar, elles se décrivent comme étant linéaire, avec des épis staminés et une floraison estivale. Elles proviennent des régions tempérées et chaudes des deux hémisphères et on les retrouve en Europe, en Asie, en Amérique et en Afrique. Elles colonisent les marais et les rivages saturés en eau douce. En effet, elles ne peuvent pas tolérer les eaux saumâtres et préfère un pH neutre [6]. Ces plantes produisent beaucoup de biomasse et leurs longues tiges assurent l'oxygénation du substrat. Elles forment un réseau qui retient les débris et construit le sol, diminuant ainsi l'érosion (Figure 1). Leurs feuilles sont construites de façon à réduire le vent et, par conséquent, l'évapotranspiration.

### 2.3.3. Mise en place du dispositif expérimental

L'essai expérimental a été effectué dans une espace en prélevant des échantillons de fosses septiques, un dispositif de traitement est préparé spécialement pour les essais de tester la capacité d'épuration de typha. Deux filtres remplis d'un substrat sont installés, et un bac est utilisé comme témoin (eau usée brute), la mise en place de macrophyte faite par transplantation des rhizomes

### 2.3.4. Essai sur l'effet des macrophytes

Le pilote expérimental est constitué de 2 filtres de 200 L de volume chacun. Deux filtres sont remplis avec des couches en succession décroissante de gravier de plus gros en bas vers le diamètre le plus petit en haut de sable (Figure 4). L'échantillonnage a été mené pendant trois mois. Chaque filtre est doté d'un tuyau en sa partie inférieure précédé d'une vanne permettant la régulation de débit évacué. La hauteur des filtres de 0.9 m a permis le garnissage en matériau sur une hauteur de 0.7 m. Les filtres ont été préparés avec l'objectif d'évaluer en premier lieu le pouvoir épurateur des plantes. Deux filtres sont remplis de gravier (1<sup>er</sup> couche Ø = 10/20 mm, 2<sup>ème</sup> couche Ø = 5/10 mm), avec une couche de filtration en sable (3<sup>ème</sup> couche Ø = 0.04 0.08mm). Le niveau d'eau a été maintenu à 20 cm ci-dessus la surface du substrat (Tableau 1).

Les filtres ont été plantés en février, des jeunes de macrophyte à savoir Typha. Après une période d'adaptation d'un mois où les plantes étaient bien développées, les filtres ont été remplis avec des eaux usées brutes. Les premières mesures expérimentales ont été réalisées à partir de février jusqu'au mois d'avril.

Cette technique repose sur le principe de l'épuration biologique principalement aérobie en milieu granulaires fins à grossiers [7], où les eaux usées passent [8] sans traitement préalable, à travers des bacs. Les micro-organismes aérobies se développent à la périphérie des grains de sable et des graviers et constituent le corps des massifs filtrants, et engendrent la dégradation et la minéralisation de la matière

**Tableau 1:** Caractéristiques des couches du substrat

Libelle	Diamètre (mm)	Hauteur (cm)	Volume (m3)
Couche(1)	Sable0.040.08	30	0.18
Couche(2)	Gravier5/10	30	0.18
Couche(3)	Gravier10/20	10	0.06

Couche(1): **filtration**, Couche(2): **transition**, Couche(3): **drainage**



**Figure 1:** Illustration de plante émergente Typhacée



**Figure2:** Schéma du dispositif expérimental



**Figure3:** Aire expérimental pour la phyto-épuration



**Figure4:** Disposition de substrats dans les filtres à essai

organique, qui devient dès lors assimilables par les plantes. Le développement important des tiges et des racines des végétaux crée un réseau dense dont le rôle est d'éviter le colmatage en perçant les matières qui se déposent sur la plage d'infiltration et en contribuant à leur minéralisation [9].

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Cette partie consiste à présenter et analyser statistiquement les résultats obtenus au cours de cette conception du dispositif et par la suite une discussion d'abattement ou augmentation de chaque paramètre et le comparer avec d'autres résultats relatif à l'étude a été menée pour un dispositif de traitement des eaux usées brute.

#### 3.1. Evolution des paramètres physicochimiques

L'évolution temporelle des paramètres physicochimiques (DBO5, DCO, N, PO4<sup>-3</sup>, et MES) pour les deux filtres, est montrée dans les figures ci-dessous.

##### 3.1.1. Demande biologique en oxygène en cinq jours DBO5

La figure 5 présente la variation temporelle de la DBO5 dans les filtres plantés de typha. On observe une diminution plus ou moins importante de ce paramètre dans les filtres 1 et 2 plantés par rapport au bac d'eau usée brute. En effet les résultats montrent un abattement de la DBO5. Une élimination moyenne de (57.72%, 61.19% et 18.17%) pour ce paramètre respectivement Février, Mars et avril à la sortie des filtres.

