



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Larbi Tébessi-Tébessa



كلية العلوم الدقيقة والعلوم الطبيعية والحياتية
FACULTE DES SCIENCES EXACTES
ET DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie

Département de biologie Appliquée

MEMOIRE DE MASTER

Domaine: Sciences de la nature et de la vie

Filière: Sciences biologiques

Spécialité: toxicologie

Thème

Les Impact des eaux usées sur la capacité d'accumulation des métaux chez (*lemna minor*) (Cas d'Oued Meboudja)

Présenté par:

BENARFA Imane

HALAIMIA Assia

Devant le jury

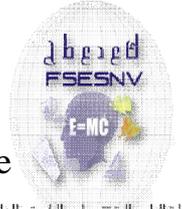
Me. BENAMARA .A	M.A.A U.L.T. Tébessa	Président
Me. BOUADILA S	M.A.A U.L.T. Tébessa	Rapporteur
Mr. BENLAKHEL .A	M.A.A U.L.T. Tébessa	Examineur

Date de soutenance: 30/05/2018

Année universitaire : 2017/2018



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Larbi Tébessi-Tébessa



كلية العلوم المعاصرة والعلوم الطبيعية والحياتية
FACULTE DES SCIENCES EXACTES
ET DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie

Département de biologie Appliquée

MEMOIRE DE MASTER

Domaine: Sciences de la nature et de la vie

Filière: Sciences biologiques

Spécialité: toxicologie

Thème

Les impacts des eaux usées sur les paramètres biochimiques et enzymatiques (*lemna minor*) (Cas d'Oued Mellegue)

Présenté par:

BENARFA IMANE

HALAIMIA ASSIA

Devant le jury

Me. BENAMARA .A	M.A.A U.L.T. Tébessa	Président
Me. BOUADILA S	M.A.A U.L.T. Tébessa	Rapporteur
Mr. BENLAKHEL .A	M.A.A U.L.T. Tébessa	Examineur

Date de soutenance: 30/05/2018

Année universitaire : 2017/2018



Université Larbi Tébessi - Tébessa



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Larbi Tébessi - Tébessa
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Déclaration sur l'honneur de non-plagiat
(à joindre obligatoirement au mémoire, remplie et signée)

Je soussigné(e),

Nom, Prénom : Halima Assia

Régulièrement inscrit(e) en Master au département : de Biologie appliquée

N° de carte d'étudiant : 34014019312013

Année universitaire : 2017/2018

Domaine : Science de la nature et la vie

Filière : Science Biologique

Spécialité : toxicologie

Intitulé du mémoire : Les Impacts des eaux usées sur la capacité d'accumulation des métaux chez Lemna minor (Cas d'Oued Mebourdja)

Atteste que mon mémoire est un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie également que je n'ai ni copié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Sanctions en cas de plagiat prouvé :

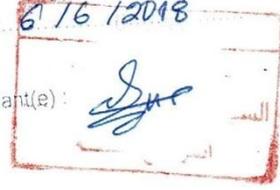
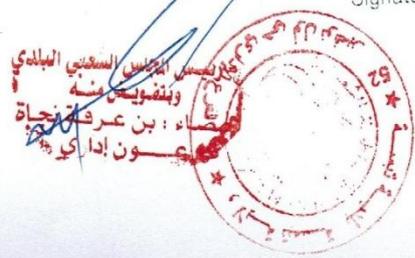
L'étudiant sera convoqué devant le conseil de discipline, les sanctions prévues selon la gravité du plagiat sont :

- L'annulation du mémoire avec possibilité de le refaire sur un sujet différent ;
- L'exclusion d'une année du master ;
- L'exclusion définitive

Fait à Tébessa, le : 06/16/2018

Signature de l'étudiant(e) : 

06 جوان 2018





REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Larbi Tébessi - Tébessa
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Déclaration sur l'honneur de non-plagiat
(à joindre obligatoirement au mémoire, remplie et signée)

Sousigné(e),
Nom, Prénom : Benarfa Imane
Régulièrement inscrit(e) en Master au département : de Biologie appliqué
de carte d'étudiant : 34014212/2013
Année universitaire : 2017/2018
Domaine : Science de la nature et de la vie
Filière : Science Biologique
Spécialité :

Titre du mémoire : Les Impacts des eaux usées sur la capacité
d'accumulation des métaux chez Lemna minor
(Cas d'Oued Mebaoudja)

Atteste que mon mémoire est un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie également que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Sanctions en cas de plagiat prouvé :

L'étudiant sera convoqué devant le conseil de discipline, les sanctions prévues selon la gravité du plagiat sont :

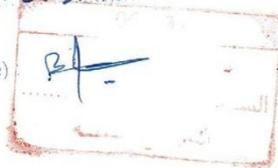
- L'annulation du mémoire avec possibilité de le refaire sur un sujet différent ;
- L'exclusion d'une année du master ;
- L'exclusion définitive

Fait à Tébessa, le : 6/6/2018

2018 جوان 06
وئيس المجلس البلدي
وتنسيقها
امضاء : بن عرفة نجاة
معاون اداري



Signature de l'étudiant(e)



Résumé

Le présent travail vise à évaluer l'efficacité de *lemna minor* (lentille d'eau) dans l'épuration des eaux usées d'origine industrielle (la phytoépuration) et de vérifier la possibilité d'utiliser cette plante dans un système d'épuration à base de macrophyte .

Pour cela nous avons simulé un système épurateur, type marais filtrant dans le laboratoire de la toxicologie, qui est constitué de 3bacs, ces derniers sont irrigués respectivement par les eaux des 3 sites étudiés ; S1 (El Gantra),S2 (El Hajar), S3(Pont Bouchet),ou nous avons planté *Lemna minor* pendant 21jours

Nous avons réalisé des dosages de métaux (Fe, Zn, Ni, Mn) dans l'eau avant et après épuration, et cher la plante avant et après 14 et 21 jours de séjours

Aussi que des analyses physicochimiques des eaux usées avant et après plantation ont été réalisées.

L'eau d'Oued Maboudja signalent une forte teneur en métaux selon leur localisation situé à proximité du complexe sidérurgique, après utilisation de notre modèle végétal (*Lemna minor*) nous notons une diminution très hautement significatif de la quantité des métaux (Fe, Zn, Ni, Mn) dans l'eau par contre une augmentation chez la plante très hautement significatif le rôle important de lentille d'eau (*Lemna minor*) dans l'épuration des eaux usées d'Oued Maboudja..

Une analyse physicochimique des eaux usées a été également réalisée, avant et après l'épuration concernant les paramètres suivants: T, pH, O₂ dissous, Taux d' O₂, Mes, DBO₅, NH₄ et nitrites. Les analyses physicochimiques ont montré une amélioration apparente des différents paramètres globaux de pollution (pH, O₂ dissous, Taux O₂, Mes, DBO₅, NH₄ et nitrites) ainsi qu'une élimination presque totale de NH₄ et nitrites. Le traitement des eaux usées par le procédé biologique peut être une solution à la fois peu onéreuse et efficace.

Mots clés : Eau usée industrielle, oued Meboudja, *Lemna minor*, La phytoépuration, les métaux, paramètres physicochimiques.

The present work aims to evaluate the effectiveness of *lemna minor* (water lens) in the purification of industrial wastewater (phytopurification) and to verify the possibility of using this plant in a purification system. macrophyte base.

For this we have simulated a scrubber system, type marsh filtering in the laboratory of toxicology, which consists of 3bacs, the latter are imgnée respectively by the waters of the 3 sites studied; S1 (El Gantra), S2 (El Hajar), S3 (Pont Bouchet), where we planted *Lemna minor* hang 21 days

We carried out metal dosages (Fe, Zn, Ni, Mn) in the water before and after purification, and the plant is expensive before and after 14 and 21 days of stays

Also, physicochemical analyzes of wastewater before and after planting were carried out.

The water of Oued Maboudja indicates a high metal content depending on their location near the steel complex, after using our plant model (*Lemna minor*) we note a very highly significant decrease in the amount of metals (Fe, Zn, Neither, Mn) in water on the other hand an increase in the very highly significant plant the important role of water lens (*Lemna minor*) in the purification of wastewater of Wadi Maboudja.

A physicochemical analysis of the wastewater was also carried out, before and after the purification concerning the following parameters: T, pH, O₂ dissolved, O₂, Mes, BOD₅, NH₄ and nitrites. The physicochemical analyzes showed an apparent improvement in the various global pollution parameters (pH, dissolved O₂, O₂, Mes, BOD₅, NH₄ and nitrites) as well as an almost total elimination of NH₄ and nitrites. The treatment of wastewater by the biological process can be a solution that is both inexpensive and effective.

Keywords : Industrial wastewater, wadi Meboudja, *Lemna minor*,

Phytopurification, métaux, physicochimie paramètres.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى تقييم فاعلية الصنف الصغير (عدسة الماء) في تنقية مياه الصرف الصناعي (phytopurification) والتحقق من إمكانية استخدام هذا النبات في نظام تنقية قاعدة. macrophyte.

لهذا نحن محاكاة نظام الغسيل، وتصفية أنواع الأهوار في مختبر علم السموم، والذي يتألف من S2 (El Hajar) ، S1 (El Gantra) ، و imgnée هم على التوالي من مواقع دراسة المياه 3؛ (Bouchet) ، حيث زرنا 21 *Lemna minor* يوم

نفذنا جرعات معدنية (Fe ، Zn ، Ni ، Mn) في الماء قبل وبعد التنقية ، والمصنع غالي قبل وبعد 14 يوماً من الإقامة.

أيضا ، أجريت تحليلات الفيزيوكيميائية لمياه الصرف الصحي قبل وبعد الغرس.

مياه واد Maboudja الإبلاغ عن محتوى عالية من المعادن وفقا لموقعها بالقرب من مجمع الصلب بعد استخدام لدينا مصنع نموذج (لمنة صغرى) نلاحظ انخفاض له مغزى هام للغاية في كمية المعادن (الحديد، الزنك، ني، المنغنيز) في المياه مقابل زيادة في محطة له مغزى هام للغاية على أهمية دور الطحلب البطي (لمنة صغرى) في تنقية مياه الصرف الصحي واد.. Maboudja

كما تم إجراء تحليل كيميائي فيزيائي لمياه الصرف الصحي ، قبل وبعد التطهير بالمعلّقات التالية T : pH ، O2 المذاب ، Mes ، BOD5 ، NH4 ، و nitrites. أظهرت التحاليل الفيزيوكيميائية تحسناً واضحاً في مختلف معايير التلوث العالمي (pH) ، O2 المذابة ، Mes ، BOD5 ، NH4 ، و nitrites) بالإضافة إلى القضاء التام تقريباً على NH4 و nitrites. يمكن أن تكون معالجة المياه العادمة من خلال العملية البيولوجية حلاً غير مكلف وفعال.

الكلمات المفتاحية - مياه الصرف الصناعي ، وادي مبوعوجة ، ليمنا الصغير ،

Phytopurification، والمعادن ، والبارامترات الفيزيائية.

Dédicace

Je dédis ce modeste travail à mes très chers parents,
pour leurs sacrifices et leurs encouragements durant
toutes mes études,

A mes chères « frères et sœurs »,

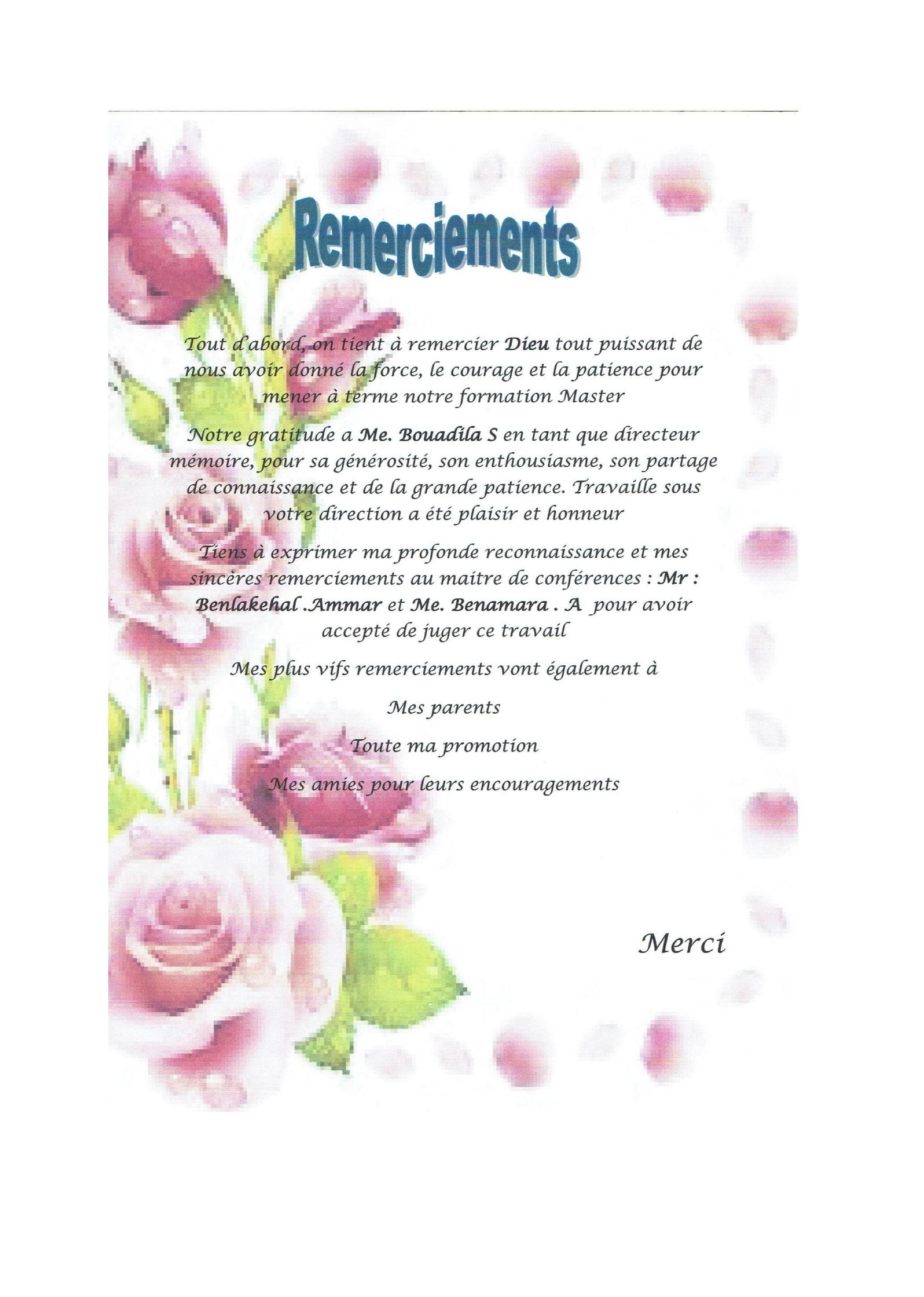
A Ma famille, et mes amis,



A tous les étudiants de la biologie, spécialement ma
promotion.

ASSIA

IMANE



Remerciements

Tout d'abord, on tient à remercier Dieu tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la patience pour mener à terme notre formation Master

Notre gratitude a Me. Bouadila S en tant que directeur mémoire, pour sa générosité, son enthousiasme, son partage de connaissance et de la grande patience. Travailler sous votre direction a été plaisir et honneur

Tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements au maître de conférences : Mr : Benlakehal .Ammar et Me. Benamara . A pour avoir accepté de juger ce travail

Mes plus vifs remerciements vont également à

Mes parents

Toute ma promotion

Mes amies pour leurs encouragements

Merci

Table des matières

Résumé

Abstract

ملخص

Dédicace

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction

Chapitre I : La phytoépuration

1. La phytoépuration	02
2. Les Différents Systèmes de Lagunage	02
2.1. Le lagunage naturel à microphytes	02
2.2. Le lagunage à macrophytes	02
3. Avantage et inconvénient de lagunage	02
4. Les types de filtres plantés	03
4.1. Les filtres plantés à écoulement vertical	03
4.2. Les filtres à écoulement horizontal	03
5. Les étapes de traitements d'eaux usées	04
5.1. L'épuration des eaux se réalise en trois parties	05
5.1.1. Le prétraitement	05
5.1.2. Le traitement	05
5.1.1.3. L'évacuation	05
5.2. Principe	05
5.2.1. Un prétraitement	05
5.2.2. un dispositif de traitement	06
5.2.3. L'évacuation des eaux épurées	06
6. Le pouvoir épurateur de <i>lemna minor</i>	06
7. L'épuration par les plantes en Algerie	06

Chapitre II: Les métaux

1. Définition des métaux	09
2. sources des métaux lourds	10

3. Réaction des métaux lourds avec l'eau	10
4. Pollution du système aquatique par les métaux traces	11
5. Diverses formes de métaux traces dans le milieu aquatique	12
6. Biodisponibilité des métaux traces dans les écosystèmes aquatiques	12
7. Bioaccumulation des métaux traces dans les organismes aquatiques	12
8 .Les métaux étudiés	13
8.1. Le fer	13
8.2. Le zinc	13
8.3. Le manganèse	14
8.4. Le nikel	14

Chapitre III: Matériels et méthodes

1. Matériel biologique	16
1.1. <i>Lemna minor</i>	17
1.2. Classification et taxonomie	17
1.3. Description de l'espèce	17
1.4. Répartition et écologie de l'espèce	18
1.5. Facteurs importants pour la croissance des lentilles d'eau	18
1.5.1. Température	18
1.5.2. Ensoleillement	18
1.5.3. Présence d'inhibiteurs	18
1.2. L'eau usée	19
1.2.1 Présentation de la zone d'étude	19
1.2.2. Situation géologique et hydrologie d'Oued Méboudja	19
1.2.3. Echantillonnage ou prélèvement d'eau	21
1.2.4. Conditions de l'expérimentation	22
1.2.5. La période d'adaptation	23
1.2.6. La solution de knop	23
1.2.7. Dosage des métaux	23
1.2.7.1 .La Minéralisation de l'eau usée	23
1.2.7.2. La minéralisation de la plante	25
1.2.8. Dosage des métaux lourds par la Spectroscopie	26
d'absorption Atomique	
1.2.8.1. Principe	26

