



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences biologiques



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : toxicologie

Intitulé

**Etude du pouvoir épurateur des eaux usées par un filtre
planté de macrophytes "*Phragmites australis*" , cas de l'oued
Ain Taghrout, Bordj Bou Arreridj**

Présenté par : BENKHELIFA Abderraouf

HAZAZ Amira

Soutenu le : 06 juillet 2022

Devant le jury :

Président :	M ^{lle} BOUSSAHEL Soulef	MCA (Univ. Bordj Bou Arreridj)
Encadrant :	M ^{lle} MOUMENI Ouissem	MCB (Univ. Bordj Bou Arreridj)
Examineur :	M ^r DIAFAT Abdelouaheb	MCA (Univ. Bordj Bou Arreridj)

Année universitaire : 2021/2022

Dédicaces

Je dédie ce travail à

A mes parents pour leur amour et leur soutien, de m'avoir accompagné et aidé durant toutes ces années,

A ma grande mère.

A mon frère Abdellatif et mes sœurs pour leur appui et leurs encouragements.

A mon binôme Amira pour sa patience et sa compréhension tout au long de ce travail.

A mes cousins Khalil, Youcef, Djalal, Issam,

A mes amis Hichem, Nadji, Mouhamed, Zakaria, youcef, pour les bons moments passés ensemble.

Ainsi qu'à tous mes amis en qui j'ai toujours trouvé le soutien et le réconfort.

BENKHELIFA Abderraouf

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mon cher père 《Miloud》 et A ma chère mère 《Hayat》 pour leur encouragement et le soutien sans faille qu'ils m'ont toujours apporté, et ce plus particulièrement dans les moments difficiles.

A mon fiancé 《Housseem 》 qui m'a beaucoup aidé et soutenu.

A mes très chères sœurs 《sawsan》 .

A mes frères 《kosai》 , 《khalil》 .

A mes neveux et mes nièces 《Siradj》 , 《Assil》 , 《Miral》 , 《Moncef》 .

A mes meilleurs amis 《Marwa, Amina, Ilham, Sara, hanane, Djomana , Ghada, Widad, Hayat, Amal, Karima, Aya, Mariem, Raouf, Hichem.....》 .

A tous les membres de ma famille.

HAZAZ Amira

Table des matières

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction..... 01

Etude expérimentale

Chapitre 1: Matériel et méthodes

1. Matériel végétal :	04
1.1. Description du roseau « <i>Phragmites australis</i> ».....	04
1.2. Classification	05
1.3. Site d'échantillonnage de la plante.....	05
2. Eaux usées.....	06
2.1. Site d'échantillonnage	06
2.2. Technique d'échantillonnage	06
3. Mise en place du dispositif expérimental	07
4. Analyse des paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux usées.....	08
5. Etude statistique.....	10

Chapitre 2: Résultats

1. Variations des paramètres physico-chimiques de pollution.....	11
1.1. Le pH.....	11
1.2. La température	11
1.3. L'oxygène dissous.....	11
1.4. La conductivité électrique.....	12
1.5. Teneur en ammonium.....	13
1.6. Teneur en nitrates.....	13
1.7. Teneur en nitrites.....	14
1.8. Les taux de phosphates.....	15

Table des matières

2. Abattements des indicateurs organiques de pollution	15
2.1. Les matières en suspension	15
2.2. La matière organique.....	16
2.3. DBO ₅	16
2.4. DCO	17
3. Impact du couple (filtre +plante) sur les paramètres bactériologiques	18
3.1. Les coliformes totaux.....	18
3.2. Streptocoques fécaux.....	18

Chapitre 3: Discussion

Discussion.....	19
Conclusion et perspectives	23
Références bibliographiques.....	25

Annexes

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
I	Les différentes couches du substrat de chaque filtre	04
II	Méthodes d'analyses des indicateurs physico-chimiques.	05
III	Méthodes d'analyses des indicateurs bactériologiques	07
IV	Variations du pH, de l'oxygène dissous et de la température des eaux durant notre expérimentation	12
V	<i>Variations de la conductivité des eaux durant notre expérimentation</i>	12
VI	Variations des teneurs en ammonium dans les eaux avant et après épuration	13
VII	Variations des teneurs en nitrates dans les eaux durant notre expérimentation	14
VIII	Variations des teneurs en nitrites dans les eaux avant et après épuration	14
IX	Variations des teneurs en ortho-phosphates dans les eaux avant et après épuration	15
X	Variations des MES des eaux durant notre expérimentation	16
XI	Variations de MO des eaux durant notre expérimentation	16
XII	Variations de la DBO5 dans les eaux avant et après épuration	17
XIII	Variations de la DCO dans les eaux avant et après épuration	17
XIV	Variations des coliformes fécaux dans les eaux avant et après épuration	18
XV	Variations des streptocoques fécaux dans les eaux durant notre expérimentation	18

Listes des figures

N°	Titre	Page
01	Le roseau commun « <i>Phragmites australis</i> »,	04
02	Oued « Bouchiba », Tassemert	05
03	Localisation géographique de l’oued « Ain Taghrout »	06
04	Dispositif expérimental	08

Liste des abréviations

MES	Matière en suspension
MO	Matière organique
DCO	Demande chimique en oxygène
DBO₅	Demande biochimique en oxygène
XERU	Concentration du paramètre considéré dans l'eau résiduaire urbaine
Xf	Concentration du paramètre considéré dans le filtrat
EUB	Eaux usées brutes
EUE	Eaux usées épurées

Résumé

Ces dernières années, une attention particulière est portée à la recherche et à l'étude de nouvelles techniques d'épuration des eaux usées pour faire face aux problèmes de la pollution. Dans ce travail, nous tenons à proposer une technique d'épuration à base des filtres plantés pour traiter les eaux usées domestiques déversées dans l'Oued « Ain Taghrout ». Ainsi, nous avons suivi les performances épuratrices du roseau « *Phragmites australis* » par la mesure de certains paramètres physico-chimiques et bactériologiques avant et après épuration.

Nos résultats ont mis en évidence des abattements de 95,21% pour les MES, 93,57% pour la DCO, 99,32% pour la DBO₅, 92,21% pour les PO₄⁻³, 92,21% pour les NH₄⁺, 28,21% pour les NO₃⁻ et 98,86% pour les NO₂. Il convient de signaler que les abattements de la pollution organique enregistrés sont plus importants après 14 jours de rétention. Concernant les paramètres microbiologiques, nous avons enregistré un abattement de 93,5% pour les coliformes totaux et de 100% pour les streptocoques fécaux, et ce après 14 jours d'épuration.

L'ensemble des résultats obtenus indiquent un bon pouvoir épurateur de « *Phragmites australis* » d'où l'efficacité du procédé appliqué dans l'épuration des eaux usées.

Mots clés : filtres plantés, *Phragmites australis*, eaux usées, phyto-épuration, Oued Ain Taghrout.

Abstract

In recent years, particular attention has been paid to the research and study of new waste water treatment techniques to deal with pollution problems. In this work, we want to propose a treatment technique based on the filters planted to treat the domestic wastewater discharged in the Oued «Ain Taghrout». Thus, we followed the purifying performance of the reed «*Phragmites australis*» by measuring certain physico-chemical and bacteriological parameters before and after purification.

Our results showed reductions of 95.21% for ESM, 93.57% for COD, 99.32% for BOD5, 92.21% for PO_4^{-3} , 92.21% for NH_4^+ , 28.21% for NO_3 and 98.86% for NO_3^- . It should be noted that the organic pollution abatements recorded are greater after 14 days of retention. Concerning microbiological parameters, we recorded a reduction of 93.5% for total coliforms and 100% for faecal streptococci, and this after 14 days of purification.

All the results obtained indicate a good purifying power of «*Phragmites australis*» hence the efficiency of the process applied in wastewater treatment.

Keywords: planted filters, *Phragmites australis*, wastewater, phyto-purification, Oued Ain Taghrout.

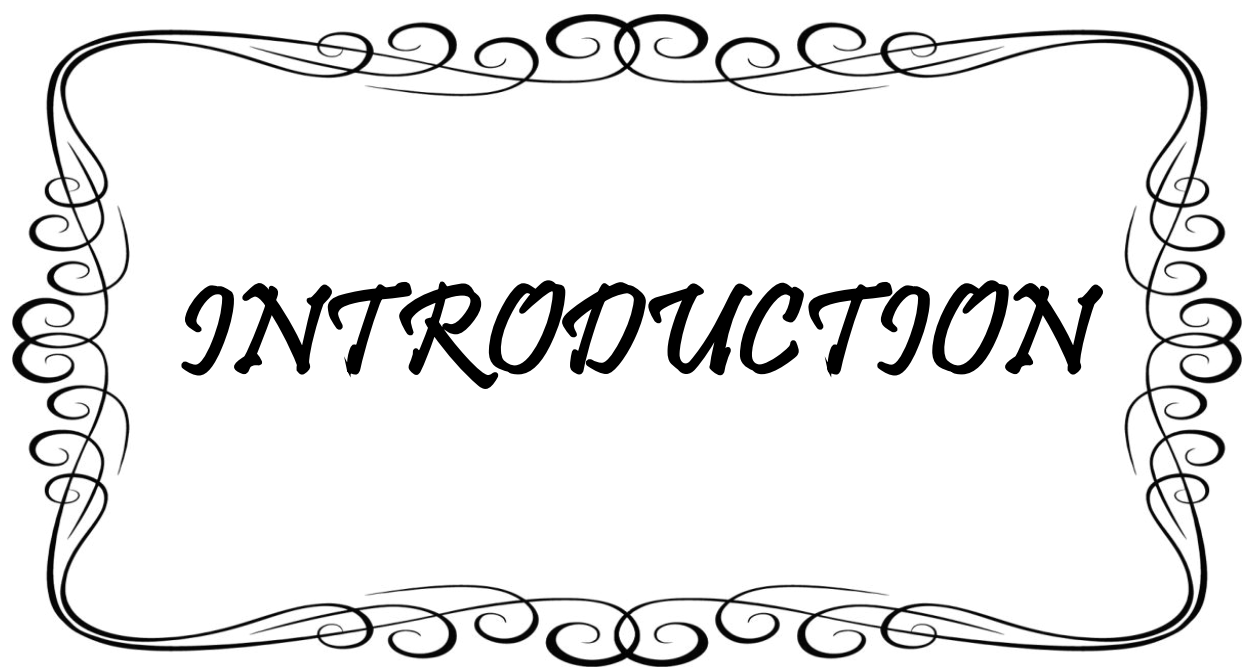
الملخص

في السنوات الأخيرة، كان هناك اهتمام كبير و دراسات خاصة متعلقة بإيجاد تقنيات حديثة لمعالجة مشكلة تلوث المياه . في هذه الدراسة نريد اقتراح تقنية لمعالجة مياه الصرف الصحي المنزلية التي تصب في واد عين تاغروت باستعمال مرشحات مزروعة بنبنة تدعى "القصب الأسترالي" « *Phragmites australis* »، التي لها القدرة على تنقية المياه بخفض درجة تلوثها ، وذلك من خلال تتبع قياس بعض المعلمات الفيزيوكيميائية و الباكترولوجية للمياه قبل و بعد التنقية .

