

République Algérienne Démocratique et populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى  
كلية علوم الطبيعة والحياة  
المكتبة  
رقم الجرد : 19.43.....

Université de JIJEL

جامعة جيجل

Faculté des sciences exactes et de science de la nature et de la vie

كلية العلوم الدقيقة و علوم الطبيعة و الحياة

Département de biologie animale et végétale

قسم البيولوجيا الحيوانية و النباتية



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention de diplôme : Master,

Option : Toxicologie de l'environnement

*Thème*

Contribution à l'étude de la contamination par les métaux  
Lourds de certaines espèces macrophytes aquatiques du marais  
de Redjla Taher (Wilaya de Jijel)

Président : M<sup>r</sup> Krika .A

Préparé par :

Examineur : M<sup>elle</sup> Benterrouche I.

- M<sup>erimeche</sup> Hiba.
- Boulahchiche Fadia.

Encadreur : M<sup>r</sup> Mayache B.



Numéro d'ordre :.....

Session :.....

Année universitaire 2011-2012



# Remerciement

*Nous remercions DIEU le tout puissant qui  
nous a donné la force, la volante et le  
courage pour accomplir ce travail.*

*Nous tenons à remercier M Mayache qui nous  
a permis de découvrir un domaine passionnant*

*De l'Ecotoxicologie.*

*Nous la remercions vivement d'avoir proposé  
ce sujet et de nous encadré pendant tout*

*Cette année.*

*Nous remercions aussi M<sup>me</sup> Ben charif*

*Nous remercions vont également aux nombre  
de jury qui ont accepté de juger notre travail.*

*Nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont  
entourés durant ces cinq ans, au sein de*

*la promotion 2012.*

*Enfin nous exprimons notre profonde  
reconnaissance à tous les Enseignants qui ont  
contribué à notre formation.*





# Dédicaces

*Au nom de dieu le tout puissant qui m'a éclairé le bon chemin.*

*A mes chères parents que dieu me les garde*

*A ma sœur Aziza et samari Hocine et leur fille Célia*

*A ma sœur Hadjiba*

*A ma grande famille.*

*A qui je dédie se modeste travail de fin d'étude pour leur affection et gratitude, pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour moi, qu'ils trouvent ici l'expression bien modeste de ma reconnaissance.*

*A mes amis Massouda ,Zayneb et Lamia*

*A tous mes amis de l'université :*

*Fadia , Zina, Fatima, Fadila , Lamia , Amel et Hasna*

*A tous mes collègues de promotion 2012.*

*A tous ceux que j'aime*

*Hiba Mérimeche*





# Dédicaces

*Au nom de dieu le tout puissant qui m'a éclairé le bon chemin.*

*A mes chères parents que dieu me les garde*

*A mes sœurs (Samira, Wassila, Hadjer et Abla)*

*A mes frères (Nasser, Mourad et Ilyas)*

*A ma grande famille.*

*A qui je dédie ce modeste travail de fin d'étude pour leur affection et gratitude, pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour moi, qu'ils trouvent ici l'expression bien modeste de ma reconnaissance.*

*A mes amis Imane ,Fatima et Chadia*

*A tous mes amis de l'université :*

*Hiba, Zina, Fatima, Fadila, Lamia, Amel et Hasna*

*A tous mes collègues de promotion 2012.*

*A tous ceux que j'aime*

*Fadia Boulahchiche*



## **SOMMAIRE**

**REMERCIEMENT**

**LISTE DES ABREVIATIONS**

**LISTE DES FIGURES**

**LISTE DES TABLEAUX**

**INTRODUCTION .....1**

### **Partie I : Synthèse bibliographique**

**Chapitre I : Généralité sur les macrophytes aquatiques**

**I-1 Définition des macrophytes.....3**

**I-2 Principaux types de macrophytes .....3**

**I-3 Rôles des macrophytes aquatiques .....6**

**Chapitre II phytoremédiation**

**II-1 Définitions .....9**

**II-1-1 Phytoremediation .....9**

**II-1-2 Phytoextraction .....9**

**II-1-3 La Phytostabilisation.....10**

**II-1-4 Rhizofiltration .....11**

**II-1-5Phytodegradation.....12**

**II-1-6 La Phytotransformation .....12**

**II-1-7 La Phytostimulation .....12**

**II-1-8La Phytovolatisation .....13**

**II-2 Phytoremédiation des sols contaminés par les métaux :.....13**

**II-2-1 Phytoextraction continue.....13**

**II-2-2 Phytoextraction Assistée .....14**

**II-3 Exemples des plantes utilisées dans la phytoremédiation par les métaux lourds.....16**

**II-4 plantes métallophiles :.....17**

<b>II-4-1 Définition.....</b>	<b>17</b>
<b>II-4-2 Exemples d'espèces métallophiles .....</b>	<b>17</b>

## **Partie II : Partie pratique**

### **Chapitre III: Matériel et méthodes :**

<b>III-1-Présentation de la zone d'étude.....</b>	<b>20</b>
<b>III-2-Présentation du marais.....</b>	<b>20</b>
<b>III-2-1 Situation géographique du Marais .....</b>	<b>21</b>
<b>III-2-2 Structure socio-économique et les activités humaines .....</b>	<b>22</b>
<b>III-2-3-Réseau hydrographique .....</b>	<b>22</b>
<b>III-2-4 Climatologie.....</b>	<b>23</b>
<b>a- Précipitations.....</b>	<b>23</b>
<b>b- Température.....</b>	<b>23</b>
<b>c- Synthèse climatique.....</b>	<b>24</b>
<b>III-3- choix des plantes .....</b>	<b>25</b>

### **Chapitre VI : Résultats et discussion**

<b>VI-1 Résultats .....</b>	<b>27</b>
<b>VI-1-1 Plomb .....</b>	<b>27</b>
<b>VI-1-2 Cadmium .....</b>	<b>28</b>
<b>VI-1-3 le chrome.....</b>	<b>29</b>
<b>VI-1-4 Dynamique des métaux lourds.....</b>	<b>29</b>
<b>a-Transfert entre le sol et les plantes.....</b>	<b>30</b>
<b>b- Transfert entre la solution du sol et les racines des plantes .....</b>	<b>31</b>
<b>b-1 Translocation sol –racine.....</b>	<b>31</b>
<b>b-2 Translocation racine –partie aérienne.....</b>	<b>32</b>

<b>VI-2 Discussion.....</b>	<b>33</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>38</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>40</b>
<b>Annexes</b>	

## Liste des abréviations :

Cd : cadmium

Cu : cuivre

EDDS : ethylene diamine disuccinate.

EDTA : éthylène diamine tétra acetic acid

EGTA : ethylene glyco-O,O'-bis-[2-amino-ethyl]-N,N,N',N',-tetra acetic acid.

Et : éléments traces.

ETMs : éléments traces métalliques

FBC : facteur de bioconcentration

FT : facteur de transfert

HAP : hydrocarbure aromatique polycyclique

Hg : mercure

Kg : kilogramme

Mg : milligramme

Ni : nickel

Pb : plomb

Ppm : partie par million

Se : sélénium

## Liste des figures :

### Synthèse bibliographique

<b>Figure : 01</b> exemple de peuplement de macrophytes commun dans les rivières à courant rapide propres aux écosystèmes lotiques d'Europe tempéré.....	4
<b>Figure : 02</b> exemple de peuplement de macrophytes commun dans la zone riparienne des lacs et autres écosystèmes lentiques des pays tempérés.....	4
<b>Figure03</b> : Différents processus de la phytoremédiation.....	9
<b>Figure 04:</b> processus de phytoextraction.....	10
<b>Figure05</b> : Processus de la phytostabilisation des métaux lourds.....	11
<b>Figure 06</b> : Processus de la rhizofiltration.....	12
<b>Figure07</b> : La phytoextraction continu.....	14
<b>Figure08:</b> La phytoextraction induit par chélateur.....	16

### Partie pratique

<b>Figure 09</b> : Photo satellite du Territoire d'étude en 2008.....	20
<b>Figure10:</b> position géographique du marais de <i>Redjla</i> .....	21
<b>Figure11</b> : diagramme Ombro-thermique.....	25
<b>Figure12</b> : <i>Phragmites australis</i> .....	26
<b>Figure13</b> : <i>Sparganium erectum</i> .....	26
<b>Figure 14</b> : teneurs de Pb dans les plantes .....	27
<b>Figure 15</b> : teneurs de Cd dans les plantes .....	28
<b>Figure 16</b> : teneurs de Cr dans les plantes.....	29
<b>Figure 17</b> : Facteurs de bioconcentration.....	31
<b>Figure 18:</b> Facteurs de transfert entre le sol et les racines.....	32
<b>Figure 19</b> : Facteurs de transfert entre les racines et les feuilles.....	32

## Liste des tableaux

### Synthèse bibliographique

**Tableau 01** : Classification des principales catégories des macrophytes.....4

**Tableau 02** : Représente quelques espèces métallophiles et leurs caractéristiques.....12

### Partie pratique

**Tableau 03** : Moyennes mensuelles des précipitations en mm(1989-2009) .....23

**Tableau 04** : Moyennes mensuelles des températures (1989-2009) .....24

**Tableau 05** : Teneur en ETMs dans les plantes.....27

**Tableau 06**: concentration des métaux (Pb, Cd et Cr ) dans les macrophytes et le sol.....30

# **INTRODUCTION**

### Introduction

Les écosystèmes aquatiques sont souvent victimes de pollution chimique et microbiologique du fait qu'ils sont exposés à de nombreuses contaminations, ce qui engendre généralement des dégradations graves au niveau des différents compartiments qui les constituent (eaux, faune et flore) et par conséquent une influence sur la santé publique.

Parmi les contaminants majeurs de l'environnement, les métaux lourds posent de sérieux problèmes écologiques, tant par le caractère ubiquiste de leur présence au sein de la biosphère que par leur toxicité. Leur présence dans l'environnement et leur bioaccumulation potentielle, induit des effets dévastateurs sur la balance écologique de l'environnement (Manda et al., 2010).

Situé au nord –est de la wilaya de Jijel dans la commune de Taher, le marais de Ghedir EL- Mardj a connu de nombreuses activités humaines (agriculture, transports, accumulation de déchets,...) contribuent à une multiplication de contaminants organiques et métalliques présents dans les eaux et les sols. Ces contaminants peuvent avoir des effets sur l'environnement et la santé. Ils peuvent affecter la biodiversité du marais et engendrer le ralentissement, ou l'arrêt, de la croissance et du développement du monde animal, végétal et des micro-organismes. Mais ils peuvent également s'insérer dans la chaîne alimentaire et s'accumuler dans l'alimentation humaine.

Les sols du marais peuvent être contaminés par de multiples polluants aux activités humaines. Etant donné le coût élevé d'élimination de cette pollution par les techniques physico-chimiques, il est économiquement impossible de traiter tous ce site.

L'identification des mécanismes de transport et de transfert des métaux lourds dans la plante peut être valorisée pour le développement de techniques de dépollution alternatives des techniques physico-chimiques, telles que la phytoremédiation ; qui est l'utilisation des plantes dans la décontamination des sols pollués.

Beaucoup des plantes en présence de concentrations importantes en métaux lourds meurent, d'autres en revanche peuvent se développer sur des sols riches en métaux lourds et voire les accumuler dans certains organes (racines, feuilles). Afin d'améliorer les connaissances des mécanismes de circulation des métaux dans la plante, s'inscrit notre travail dans le but de sélectionner les espèces appropriées pour la phytoremédiation et la décontamination du marais. Dans ce cadre deux macrophytes aquatiques (*Phragmites australis* L. et *Sparganium erectum* L.) ont été choisies pour la première étape de l'étude.

Notre travail est structuré de la manière suivante :

-Une première partie consacrée à une synthèse bibliographique, constituée de deux chapitres. Le premier chapitre abordera des généralités sur les macrophytes aquatiques, et le deuxième apportera sur la phytoremédiation.

-Une seconde partie qui est la partie pratique, constituée de deux chapitres, ou le premier traitera le matériel et les méthodes utilisées et le deuxième est consacré aux résultats et discussion.

Le travail sera clôturé par une conclusion générale.

**Partie I**  
**Synthèse**  
**bibliographique**

**Chapitre I**  
**Macrophytes aquatiques**

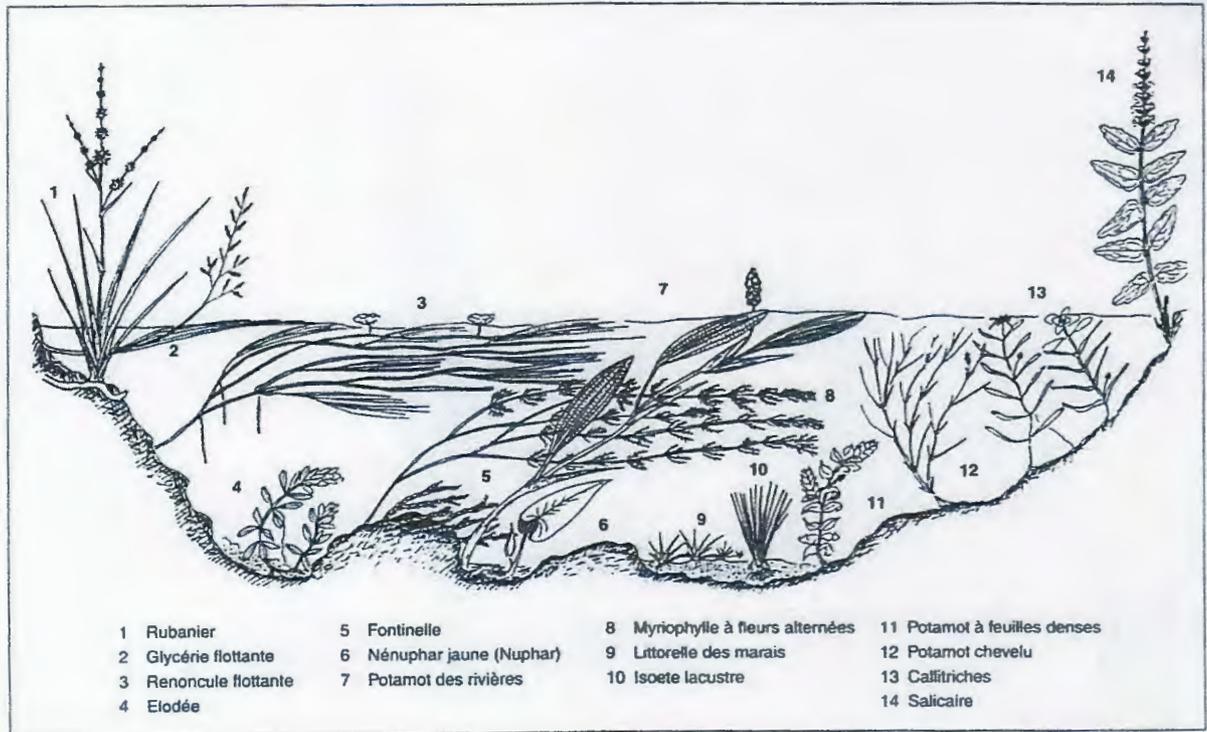
### I-1 Définition des macrophytes

Macrophytes terme désignant les végétaux de grande taille tant cryptogames que phanérogames qui croissent dans la zone riparienne des écosystèmes aquatiques. (Ramade, 1998, 2002). En milieu marin, ils sont généralement localisés dans la zone médio- et infralittorale et sont représentés par des algues de grande taille en particulier des Phaeophycées; fucus, laminaires et gigantesques *Macrocystis pyrifera* des rivages des zone tempérées du Pacifique – ainsi que par des phanérogames marines tels les posidonies en Méditerranée. Dans la zone riparienne des écosystèmes continentaux, qu'ils soient lagunaires ou dulçaquicoles, ils sont essentiellement représentés par des Bryophytes, des characées et des angiospermes aquatiques, auxquels s'ajoutent dans les écosystèmes limniques tropicaux certains Filicophytes. Dans les zones humides des région tempérées paléarctiques, les roseaux (*Phragmites*, *Typha*), les scirpes, les nénuphar, les renoncules d'eau, les *Potamogeton*, ou encore les cératophylles constituent quelques exemples de macrophytes communs et dominants des hydrophytocoenoses de ces biotopes lenticques (Ramade, 2000).