2-Méthodes d'analyses des paramètres physicochimiques des eaux	26
3. Les tests statistiques utilisés dans notre expérimentation :	27

Chapitre IV Résultats

1. Résultats	30
1.1. Variation de la quantité des métaux dans l'eau	30
1.1.1. Variation de la quantité de Fer (Fe) dans l'eau avant et après épuration	30
1.1.2. Variation de la quantité de Zinc (Zn) dans l'eau avant et après épuration :	31
1.1.3. Variation de la quantité de Nickel (Ni) dans l'eau avant et après épuration :	32
1.1.4. Variation de la quantité de Manganèse (Mn) dans l'eau avant et après épuration :	32
1.1.5. Variation de la quantité globale des métaux (Fe, Zn, Ni, Mn) dans l'eau usées	33
2. Variation de la quantité des métaux chez la plante	34
2.1.1. Variation de la quantité de Fer(Fe) chez la plante	34
2.2.2. Variation de la quantité de Zinc (Zn) chez la plante	35
2.2.3. Variation de la quantité de Nickel (Ni) chez la plante	36
2.2.4. Variation de la quantité de Manganèse (Mn) chez la plante	37
3. Les Résultats des Analyses Physicochimiques d'eau usée Avant et Après Traitement(TR)	39
2-Discussion	41
Conclusion	
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des tableaux

T ableaux	Titres	Pages
T ableau 01	Classification des principaux ETM selon leur affinité pour des ligands oxygénés (classe A), des ligands azotés ou soufrés (classe B) et pour les deux types de ligands (classe intermédiaire)	11
T ableau 02	Réparation des milieux expérimentaux	22
T ableau 03	Compositions chimiques de solution de Knop, utilisé pour la culture de <i>Lemna minor</i>	23
T ableau 04	Méthodes des paramètres physicochimiques des eaux usées.	26
T ableau 05	variations des valeurs des différents paramètres d'Analyses d'eaux Avant et Après épuration	39

Liste des figures

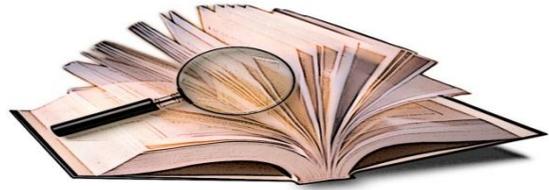
Figures	Titres	Pages
Figures 01	Principe de fonctionnement du lagunage à macrophytes	2
Figures 02	Coupe transversale d'un filtre à écoulement vertical.	4
Figures 03	Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement horizontal	5
Figures 04	<i>Lemna minor</i>	6
Figures 05	Tableau périodique des éléments.	9
Figures 06	Interactions subies par les métaux au cours de leur transport en milieu aquatique	12
Figures 07	Plante aquatique <i>Lemna minore</i>	16
Figures 08	Situation géographique d'Oued Meboudja Annaba	20
Figures 09	les différents sites de prélèvement d'eau.	21
Figures 10	Répartition des plantes (<i>Lemna minor</i>) dans les Trois aquariums	23
Figures 11	Quelques Bouteilles d'échantillons après l'étape de la minéralisation	25
Figures 12	les trois lots des eaux usées dans laboratoire de toxicologie pour l'épuration par la plante <i>lemna minore</i> de période précise 12j.	26
Figures 13	variation de la quantité de Fe par (mg/l) dans l'eau usée(d'oued meboudja) avant et après le traitement (TR) dans les trois sites étudié S1 (ALGANTRA) , S2 (ALHADJAR) S 3 (PONT BOUCHET)	30
Figures 14	variation de la quantité de Zn par (mg/l) dans l'eau usée(d'oued meboudja) avant et après le traitement (TR) dans les trois sites étudié S1 (ALGANTRA) , S2 (ALHADJAR) S 3 (PONT BOUCHET)	31
Figures 15	variation de la quantité de Ni par (mg/l) dans l'eau usée(d'oued meboudja) avant et après le traitement (TR) dans les trois sites étudié S1 (ALGANTRA) , S2 (ALHADJAR) S 3 (PONT BOUCHET)	32

Figures 16	variation de la quantité de Mn par (mg/l) dans l'eau usée(d'oued meboudja) avant et après le traitement (TR) dans les trois sites étudié S1 (ALGANTRA) , S2 (ALHADJAR) S 3 (PONT BOUCHET)	33
Figures 17	la contité global des métaux dans leau avant et apré traitement	34
Figures 18	variation de la quantité de Fe par (mg/l) chez la plante (lemna minor) dans les trois sites étudié S1 (ALGANTRA) , S2 (ALHADJAR) S 3 (PONT BOUCHET) en fonction du temps 0j, 14j, 21j .	35
Figures 19	variation de la quantité de Zn par (mg/l) chez la plante (lemna minor) dans les trois sites étudié S1 (ALGANTRA) , S2 (ALHADJAR) S 3 (PONT BOUCHET) en fonction du temps 0j, 14j, 21j .	36
Figures 20	variation de la quantité de Ni par (mg/l) chez la plante (lemna minor) dans les trois sites étudié S1 (ALGANTRA) , S2 (ALHADJAR) S 3 (PONT BOUCHET) en fonction du temps 0j, 14j, 21j .	37
Figures 21	variation de la quantité de Mn par (mg/l) chez la plante (lemna minor) dans les trois sites étudié S1 (ALGANTRA) , S2 (ALHADJAR) S 3 (PONT BOUCHET) en fonction du temps 0j, 14j, 21j .	38
Figures 22	variation de Les (%) globaux des différents paramètres d'Analyses d'eaux Avant et Après EP	39

Liste des abréviations

Abréviations	Significations
CaNO₃	Nitrate de calcium
CO₂	Dioxyde de carbone
Ca⁺	Calcium
C°	Degré Celsius
DBO₅	Demande Biochimique en Oxygène
ETM	Eléments Traces Métalliques
ERU	Eaux Résiduaire Urbaines
FeSO₄	Sulfate ferrique
Fe	Fer
HNO₂	Acide nitrique
NH₄	Ammonium
h	Heur
H⁺	Proton
J	Jour
KH₂PO₄	Phosphate mono potassique
KNO₃	Nitrate de potassium
Km	Kilomètre
L	Litre
MgSO₄	Sulfate de Magnésium

Mes	Matières en suspensions
Mn	Manganèse
Mg⁺	Magnésium
mg	Milligramme
ml	Millilitre
Ni	Nikel
NH₄	Ammonium
OMS	Organisation mondiale de la santé
O₂	Oxygène
PH	Potentiel hydrogène
P	Seuil de signification
S	Site
TR	Traitement
T	Température
%	Pourcentage
µm	Micromètre
1/3	Un tiers



Introduction

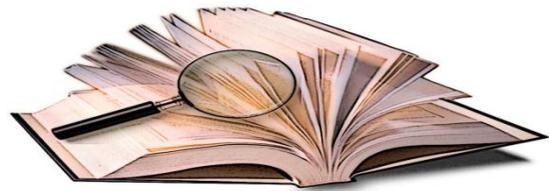
Introduction :

En Algérie, à l'instar d'autres régions du pays, la ville d'Annaba connaît de multiples agressions quotidiennes engendrées par la pollution industrielle, en particulier celle des ateliers de traitement de surface du complexe sidérurgique. Les eaux usées de ces ateliers de traitement de surface sont rejetées directement dans le milieu aquatique (cas de l'Oued Meboudja) sans aucun traitement préalable. Pour la préservation et la récupération des usages des milieux aquatiques, une méthode, qui permet d'évaluer les concentrations des contaminants peuvent être rejetées dans l'Oued Meboudja sans compromettre les usages de l'eau (Aquaculture, loisir, irrigation).

Parmi les principaux polluants générés par les activités industrielles, les métaux lourds (Fe, le Zn, le Mn, ...) posent effectivement des problèmes particulièrement préoccupants. Ces éléments, par nature non biodégradables, présentent une forte écotoxicité.

Ainsi, pour reprendre les termes d'un récent rapport de l'Office Parlementaire des Choix Scientifiques et Technologiques, « si les métaux lourds ont fait la civilisation, ils peuvent aussi la défaire ». Il est donc aujourd'hui indispensable non seulement de mieux connaître les effets de ces polluants sur les organismes vivants, mais aussi de mettre en œuvre des solutions durables, visant à limiter leurs risques. Malgré leur forte toxicité potentielle, la plupart des sites contaminés par des métaux lourds, L'épuration des eaux usées domestiques fait appel a des techniques physico-chimiques et biologiques. Parmi ces dernières, l'utilisation de végétaux aquatiques, fixes sur support ou en flottation libre, acquiert de plus en plus d'importance dans le monde et particulièrement dans les pays a climat chaud ou le rendement photosynthétique est important. Cette technologie appelée l'épuration verte (phytoepuration) présente plusieurs avantages (cout limite, mise en œuvre facile, intégration excellente dans le paysage naturel, absence de nuisances olfactives, etc.)

Le but de cette étude est de déterminer si les milieux humides artificiels ou marais épurateurs peuvent constituer un système adéquat pour le traitement des eaux usées domestiques, industrielles et agricoles. Pour atteindre ce but, nous avons mis en place un système d'épuration au laboratoire (simulation in vitro). Ce système est compose de trois aquariums, dans lesquels des lentilles d'eaux ont été plantées (*lemna minor*). Nous avons choisis de travailler sur les eaux d'Oued Maboudja en raison de leur forte pollution par des effluents industrielles(les métaux) des eaux ménagères et des eaux d'irrigation agricole.



Chapitre I

la Phytoépuration

1. La phytoépuration :

La phytoépuration c'est une technologie fiable et simple facilitant grandement la gestion des boues. Plusieurs travaux ont prouvés leur aptitude à exploiter efficacement les eaux usées municipaux (Abissy et Mandi, 1999 ; Molle, 2005 et Mimeche et al, 2010), des effluents industriels (Benameur, 2010 ; Ghaouch, 1998 ; Tiglyène, 2005).

➤ le lagunage :

Le lagunage est donc une technique d'épuration basée sur la transformation et l'assimilation naturelle des Polluants domestiques par des chaînes alimentaires aquatiques. La méthode consiste à organiser, en utilisant un mécanisme simple, la dégradation et l'élimination des éléments organiques par des processus naturels dans l'espace et dans le temps. (Vincent et Dufour ,2006-2007)

2. Les Différents Systèmes de Lagunage :

2.1. Le lagunage naturel à microphytes :

Un lagunage naturel est un procédé de traitement biologique des eaux usées se faisant dans des bassins où est maintenue une tranche d'eau de 0,8 à 1,5 m. Les microphytes, qui sont des algues, les petits animaux (protozoaires, rotifères, crustacés) et les bactéries, en présence d'oxygène, vont transformer les charges polluantes et stabiliser les boues. Les bactéries anaérobies jouent le même rôle dans les sédiments. (Vincent et Dufour ,2006-2007)

2.2. Le lagunage à macrophytes :

Les lagunages à macrophytes sont des installations mettant en oeuvre des bassins dans lesquelles des macrophytes (végétaux ou algues) sont utilisés (en flottaison, immergés ou semi-immersés) pour assurer des fonctions complémentaires de dépollution (**figure 1**).

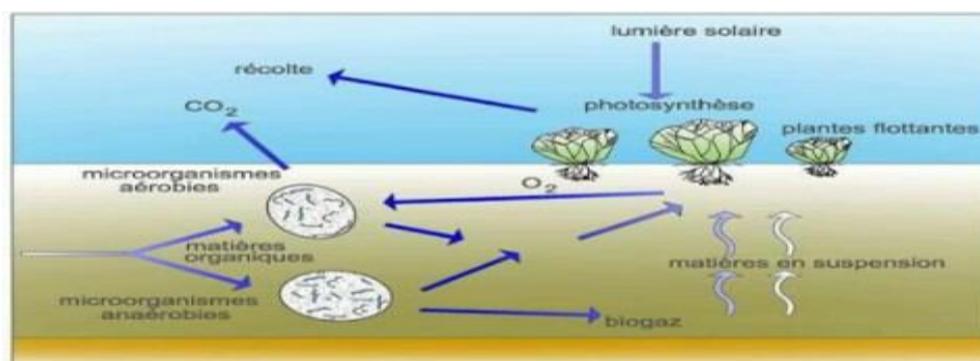


Figure 1 : Principe de fonctionnement du lagunage à macrophytes (Rakotoarison H.A, 2008).

3. Avantage et inconvénient de lagunage :

Le lagunage représente l'avantage de dépolluer de façon efficace les eaux usées de façon écologique (sans produit chimique ni apport énergétique) avec un principe simple et fiable tout en permettant une parfaite insertion dans le paysage.

➤ **Les avantages sont :**

- système naturel, simple, connu et maîtrisé ; le principe du lagunage est très ancien
- système fiable dans le temps et au niveau de la qualité de l'épuration ;
- faible coût d'investissement et d'exploitation.
- bonne élimination des bactéries pathogènes.
- pas de consommation d'énergie (le système fonctionne le plus souvent par simple gravité).
- bonne élimination de l'azote (70 %) et du phosphore (60 %).
- intégration esthétique dans le jardin.
- démarche responsable.

➤ **L'inconvénients sont :**

- emprise au sol importante.
- contrainte d'étanchéité.
- variation saisonnière de la qualité de l'eau traitée.
- nuisances en cas de défaut de conception et/ou d'exploitation (colmatage, rongeurs, odeurs, moustiques).
- élimination de l'azote et du phosphore incomplète.
- difficultés d'extraction des boues.
- pas de réglage possible en exploitation.
- sensibilité aux effluents septiques et concentrés (**Vincent et Dufour ,2006-2007**).

4. Les types de filtres plantés :

- Les filtres à écoulement vertical.
- Les filtres à écoulement horizontal.

4.1. Les filtres plantés à écoulement vertical

Les principaux mécanismes d'épuration s'appuient sur la combinaison de plusieurs processus en condition aérobie, qui se déroulent successivement sur deux étages de traitement en série au minimum (**figure 2**).

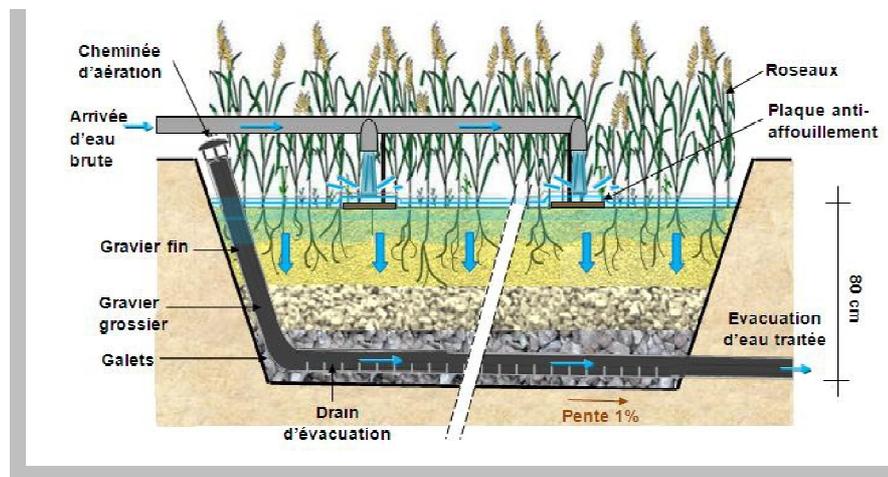


Figure 2 : Coupe transversale d'un filtre à écoulement vertical. (Poulet et al., 2003)

- Les filtres à écoulement verticaux sont alimentés en surface, l'effluent percole verticalement à travers le substrat.
- La rétention physique des matières en suspension s'effectue en surface des filtres.
- Ce type de dispositif permet un stockage et une minéralisation des boues sur le premier filtre de traitement par stabilisation des boues.
- La dégradation biologique des matières dissoutes est réalisée par la biomasse bactérienne aérobie fixée sur le support non-saturé. (Poulet et al., 2004)

4.2. Les filtres à écoulement horizontal :

Les filtres horizontaux ne sont pas alimentés par la surface, comme les filtres verticaux. Les eaux usées décantées entrent, via un gabion d'alimentation, directement dans le massif filtrant. Il est donc nécessaire de débarrasser l'effluent, au préalable, des matières en suspension, soit par l'intermédiaire d'un décanteur placé en amont, soit par un premier étage de filtration verticale (figure 3). (Poulet et al., 2004)

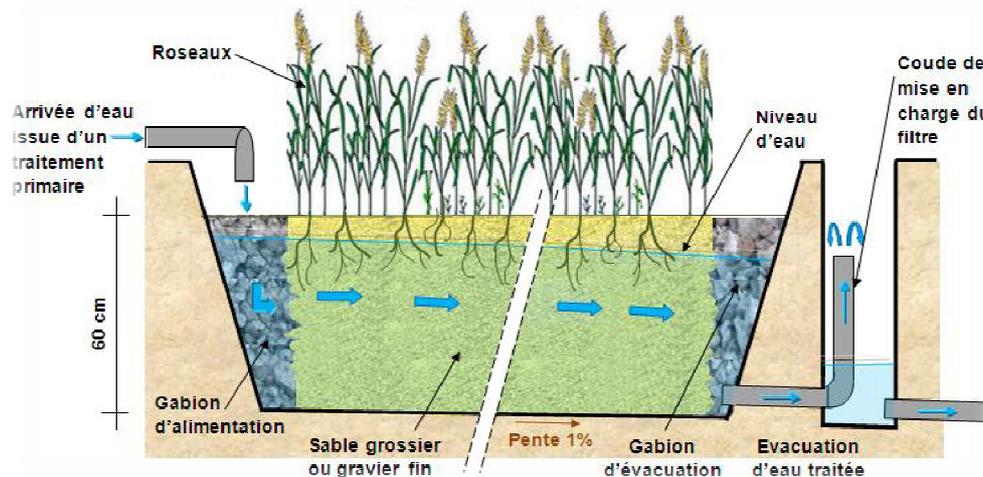


Figure 3 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement horizontal (Poulet et al.,2004).

