

**RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

*Université Abderrahmane Mira-BEJAIA  
Faculté de Technologie  
Département de Génie des Procédés*

**Mémoire de fin de cycle**

En vue de l'obtention du diplôme de  
**MASTER**  
En Génie des Procédés  
Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

**Thème**

**Etude de mobilité des métaux lourds dans  
l'éco-système végétal application à l'espace  
poaceae**

**Réalisé par**

SENOUNE Thiziri

MAY Amel

**Encadreur : Mme N. BELHADJ**

**Membres de jury**

**Président : M<sup>me</sup> Belkacemi Hayat**

**Examinatrice : M<sup>me</sup> Bouariche Zakia**

**Invité: Mr Azzoug Moufok**

**Année Universitaire : 2021/2022**

## *Remerciements*

*Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements.*

*Nous tenons avant tout à remercier dieu le tout puissant de nous avoir donné la force et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Nous tenons aussi, à exprimer nos remerciements, à notre promotrice Mme BELHADJ, pour son encadrement, pour ses précieux conseils, et pour son orientation et aide, et surtout pour son soutien qui nous a permis l'accomplissement de ce travail.*

*Nous tenons également à remercier l'ensemble des membres de jury de nous avoir fait l'honneur d'examiner et d'évaluer notre travail.*

*On voudrait adresser nos sincères remerciements à tous les professeurs, et tout personnes intervenants qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs critiques, et leurs judicieux conseil, et surtout pour leur patience et disponibilité, ont guidé nos réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches.*

*Nous remercions les plus vifs vont tout particulièrement à nos parents, en qui nous avons puisé tout le courage, la volonté et la confiance, nous leur serons éternellement reconnaissants.*

*Enfin, nous tenons à remercier toute personne qui nous aidé par leur soutien et leurs encouragements à réaliser ce modeste travail.*



## *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire*

*A mes chers parents* que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments et mon éternelle gratitude, pour leur patience illimitée, leurs encouragements continus, leur aide, en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices

*A ma chère sœur : Dihia*

*A mes frères : Yacine et Lounis*

*pour leur soutien, compréhension et qui n'ont cessé d'être présents pour moi.*

*Sans oublier mes amies et cousines* exceptionnellement : Nadine, Rania, Thinhinane, Laythmas

*A mon binôme Amel* et toute sa famille

*et tous ceux qui me connaissent de loin ou de près.*

***Thiziri***





## ***Dédicace***

*Je dédie ce modeste travail*

*A **mes très chers parents** Said et Khadidja, qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde gratitude pour leur amour, leur encouragement et leur soutien tout au long de mes études.*

*A **mes chères sœurs** : Alima, Fouziya, Katiba, Nassma.*

*A **mes frères** : Hamza, Mahmoud .*

*A mon ami Oussama qui m'a encouragé, qui m'a donné la force et la volonté de surmonter tous les obstacles et les difficultés.*

*A tous mes chères amies Houda, Salma, Iman, Nassima, Nadine , Rania .*

*A tous mes collègues de promotion, Sans oublier mon binôme Thiziri qui est le bras droit et à toute sa famille.*

***Amel***



<b>N° de figure</b>	<b>Liste des figures</b>	<b>N° de page</b>
<b>Figure I.1</b>	Image d'une population de roseaux communs	3
<b>Figure I.2</b>	Les différentes parties de <i>Phragmites australis</i>	4
<b>Figure I.3</b>	Origine des métaux lourds dans le sol	16
<b>Figure I.4</b>	Le plomb	18
<b>Figure I.5</b>	Le cadmium	19
<b>Figure I.6</b>	Le nickel	19
<b>Figure I.7</b>	Le manganèse	20
<b>Figure I.8</b>	Différentes voies d'exposition pour l'homme	21
<b>FigureII.1</b>	Site industriel de la collecte de la plante Roseau commun	23
<b>FigureII.2</b>	Site non industriel de la collecte de la plante Roseau commun	23
<b>FigureII.3</b>	Les différentes étapes de préparations de la matière végétale : <b>a</b> : séparation des différentes, <b>b</b> : lavage et découpage, <b>c</b> : séchage, <b>d</b> : broyage et tamisage et <b>e</b> : calcination des échantillons	25
<b>Figure II.4</b>	Les différentes étapes de préparations de la matière minérale (la terre)	26
<b>Figure II.5</b>	La spectrométrie d'absorption atomique (S.A.A)	27
<b>Figure II.6</b>	Préparation des échantillons végétales	28
<b>Figure II.7</b>	Préparation de l'échantillon minérale	28
<b>Figure II.8</b>	Solution mère d'Étalon de cadmium	29
<b>Figure II.9</b>	Solution mère de étalon de Nickel	29
<b>Figure II.10</b>	Solution mère de étalon de plomb	30
<b>Figure II.11</b>	solution étalon de manganèse	30
<b>Figure II.12</b>	Préparation des étalons pour le dosage des métaux (Pb, Cd, Ni, Mn) dans les échantillons végétaux et l'échantillon minérale	32
<b>Figure II.13</b>	Le conductimètre	33
<b>Figure II.14</b>	Le pH mètre	34