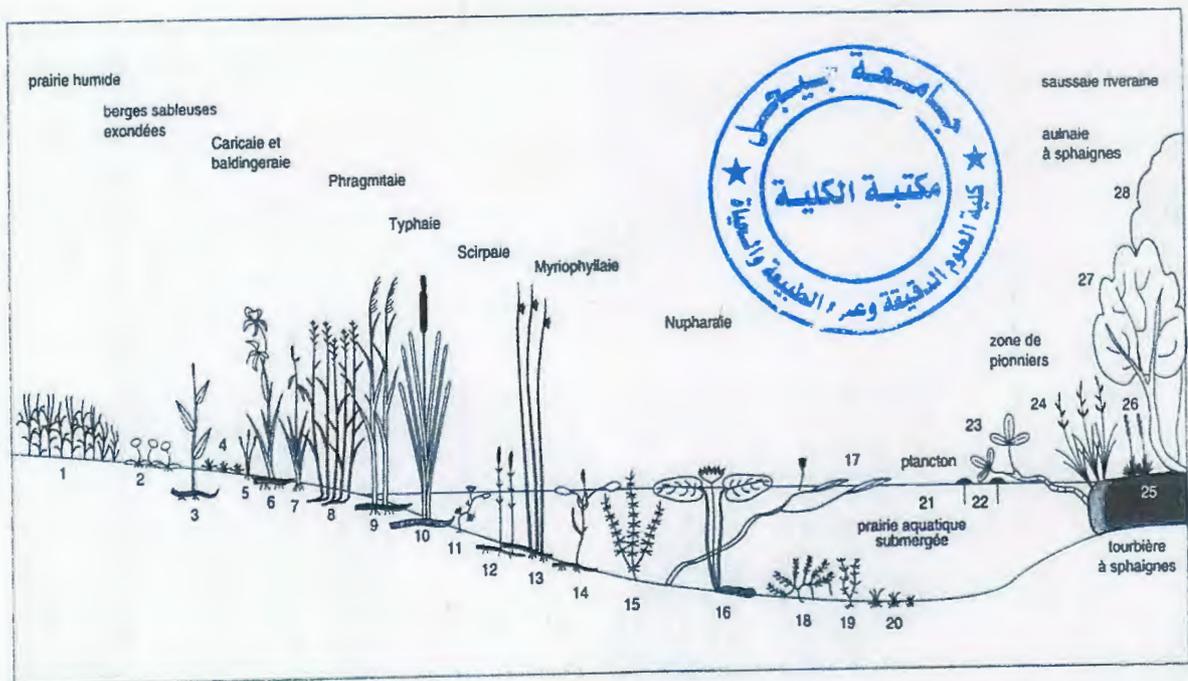
### I-2 Principaux types de macrophytes :

On distingue plusieurs types de macrophytes en fonction de leurs adaptations à un type d'écotope donné (fig. 01 et 02), deux grandes catégories de macrophytes sont distinguées :

- **Amphiphytes** : qui englobent l'ensemble des plantes amphibies on peut citer les roseaux, typha, Phragmites, les scirpes, les papyrus, les prèles aquatiques, les joncs, les sagittaires, etc.
- **Hydrophytes**, regroupant les espèces qui croissent en pleine eau on distingue :
  - ✚ Les Rhizosphères, plantes fixées au substrat (sédiment ou fond d'une autre nature minéralogiques), à feuilles flottantes avec ou non présence de feuilles submergées : lotus, nénuphars, *Nymphaea*, *Potamogeton natans*, *Victoria*.
  - ✚ Les Emménophytes, plantes intra aquatiques, entièrement submergées, dépourvues d'organes de flottaison, comme les *Myriophyllum*, *Najas*, et divers *Potamogeton*, etc.
  - ✚ Les Pleustophytes, plantes libres non enracinées, flottantes à la surface de l'eau, parmi lesquelles on peut citer les lentilles d'eau (lemnacées), les jacinthes d'eau (*Eichornia*), les *Salvinia*, etc. ou encore entièrement immergées : *Ceratophyllum*, par exemple (Tab. 1) (Ramade, 1998; 2002).



**Figure 01:** Exemple de peuplement de macrophytes commun dans les rivières à courant rapide propres aux écosystèmes lotiques d'Europe tempérée (Ramade, 1998).



**Figure 02:** Exemple de peuplement de macrophytes commun dans la zone riparienne des lacs et autres écosystèmes lentiques des pays tempérés (Ramade, 1998).

**Tableau 01** : Classification des principales catégories des macrophytes (Ramade, 1998)

Catégorie	Type	Caractéristiques	Exemples
Amphiphytes			
	Hélophytes	Plantes pourvues de racines à pory dressé : parties inférieures la plupart du temps immergées ; feuilles et inflorescences hors de l'eau	<i>Typha latifolia</i> , <i>Phragmites sp</i> , <i>Scripus sp</i> papyrus, prèles aquatiques, etc.
	Pseudohydrophytes	Plantes entièrement immergées en règle générale mais dont le cycle vital exige une phase exondée des parties végétatives pour la reproduction.	<i>Juncus bulbosa</i> , sagittaire
	Pleustohélophytes	Plantes fixée dans ses jeunes stades, puis se détachants et flottant en surface.	<i>Glyceria fluitans</i>
Hydrophytes			
	Rhizosphères	Plantes fixées au substrat (sédiment ou fond d'une autre nature minéralogique) à feuilles flottantes avec ou non présence des feuilles submergées.	Lotus, <i>Nuphar</i> <i>Nymphaea</i> , <i>Potamogeton</i> <i>natans</i> , <i>Victoria</i> <i>Régis</i>
	Emménophytes	Plantes intra-aquatiques, entièrement submergées, dépourvues d'organes de flottation	<i>Myriophyllum</i> , <i>Najas</i> divers <i>Potamogeton</i> , etc.
	Pleustophytes	Plantes libres non enracinées flottantes à la surface de l'eau à l'exception du système racinaires ; ou au contraire entièrement immergées	Lemnacées, <i>Hydrocharis</i> , <i>Eichornia</i> , <i>Salvinia</i> , <i>Ceratophyllum</i> , <i>Utricularia</i>

### I-3 Rôles des macrophytes aquatiques :

La présence de plantes aquatiques dans un lac n'est pas nécessairement un signe de dégradation de sa santé. Leur présence est importante, car elles contribuent au maintien de l'équilibre de l'écosystème du lac.

#### a. Rôle physico-chimique

L'activité photosynthétique diurne des végétaux chlorophylliens produit de l'oxygène et absorbe le gaz carbonique.

Quelles que soient leurs formes et leurs dimensions, les plantes sont indispensables dans tout écosystème aquatique. Durant la période nocturne, la fonction chlorophyllienne ne s'effectue pas, les végétaux, comme les animaux, utilisent l'oxygène dissous dans l'eau. La quantité d'oxygène produite pendant le jour dépend des caractéristiques de la plante (état physiologique) et des paramètres propres au substrat aqueux (insolation, température, pourcentage de saturation du milieu). L'oxygène libéré, outre de permettre la respiration des animaux, a pour rôle essentiel de favoriser les oxydations (nitrifications). La fixation du carbone du gaz carbonique ou des bicarbonates affecte leurs teneurs dans les eaux et s'accompagne d'une élévation du pH. En période de végétation importante (Barbe, 1984).

L'écran que constituent les pleustophytes (*Lemna sp.*) ou les hydrophytes fixées à feuilles flottantes (Nymphéacées, *Trapa natans*) limite la pénétration du rayonnement lumineux et le développement de la végétation sous-jacente (hydrophytes immergés, phytoplancton). Simultanément ce tapis végétal joue un rôle de barrière entre l'eau et l'atmosphère, limitant les échanges thermiques et engendre ainsi une stratification thermique estivale peu marquée (Juget et Rostan, 1973).

#### b. Rôle biologique

##### b.1. Production primaire

Les végétaux constituent l'élément de base des chaînes alimentaires des biocénoses aquatiques. La production de matière organique à partir de substances dissoutes ou colloïdales dans l'eau est l'expression de la synthèse du vivant à partir des composés élémentaires (Belgers et al. , 2009 ; Vardanyan, 2006).

## **b.2. Diversification des habitats**

Les peuplements végétaux et animaux au sein du milieu aquatique sont liés les uns aux autres non seulement par la nourriture que les premiers fournissent aux seconds mais également par les supports et les abris qu'ils leur procurent. En effet, beaucoup d'algues benthiques microscopiques (diatomées) sont fixées sur la tige ou les feuilles des macrophytes (épiphytes) (Belgers et al. , 2009 ; Vardanyan, 2006).

## **b.3. Source de nourriture**

Les végétaux peuvent être consommés directement par les organismes phytophages ou indirectement par des prédateurs du deuxième ou troisième ordre. Les algues planctoniques ou benthiques servent de nourriture à tous les alevins et à quelques poissons adultes (hotu, gardon, corégone). Leurs principaux consommateurs sont les petits invertébrés (rotifères, cladocères, copépodes) qui constituent la masse essentielle de la chaîne alimentaire des poissons. Certaines espèces de poissons (Carpes, cyprinidés asiatiques) sont herbivores et consomment feuilles ou tiges de phanérogames.

Les mollusques, les crustacés et les larves d'insectes se nourrissent des plantes aquatiques.

Le ragondin (*Mtyocastor eoypuj*) mange de préférence les rhizomes des nymphéacées ou de certains héliophytes.

## **b.4. Ombrage**

Tel un parasol, le feuillage des plantes aquatiques protège l'eau contre les rayons du soleil contribuant à maintenir une température stable et tempérée dans la zone littorale, ce qui favorise l'épanouissement d'une faune et d'une flore diversifiées. (Anonyme, 2009).

## **c. Rôle mécanique**

### **c .1 . Entrave à l'écoulement**

Le volume occupé par les végétaux peut atteindre des proportions importantes dans certains cours d'eau. En réduisant la valeur de la section mouillée originelle, les plantes font diminuer la vitesse d'écoulement et augmenter la hauteur d'eau. L'existence d'herbiers fixateurs des substrats meubles en période d'étiage peut engendrer des modifications des fonds et des rives en créant des turbulences érosives au moment des crues.

La végétation dense favorise la sédimentation des particules en suspension. Les débris organiques ou minéraux ainsi piégés contribuent à la formation d'embâcles préjudiciables à l'écoulement des eaux (Dawson, 1978).

### **c. 2. Consolidation des éléments meubles et fixation des berges.**

Les sédiments déposés peuvent être ultérieurement fixés, les plantes s'y installent et les stabilisent. Racines et rhizomes consolident efficacement des bancs de matériaux fins qui, dans des conditions normales d'écoulement, seraient entraînés vers l'aval. En bordure des eaux stagnantes les hélophytes s'opposent à l'action érosive des vagues à la fois en les affaiblissant et en fixant les éléments du substrat (Wetzel et Hough, 1973).

### **c.3. Filtration et absorption**

Les plantes aquatiques ont un rôle important à jouer dans la filtration de l'eau et dans l'absorption des substances polluantes et des nutriments en excès. Par exemple, elles utilisent le phosphore pour croître, limitant la prolifération des algues en utilisant une partie du surplus (Anonyme, 2009).

### **c.4. Valeur indicatrice du degré de pollution**

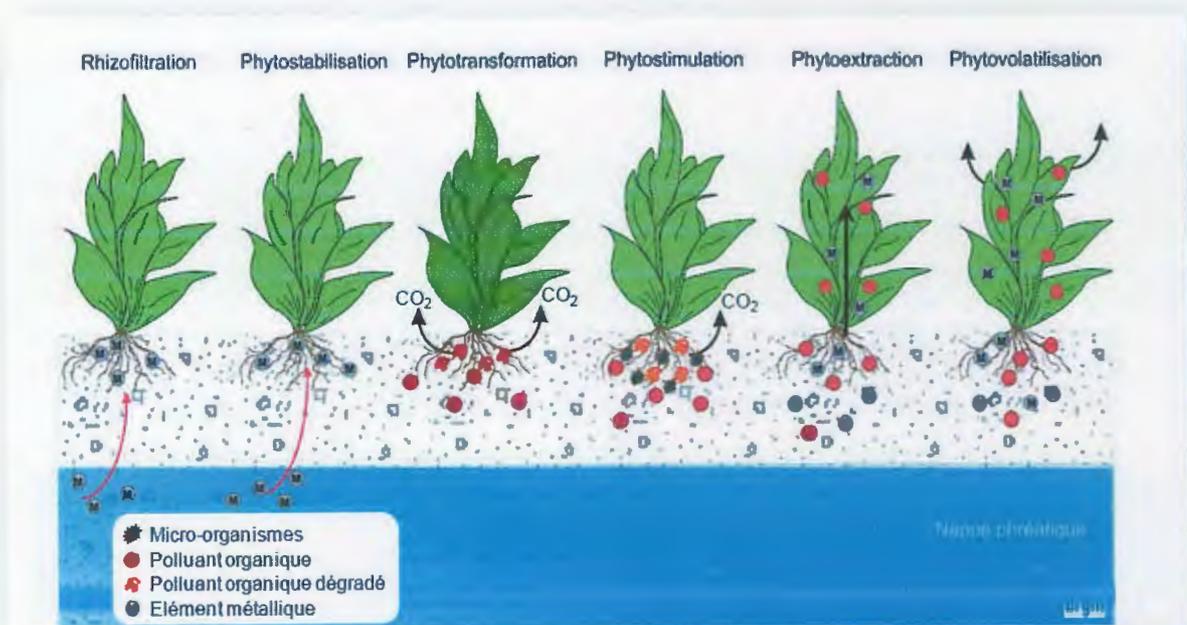
Les macrophytes sont sensibles à la qualité de l'eau et du sédiment ce qui en fait de bons indicateurs biologiques de la qualité de l'eau. La présence, la prolifération ou au contraire la disparition d'espèces de macrophytes indiquent des niveaux de pollution différents, un changement d'apport en nutriments ou des fluctuations du niveau de l'eau peuvent avoir un impact sur la composition de leurs populations (diminution ou augmentation du nombre de plantes, modification des espèces présentes). La végétation aquatique fait partie intégrante de l'équilibre naturel complexe d'un lac. Sa diversité est le gage d'une valeur écologique élevée et toute atteinte à son intégrité aura des répercussions sur l'ensemble de l'écosystème (Megan et al., 2012).

**Chapitre : II**  
**Phytoremediation**

## II-1 Définitions

**II-1-1 Phytoremédiation:** phytoremédiation est une technologie émergente qui emploie l'utilisation de plantes supérieures pour la dépollution des environnements contaminés (Visoottiviset et al., 2002 ; Marijan et al., 2008) , afin d'immobiliser puis d'extraire les contaminants qu'ils renferment. (Ramade, 2000 ; 2002). Il s'agit d'une méthode de dépollution scientifiquement complexe qui ne se réduit pas à l'ensemencement de graines (Delage et al 2005). Elle consiste donc à extraire les métaux et les produits organiques, comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques persistant et souvent toxique, des sols pollués à l'aide des cultures des plantes hyperaccumulatrices (Lozet et al 2002).

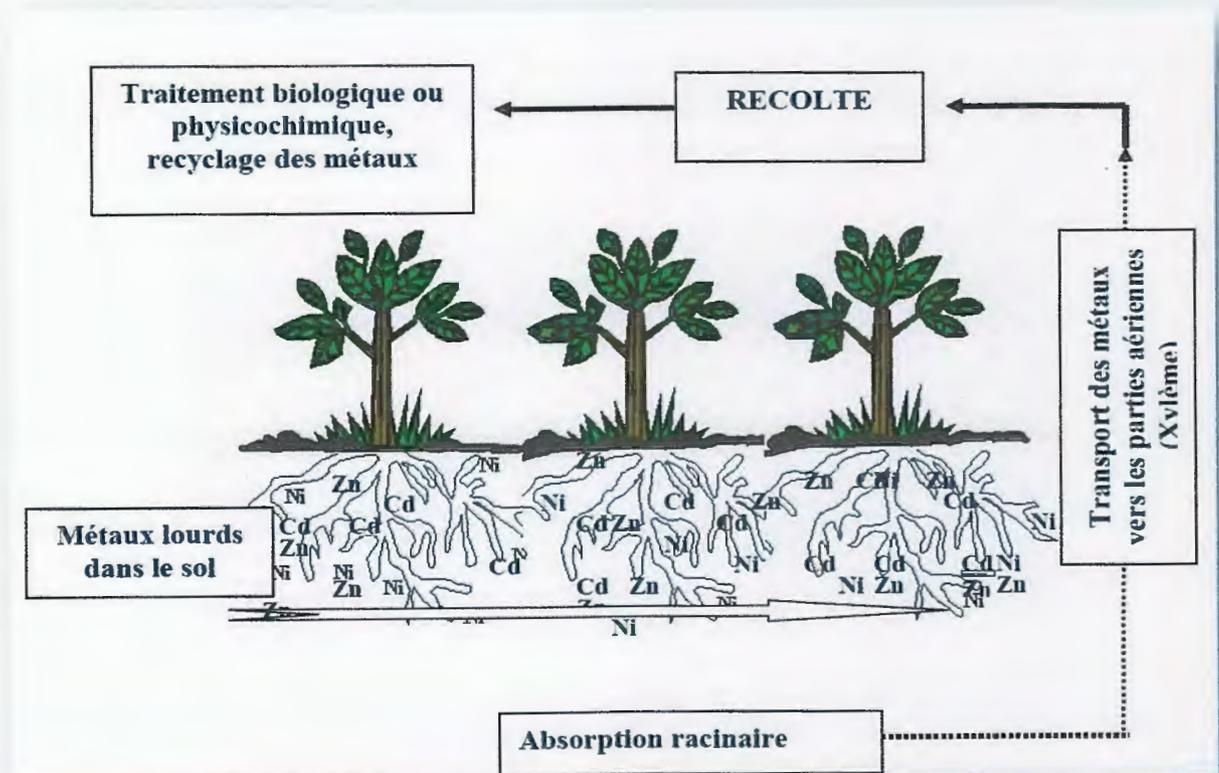
- Le principe de base est identique pour tous : des végétaux (supérieurs) spécifiques sont plantés sur la zone à traiter, soit directement dans un sol en place ou sur des dépôts de matériaux, soit dans une unité spéciale par où va transiter un effluent ou une eau contaminée. Les familles de polluants concernés sont d'abord les métaux lourds et les hydrocarbures (Lecomte, 1998).