Les matières dissoutes sont dégradées dans le massif de filtration par la biomasse bactérienne fixée sur le support. Le niveau d'eau dans un filtre horizontal est normalement constant. L'aération est limitée par l'absence d'un mouvement de la ligne de saturation et se fait de manière très faible par une diffusion gazeuse. L'apport d'oxygène est faible par rapport à la demande totale. La pénurie en oxygène, limite la dégradation de la pollution carbonée et azotée, oxydation du carbone organique et de l'ammonium, et par voie de conséquence limite la croissance bactérienne hétérotrophe et autotrophe (Poulet et al .,2004).

5. Les étapes de traitements d'eaux usées :

5.1. L'épuration des eaux se réalise en trois parties :

5.1.1. Le prétraitement : qui ne va éliminer que les grosses impuretés grâce à un décanteur primaire ou à une fosse septique.

5.1.2. Le traitement : qui va permettre aux micros organismes et plantes d'assimiler les différentes pollutions.

5.1.3. L'évacuation : de l'eau épurée qui va permettre à l'eau de rejoindre son milieu naturel, elle peut aussi permettre l'arrosage du jardin ou de multiples autres utilisations.

5.2. Principe :

La filière classique est composée de trois éléments de base :

5.2.1. Un prétraitement :

Le prétraitement, ou traitement primaire des eaux usées vise à éliminer les plus grosses impuretés. Elle permet de préparer un traitement d'épuration plus poussé. Il comporte différentes phases :

- **Le dégrillage** : dès la prise d'eau, les déchets les plus grossiers sont retenus par les barreaux d'une grille.
- **La décantation primaire** : la vitesse d'écoulement très lente de l'eau et le phénomène de gravité permettent le dépôt, au fond du décanteur, des matières en suspension (MES) qui constituent les boues primaires. (Vincent et Dufour, 2006-2007)

5.2.2. Un dispositif de traitement :

Le lagunage vise à éliminer une grande partie de la pollution organique (80%) et bactériologique. Mais aussi, il contribue à amplifier l'élimination des matières en suspension et à réduire la pollution chimique (azote global : 70 % et phosphore : 60 %) due aux détergents utilisés (lessives) et à nos excréments qui provoquent des problèmes de dystrophisation. (Vincent et Dufour, 2006- 2007).

5.2.3. L'évacuation des eaux épurées :

Il existe différentes techniques d'évacuation des eaux après épuration. Les eaux ainsi traitées se dispersent par écoulement dans le sous-sol. Si cela n'est pas possible (sol argileux...), un rejet en surface par exemple dans un fossé peut être envisagé.

Comme l'exemple ci contre. (Vincent et Dufour, 2006- 2007).

6. Le pouvoir épurateur de *lemna minor* :

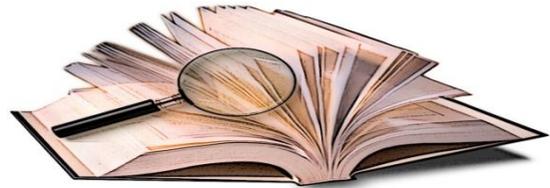
Les lentilles d'eau, *Lemna minor*, l'espèce la plus courante (Hilman, 1961 ; Cross, 2002), font partie des plantes aquatiques généralement utilisées pour le traitement des eaux résiduelles domestiques ou industrielles du fait de leur performance dans l'élimination de la pollution carbonée et leurs capacités d'assimilation de l'azote ou du phosphore (Debusk et al., 1987 ; Vermaat et al., 1998 ; Al-Nozaily et al., 2000a ; Al-Nozaily et al., 2000b ; Koné, 2002). Cependant, leur croissance rapide dans les conditions optimales (*i.e.* température, intensité lumineuse, ensoleillement, nutriments, pH, etc.) exige une gestion du tapis végétal formé sur le plan d'eau en vue d'assurer une bonne épuration des eaux usées (Filbin et al., 1985 ; Radoux et al., 1992 ; Bonomo et al., 1997 ; Korner et al., 1998 ; Monette et al., 2006 ; Demirezen et al., 2007 ; Lasfar et al., 2007).



Figure4 :*Lemna minor* (Guittet, Seguin / SNPN)

7. L'épuration par les plantes en Algérie :

Dans les pays développés, l'utilisation des filtres plantés pour le traitement des eaux usées est en croissance. De nos jours, ils sont appliqués pour le traitement des eaux usées domestiques, industrielles, agricoles, pluviales et même dans le traitement des boues (**Les consultant RSA, 1993**). Par contre, en Algérie l'expérience est encore jeune, elle a débuté en 2007 par la réalisation d'une station pilote de filtres plantés à écoulement horizontal au niveau de la Wilaya d'Ouargla (Temacine) (**Hamza ,2011**) Jusqu'à maintenant, cette station a donné des bons résultats épuratoires (**Agence de l'eau Rhin Meuse, 2007**).



Chapitre 2:

Les métaux

1. Définition des métaux :

Un métal est une matière issue le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal, doté d'un éclat particulier ,bon conducteur de chaleur et d'électricité ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie. (Gérard, 2001). Les métaux lourds sont solides à température ordinaire, exception faite au mercure qui est liquide et ils peuvent se combiner avec l'oxygène pour former des oxydes basiques ou avec de l'hydrogène pour former des hydrures. Ce sont des éléments dont la concentration dans la croûte terrestre est inférieure à 0,1% (Jérôme, 1999). Le terme « métaux lourds » utilisé pour représenter les éléments dont la masse volumique est supérieure ou égale à 5 g/cm³ a été abandonné car il n'a ni fondement scientifique ni juridique ; il est remplacé aujourd'hui par « Eléments Traces Métalliques (ETM)» (Gérard, 2001 ; Rodolphe ,2001) .

Tableau périodique des éléments

Le diagramme illustre la classification des métaux lourds (ML) en fonction de leur position dans le tableau périodique. Les métaux lourds sont définis comme les éléments situés à gauche de la ligne de démarcation qui sépare les métaux des non-métaux. Cette ligne passe par les éléments S, Se, Te, Po, At, et Rn. Les éléments à gauche de cette ligne sont classés en quatre groupes :

- ML1 :** Les métaux alcalins (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr).
- ML2 :** Les métaux alcalino-terreux (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra).
- ML3 :** Les métaux de transition (Sc, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe).
- ML4 :** Les métaux de transition internes (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu).

Les éléments à droite de la ligne de démarcation sont classés en quatre groupes :

- C :** Solides à température ambiante (B, C, Si, Ge, As, Se, Br, Kr).
- N :** Gaz à température ambiante (N, P, Sb, Te, I, Xe).
- Br :** Liquides à température ambiante (Br, Hg).
- Rf :** Radioactifs naturels (Rf, Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr).

Figure 5 : Tableau périodique des éléments. (Open Classrooms 2013).

2. sources des métaux lourds :

Les métaux lourds qui entrent dans l'environnement aquatique proviennent de sources naturelles et de sources anthropogènes. Leur entrée peut être le résultat soit de déversements effectués directement dans les écosystèmes marins et dans les eaux douces, soit d'un cheminement indirect comme dans le cas des décharges sèches et humides et du ruissellement agricole. Parmi les importantes sources naturelles, citons l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies de forêts. La contribution des volcans peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses mais sporadiques dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma (Zoller, 1984 ; Calamari et Naeve, 1994).

Les sources anthropogènes sont les suivantes :

- Effluents d'extractions minières
- Effluents industriels
- Effluents domestiques et ruissellements orageux urbains
- Lessivage de métaux provenant de décharges d'ordures ménagères et de résidus solides
- Apports de métaux provenant de zones rurales, par exemple métaux contenus dans les pesticides
- Sources atmosphériques, par exemple combustion de carburants fossiles, incinération des déchets et émissions industrielles
- Activités pétrochimiques

3. Réaction des métaux lourds avec l'eau :

Lorsque les métaux lourds sont en contact avec l'eau, des réactions chimiques se produisent en lien avec l'acidité, l'alcalinité, la température et l'oxygénation. De plus, le degré de solubilité d'un métal est un facteur non négligeable. Si le métal est soluble, il va passer dans les nappes et/ou dans la plante tandis que s'il est insoluble, il va rester dans le sol. La solubilité dépend de plusieurs facteurs. Le facteur le plus important est l'acidité du sol. La règle générale veut qu'un sol acide facilite la mobilisation. La matière organique favorise également la mobilité des métaux (acide humique) (Cormier *et al.*, 2015) .

4. Pollution du système aquatique par les métaux traces :

Au cours de son cycle, l'eau peut donc se charger en éléments indésirables (polluants chimiques, organismes ...), qui contribuent à la dégradation des réserves d'eaux à travers les continents (Chouteau, 2004; Rio, 2006). Les micropolluants présents dans l'environnement ont des origines très variées. Leur devenir environnemental ainsi que leur impact potentiel sur les différents écosystèmes sont très dépendant de leurs interactions avec le milieu environnant. Les principaux micropolluants impliqués dans les phénomènes de pollutions chimiques sont les métaux (exemple: cuivre, zinc, plomb, cadmium...). Les cycles biogéochimiques des éléments traces métalliques ainsi que des espèces organiques et inorganiques sont influencées à la fois par les phénomènes naturels et par les activités humaines. Contrairement aux métaux, présents naturellement et en proportions diverses dans la plupart des roches (fond géochimique) (Devez, 2004).

Tableau 1 : Classification des principaux ETM selon leur affinité pour des ligands oxygénés (classe A), des ligands azotés ou soufrés (classe B) et pour les deux types de ligands (classe intermédiaire) (Nieboer et Richardson, 1980 ; Gimbert, 2006).

Classe A	Classe intermédiaire	Classe B
Calcium	Plomb	Cadmium
Magnésium	Fer	Cuivre
Manganèse	Chrome	Zinc
Potassium	Cobalt	Mercure
Strontium	Nickel	Argent
Sodium	Arsenic	

Dans l'eau, les métaux traces sont présents sous forme d'ions libres mais ils peuvent aussi se complexer avec des ligands inorganiques et organiques présents sous forme dissoute en solution. Seules certaines formes du métal peuvent être assimilables et induire un effet sur les organismes (Gilbin, 2001). 8 De même, les transformations physico-chimiques et les processus métaboliques complexes de la biocénose peuvent aussi affecter cette biodisponibilité (Ineris, 2004). Certains éléments sont par ailleurs des micronutriments essentiels pour les organismes, mais aussi toxiques au-dessus d'une certaine concentration (Gilbin, 2001; Ineris, 2004; Bravin, 2008).

5. Diverses formes de métaux traces dans le milieu aquatique :

Dans le milieu aquatique, les métaux traces peuvent se présenter sous diverses formes physiques (dissoutes, particulaires) et chimiques (minérales, organiques). Ils sont présents sous forme hydratée (M^{2+}), complexée à des ligands organiques (acides fulviques et humiques) ou inorganiques ou sont adsorbés sur des particules. Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (pH, potentiel redox, lumière, température, dureté, force ionique, teneur en ligands organiques et inorganiques...) agissent sur le degré de dissociation entre les formes complexées et ioniques. La complexation avec les ligands organiques et minéraux ainsi que la compétition avec d'autres cations divalents (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+}) influencent notamment le devenir des métaux (figure 6). De surcroît, le ruissellement peut également être responsable de la dissolution et de la mise en suspension de cristaux précipités, du transport de la forme dissoute présente dans la lame d'eau, du métal adsorbé sur les Particules du sol.



Figure 6 : Interactions subies par les métaux au cours de leur transport en milieu aquatique (Gilbin, 2001 ; Devez, 2004).

6. Biodisponibilité des métaux traces dans les écosystèmes aquatiques :

On définit la biodisponibilité comme le degré avec lequel un contaminant dans une source potentielle est assimilé par un organisme (O' Donnel et al., 1985; Newman et Jagoe, 1994; Gilbin, 2001). Elle met en jeu trois étapes principales (Campbell, 1995) : l'advection ou la diffusion depuis la solution vers la surface de la membrane; l'adsorption ou la complexation sur les sites de transport; le transport à travers la membrane pour une assimilation dans l'organisme. La connaissance de la biodisponibilité d'un élément toxique dans un milieu donné est donc primordiale pour estimer l'exposition des organismes à ce toxique et son effet (toxicité, bioaccumulation, bioconcentration). Dans le cas des métaux, il est connu depuis longtemps que les concentrations totales du milieu ne permettent pas

d'évaluer l'exposition réelle, ni les effets possibles sur les organismes (**Town et Fillala, 2002**).

7. Bioaccumulation des métaux traces dans les organismes aquatiques :

La bioaccumulation désigne la capacité des organismes aquatiques à concentrer et à accumuler les substances chimiques à partir du milieu (bioconcentration) et de la nourriture (biomagnification), à des concentrations bien supérieures à celles où elles sont présentes dans le milieu (**Ramade, 1992**).

8 .Les métaux étudiés :

8.1. Le fer :

On trouve généralement le fer dans les eaux de surface sous forme de sels contenant du Fe(III) lorsque le pH est supérieur à 7. La plupart de ces sels sont insolubles et sont précipités ou adsorbés sur différentes surfaces. Par conséquent, la concentration de fer dans les eaux bien aérées est rarement élevée. En milieu réducteur, comme dans certaines eaux souterraines, certains lacs ou certains réservoirs, et en l'absence de sulfure et de carbonate, on peut trouver du Fe(II) soluble en concentration élevée , (**Hem, 1972**). La présence du fer dans des sources naturelles d'approvisionnement en eau est attribuable à la décomposition de la roche et des minéraux, aux eaux acides de drainage des mines, (**Bell, 1975**) . aux eaux de lessivage de décharges contrôlées, (**James, 1977**). aux effluents d'égouts ainsi qu'aux rejets des secteurs industriels qui traitent le fer.

8.2. Le zinc :

Le zinc est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol. La plus grande partie du zinc est rejetée par les activités industrielles, telles que l'exploitation minière, la combustion du charbon et des déchets et l'industrie de l'acier. Les eaux naturelles sont polluées au zinc du <fait de sa présence en grandes quantités dans les eaux usées, non traitées de façon satisfaisante, avec pour conséquence une redéposition du zinc sur les rives de rivières. A fortes doses, le zinc peut impacter les poissons, les plantes et s'accumuler dans les sols avant d'atteindre les nappes (**Pardo et al., 2003**). Le zinc est une sérieuse menace pour la production végétale dans les terres agricoles. Malgré cela les engrais contenant du zinc sont toujours utilisés. Enfin le zinc peut affecter l'activité biologique du sol, car il a une influence

négligeable sur l'activité des micro-organismes et les vers de terre, impactant ainsi la décomposition de la matière organique (**Bisson et al., 2005**).

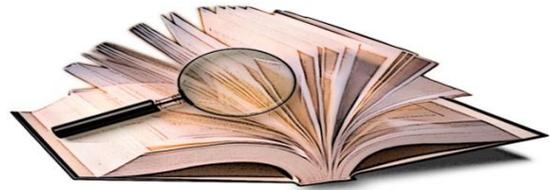
8.3. Le manganèse :

Le manganèse est le constituant principal des nodules de manganèse et des concrétions d'oxyde de ferromanganèse que l'on trouve dans les Grands Lacs et dans plusieurs lacs de l'Est de l'Ontario.

(**Rossman et al., 1968 ; Harriss et al., 1969**). Les produits du lessivage des dépôts de manganèse à la surface du sol comptent pour très peu dans le manganèse qui se trouve dans les cours d'eau et les océans. De façon générale, le manganèse est présent dans les eaux de surface naturelles, soit en solution, soit en suspension, à des concentrations inférieures à 0,05 mg/L.

8.4. Le nickel :

Le nickel (dissous et sous forme de particules) s'introduit dans le milieu aquatique par l'intermédiaire d'effluents et de lixiviats ainsi que par dépôt à partir de l'atmosphère après avoir été rejeté par des sources anthropiques. Parmi les effluents industriels qui contiennent une quantité significative de nickel, on compte ceux qui proviennent de l'extraction, de la fonte et de l'affinage du nickel, du revêtement électrolytique des métaux, de l'extraction de l'or et du traitement du fer et de l'acier. Les eaux d'exhaure acides formées par l'oxydation naturelle des minéraux de fer sulfurés dans le minerai, les résidus et les amas de roches stériles représentent une proportion appréciable, mais non évaluée, du nickel présent dans les effluents de l'industrie de l'extraction du nickel (**MacLachy, 1992**).



Chapitre 3:
Matériels et méthodes

.. 1. Matériel biologique :

Le matériel expérimental utilisé dans notre travail c'est :

- une plante aquatique la lentille d'eau (*lemna minor*)
- L'eau d'oued meboudja

1.1. *Lemna minor* :

L'espèce *Lemna minor* L. appartient à une famille de plantes aquatiques flottantes (Lemnaceae). Les plantes de cette la famille représentent non seulement les plus petits Angiospermes mais aussi les plantes à fleurs qui poussent le plus vite. La production de grande quantité de la biomasse des lentilles dans les zones impropres à L'agriculture traditionnelle a conduit à l'idée de développer ces plantes comme une nouvelle culture pour l'alimentation animale et le fourrage compte tenu de leur teneur élevée en protéines (**Anderson et al., 2011**), et pour la production de bioéthanol à base de glucides . Dans le même temps, les plantes doivent prendre les nutriments du plan d'eau pour soutenir leur rapide croissance. Par conséquent, les lentilles d'eau peuvent être utilisées pour le nettoyage des sources d'eau eutrophies comme municipal ou eaux résiduaires d'origine animale (**Cheng et Stomp, 2009**).