<b>N° du tableaux</b>	<b>Liste des tableaux</b>	<b>N° de page</b>
<b>Tableau I.1</b>	Classification de roseau commun	5
<b>Tableau I.2</b>	Les compositions chimiques de <i>Phragmites australis</i>	9
<b>Tableau I.3</b>	Les compositions minérales de <i>Phragmites australis</i>	9
<b>Tableau I.4</b>	Les acides aminés de <i>Phragmites australis</i>	10
<b>Tableau I.5</b>	Rôle des métaux lourds dans les fonctions des organismes végétaux et animaux	16
<b>Tableau II.1</b>	Préparations des étalons pour le dosage des métaux (Pb, Cd, Ni, Mn) dans les échantillons végétaux et l'échantillon minérale	31

## Liste des abréviations

**(Al(OH)<sub>3</sub>)** : Les hydroxydes d'aluminium

**(Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O)** : Cadmium nitrate tetrahydratant

**(Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O)** : Manganèse II nitrate Tetrahydrate (Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O)

**(N<sub>2</sub>O<sub>6</sub>Pb)** : Nitrate de plomb

**(Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O)** : Nickel nitrate hexa hydratante

**Abs** : Absorption.

**C** : concentration

**Ca** : calcium

**Cd** : Cadmium

**CEC** : La capacité d'échange cationique

**Cm** : centimètre

**Cu** : cuivre

**Eh** : Le potentiel redox

**Fe** : fer

**FTIR** : La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

**g** : Gramme

**H** : Heure.

**HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

**Hg** : Hydrargyrum

**HNO<sub>3</sub>** : L'acide nitrique

**IR** : Rayonnement Infrarouge

**K** : potassium

**Kbr** : Bromure de potassium

**KN** : Kilonewton

**Meq** : Milliéquivalent

**Mg** : Magnésium

**Min** : Minute

**MIR** : La spectroscopie moyen infrarouge

**ml** : millilitre

**MM** : Milieu minéral

**mm** : Millimètre

**Mn** : Manganèse

**MS** : Matière sèche

mV : Millivolt

**Na** : sodium

**Ni** : Nickel

**nm** : nanomètre

**O.M.S** : L'organisation mondiale de la santé

**OH<sup>-</sup>** : Hydroxyle

**P** : Phosphore

**Pb** : Plomb

**pH** : Potentiel hydrogène

**ppm** : partie par million

**R<sup>2+</sup>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>** : La forme prédominante des carbonates

**S1** : Solution 1

**SAA** : Spectrométrie d'absorption atomique

**SB** : Suspension bactérien

**SM** : solution mère.

**V** : volume

**Zn** : zinc

**µm** : Micro mètre

**µS** : Micro siemens

# Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction .....1

## Chapitre I: Aspect théorique de l'étude

I.1	Etude botanique du roseau commun (Phragmites australis) .....	3
I.1.1	Description botanique.....	3
I.1.2	Classification de roseau commun.....	5
I.1.3	Propagation et croissance .....	5
I.1.4	L'utilisation du roseau commun.....	6
I.1.4.1	Usages alimentaires.....	6
I.1.4.2	Usages médicaux .....	6
I.1.4.3	Usages industriels .....	6
I.1.4.4	Usages agricoles .....	7
I.1.4.5	Usages aquaculture .....	7
I.1.5	Impacts sur l'environnement.....	7
I.1.6	Composition chimique .....	8
I.2	Mobilité des polluants métallique dans les sols .....	10
I.2.1	Les constituants des sols impliqués dans la mobilité des éléments métalliques .....	11
I.2.1.1	Les minéraux primaires .....	11
I.2.1.2	Les minéraux secondaires .....	11
I.2.1.3	La matière organique .....	13
I.2.2	Phénomènes désorptions des éléments métalliques dans les sols .....	14
I.2.3	Facteurs modifiant la mobilité des éléments métalliques .....	14
I.3	TOLERANCE AUX METAUX LOURDS CHEZ LES VEGETAUX .....	15



<b>I.3.1</b>	Définition des métaux lourds.....	15
<b>I.3.2</b>	Origine de la contamination des sols par les métaux lourds.....	16
<b>I.3.3</b>	Caractéristique générale des métaux les plus concentrés.....	18
<b>I.3.4</b>	Toxicité des métaux lourds .....	20
<b>I.3.4.1</b>	Effets toxiques sur l’homme .....	20
<b>I.3.4.2</b>	Impact des métaux lourds sur la faune et la flore du sol .....	21
<b>I.4</b>	Les métaux lourds dans la plante .....	22
<b>I.4.1</b>	Transfert des métaux lourds vers les plantes.....	22