La décroissance est assurée par le bon fonctionnement du système. Les plantes, à travers la photosynthèse ont donc favorisé les phénomènes d'aérobie, et la structure du massif filtrant choisi a permis d'assurer la diffusion facile de l'oxygène atmosphérique, et par conséquent l'oxygène dissous dans l'eau qui est un facteur très important pour une bonne épuration résultats confirmés par [2] et [10]

**Tableau 2 :** Valeurs mesurées pour le premier prélèvement le mois de Février 2024

Paramètre mesuré	Unité	Eau usée Brute	Eau usée traitée			
			Filtre 1	Taux d'abattement	Filtre 2	Taux d'abattement
DCO	mg/l	217	75	34,57	23	10,60
Azote N	mg/l	48	23	47,92	17	35,42
PO4 <sup>-3</sup>	mg/l	51	22	43,14	14	27,46
DBO5	mg/l	220	165	75,00	89	40,46
Matières en suspension	mg/l	162	105	64,82	33	20,38
DCO/DBO5		0,99	0,45	45,45	25,85	26,11
DBO5/DCO		1,01	2,2	217,82	3,86	382,18

**Tableau 3 :** Valeurs mesurées pour le deuxième prélèvement le mois de Mars 2024

Paramètre mesuré	Unité	Eau usée Brute	Eau usée traitée			
			Filtre 1	Taux d'abattement	Filtre 2	Taux d'abattement
DCO	mg/l	171	45	26,31	17	09,41
Azote N	mg/l	39	22	56,41	12	30,76
PO4 <sup>-3</sup>	mg/l	48	23	47,91	11	22,91
DBO5	mg/l	192	149	77,60	86	44,79
Matières en suspension	mg/l	114	78	68,42	29	25,43
DCO/DBO5		0,89	0,30	33,70	0,19	0,21
DBO5/DCO		1,1	3,3	300	5,05	459,09

**Tableau 4 :** Valeurs mesurées pour le troisième prélèvement le mois d’Avril 2024

Paramètre mesuré	Unité	Eau usée Brute	Eau usée traitée			
			Filtre 1	Taux d’abattement	Filtre 2	Taux d’abattement
DCO	mg/l	79	31	39,25	12	15,18
Azote N	mg/l	31	17	54,49	9	29,04
PO4 <sup>3-</sup>	mg/l	49	31	63,27	12	24,44
DBO5	mg/l	88	20	22,73	12	13,63
Matières en suspension	mg/l	75	65	86,67	17	22,67
DCO/DBO5		0,89	1,55	174,15	1	100,00
DBO5/DCO		1,11	0,64	57,65	1	100,00

**3.1.2. Demande chimique en oxygène(DCO)**

La figure 6 présente la variation temporelle de DCO dans les deux filtres. On observe un abattement de ce paramètre surtout dans le dernier filtre 2 planté de typha par rapport au bac témoin(eau usée brute). L’efficacité d’élimination maximale en termes de DCO est de (22.57%, 62.86% et 27.21%) respectivement pour le mois de Février, Mars et Avril résultats confirmés par [11] qui a obtenu une élimination moyenne pour le système planté.

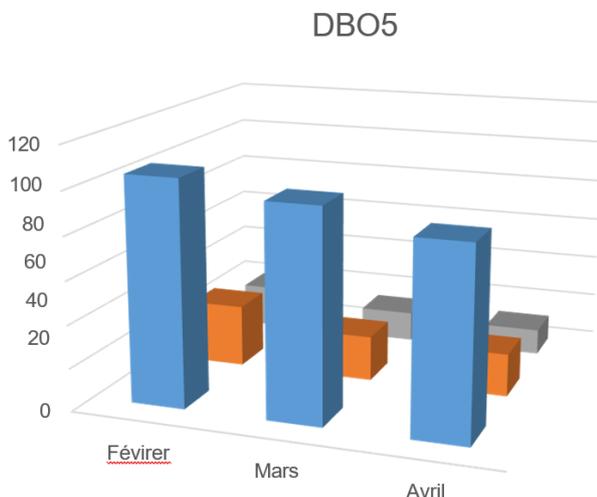
**3.1.3. Azote**

La figure 7 présente la variation temporelle de l’azote, l’abattement de ce paramètre a été observé à partir du mois de février d’une manière croissante et décroissante à la fois dans les filtres plantés de typha. L’abattement d’azote total est atteint des valeurs respectivement (41.72%, 43.58%, et 41.93%).