Figure 07 : Plante aquatique *Lemna minor* (**Zayed et al 1998**)

1.2. Classification et taxonomie :

Règne planta : Plantes

Sous-règne : Tracheobionta

Division magnoliophyta : angiospermes, phanérogames

Classe liliopsida : Monocotylédones

Sous-classe : Alismatidae

Ordre : Alismatales

Famille : Araceae

Genre : *Lemna*

Espèce : *Minor*

1.3. Description de l'espèce :

Cette plante est présente dans les eaux douces relativement dormantes (étangs, lacs, eaux stagnantes et cours d'eau calmes) et les estuaires des zones tropicales à tempérée (**apha et al. ,1992**). C'est une espèce cosmopolite dont la répartition est presque mondiale (**godfrey et wooten, 1979**).

1.4. Répartition et écologie de l'espèce :

Cosmopolite, *Lemna minor* est présente presque partout dans le monde (**Godfrey et wooten, 1979**). Elle est largement répandue dans toute l'Amérique du nord, sauf dans l'extrême nord et dans les Bahamas. On la trouve aussi en Europe, en Asie, en Afrique et en Australie (**Britton et brown, 1970**). En Amérique du nord, on la trouve de terre-neuve à l'Alaska et au sud jusqu'en Californie, au Texas et en Floride (**Newmaster et al ., 1997**). Les lenticules forment un élément essentiel de l'écosystème des eaux stagnantes et peu profondes. Elles font partie intégrante de la chaîne alimentaire, fournissent de la nourriture à la sauvagine et aux oiseaux des marais, tels que les foulques, les canards noirs. Ces plantes fournissent aussi de la nourriture, un abri, de l'ombrage et un substrat aux poissons et aux invertébrés aquatique (**Jenner et Janssen, 1989 ; Taraldsen et Noberg-King, 1990 ; Apha et al ., 1992 ; Newmaster et al.,1997**). Dans les conditions favorables à la croissance, elles peuvent se multiplier rapidement et former un tapis dense, constitué de divers genres et espèces (**Rimer, 1993**), dominé par une seule espèce (**Wang, 1991**).

1.5. Facteurs importants pour la croissance des lentilles d'eau :

La croissance des lentilles d'eau est régie par l'ensemble des facteurs biotiques et abiotiques de l'environnement où elles évoluent. Toutefois, la température et l'ensoleillement semblent y jouer un rôle plus important que celui des concentrations des nutriments (**Leng et al., 1995**), En conditions optimales, leur biomasse peut doubler en deux jours (**porath et al., 1979**) elles peuvent quasi-épuiser des nutriments croître rapidement et elles sont capables d'accumuler les métaux avec des facteurs de 10 par rapport à la teneur normale dans la plante (**Iqbal, 1999**).

1.5.1. Température :

les lentilles d'eau utilisées dans le traitement des eaux usées sont capables de se reproduire à des températures allant de 5 à 30 °C (**Oron et Willers, 1989**) avec un optimum situé entre 23 et 31 °C, dépendamment de l'espèce (**Iqbal, 1999 ; Boniardi et al., 1999**). Elles subissent un stress entre 31 et +35 °C (**Iqbal, 1999**) et une forte inhibition de la photosynthèse à 45 °C (**Filbin et Hough, 1985**). Dans les régions où la température peut descendre en dessous de zéro pour une partie de l'année, elles coulent au fond du plan d'eau et demeurent inactives sous une forme appelée turion jusqu'à ce que les conditions redeviennent plus propices à leur croissance (**Iqbal, 1999**).

1.5.2. Ensoleillement :

La croissance des lentilles d'eau selon deux facteurs importants (l'intensité et la photopériode de l'ensoleillement) auquel elles sont exposées. Les rendements de la photosynthèse et de la photorespiration atteignent leurs valeurs maximales au début de l'après-midi et leurs valeurs minimales le soir (36 à 60% de la valeur maximale). Dans l'hémisphère nord, la croissance de ces plantes est optimale durant la période allant de mi-juin au début de septembre, elle s'étale par contre sur toute l'année dans les régions ayant un climat tropical ou tempéré (**Filbin et Hough, 1985**).

1.5.3. Présence d'inhibiteurs :

Les eaux usées agricoles et industrielles contiennent des quantités importantes de métaux liés aux polluants organiques (**Cecchi et al. 1984 ; Bonardi 1984 et al., 1999**). Bien que la présence de métaux en traces soit indispensable dans le processus de croissance des plantes,

des concentrations élevées peuvent occasionner des phénomènes d'inhibition et de toxicité et donc limiter l'efficacité du traitement. Les lentilles d'eau peuvent tolérer des concentrations de métaux plus ou moins importantes selon le type de métal.

L'utilisation des tests vis-à-vis des lentilles d'eau en éco-toxicologie est très intéressante du fait de leur sensibilité à de nombreux polluants, de leur culture relativement facile et des possibilités qu'elles offrent de tester des effluents colorés, turbides ou encore chargés en MES (Wang, 1991).

1.2. L'eau Usées :

Les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine (Rejsek, 2002).

Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels (Grosclaude, 1999).

1.2.1 Présentation de la zone d'étude :

La région de Méboudja est connue, essentiellement, pour sa vocation agricole depuis une vingtaine d'années. C'est une vallée qui a connu un développement industriel important, ce qui a engendré des rejets abondants, non traités dans les milieux naturels. Ces rejets non contrôlés ont généré une pollution de l'eau des oueds.

Les cartes de vulnérabilité montrent que les eaux de Oued Méboudja sont très polluées, ce qui explique l'eutrophisation observée (Djabri et al. 1997).

Le canal de Oued Méboudja prolonge le canal principal du lac Fetzara en aval du pont vanne, il draine, en plus des eaux provenant du lac Fetzara, celles issues d'une région couvrant près de 276.25 Km². Cette dernière est composée de petits sous bassins : le sous bassin versant nord et le sous bassin sud. Il constitue la limite Ouest du complexe ISPAT (Annaba) et rejoint la Seybousse à environ 8 Km de l'embouchure vers la mer Méditerranée (Direction des Services Agricole d'Annaba 2000). Ce canal reçoit les effluents domestiques des régions de Sidi Amar et El-Hadjar et les rejets de la zone industrielle de Berrahel. Il reçoit également près de 4.5 millions de m³ d'eaux usées et de rejets liquides du complexe ISPAT (Djabri, 1991).

1.2.3. Echantillonnage ou prélèvement d'eau :

L'Echantillonnage est réalisé au niveau de 3 zones d'Oued MEBOUDDJA. (Amont, Aval, et le Centre) dont la région la plus polluée par les métaux en raison de sa proximité du complexe sidérurgique d'EL Hadjar Annaba .

-Amont c'est (**ELGANTRA**) /(S1)

-Le Centre c'est (**El Hadjar**) /(S2)

-L'Aval c'est (**Pont Bouchet**) /(S3)



Figure 9: les différents sites de prélèvement d'eau.

1.2.4. Conditions de l'expérimentation :

L'Expérience est subdivisée en deux volets, le premier qui comporte le traitement et la minéralisation des eaux et de la plante a été réalisé au laboratoire de toxicologie de l'université de larbi tebessi de Tebessa, et le deux deuxième volets qui consiste aux dosage des différents métaux a été effectué au laboratoire de l'université de Bizerte de Tunisie.

Concernant la mise en place du dispositif expérimental, nous avons récolté des lentilles d'eau *lemna minor* de la région d'El Taref (zone non polluée).

Ces derniers ont été placées dans des conditions in vitro aux niveaux des cristallisoirs remplis d'eaux usées, afin de réaliser les dosages des métaux suivants (Fe, Zn, Ni, Mn) chez les plantes et au niveau des eaux usées.

Les trois lots réalisés sont respectivement : renferme chaque'un 4L d'eau usée d'oued de chaque site d'étude et la plante.

Tableau 02 : Réparation des milieux expérimentaux

S1 (ALGANTRA)	S2 (PONT BOUCHET)	S3 (EL HADJAR)
4L d'eau usée d'Oued maboudja+ solution de Knop (1/3 L) + la plante	4L d'eau usée d'Oued maboudja+ solution de Knop (1/3 L) + la plante	4L d'eau usée d'Oued maboudja+ solution de Knop (1/3L) + la plante

Premièrement Nous avons effectué Trois répétitions (pour la plante) par paramètres étudiés.

Qui ont été mesuré selon trois dates :

- ✓ **La première date** : 0 j de traitement.
- ✓ **La deuxième date** : Après 14 j de traitement.
- ✓ **La troisième date** : Après 21j de traitement

Deuxièmement concernant les eaux nous avons effectué trois répétitions pour chaque lot avant et après séjour des plantes



Figure 10 : Répartition des plantes (*Lemna minor*) dans les Trois aquariums

1.2.5. La période d’adaptation :

Nous avons mis l’eau usée et la plante dans le laboratoire de toxicologie selon une période d’adaptation de 7 jours (une semaine) avec l’utilisation de milieu nutritif chaque 2 jours.

-Le milieu nutritif que nous avons utilisé c’est la solution de Knop Complet.

1.2.6. La solution de knop :

A été inventé par le chimiste allemand Wilhelm Knop (1817-1891). Le liquide de Knop est utilisé en biologie dans le cadre d’expérience sur la croissance de végétaux en laboratoire et, plus particulièrement, la culture des plantes à chlorophylle. Le liquide de Knop est un engrais mis au point pour obtenir une croissance optimale des plantes de *lemna minor* en laboratoire, Il est composé de divers sels minéraux dissous dans l’eau : nitrate de calcium (CaNO_3), nitrate de potassium (KNO_3), sulfate de magnésium (MgSO_4), phosphate mono potassique (KH_2PO_4), sulfate ferrique (FeSO_4). (Bruchhauser, 2010).

Pour préparer 1L de solution de Knop, on ajoute les ingrédients suivants à 1 L d’eau distillée :

Tableau 03 : Compositions chimiques de solution de Knop, dans l’eau distillé utilisé dans la culture de *Lemna minor*

Composition chimique	Concentration g /L
Nitrate de calcium (CaNO_3)	1
Nitrate de potassium (KNO_3)	0.25
Sulfate de magnésium (MgSO_4)	0.25
Phosphate monopotassique ou dihydro-géno-phosphate (KH_2PO_4)	0.25
Sulfate ferrique (FeSO_4)	0.001

1.2.7. Dosage des métaux :

1.2.7.1. La Minéralisation de l'eau usée :

➤ Préparation de l'échantillon

L'eau d'Oued MEBOUDJA est chargée en matières organiques est leur minéralisation de l'échantillon est une étape importante avant l'analyse. Les échantillons d'eau d'oued prélevé de chaque site sont traités selon le type de minéralisation A_0 par digestion acide.

La mesure des concentrations en métaux dans chaque échantillon est réalisée par spectrophotométrie d'absorption atomique

➤ Préparation de verrerie

Toute la verrerie du laboratoire est lavée au détergeant ensuite rincé par l'eau pur puis immergée dans l'acide Nitrique 10% pendant 24h suivi d'un rinçage à l'eau ultra pure et sécher à l'aide d'une étuve avant utilisation. (Iso : Suisse, 1994).

➤ Mode de prétraitement et préparation des solutions d'échantillons

À côté de la simple dilution, la minéralisation s'impose dans la majorité des cas pour les eaux résiduaires fortement polluées. Cette étape de digestion essentielle limite les interférences liées aux matières organiques. Elle peut être réalisée par voie sèche ou par voie humide. Cette dernière, en utilisant un milieu acide, permet de limiter les pertes de certains métaux par volatilisation. On retrouve classiquement dans la littérature, la digestion par des acides seuls ou en mélange (HNO_3 , H_2SO_4 , HCl) en présence ou non d'un agent oxydant comme l'eau oxygénée. La minéralisation assistée par micro-ondes est actuellement largement décrite en utilisant des réacteurs fermés en téflon. Une méthode alternative utilisant une solution alcaline d'hydroxyde de tétra méthyle ammonium est également décrite.

Il est primordial d'être particulièrement vigilant à la préparation des échantillons pour l'analyse de métaux en tenant compte de la matrice utilisée, de la méthode d'analyse choisie et du type de métal à doser. (Iso : Suisse, 1994).

1.2.7.2. La minéralisation de la plante :

➤ préparation de l'échantillon

Cette méthode consiste à minéraliser l'échantillon par voie humide (four à micro-onde) à l'aide d'acide Nitrique concentré et de Peroxyde d'Hydrogène. Ensuite Les échantillons sont analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique de flamme



Figure 11 : Quelques Bouteilles d'échantillons après l'étape de la minéralisation

1 .2.8. Dosage des métaux lourds par la Spectroscopie d'absorption Atomique :

1 .2.8.1. Principe

Le principe consiste à aspirer l'échantillon sous forme liquide dans une flamme à une température de l'ordre de 1 700 à 2 550 °C, de sorte qu'il se forme une vapeur atomique (atomes neutres, libres et a l'état fondamental). On irradie cette vapeur avec une lampe spectrale à cathode creuse. Ces lampes émettent des raies de transition des atomes recherchés. Seuls les atomes recherchés absorbent la radiation excitatrice. Ce qui nous permet de lier l'absorption lumineuse à la concentration des atomes étudiées. Cependant il y a toujours une absorption non spécifique si minime soit-elle. Cette dernière est significativement diminuée par l'emploi d'une lampe au Deutérium (correcteur de bruit de fond). En plus de la simple dilution ou de la minéralisation par voie humide souvent décrite, on préconise l'utilisation d'une solution de modificateur de matrice qui permet de transformer l'élément à doser en ses formes les plus stable thermiquement : composés oxydes, formes réduites ou phosphates, La formation des atomes neutres est réalisée par la vaporisation et l'atomisation dans une flamme air-acétylène.

L'analyse des métaux lourds dans l'eau d'Oued MEBOUDDJA ainsi que dans les poulpes a été réalisé dans les mêmes conditions spectrales et pour les mêmes courbes d'étalonnages afin de mieux interpréter les résultats obtenus.

2-Méthodes d'analyses des paramètres physicochimiques des eaux :

Pour les différentes analyses physicochimiques, nous avons prélevé des échantillons d'eau usée des différents bacs plantés de *lemna minor* (après épuration), ainsi que les eaux usées brutes D'Oued Meboudja.

Les analyses ont été effectuées après une période de 21 jours pour l'eau après plantations au niveau du laboratoire d'analyse (Station de surveillance environnemental) Skanska.

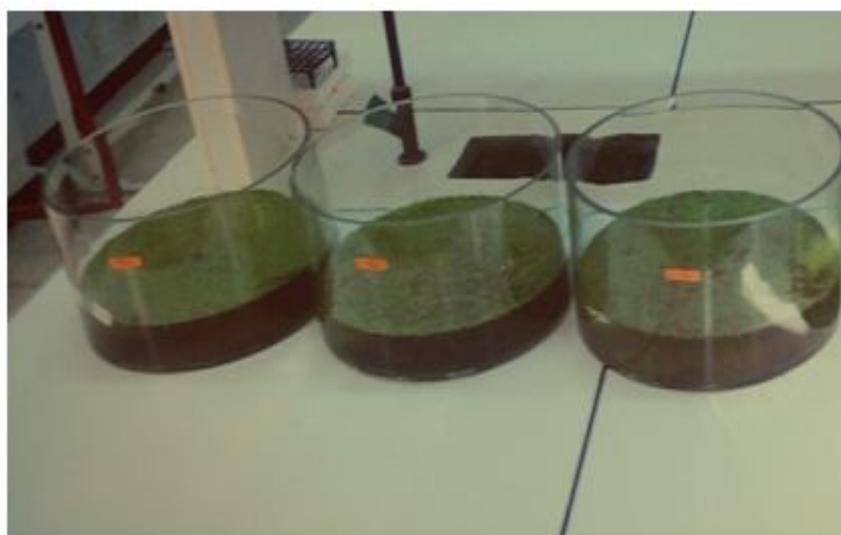


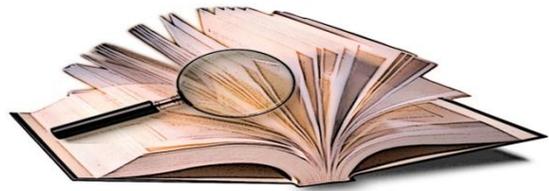
Figure 12 : les trois lots des eaux usées épuré par la plante *lemna minor* durant 21j.

Tableau 4 : Méthodes d'analyse des paramètres physicochimiques des eaux usées.

Paramètres	Méthode d'analyse
T	Lecture directe (thermomètre)
(pH)	Rodier 1996
O₂ dissous	Sonde multiparamètres
Taux O₂	Sonde multiparamètres
Mes	Rodier 1996
DBO₅	Rodier 1996
NH₄	Rodier 1996
Nitrite	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire : ISO 7890 – 1 – 1984.