## **Chapitre II: Matériels et méthodes**

<b>II.1</b>	Le matériel végétal et minéral.....	23
<b>II.1.1</b>	La collecte du matériel végétal .....	23
<b>II.1.2</b>	Préparation de la matière végétale et minérale .....	24
<b>II.1.2.1</b>	Préparation de la matière végétale .....	24
<b>II.1.2.2</b>	Préparation de l’échantillon minérale (la terre).....	25
<b>II.2</b>	Dosage des métaux lourds par la méthode des ajouts dosés avec spectroscopie d’adsorption atomique (SAA) .....	26
<b>II.2.1</b>	Spectroscopie d’adsorption atomique (SAA).....	26
<b>II.2.2</b>	Préparation des échantillons végétales (racine, tige, feuille, fleur) pour le dosage par SAA .....	27
<b>II.2.3</b>	Préparation de l’échantillon minérale (la terre) pour le dosage par SAA.....	28
<b>II.2.4</b>	Le dosage des métaux lourds par la méthode des ajouts dosés.....	29
<b>II.2.4.1</b>	Préparation des solutions mères des métaux lourds (Pb, Ni, Cd, Mn)....	29
<b>II.2.4.2</b>	Préparations des étalons pour le dosage des métaux (Pb, Cd, Ni, Mn) dans les échantillons végétaux et l’échantillon minérale.....	31
<b>II.3</b>	Détermination des facteurs modifiant la mobilité des éléments métallique dans la matière minérale .....	32
<b>II.3.1</b>	La Conductivité .....	32
<b>II.3.2</b>	PH (Potentiel Hydrogène) .....	33

## Chapitre III : résultats et discussion

<b>III.1</b> Résultats des dosages des métaux lourds (Pb, Ni, Cd), dans la matière végétale (les différentes parties du roseau commun .....	35
<b>III.1.1</b> Le dosage des métaux lourds dans la matière végétale et minérale prélevée dans un site industriel (la zone industrielle d'El kseur –Bejaïa) .....	35
<b>1.1.1</b> Le dosage du plomb (Pb) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre) .....	35
<b>1.1.2</b> Le dosage du cadmium (Cd) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre).....	38
<b>1.1.3</b> Le dosage du Nickel (Ni) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre).....	40
<b>1.1.4</b> Le dosage du manganèse ( $Mn^{2+}$ ) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre).....	42
<b>III.1.2.</b> Le dosage des métaux lourds dans la matière végétale et minérale prélevée dans un site non contaminé (Aokas –Bejaïa).....	45
<b>1.2.1</b> Le dosage du plomb (Pb) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre).....	45
<b>1.2.2</b> Le dosage du cadmium (Cd) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre).....	47
<b>1.2.3</b> Le dosage du Nickel (Ni) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre).....	49
<b>1.2.4</b> Le dosage du manganèse ( $Mn^{2+}$ ) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre) .....	51
<b>III.1.3.</b> Etude comparative de la concentration des métaux lourds dans l'echantillons vegetal (racine, tige , feuille et fleur) et l'echantillon mineral ( le terre) dans (la zone industrielle d'El kseur –Bejaia) et le site non industriel (Aokas- bejaia ).....	53
<b>1.3.1</b> dosage de[ $Pb^{2+}$ ] .....	54
<b>1.3.2</b> dosage de[ $Cd^{2+}$ ].....	55
<b>1.3.3</b> dosage de[ $Ni^{2+}$ ].....	56
<b>1.3.4</b> Dosage de [ $Mn^{2+}$ ] .....	57

**III.2** Les facteurs physiques modifiants la mobilité des éléments métalliques dans la matière minérale (le sol) prélevée du site industriel et non industriel.....57

**III.2.1** La Conductivité électrique.....57

**III.2.2** Le potentiel à hydrogène Ph.....58

**Conclusion**.....61

**Références bibliographiques**

**Annexe**

# **Introduction**

L'industrialisation avancée a conduit à la vaste libération de polluants dans l'environnement telle que les hydrocarbures, les pesticides et les métaux lourds (**Kamran et al. 2014**). Les métaux lourds ne peuvent être dégradés par aucun processus biologique ou chimique, c'est pourquoi ils ont tendance à s'accumuler dans l'eau, le sol, les sédiments et les organismes vivants au fil du temps (**Ali et al.2004 ; Sun et al.2013**).

La contamination par les métaux lourds représente un problème mondial qui menace les écosystèmes aquatiques, agricoles ainsi que la santé humaine (**Eid et al.2012**). (**Ali et al.2004**). Cette contamination peut provenir à la fois de processus naturels (altération des roches ultramafiques) ou par intervention humaine telle que l'exploitation minière, galvanoplastie, l'utilisation agricole de pesticides et d'engrais, élimination des boues et rejets industriels (**Ali et al.2013**).

L'extraction des métaux lourds et le traitement des minerais produisent de grandes quantités de déchets qui restent généralement dans les résidus sur le site minier (**Hudson Edwards et al,2011**). Dont Les fines particules sont soumises à une altération chimique progressive et représentent donc une source à long terme de métaux potentiellement toxiques dans l'environnement. et leur dispersions par l'érosion éolienne et hydrique, entraine une large pollution des eaux et des sols.