حيث أظهرت النتائج تخفيضات في محتوى المعلقات MES بنسبة 95.21 % و 93.57 % لـ DCO و 99.32 % لـ DBO و 92.21 % لـ PO_4^{3-} و 28.21 % لـ NO_3^- و 98.86 % لـ NO_2 ، كذلك فيما يتعلق بالملوثات العضوية و البكتيريا هنالك انخفاض بنسبة 93.5 % لـ coliformes totaux و 100 % لـ streptocoques fécaux بعد 14 يوم من التنقية.

النتائج التي تم الحصول عليها تشير إلى قوة كفاءة نبنة الصب الأسترالي « *Phragmites australis* » على تنقية و معالجة مياه الصرف الصحي.

الكلمات المفتاحية: المرشحات المزروعة ، « *Phragmites australis* » ، مياه الصرف الصحي ، تنقية النباتات ، واد عين تاغروت.

A decorative rectangular frame with intricate, symmetrical scrollwork and floral patterns. The frame is centered on the page and contains the word "INTRODUCTION" in a bold, black, serif font. The word is written in all capital letters and is the central focus of the page.

INTRODUCTION

L'eau est un élément essentielle, omniprésente, intimement liée à toute forme de vie et indispensable à toute activité humaine. C'est une ressource primordiale pour l'économie de tous les pays par le rôle qu'elle joue dans la production d'énergie, de nourriture et plus généralement dans les activités industrielles. Par ailleurs, du point de vue environnemental, les pressions exercées sur le milieu aquatique s'accroissent dans la mesure où les activités agricoles, industrielles et urbaines entraînent le déversement massif et anarchique de nombreux polluants ou des effluents dans les hydro systèmes (cours d'eau, nappes souterraines, lacs et oueds). Ces pratiques ont des conséquences extrêmement néfastes aussi bien sur la santé humaine que sur l'environnement (**Bougherira et Aoun-Sebaiti, 2012**).

Ces dernières années, le monde entier a connu une grande dégradation et des changements inquiétants dans la qualité des eaux superficielles. Ce phénomène est surtout observé dans les pays en voie de développement et les pays qui ont connu une expansion démographique importante (**Bougherira et Aoun-Sebaiti, 2012**).

L'Algérie est l'un des pays qui a connu ces derniers temps une croissance démographique considérable, ce qui a conduit à une augmentation de l'utilisation des eaux ainsi que la production d'eaux usées. Les volumes croissants de ces eaux usées, menacent la qualité de l'environnement et dégradent l'équilibre des milieux naturels (**Bensaid, 2018**). Ces eaux sont chargées de plusieurs polluants, de différentes natures (hydrocarbures, métaux lourds, matières organiques...), pouvant entraîner l'apparition de nombreuses maladies, un déclin des populations et des dysfonctionnements dans les écosystèmes aquatiques en raison de la disparition des espèces les plus sensibles (**Galgany et al., 2009 ; Munaron et al., 2013**). La pollution risque ainsi de constituer, à court terme, une menace de pénurie d'eau imposant la nécessité de protéger cette ressource contre toute altération et utilisation irrationnelle (**Derradji, 2015**). Face à ce problème, il est donc devenu indispensable de trouver des solutions de traitement des eaux usées, à moindre coût, permettant de limiter les risques associés à la pollution des eaux. (**Prasad et al., 2003**)

La politique de valorisation des eaux usées est nécessaire d'autant plus que celles-ci une fois traitées, pourraient constituer une source non négligeable pouvant participer à la réduction du déficit du bilan hydrique par sa valorisation en irrigation des cultures et des arbres. Cependant, l'assainissement des eaux usées est limité dans les pays en voie de développement du fait du coût élevé d'investissement et de maintenance. Il convient donc de

trouver des techniques fiables à faible coût, capables de traiter efficacement les eaux usées **(Derradji, 2015)**.

La purification artificielle des eaux usées au niveau des stations d'épuration, à travers les pays utilisateurs de cette stratégie, a montré sa complexité et ses exigences matérielles et humaines. 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 naturel qu'est la « phytoépuration », où l'intervention de l'homme est très limitée et l'installation n'est pas trop coûteuse. **(Saggai, 2004)**. Cette technique compte parmi les tactiques inventives de dépollution. Elle est basée sur la capacité de certaines plantes, essentiellement des macrophytes, à extraire les polluants de leur substrat puis de les accumuler ou sédimenter dans leur biomasse **(Prasad et al.,2003)**

La phyto-épuration consiste à diminuer les concentrations de polluants dans les eaux usées, grâce à des plantes capables de transformer, de dégrader ou d'éliminer les substances polluantes à travers différents systèmes, caractérisés par le fait que l'eau vient couler sous conditions contrôlées à l'intérieur des milieux végétales, de façon à en favoriser la dépollution naturelle, qui s'effectue au moyen d'une combinaison de processus physiques, chimiques et biologiques, incluant la sédimentation, la précipitation, l'adsorption sur les particules de sol, l'assimilation par les plantes et les transformations microbiologiques. **Mimech et al., 2010)**. Cette technique de filtration des eaux permet, donc, la transformation et le recyclage de la matière, mettant à profit l'interaction entre les plantes, les micro-organismes et le sol **(Derradji, 2015)**.

Aujourd'hui, le terme « phyto-remédiation » est largement accepté et regroupe toutes les méthodes basées sur l'utilisation de végétaux supérieurs dans un but de traitement. Malgré leur développement récent, ces méthodes sont variées et des résultats encourageants ont d'ores et déjà été obtenus pour des problématiques diverses. Plusieurs travaux scientifiques ont d'ailleurs mis en évidence l'intérêt des macrophytes et leur grande efficacité dans l'épuration des eaux usées de différentes origines **(Kleche, 2013 ; Tlidjen, 2014 ; Derradji, 2015 ; Bensaid, 2018)**.

C'est dans ce contexte que nous avons orienté notre travail vers l'épuration des eaux usées d'origine domestique de l'Oued « Ain Taghrout » de la ville de Bordj Bou Arreridj. Pour cela, nous avons procédé à l'installation d'un lagunage artificiel à macrophytes en utilisant la plante aquatique « *Phragmites australis* », après avoir évalué les indicateurs de pollution physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées.

Ce document est structuré comme suit :

- D'abord, une introduction générale, dans laquelle nous mettrons l'accent sur la problématique de la pollution des eaux et ses conséquences sur l'homme et l'environnement ainsi que la technique de la phyto-épuration et sa grande pertinence dans la dépollution des eaux usées.

- Ensuite, une partie expérimentale, subdivisée en trois principaux chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présenterons une description du matériel végétal, et du dispositif expérimental utilisés dans notre étude pour l'épuration des eaux usées.
- Dans le deuxième chapitre, nous exposerons les différents résultats obtenus et leur interprétation.
- Le troisième chapitre, est dédié à une discussion détaillée des résultats obtenus.

- Enfin, nous terminerons ce manuscrit par une conclusion générale et nous énoncerons un ensemble de perspectives envisagées pour la continuité de ce travail.



Etude expérimentale



Chapitre 1 :
Matériel et méthodes

Nos essais expérimentaux ont été effectués au niveau du laboratoire de biologie végétale, Département des Sciences Biologiques, Université de Bordj Bou Arreridj.

1. Matériel végétal :

1.1. Description du roseau « *Phragmites australis* » :

Phragmites australis (**Figure 1A**) est une plante aquatique très commune dans les zones humides. Elle se trouve spécialement au bord des cours d’eau ou dans les rejets. C’est une plante herbacée à croissance très rapide (**Scholz et Xu, 2001**). Elle atteint généralement une hauteur d’environ 5 mètres et produit, sur des tiges robustes, de longues feuilles lisses et rubanées qui se terminent par des inflorescences (**Cronk et al., 2001 ; Fauteux, 2002**).

Phragmites australis est un roseau très résistant qui s’adapte facilement aux différentes conditions du milieu. Il s’adapte aux périodes d’inondation et d’assèchement et tolère de grands écarts de température. Il a la particularité de former un tissu racinaire horizontal et vertical (rhizomes) (**Figure 1B**) assurant une grande surface de contact entre le sol et les eaux usées et sert de support pour la croissance des bactéries aérobies. Ces bactéries ont un rôle de dégradation de la matière organique, qui devient dès lors assimilable par les plantes (**Medjdoub, 2014**). Les roseaux sont capables donc d’absorber et de concentrer des quantités importantes de polluants et ils contribuent par conséquent à l’épuration des eaux usées.



Figure 1 : Le roseau commun « *Phragmites australis* ».

A. La plante entière, **B.** Le rhizome avec les racines (**Benameur, 2018**).

1.2. Classification :

Nous avons opté pour la classification proposée par par **Quezel et al. (1962-1963)**

- **Règne** : Végétale
- **Embranchement** : Spermaphytes
- **Sous/emb** : Angiospermes
- **Classe** : Monocotylédones
- **Ordre** : Graminales
- **Famille** : Graminées
- **Genre** : *Phragmites*
- **Espèce** : *Phragmites australis*

1.3. Site d'échantillonnage de la plante :

Des plantes de *Phragmites australis* ont été prélevées à partir de l'Oued « Bouchiba, Tassemert » (Bordj Bou Arreridj) (**Figure 2**) à un stade moyen de leur croissance pendant le mois de mars, puis transportées vers le laboratoire de « biologie végétale » où elles subissent une période d'adaptation de dix jours avant de les planter dans le système de filtration.