3. Les tests statistiques utilisés dans notre expérimentation :

- Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une analyse statistique grâce au logiciel Minitab 16. Les données sont représentées par la moyenne plus ou moins l'écart type ($m \pm SD$). Les résultats sont confirmés par l'analyse de la variance ANOVA à deux critères de classification, avec le teste de comparaison Tukey.
- $P > 0,05$ non significatif
- $p < 0,05$ significatif (*)
- $0,01 < P < 0,01$ hautement significatif (**)
- $P < 0,001$ très hautement significatif (***)



Résultats et Discussion

1. Résultats

Dans cette partie nous avons représenté les principaux résultats obtenus concernant les essais réalisés au laboratoire, afin de réaliser les dosages des métaux suivants (Fe, Zn, Ni, Mn) chez les plantes et au niveau des eaux usées, avant et après épuration

1.1. Variation de la quantité des métaux dans l'eau

1.1.1. Variation de la quantité de Fer (Fe) dans l'eau avant et après épuration

La figure (13) illustre le taux de Fe dans les eaux usées dans la région d'Oued Meboudja (prélevées dans les 3 sites), (S1) EL Gantra, (S2) El Hadjar, (S3) Pont Bouchet avant et après séjour de la plante *lemna minor*

Nous observons une présence très importante de Fer dans le site 2 avant l'épuration. (Par rapport aux sites 1 et 3), il est de l'ordre de 12,756mg/l dans l'eau

Nous notons aussi une diminution très remarquable du taux de Fer après épuration. Dans les 3 sites de prélèvements (surtouts dans le site 2, il est de l'ordre de 0,606 mg/l dans l'eau.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une diminution très hautement significative ($p < 0.001$) du taux en Fer dans tous les sites de prélèvement après séjour de la plante.

Le test de Tukey révèle des différences très hautement significatives ($p < 0.001$) entre les sites (1, 2 et 3).

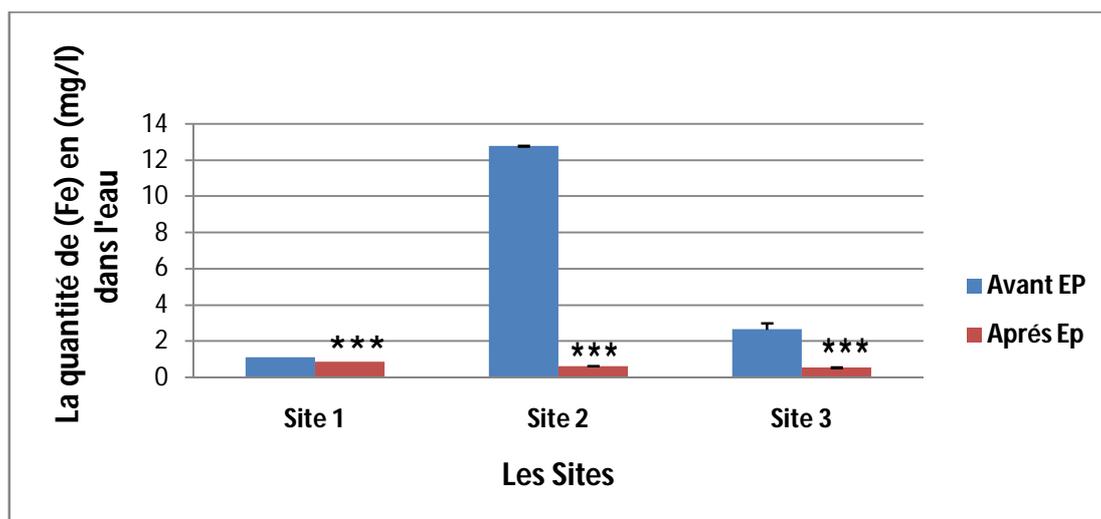


Figure 13 : Variation de la quantité de Fe en (mg/l) dans l'eau usée (d'Oued Meboudja) avant et après épuration (EP) dans les trois sites étudiés S1 (El Gantra), S2 (El Hadjar) et S3 (Pont Bouchet) (***) très hautement significatif)

1.1.2. Variation de la quantité de Zinc (Zn) dans l'eau avant et après épuration :

La figure (14) illustre le taux de Zn dans les eaux usées dans la région d'Oued Meboudja (prélevées dans les 3 sites), (S1) EL Gantra, (S2) El Hadjar, (S3) Pont Bouchet avant et après séjour de la plante *lemna minor*.

Nous remarquons une présence très importante de Zn dans le site 2 avant l'épuration (Par rapport aux sites 1 et 3) il est de l'ordre de 0.531 mg/l dans l'eau.

Nous notons aussi une diminution très remarquable du taux de Zn après épuration dans les 3 sites de prélèvement (surtouts dans le site 2, il est de l'ordre de 0.113 mg/l dans l'eau.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une augmentation ou diminution très hautement significative ($p < 0.001$) du taux en Zinc dans tous les sites de prélèvements après séjour de la plante.

Le test de Tukey révèle des différences très hautement significatives ($p < 0.001$) entre les sites (1, 2 et 3).

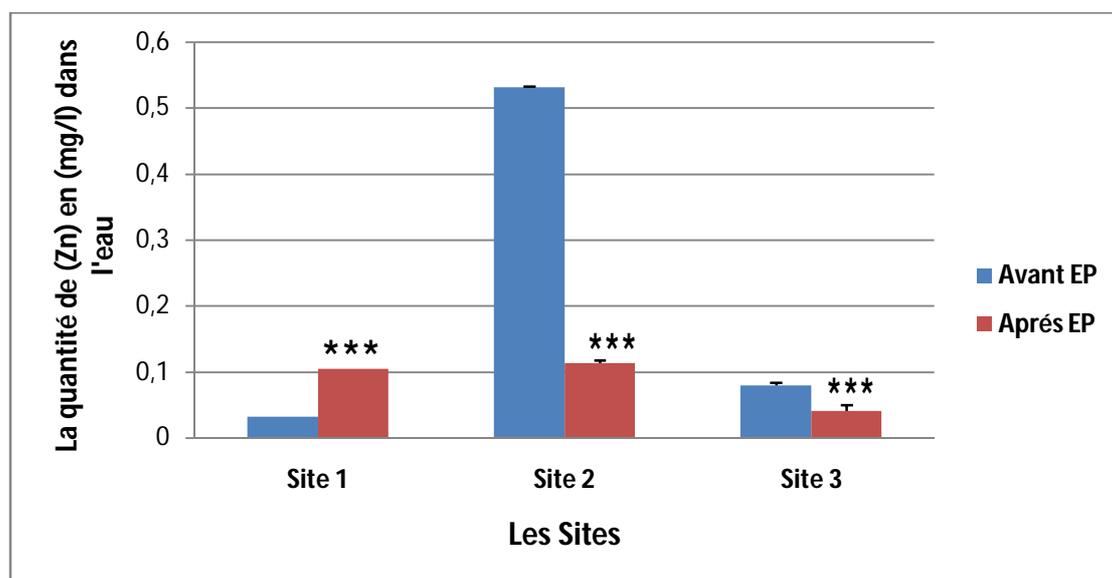


Figure 14 : Variation de la quantité de Zn en (mg/l) dans l'eau usée (d'Oued Meboudja) avant et après épuration(EP) dans les trois sites étudiés S1 (El Gantra), S2 (El Hadjar) et S3 (Pont Bouchet) (***) très hautement significatif)

1.1.3 .Variation de la quantité de Nickel (Ni) dans l'eau avant et après épuration :

Le taux de Ni dans les eaux usées dans la région d'Oued Meboudja (prélevées dans les 3 sites), (S1) EL Gantra, (S2) El Hadjar, (S3) Pont Bouchet avant et après séjour de la plante *lemna minor*

Nous observons une présence très importante de Ni dans le site 3 avant l'épuration. (Par rapport aux sites 1 et 2) et il est de l'ordre de 0.512 mg/l dans l'eau .

Nous notons aussi une légère diminution du taux de Ni après épuration dans les 3 sites de prélèvements (surtouts dans le site 3,il est de l'ordre de 0.381 mg/l dans l'eau.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence non significative ($p>0.05$) dans tous les sites de prélèvements avant et après séjour de la plante.

Le test de Tukey révèle des différences non significatives ($p>0.05$) entre les sites (1, 2 et 3).

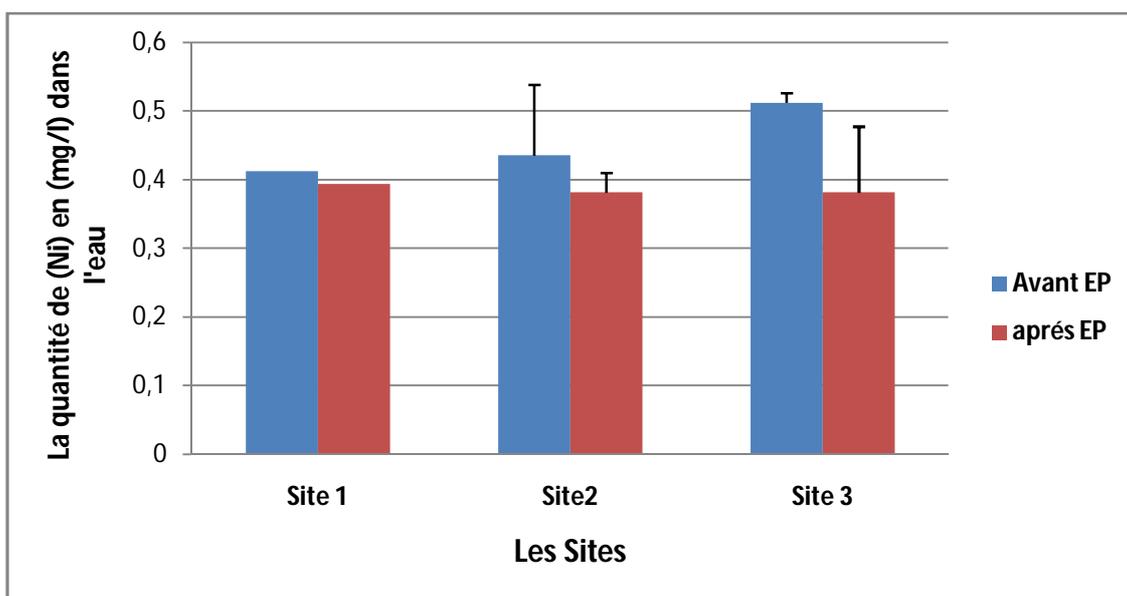


Figure 15 : Variation de la quantité de Ni en (mg/l) dans l'eau usée (d'Oued Meboudja) avant et après épuration (EP) dans les trois sites étudiés S1 (El Gantra), S2 (El Hadjar) et S3 (Pont Bouchet)

1.1.4. Variation de la quantité de Manganèse (Mn) dans l'eau avant et après épuration :

La figure (16) illustre le taux de Mn dans les eaux usées dans la région d'Oued Meboudja (prélevées dans les 3 sites), (S1) EL Gantra, (S2) El Hadjar, (S3) Pont Bouchet avant et après séjour de la plante *lemna minor*

Nous observons une présence très importante de Mn dans le site 2 avant le traitement. (Par rapport aux sites 1 et 3) il est de l'ordre de 1.003 mg/l dans l'eau

Nous notons aussi une diminution très remarquable du taux de Mn après épuration dans les 3 sites de prélèvements (surtouts dans le site 2, il est de l'ordre de 0.187 mg/l dans l'eau.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative ($p < 0.001$) dans tous les sites de prélèvement avant et après séjour de la plante.

Le test de Tukey révèle des différences très hautement significatives ($p < 0.001$) entre les sites (1, 2 et 3).

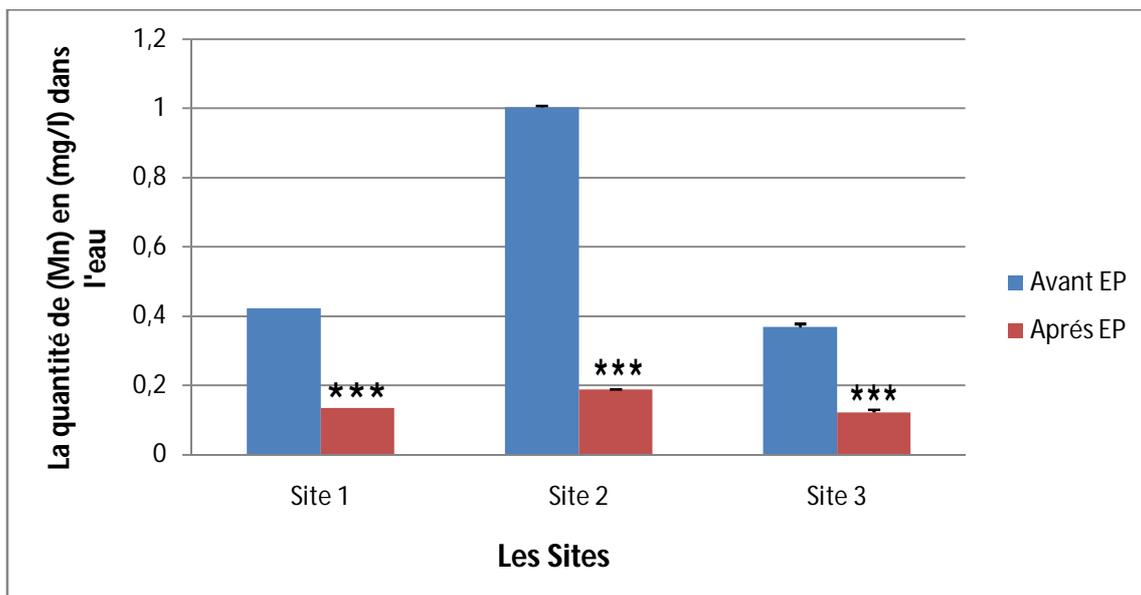


Figure 16: Variation de la quantité de Mn en (mg/l) dans l'eau usée (d'Oued Meboudja) avant et après épuration (EP) dans les trois sites étudié S1 (El Gantra), S2 (El Hadjar) et S3 (Pont Bouchet) (*** très hautement significatif)

1.1.5. Variation de la quantité globale des métaux (Fe, Zn, Ni, Mn) dans l'eau usées :

Nous observons dans la figure (17) que la quantité de Fer est plus importante aux niveaux des 3 sites d'Oued Maboudja par rapports aux autres métaux (Zn, Ni, Mn), cette dernière est plus importante dans le site 2.

Nous remarquons aussi que les quantités des métaux (Fe, Zn, Ni, Mn) tendent à diminuer après épuration dans les 3 sites S1 (Al Gantra), S2 (El Hadjar) et S3 (Pont Bouchet)

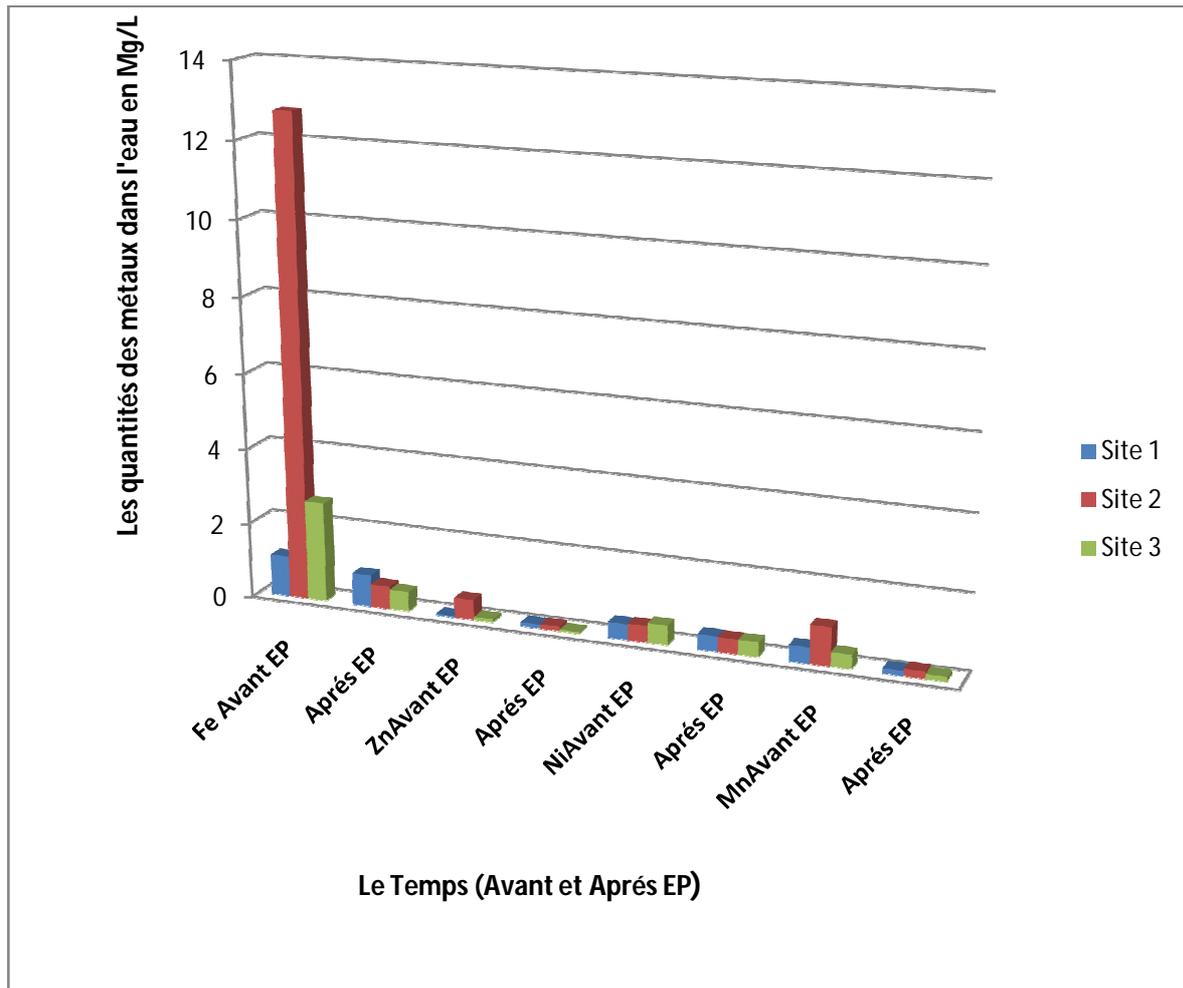


Figure 17 : La quantité globale des métaux dans l'eau Avant et Après épuration

2. Variation de la quantité des métaux chez la plante

2.1.1. Variation de la quantité de Fer(Fe) chez la plante :

Nous observons dans la figure (18) une présence très importante de Fer dans le site 2 (Par rapport aux sites 1 et 3) après 14 et 21 jours de séjour des végétaux il est de l'ordre de 0.835 et 0.405mg/l chez la plante *Lemna minor*.