Diverses techniques technologiques ont été développées pour réduire les concentrations des métaux lourds dans l'environnement (par exemple ; la précipitation chimique, la filtration sur membrane), mais la plus part d'entre elles, bien qu'efficaces se sont avérées coûteuses et peu respectueuses de l'environnement (**Olguin et al 2012, Matin et al 2014**). L'utilisation de certaines espèces végétales pour extraire, séquestrer et détoxifier les polluants métalliques s'est avérée une alternative écologique prometteuse et intéressante pour l'assainissement et la dépollution du sol des sites contaminés (**Ali et all,2013**). Les données relatives à la capacité d'absorption des métaux lourds par les plantes sont fondamentales non seulement pour les objectifs de la phytoremédiation mais aussi

pour la mise en œuvre d'actions appropriées de la restauration et de gestion écologique, rendant ainsi la phytoremédiation plus durable (**Tack et Vandecasteele 2008 ; Bonnano2013**).

Chez les végétaux, certains métaux lourds sont indispensables aux processus physiologiques majeurs, en particulier à la respiration, la photosynthèse ou l'assimilation des macronutriments (Cu, Zn, Ni, Fe, Co) (**Stroganova et al., 1997**).

Dans le cadre de ce travail le choix s'est porté sur une plante ; le roseau commun ''*Phragmites australis*'', et l'étude de son pouvoir décontaminant des sols par certain métaux lourds. Le roseau commun est très répandue dans la région de Bejaia –Algérie ses propriétés ainsi que sa disponibilité, font de lui un matériau renouvelable et performant. Il est indépendant des enjeux agricoles et ne demande aucun intrant chimique, contrairement au miscanthus, au lin et au chanvre (**Mathilde Honore ,2020**),.

Ce travail est présenté en trois chapitres.

- Le premier chapitre renferme une approche théorique de l'étude à savoir ; une étude botanique du roseau commun, ''*Phragmites australis*'', la mobilité des polluants métalliques dans les sols, ainsi que la tolérance des végétaux aux métaux lourds
- Le deuxième chapitre est de l'ordre pratique, dans lequel est exposé le matériel les méthodes utilisées dans cette étude.
- Le troisième chapitre comporte la partie résultats et discussion

Ce travail enfin est clôturé par une conclusion et des perspectives.

# **Chapitre I**

## **Aspect théorique de l'étude**

## I.1 Etude botanique du roseau commun (*Phragmites australis*)

Le roseau commun (*Phragmites australis*) a été décrit pour la première fois en 1753 par Linnaeus comme *Arundo Phragmites* L. (Clayton, 1967) nommé Aghanim dans la langue berbère est une plante aquatique macrophyte vivace herbacée de la famille des Graminées (Poaceae). (Mal et Narine, 2004).

Le roseau commun est probablement la plante vasculaire la plus répandue dans le monde. (Figure 1) (H.Sébire.2015). On le trouve sur tous les continents sauf en Antarctique et des forêts équatoriales pluvieuses. C'est une plante qui affectionne particulièrement les milieux humides non boisés, mais elle peut fort bien croître sur un sol sec. Le roseau se propage essentiellement de manière végétative par le biais de rhizomes et de stolons (ClaudeLavoie, 2007).



Figure I.1 : Image d'une population de roseaux communs (H.Sébire.2015)

### I.1.1 Description botanique

Cette plante (*phragmites australis*) de la famille des poaceae porte des rhizomes hemicryptophytes/géophytes et des tiges qui mesurent jusqu'à 6m de hauteur, un diamètre variant de 4 à 10 mm et 10 à 25 cm de longs entre nœuds creux. C'est une espèce hydrophile qui se trouve naturellement dans les milieux humides ou les plaines inondables, comme les marais d'eau douce, les rives des fleuves, les rivières et les lacs (figure I.2). (Mal et Narine, 2004).

**Les feuilles** lisses lancéolées de 20 à 70 cm de long et de 1 à 5 cm de large (figure I.2)



Une **inflorescence** dense sous forme d'une grande panicule, souple plumeuse brun-rouge avec des épillets pédicellés longs de 10 à 15 mm étroitement aigus comprenant de 3 à 7 fleurs. (**Figure I.2**) La floraison a lieu entre les mois de juillet et novembre (**Vymazal et al., 2007**).

**Les fruits** sont des akènes appelés caryopses de couleur paille doré à brune, pourvus de poil soyeux blancs où la capsule contient une seule graine noire (**Martens, 1999**).

**Ses rhizomes** sont pérennes et ont deux composantes horizontales et verticales responsables de l'extension de la taille du clone et donnent lieu au prolongement des tiges. Ces rhizomes sont vivaces noueux, avec une peau beige pâle. Il devient de plus en plus fibreux avec l'âge, couvert de feuilles écailleuses et pourvu à sa partie inférieure de racines cylindriques (**Mal et Narine, 2004**) (**Figure I.2**)



**Figure I.2** : Les différentes parties de *Phragmites australis*. (**Kleche et al., 2013**)

### I.1.2 Classification du roseau commun (*Phragmites australis*)

La classification de roseau commun est indiquée dans le (tableau I.1).