Figure 2 : Oued « Bouchiba », Tassemert (**Photo personnelle**).

2. Eaux usées :

2.1. Site d'échantillonnage :

Les eaux usées utilisées dans cette étude ont été prélevées à partir de l'oued « Ain Taghrout » qui reçoit les rejets domestiques bruts des deux agglomérations de « Bir kasd Ali » et « Ain Taghrout » situées à l'Est de la wilaya de Bordj Bou Arreridj (**Figure 3**). L'oued « Ain Taghrout » constitue une veine de l'oued Bousellam alimentant le barrage d'« Ain Zada ».

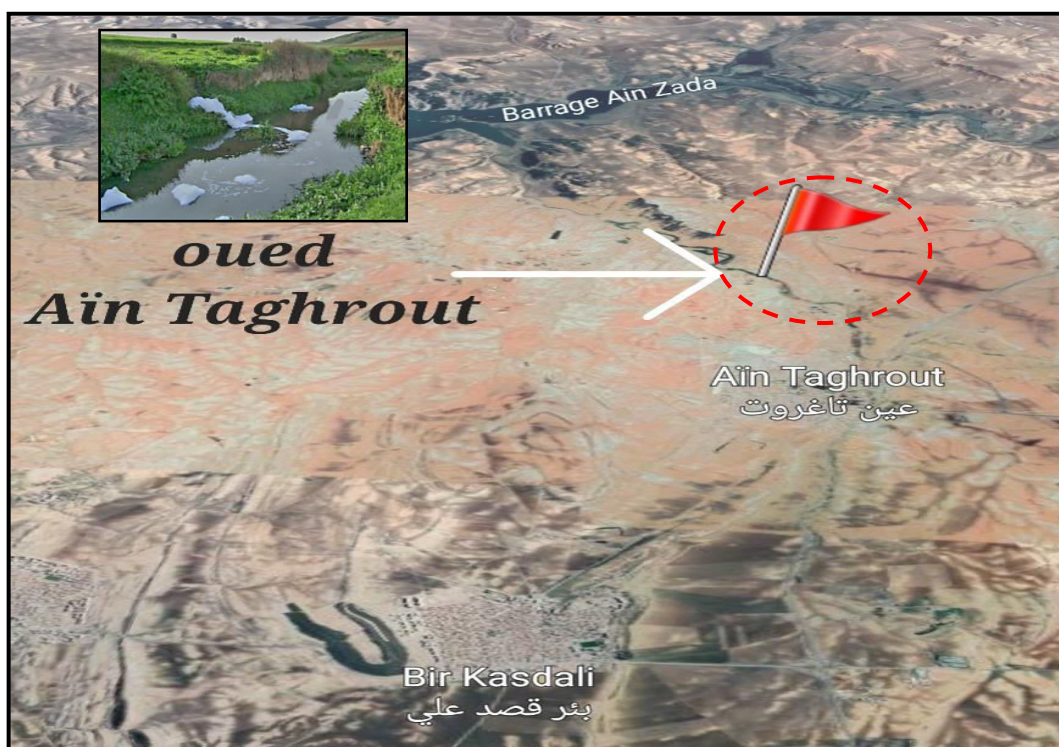


Figure 3 : Localisation géographique de l'oued « Ain Taghrout » (Google Earth, 2022).

2.2. Technique d'échantillonnage :

Les échantillons d'eau usée ont été collectés dans des flacons en verre stériles de 250 ml destinés pour les analyses bactériologiques et dans des bouteilles en plastique de 1.5 L pour les analyses physicochimiques. Les bouteilles ont été préalablement lavées, puis rincées avec de l'eau distillée pour éliminer toutes traces de détergent. Concernant le dispositif expérimental, des bidons d'une capacité de 5 L ont été utilisés, rincés plusieurs fois avec de l'eau à échantillonner, remplis jusqu'au bord, puis fermés hermétiquement et conservés dans

une glacière à 4°C. Les conditions de conservation sont rigoureusement respectées selon la méthode de **Rodier (2009)**.

3. Mise en place du dispositif expérimental :

L'expérience est réalisée en utilisant trois bacs rectangulaires de 40 cm de longueur, 30 cm de largeur et 30 cm de hauteur, remplis par une succession de trois couches : deux composées de gravier de diamètre décroissant et la troisième qui est la plus épaisse est constituée de sable (**Tableau I**).

Tableau I : Les différentes couches du substrat de chaque filtre.

Les couches	Substrat	Epaisseur de la couche (cm)	Photos de la couche du substrat
Première couche	Gravier grossier	6	
Deuxième couche	Gravier moyen	6	
Troisième couche	Sable	12	

Ces substrats sont préalablement tamisés et lavés pour les débarrasser de toutes les impuretés. Deux cuves sont plantées de roseaux à raison de 6 plantes/bac, la première est retenue pendant 7 jours et la deuxième est retenue pendant 14 jours. Cependant la troisième cuve est restée nue, elle est prise comme témoin pour contrôler l'efficacité des filtres plantés (**Figure 4**). L'alimentation du système (réalisée le 15 Avril 2022) se fait exclusivement par des eaux usées urbaines issues de l'Oued d'« Ain Taghrout ».



Figure 4 : Dispositif expérimental (Photo personnelle)

4. Analyse des paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux usées :

Le fonctionnement du pilote expérimental est contrôlé par la mesure des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Nous avons prélevé des échantillons d'eau usée à l'entrée et à la sortie des bacs plantés et du bac non planté. Les analyses physicochimiques ont été effectuées au niveau de la station d'épuration d'Ain Taghrout, wilaya de Bordj Bou Arreridj et les analyses bactériologiques au niveau de la direction de la santé et la population de la wilaya de Bordj Bou Arreridj. Les tableaux (II) et (III) regroupent les paramètres étudiés et les méthodes utilisées.

Tableau II : Méthodes d'analyses des indicateurs physico-chimiques.

Paramètre	Méthodes (Voir Annexe)	Références
pH Température Oxygène dissous Conductivité Turbidité	Sonde Multi-paramètres	340i Multi / SET

MES	Méthode de filtration (whatman : 47 mm de diamètre)	NA 6345-1992
L'ammonium	Méthode colorimétrique, $\lambda=655\text{mm}$	ISO 5664-1990
Nitrite	Méthode colorimétrique	ISO 6777,1994
Nitrate	Méthode spectrométrique au déméthyl-2,6-phénol	ISO 7890/1-1986
Phosphate	Méthode spectrométrique	ISO 6878/1-1998
DCO	Digestion par réacteur	NF, T90- 101
DBO ₅	Méthode manométrique	NF, T90-103

Tableau III : Méthodes d'analyses des indicateurs bactériologiques

Germes recherchés	Description de la méthode (Voir Annexe)	Références
Coliformes totaux	Milieu PCA (gélose standard avec glucose)/Incubation à 37°C.	Rodier, 2009
Streptocoques Fécaux	Milieu présomptif : Rothe (D/C) – Rothe (S/C)	Rejsek, 2002

- Calcul du rendement épurateur :

L'interprétation des résultats a été essentiellement basée sur le rendement épurateur des paramètres physico-chimiques et microbiologiques, calculés par la relation suivante (Petemanagnan et al., 2008):

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{(\text{XERU} - \text{Xf}) \times 100}{\text{XERU}}$$

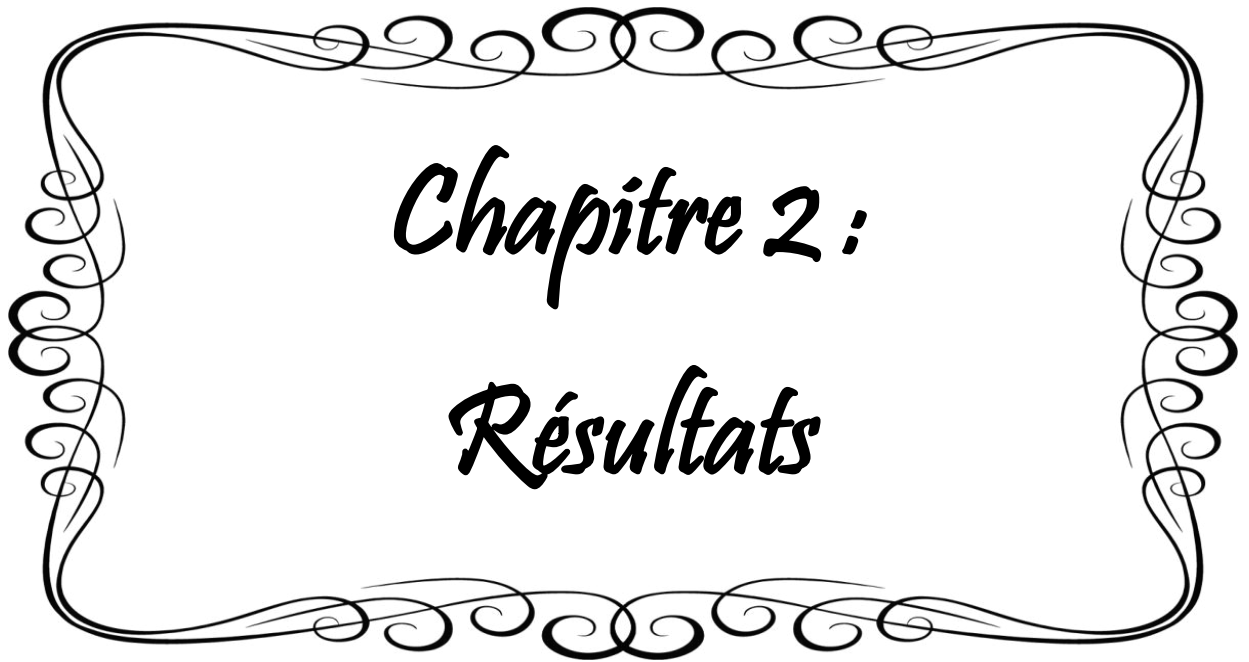
Tels que : **XERU** : Concentration du paramètre considéré dans l'eau résiduaire urbaine (eaux usées brutes) appliquée sur le lit filtrant (mg/l).