**Figure03 :** Différents processus de la phytoremédiation (Angélique, 2011).

**II-1-2 La Phytoextraction :** est un processus d'extraction et d'accumulation des contaminants dans les tissus des racines et les parties aériennes des végétaux (fig. 04) (Lecomte, 1998). Elle consiste à cultiver, sur les sols contaminés, des plantes sélectionnées pour leur aptitude à concentrer tel ou tel métal lourd (Gobat et al., 2003). On utilise des plantes

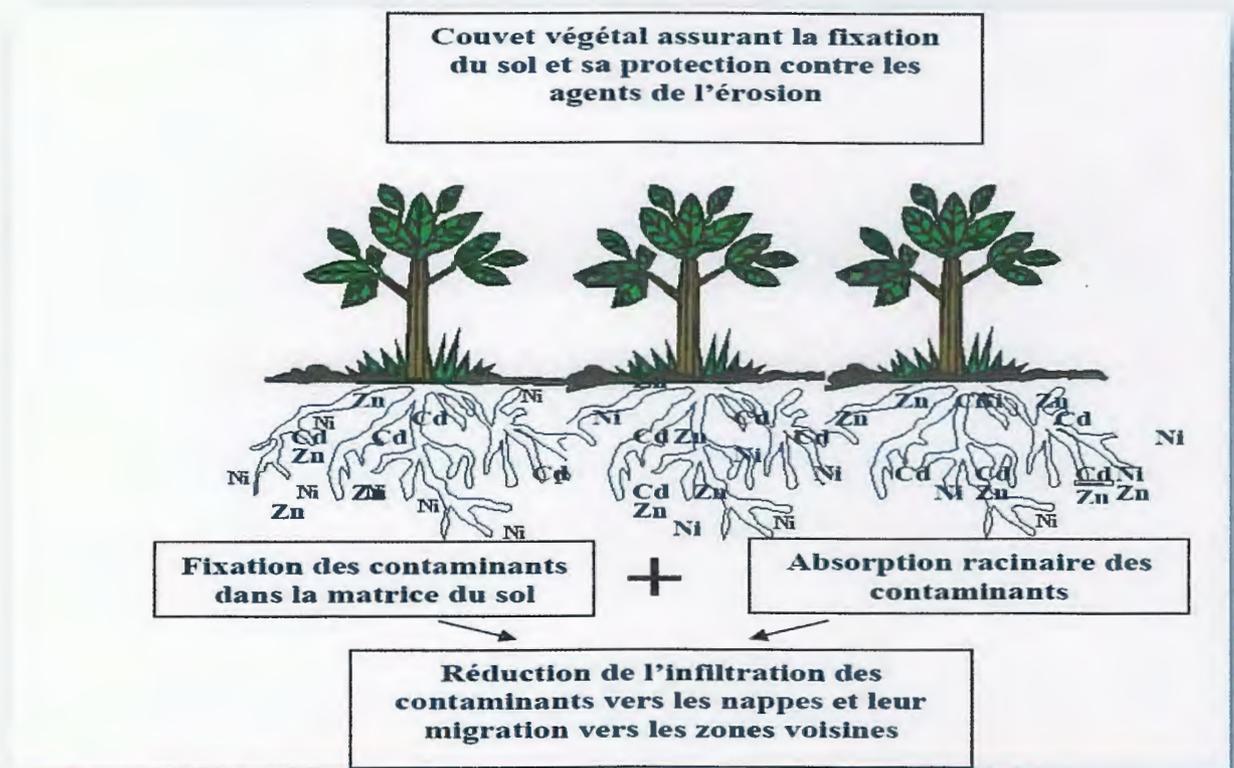
accumulatrices (hyperaccumulatrices) pour extraire, transporter et concentrer les polluants du sols dans les parties récoltables de la plante (Koller,2004; Delage et al., 2005) Certaines espèces, au système racinaire très développé, présentant une aptitude particulière à la concentration de certains éléments et parfois de certains composés organiques, possèdent une potentialité importante de phytoextraction des contaminants présents dans l'environnement (Ramade ,2002). Dans la phytoextraction, les plantes hyperaccumulatrices ont une haute biomasse, croissance rapide, et un système agronomique bien établi. (Oihana et al., 2010)



**Figure 04:** Processus de phytoextraction (Abdely, 2007)

**II-1-3 La Phytostabilisation :** utilisation des plantes pour réduire la biodisponibilité, la mobilisation ou le lessivage des polluants. (Delage et al., 2005 ; Azizur Rahman, 2011) et par conséquent, leur entrée dans la chaîne alimentaire ou les nappes phréatiques (fig. 05), (Koller, 2004).

Il s'agit dans ce cas de limiter la disponibilité des métaux lourds transitant au sein du sous-sol (notamment grâce au transfert via la nappe phréatique) en les piégeant dans un réseau racinaire ou ils peuvent s'accumuler et être ainsi immobilisés (Lecomte, 1998).



**Figure05 :** Processus de la phytostabilisation des métaux lourds (Abdely, 2007)

**II-1-4 Rhizofiltration :** consiste à créer des marais artificiels, couches fermées des sols inondés et plantés d'espèces aquatiques sélectionnées pour leur capacité à accumuler des métaux lourds. (Gobat et al., 2003). On utilise des racines pour absorber, concentrer ou précipiter les polluants d'un effluent liquide. (Koller, 2004; Delage et al., 2005). Les mécanismes mis en jeu sont nombreux ; il s'agit surtout d'absorption et de précipitation de sels, de métaux voire de dégradation des polluants organiques dissous. Régulièrement, il faut enlever la masse végétale de l'unité de traitement, la mettre en décharge et la remplacer par des plantes neuves ; si le milieu est en équilibre, le renouvellement de la masse végétale peut se faire naturellement et progressivement au fur et mesure de la croissance. (Lecomte, 1998).

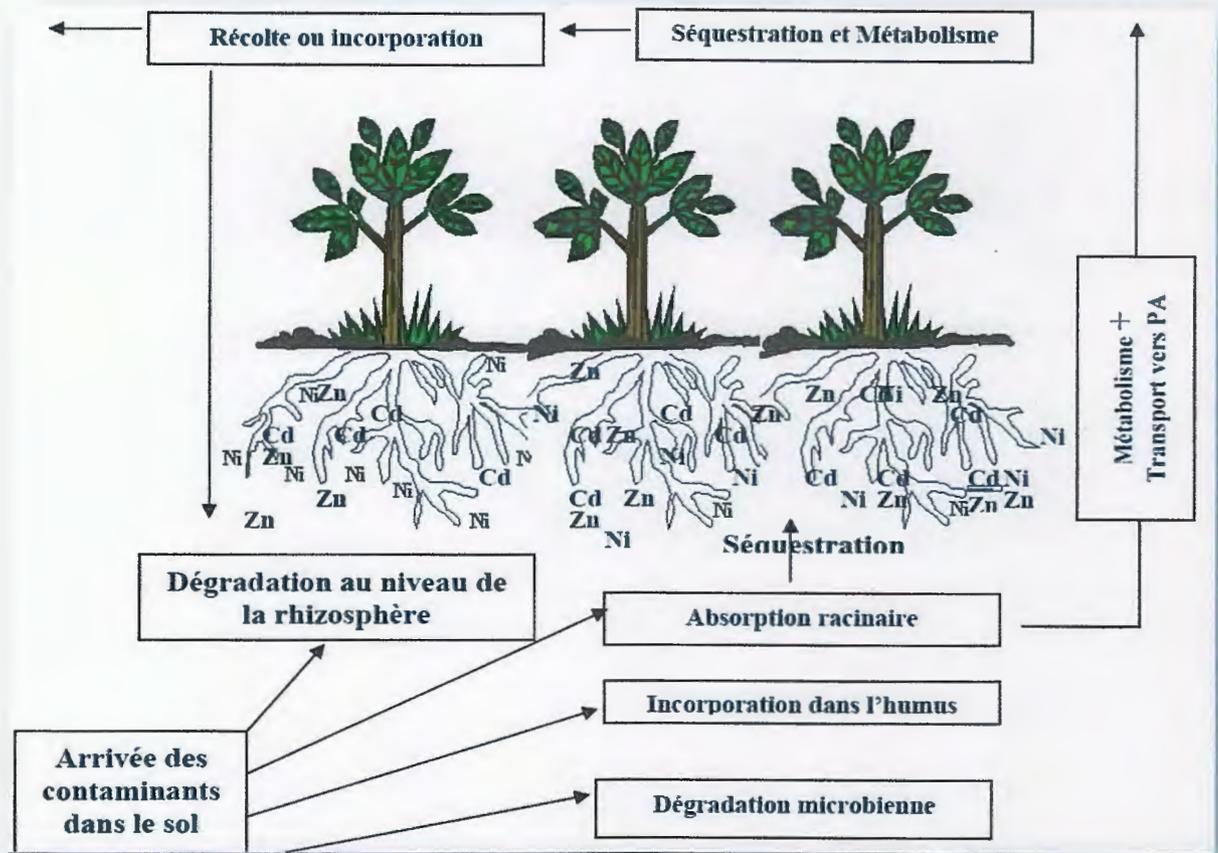


Figure 06 : Processus de la rhizofiltration (Abdely, 2007)

**II-1-5 Phytodegradation :** Processus consistant à utiliser les plantes en parallèle avec les microorganismes de la rhizosphère pour accélérer la dégradation des polluants xénobiotiques organiques (pesticides, hydrocarbures dont les HAP) (Ramade, 2002; Schröder et al., 2002; Pulford et al., 2003). Il a par exemple été montré que les hydrocarbures polluants un sol sont plus facilement éliminés si le sol est couvert de végétation que s'il est dénudé (Ramade, 2000). La transformation des composés organique du polluant au moyen de réaction biochimiques engendrées par les nombreux enzymes contenus dans les plantes (Delage et al., 2005).

**II-1-6 La Phytotransformation :** favorise la dégradation des molécules organique complexes en composés plus simples qui seront intégrés dans les tissus végétaux. Elle est généralement associée à de la biodégradation en tas (compostage, landfarming) et concerne des polluants facilement biodégradables. (Lecomte, 1998 ; ADEM, 2006)

**II-1-7 La Phytostimulation :** ne met pas vraiment en contact les polluants et les végétaux. Il s'agit en fait d'une stimulation de la dégradation microbienne et fongique par les

exsudats et les enzymes libérés dans la rhizosphère racinaire, ce qui entraîne la destruction des polluants organiques présents (Lecomte, 1998).

**II-1-8La Phytovolatilisation** : stimulation de la volatilisation au moyen de plantes qui absorbent les polluants puis les éliminent par transpiration (Delage et al., 2005) . Phytovolatilisation se produit quand les arbres croissants et autre plantes prenez de l'eau et les contaminants organiques. Quelques-uns de ces contaminants peuvent être transportés à travers les plantes aux feuilles et peuvent être s'évaporé , ou a volatilisé, dans l'atmosphère. Les mêmes approches ont été décrites pour les métaux sélectionnés, par exemple mercure et sélénium. Du point de vue général, cette méthodologie n'est pas du vrai nettoyage mais la dilution.

## **II-2 Phytoremédiation des sols contaminés par les métaux :**

Parmi les différentes méthodes de phytoremédiation, la plus utilisée est la phytoextraction (Abdelly, 2007), l'objectif de cette technique est d'abaisser progressivement les teneurs en ET biodisponibles dans les sols ainsi traités et, par conséquent, de réduire le risque de dissémination (Michel et al., 2005)

Il y a deux stratégies de base sous-développement. Le premier est l'usage de plantes hyperaccumulateur, et la seconde est chimique chélate-rehaussé phytoextraction (Wu, 2004)

### **II-2-1 Phytoextraction continue**

Contrairement à l'absorption induite par des chélateurs, la phytoextraction continue est basée sur les capacités génétiques et physiologiques des plantes spécialisées dans l'absorption, la translocation et la tolérance des métaux lourds, appelée « plante hyperaccumulatrice » (Huynh, 2009).

### **Développement de la phytoextraction continue**

La capacité des plantes hyper accumulatrices à concentrer les métaux lourds au niveau de la feuille représente un facteur important pour leur utilisation dans le développement de Phytoextraction continue. La majorité des plantes hyper accumulatrices présentent une faible production de biomasse et une croissance lente, tandis que les plantes à croissance rapide et produisant beaucoup de biomasse sont sensibles aux métaux lourds et les accumulent généralement au niveau des racines. Pour pallier à ces inconvénients et développer avec succès une phytoextraction continue, deux stratégies sont actuellement envisageables. La première

consiste à prospecter d'autres sites pollués avec pour objectif la découverte de plantes ayant une forte production de biomasse. La deuxième approche consiste à comprendre et exploiter les mécanismes impliqués dans la résistance, l'absorption et l'accumulation des métaux (fig.07) (Abdelly 2007).

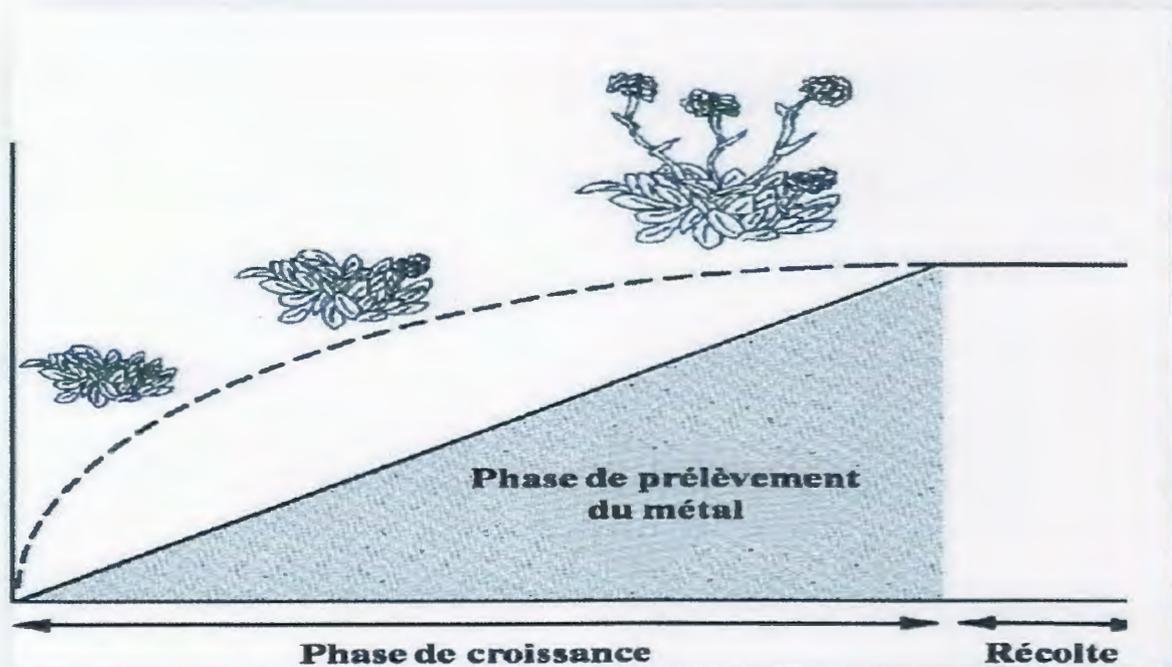


Figure 07 : La phytoextraction continu (Huynh ,2009)

### II-2-2 Phytoextraction Assistée :

La phytoextraction par des chélateurs de métaux (fig 08). Cette méthode est désignée également par la phytoextraction induite. (Abdelly, 2007). La phytoextraction induite se fait en présence de chélateurs et de plantes à forte biomasse et à croissance rapide. Lorsque la plante a atteint un certain niveau de croissance, les chélateurs de métaux sont appliqués au sol. Ceux-ci permettent d'induire l'accumulation de métaux lourds dans la plante par augmentation de la biodisponibilité de l'élément ciblé. Les chélateurs des métaux lourds comme EDTA (éthylène diamine tétra acetic acid) et EDDS (ethylene diamine disuccinate) pour le plomb, et EGTA (ethylene glyco-O,O'-bis-[2-amino-ethyl]-N,N,N',N',-tetra acetic acid) pour le cadmium, sont connus pour améliorer la phytoextraction par l'augmentation de la biodisponibilité et de l'accumulation des métaux lourds ( Huynh, 2009 )

- EDTA est le plus efficace réactif parce que c'est un fort, récupérable par apport à l'agent chélateur du biostable qui a la possibilité pour les applications de la remédiation du sol (Wu, 2004).