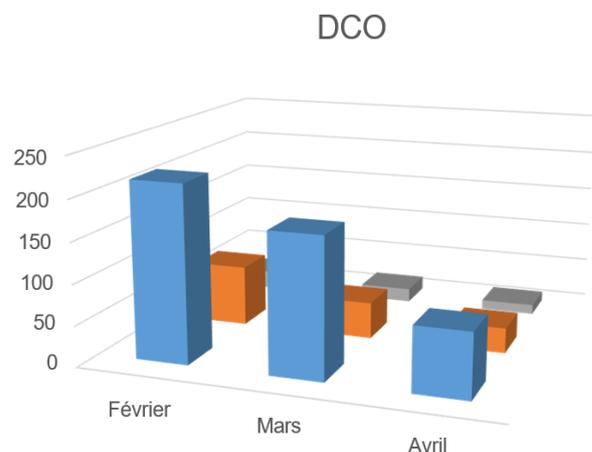
**3.1.4. Phosphore**

La figure 8 présente la variation temporelle du phosphore, l’abattement de ce paramètre a été observé à partir du mois de février d’une manière croissante dans les filtres plantés de typha. L’abattement du phosphore est atteint des valeurs respectivement (35.72%, 35.41%, et 43.87%) durant le mois de Février, Mars et Avril.

Ces nutriments sont utilisés par la plante pour la croissance de ses tissus de racines [11], ils peuvent être emmagasinés dans les racines et rhizomes, les tiges et les feuilles [12] ce qui explique leur diminution parfois dans les filtres plantés.



**Figure 5 :** Variation temporelle de la DBO5



**Figure 6 :** Variation temporelle de la DCO

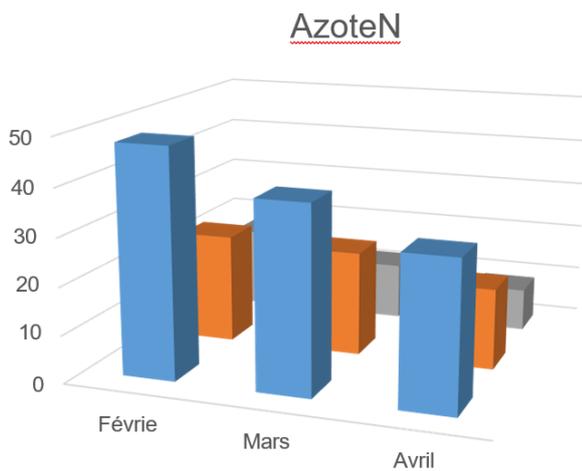


Figure 7 : Variation temporelle de l'Azote

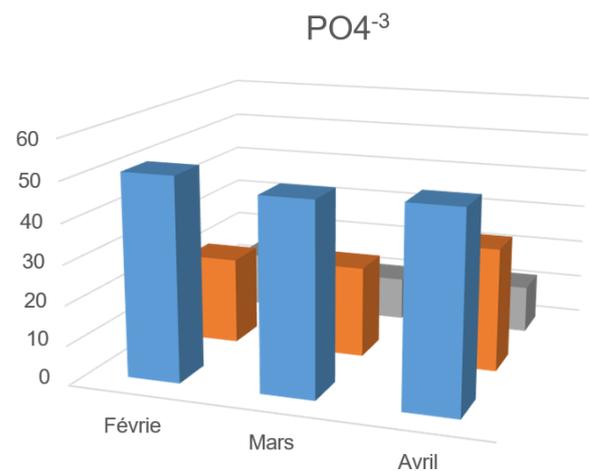


Figure 8: Variation temporelle du Phosphore

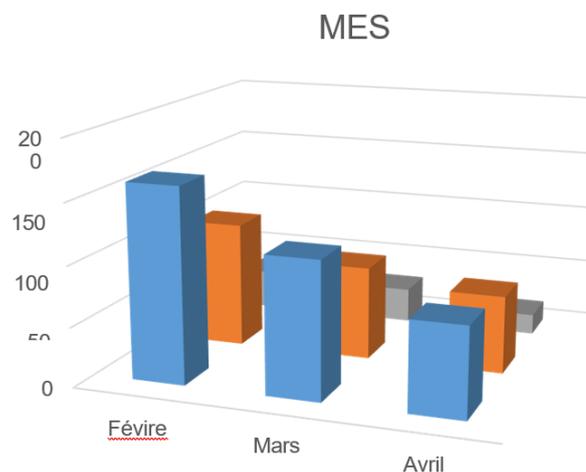


Figure 9 : Variation temporelle de la matière en suspension

### 3.1.5. Matières en suspension

On remarque un abattement moins important de matières en suspension des eaux récupérées dans les filtres plantés de typha (42.77%, 46.92% et 54.66%). Ces importants résultats sont expliqués par le fait que le massif planté par un macrophyte permet une élimination de matières en suspension et matières organiques dégradées par l'activité bactérienne au niveau de racines [12].