Xf : Concentration du paramètre considéré dans le filtrat (mg/l).

5. Etude statistique :

Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une analyse statistique grâce au logiciel Minitab (Version 14.0). Pour chaque paramètre mesuré, trois répétitions ont été réalisées (n=3). Une analyse de la variance à deux critères de classification (effet pouvoir épurateur, effet temps) a été effectuée en utilisant le test ANOVA.

Les différences sont considérées comme significatives lorsque $p \leq 0,05$; hautement significatives lorsque $p \leq 0,01$ et très hautement significatives lorsque $p \leq 0,001$.



Chapitre 2 :
Résultats

1. Variations des paramètres physico-chimiques de pollution :

Le **tableau (IV)** résume les résultats relatifs au pH, température, oxygène dissous et turbidité avant et après épuration (pour les filtres plantés et non planté).

1.1. Le pH :

D'après le **tableau (IV)**, le pH moyen des eaux usées brutes (EUB) à l'entrée du système d'épuration est de 7.54. A la sortie des filtres plantés, nous avons noté une légère diminution de ce paramètre où nous enregistrons des valeurs moyennes de l'ordre de 7.26 et 7.18 pour les temps de séjour de 7 et 14 jours, respectivement. Pour le système non planté, nous avons également observé une faible diminution du pH. Les résultats obtenus avant et après épuration sont conformes aux normes algériennes des rejets (6.5-8.5) (**J.O.R.A, 2003**).

1.2. La température :

Les résultats de la variation de la température des eaux usées, représentés dans le **tableau (IV)**, montrent que les valeurs de ce paramètre dans l'eau brute sont supérieures à celles des eaux traitées. Ainsi, la température moyenne passe d'une valeur de l'ordre de 18.66 °C dans l'eau brute à 17.06 et 16.46 °C dans les filtres plantés, après 7 et 14 jours d'épuration. Concernant le filtre non planté, les valeurs sont quasi-similaires à celles des eaux brutes où nous enregistrons une température d'environ 18 °C. Les valeurs de la température enregistrées avant et après épuration sont conformes aux normes algériennes des rejets (<30°C) (**J.O.R.A, 2003**).

1.3. L'oxygène dissous :

Les résultats concernant l'évolution du taux de l'oxygène dissous avant et après épuration, montrent des valeurs inférieures dans les eaux brutes (1.05 mg/l) par rapport à celles des eaux épurées des trois bacs (plantés et non planté). La meilleure oxygénation a été enregistrée au niveau du bac planté après 14 jours d'épuration (4.15 mg/l) (**Tableau IV**).

Le traitement des résultats par l'analyse de la variance à deux critères de classification révèle un effet pouvoir épurateur, un effet temps, et un effet interaction pouvoir épurateur / temps très hautement significatifs ($P = 0,000$), et ce pour les trois paramètres précédemment cités (température, pH et oxygène dissous).

Tableau IV: Variations du pH, de l'oxygène dissous et de la température des eaux durant notre expérimentation.

Paramètres	EUB	EUE sans roseaux		EUE avec roseaux	
		7 jours	14 jours	7 jours	14 jours
pH	7.54±0.01	7.47±0.015	7.31±0.10	7.26±0.015	7.18±0.01
T (°C)	18.66±0.057	18.23±0.15	17.70±0.20	17.06±0.20	16.46±0.25
O₂ (mg/l)	1.05±0.06	2.41±0.05	2.85±0.047	3.13±0.15	4.15±0.040

*T : température.

*O₂ : oxygène dissous.

1.5. La conductivité électrique :

Les variations de la conductivité électrique des eaux usées avant et après épuration sont regroupées dans le **tableau (V)**. Nous constatons que la conductivité électrique des eaux usées épurées par filtres plantés de roseaux est inférieure à celle des eaux usées épurées par filtre non planté et celle des eaux usées brutes, avec des taux d'abattement variant d'environ 39% à 59% respectivement pour des temps de séjour de 7 et 14 jours. Les valeurs de la conductivité électrique après épuration sont inférieures aux normes algériennes (2000 $\mu\text{s/cm}$) (J.O.R.A, 1993).

Le traitement des résultats par l'analyse de la variance à deux critères de classification révèle un effet pouvoir épurateur, un effet temps, et un effet interaction pouvoir épurateur / temps très hautement significatifs ($P = 0,000$).

Tableau V: Variations de la conductivité des eaux durant notre expérimentation.

Paramètre	EUB	EUE sans roseaux		EUE avec roseaux	
		7 jours	14 jours	7 jours	14 jours
Conductivité ($\mu\text{s/cm}$)	2452±0.57	1938±0.57	1309±0.5	1502±0.57	1002±0.00
Rendements (%)	/	20.96	46.61	38.74	59.13

1.6. Teneur en ammonium :

La variation des teneurs en ammonium des eaux usées durant notre expérimentation sont illustrées dans le **tableau (VI)**. Nous remarquons une réduction de la concentration d'ammonium dans les eaux récupérées des deux systèmes d'épuration (plantés et non planté) par rapport à celles des eaux usées brutes. En effet, la teneur en ammonium passe d'une moyenne de 1.46 mg/l dans les eaux usées brutes à environ 1 mg/l pour le filtre non planté, 0.78 mg/l pour le bac retenu pendant 7 jours et 0.67 mg/l pour le bac retenu pendant 14 jours.

Les taux d'abattement enregistrés varient entre 8.51 et 21.73 % pour le système d'épuration non planté, et entre 62.86 et 92.21 pour celui planté de roseaux, respectivement, après 7 jours et 14 jours d'épuration. Les résultats obtenus après épuration sont conformes aux normes algériennes des rejets (<0,8) (**J.O.R.A, 2011**).

Le traitement des résultats par l'analyse de la variance à deux critères de classification montre un effet pouvoir épurateur, un effet temps et un effet interaction pouvoir épurateur / temps très hautement significatifs ($P \leq 0,001$).

Tableau VI : Variations des teneurs en ammonium dans les eaux avant et après épuration.

Paramètre	EUB	EUE sans roseaux		EUE avec roseaux	
		7 jours	14 jours	7 jours	14 jours
NH₄⁺ (mg/l)	1.46±0.01	1.04±0.02	0.94±0.06	0.78±0.02	0.67±0.005
Rendements (%)	/	8.51	21.73	62.86	92.21

*NH₄⁺ : la formule chimique d'ammonium.

1.7. Teneur en nitrates :

Les teneurs en nitrates dans les eaux avant et après épuration sont représentées dans le **tableau (VII)**. Nous constatons un abaissement de la teneur en nitrates dans les deux systèmes d'épuration (planté et non planté). En effet, les taux d'abattement varient entre 36.93 et 45.45 % dans le bac non planté et entre 56.25 et 63.06 % dans les bacs plantés, et ceux pour les temps de séjour (7 et 14 jours). Les teneurs en nitrates après épuration sont conformes aux normes algériennes (<1 mg/l), à l'exception du système d'épuration non planté après 7 jours de rétention où nous enregistrons un léger dépassement de la norme (**J.O.R.A, 2011**).

Le traitement des résultats par l'analyse de la variance à deux critères de classification révèle un effet pouvoir épurateur et un effet temps très hautement significatifs ($P = 0,000$), et un effet interaction pouvoir épurateur / temps non significatif ($p \leq 0,05$).

Tableau VII : Variations des teneurs en nitrates dans les eaux durant notre expérimentation.

	EUB	EUE sans roseaux		EUE avec roseaux	
		7 jours	14 jours	7 jours	14 jours
NO₃⁻ (mg/l)	1.76±0.026	1.11±0.036	0.96±0.035	0.77±0.017	0.65±0.015
Rendements (%)	/	36.93	45.45	56.25	63.06

* NO₃⁻ : la formule chimique de nitrate

1.8. Teneur en nitrites :

Les teneurs en nitrites dans les eaux usées à l'entrée et à la sortie du système d'épuration sont résumées dans le **tableau (VII)**. Nous constatons une diminution considérable de ce paramètre plus précisément dans les systèmes d'épuration plantés de roseaux, où nous enregistrons un taux d'abattement atteignant 98.86 % après 14 jours de rétention. Les valeurs des nitrites après épuration sont conformes aux normes algériennes (qui doivent être inférieures à 1 mg/l) (**J.O.R.A, 2011**).

Le traitement des résultats par l'analyse de la variance à deux critères de classification montre un effet pouvoir épurateur, un effet temps et un effet interaction pouvoir épurateur / temps très hautement significatifs ($P \leq 0,001$).

Tableau VIII : Variations des teneurs en nitrites dans les eaux avant et après épuration.

Paramètre	EUB	EUE Sans roseaux		EUE Avec roseaux	
		7 jours	14 jours	7 jours	14 jours
NO₂ (mg/l)	5.66±0.12	4.59±0.14	2.1±0.05	0.075±0.005	0.064±0.005
Rendements (%)	/	18.90	62.89	98.67	98.86

*NO₂ : la formule chimique de nitrite

1.9. Les taux de phosphates :

Les résultats des taux de phosphates sont illustrés dans le **tableau (IV)**. Nous observons une réduction remarquable de la concentration en phosphates dans les systèmes d'épuration comparativement à la valeur notée dans les eaux usées brutes. Le meilleur taux d'abattement a été enregistré dans le bac planté de roseaux après 14 jours d'épuration où nous notons un rendement de l'ordre de 92.21 %. En ce qui concerne le bac non planté, nous enregistrons des teneurs en phosphates variant entre 5.05 et 4.32 mg/l, ce qui dépasse la valeur limite des rejets liquides déversés dans le milieu naturel, fixée à 2 mg/l. Les valeurs enregistrées pour les bacs plantés sont par contre conformes aux normes algériennes (**J.O.R.A, 1993**).

Le traitement des résultats par l'analyse de la variance à deux critères de classification montre un effet pouvoir épurateur, un effet temps et un effet interaction pouvoir épurateur / temps très hautement significatifs ($P \leq 0,001$).

Tableau IX : Variations des teneurs en phosphates dans les eaux avant et après épuration.