Nous notons aussi une augmentation très remarquable du taux de Fer après 14 et 21 jours dans les 3 sites de prélèvements (surtouts dans le site 2), il est de l'ordre de 11.87et 12,53 pour le jour 14 et 21 chez la plante.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative ($p < 0.001$) dans tous les sites de prélèvement en fonction de temps (0j, 14j, 21j) durant le passage de la plante dans l'eau usées d'Oued Maboudja.

Le test de Tukey révèle des différences très hautement significatives ($p < 0.001$) entre les périodes (14 et 21 jours) par rapport aux 0 jours.

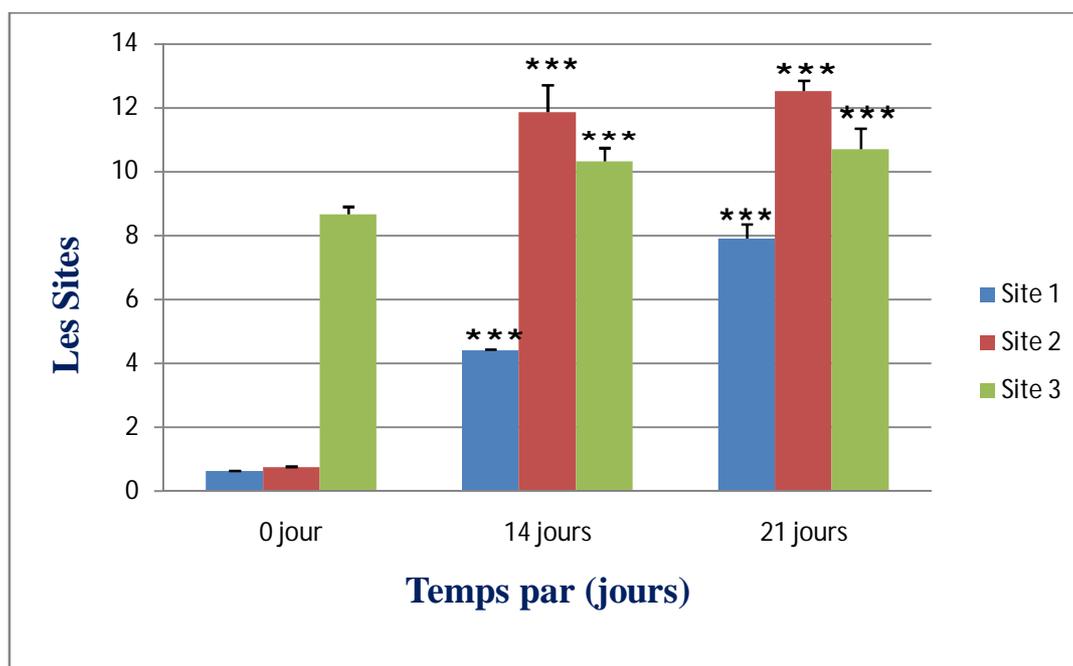


Figure 18 : Variation de la quantité de Fe en (mg/l) chez la plante *lemna minor* durant le passage dans l'eau usée (d'Oued Meboudja) des trois Sites étudiés S1 (El Gantera), S2(El Hajar) et S3(Pont Bouchet) en fonction du temps (0j, 14j, 21j).

(*** très hautement significatif)

2.2.2. Variation de la quantité de Zinc (Zn) chez la plante :

Nous observons dans la figure (19) une présence très importante du taux de Zn dans le site 2 (Par rapport aux sites 1 et 3) après 14 et 21 jours il est de l'ordre de 0.835 et 0.405mg/l chez la plante *Lemna minor*.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative ($p < 0.001$) dans tous les sites de prélèvement en fonction de temps (0j, 14j, 21j) pendant le passage de la plante dans l'eau usées pollué d'Oued Maboudja.

Le test de Tukey révèle des différences très hautement significatives ($p < 0.001$) entre les périodes (14 et 21 jours) par rapport aux 0 jours.

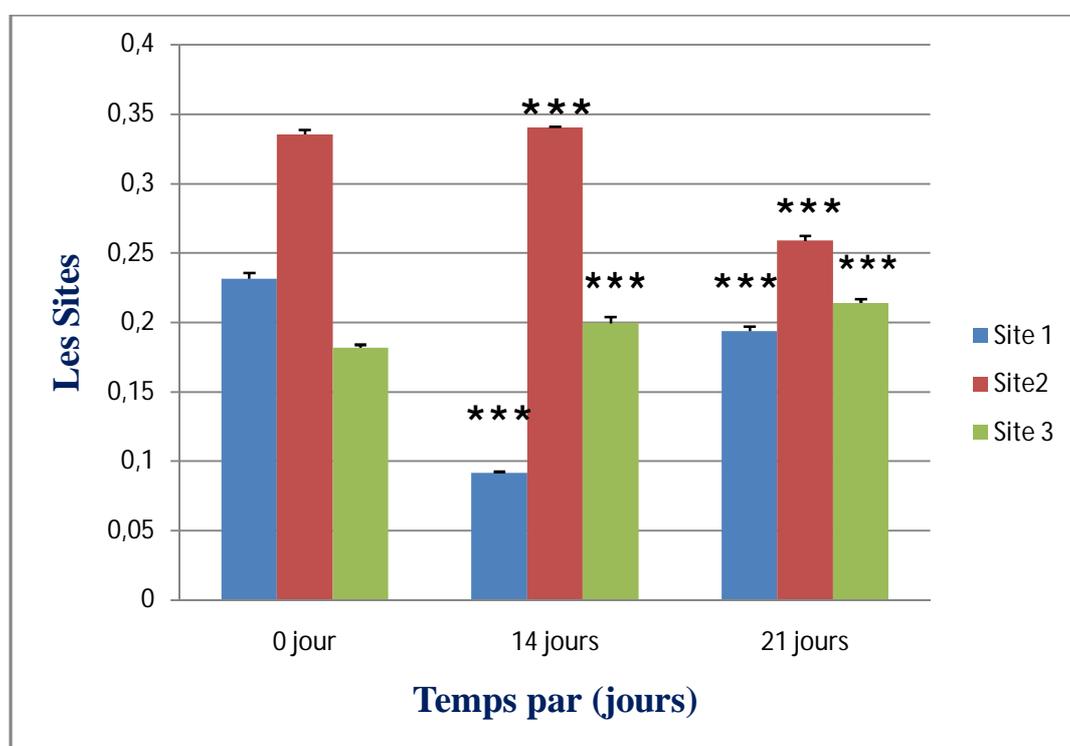


Figure 19: Variation de la quantité de Zn en (mg/l) chez la plante *lemna minor* durant le passage dans l'eau usée (d'Oued Meboudja) des trois Sites étudiés S1 (El Gantera), S2 (El Hajar) et S3 (Pont Bouchet) en fonction du temps (0j, 14j, 21j).

(*** très hautement significatif)

2.2.3. Variation de la quantité de Nickel (Ni) chez la plante :

Nous observons dans la figure (20) une présence très importante du taux de Ni dans le site 2 (Par rapport aux sites 1 et 3) après (14jour) non remarquons qu'il y'a une augmentation très importante il est de l'ordre de 1.258 mg/l chez la plante *Lemna minor*.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative ($p < 0.001$) dans tous les sites de prélèvement en fonction de temps (0j, 14j, 21j) pendant le passage de la plante dans l'eau usées d'Oued Maboudja.

Le test de Tukey révèle des différences très hautement significatives ($p < 0.001$) entre les périodes (14 et 21 jours) par rapport aux 0 jours.

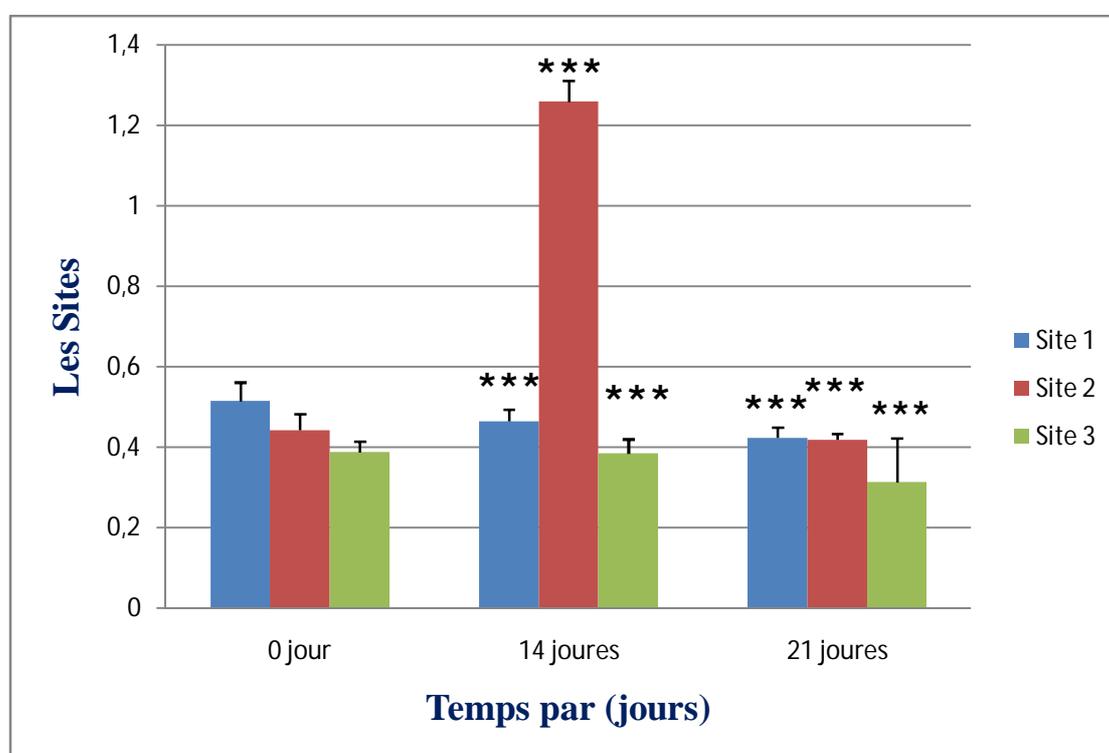


Figure 20 : Variation de la quantité de Ni en (mg/l) chez la plante *lemna minor* durant le passage dans l'eau usée (d'Oued Meboudja) des trois Sites étudiés S1 (El Gantera), S2 (El Hajar) et S3(Pont Bouchet) en fonction du temps (0j, 14j, 21j)

(*** très hautement significatif)

2.2.4. Variation de la quantité de Manganèse (Mn) chez la plante :

Nous observons dans la figure (21) une présence très importante du taux de Mn dans le site 2 (Par rapport aux sites 1 et 3) après 21 jours il est de l'ordre de 0.835 mg/l chez la plante *Lemna minor*.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative ($p < 0.001$) dans tous les sites de prélèvement en fonction de temps (0j, 14j, 21j) pendant le passage de la plante dans l'eau usées d'Oued Maboudja.

Le test de Tukey révèle des différences très hautement significatives ($p < 0.001$) entre les périodes (14 et 21 jours) par rapport aux 0 jours.

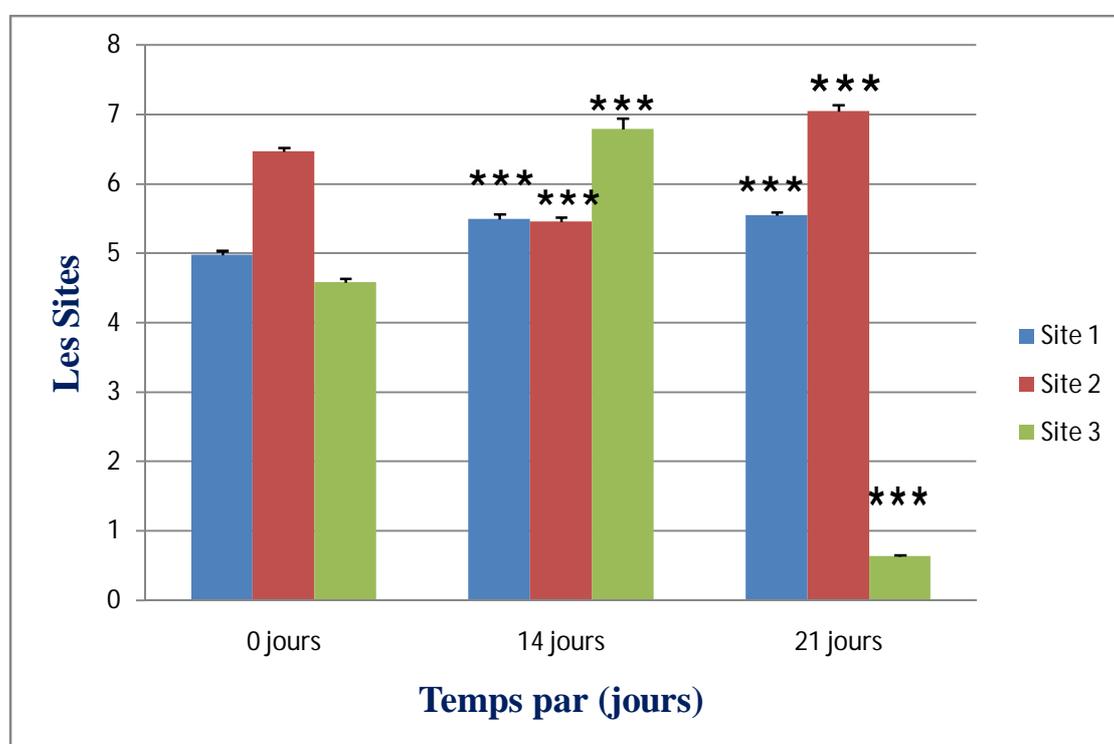


Figure 21: Variation de la quantité de Mn par (mg/l) chez la plante *lemna minor* durant le passage dans l'eau usée (d'Oued Meboudja) des trois Sites étudiés S1 (El Gantra), S2 (El Hajar) et S3 (Pont Bouchet) en fonction du temps (0j, 14j, 21j)

(*** très hautement significatif)

3. Les Résultats des Analyses Physicochimiques d'eau usée Avant et Après épuration (EP) :

Tableau 05 : variations des valeurs des différents paramètres d'Analyses d'eaux Avant et Après épuration

Paramètres	Unité	Les Sites Avant et Après épuration					
		S1 Avant EP	S1 Après EP	S2 Avant EP	S2 Après EP	S3 Avant EP	S3 Après EP
T	C°	18	21	18	21,5	22	22
PH	/	6	8	6	7	7,7	7,7
O2 dissous	mg/l	7	8	8,5	8,5	5	5
Taux O2	mg/l	60	90	60	70	56	56
Mes	mg/l	200	200	150	150	100	100
DBO5	mg/l	18	20	17	20	15	22
NH4	mg/l	0,2	0,9	0,2	0,9	0,5	1,26
Nitrite	mg/l	2	0,3	3	1,2	3	3

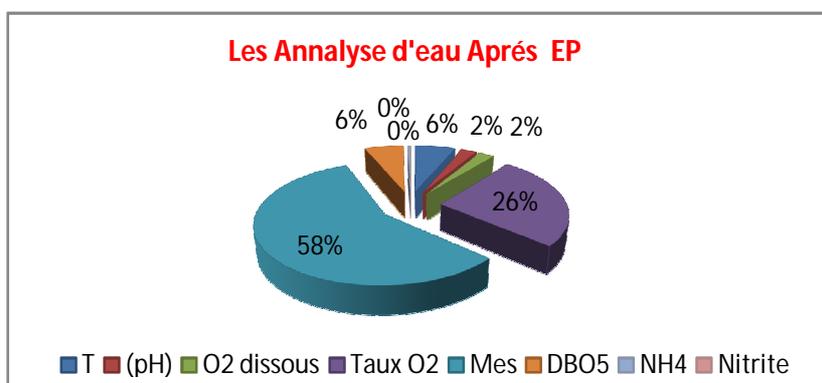
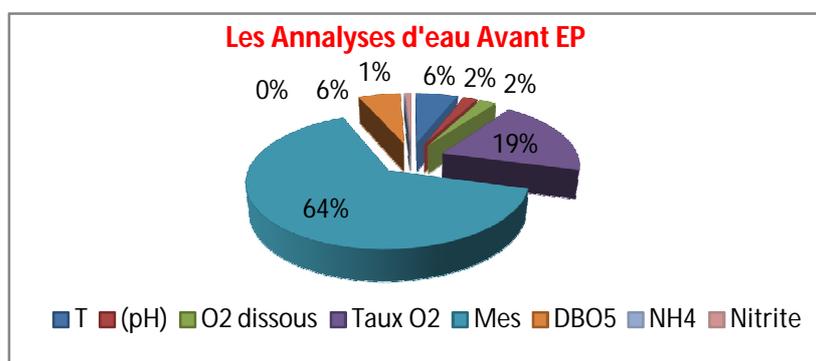


Figure 22 : Les (%) globaux des différents paramètres d'Analyses d'eaux Avant et Après EP

2 .Discussion :

2.1. Variation de la quantité des métaux dans l'eau et chez la plante :

La wilaya d'Annaba est la capitale industrielle de l'est Algérien. Les Complexes industriels les plus importants (AECELOR MITTAL et ASMIDAL), se localise au niveau de la commune de Annaba ou dans les communes les plus proches, le tissu industriel constitue une importante source de pollution. La région de Meboudja est connue essentiellement pour sa vocation agricole depuis une vingtaine d'années. C'est une vallée qui a connu un développement industriel important, ce qui a engendré des rejets abondants, non traités dans les milieux naturels. Ces rejets non contrôlés ont généré une pollution de l'eau des Oueds. Nous avons simulés un système d'épuration type marais filtrant dans des conditions in vitro et cela en utilisant trois cristallisoirs. On place dans le premier l'eau usée de site1(ALGANTRA) et dans le deuxième l'eau usée de site 2 (ALHAJAR) et dans les troisièmes l'eau usée de site3 (Pont Bouchet) Dans chaque cristallisoir. Nous immergeons une quantité équivalente de lentille d'eau ce qui dure trois semaines pour faire l'épuration des eaux usées d'Oued Maboudja et la diminution de pollution métallique des quatre métaux (Fe, Zn, Ni, Mn).