- EDTA aussi poses plusieurs inconvénients :

Il peut diminuer la biomasse de la plante, détruit les barrières physiologiques de la racine, ou désactive des protéines du transporteur à l'ampleur qui son métal mobilisé et les avantages du translocation sont minimisés (January et al., 2008).

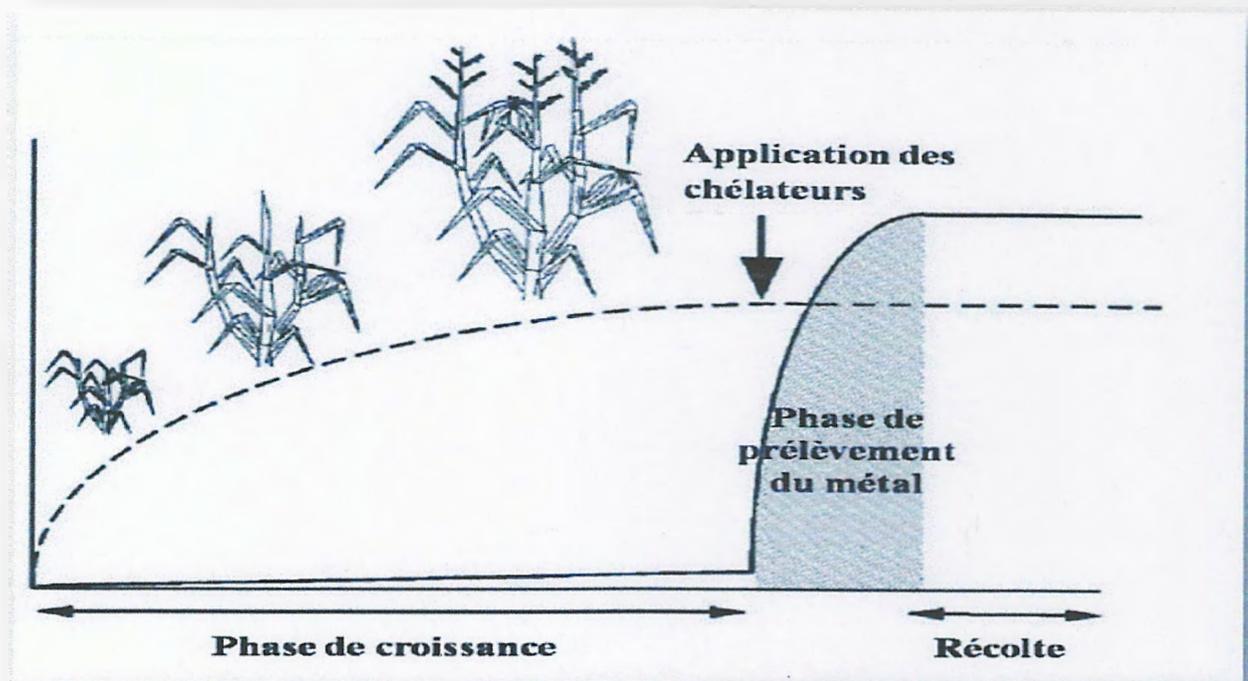
### **Développement de la phytoextraction assistée**

La découverte de l'absorption assistée par des chélateurs chez les plantes est très récente.

La phytoextraction assistée est basée sur deux principes :

- i. augmenter la concentration du métal dans la solution du sol,
- ii. augmenter l'absorption et le transport de ce métal vers la partie aérienne de la plante, qui est plus facile à récolter.

L'augmentation de la concentration du métal dans la solution du sol peut s'expliquer par la forte affinité du chélateur utilisé. Ce dernier peut se lier au métal et passer dans la solution du sol. Cependant, les mécanismes impliqués dans l'absorption et la translocation, assistée par des chélateurs, ne sont pas encore connus après application de l'EDTA, l'accumulation du plomb dans la partie aérienne est directement corrélée avec l'accumulation de l'EDTA. Ce résultat suggère clairement que ce métal est transporté dans la plante sous la forme du complexe Pb-EDTA. La présence d'une teneur élevée en EDTA dans les tissus de la plante pourrait augmenter la concentration du plomb soluble par la formation du complexe Pb-EDTA et augmenter ainsi sa migration vers la partie aérienne où il s'accumule. Cette migration vers la partie aérienne est assurée par le courant de la transpiration. Au niveau de la feuille, l'eau s'évapore et le complexe métal-chélateur se concentre (ou s'accumule) (Abdely, 2007)



**Figure 08:** La phytoextraction induit par chélateur (Huynh ,2009)

### II-3 Exemples des plantes utilisées dans la phytoremédiation par les métaux lourds :

- *Thlaspi caerulescens* et *Viola calaminaria* étaient les premières espèces documentées d'accumuler des niveaux élevés de métaux dans leurs feuilles (Marijan et al., 2008).
- *Phragmites communis* et *Typha latifolia*, les espèces les plus communes de plantes des zones humides (Zhang, 2010)
- les Chenopodiaceae Crucifères, Plumbaginaceae, Juncaceae, Juncaginaceae, Amaranthaceae et quelques membres de Fabaceae, et beaucoup hyperaccumulateur appartiennent des familles des Brassicacées (Abdul et al., 2005).
- *Arrhenatherum elatius*, une plante vivace, herbe avec une haute biomasse, a été sélectionné comme une espèce d'étude pour sa capacité de tolérer de hautes concentrations de métaux lourds dans ses pousses (Deram et al., 2007).
- les récoltes telles que maïs (*Zea mays*), indien moutarde (*Brassica juncea*), avoine (*Avena sativa*), orge (*Hordeum vulgare*), pois (*Pisum sativa*), peuplier (*Populus sp*) et tournesol (*Helianthus annuus*).
- les Brassicacae ont une capacité de prendre des métaux lourds de sols contaminés et les transporte aux pousses (Michael et al., 2007)

- espèces du genre *Salix* sont des plantes à croissance rapide, producteurs de la biomasse excellents, facile propagé, tolérant à concentration élevée des métaux lourds (Silvia, 2007)

#### II-4 plantes métallicoles :

**II-4-1 Définition :** qualifie les plantes qui s'accommodent de sols riches en éléments traces et qui peuvent être utilisées pour la désintoxication de milieux contaminés (Epelde et al., 2010) comme le datura (*Datura stramonium*), la jacinthe d'eau (*Eichhomia crassipes*), les joncs (*juncus sp*) et la tabourée (*thalaspi caerulescens*) cette dernière absorbe particulièrement le zinc et le cadmium (Lozet et al., 2002). Ces plantes peuvent être définies comme accumulateurs, excluders et indicateurs, d'après la concentration de métaux trouvée dans leurs tissus (Vanessa, et al., 2010).

#### II-4-2 Exemples d'espèces métallicoles :

**Tableau 02: Quelques espèces métallicoles et leurs caractéristiques**

Numéro de l'espèce	Espèce	Caractéristique	Référence
01	<i>Arabidopsis halleri</i>	hyperaccumulatrices du Zn (>20000 mg/kg dans la partie aériennes de la plante)	Baize et al. , 2002
02	<i>Arabidopsis maritima</i>	présente des concentrations en métaux dans ses feuilles, toujours nettement inférieurs à celles observées dans les racines. L'immobilisation du Zn, Pb, Cd et Cu dans les racines indique une stratégie d'exclusion	Baize et al. , 2002
03	<i>Tabaccum nicotiana</i>	s'avère le meilleur antidote au cadmium, tandis que le tournesol préfère le cuivre.	Koller, 2004
04	<i>Typha latifolia</i>	s'est avéré un efficace bioaccumulateur du zinc des concentrations de 1400 mg, kg-1 dans les racines de plantes croissant sur des sédiments ayant une teneur de 10 mg, kg-1 ont été relevées	Ramade ,2007

Numéro de l'espèce	Espèce	Caractéristiques	Référence
05	<i>Arabidopsis thaliana</i>	a une plus haute tolérance au mercure (Hg)	Abhilash et al. , 2009
06	<i>Brassica juncea</i>	pour phytoextraction (enlèvement de contaminants de sol) et rhizofiltration (enlèvement de contaminants d'eau) peuvent prendre une haute quantité considérable de Pb et Cd.	Donald et al. ,2008
07	<i>Brassica carinata</i>	plante dans succession à populations du métallicole a été utilisé dans les programmes du phytoextraction chimiquement aidés rehausser la disponibilité du métal du sol.	Quartacci, et al. , 2009
08	<i>Silene paradoxa</i>	était l'espèce la plus efficace de rehausser Cu et Zn. .	Quartacci et al. ,2009
09	<i>Salix viminalis</i>	a une capacité d'accumuler le cadmium	Deram et al. , 2007
10	<i>Faba vicia, Pisum-sativum et Phaseolus vulgaris</i>	utilisés dans l'usage du rhizofiltration pour absorber les polluants de l'eau contaminé, avec l'influence sur thiol soluble, acide glutathion, homoglutathione, et la synthèse de phyto - et homophytochelatins dans les racines.	Piechalak, et al. ,2002
11	<i>Tagetes patula</i>	a le caractéristiques de base d'un hyperaccumulateur du Cd, le taux total d'accumulation du Cd était dans la séquence pousse> feuille> tige> racine.	Yuebing et al. ,2011
12	<i>Solanum nigrum L.</i>	hyperaccumultrices du Cd, où les concentrations sont relativement basses.	Wei et al., 2006 ; Puhui et al., 2010
13	<i>Alyssum sp</i>	est une espèce hyperaccumultrices pour phytoremédiation du Nid.	Puhui et al. ,2010

Numéro de l'espèce	Espèces	Caractéristiques	Références
15	<i>Lathyrus sativus</i>	. est une plante tolérant les carences en éléments nutritifs essentiels et capable de stocker des quantités de plomb très élevées dans ses racines.	Brunet, et al., 2008
16	<i>Viola calaminaria</i>	Herbacée calaminaire de la famille de violaceae hyperaccumulatrice de zinc (Zn)	Lecomte., 1998
17	<i>Psychotria douerreri</i>	de la famille de rubiaceae hyperaccumulatrice du plomb (Pb)	Lecomte., 1998
18	<i>Myriophyllum verticillatum</i>	Espèce aquatique en épi de la famille haloragidaceae hyperaccumulatrice de Cadmium, Zinc, Cuivre, plomb et Nickel (Cd, Zn, Cu, Pb, et Ni)	Lecomte., 1998
19	<i>Astragalus bisulcatus</i> ,	espèce herbacée de la famille de Fabaceae hyperaccumulatrice de Se .	Lecomte, 1998
20	<i>Polycarphaeae synandra</i>	rameuse de la famille de Caryophyllaceae hyperaccumulatrice de Zinc et Plomb (Zn et Pb)	Lecomte, 1998
21	<i>Minuartia verna</i>	Herbacée vivace de la famille de Caryophyllaceae hyperaccumulatrice de Plomb (Pb)	Lecomte, 1998
22	<i>Thlaspi rotundifolium</i> , <i>Thlaspi ochroleucum</i>	Herbacées de la famille de Brassicaceae hyperaccumulatrices de Zinc et Plomb (Zn et Pb) .	Lecomte., 1998
23	<i>Thlaspi caerulescens</i>	Herbacée de la famille de Brassicaceae hyperaccumulatrice de Zinc, Plomb; Cadmium et Nickel (Zn, Pb Cd et Ni )	Lecomte, 1998
24	<i>Thlaspi brachypetal</i>	Herbacée de la famille de Brassicaceae hyperaccumulatrice de Zinc (Zn)	Lecomte., 1998
25	<i>Agrostis tenuis</i>	est accumulé. Zn, Cd, Pb, et Cu. Ces métaux ont été immobilisés dans les racines.	Dahmani-Muller.,2000

**Partie II**  
**Partie pratique**

# **Chapitre III**

## **Matériel et méthode**

### III-1-Présentation de la zone d'étude :

Le cadre retenu pour notre étude est la petite région de Taher qui fait partie de la zone septentrionale centrale de la wilaya de Jijel. Elle recouvre sur le plan administratif les 4 Communes qui sont avec Taher celles d'Emir Abdelkader, Chekfa et El Kennar. Ce petit territoire littoral d'un seul tenant est limité au nord par la mer méditerranée, au sud par les communes d'Oudjana, Chahna et Bordj Thar. A l'ouest nous avons la commune d'El Amir Abdelkader alors qu'à l'est c'est les communes de Chekfa et El-Kennar.

Ce territoire qui se situe à la périphérie de la ville de Jijel comptait en 2008 une population de 157.055 habitants soit 24,82% de la population totale de la wilaya. Sa superficie est de 224 ,4 km<sup>2</sup> soit 9,35% de la superficie totale de la wilaya. La densité est de l'ordre de la population est de 699 hts / km<sup>2</sup> (Anonyme . ,2007).

### III-2-Présentation du marais

Le marais de Redjla est la zone humide qui a fait l'objet de notre étude. Il est connu chez les gens de la région sous le nom de *Ghedir EL- Mardj*.



Figure 09: Photo satellite du marais Redjla (Google, 2012).

### III-2-1 Situation géographique du Marais

Le marais de *Ghedir EL- Mardj* ( $36^{\circ}48' 10,0$  N,  $05^{\circ} 54' 73$  E) est situé au Nord –Est de la wilaya de Jijel dans la commune de Taher. Il est localisé dans la région de *Redjla* à 4 Km de Taher et à 2 Km de Bazoul.

Il est limitée au Nord par des habitations et des cultures sous serres à l'Ouest par une colline et Sud –Ouest par l'agglomération de T'hare.

La partie orientale est bordée par la route qui relie le village de Bazoul à ville de Taher, tandis que la partie Sud-Est est caractérisée par la présence d'habitation, de fermes et de culture en serres (Anonyme, 2007).

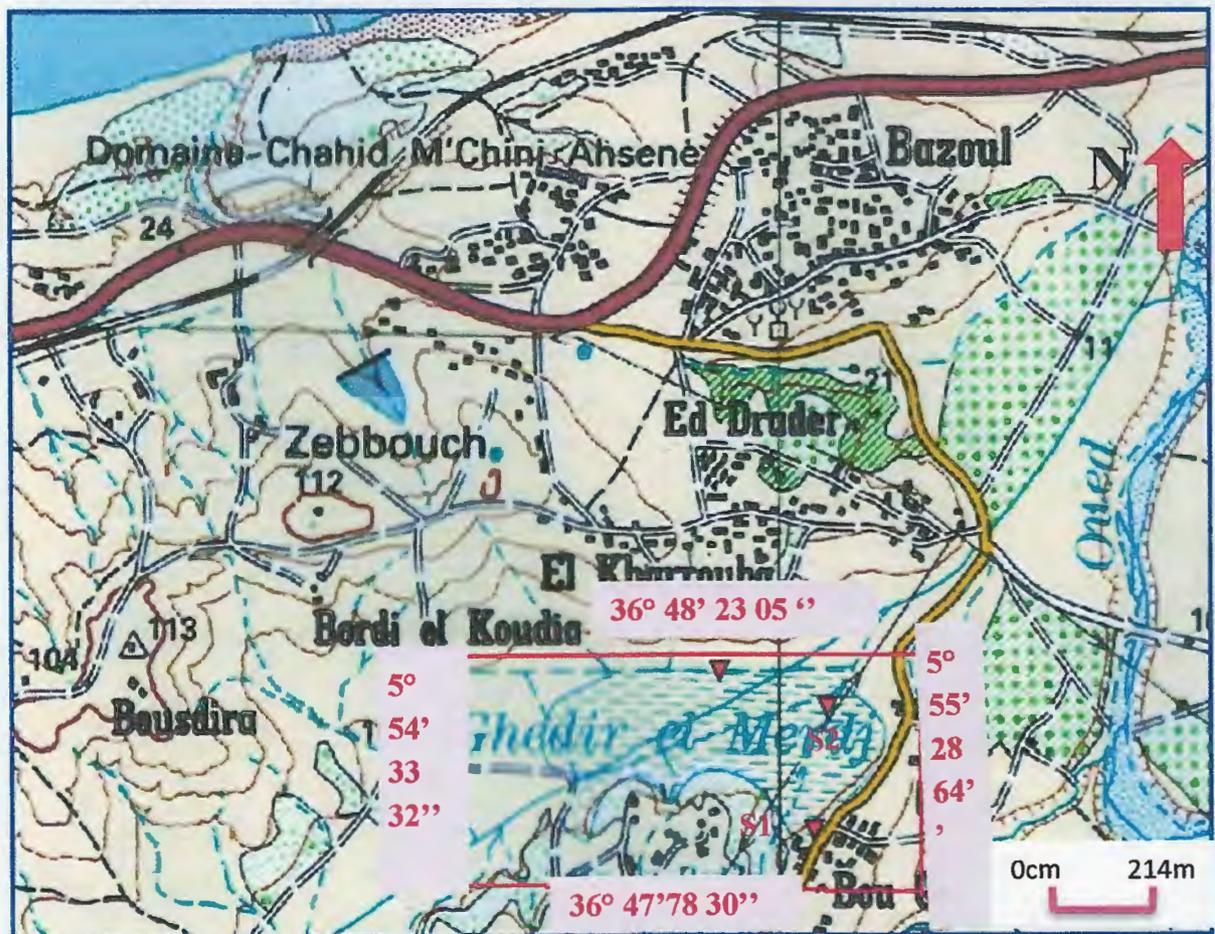


Figure10 : position géographique du marais de *Redjla*,( INC, 1989).