	EUB	EUE sans roseaux		EUE avec roseaux	
		7 jours	14 jours	7 jours	14 jours
PO₄³⁻ (mg/l)	5.52±0.003	5.05±0.04	4.32±0.02	2.05±0.005	0.43±0.01
Rendements (%)	/	8.51	21.73	62.86	92.21

* PO₄³⁻ : la formule chimique de phosphates

2. Abattements des indicateurs organiques de pollution :

2.1. Les matières en suspension :

Les teneurs des matières en suspension (MES) dans les eaux avant et après épuration sont représentées dans le **tableau (X)**. Nous observons un bon abattement de MES des eaux usées récupérées des filtres plantés par rapport aux eaux usées brutes. Ainsi, le taux d'abattement est de l'ordre de 35.88 et 92.22 % dans les filtres non plantés, et de 93.29 et 95.21% dans les bacs plantés, pour des temps de séjour de 7 et 14 jours, respectivement. Donc il existe une nette différence entre la teneur des matières en suspension dans l'eau brute qui est estimée à 311.56 mg/l et celles de l'eau épurée estimée à 14.9 après 14 jours d'épuration (bac planté). Toutes les valeurs enregistrées après épuration sont inférieures à la norme

algérienne des rejets (50 mg/l), sauf celle obtenue dans le bac non planté après 7 jours où nous notons un dépassement de la norme (199.76 mg/l) (J.O.R.A, 2003).

Tableau X : Variations des MES des eaux durant notre expérimentation.

	EUB	EUE sans roseaux		EUE avec roseaux	
		7 jours	14 jours	7 jours	14 jours
MES (mg/l)	311.56±0.80	199.76±0.62	24.23±0.25	20.89±0.33	14.9±0.2
Rendements (%)	/	35.88	92.22	93.29	95.21

* MES : matière en suspension

2.2. La matière organique :

Les variations de la matière organique sont représentées dans le **tableau (XI)**. Nous enregistrons des taux d'abattement de moins de 50 % pour tous les systèmes d'épuration (plantés et non planté), et ce pour les deux temps de séjour. En revanche, toutes les valeurs obtenues après épuration sont inférieures à la norme algérienne (30 mg/l) (J.O.R.A, 2003).

Tableau XI : Variations de MO des eaux durant notre expérimentation.

Paramètre	EUB	EUE sans roseaux		EUE avec roseaux	
		7 jours	14 jours	7 jours	14 jours
M.O (mg/l)	32.89±0.04	24.86±0.59	21.22±0.005	22.29±0.01	18.71±0.02
Rendements (%)	/	24.27	35.36	32.10	43

* M.O : matière organique

2.3. DBO₅ :

Le **tableau (XII)** met en évidence l'évolution de la DBO₅ dans les trois bacs d'épuration.

Nous constatons une régression très importante de la DBO₅ après le passage de l'eau à travers le système d'épuration planté de roseaux avec des rendements de 96.76 % et 99.32 % pour des temps de séjour de 7 et 14 jours, respectivement. Concernant le filtre non planté, nous avons également enregistré de bons rendements avec des taux de l'ordre de 91.79 %

après 7 jours et 95.05 % après 14 jours. Les résultats obtenus après épuration sont conformes aux normes algériennes (30 mg/l O₂) (J.O.R.A, 2006).

Tableau XII: Variations de la DBO₅ dans les eaux avant et après épuration.

Paramètre	EUB	EUE sans roseaux		EUE avec roseaux	
		7 jours	14 jours	7 jours	14 jours
DBO₅ (mg/l)	311.06±0.12	24.96±0.45	15.29±0.40	10.05±0.17	2.09±0.13
Rendements (%)	/	91.97	95.05	96.76	99.32

*DBO₅ : demande biochimique d’oxygène

2.4. DCO :

Les variations de la DCO des eaux usées avant et après épuration sont représentées dans le **tableau (XIII)**. Nous remarquons une diminution importante de la DCO à la sortie de filtres plantés par rapport à celle des eaux usées brutes. Ainsi, nous notons une rétention très élevée avec des taux d’abattement de l’ordre de 73,16 et 93,57 % après des temps de séjour de 7 et 14 jours, respectivement. Ces rendements sont légèrement supérieurs à ceux enregistrés par le filtre non planté qui sont de l’ordre de 34.50 et 54.27 %. Nous remarquons que les valeurs obtenues après épuration par filtre planté ne dépassent pas la norme algérienne (120 mg/l), contrairement, aux valeurs enregistrées par le filtre non planté qui sont supérieurs à cette norme, et ce pour les deux temps de séjour (7 et 14 jours) (J.O.R.A, 2006).

Le traitement des résultats par l’analyse de la variance à deux critères de classification révèle un effet pouvoir épurateur, un effet temps et un effet interaction pouvoir épurateur / temps très hautement significatifs (P = 0,000), et ce pour tous les indicateurs organiques de pollution étudiés (MES, MO, DBO₅, DCO).

Tableau XIII : Variations de la DCO dans les eaux avant et après épuration.

Paramètre	EUB	EUE sans roseaux		EUE avec roseaux	
		7 jours	14 jours	7 jours	14 jours
DCO (mg/l)	328.1±0.3	214.9±0.064	150.04±0.13	88.03±0.15	24.08±0.10
Rendements (%)	/	34.50	54.27	73.16	93.57

*DCO : demande chimique d’oxygène.

3. Impact du couple (filtre +plante) sur les paramètres bactériologiques :

3.1. Les coliformes totaux :

Le **tableau (XIV)** illustre les variations des coliformes totaux avant et après épuration. Nous constatons une diminution importante des coliformes totaux comparés avec la moyenne soulevée dans les eaux usées brutes. En effet, les taux d'abattement dans les bacs non plantés sont de l'ordre de 50 et 80.5%, et atteint 90 et 93.5% respectivement pour des temps de séjour de 7 et 14 jours.

Tableau XIV : Variations des coliformes fécaux dans les eaux avant et après épuration.

Paramètre	EUB	EUE sans roseaux		EUE avec roseaux	
		7 jours	14 jours	7 jours	14 jours
Coliformes totaux (germe/100ml)	20000	10000	3900	2200	1300
Rendements (%)	/	50	80.5	90	93.5

3.2. Streptocoques fécaux :

Les résultats des variations des streptocoques fécaux obtenus avant et après épuration sont représentés dans le **tableau (XV)**. Nous constatons une diminution très importante des streptocoques fécaux dans les deux systèmes d'épuration (plantés et non planté). Le taux d'abattement dans les bacs plantés de roseaux atteint 95.86% après 7 jours de rétention et 100 % après 14 jours de rétention. Ces rendements observés ne sont pas loin de ceux enregistrés par le filtre dépourvu de plantes qui sont de l'ordre de 97.14 % après 7 jours et de 97.57 % après 14 jours.

Tableau XV : Variations des streptocoques fécaux dans les eaux durant notre expérimentation.

Paramètre	EUB	EUE sans roseaux		EUE avec roseaux	
		7 jours	14 jours	7 jours	14 jours
Streptocoques fécaux (germe/100ml)	700	20	15	10	00
Rendements (%)	/	97.14	97.85	98.57	100



Chapitre 3 :
Discussion

La pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques est devenue une préoccupation majeure pour des pays comme l'Algérie, où un déficit en pluviométrie est constaté depuis plusieurs années, et où les autorités locales prévoient le recours au traitement des eaux (dessalement) pour alimenter la population en eaux potables. Pour faire face à ce problème, un intérêt particulier est récemment accordé à la dépollution des eaux usées par des procédés naturels, simples et moins coûteux, dans le but de leur réutilisation et leur recyclage.

C'est dans cette optique que nous nous sommes intéressés à la filtration des eaux usées urbaines de la région d'« Ain Taghrout », de la ville de Bordj Bou Arréridj, en utilisant une plante macrophyte très répandue et bien connue pour son pouvoir épurateur et accumulateur de polluants qu'est le roseau « *Phragmites australis* ».

Nous nous sommes focalisés dans un premier temps sur l'effet des systèmes d'épuration (plantés et non plantés) sur l'évolution des paramètres physico-chimiques des eaux usées.

Le suivi du pH peut apporter des renseignements sur le système d'épuration et sur la qualité des eaux. D'après **Frack (2002)**, le processus d'épuration aérobie, exige la présence de la biomasse bactérienne dans un pH proche de la neutralité pour effectuer efficacement son activité épuratrice. Dans notre étude, nous avons enregistré des valeurs du pH neutres dans les eaux du site contaminé. Ces valeurs sont d'ailleurs conformes aux normes algériennes (6.5-8.5). Après le passage des eaux usées dans les bacs d'épuration plantés, nous avons remarqué une légère diminution de ces valeurs, qui restent toujours neutres. Nous avons également observé que le pH du filtre sans plante est légèrement plus élevé que celui du filtre planté de roseaux. Ces résultats pourraient être expliqués par le fait que ces plantes sont des héliophytes capables de libérer des exsudats racinaires, qui sont surtout des acides tanniques et galliques lesquels peuvent entraîner une acidification du milieu (**Boutin, 2006**). Plusieurs facteurs peuvent également expliquer cette baisse du pH tel que la dégradation de la matière organique par les bactéries hétérotrophes (**Mancer, 2010**). Nos résultats concordent avec ceux de **Bensaid (2018)** qui a montré une diminution du pH en présence du roseau épurateur « *Typha latifolia* ».

La température agit comme un facteur physiologique sur le métabolisme et la croissance de la plupart des organismes vivant dans l'eau. Sa mesure est importante du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques. Toute variation de ce paramètre entraîne une perturbation de l'équilibre des écosystèmes aquatiques (**Swaine, 2006**). Nos résultats ont mis en évidence une diminution de la température dans les

trois bacs d'épuration. D'après **Rahmani (2015)**, les variations de ce paramètre sont en relation directe avec les concentrations des matières organiques et les conditions climatiques locales et plus particulièrement avec la température de l'air et les phénomènes d'évaporation d'eau. Des résultats similaires ont été enregistrés par **Derradji (2015)** et **Semadi (2010)** qui ont noté des diminutions dans des températures dans les eaux usées épurées par *Phragmites australis*.