**Tableau I.1** : Classification de roseau commun (J-P. Corolla, 2016).

	Termes scientifique	Termes en français	Descriptif
Embranchement	Magnoliophyta	Angiospermes	Plantes à fleur dont les graines fécondées sont renfermées dans un fruit
Classe	Liliopsida	Monocotylédones	Un seul cotylédon dans la graine. Les nervures des feuilles sont parallèles.
Sous-classe	Commelinidae	Commélinidées	
Ordre	Poales	Poales	
Famille	Poaceae	Poacées	Graminées
Genre	Phragmites		
Espèces	Australis		

### I.1.3 Propagation et croissance

Le roseau *Phragmites australis* est une plante annuelle possédant deux modes de multiplication, par semence et végétative. Les graines du roseau, contenues dans les fleurons, dispersées par le vent mais également transportées par certains oiseaux.

Chaque inflorescence produit jusqu'à 1 000 graines (Shaltout K. et al. 2006) dont la fertilité est comprise entre 0,1 et 59,6 % (Ishaii.J et al. 2002).

Lorsqu'une graine s'ancre dans le sol (2 à 3 mm d'eau) et germe, une jeune tige de 20 à 40 cm sort de terre en trois mois. La tige atteint 30 à 70 cm de haut et possède un rhizome de 50 à 70 cm de long.

Les stolons permettent également à la plante de se multiplier. Après quelques années, la stabilité de la roselière est renforcée par les rhizomes ancrés profondément dans le sol, lui permettant ainsi de résister aux périodes de sécheresse.

Le roseau commun possède une capacité remarquable à évoluer dans des eaux chargées en métaux lourds (Hurry, E. A. James, and R. M. Thompson(2013)). Et une adaptabilité à l'environnement qui l'entoure, comme des eaux à pH fortement variable (Guo, R. Wang, S.

**Zhou, S. Zhang, and Z. Zhang (2003)**), faisant de cette plante une espèce invasive et facilement acclimatée.

#### **I.1.4 L'utilisation du roseau commun**

##### **I.1.4.1 Usages alimentaires**

Les feuilles de roseau ont une valeur nutritive très intéressante. Elles sont utilisées dans l'alimentation des ruminants, des équins et des lapins (**Kadi et al., 2012**). Les tiges sont employées comme clôtures de jardins et barrières pour les animaux, de plus, les Phragmites sont utilisés comme des engrais et contribuent donc à la fertilisation de la terre (**Köbbing et al., 2014**)

##### **I.1.4.2 Usages médicaux**

Les feuilles et les rhizomes de roseau commun sont utilisés en médecine traditionnelle depuis longtemps dans le traitement d'arthrites rhumatoïdes, rhumatisme, leucémie et autres types de cancer, problèmes des seins, diabète, jaunisse (hépatite), nausée et typhoïde (**Rahmatullah et al., 2010**).

Dans les régions tropicales, Phragmites australis est utilisé comme traitement contre la bronchite, la diarrhée, la fièvre et les douleurs d'estomac.

En Afrique de Sud, la poudre des graines est utilisée comme ingrédient dans les crèmes contre les brûlures, en plus, le rhizome de roseau est considéré comme diaphorétique, diurétique et émétique (**Brink et al., 2012**).

##### **I.1.4.3 Usages industriels**

En industrie, cette plante est considérée comme un matériau primaire pour la fabrication d'un grand nombre de produits industriels tel que le carton, le textile et le papier où la qualité de ce dernier varie en fonction de pourcentage de roseau contenu dans la pâte de fabrication de papier dont 30% donne une bonne qualité et le papier produit avec 80% de roseau est destiné à l'emballage (**Mal et Narine, 2004**).

En outre, le roseau commun est utilisé dans la construction des toits, la base des plâtres, il est classé comme un bon isolant thermique. Le roseau est employé aussi dans la fabrication de produits de vannerie comme les nattes, les paniers, les chapeaux et les sacs (**Köbbing et al., 2014**).

Il est considéré comme une source importante d'énergie par le processus de combustion et la fabrication des biocarburants. En effet, les phragmites récoltés en automne et en hiver sont

transformés en brique ou en bottes afin d'être brûlés. D'autre part, la génération de l'énergie à partir du roseau peut être autrement obtenue par la production de biocarburant (bio éthanol, bio diesel et bio hydrogène) utilisés par les véhicules (**Cavalaglio et al., 2015**).

L'éthanol est obtenu par une fermentation des sucres fermentescibles contenus dans le roseau (**Köbbing et al., 2014**).

#### **I.1.4.4 Usages agricoles**

En agriculture, l'utilisation du roseau est étendue dans plusieurs pays et sa récolte devenue actuellement un grand marché international (**Brink et al., 2012**) où il est utilisé pour le pâturage des animaux car les bourgeons de roseau commun sont verts et doux. Il est récolté en été et stocké afin d'être utilisé comme une bonne source fourragère durant l'hiver (**Asaeda et al., 2006**).