### III-2-2 Structure socio-économique et les activités humaines

La vocation socio-économique de cette région est principalement agricole, elle est caractérisée en particulier par la culture maraîchère et arboricole. La population qui se trouve sur la zone d'étude est disséminée le long de la mare dans quelques hameaux. La plupart des habitants sont des agriculteurs possédant des fermes et des serres. Ils utilisent pour leur cultures des produits chimiques tel que les fertilisants et les engrais afin d'augmenter et d'améliorer le rendement agricole. Ces produits sous l'effet de pluie de ruissèlement et d'infiltration dans le sol rejoignent le marais. L'élevage du bétail est limité aux élevages familiaux de chèvres, moutons et quelques bovins qui pâturent tout autour du marais. Ils se nourrissent de la végétation et des eaux de celle-ci.

Avant 1994 tous les effluents domestiques et les rejets d'eaux usées provenant d'agglomérations de la région ont été rejetés dans Chaabet Tassift et dans le marais de Redjla puis la commune a construit un réseau d'assainissement pour collecter ces rejets, il provient de ville de Taher, passe par la partie Ouest du marais et se déverse dans Oued Nil (Anonyme, 2007). Entre autre, le marais reçoit les déchets ménagers et les ordures rejetés par les habitants de la région.

### III-2-3-Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la région est constitué par deux Oueds principaux :

-Oued Nil : qui coule de la partie Sud-Est et se déverse dans la mer. Il se trouve à 5 Km du marais de Redjla.

-Oued Boukraa : qui coule de la partie Sud-Est également et se jette dans Oued Nil. Un autre cours d'eau de la région est celui de Chaabet Tassift qui prend sa source de la région Sud-Ouest, traverse le marais et se déverse dans Oued Nil. Nous rencontrons aussi dans la région, des puits qui se situent au bord de la route au Sud du marais. Ces derniers contribuent à l'alimentation en eau de toute la population de la région. Le marais de Redjla est cependant alimenté par les eaux de pluies et par les eaux de la nappe phréatique. Sa profondeur maximale ne dépasse pas 3m et elle occupe une superficie totale avoisinant les 15 h. une relation directe s'établit entre les eaux de surface et les eaux souterraines ; les eaux de surface s'infiltrent et pénètrent dans les sous-sols pour former les eaux souterraines et transportent une quantité considérable des substances polluantes qui affecte la qualité des eaux souterraines (Anonyme, 2007).

### III-2-4 Climatologie

#### ❖ Eléments du climat et sources de données

La description du climat tient principalement compte de certains paramètres essentiels, telle la température, les précipitations, le régime du vent et l'humidité. Pour caractériser le climat de notre zone d'étude nous avons tenu compte des données de la station météorologique la plus proche et possédant les mêmes conditions oro-topographique, nous avons choisi pour cela celle de Taher (Office National de la Météorologie O.N.M). Les données climatiques qui nous ont été fournies portent sur une période de référence allant de 1989 à 2009, soit une durée de 21 ans.

#### a- Précipitations

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères. L'examen du tableau N°3, ci-dessous, montre que les précipitations les plus élevées sont enregistrées durant l'hiver et que les minimums sont observés en été.

Les mois les plus pluvieux sont : Décembre (194.89mm), Novembre (151.32mm) et Janvier (134.20mm) alors que les moins pluvieux sont : Juillet (3.26mm), Aout (12,45) et Juin (12.70mm).

**Tableau 03 :** Moyennes mensuelles des précipitations en mm (1989-2009) (O.N.M) station météorologique de Taher.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
P(mm)	134.20	101.49	81.8	88.81	50.39	12.70	3.26	12.45	62.79	83.97	151.32	194.89

P : moyennes mensuelles des précipitations en mm

#### b) La température

la température est un facteur écologique important du milieu (Gaujous, 1995). Elle constitue avec les précipitations, l'élément du climat le plus couramment relevé. Elle influe beaucoup sur les conditions générales de développement et de croissance des êtres vivants.

Le tableau N°04 nous indique que la zone d'étude est caractérisée par un climat doux en hiver et chaud en été. Ces caractéristiques indiquant un climat méditerranées.

La T° maximale est enregistré pendant le mois d'aout avec une valeur de 26.15C°. Par contre la température la plus basse, est de 11.41C° enregistré pendant le mois de Janvier. les autres mois présentent des températures intermédiaires (15.30 à 20.30C°).

**Tableau 04 :** Moyennes mensuelles des températures (1989-2009) (O.N.M) station météorologique de Taher

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T(°C)	11.41	11.74	13.60	15.30	18.75	22.52	25.20	26.15	23.67	20.30	15.69	12.76

T : moyennes mensuelles des Températures °C.

### c) Synthèse climatique

Le diagramme Ombro-thermique de Gaussen nous permet de connaître les caractères des saisons dans cette région et d'avoir une idée sur la durée et l'intensité de la période de sécheresse, il est construit en portant en abscisse les mois et en ordonnée les précipitations moyennes mensuelle (P) sur un axe et la température moyenne (T) sur un autre axe ou l'échelle des précipitations est double de celle de température ( $P=2T$ ) (Dajoz, 2006; Frontier, 1998).

Un mois sera dit biologiquement sec si la pluviosité moyenne (P) , exprimée en mm , est égale ou inférieure au double de la température moyenne (T) exprimées en degrés Celsius ( $P < 2T$ ).

La lecture est faite directement sur le graphique. La saison sèche apparait quand la courbe des précipitations passe en dessous de la courbe des températures.

D'après le graphique qui suit, la région de Jijel présent une période sèche qui s'étale du mois de Mai jusqu'au mois de septembre, soit quatre mois.

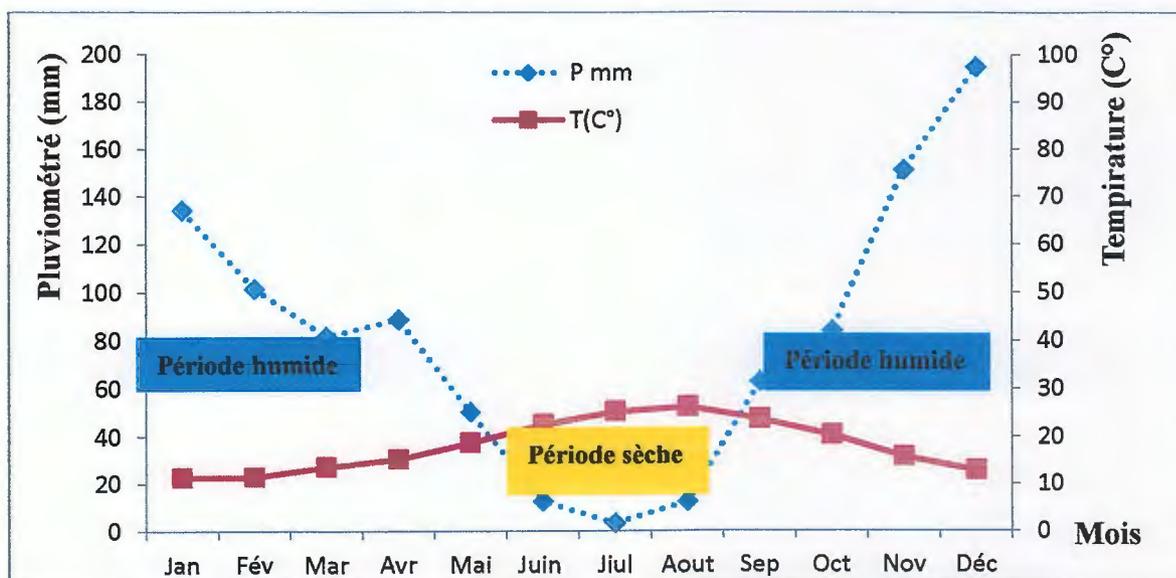


Figure11 : diagramme Ombro-thermique de Gaussen.

### III-3- Choix des plantes :

Le choix des plantes est fait dans chaque station selon l'abondance et la dominance des espèces dans les stations choisies. Nous avons donc le *Phragmites australis* Adans (figure12) pour la station une et le *Sparganium erectum* pour la deuxième station (figure13). Les échantillons de plantes sont collectés en évitant d'abimer les racines lors de la collecte. Les espèces ont été prélevées manuellement, conservées dans des sachets en plastique et acheminées au laboratoire.



Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Classe	<i>Liliopsida</i>
Sous-classe	<i>Commelinidae</i>
Ordre	<i>Cyperales</i>
Famille	<i>Poaceae</i>

Figure12 : *Phragmites australis* Adans (photo Redjla 2012).



<u>Règne</u>	<u>Plantae</u>
<u>Sous-règne</u>	<u>Tracheobionta</u>
<u>Classe</u>	<u>Liliopsida</u>
<u>Sous-classe</u>	<u>Commelinidae</u>
<u>Ordre</u>	<u>Typhales</u>
<u>Famille</u>	<u>Sparganiaceae</u>

**Figure13** : *Sparganium erectum* (photo Redjla 2012).

#### ▪ Préparation des échantillons

Au laboratoire les plantes sont lavées délicatement avec de l'eau de robinet puis à l'eau déminéralisée, découpées manuellement en deux parties : aérienne et racinaire. Ensuite, les deux parties de chaque plante sont mis à sécher dans une étuve à 105°C pendant 48h jusqu'à la stabilisation du poids sec. Une fois séchées, les plantes sont broyées à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à l'obtention d'une poudre fine, puis conservées dans des sachets hermétiquement fermés.

#### ▪ Préparation des extraits des plantes

Les extraits de plantes sont préparés selon la méthode décrite par Hoening et al. (1979). Elle consiste en une digestion.

Peser dans un erlenmeyer rodé de 250 ml, 1g de d'échantillon de plantes séchées et broyées. Placer sous réfrigérant et introduire par le haut de celui-ci 1ml d'acide sulfurique concentré, 3 ml d'acide nitrique concentré et 3 ml d'eau oxygénée à 30%. Porter doucement à ébullition en contrôlant la formation possible de mousse, maintenir en ébullition douce durant 15 mn. Après refroidissement et rinçage du réfrigérant par quelques ml d'eau déminéralisée, filtrer le contenu de l'erlenmeyer sur papier filtre à vitesse moyenne ou sur membrane de type Millopore dans un ballon jaugé de 50 à 100 ml selon le besoin.

# **Chapitre VI**

## **Résultat et discussion**

## VI-1 Résultats :

Tableau 05 : Teneur des plantes en ETMs

Espèces	ETM (ppm)	Pb	Cd	Cr
<i>Phragmites australis</i> (station 1)	Partie aérienne	2.82±0.0358	0.645±0.0128	11.961±0.0256
	Racines	5.275±0.0353	0.43±0.0098	19.346±0.1424
<i>Sparganium erectum</i> (station 2)	Partie aérienne	2.04±0.0353	0.628±0.0028	9.6±0.0335
	Racines	6.465±0.0818	0.613±0.0119	15.358±0.1634

## VI-1-1 Plomb

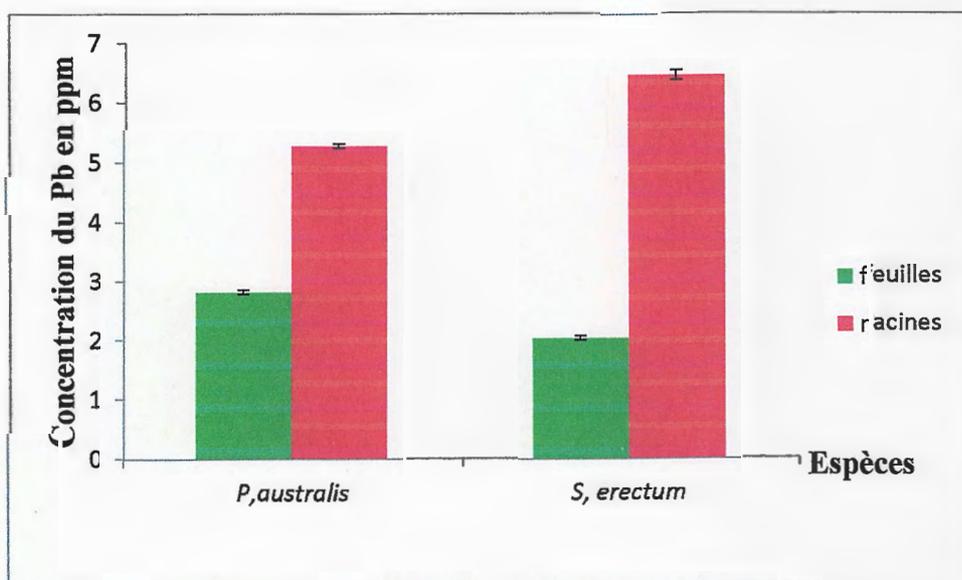
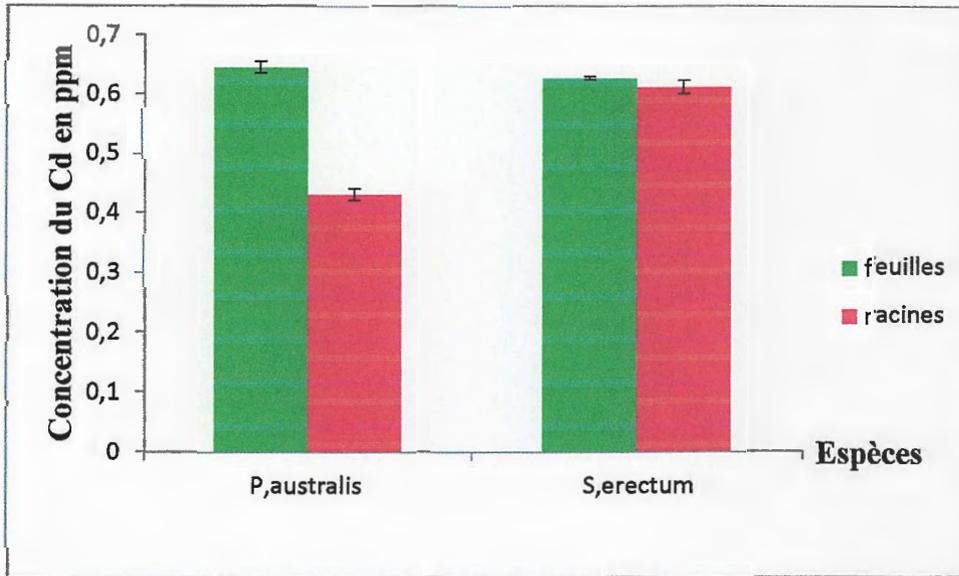


Figure14 : Concentration du Pb en ppm dans les racines et les parties aériennes (feuilles + tiges) des espèces de macrophytes aquatiques.

L'examen du tableau (05) permet de constater que les teneurs en plomb dans les racines s'échelonnent entre un minimum de 5.275 mg/kg chez *Phragmites australis* Adans et un maximum de 6.465 mg/kg chez le *Sparganium erectum* L; Cependant, dans les parties aériennes les teneurs en cet élément sont de 2.04 mg/kg chez le *Sparganium erectum* L et 2.82 mg/kg chez le *Phragmites australis* Adans.

L'accumulation du plomb est plus importante dans les racines chez les deux espèces analysées (Figure 14).