L'oxygène dissous est essentiel à toute la vie aquatique et pour la décomposition des matières organiques produites par les plantes aquatique. Nos résultats mettent en évidence un appauvrissement en oxygène dissous des eaux usées avant épuration. Cette baisse serait due à un excès de la matière organique car l'autoépuration ne suffit plus pour l'éliminer, ce qui peut provoquer une asphyxie. Après le passage de l'eau à travers les deux filtres (planté et non planté), le taux d'oxygène dissous subit une augmentation surtout dans les bacs à roseaux. Cette augmentation pourrait être due à la forte activité métabolique de « *Phragmites australis* », puisque l'oxygène est fourni grâce au métabolisme propre de la plante, ainsi que par le biais du métabolisme respiratoire ; les plantes fournissent donc l'oxygène nécessaire aux réactions de dégradation aérobie de la matière organique. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par **Kurniadie et al. (2010)** et **(Rahmani, 2015)** qui ont étudié l'effet épurateur des roseaux.

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, elle traduit le degré de minéralisation globale. La conductivité constitue un facteur très important pour le contrôle de la qualité des eaux (**Shilton et al., 2005**). Les résultats de la présente étude montrent une diminution de la conductivité après le passage des eaux usées à travers les systèmes d'épuration (plantés et non planté). Selon **Tanner et al. (1995)**, *Phragmites australis* à une propriété à adsorber et accumuler les sels dissous ce qui explique la réduction de la conductivité de l'eau dans les systèmes d'épuration plantés. Par ailleurs, la diminution de conductivité dans la cuve non plantée pourrait être due à la sédimentation et la filtration des particules et des sels minéraux à travers le massif de sable et de gravier. Nos résultats vont dans le même sens que ceux de **Bedouh et Boumedris (2013)**, qui ont également mis en évidence une réduction de la conductivité après épuration des eaux usées industrielles de l'Oued « Meboudja » (Annaba) en utilisant la plante épuratrice (*Lemna minor*).

La présence des ions ammonium, nitrates et nitrites en quantités importantes dégrade la qualité de l'eau. D'après nos résultats, les ions ammonium et nitrates ont considérablement diminué au niveau des systèmes d'épuration plantés et non planté. En effet, les macrophytes

aquatiques sont dotés d'un espace d'air interne bien développé (aérenchyme) à travers les tissus de la plante qui assure le transfert de l'oxygène vers les racines et les rhizomes. L'oxygène qui diffuse à travers les racines stimule la croissance des bactéries nitrifiantes en particulier *Nitrosomonas* au niveau de la rhizosphère (**Brix, 1997**). Dans les conditions aérobies, ces bactéries assurent la nitrification ou la transformation de l'ammonium en nitrites puis en nitrates (**Mimeche, 2014**). La nitrification peut être partielle et produit seulement des nitrites qui sont utilisés par les bactéries *Anammox*. Ainsi, ce type de bactéries a été identifié dans des réactions biologiques anoxiques et dans les sédiments où elles sont responsables de l'oxydation de l'ammonium en azote élémentaire (N_2) (**Jetten et al., 2001 ; Thamdrup, 2003**). Sous des conditions anaérobies, les nitrates peuvent être éliminés par dénitrification microbienne en présence des bactéries (*Bacillus, Pseudomonas...*). Selon, **Kucik et al. (2003)** et **Garcia et al. (2005)**, les macrophytes absorbent principalement de l'azote inorganique sous forme de nitrates (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+) qui sont essentiels pour la croissance des tissus de la plante et peuvent être stockés dans les différents organes (racines, rhizomes, tiges et feuilles), ce qui pourrait expliquer l'abaissement de ses éléments, observé dans notre étude pour les filtres plantés.

Le phosphate est un constituant essentiel pour le développement des plantes, 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 bien la consommation par les plantes pour leur croissance (**Mancer, 2010**). Dans notre étude, nous avons observé une réduction des concentrations d'orthophosphates à la sortie de deux systèmes d'épuration. Cette diminution pourrait résulter d'une assimilation bactérienne et/ou végétale et par l'absorption de (PO_4^{-3}) dans le filtre planté (**Molle, 2003**).

Les matières en suspensions comprennent toutes les matières minérales ou organiques insolubles dans l'eau (**Aissari, 2001**). Les teneurs en matières en suspension et en matière organique ont nettement diminué dans notre travail. Ces résultats sont expliqués par le fait que le massif planté de roseaux permet une bonne élimination des MES et MO dégradées par l'activité bactérienne au niveau des racines (**Vymazal, 2005**). La présence des roseaux empêche ainsi le colmatage et améliore nettement la capacité de décantation. De plus, les racines des macrophytes jouent un rôle de barrière physique freinant le transport des matières en suspension vers la sortie du bassin et permet, par conséquent, la clarification des eaux troubles. Des résultats similaires ont été signalés par **Mimeche et al. (2010)** ayant analysé le pouvoir épurateur d'un filtre planté de *Phragmites australis* pour le traitement des eaux usées de la région de Biskra.

D'autre part, nos résultats ont montré une diminution de la DBO₅ et la DCO après le passage des eaux usées à travers les filtres plantés. Ces résultats sont confirmés par **Bensmira et al. (2013)** et **Garcia et al. (2005)**. Ceci est lié à plusieurs mécanismes physiques et biologiques. Ainsi, le lit à *Phragmites australis* est caractérisé par une meilleure oxygénation du substrat favorisant une prolifération des bactéries aérobies, et par conséquent, une meilleure minéralisation et dégradation de la matière organique des eaux usées. L'élimination de la matière organique dans les bassins à macrophytes est basée, donc, 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 (**Kleche, 2013**), c'est ce qui explique la diminution de ces paramètres. Des résultats similaires ont été enregistrés par **Tiglyene et al. (2005)** ayant utilisé *Phragmites australis* pour la filtration des eaux usées.

Dans un second temps, nous nous sommes intéressés à l'effet des systèmes d'épuration (plantés et non planté) sur les paramètres bactériologiques des eaux usées.

Les abattements obtenus des coliformes totaux dans notre système d'épuration sont remarquables. Ces abattements sont probablement dus aux variations du milieu qui élimine les germes pathogènes, et à l'élévation de la température et la concentration en oxygène. Nos résultats concordent avec ceux rapportés par **Cristina et al. (2015)** qui ont trouvé une réduction importante des coliformes totaux dans les filtres plantés. Différents travaux ont également montré que les conditions anaérobies prolongent la survie des coliformes dans les zones humides artificielles, en revanche, les conditions aérobies telles que celles qui prédominent dans les filtres plantés sont favorables pour les conduire à une efficacité d'élimination plus élevée (**Mimeche et al., 2010**).

Concernant la contamination fécale, nous avons également obtenu un abattement remarquable dans notre système d'épuration pour les streptocoques fécaux, où nous avons enregistré une élimination totale des bactéries après 14 jours de rétention. D'après **Thurston et al. (2001)**, l'élimination des bactéries dans un système extensif de lagunage ou à lit de gravier est réalisée par différents processus : l'inactivation par le rayonnement lumineux, l'exposition aux toxines des plantes, la compétition entre micro-organismes pour la nourriture, la filtration et la sédimentation. Nos résultats sont en accord avec les travaux de **Laahbassi (2010)** et **Bensaid (2010)** qui ont mis ont évidence une élimination importante de la contamination fécale après phyto-épuration des eaux usées.

A decorative rectangular frame with intricate, symmetrical scrollwork and flourishes. The frame is composed of two parallel lines of black ink, with the space between them filled with delicate, swirling patterns. The word "Conclusion" is centered within the frame in a bold, black, cursive script font.

Conclusion

Le traitement des eaux usées est devenu, de nos jours, une priorité, aussi bien pour préserver la santé humaine et l'environnement, que pour produire une eau qui pourrait être utilisée en agriculture, en industrie et en d'autres activités sociales. De nombreux procédés d'épuration ont été mis au point, parmi lesquels le lagunage à macrophytes se distingue par sa simplicité, sa fiabilité et son faible coût d'investissement et d'opération. Un système de traitement des eaux usées utilisant les plantes aquatiques peut être aisément implanté, il serait ainsi intéressant d'adapter la culture d'une plante aquatique dans un substrat pour filtrer la charge polluante d'une eau usée. L'objectif de ce travail est donc d'évaluer le pouvoir des roseaux « *Phragmites australis* » à décontaminer les eaux usées domestiques provenant de la région d'« Ain Taghrout », Bordj Bou Arreridj.

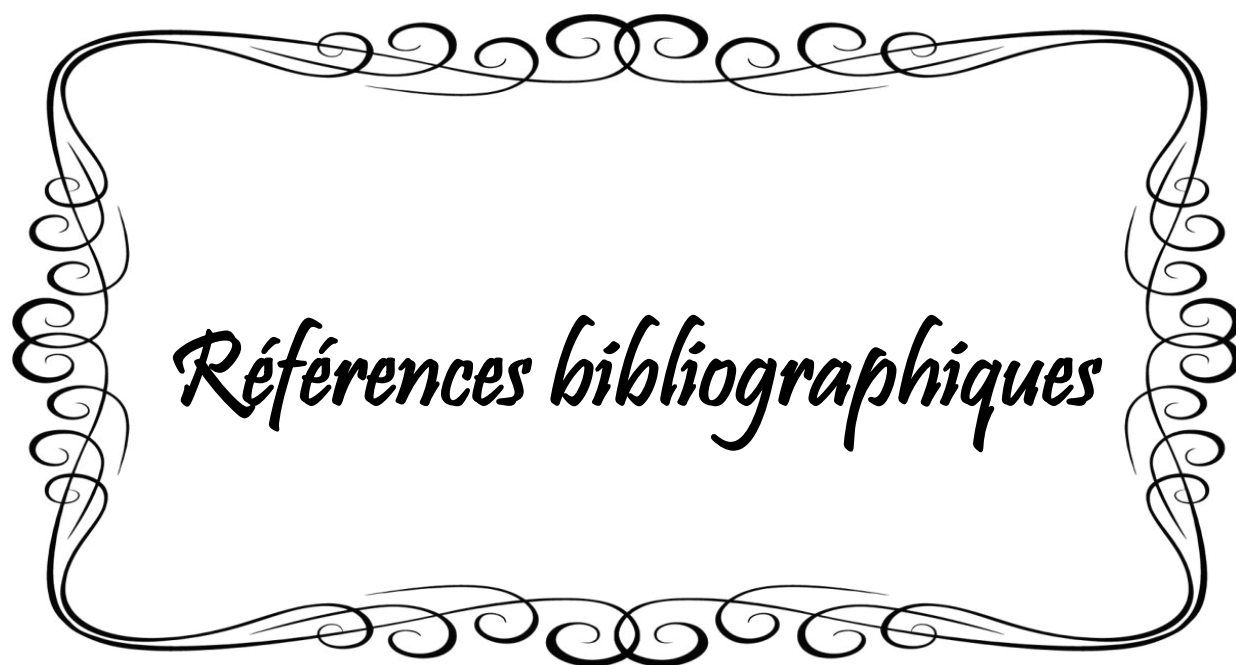
D'une part, le suivi des indicateurs physicochimiques et bactériologiques de cette eau, nous a permis de dégager un ensemble de renseignements sur sa qualité. Les différents paramètres mesurés (pH, T, CE, NH_4^+ , DCO, DBO_5 , MES, coliformes totaux, streptocoques fécaux.....) dans l'eau brute indiquent clairement une pollution importante. Nos résultats ont ainsi mis en évidence des valeurs dépassant largement les normes algériennes des rejets pour pratiquement tous les paramètres étudiés.