L'élimination des MES n'a pas été affectée par les changements de température (températures modérées) dans toutes les unités analysées, et les concentrations de MES dans les effluents étaient inférieures à la valeur limite des normes algériennes (35 mg/L) [13].

## 4. CONCLUSION

La performance des marais artificiels filtrant à épurer les eaux usées dépend du rôle de tous les composants de ces filtres. Chacun de ces derniers prend un rôle bien déterminé selon l'environnement où il se trouve et la qualité d'eau à épurer. L'objectif majeur de ce travail était de mettre en évidence les potentialités des plantes macrophytes à épurer les eaux usées urbaines, ainsi que le rôle des différents types dans la performance de traitement. Ces eaux sont chargées de polluants organique et minérale ainsi que des germes pathogènes qui provoquent notamment des maladies épidémiques. Il est entièrement consacré à une comparaison entre des filtres plantés de typha et le bac témoin (eau usée brute) à savoir l'efficacité d'élimination des polluants. Le dispositif expérimental, installé in situ, fonctionne dans des conditions naturelles; ces conditions semblent être favorables au fonctionnement du protocole où les conditions climatiques se rapprochent des besoins écologiques des écosystèmes utilisés (les filtres à écoulement

vertical plantés de macrophytes ) de point de vue ensoleillement, température, évaporation etc., sachant que les eaux usées sont riches en matières organiques et en nutriment.

Les rapports DBO5/DCO et DCO/DBO5 indiquent que les eaux usées sont d'origines domestiques et facilement biodégradables. Pour les contaminants organiques exprimés sous forme de DCO et DBO5, l'efficacité globale d'élimination était moyen dans le système à écoulement vertical utilisés la culture de typha. Les abattements des paramètres de pollution sont plus ou moins satisfaisants grâce à l'action conjuguée des macrophytes, des bactéries et de la barrière physique que constitue le massif.

Le rendement épuratoire atteint respectivement environ 50% et 45% pour les filtres plantés utilisés en terme de polluants organique DBO5, DCO, est peu rendement atteint 42.41% pour les nutriments Azote Net 38.33% pour PO4-3, un rendement moyen est passable de 48.11% des matières en suspension.

## Références

- [1] L. Bouchaala, N. Charchar, A.Gherib, Ressources hydriques traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie. *Algerian Journal of Arid Environment*, 07(1),(2017) 84-85.
- [2] A.Ben Moussa, A.Chahlaoui, &M.Chahboune, Typologie des eaux superficielles de l'Oued Khoumane. Moulay Idriss Zerhoun, Maroc, *Entomologie faunistique*, 76 (1) (2018).
- [3] C. Eme, C. Boutin, Composition des eaux usées domestiques par source d'émission à l'échelle de l'habitation. Publication Onema, **Journal of Water Resource and Protection**, 16 (1), (2015) 90.
- [4] D. J. & W. J Mitsch, The effects of season and hydrologic and chemical loading on nitrate retention in constructed wetlands: a comparison of low- and high nutrient riverine systems, *Ecological Engineering*, 14 (1), (2000) 77-91.
- [5] J.A, Nathanson, &A. Ambulkar, Wastewater treatment, Encyclopedia Britannica, (2023).
- [6] S.Lux et G. Lecuir, N. Loury La phyto-épuration : des plantes pour traiter les eaux usées : Fiche N°10, in Bâtir en favorisant la biodiversité. ISBN: 978-2-35113-087-2 (2012).
- [7] J. Vymazal, K.Lenka, Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal subsurface flow. Springer-Verlag New York Inc. Collection: *Environmental Pollution.*, 14 (1), (2008) 566.
- [8] J.Vymazal, M.Greenway, K.Tonderski, H.Brix, U.Mander, Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Ecological Studies*. 190 (1), (2006) 69-96.
- [9] J. Vymazal, Élimination du phosphore par faucardage de la végétation émergente dans les marais artificiels pour le traitement des eaux usées. *Sciences Eaux & Territoires, Spécial Ingénieries-EAT*, 20, 13 –21, (2004).Consulté à l'adresse <https://revue-set.fr/article/view/6083>
- [10]J.Vymazal, Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecological Engineering*. 25, (1), (2005) 478-490.
- [11] S.Tiglyene, S.L.Mandi, et A.E. Jaouad, - Enlèvement du chrome par infiltration vertical sur lits de phrgmites australis, *Cav, Rev. Sci. Eau*, (2005) 177-198.
- [12] O.S. Kucuk, F.Sengul, and I.K. Kapdan, Rmovel of ammonium from tannery effluents in a reed bed constructed wetlands, *Water Sci. Technical*. 48, (11-12), (2003) 179-186.
- [13] A. DALOZ, l'épuration des eaux usées par les filtres plantés de macrophytes, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Lyon, Formation continue au développement durable et équitable, *Ecological Engineering*, 14, (2007) 77-91.