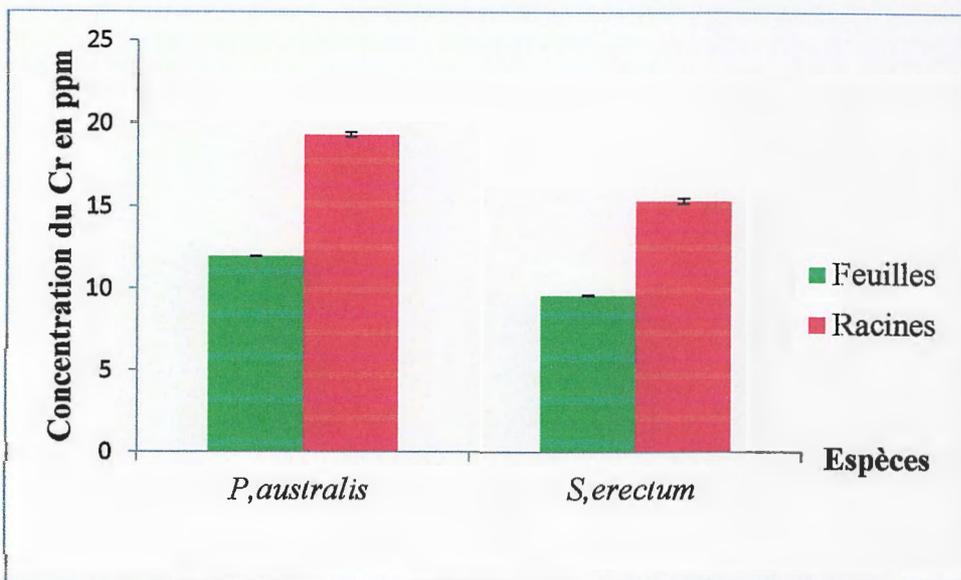
#### VI-1-2 le cadmium



**Figure15 : Concentration du Cd en ppm dans les racines et les parties aériennes (feuilles + tiges) des espèces de macrophytes aquatiques.**

L'examen du tableau (05) nous à permet de constater de légères différences intraspécifiques et interspécifique des teneurs en cadmium. La figure (15) nous à permet de comparer les teneurs en cadmium dans les racines et les parties aériennes des plantes. En effet, nous avons constaté que l'accumulation est plus importante dans la partie aérienne chez les deux espèces. La concentration minimale est enregistrée au niveau des racines du *Phragmites australis Adans* avec une teneur de 0.43 ppm (tableau 05).

## VI-1-3 le chrome



**Figure16 : Concentrations du Cr en ppm dans les racines et les parties aériennes (feuilles + tiges) des espèces de macrophytes aquatiques.**

Les résultats illustrés par la figure (16) montrent des valeurs du Cr qui sont relativement élevées par rapport aux autres métaux : Pb, Cd. Cependant les teneurs des plantes varient entre 19.346 mg/kg dans les racines du *Phragmites australis* Adans et 15.358 mg/kg dans les racines du *Sparganium erectum*. Contrairement au Cd, les concentrations enregistrées sont plus importantes dans les racines que dans les parties aériennes.

## VI-1-4 Dynamique des métaux lourds

Les contaminants, y compris les ETM, peuvent être introduits dans l'environnement aquatique et peuvent être accumulés dans les sols par plusieurs chemins qui emportent des produits chimiques provenant des activités urbaines, industrielles et agricoles, aussi bien que les dépositions atmosphériques.

L'étude de la relation eau-sol montre la possibilité de transfert des métaux lourds entre les deux compartiments. Les résultats montrent une forte concentration du Cr et du Pb dans les sols, indiquant une contamination notable de ces sols. Ce qui permet de suggérer la rétention de ces métaux par les sols du marais et leur accumulation dans ce compartiment.

La rétention des métaux lourds est favorisée par le taux élevé de la matière organique dans les sols du marais.

**Tableau 06 :** Concentrations des métaux (Pb, Cd et Cr) dans les macrophytes et le sol

ETM	Espèces	Partie aérienne	Racines	Sol	FT1	FT2	FBC
Pb	<i>Phragmites australis</i>	2.82	5.27	42.25	0.12	0.53	0.19
	<i>Sparganium erectum</i>	2.04	6.46	32.5	0.19	0.31	0.26
Cd	<i>Phragmites australis</i>	0.64	0.43	1.05	0.40	1.48	1.61
	<i>Sparganium erectum</i>	0.62	0.61	0.9	0.67	1.01	1.36
Cr	<i>Phragmites australis</i>	11.96	19.34	44.5	0.43	0.61	0.70
	<i>Sparganium erectum</i>	9.6	15.35	35	0.43	0.62	0.71

**FT1 :** Facteur de translocation entre sol et racines des plantes

**FT2 :** Facteur de translocation entre racines et partie aérienne des plantes

**FBC :** Facteur de bioconcentration

#### a-Transfert entre le sol et les plantes

**Facteur de bioconcentration (FBC) :** désigne le rapport  $F_{BC}$  entre la concentration d'un polluant donné dans un être vivant et sa concentration dans le biotope, par exemple eau pour un écosystème aquatique ou sol pour un écosystème terrestre :

$F_{BC} = [\text{Organisme}]/[\text{eau ou sol}]$ . (Ramade, 2000). Ce facteur permet d'établir la bioaccumulation.

Le facteur de bioconcentration est calculé par la formule suivante :

**FBC=** Concentration du métal dans la plante entière/concentration dans la racine (Zhang et al., 2002 in Santillán et al., 2010).

Nos résultats montrent (figures 17), que dans la majorité des espèces l'accumulation du Cr et du Pb dans les racines est plus importante que dans les parties aériennes des espèces.

Les valeurs les plus importantes enregistrées du FCB sont celles du Cd qui sont 1.61 et 1.36 successivement pour le *Phragmites australis* A. et le *Sparganium erectum* L.

Le plus faible FBC enregistré est celui du Pb chez le *Phragmites australis* A. et le plus fort est celui du Cd chez la même espèce.

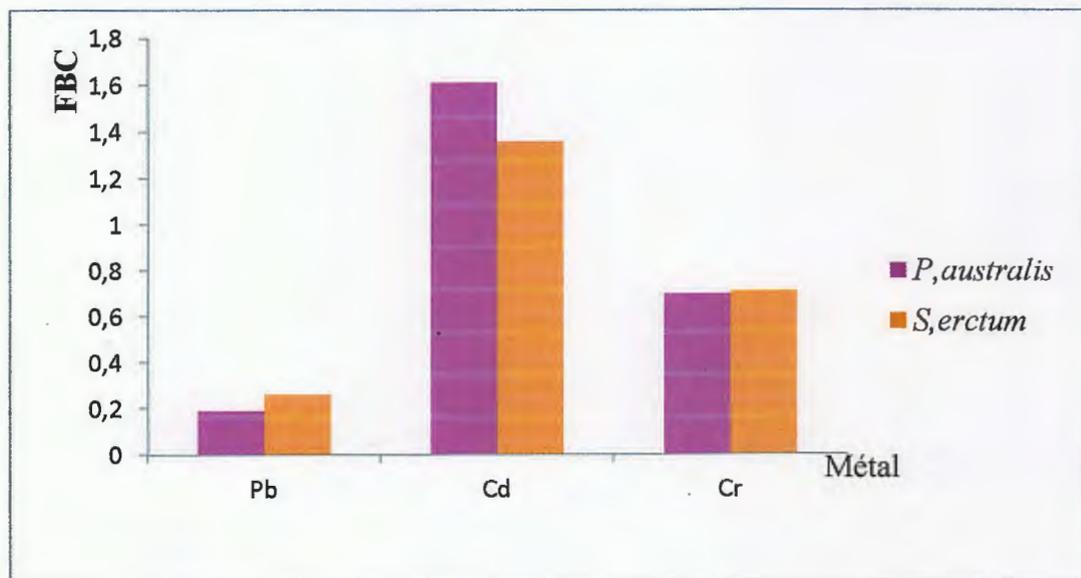


Figure 17 : Variations du facteur de bioconcentration

### b-Transfert entre la solution du sol et les racines des plantes

#### Facteur de transfert :

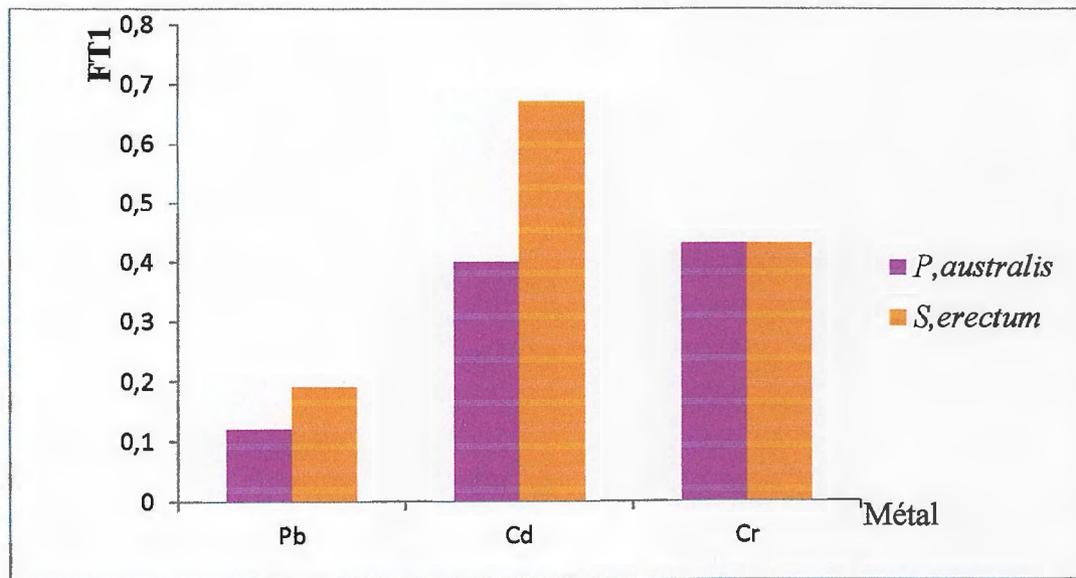
Le facteur de transfert d'un élément est le rapport de la concentration de l'élément dans un compartiment donné à celle du niveau trophique inférieur. Le facteur de transfert sol-plante intègre l'ensemble des mécanismes qui modifient la biodisponibilité d'un élément dans le sol. (Mustin et al., 2003).

$FT = \frac{\text{Concentration dans la partie aérienne}}{\text{la concentration dans la racine}}$  Zhang et al., 2002 in Santillán et al., 2010).

#### b-1 Translocation, sol-racines (FT1)

De faibles variations de facteur de translocation entre la solution du sol et les racines des deux espèces étudiées, et les valeurs calculées ne dépassent guère le 1 et ceux-ci pour les trois

métaux ; Cr, Cd et Pb. La valeur du FT1 la plus élevée est enregistrée pour le Cd chez le *Sparganium erectum L* avec 0.67 et la plus faible est celle enregistrée pour le Pb chez *phragmites australis Adans* avec 0.12 (tableau 06). D'une manière générale les FT1 sont plus importants chez le *Sparganium erectum L* que chez le *Phragmites australis Adans* (figure 18). En fin le même FT1 du Cr a été enregistré chez les deux espèces.



**Figure 18 :** Variation de facteur transfert entre le sol et les racines

### **b-2. Translocation, racines parties aériennes (FT2)**

Contrairement aux FT1, les valeurs de FT2 sont plus ou moins importantes. La translocation la plus importante des racines vers les parties aériennes est celle enregistrée pour le Cd et pour les deux espèces. Le maximum enregistré est de 1.48 chez le *phragmites australis Adans*. Et le minimum enregistré est de 0.31 chez le *Sparganium erectum L* pour le Pb (tableau 06). Une translocation similaire a été constaté chez les deux espèces pour le Cr (figure 19).

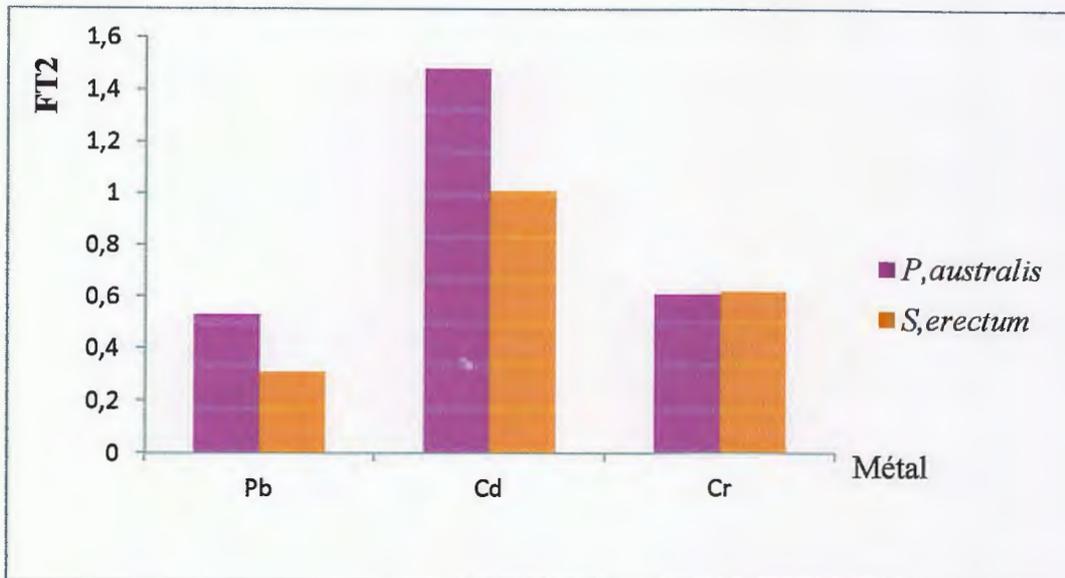


Figure 19 : Variation de facteur de transfert entre les racines et les feuilles

## VI-2 Discussion

Les plantes ont la capacité d'accumuler les métaux lourds soit par voie foliaire ou racinaire (Martin et Ferguson, 1997). Une fois entré dans la plante, l'élément (ou l'espèce chimique) est soit stocké dans les racines, soit redistribué dans d'autres organes (tiges, feuilles, grain) en fonction d'une "stratégie" propre pour chaque espèce végétale (Baize, 1994). Les teneurs des plantes en métaux lourds dépendent entre autres de l'espèce, la variété, la race, l'âge, de l'organe végétal et l'écotype (Shallari, 1997).

Sous une forme adsorbée sur les hydroxydes métalliques, le Cr est peu disponible aux végétaux. La concentration en Cr des végétaux est donc principalement contrôlée par la concentration du Cr en solution dans le sol. Le Cr dans un sol neutre ou basique sera donc plus disponible vis-à-vis des plantes que dans un sol acide (Kadem, 2005).

L'étude comparative de la distribution du métal dans les racines et la partie aérienne fait ressortir une importante différence en matière d'accumulation du chrome, également une différence entre les différentes espèces végétales. Contrairement au cadmium, l'accumulation la plus importante en chrome a eu lieu au niveau des racines pour les deux espèces végétales étudiées. L'accumulation du Cr dans les racines a été également constatée par Kabata-Pendias et, Pendias (1992).

Le cadmium est élément non essentiel pour la croissance végétale, il est facilement absorbé par les racines et transporté vers les parties aériennes (Aoun, 2009). L'étude de la

distribution du métal dans les racines et la partie aérienne des deux espèces étudiées, révèle une accumulation importante de cet élément dans les parties aériennes. L'absorption du Cd est influencée par l'espèce, le genre ou la variété considérée (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).

Il ressort des résultats que toutes les teneurs sont supérieures au seuil limite estimé naturel proposé par Kabata-Pendias et Pendias, (1986) (0.05 - 0.2 ppm) et à la gamme normale proposée par Reeves et Baker (2000) (0.1 - 3 ppm). Une variabilité des résultats des études de translocation du cadmium ; une accumulation de cadmium dans les racines chez certaines plantes et dans les feuilles chez d'autres (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 1999).

Nous notons que *Phragmites australis* Adans présente les teneurs en cadmium les plus élevées dans les racines. Cependant, les teneurs les plus bas sont celle enregistrées dans les racines de la même espèce. Selon Clemens, (2006), l'absorption du cadmium semble être en compétition avec des éléments tels que Mg, Fe, Zn, Cu pour les mêmes transporteurs transmembranaires, ce qui se traduit les faibles teneurs des deux espèces en Cd comparativement avec le Cr et le Pb par une inhibition partielle de l'absorption du cadmium par le système racinaire. D'une manière générale, les concentrations plus élevées sont enregistrées dans les racines et les plus faibles dans les organes de réserve (graines, fruits, tubercules) avec des séquences suivantes (Diserens, 1996) : [Cd] racines > [Cd] tige > [Cd] feuilles > [Cd] graine. Généralement les racines contiennent 10 fois plus de Cd que les tiges. Ce qui leur a confié le rôle de barrière (Kadem, 2005).