#### **I.1.4.5 Usages aquaculture**

- Actuellement et à l'échelle mondiale, *Phragmites australis* est utilisé largement dans le domaine de l'aquaculture comme une macrophyte hyper accumulatrice pour traiter et purifier les eaux grâce à son développement racinaire étendu et sa capacité à absorber les polluants. (**Bonanno, 2013**).
- L'utilisation du roseau dans les bassins d'épuration des eaux usées constitue une technique très importante pour un objectif de réduire le niveau de contamination en métaux lourds et en microorganismes et les rendre réutilisables en agriculture (**Giudice et Bonanno, 2010**).
- *Phragmites australis* comme les macrophytes sont caractérisés par un système racinaire très actif, ces racines ont l'aptitude d'absorber et d'accumuler certains éléments métalliques. Cette plante présente une forte tolérance au zinc, plomb, fer, cuivre et au cadmium au niveau des racines (**Ait Ali et al., 2004**). Ces éléments traces accumulés sont transportés ensuite vers les parties aériennes sous forme cationique liée aux acides organiques et/ou acides gras à courte chaîne aliphatique (fumarique, citrique, oxalique, propionique, butyrique) où sont stockés finalement dans les vacuoles des cellules foliaires (**Windham et al., 2003 ; Kleche et al., 2013**).

#### **I.1.5 Impacts sur l'environnement**

Le roseau est une espèce qui présente des avantages et des inconvénients sur l'environnement que nous énumérons comme qui suit [**J. Saint**] :

- Plantes agressives très difficile à contrôler.

- Il colonise rapidement un site grâce à des rhizomes et stolons qui peuvent s'étendre sur plusieurs mètres en quelques semaines.
- Adaptable et résistant, il tolère les inondations et le sel de déglacage.
- Il profite des périodes sèches et des sols dénudés par les travaux pour coloniser d'autres sites.
- Des fragments de tiges transportés avec le sol ou l'eau génèrent de nouvelle population.
- Son expansion est favorisée par les perturbations humains (lessivage d'engrais, la dégradation des berges).
- Les milieux envahis par le roseau commun sont denses et impénétrables.
- Ils ont une flore peu diversifiée et sont peu propices à la nidification des oiseaux aquatiques.
- La navigation y devient difficile et le paysage monotone.
- Il peut aussi envahir les champs et son abondante litière obstrue les canaux de drainage.

### I.1.6 Composition chimique

Le roseau commun, comme toutes les autres plantes possède un taux très élevé en matière sèche (MS) qui représente environ 93% de la composition générale et 7% d'eau (**Baran et al., 2002 ; Zirmi-zembri et kadi, 2016**).

- ✓ La matière sèche renferme la matière cellulosique et héli-cellulosique (fibres) qui représente respectivement 33à 36% et 20à 22% (**Muthanna, 2017**), une matière organique qui représente 8,7% de la composition chimique, des acides gras de 18 g/kg qui représentent 2%, 67.3 g/kg (6.73% de la MS) est une poudre Ash, (**Tableau I .2**).
- ✓ Pour la composition minérale, la plante renferme un mélange de Ca, Mg, K, Na, P, Fe, Mn, Zn et Cu qui représente un taux global d'environ 20% de la composition générale (**Tableau I.3**). Des acides aminés représentant environ 7.9% de la composition générale (**Tableau I.4**) (**Baran et al., 2002**)

Les activités biologiques du roseau sont souvent attribuées aux acides organiques et aux acides gras à courte chaîne aliphatique comme l'acide propionique, l'acide butyrique, isobutyrique, l'acide fumarique et l'acide acétique.

**Tableau I.2** : Les compositions chimiques de Phragmites australis (Muthanna, 2017).

<b>Composition chimique</b>	<b>valeurs</b>
Matière sèche	93.8%
Matière organique	87.05 g/Kg MS
Acide gras	18.2 g/Kg MS
fibres	287.3 g/Kg MS
Cendre(ASh)	67.3 g/Kg MS

**Tableau I.3** : Les compositions minérales de Phragmites australis (Baran et al., 2002).

<b>Compositions minérales</b>	<b>Valeurs</b>
<b>Ca</b>	2.660 g·kg <sup>-1</sup>
<b>Mg</b>	2.649 g·kg <sup>-1</sup>
<b>K</b>	10.899 g·kg <sup>-1</sup>
<b>Na</b>	0.534 g·kg <sup>-1</sup>
<b>P</b>	1.575 g·kg <sup>-1</sup>
<b>Fe</b>	58.750 mg·kg <sup>-1</sup>
<b>Mn</b>	96.964 mg·kg <sup>-1</sup>
<b>Zn</b>	26.964 mg·kg <sup>-1</sup>
<b>Cu</b>	8.452 mg·kg <sup>-1</sup>

**Tableau I.4** : Les acides aminés de *Phragmites australis* (Baran et al., 2002).

Acide aminé	valeurs
<b>Thr</b>	4.393 (g/kg)
<b>Val</b>	3.604(g/kg)
<b>Ile</b>	3.158(g/kg)
<b>Leu</b>	6.042 (g/kg)
<b>Tyr</b>	4.962 (g/kg)
<b>Phe</b>	4.995(g/kg)
<b>His</b>	2.200 (g/kg)
<b>Lys</b>	5.082 (g/kg)
<b>Arg</b>	7.247 (g/kg)
<b>Met</b>	0.378(g/kg)
<b>Asp</b>	9.819 (g/kg)
<b>Ser</b>	4.330 (g/kg)
<b>Glu</b>	9.376 (g/kg)
<b>Pro</b>	7.081 (g/kg)
<b>Gly</b>	4.307 (g/kg)
<b>Ala</b>	6.981 (g/kg)
<b>Cys</b>	0.199 (g/kg)