D'autre part, nous avons mis en évidence les capacités épuratrices chez *Phragmites australis* considérée comme un excellent modèle phyto-épuration. Nos résultats ont révélé un fort pouvoir épuration de cette plante avec une diminution de la plupart des paramètres physicochimiques et bactériologiques étudiés. En effet, les matières en suspension sont enlevées avec une efficacité de 95,21%, quant aux ortho-phosphates la capacité d'enlèvement atteint jusqu'à 92,21%. Les nitrates, les nitrites et les ions ammoniums ont diminué pour atteindre, respectivement, des taux d'abattements de l'ordre de 92,21%, 63,06% et 98.86 %. Concernant la DBO_5 et la DCO, nous avons obtenu des taux d'abattement de 99,32% et 93,57%, respectivement. En ce qui concerne les paramètres microbiologiques, les résultats ont révélé que les roseaux peuvent assurer une élimination importante voire totale de la charge bactérienne.

En conclusion, il ressort que le système d'épuration par *Phragmites australis* constitue une alternative efficace pour l'assainissement des eaux usées et l'exploitation raisonnable des ressources en eau non conventionnelles. Il permet l'obtention d'une eau de bonne qualité pour l'irrigation, ce qui pourrait résoudre un des problèmes de la pénurie d'eau dans notre pays.

En perspectives, il serait intéressant de :

- Évaluer le taux d'abattement de la pollution durant les quatre saisons de l'année.
- Tester la performance d'autres macrophytes, à épurer les eaux usées pour comparer leur pouvoir épurateur.
- Evaluer le stress oxydatif induit par les eaux usées sur les roseaux, en procédant au dosage des biomarqueurs de stress tels que : GSH, GST, CAT, SOD, GPX, APX
- Réaliser des coupes histologiques au niveau des racines afin de localiser les sites d'accumulation des polluants.

A decorative rectangular frame with a scalloped border, featuring intricate scrollwork and flourishes. The frame is centered on the page and contains the text "Références bibliographiques" in a cursive font.

Références bibliographiques

- Aassari A, 2001.** Impact des eaux usées déversées par Oued Sebou sur le littoral de l'océan Atlantique. Évaluation de la contamination par les métaux toxiques. Mémoire de DESA, INRH/université Mohammed v, faculté des sciences, Rabet.
- Bedouh Y., Boumedris ZD., 2013.** Contribution à l'épuration des eaux usées industrielles par un procédé biologique (*Lemna minor*), cas de l'oued Meboudja. Laboratoire de toxicologie cellulaire, département de biologie faculté des sciences, Université Badji Mokhtar BP12 Annaba.
- Bensaid M, 2018.** Réponse d'une macrophyte épuratrice des eaux usées : typha latifolia soumise à un stress métallique. Thèse de Doctorat, université d'Annaba, Algérie. 139p.
- Bensamina-Mimech LH., Mance M., Derabeche, 2010.** Analyse du pouvoir épuratrice d'un filtre implanté de phragmite australis pour le traitement des eaux usées sous climat semi-Aride régions de Biskra. Journal international environnemental conflict management, sonta catarina, Brazil, 1(1), 10-15.
- Bensmina-Mimech L., Debabech M., Seghairi N., Benameur N, 2013.** Capacité des filtres plantés de macrophyte pour l'épuration des eaux usées dans le climat semi- aride. Counier du savoir 17, 33-37.
- Bougherira. N and Aoun-Sbaiti, B, 2012.** Impact des rejets urbains et industriels sur l'eau superficielle et souterraine dans la plaine d'Annaba (Algérie).
- Boutin C, 2006.** Usage de filtre plante de Roseau dans le traitement des eaux usées du petit collectivité, Ministère de l'Agriculture , Paris, France, 2p.
- Cristina SC., Calheiros, vâniaS., Bessa, Raquel BR., Mesquita, Hansbrix, Antonio OSS., Paulan L., Castro, 2015.** Constructed wetland with a polyculture of orbamental plants for wastewater treatment at a rural tourisme facility. Ecological Engineering. 79, 1-70.
- Derradji M, 2015.** Contribution à l'étude de la tolérance des plantes épuratrices dans l'épuration des eaux usées : stratégie et application. Thèse de Doctorat. Université d'Annaba, 140p.
- Faucteux A, 2002.** Des Roseau contre les eaux usées. Revie de la science au Québec. Nouvelle édition, 220p.

Frack R, 2002. Analyse des eaux : aspect réglementaire et technique. Édition CRDP Aquitaine décembre.

Jetten M., Wagner M., Fuerst J., Van loosdrecht M., Kuenen G., Strous M, 2001. Microbiology and application of the anaérobic ammonium oxydation (annomox).

Journal Officiel De République Algérienne J.O.R.A, 1993. Normes de rejet dans le milieu récepteur. Art .n° 46(10 Juillet), pp. 7-12.

Journal Officiel De République Algérienne J.O.R.A, 2003. Normes de rejet des effluents industrielles. Art .n° 18(19 Juillet).

Journal Officiel De République Algérienne J.O.R.A, 2006. Les valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur. Art .n° 26(23 Avril).

Journal Officiel De République Algérienne J.O.R.A, 2011. relatif aux services du contrôle financière. Art .n° 11-381(21 Novembre).

Galgani F., Senia J., Guillou JL., Laugier T., Munaron D., Andral B., Guillaume B., Coulet E., Boissery P., Brun L., Bertrand MC, 2009. Assessment of the environmental quality of fresh continental Mediterranean lagoons with oyster embryo bioassay.

Garcia P., Aguiné J., Bariagan R., Mujeriego V., Matomoros JM., Bayona, 2005. Effect of key design parameters on the efficiency of horizontal subsurface flow constructed wetlands. Ecol. Eng25, 405-418.

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, 95p.

Kucuk OS., Sengul F., Kapidan IK, 2003. Renovol of ammonium from tannery effluents in a reed bed constructed wetland. Water Sci. Technol48, 179-186.

Kurniadie D, 2011. Waste weter treatment using vertical subsurface flow constructed wetlands in Indonesia. American Journal of Environnemental science 7(1), 15-19.

Laabassi A, 2016. L'épuration des eaux usées par le système de lagunage à macrophytes. Thèse de Doctorat. Université de Ferhet Abbas, Sétif 1, pp: 52-57.

Mancer H, 2010. Analyse du pouvoir épurateur de quelques plantes macrophytes dans les régions arides. Mémoire de magistère, université de Biskra, 99p.

Medjdoub, 2014. Étude, Conception et dimensionnement d'une STEP par filtre planté de Roseau des eaux usées des zones éparses de la commune de terney. Mémoire de Master, université de Tilemcen, 108p.

Mimeche BL., Mancer H., Debabeche M, 2010. Analyse du pouvoir épuratoire d'un filtre implante de *Phragmite australis* pour le traitement des eaux usées sous climat semi-aride région de Biskra. International Net Work Environnemental Management conflicts 1(1), 10-15.

Mimeche L, 2014. Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride Application à la région de Biskra. Thèse de Doctorat, université de Biskra, 159p.

Molle P., 2003. Filtres plantés de roseaux : limites hydrauliques et rétention du phosphore. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, p. 280.

Munaron D., Hubert M., Gonzalez JL., Tapie N., Budzinski H., Guryomarch J., Andral B, 2013. PEPS LAG : projet échantillonneurs passifs pour la surveillance de la contamination chimique des lagunes méditerranéennes. Rapport Ifrener RST/LER/LR 13-01, 79P.

Quezal P., Santal, 1962-1963. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionale. Édition CNRS, tome2, Paris, 170p.

Rahmani A., 2015. Epuration des eaux usées de la région de n'goussa (Ouargla) par des végétaux performances épuratoires, mémoire de master, p. 55.

Rejsek F, 2009. Analyse des eaux aspect réglementaire et technique. Édition secrèrem, 110p.

Rodier J, 2009. L'analyse de l'eau. 9ème édition. Dunod, Paris, 1526p.

Saggai M, 2004. Contribution à l'étude d'un système d'épuration à plantes macrophytes pour les eaux usées de La Ville de Ouargla. Mémoire de magister, Université de Ouargla, 86p.

Semadi F, 2010. Faisabilité du traitement des eaux d'un Oued changé en élément traces métalliques (ETM) par filtres plantes de macrophyte (*Phragmite australis*) : cas de la région d'Annaba. Thèse de Doctorat, université de d'Annaba. 174p.

Shildon A., Walskey N., Pearson H., Person C ., curtis T., Craggs R., Davies- colley R., Mara D, 2005. Pond treatment technology, IWA Publishing, London, Seattle, 479p.

Swaine MD., Adomako J., Ameka G., Johnston Kh., Cheek M, 2006. Forest rivers plants and water quality in Ghana. *Aquatic Botany*85, 299-308.

Tanner CH., Clayton JS., Upsdelle MP, 1995. Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm waste waters in constructed wetlands, removal of oxygen demand, suspended solids and faecal coliforms. *Water resource*29, 17-26.

Thardrup B. Et Dalsgaard T, 2003. Production of N₂ through anaerobic ammonium oxidation coupled to nitrate reduction in marine sediment. *Applied and Environmental Microbiology* 68(3), 1312-1318.