L'absorption du cadmium par les racines est déterminée par la concentration en cadmium du sol et par sa disponibilité biologique. La plus grande partie du cadmium accumulé reste dans les racines, seules de petites quantités sont transportées vers les parties aériennes. Chez le blé, 78 % du cadmium absorbé sont retenus dans les racines (Zhang et al., 2000).

Les plantes peuvent absorber du plomb à partir des racines, mais également à partir des organes aériens, ou bien par l'intermédiaire des deux. Les quantités de métal absorbées par les racines dépendent de la concentration et de la spéciation du métal dans la solution du sol, mais également de ses capacités de migration du sol vers la surface des racines. Ensuite, la quantité de plomb présente dans les divers organes d'une plante dépend du transport de l'extérieur des racines vers l'intérieur, puis de sa translocation des racines vers les feuilles (Patra et al., 2004).

L'étude de la distribution du Pb dans les racines et la partie aérienne, montre accumulation de ce dernier dans les racines. En effet, c'est au niveau des racines que l'accumulation en plomb s'effectue en grande quantité pour les deux espèces analysées, le *Sparganium erectum L* et le *Phragmites australis Adans*. Le stockage du Pb dans les racines à également enregistré chez plusieurs chercheurs et sur plusieurs espèces (Vardanyan et Ingole., 2006 ; Cecchi, 2008). Nos résultats montrent que les teneurs des espèces en cet élément sont légèrement supérieures au seuil limite estimé naturel proposer par Kabata-Pendias et Pendias, (1986) (5 - 10 ppm), cependant, ils dépassent largement le standard de Reeves et Baker (2000) (0.1 - 5 ppm). Le maximum "normal" dans les plantes, selon Rousseaux (1988) in Kadem, (2005), la teneur de 8 ppm est considéré comme valeur normale.

Pour les deux espèces, la majorité du plomb absorbé par les plantes réside dans les racines, et seulement une faible proportion est transloquée vers les parties aériennes. Ce transport limité des racines vers les feuilles peut être expliqué par la barrière formée par l'endoderme des racines. Les bandes de Caspary peuvent en effet être un facteur majeur limitant le franchissement de l'endoderme jusqu'au cylindre central (Sharma et Dubey, 2005).

De plus, ils trouvent des facteurs de translocation FT1 sont assez faibles, avec des valeurs de 0.12 pour *Phragmites australis Adans* et 0.19 pour le *Sparganium erectum L*, ces valeurs indiquant que les plantes séquestrent le plomb dans les parties racinaires et limitent le transport interne, des racines vers les parties aériennes.

Les espèces hyperaccumulatrices, ont la capacité de transloquer une grande quantité du plomb vers les parties aériennes (Seregin et Ivanov, 2001).

L'accumulation du Pb par les rhizomes du *Phragmites australis Adans* et également enregistré (Pevery et al. 1995 in Citeau, 2006).

Nos résultats montrent que les teneurs des deux espèces en Cr sont les plus importantes que celles du Pb et du Cd.

Les plus forts FBC constatés sont ceux du Cd. Au contraire, le FBC le plus faible est celui du Pb (0.19 pour le *phragmites australis Adans*). La forte valeur de FBC enregistré pour le Cd malgré sa faible concentration dans le sol traduit la capacité de l'espèce à accumuler le Cd.

En outre, nos résultats expérimentaux indiquent que les facteurs de transfert (FBC) pour *Phragmites australis* A. et le *Sparganium erectum* L. ne dépendent pas de la concentration des éléments dans le sol, mais ils dépendent essentiellement de l'espèce elle-même. Nos résultats sont en accord avec les résultats rapportés par : Cecchi (2008) dans les tomates et les fèves où les FBC varient entre 0.05 et 0.53 ; De Casabianca et al., (2004) dans la zostère marine où les FBC en Zn, Cr, Cu et Pb pour les racines sont de l'ordre de 0.5, 0.08, 0.5 et 0.1 respectivement et de 2.3, 0.01, 0.5 et 0.1 pour les feuilles. Alors qu'ils sont en contradiction avec ceux rapportés par de Zacchini et al., (2009), où les FBC en Cd pour le peuplier et la saule sont respectivement 9962, 4296 pour les racines et 293, 651 pour les parties aériennes.

Les données rapportées dans la littérature concernant la concentration du cadmium et de l'allocation entre les organes sont souvent contradictoires et c'est principalement en raison des conditions expérimentales adoptées. Ce qui pourrait expliquer pourquoi l'accumulation du cadmium diffère de celle trouvée par ces auteurs.

Les résultats obtenus permettent de suggérer que les fortes concentrations de métaux dans le sol empêchent le transfert des métaux du sol vers les plantes. Ceci pourrait être lié à la saturation des sites d'adsorption dans les racines ou pourrait indiquer le développement par les plantes d'un certain degré de tolérance à la toxicité des métaux lourds.

La capacité d'accumuler les métaux dans les parties aériennes à l'égard des racines a été mieux illustrée par le calcul des facteurs de translocation (Ft). Dans ce travail, on peut constater que la capacité de translocation du Cd pour les deux espèces est la plus importante par rapport aux autres métaux.

D'après Baker (1981), les Ft supérieurs à 1.0 ont été déterminés chez les espèces accumulatrices des métaux, tandis que les Ft généralement inférieurs à 1.0 chez les espèces ayant une stratégie d'exclusion des métaux c'est-à-dire l'immobilisation des métaux dans les racines avec une translocation limitée vers les parties aériennes et si les Ft sont égales à 1.0, les plantes se comportent indifféremment aux métaux (Sasmaz et al., 2008 ; Cecchi, 2008) ; selon Zhao et al., (2002) les Ft supérieurs à 1.0 indiquent une efficacité dans la capacité à transporter le métal de la racine à la feuille, probablement en raison de l'efficacité des systèmes transporteurs des métaux (Sasmaz et al., 2008).

Les Ft mesurée dans notre travail, sont inférieurs à ceux trouvé par Zacchini et al., (2009) dans le peuplier et la saule (10 et 23 respectivement), cependant ils sont comparables avec ceux rapportés par Sasmaz et al., (2008) sur le *Typha latifolia L.* qui montrent des Ft variant de 0.33 à 1 pour le Pb, de 0.15 à 0.92 pour le Cr et de 0.21 à 0.70 pour le Cd (Sasmaz et al., 2008).

D'une manière générale, les FBC et les FT du Cd des deux espèces sont les plus élevés malgré sa faible concentration dans les sols, indiquant ainsi la forte capacité d'accumulation du Cd de ces espèces. Les fortes valeurs de Ft constatées dans la présente étude confirme la considérable potentialité de ces espèces à éliminer le cadmium à partir du milieu contaminé par la translocation de ce métal vers les parties aériennes.

L'étude de la translocation des métaux lourds chez la plante nous a permis de mettre en évidence les caractères accumulateurs des métaux lourds dans les différents organes végétaux. Le transfert de ces métaux lourds, des sols vers la plante, repose sur un ensemble de mécanismes. En effet, de nombreux facteurs vont jouer un rôle dans ce transfert du sol vers la plante. Ces facteurs sont chimiques ou physiques (porosité du sol, nature des minéraux ou des matières organiques, types de polluant, granulométrie, température), et biologiques, tels que la nature de la plante. Par conséquent, la bioconcentration et la translocation sont des processus d'évaluation de la capacité accumulatrice des plantes afin de sélectionner les espèces ayant un intérêt dans la phytoremédiation.

# Conclusion

### Conclusion

Situé au nord –est de la wilaya de Jijel dans la commune de Taher, le marais de Ghedir EL- Mardj a connu de nombreuses activités humaines (agriculture, transports, accumulation de déchets,...) contribuent à une multiplication de contaminants organiques et métalliques présents dans les eaux et les sols. Ces contaminants peuvent avoir des effets sur l'environnement et la santé. Ils peuvent affecter la biodiversité du marais et engendrer le ralentissement, ou l'arrêt, de la croissance et du développement du monde animal, végétal et des micro-organismes. Mais ils peuvent également s'insérer dans la chaîne alimentaire et s'accumuler dans l'alimentation humaine.

Pour évaluer la dynamique de la pollution des métaux lourds dans le site d'étude, des échantillons de végétations ont été récoltés, acheminés au laboratoire et analysés.

Les résultats obtenus montrent que l'étude comparative de la distribution du métal dans les racines et la partie aérienne fait ressortir une importante différence en matière d'accumulation du chrome, également une différence entre les différentes espèces végétales. Contrairement au cadmium, l'accumulation la plus importante en chrome a eu lieu au niveau des racines pour les deux espèces végétales étudiées.

Il ressort des résultats que toutes les teneurs sont supérieures au seuil limite estimé naturel proposé par Kabata-Pendias et Pendias, (1986).

Nous notons que *Phragmites australis Adans* présente les teneurs en cadmium les plus élevées dans les racines. Cependant, les teneurs les plus bas sont celles enregistrées dans les racines de la même espèce.

L'étude de la distribution du Pb dans les racines et la partie aérienne, montre accumulation de ce dernier dans les racines.

Nos résultats montrent que les teneurs des deux espèces en Cr sont les plus importantes que celles du Pb et du Cd.

Les plus forts FBC constatés sont ceux du Cd. Au contraire, le FBC le plus faible est celui du Pb (0.19 pour le *Phragmites australis Adans*). La forte valeur de FBC enregistré pour le Cd malgré sa faible concentration dans le sol traduit la capacité de l'espèce à accumuler le Cd.

En outre, nos résultats expérimentaux indiquent que les facteurs de transfert (FBC) pour *Phragmites australis* Adans et le *Sparganium erectum* L. ne dépendent pas de la concentration des éléments dans le sol, mais ils dépendent essentiellement de l'espèce elle-même.

D'une manière générale, les FBC et les FT du Cd des deux espèces sont les plus élevés malgré sa faible concentration dans les sols, indiquant ainsi la forte capacité d'accumulation du Cd de ces espèces.

En perspectives il serait très important de :

- Elargir les études à d'autres espèces de macrophytes aquatiques
- Elargir les analyses à d'autres ETM et à des pesticides
- De faire des analyses des sols et des eaux pour mieux suivre la dynamique de la pollution
- De faire des études spatio-temporelles
- Réaliser des campagnes de sensibilisation auprès de citoyens pour protéger le site

Références bibliographiques

- Abdely CH.**, 2007. Bioremédiation / Phytoremédiation. *Sciences naturelles*, Tunis, 14-21pp.
- Abdul G. K.**,(2005). Role of soil microbes in the rhizosphere of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* , vol 18 , 355-364 pp.
- Abhilash P.C., Sarah J. & Singh N.**, (2009). Transgenic plants for enhanced biodegradation and phytoremediation of organic xenobiotic, *Biotechnology Advances*, vol 27, 474-488 pp.
- ADEME** (L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) *Traitement biologique des sols pollués : recherche et innovation.* (2006), 17 p.
- Angélique S.M.**, 2011. *Phytoremédiation des organochlorés. Etude mécanistique et fonctionnelle des capacités épuratrices du système plante-rhizosphère*, Thèse, Université de Grenoble 'Ecole Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement (EDISCE) , 52p .
- Anonyme, 2009** : CRE ; Conseil Régional de l'Environnement, Laurentides, les plantes aquatiques.
- Anonyme.** La cité administratif (direction de l'environnement) wilaya de Jijel., 2007.
- Aoun M.**, 2009. *Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne [Brassica juncea (L.) Czern] néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines.* Thèse de doctorat d'université présentée à l'université de Bretagne occidentale, 135 p.
- Azizur R. M. & Hasegawa H.**, (2011). Aquatic arsenic: Phytoremediation using floating macrophytes, *Chemosphere*, Vol 83, 633-646 pp.
- Baize D., Tercé M.& Coord .**, 2002 . *Les éléments traces métalliques dans les sols*, INRA, Paris, 314, 319pp.
- Baize D.**, 1997. *Les teneurs totales en éléments traces métalliques dans le sol.* INRA, Paris, 117-169 pp.
- Baize D.**, 1994. *Les Éléments Traces Métalliques (ETM) dans les sols. Tout ce qu'il faut savoir*, Institut National de la Recherche Agronomique - Science du Sol – Orléans. 28 p.

**Baker AJM, 1981.** Accumulators and excluder-strategies in the response of plants to heavy metals. *J Plant Nutr* 3:643–654

**Barbe J, 1984.** Les végétaux aquatiques. Données biologiques et écologiques. Clés de détermination des macrophytes de France. *Bulletin Français de Pisciculture*

**Belgers J. D .M., Aalderink. G.H. & Van den Brink P.J., (2009).** Effects of four fungicides on nine non-target submersed macrophytes, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol: 72, 579–584 pp.

**Brunet J., Repellin A. , Varrault G. , Terryn N. & Zuily-Fodil Y., (2008) .** Lead accumulation in the roots of grass pea (*Lathyrus sativus* L.): a novel plant for phytoremediation systems? , *C. R. Biologies*, Vol 331, 859–864pp.

**Cecchi M., 2008.** *Devenir du plomb dans le système sol-plante. Cas d'un sol contaminé par une usine de recyclage du plomb et de deux plantes potagères (Fève et Tomate)*. Thèse Présentée pour obtenir le titre de docteur de l'institut national polytechnique de Toulouse. École doctorale : Sciences Ecologiques Vétérinaires Agronomiques et Bioingénieries. Spécialité : Agrosystèmes, Ecosystèmes et Environnement. 226 p.

**Citeau L., 2006.** Rapport pour l'Agence de l'Eau Seine Normandie. PP.39.47.

**Casabiabca M.L., Asabianca DE, , Tari P.S., Gauchet R., Raynaud C., Rigollet V., 2004.** Relationships between heavy metal concentrations in sediments and eelgrass and environmental variables (*Zostera marina*, Thau lagoon, France). *VIE ET MILIEU*, 54 (4) : 231-238.

**Conseil canadien des ministres de l'environnement, 1999.** Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : Environnement et santé humaine — cadmium, dans Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, Winnipeg, le Conseil.

**Dahmani-Muller H., Oort F. V., Gelie B. & Balabane M . , (2000) .** Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter, *Environmental Pollution*, vol 109 , 231-238 pp.

**Dawson F.H, 1978.** Aquatic plant management in semi-natural streams. The role of marginal vegetation. *J. Environ. Manag*, 6, 213-221.

**Delag P. & Schrefler B., 2005.** *Géomécanique environnementale sols pollués et déchets*, Paris, 171p.

**Deram A., Denayer F-O., Dubourgier H.C. , Douay F., Petit D.& Van Haluwyn .C.,(2007)** .Zinc and cadmium accumulation among and within populations of the pseudometalphytic

species *Arrhenatherum elatius*: Implications for phytoextraction, *Science of the Total Environment*, Vol 372 , 372–373pp.

**Diserens E., 1996.** Teneurs en cadmium dans la partie comestible des plantes cultivées : une étude bibliographique. Rev. OFEFP Sols pollués – métaux lourds et plantes bioindicatrices. *Document Environnement* n ° 58, Sol, Berne. 15-75

**Donald E.R. M., Graeme J. A. , Richard I. W. & Barry W.,( 2008).** Uptake and localisation of lead in the root system of *Brassica juncea*, *Environmental Pollution*, Vol 153, 323-324pp.

**Epelde L ., Becerril J.M ., Barrutia O., Gonzalez-Oreja J.A. & Garbisu C., (2010).** Interactions between plant and rhizosphere microbial communities in a metalliferous soil *,Environmental Pollution*, Vol 158 , 1576–1583pp.

**Gobat J M., Aragno M. & Matthey W., 2003 :** *le Sol vivant*, 2<sup>o</sup> <sup>me</sup> Edition .Revue et augmentée, France, 344 ,347 pp.

**Huynh., 2009.** *Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante/ ver de terre/ Microflore tellurique*, Thèse. Université Paris est Ecole Doctorale Science de la Vie et de la Santé. , 15-19pp

**January M.C., Cutright T.J. , Keulen H.V. & Wei R .,(2008) .** Hydroponic phytoremediation of Cd, Cr, Ni, As, and Fe: Can *Helianthus annuus* hyperaccumulateur multiple heavy metals? , *Chemosphere*, Vol 70 , 531–537 pp.

**Juget J. et Rostan J.C., 1973.** Influence des herbiers à *Trapa natans* sur la dynamique d'un étang en période estivale. *Annales Limnol.* S (1), 11 -24.