## I.2 Mobilité des polluants métallique dans les sols

Dans les sols, les métaux sont naturellement présents en raison de leur présence dans la roche mère, d'apports et d'enrichissements associés aux phénomènes d'érosion, d'altération, d'éruption et de retombées volcaniques. Mais ils ont aussi été souvent extraits de gisements ou déplacés d'un sol à l'autre par des actions anthropiques et proviennent d'activités agricoles (pesticides, fertilisants, épandages organiques), industrielles (activité minière, industrie métallurgique) et domestiques.

Les éléments métalliques résultent à la fois d'interactions entre solutés et surfaces réactives minérales, organiques ou biologiques. Elles peuvent donc se trouver dans différentes situations qui affecteront fortement leur mobilité : adsorbés sous forme de complexes, sous forme de précipités de surface ; sous forme de complexes avec des composés organiques. Le devenir des éléments traces dans les sols est une des données fondamentales qui contrôlent leur migration, leur biodisponibilité et donc leur impact toxique.

## I.2.1 Les constituants des sols impliqués dans la mobilité des éléments métalliques

Les minéraux des sols sont hérités de la roche mère sous-jacente. On distingue les minéraux primaires, hérités sans modification de la roche mère, et les minéraux secondaires, issus de la pédogénèse par des phénomènes d'altération physico-chimiques, mais aussi biologiques. Aux constituants vient s'ajouter une fraction organique héritée de l'activité des organismes vivants. L'ensemble de ces éléments forme la phase de rétention des métaux, en équilibre dynamique avec l'eau du sol.

### I.2.1.1 Les minéraux primaires

Les minéraux primaires des sols sont hérités de la roche mère, d'une part grâce aux processus de désagrégation mécanique, souvent d'origine climatique comme par exemple la succession gel/dégel, d'autre part en raison de leur résistance aux processus d'altération chimique en vigueur dans les conditions environnantes. La structure de la plupart de ces minéraux et leur taille importante ne leur confèrent que de très faibles propriétés réactives vis-à-vis des métaux lourds (**Kabata-Pendias and Pendias, 2001 ; Lespagnol, 2003**). Lorsque les processus d'altération se poursuivent, ils peuvent être la source des minéraux secondaires (**Duchaufour, 1995**).

La composition du sol influence la rétention des métaux dans le milieu. Les métaux peuvent s'associer avec les constituants organiques, à savoir les substances humiques, et minéraux à savoir, les argiles, les carbonates, la silice et les oxydes métalliques.

### I.2.1.2 Les minéraux secondaires

Les minéraux créés durant la pédogénèse sont essentiellement des argiles, des (hydroxydes de fer (Fe), d'aluminium (Al) et de manganèse (Mn), des carbonates, des sulfates et des phosphates. Issus directement ou indirectement des minéraux primaires de la roche mère, ils sont de très petite taille et considérés comme les principaux constituants minéralogiques des sols ayant un rôle dans la rétention des éléments métalliques.

#### (a) Les argiles

Les argiles se caractérisent par une surface électrique non neutre, qui détermine leurs capacités d'échanges ioniques. Ces minéraux portent en fait deux types de charge :

- ✓ La première, de signe négatif, est structurelle et non modifiable. Elle est liée aux substitutions  $Al^{3+}Si^{4+}$  ou  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}-Al^{3+}$  dans les feuillets de l'argile.
- ✓ La seconde, liée aux réactions chimiques qui se produisent à la surface des minéraux, est une charge de surface variable en fonction du pH du milieu. Pour un pH bas, les



ions  $H^+$  majoritaires se lient à l'argile plus que les  $OH^-$ . Il en résulte une charge globalement positive et l'argile se caractérise par une capacité d'échange anionique. Pour un pH élevé, les ions  $OH^-$  dominants conduisent au phénomène inverse, et l'argile développe une capacité d'échange cationique (CEC). Dans la grande majorité des cas, la charge globalement négative associée à une surface de contact importante confèrent aux argiles une forte réactivité vis-à-vis des métaux.

A l'équilibre, point isoélectrique, la capacité d'échange de l'argile devient nulle. La capacité d'échange cationique (CEC) mesure la capacité d'une argile à échanger des cations. Elle varie de 10 meq/100g à 200 meq/100g respectivement pour les chlorites et les vermiculites (**Peaver et Eslinger, 1988 ; Kabata-Pendias and Pendias, 2001**).

### **(b) Les oxydes et les hydroxydes**

Les hydroxydes de fer et d'aluminium, sous forme amorphe ou cristalline, sont des constituants communs dans les sols naturels. Les hydroxydes de fer sont les plus abondants ( $Fe_2O_3$  : hématite et maghémite ;  $FeOOH$  : goethite et le pidocrocite et  $Fe_2O_3 \cdot 9H_2O$  : ferrihydrite). Les hydroxydes d'aluminium ( $Al(OH)_3$  : gibbsite ;  $AlOOH$  : boehmite) sont relativement moins fréquents. Les hydroxydes de manganèse, de structure minérale complexe, sont généralement minoritaires dans les sols naturels.