Thurston JA., Gerba CP., Foster KE., Karpiscak MM, 2010. Fate of indicator microorganisms, Giardia and Cryptosporidium in subsurface flow constructed wetlands. *Water Research*35, 1547-1551.

Tiglyene S., Mandi L., Jaouad AE, 2005. Enlèvement du Chrome par infiltration verticale sur lit de *Phragmites australis*. *Rev.sci. Eau* 18(2), 177-198.

Tlidjen S, 2014. Impact de xénobiotique, sur une végétation aquatique épuratrice des eaux usées : biométrie, aspect biochimique, enzymatique, métabolisme énergétique et cytotoxicité. Thèse de Doctorat, université d'Annaba.

Vynazal J, 2005. Horizontal subsurface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecol. Eng*25, 478-490.



Annexes

Les analyses physico-chimiques

1. La température :

La détermination de la température est faite au laboratoire à l'aide d'un thermomètre incorporé à pH-mètre étalonné avant chaque manipulation. On lit directement la température exprimée en degré Celsius (C°).

2. Le pH :

Principe:

La mesure du pH est effectuée par un pH mètre de type 340i électronique relié à une électrode en verre. L'électrode est introduite dans l'eau à analyser et la lecture se fait directement sur l'enregistreur électronique quand l'affichage est stabilisé.

L'électrode a été d'abord étalonnée dans une solution tampon de pH égale à 7 et à 4 puis introduit dans l'eau à analyser.

Mode opératoire :

Etalonnage de l'appareil.

Introduire un volume de l'échantillon l'eau à analyser dans bécher.

La lecture est faite après stabilisation de la valeur affichée du pH

3. La conductivité électrique (CE) :

Principe:

La conductivité électrique a été déterminée à l'aide d'un conductimètre électrique qui permet de mesurer également les solides totaux dissous.

Mode opératoire :

Etalonnage de l'appareil.

Introduire un volume de l'échantillon l'eau à analyser (eau brute et eau épurée) dans bécher.

Les résultats sont exprimés en uS/cm. A partir de cet appareil on peut mesurer la salinité

4. Matière en suspension (MES) :

Principe:

La matière en suspension a été déterminée d'un spectrophotomètre. Elle a été exprimé en mg/l.

Mode opératoire :

-Etalonnage de l'appareil

-Programme:630 régler à810nm.

-Introduire dans une cuvette de 10 ml le blanc qui est l'eau distillée ce qui est permet la lecture.

Dans une autre cuvette, introduire l'eau de sortie (épurée) et faite la lecture sur l'appareil, même l'opération pour l'eau d'entrée (brute).

5. Oxygène dissous(O₂) :

Principe:

C'est la détermination d'oxygène dissous à l'aide d'un oxymètre.

Mode opératoire :

-Allumer l'oxymètre

-Rincer l'électrode avec l'eau distillée

-Prendre un bécher et verser l'échantillon

-Entrer l'électrode dans l'échantillon et lire le résultat sur l'afficheur de l'oxymètre

6. La demande biochimique en oxygène(DBO):

Principe :

La détermination de la DBO consiste à mesurer la concentration d'oxygène par voie biologique à une température constante égale à 20 C° Par convention, la DBO; est la valeur obtenue après cinq jours d'incubation à l'aide d'un appareil DBO.

Mode opératoire :

Gamme:700 pour l'eau brute,350 pour l'eau épurée

Introduire dans deux bouteilles de l'appareil DBO d'eau brute (95ml) et d'eau épurée (160ml).

Poser un agitateur puis ajouter une base quel que soit le NaOH ou KOH mais dans le

laboratoire on utilise Hydroxyde de Lithium qui absorbe le CO₂ dégagé lors de l'oxydation. Fermer les bouteilles et les mettre dans l'appareil de DBO pendant 5 jours.

7. Demande chimique en oxygène (DCO):

Principe:

Oxydation à chaud (150 C°), pendant 2h en milieu acide, en présence d'un excès d'oxydant. On évalue la quantité d'oxygène (en mg /l), utilisée par les réactions d'oxydation en déterminant la quantité d'oxydant résiduelle.

Mode opératoire :

Gamme : (0-1500ppm) pour l'eau brute, (0-150ppm) pour l'eau épurée.

-Programme : L'eau brute : 435 et l'eau épurée 430.

-Prélever 2 ml d'eau à analyser (l'eau brute et épurée) à l'aide d'une pipette jaugée 2ml et le rajouter au tube de réactifs à DCO.

-Placer le tube bouché dans le réacteur DCO et chauffer deux heures à 150 °C.

Lire la DCO après refroidissement directement avec un Spectrophotomètre .

-Programme de spectrophotomètre:

-Appuyer sur programme HACH DR/2010: Sélectionner le programme qui correspond à chaque élément mesuré

- Transférer 10 ml d'eau distillée dans une cuve (blanc).

-Transférer 10 ml de l'échantillon dans une autre cuve (l'échantillon préparé).

-Transférer le contenu d'une pochette de réactif dans la cuve de l'échantillon préparé.

-Appuyer sur l'icône représentant la minuterie, en suite OK, une période de réaction va commencer.

-Lorsque la minuterie ralentie, essuyer l'extérieur du blanc et introduire dans le compartiment de cuve.

-Appuyer sur zéro, l'indication suivant apparaît sur l'écran 0,00 mg/L.

-Essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et introduire dans le compartiment de cuve.

-Lire le résultat directement sur l'écran en mg/L.

Remarque : La préparation du blanc et de l'échantillon varie d'un dosage à un autre.

8. Dosage de phosphore total :

Principe

C'est la mesure de quantité de phosphore total (PO₄) présente dans l'eau brute et épurée (0.00à3.50mg/l) par méthode phosVer3 avec digestion au persulfate.

Mode opératoire :

Programme:535 régler à 890nm.

Blanc : 2ml d'eau désionisée dans le tube de phosphore total+ 2ml d'acide sulfurique (IN) + une pochette de réactif persulfate potassium et agiter.

Echantillon : 2ml d'eau brute et épurée dans le tube de phosphore total +2ml d'acide sulfurique+2 pochettes de réactif persulfate potassium et agiter.

Placer les 3 tubes dans l'étuve à 105°C pendant 30min.

Après le réchauffement, laissés refroidir et ajouter 2ml d'hydroxyde de sodium, puis ajouter 3pochettes de réactifPhos Ver3.Appuyer sur Shift5 et les laissés 2min.

Faire la lecture à l'aide de spectrophotomètre.

9. Dosage de nitrite :

Principe:

C'est la mesure de quantité de nitrite (NO₂) présente dans l'eau brute et épurée.

Mode opératoire :

Programme : 371 régler à 507nm.

Blanc: 10ml d'échantillon.

Echantillon: 10ml d'eau brute et épurée +2 pochettes de réactif Nitri Ver3.

-Agiter et appuyer sur Shift5 pendant 20min.

-Faire la lecture sur spectrophotomètre.

Remarque: La présence de nitrite indique la coloration rose.

10. Dosage de nitrate :

Principe :

C'est la mesure de quantité de nitrate (NO₃) présente dans l'eau brute et épurée (0.00à4.5mg/l) par filtration.

Mode opératoire :

Programme : 353 régler à 400nm.

Blanc : 25ml l'eau dé ionisée.

Echantillon : 25ml d'eau brute et épurée +2 pochettes de réactif NitraVer5.

Agiter et appuyer sur Shift5 et laisse 10min puis une autre Shift5 et laisse 5min.

Faire la lecture sur spectrophotomètre.

11.Dosage d'ammonium :

Principe:

C'est la mesure d'ammonium (NH₃) présente dans l'eau brute et épurée (0.00à0.80mg/l) par filtration.

Mode opératoire :

- Programme : 385 régler à 655nm.
- Blanc: l'eau désionisée 10ml+une pochette de réactif de Salicylate+ une pochette de cyanurate.
- Echantillon: 10ml d'eau brute et épurée +une pochette de Salicylate appuyé sur Shifts pendant 3min +une pochette de cyanurate, appuyé sur Shift5 pendant 15min.
- Faire la lecture sur spectrophotomètre.
- En présence d'ammoniac, une coloration verte apparaisse .

Les analyses microbiologiques

Recherche et dénombrement des coliformes :

A. Test de présomption :

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :

- 3 fois dans un 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C (double concentration).
- 3 fois 1 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C (simple concentration).
- 3 fois 0.1 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C (simple concentration).

Bien mélanger le milieu.

L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Les résultats Seront considérés comme positif + ; quand les tubes présentant à la fois :

- Un trouble microbien.
- Un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).

La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady NPP

B. Test de confirmation :

Le test de confirmation est basé sur la recherche de coliformes fécaux parmi lesquels on appréhende surtout la présence d'Escherichia coli.

Les tubes de BCPL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes totaux feront l'objet d'un repiquage dans un tube contenant le milieu Schubert muni d'une cloche de Durham.

L'incubation se fait à 44 °C pendant 24 h.

Lecture :

Seront considérés comme positif ; les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement gazeux.
- Un anneau rouge ou rose en surface, témoin de la production d'Indole par Escherichia coli après addition de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs.

La lecture finale se fait selon les déterminations de la table de Mac Grady NPP. En tenant

compte du fait qu'Escherichia coli est à la fois producteur de gaz et d'indole 44°C

Recherche et dénombrement des streptocoques :

Sur milieux liquide (méthode NPP).

A. Test de présomption :

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :

- 50 ml dans Un flacon contenant 50 ml de milieu Rothe D/C (double concentration).
- 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe S/C (simple concentration).
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe S/C (simple concentration).

Bien mélanger le milieu et l'inoculum.

L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Lecture :

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu pendant cette période est présumé contenir un streptocoque fécal

La lecture finale se fait selon les déterminations de la table de Mac Grady NPP.

B. Test de confirmation :

Le test de confirmation est basé sur l'affirmation des Streptocoque fécaux éventuellement présents dans le test de présomption. Les tubes de Rothe positifs, après l'agitation, prélevée de chacun d'eux quelques gouttes à l'aide d'une pipette Pasteur, font l'objet d'un repiquage dans un tube contenant le milieu Eva Litsky.

Bien mélanger le milieu et l'inoculum.

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures.

Lecture :

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :

- Un trouble microbien.
- Une pastille violette (blanchâtre) au fond des tubes.