**Kabata-Pendias A., Pendias H., 1992.** *Trace elements in soils and plants*;2<sup>nd</sup> edition. CRC press.

**Kabata-Pendias A. and Pendias H. (1986).** *Trace Elements in Soils land Plants*, 6 nd Ed. CRC Press, inc, USA 1-315.

**Kadem D.E.D., 2005.** *Évaluation et comportement des métaux lourds (Cd-Cr-Cu-ni-Pb-Zn et Mn) dans les sols à vocation agricole et à végétation naturelle soumis à une pollution atmosphérique. (El Hadjar – Annaba – Est Algérien), Influence de la végétation sur la dynamique de ses métaux*, Thèse de Doctorat en Ecologie, Univ Mentouri Constantine, pp 09-127.

- Keskinkan O., Goksu M.Z.L., Yuceer A., Basibuyuk M. & Forster C.F.,** (2003). Heavy metal adsorption characteristics of a submerged aquatic plant (*Myriophyllum spicatum*) Process, *Biochemistry*, Vol 39 ,179-183pp.
- Koller E.,** 2004 .*Traitement des pollutions industrielles*.Dunod, Paris, 344-345pp.
- Lecomte P. ,**1998 .les sites pollués, traitement des sols et des eaux souterraines, 2Edition .Revue et augmentée, Paris, 161-164pp.
- Lozet J., Mathieu CL. & Jamagne. M. ,**2002 . *Dictionnaire de science du sol*, 4<sup>ème</sup> Edition, Edition TEC & DOC, Paris , 287, 344pp.
- Manda B.K ., Client G., André C., Manda A.C ., Marquet J.P. & Micha J.C .,** 2010 .Evaluation de la contamination de la chaine trophique par les éléments tracs (Cu, Co, Zn, Pb, Cd ,U , V et As ) dans le bassin de la Lufira supérieure ( Katanga/RD Congo ) , Congo
- Marijan N. , Peter K. , Janez Š. , Radojko J. , Jurij S. , Primož P. ,Miloš B ., Zvonka J., Paula P. , Marjana R. & Katarina V. ,** (2008) . Application of X-ray fluorescence analytical techniques in phytoremediation and plant biology studies, *Spectrochimica Acta Part B*, Vol 63, and 1240-1247pp.
- Martin I.D., Ferguson C.C.,** 1997. An approach for predicting trace metal uptake by vegetables grown in contaminated soils. *In: Contaminated Soils: Third International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements*, Paris, May 15-19 1995, (ed Prost R.), D: /data/communic/105.PDF,colloque 85, INRA Editions, Paris, France.
- Megan J.C. M., Langrehr H. A.& Angradi T.A.,** (2012). A submersed macrophytes index of condition for the Upper Mississippi River, *Ecological Indicators*, Vol: 13, 196–197pp
- Michael W.H. E. , Ebel M. & Schaeffer A.,**(2007) . Chelate assisted phytoextraction of heavy metals from soil. Effect, mechanism, toxicity, and fate of chelating agents, *Chemosphere*, Vol 68, 989–991pp.
- Michel C.G., Christian W., Jean C. R., Jacques B. & Jean L.M .,**(2005). *Sols et environnement*, Dunod, Paris, 486p.
- Mustin S.D ., Debet S .R., Mustin C., Henner P., Lamy C.M., Berthelin J., Laplace J .G ., LeyvalC.,** 2003.*Mobilité et transfert racinaire des éléments en traces : influence des micro-organismes du sol*, Lavoisier, Paris ,42-43pp.

**Oihana B., Carlos G., Javier H.A, Jose' I. G.P.& Jose' M. B.,**(2010). Differences in EDTA-assisted metal phytoextraction between métallicoles and non-métallicoles accessions of *Rumex acetosa* L, *Environmental Pollution*, Vol 158, 1710–1715pp.

**Patra M., Bhowmik N., Bandopadhyay B., Sharma A.,** 2004.Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, pp 199-223.

**Piechalak . A., Tomaszewska B., Baralkiewicz D.& Arleta M .,**(2002). Accumulation and detoxification of lead ions in legumes, *Photochemistry*, Vol 60, 153–162pp.

**Puhui J., Tieheng S., Yufang S., Leigh A.M. & Yang L.,**(2010). Strategies for enhancing the phytoremediation of cadmium-contaminated agricultural soils by *Solanum nigrum* L, *Environmental Pollution*; vol 159, 762e768pp.

**Pulford I.D. & Watson C,**(2003) . Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees—a review, *Environment International*, vol 29 ,529– 540 pp.

**Quartacci F.M., Irtelli B., Gonnelli C., Gabbrielli R. & Navari-Izzo F .,**(2009). Naturally-assisted metal phytoextraction by *Brassica carinata*: Role of root exudates, *Environmental Pollution*, vol 157 , 2697–2703pp.

**Ramade F.,** 2007.*Introduction à l'écotoxicologie : fondements et applications*. TEC et DOC. Lavoisier(Ed).Paris, 421-422pp.

**Ramade F.,** 2002 .*Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement*, 2<sup>e</sup> Edition .Dunod, Paris, 475-476, 621,623pp.

**Ramade F.,** 2000. *Dictionnaire encyclopédique des polluants* .Ediscience international, Paris , 281-398 pp .

**Ramade. F.,** 1998 .*Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau*. Ediscience, Paris p357

**Sasmaz A., Obek E., Hasar H.,** 2008. The accumulation of heavy metals in *Typha latifolia* L. grown in a stream carrying secondary effluent; *Elsevier; Ecological Engineering* .33: 278-284.

**Schroder., Harvey P. J .& Schwitzguébel J. P.,** (2002) . Prospects for the Phytoremédiation of Organic Polluants in Europe. ESPR -Environ Soi 8, Pollut Res .*Springer-Verlag*,9 (1), 1-3 pp.

**Seregin I.V, Ivanov V.B.** 2001. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants.*Russ J Plant Physiol*; 48: 523-544.

**Shallari S.,** 1997.*Disponibilité du nickel du sol pour l'hyperaccumulateur Alyssum murale*, Thèse, Nancy, pp 6-10.

- Sharma P., Dubey R.S., 2005.** Lead toxicity in plants, *Brazilian journal of plant physiology*, vol 17 (1).
- Silvia Q. , Gianni B. , Michela S. , Silvia N. , Giulio G. , Virginia R., Marica S. & Mario M. , (2007)** . Phytoremediation of chromium using *Salix* species: Cloning ESTs and candidate genes involved in the Cr response, *Gene*, Vol 402, 69 p.
- Vanessa N., Kavamura. & Elisa. E.,(2010).** Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals, *Biotechnology Advances*, vol 28,61–69pp.
- Vardanyan L.G & Ingole B. S., (2006).** Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems, *Environment International*, vol 32 , 208 – 218 pp.
- Visoottiviseth p., Francesconi K.& Sridokchan W. , (2002).** The potential of Thai indigenous plant species for the phytoremediation of arsenic contaminated land , *Environmental Pollution* vol 118 , 453–461 pp.
- Wetzel R.G. & Hough R.A., 1973.** Productivity and role of aquatic macrophytes in lakes. An assessment. *Polskie Archiv. Hydrobiol.* 20 (1), 9-19.
- Wei S., Zhou Q.& Koval V.P., (2006).** Flowering stage characteristics of cadmium hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. and their significance to phytoremediation, *Science of the Total Environment*, vol 369, 441–446 pp.
- Wu L.H., Luo Y.M., Xing X.R.& Christie. P.,(2004).** EDTA-enhanced phytoremediation of heavy metal contaminated soil with Indian mustard and associated potential leaching risk, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol 102, 307–318pp.
- Yuebing S., Qixing Z., Yingming X., Lin W& Xuefeng L.,(2011).** Phytoremediation for co-contaminated soils of benzo[a]pyrene (B[a]P) and heavy metals using ornamental plant *Tagetes patula*, *Journal of Hazardous Materials* ,vol 186 ,2075–2082pp.
- Zacchini M., Pietrini F., Mugnozza G.S., Iori V., Pietrosanti L., Massacci A., 2009.** Metal tolerance, Accumulation and translocation in Poplar and Willow clones treated with cadmium in hydroponics; Springer science+Business media; *Water Air Soil Pollut*, 197: 23-34pp.
- Zhang B.Y. , Zheng J.S. & Sharp R.G. , (2010).** Phytoremediation in Engineered Wetlands: Mechanisms and Applications, *Procedia Environmental Sciences*, vol 2 , 1315-1325 pp.
- Zhao F, Dunham SJ, McGrath SP (2002)** Arsenic hyperaccumulation by different fern species. *New Phytol*, 156:27-31pp.

**Zhao F, Lombi E, Brendon T, McGrath SP, 2000.** Zinc hyperaccumulation and cellular distribution in *Arabidopsis halleri*. *Plant Cell Environ*,23:507-514pp.

# **Annaxes**

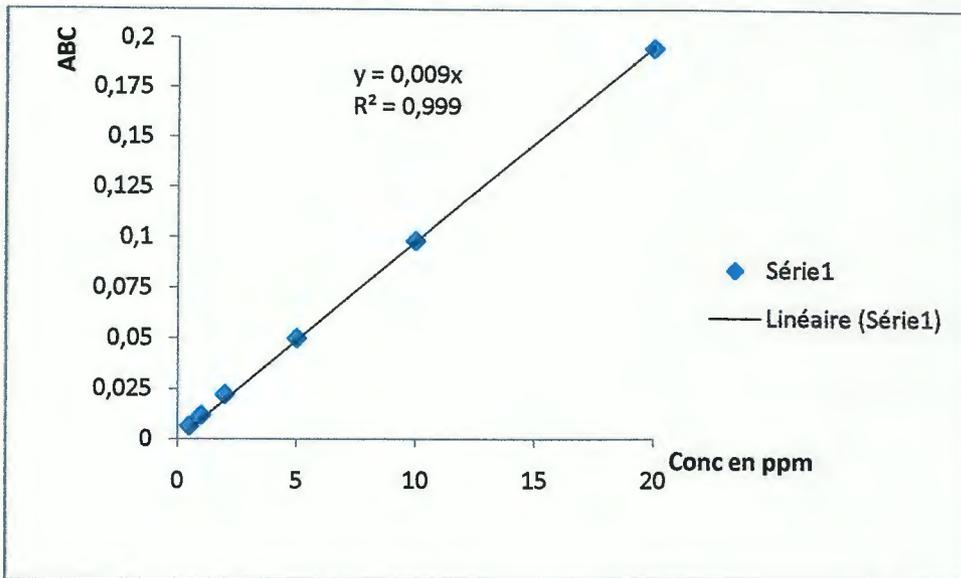


Figure 1: droite d'étalonnage du Pb

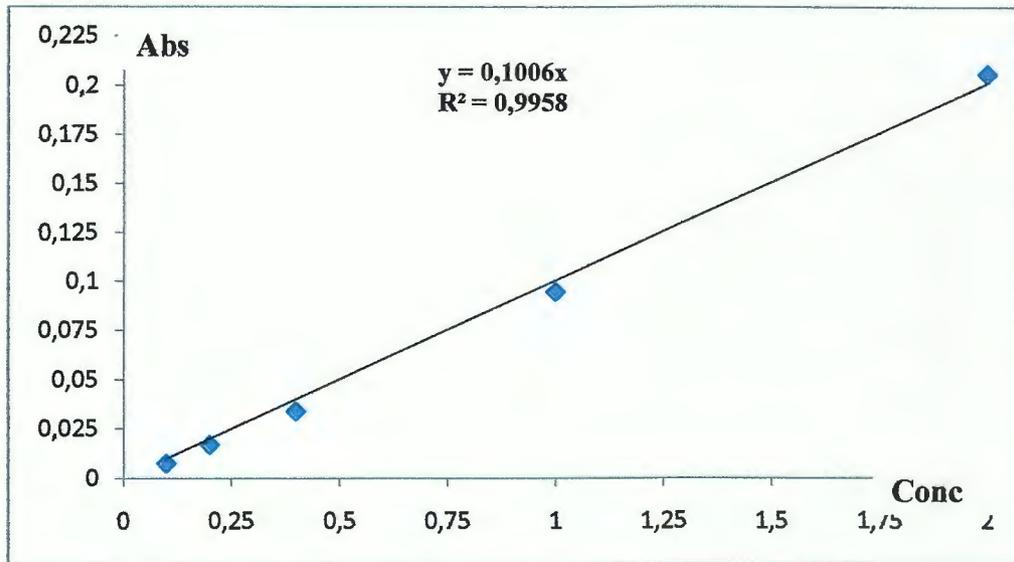


Figure2: droite d'étalonnage du Cd

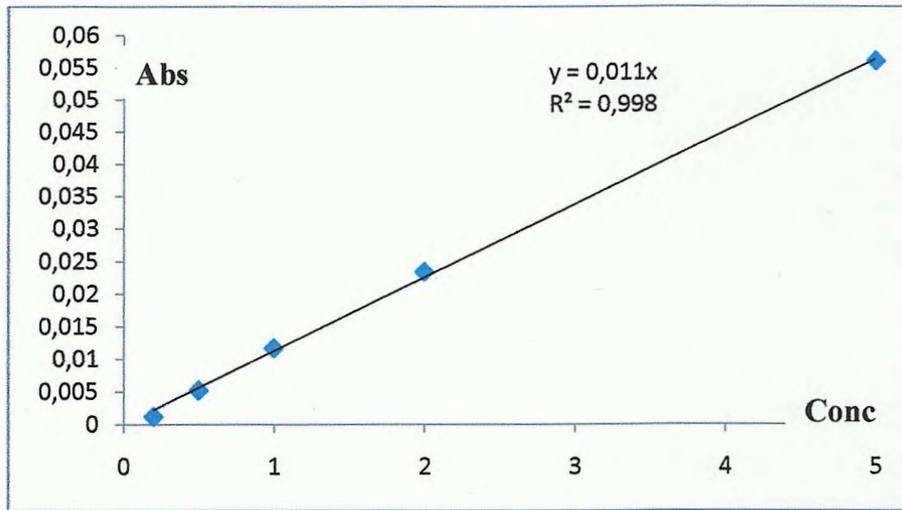


Figure 3: droite d'étalonnage du Cr

Réalisé par :- Mérimeche Hiba - Boulahchiche Fadia	Date de soutenance :01/07/2012
---	--------------------------------

**Thème : Contribution à l'étude de la contamination par les métaux lourds de certaines espèces macrophytes aquatiques le marais de Redjla Taher**

**Résumé**

Dans le but d'évaluer la capacité d'accumulation de certaines macrophytes aquatiques pour certains métaux lourds (Pb, Cd et Cr), deux espèces de macrophytes aquatiques ; le *Phragmites australis Adans* et le *Sparganium erectum L.* ont été récoltées du marais de Redjla Taher, acheminées au laboratoire et soumises à une digestion total et analysées pour le Pb, Cr et le Cd.

Les résultats obtenus montrent que l'étude comparative de la distribution des métaux dans les racines et la partie aérienne fait ressortir une importante différence en matière d'accumulation, cependant le Pb et le Cr sont absorbés par les racine alors que le Cd est accumulé au niveau des parties aériennes.

**Mots clés :** Marais, Redjla, *Phragmites australis Adans.*, *Sparganium erectum L.*, Métaux lourds, Facteur de Bioconcentration, Facteur de translocation.

**Summary**

In order to evaluate the accumulation capacity of some aquatic macrophytes for some heavy metals (Pb, Cd and Cr), two species of aquatic macrophytes, *Phragmites australis Adans* and *Sparganium erectum L.* were harvested from Redjla Marshes, Taher, transported to laboratory, subjected to total digestion and analyzed for Pb, Cr and Cd. The results show that the comparative study of the distribution of metals in roots and aerial parts revealed a significant difference in the accumulation, however, Pb and Cr are absorbed by the root so that Cd is accumulated in the aerial parts.

**Keywords:** Redjla marshes, *Phragmites australis Adans.*, *Sparganium erectum L.*, Heavy metals, Bioconcentration Factor, translocation factor.

**الملخص**

من أجل تقييم قدرة تخزين بعض النباتات المائية لبعض المعادن الثقيلة (الرصاص والكاديوم والكروم)، وهما نوعان من النباتات المائية *Phragmites australis Adans*، *Sparganium erectum L.* قمنا بحصدهما من مستنقع الرجلة بالطاهير، و أرسلت إلى المختبر وتعرض لعملية الهضم الكلي وتحليلها بالنسبة للرصاص، والكروم والكاديوم وأظهرت النتائج أن دراسة المقارنة في توزيع المعادن في الجذور والأجزاء الهوائية كشفت عن وجود اختلاف كبير في التراكم، حيث يتم امتصاص الرصاص والكروم في الجذور بينما يتم امتصاص الكاديوم في الأجزاء الهوائية.

الكلمات المفتاحية: مستنقع الرجلة، *Phragmites australis Adans*، *Sparganium erectum L.* المعادن الثقيلة، عامل التركيز الأحيائي، عامل الانتقال.