Nos résultats révèlent des taux élevés du fer dans les trois sites d'oued Meboudja ou nous avons notez des concentrations plus remarquable dans le site 2 qui se trouve à proximité du complexe sidérurgique d'El Hadjar, wilaya d'Annaba.

Après séjour de la plante nous avons notez des diminutions très hautement significative du taux de fer dans les trois sites, contrairement au niveau des plantes *Lemna minor*, nous avons notez une augmentation très hautement significative dans les trois sites, surtout dans le site 2 par rapport aux sites1 et 3 en fonction du temps, et nous avons notez aussi que cette augmentation est très remarquable dans le 3 sites surtout dans le site 2. Cette diminution au niveau des eaux et augmentation au niveau de la plante peut êtres explique par l'absorption de ce métal par la plante *Lemna minor* ou elle l'utilise comme un oligoélément pour sa nutrition, selon (Marchner ,1986 ;Richter 1993,Hopkins,2003,Raven et al 2007) qui confirmé que la plante utilise le fer (Fe) comme un macroélément nécessaire à la synthèse de la chlorophylle composant des cytochromes et de la nitrogénase. nos résultats sont on concorde avec les travaux de (Kleeh, M, 2013) et aussi ((Rashidi et al. 2015) qui trouve que la plante aquatique (*Salvinia natans*) est capable. D'accumuler la plus forte concentration de Fe, et

avec celles de (Kamal et al.,) qui ont confirmé que l'utilisation de trois plantes aquatiques été capable d'éliminer la totalité du fer des eaux usées.

En ce qui concerne le zinc, nos résultats révèlent des diminution très hautement significatives dans les trois sites au niveau des eaux usées, après séjour de la plante, ainsi qu'une augmentation très hautement significative chez la plante *Lemna minor* en fonction du temps ,cette diminution au niveau des eaux et augmentations chez la plante peut être expliqué par l'absorption de ce métal par la plante *Lemna minor* ou elle l'utilise comme un micro élément pour sa nutrition, selon **Marchner ,1986 ;Richter 1993,Hopkins,2003,Raven et al 2007**) qui confirmé que la plante utilise le Zinc (Zn) comme un micro élément c'est l'activateur de le composant de certains enzymes intervenant dans les réaction d'oxydoréduction,

Nos résultats sont on accorde avec celles (**Jain et al., 2007**)qui a confirmé que la plante utilise Zinc (Zn) comme un micro élément c'est l'activateur de composant de certains enzymes intervenant dans les réactions d'oxydoréduction.

En ce qui concerne le nikel (Ni) Après séjour de la plante nous avons notez des différences non significatives du taux de Ni(par rapport de l'autre métaux) dans les trois sites, cette diminution peut être expliqué par l'absorption de ce métal par la plante *Lemna minor* dans l'eau et augmentation peut être explique par l'absorption et l'accumulation de ce métal par la plante *Lemna minor* ou elle l'utilise comme un oligoélément pour sa nutrition nos résultats sont on concorde avec celles de (**Jain et al,1990**) a confirmé cette résultats par l'utilisation de lentille d'eau (*Lemna minor*) pour éliminé le Zinc des l'eau pollués.et d'accorde aussi avec (**Samecka ,Kempere,1996**) qui utilisé (*Scapania undulata*) pour éliminer le Zinc des eaux usées

Selon (**Marchner ,1986 ; Richter 1993, Hopkins, 2003, Raven et al 2007**) qui a trouve que le Nikel forme la partie essentielle d'une enzyme fonctionnant dans le métabolisme de la plante. Nos résultats en concorde avec celles de (**Kabata, 1999 ; Czupry, 1999**).Et (**Irfan et Alatawi, 2017**).

Le Mn :

Après séjour de la plante nous avons notez des diminutions très hautement significative du taux de Mn dans les trois sites, cette diminution peut être explique par l'absorption de ce métal par la plante *Lemna minor* ou elle l'utilise comme un oligoélément pour sa nutrition nos résultats sont on concorde avec Celles les travaux de (**KHATTABI et al. 2002**) Qui trouve

aussi une chute de manganèse (Mn) après l'utilisation d'un lagunage naturelle. Nous avons noté une présence très importante dans le taux de Mn dans les trois sites, et surtout dans le site 2 par rapport aux sites 1 et 3. ainsi que une augmentation très remarquable du taux de Mn et noté dans les 3 sites surtout dans le site 2. Cette augmentation peut être expliquée par l'absorption et l'accumulation de ce métal par la plante *Lemna minor* ou elle l'utilise comme un oligoélément pour sa nutrition. Selon (Marchner, 1986 ; Richter 1993, Hopkins, 2003, Raven et al 2007) qui remarque que le manganèse est l'activateur de certaines enzymes nécessaire à l'intégrité de la membrane chloroplastique et de la libération d'oxygène dans la photosynthèse. Notre résultat en concorde avec (Rachidi et al, 2015) qui confirme que la concentration de Mn dans les plantes peut être le résultat de l'afflux d'eau usées industrielles provenant de la fonderie ainsi que des apports d'autres rivières.

2.2. Les paramètres physico-chimiques :

Nous avons enregistré des résultats remarquables pour les différents paramètres physico-chimiques des eaux usées d'Oued maboudja de la région de Annaba avant et après épuration par l'utilisation de notre modèle végétal (*Lemna minor*) durant une période de 21 jours on trouve que :

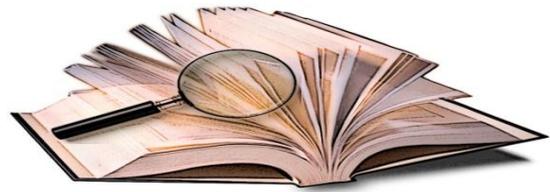
- **La Température et Le PH** : à refaire ne change pas reste (stable) après plantation qui signifie l'activité des Bactérie nitrifiants qui a un rôle important avec la plante dans le mécanisme de la phyto-épuration des eaux et la diminution des polluants. Ceci qui ne concorde pas avec les travaux de (Bedouh.Y et al) et aussi a les travaux de (Derradji Manel 2015), qui montrent dans le filtre sans roseaux, le PH est légèrement plus élevée que celui de filtre planté des roseaux ; Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette baisse de pH. D'abord, l'accumulation des ions H⁺ suite a l'activité des bactéries nitrifiantes, ou a la production d'ions H⁺ par la plante pour compenser le prélèvement de certains cations (nutrition minérale)(Bowes G et al 1987) La température à la sortie des deux systèmes (planté et non planté) présente une Légère diminution par rapport à celle des eaux usées brutes. Le suivi du pH peut renseigner sur le déroulement de l'épuration D'après (Franck 2002). Pour le processus d'épuration aérobie, la biomasse a besoin d'un pH proche de la neutralité pour réaliser son activité épuratrice. La Température agit également comme facteur physiologique sur le métabolisme et la croissance de la plupart des organismes vivant dans l'eau, notamment ceux

microscopiques et est, de ce fait, directement liée à la vitesse de dégradation de la matière organique.

Nos résultats sont en accord pas aussi avec les résultats obtenus antérieurement par (Kleche 2013) et ils sont inférieures à ceux obtenus par (Benameur, 2010). La différence entre nos résultats et l'autre travail signifie par plusieurs facteurs comme : la méthode d'analyse utilisée, le période de traitement, la qualité d'eaux étudié, le modèle végétal utilisé...etc.

- **Concernant l'Oxygène dissous et le Taux d'Oxygène** : Après l'épuration par notre modèle végétale (*Lemna minor*) l'Oxygène dissous et taux d'Oxygène reste stable (2%) pour l'Oxygène dissous mais pour le taux d'Oxygène il'y a une augmentation remarquable jusqu'à 26% et notamment dans les bacs des eaux après plantation. On peut expliquer cette augmentation par la forte activité métabolique des *Lemna minor* puisque cet Oxygène est résultant de leur métabolisme, donc les plantes apportent l'Oxygène nécessaire aux réactions de dégradation aérobie de la matière organique. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par (Kurniadie et al 2011) et (Derradji Manel 2015).
- **En ce qui concerne l'évolution des matières en suspensions (Mes)** nos résultats montrent une diminution très remarquable de ce paramètre dans les eaux après 21 jours de l'épuration par *Lemna minor*, l'élimination de la matière organique dans les bassins à macrophytes flottants est basée sur une réaction symbiotique (plantes-bactéries), dans laquelle les bactéries utilisent l'Oxygène fourni au milieu par les plantes pendant la photosynthèse pour dégrader le carbone organique. En retour, les sous produit de cette réaction tels que NH_4 et le CO_2 sont utilisés par la plante (polprasert, C et al 1998). Ceci concorde avec les résultats des (Boudouh . Y et al 2013) et aussi avec (Derradji Manel 2015).
- **Dans notre résultat le contrôle de la DBO_5** des eaux usées pendant l'expérimentation a montre des valeurs stable de 6% après l'épuration. Cependant, cette valeur reste 6% après le séjour des *Lemna minore* dans l'eau polluée. Ceci concorde avec les résultats de (Sankar .U .2000) et (Kadlec R.H et al 1996) qui montrent que les macrophytes possèdent des sites dans leurs zones racinaires qui favorisent la croissance bactérienne et permettent ainsi la dégradation de la matière organique et donc la diminution de la DBO_5 . Et ne concorde pas aussi avec (Bedouh .Y.et al 2013).

- Concernant **les taux de NH_4 (Ammonium) et nitrites**, nos résultats révèlent qu'après séjours des plantes *Lemna minor* dans les eaux usées les valeurs ont diminué d'une façon très significative, pour les deux surtout pour le nitrite ; Ceci est dû probablement à un phénomène de nitrification bactérienne comme le stipule (**Sun et al 1998**). Selon (**Brix M et al 1989**), certaines plantes consomment une quantité importante de composés azotés et du phosphore lors de leur croissance. Elles peuvent emmagasiner celui-ci dans les racines et rhizomes, les tiges et les feuilles. Une forte proportion d'azote et de phosphore est emmagasinée par les plantes émergentes dans leurs racines lors de la fanaison .Ainsi **Garcia et al,(2005)** ont montré que les macrophytes absorbent principalement de l'azote inorganique sous forme de nitrates (NO_3) et d'ammonium (NH_4) ces nutriments sont utilisés par la plante pour la croissance de ses tissus, ils peuvent être emmagasinés dans les racines et rhizomes, les tiges et les feuilles (**Kncuk et al 2003**), ce qui explique leur diminution dans les filtres plantes. Ceci concorde avec les résultats des (**Boudouh. Y et al 2013**) et (**Derradji Manel 2015**).



Conclusion Générale et Perspectives

Conclusion Générale et Perspectives :

La pollution des milieux aquatiques est un problème majeur pour la population humaine, utilisatrice des ressources en eau, ainsi que pour les populations végétales et animales pour lesquelles l'eau représente le milieu de vie.

La composition chimique des eaux et des sédiments peut directement influencer sur la nature la diversité et les répartitions des végétaux aquatiques en particulier les plantes épuratrices puisque ceux-ci peuvent le plus souvent se nourrir dans ces deux compartiments abiotiques de l'écosystème cette influence peut être négative sur le développement végétal dans le cas de pollutions organiques ou chimiques importantes

La lentille d'eau *Lemna minor*, se distingue par son rôle de filtration et dépollution hydrique, sa capacité de dépollution lui permet de filtrer les eaux usées, par son système racinaire important, qui possède une grande faculté d'absorber les xénobiotiques.

L'épuration des eaux usées par les plantes (La Phytoépuration) est une procédure de traitement écologique, propre non polluante qui repose sur des écosystèmes dans lesquels les végétaux prennent une place importante, cette technologie au développement récent apparue en France dans l'année 80.

Dans notre cas en utilisant cette Technologie sur l'eau usée d'Oued Maboudja nous avons fait 3 L'échantillonnages de trois stations de l'amont, l'aval et le centre qui sont respectivement (ELGANTRA, ELHAJAR, PONT BOUCHET) de la ville d'Annaba nous utilisons un modèle végétal (*Lemna minor*).

Notre thème consiste à réaliser les paramètres suivants dans le laboratoire de toxicologie de la Biologie de Tébessa :

- ✚ Le Dosage de différents métaux (Fe, Zn, Ni, Mn) dans l'eau d'Oued de trois sites d'échantillonnages (S1, S2, S3) avant et après Traitement pour (l'eau) et en fonction de temps de (0j(Témoins), 14j, 21j) pour (la plante).
- ✚ les Analyses Physicochimiques de :
 - ✓ L'eau brute de 3 sites étudiés avant Traitement dans laboratoire de (l'ADE) Skanska ; des paramètres physicochimiques suivantes : T, PH, O₂ dissous, Taux d'O₂, DBO₅, NH₄, Nitrite.

- ✓ L'eau après traitement par la plante *Lemna minor* (après plantation) d'une période de 21 jours, de mêmes paramètres (T, PH, O₂ dissous, Taux d' O₂, DBO, NH₄, Nitrite).

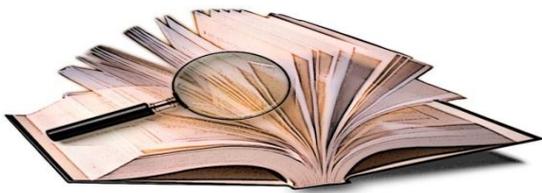
Ainsi, le traitement des eaux usées par ce procédé peut être une solution à la fois peu onéreuse et efficace, puisque, les eaux une fois épurées, peuvent être rentabilisées aussi bien pour l'irrigation que pour l'industrie.

Nos résultats ont révélé un fort pouvoir épurateur de *Lemna minor* qui s'est traduit par :

- ✓ Une diminution de la plupart des paramètres physicochimiques des eaux usées. En effet les matières en suspension(Mes), DBO₅, NH₄, Nitrite ont été enlevées avec une efficacité remarquable.
- ✓ L'un des aspects les plus marquants de notre travail, concerne l'abattement (diminution très hautement significative) des métaux : En effet, nous avons mis en évidence une forte capacité d'absorption racinaire particulièrement du Fe et Zn et Mn et aussi Ni, donc on a confirmé que la plante *lemna minor* a un fort pouvoir épurateur.

❖ Perspectives :

- Il serait souhaitable de faire d'autres études beaucoup plus approfondies en multipliant le nombre d'espèces végétales comme l'utilisation d'autre plante aquatique avec (*Lemna minor*) pour renforcé d' épuration des eaux usées .
- Faire aussi des essais combinés d'épuration chimique et biologique pour améliorer l'abattement des polluants.



*Références
bibliographiques*

A

- ABISSY, M., MANDI, L. 1999.** Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines : cas du roseau, *Rev. Sci. Eau*, 12,3, 285-315
- Abadlia S., 1999.** Etude de l'interaction entre les sels solubles et certains métaux lourds (cuivre, plomb) dans les eaux de l'Oued Meboudja (Annaba). Mémoire d'ingénieur en écologie environnement. Univ. Annaba. 50p.
- Al-Nozaily F.,Alaerts G. et Veenstra S., 2000a.** Performance of duckweed-covered sewage lagoons–I. Oxygen balance and COD removal. *Wat. Res.*, 34(10), 2727-2733.
- Al-Nozaily F.,Alaerts G.et Veenstra S., 2000b.** Performance of duckweed-covered sewage lagoons–II. Nitrogen and phosphorus balance and plant productivity. *Wat. Res.*, 34(10), 2734-2741.
- Anderson KE, Lowman Z, Stomp AM, Chang J., 2011:** Duckweed as a feed ingredient in laying hen diets and its effect on egg production and composition. *Int. J. Poultry Sci.* 10: 4-7.
- Apha., 1992.** Am. Water Works Assoc. (AWWA). et Water Environment Federation. (WEF) (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater. 18e éd., APHA, Washington, D.C.APH

B

- Bell, A.V., 1975. Base metal mine waste management in Canada. Dans :** Minerals and the environment. Institute of Mining and Metallurgy, Londres, R.-U.
- Benmeur, N., 2010.** Analyse des microorganismes présents dans les lits à macrophytes lors de la phytoépuration des eaux usées, Mémoire de magister, Université de Biskra.
- Bisson, M., Diderich, R., Hulot, C., Houeix, N., Lacroix, G., Lefevre, J.P., Magaud, H., Morin, A., 2005.** Zinc et ses dérivés (INERIS - Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques No. INERIS –DRC-01-25590- 00DF259.doc). INERIS.
- Bonomo L., Pastorelli G. et Zambon N., 1997.** Advantages and limitations of duckweed-based wastewater treatment systems. *Wat. Sci. Technol.*, 35(5), 239-246.

- Boniardi, N., Rota, R. et Nano, G., 1999.** Effect of dissolved metals of dissolved metals on the organic load removal efficiency of lemna Gibba. *Water Research*, 33(2), 530-538.
- Bravin M.N., 2008.** Procéssus rhizosphériques déterminant la biodisponibilité du cuivre pour le blé dur cultivé en sols à antécédent viticole. INRA, Montpellier, 237p.
- Britton, N.L., and H.A. Brown., 1970.** An illustrated flora of the northern united states and Canada, volumes 1,2. Dover Publications, Inc., New York, NY. Vol. 1-680 pp, Vol. 2-735 pp, Vol. 3-637 pp.
- Bruchhauser., 2010.** Cellule, ADN et unite du vivant : Cours à l'usage exclusif des élèves de sa classe de seconde 1 dans le cadre de la session de rattrapage. Pp : 2.

C

- Calamari, D. ; Naeve, H., 1994.** Revue de la pollution dans l'environnement aquatique africain. Document Technique du CPCA. No. 25. Rome, FAO . 129p.
- Campbell P., 1995.** Interaction between trace metals and aquatic organisms : A critic of free-ion activity model. In: Tessier A. and Turner D.R. Eds. Chichester, John Wiley and Sons. 102 p.
- Cecchi, F., Moret , I. et De Nardo L., 1984.** Trattamenti biologici centralizzati di liquami misti urbani-industriali . *Acqua-Aria*, 1, 45-52.
- Cheng J, Stomp AM., 2009:** Growing duckweed to recover nutrients from wastewaters and for production of fuel ethanol and animal feed. *Clean* . 37: 17-26.
- Chouteau C., 2004.** Développement d'un biocapteur conductimétrique bienzymatique à cellules algales. Chimie, Procédés, Environnement. N° d'ordre : 04- ISAL-0066, 179 p. Thèse En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat, U niversité des Freres Mentouri Constantin, 2014-2015
- Cormier , M., Simon ,L ., Jonathan, D .,Caude, F. , Jonathan , D. , Jonathan , D.,2015.** Présence de métaux dans l'eau de surface du bassin versant de la rivière Bécancour, secteur minier de Thetford Mines . *Grobec* . 22 P
- Cross J.W., 2002.** The charms of duckweed, <http://www.mobot.org/jwcross/duckweed/duckweed.htm>, (15/11/2011).

D

- Debusk T.A. et Reedy K.R., 1987.** BOD removal in floating aquatic macrophytes based wastewater treatment. *Wat. Sci. Technol.*, 19(12), 273-279.
- Demirezen D., Aksoy A. et Uruç K., 2007.** Effect of population density on growth, biomass and nickel accumulation capacity of *Lemna gibba* (Lemnaceae). *Chemosphere*, 66(3), 553-557.
- Devez A ., 2004.** Caractéristiques des risques induits par les activités agricoles sur les écosystèmes aquatiques. ENGREF. Sciences de l'eau : 206 p. Thèse En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat, Université des Freres Mentouri Constantin, 2014-2015
- Djabri L., 1991.** Mécanisme de la pollution et vulnérable des eaux de la Seybousse, origine géologique industrielle agricole et urbaine. Thèse de doctorat. Université d'Annaba. 140p
- Djabri L., Mani. A., Houll A., and Hessadi D., 1997.** Vulnérabilité à la pollution des eaux de la vallée de la Seybousse. Exemple de la zone industrielle de Oued Meboudja. Laboratoire de la pollution de l'eau. Université de Annaba. 100p.

F

- Filbin G.J. et Hough A.R., 1985.** Photosynthesis, photorespiration and productivity in *Lemna minor* L. *Limnol. Oceanogr.*, 30(2), 322-334.

G

- Gérard MIQUEL., 2001** « Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé ». Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques .
- Ghaouch, M., 1998.** Détermination des métaux lourds dans les eaux usées, épuration par des polymères d'origines naturelles et test sur les végétaux, Mémoire de DEA. Agence universitaire de la Francophonie- France
- Gilbin R., 2001.** Caractérisation de l'exposition des écosystèmes aquatiques à des produits phytosanitaires : Spéciation, biodisponibilité et toxicité. Exemple du cuivre dans les eaux de ruissellement de parcelles viticoles (Roujan, Hérault, France). *Terre et environnement*, vol. X, XXIII, 1 cbt92 p.

-Gimbert F., 2006. Cinétique du transfert de polluants métalliques du sol à l'Escargot. (EA 3184, USC INRA), n°1191, 192 p. Thèse En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat, Université des Freres Mentouri Constantin, 2014-2015

- Godfrey, R. K. and J. W. Wooten., 1979. Aquatic and wetland plants of the southeastern United States: monocotyledons. University of Georgia Press, Athens. 712 pp

-Grosclaude, G., 1999 : L'eau usages et polluants.Ed INRA, Paris 1999 tomeII

H

- Harriss, R.C. et Troup, A.G., 1969. Freshwater ferromanganese concretions: chemistry and internal structure. Science, 166 : 604 .

-Hem, J.D., 1972. Chemical factors that influence the availability of iron and manganese in aqueous systems. Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 140 : 17.

-Hillman W.S., 1961. The Lemnaceae, or duckweed: a review of the descriptive and experimental literature. Bot. Rev., 27, 221-287.

I

-INERIS., 2004. Devenir et comportement des métaux dans l'eau : biodisponibilité et modèles BLM. DRC-03-46822-FLG/JL-03. 06931/85, 83 p.

-Iqbal, S., 1999. Duckweed Aquaculture . Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology, Sandec Report, 6/99

-ISO : S., 1994. Qualité de l'eau : Dosage du cadmium par spectrométrie d'absorption atomique. Suisse : ISO 5961, 10p.

J

-Jain SK, Vasudevan P, Jha NK. Azolla pinnata R.Br., 1990. And Lemna minor L. for removal of lead and zinc from polluted water. Water Res ;24(2): 177 – 83

- James, S.C., 1977. Metals in municipal landfill leachate and their health effects. Am. J. Public Health, 67 : 429.

-Jenner, H.A., and Janssen-Mommen, J.P.M., 1989. "Control of zebra mussels in power plants and industrial settings," Proceedings of the Second International Zebra Mussel

Conference, Rochester, N.Y. November 28-29, New York Sea Grant Extension and the U.S. Fish and Wildlife Service.

-Jérôme C., 1999. « Devenir de la pollution métallique drainée par les eaux pluviales » .Thèse de doctorat, Université CLAUDE BERNARD .

K

-Kamal .M, Ghalya .A.E, Mahmoud.N, Cote.R., 2004 .Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic plants. / Environment International .1029–1039

-Koné D., 2002. Lagunage à microphytes et à macrophytes (*Pistia stratiotes*) en Afrique de l'Ouest et du Centre : état des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement. Thèse de doctorat : École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Environnement naturel – Architectural and Construction Faculty (Suisse)

-Körner S. et Vermaat J.E., 1998. The relative importance of *Lemna gibba*, bacteria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duckweed-covered domestic wastewater. Water Res., 32(12), 3651-3661.

L

- Lasfar S., Monette F., Millette L. et Azzouz A., 2007. Intrinsic growth rate: a new approach to evaluate the effects of temperature, photoperiod and phosphorusnitrogen concentrations on duckweed growth under controlled eutrophication. Water Res., 41, 2333-2340.

-Leng , RA., Stamboul , J.H. et Bell, R. , 1995 . Duckweed a potential high protein feed resource for domestic animals and fish . Livestock Research for Rural Development, 7, 1-36 .

M

-MacLatchy, J., 1992,1993. Données inédites sur les quantités estimées de nickel rejetées par les mines et les fonderies de métaux au Canada, Environnement Canada, Direction des programmes industriels, Hull (Québec).

-Marta , J. Przemyslaw , C. Ryszard , P. Tomasz ,S., 2009. The Content of Heavy Metals (Cu, Ni, Cd, Pb, Zn) in Common Reed (*Phragmites australis*) and Floating Pondweed (*Potamogeton natans*), Polish J. of Environ. Stud. Vol. 19, No. 1. 243-246.

-Mcgrath, S.P.; Shen, Z.G.; Zhao, F.J., 1997. Heavy Metal Uptake and Chemical Changes in the Rhizosphere of *Thlaspi Caerulescens* and *Thlaspi Ochroleucum* Grown in Contaminated Soils. *Plant Soil* . 188, 153–159.

-Mimeche, L., Mancer, H., Debabeche, M., 2010 . Analyse du pouvoir épuratoire D'un filtre implanté de *Phragmites Australis* pour traitement des eaux usées sous climat semi aride – région de Biskra, *Tunisian Journal of Medicinal Plants and Naturel Products*, 4, 1(1), pp. 10-15.

-MOLL, D., 2005 . Les normes de rejet des eaux et les paramètres d'analyses de la pollution (Grenoble eau pure rapport).

-Monette F., Lasfar S., Millette L. et Azzouz A., 2006. Comprehensive modeling of mat density effect on duckweed (*Lemna minor*) growth controlled eutrophication. *Water Res.*, 40(15), 2901-2910

N

-Newman M & Jagoe C., 1994. Ligands and the bioavailability of metals in aquatic environments. In: <<Bioavailability Physical, Chemical and Biological interactions>>. HamelinJ.L.L., P.F. Bergman, H.L. Benson, W.H. Ed. USA, Lewis Pub. Inc. p 39- 61.

- **Newmaster, S., A. Harris and L. Kershaw., 1997.** *Wetland Plants of Ontario*. Lone Pine Publishing, Edmonton, Alberta. 240 pp.

-Nieboer E, et Richardson D.H., 1980. The replacement of the nondescript term 'heavy metals' by a biological and chemically significant classification of metal ions. *Environmental Pollution* 1B, p. 3-26. Thèse En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat, U niversité des Freres Mentouri Constantin, 2014-2015

O

-O'Donnel J., Kaplan B., Allen H., 1985. Bioavailability of trace metals in natural water. 7th Symposium: Aquatic Toxicology and Hazard assessment, Philadelphia, ASTM.

-OpenClassrooms ., 2013 La chimie à partie de zéro <https://openclassrooms.com/courses/la-chimie-a-partir-de-zero/classons-leselements-2>.

-Oron, G . et Willers , H., 1989 . Effects of wastes quality on treatment efficiency with duckweed . Water Science and Technology, 21 , 639-645

P

-Pardo, R., Herguedas, M., Barrado, E., Vega, M., 2003. Biosorption of cadmium, copper, lead and zinc by inactive biomass of *Pseudomonas Putida*. Anal Bioanal Chem 376, 26-32.

-Poulet J.B., Terfous A., Dap S. et Ghenaim A., 2004. Stations d'épuration à lits filtrants plantes de macrophytes. INSA Strasbourg – France.

-Porath, D ., Hepher, B . et Koton , A . , 1979 . Duckweed as an aquatic crop : Evaluation of clones for Aquatic Botanic, 7, 273-278.

R

-Rakotoarison H.A., 2008.Analyse de la qualité des eaux usées municipales dans la commune urbaine de Toliara: proposition de dimensionnement d'une station de lagunage. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention de Diplôme d'Etudes Approfondies. Département de Chimie Minérale et de Chimie Physique. Faculté des Sciences. Université d'Antananarivo. 112 p.

-Rashidi.,2015. Aquatic Plants As Phytoindicator For Heavy Metals Contaminant In Polluted Freshwater Bodies.Full Paper Proceeding,Vo-1,268-276

-Ramade, F., 1992. Précis d'Ecotoxicologie. Ed. Masson. Paris. 224 p.

-Rejsek, F., 2002 : Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques.Ed CRDP, Aquitaine. France

-Rio, B., 2006. L'eau et la vie. Edition du Dauphin, 217 p. Thèse En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat, Université des Freres Mentouri Constantin, 2014-2015

-Rodolphe. G ., 2001 .« Caractérisation de l'exposition des écosystèmes aquatiques à des produits phytosanitaires : spéciation, biodisponibilité et toxicité : Exemple du cuivre dans les eaux de ruissellement de parcelles viticoles (Roujan, Hérault, France) ».Thèse de doctorat, Faculté des sciences de l'Université de Genève l'Université Montpellier 1.

- Rossman, R. et Callendar, E.,1968. Manganese nodules in Lake Michigan. Science, 162 : 1123 .

S

-Samecka-Cymerman RB, Kempers AJ., 1996. Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macrophytes around Wroclaw, Poland. *Ecotoxicol Environ Saf* ;35:242 – 7.

T

-Tiglyene, S., Mandi, L. et Jaouda, A.E. , 2005. Enlèvement du chrome par infiltration verticale sur lits de *Phragmites australis* (Cav.), *Rev. Sci. Eau* . p177-198.

-Town R.M., Fillala M., 2002. Implication of natural organic matter binding heterogeneity on understanding lead (II) complexation in aquatic systems. *The science of total environment*, Vol. 300, p. 143-154.

-Taraldsen, J.E. and T.J. Norberg-King., 1990. New method for determining effluent toxicity using duckweed (*Lemna minor*). *Environ. Toxicol. Chem.*, 9: 761–7

V

-Vermaat J.E. et Hanif M.K., 1998. Performance of common duckweed species (*Lemnaceae*) and waterfern *Azolla filiculoides* on different types of waste water. *Wat. Res.*, 32(9), 2569-2576.

-Vincent,C. et Dufour. S.,2006-2007.Phytoépuration et récupération des eaux de pluies.lagunage naturel :Du WC au biotope naturel !CNT-AIT63, 2 place Poly, 63100 Clermont Ferrand.

W

-W ang, W ., 1991. Literature review on higher plants for toxicity testing. *W ater Air Soil Pollut.* 59:381-400

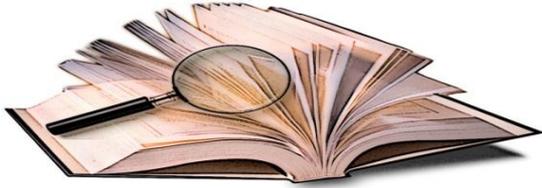
Z

-Zayed A., Gowthaman S., Terry N., 1998. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: I. Duckweed. *J. Environ. Qual.*27, 715-721.

-Zoller, W.H., 1984. Anthropogenic perturbations of metal fluxes into the atmosphere.

Dans changing metal cycles and human health, édité par J.O. Nriagu. Dahlem konferenzen. Berlin, Springer, pp 27-34

- **Ziegler P, Adelman K, Zimmer S, Schmidt C, Appenroth KJ., 2014.** Relative in vitro growth rates of duckweeds (Lemnaceae), the most rapidly growing higher plants. Plant Biology, in press.



Annexes

Les Annexes :

✚ Les normes des eaux usées rejetées selon l'OMS (1971).

Paramètres	Bonne ou très bonne qualité	Qualité acceptable	Qualité médiocre	Mauvaise ou très mauvaise
O ₂ dissous mg/l	>5	≥3	≥1	<1
O ₂ dissous %	≥70	≥50	≥10	<10
DBO ₅ mg / l	≤5	≤10	25	>25
DCO mg / l	≤25	≤40	80	>80
NO ₃ mg / l	≤25	≤50	80	>80
NH ₄ ⁺ mg / l	≤0.5	≤2	8	>8
NO ₂ ⁻ mg / l	≤0.3	≤1	>1	-
NTK mg / l	≤2	≤3	10	>10
PO ₃₋₄ mg / l	≤0.5	≤1	2	>2
MES mg / l	≤70	-	>70	-
Phosphore total mg / l	≤0.3	≤0.6	1	>1
Conductivité	≤2	-	2000	-
Ph	≥6.5 et ≤ 8.5	-	<6.5 ou >8.5	-

Par rapport **Les normes des eaux usées rejetées** mentionné dans le tableau par l'OMS (1971) (Les Annexes)en a trouvé que :

***O₂ dissous** : après TR=2% ≥1 qui signifie une qualité médiocre d'eau après plantation

***Mes** : après TR=58% ≤70 qui signifie une bonne qualité d'eau après plantation.

***DBO₅** : après TR=6% ≤ 10 qui signifie qualité acceptable d'eau après plantation.

***NH₄** : après TR=0% ≤ 0.5 qui signifie une bonne qualité d'eau après plantation.

***Nitrite** : après TR=0% ≤0.3 qui signifie une bonne qualité d'eau après plantation.

Donc selon notre résultat nous avons observés le rôle important de la phytoépuration des eaux usées de Oued Maboudja dans les trois sites étudiés (S1, S2, S3) par la plante (*lemna minor*) qui fait l'épuration des eaux usées et diminue la pollution et transforme la qualité d'eau mauvaise à une qualité acceptable ou médiocre ou bonne.

La méthode de préparation que nous avons utilisée pour le dosage des métaux lourds ciblé dans l'eau d'Oued MEBOUDJA est :

➤ **Méthode**

Acidifier l'échantillon dès que possible après l'échantillonnage en ajoutant 1 ml d'acide Nitrique (65%) par litre d'échantillon. Si nécessaire, rajouter de l'acide pour assurer un pH inférieur à 2. Homogénéiser l'échantillon, par exemple, en le secouant énergiquement. Introduire 100 ml de l'échantillon homogénéisé dans un bécher de 250 ml. Ajouter 1 ml d'acide Nitrique (65%) et 1 ml de peroxyde d'hydrogène (32%). Chauffer le bécher sur une plaque chauffante afin de concentrer le mélange, jusqu'à environ 0,5 ml. Il est essentiel que l'échantillon ne soit pas réduit à sec. En cas d'importante contamination organique de l'échantillon d'eau, du peroxyde d'hydrogène est ajouté avec précaution. Le résidu est dissout dans 1 ml d'acide Nitrique (65%) et un peu d'eau ultra pure. L'ensemble est transféré dans une fiole jaugée de 100 ml puis complété au volume avec de l'eau ultra pure. (Iso : Suisse, 1994).

➤ **Minéralisation de l'échantillon :**

La minéralisation a été effectuée à partir d'un four à micro-onde modifié d'une puissance de 1000 W. après le séchage de l'échantillon de notre plante *lemna minor* dans l'étuve à 53°C pendant 12 heures, on met l'échantillon dans un bécher puis on rajoute 10 ml d'acide Nitrique supra pur à 65 %, on laisse reposer sur la plaque chauffante jusqu'à séchage de l'échantillon. Puis on met 2ml d'Acide Nitrique par la micropipette ensuite on complète avec de l'eau ultra pure (l'eau distillée) jusqu'à 50ml, et à la fin on met la solution dans des bouteilles avec des étiquettes et les met toutes les bouteilles dans le réfrigérateur jusqu'à le temps de dosage.