La réactivité des hydroxydes de fer et d'aluminium provient de leur importante surface spécifique et de la charge de surface, variable avec le pH du milieu (**Kabata-Pendias and Pendias, 2001**). Ils présentent des charges de surface variables permettant d'adsorber les anions et les cations par des liaisons de haut niveau d'énergie.

Les hydroxydes de manganèse possèdent des propriétés différentes des oxydes de fer et d'aluminium (**Sigg et al., 2000**). Leur point isoélectrique se situe entre pH 5 et pH 7, ce qui fait d'eux des fixateurs des métaux dans les sols naturels. Ils jouent un rôle prépondérant dans la sorption des ions métalliques (**Blanchard, 2000**).

Les hydroxydes peuvent précipiter en piégeant les métaux à l'intérieur des mailles cristallines, permettant ainsi la fixation de métaux en quantité importante. Cette cristallisation peut avoir lieu sous l'influence de microorganismes tels que *Thiobacillum* ou encore *Metallogenium* (**Kabata-Pendias and Pendias, 2001**).

**(c) Les carbonates, phosphates, sulfates, sulfures et chlorures**

- La forme prédominante des carbonates ( $R^{2+}CO_3^{2-}$  ; R= Ca, Mg, Fe mais aussi beaucoup de métaux divalents présents dans les sols pollués tels que Pb, Zn, Cu, etc.) dans la plupart des sols est la calcite ( $CaCO_3$ ). Assez soluble, cette espèce a une influence majeure sur le pH des sols, et par conséquent sur les phénomènes de sorption des métaux. En outre, les réactions de dissolution/précipitation des carbonates favorisent le piégeage des ions métalliques au sein des cristaux formés (**Blanchard, 2000**).
- Les phosphates (groupement  $PO_4^{3-}$ ) sont des minéraux peu abondants dans les sols, mais susceptibles, comme les carbonates, de substitution du calcium par des éléments métalliques divalents (e.g. Pb, Zn, Cu), en particulier dans des sols à tendance basique (**Kabata-Pendias and Pendias, 2001**).
- Les sulfates (généralement de la forme  $R^{2+}SO_4^{2-}$ ) et les arseniates (minéraux d'arsenic  $As^{+5}$  comprenant le groupement  $AsO_4^{3-}$ ), les sulfures (souvent  $R^{+2}S^{2-}$ ), les arseniures (minéraux d' $As^{+3}$ ) et les chlorures (principalement  $R^{+2}Cl_2$ ) sont des espèces présentes en quantité généralement négligeable dans la plupart des sols, mais qui peuvent être abondantes en contexte industriel ou minier. (**Blanchard, 2000**).

**I.2.1.3 La matière organique**

La matière organique est un facteur clef des échanges ioniques et des cycles géochimiques des éléments métalliques. Elle est principalement issue de l'activité biologique des végétaux et des animaux et de leurs produits de décomposition, Elle se compose de deux fractions :

- **La fraction vivante** (micro-organismes, faune épilithique, rhizosphère des végétaux supérieurs, animaux fouisseurs). Son influence sur la fixation des éléments trace est importante, et elle participe largement aux modifications de certains facteurs pédologiques comme le potentiel redox ou le pH (**Kabata-Pendias and Pendias, 2001**).
- **La fraction morte** (débris végétaux et animaux plus ou moins décomposés en humus, carbone rapporté) est représentée par diverses molécules plus complexes et moins bien définies, de masses moléculaires très différentes. Ainsi, on retrouve les cires, les lipides, les protéines, les peptides, les acides organiques, les acides aminés ou encore les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)... (**Kabata-Pendias and Pendias, 2001**). Ces composés s'associent entre eux pour former les substances humiques (humine, acides humiques, acides fulviques) piégeant différents éléments.

La matière organique est donc un facteur clef des échanges ioniques et des cycles géochimiques des éléments métalliques. Les réactions mises en œuvre sont diverses et font appel à différents aspects physicochimiques que nous allons développer maintenant.

### I.2.2 Phénomènes désorptions des éléments métalliques dans les sols

L'ensemble des constituants du sol forme le « complexe absorbant » (**Blanchard, 2000**). Ce complexe est capable de réaliser des échanges entre la phase liquide et la matrice solide du sol, qui dépendent des mécanismes désorption. Deux types principaux d'interaction matrice solide-phase liquide sont impliqués dans la rétention des métaux lourds :

- **La physisorption** : L'adsorption non spécifique résulte des forces électrostatiques entre atomes portant des charges de signe différent. L'énergie de liaison est alors relativement faible. Par conséquent, les éléments métalliques adsorbés sont facilement mobilisables en cas de changements physicochimiques du milieu. La matrice du sol, globalement chargée négativement, attire les cations en solution. (**Chaignon, 2001**). La présence des charges de surface peut provenir de réactions chimiques de surface dues aux variations de pH (**Delmas-Gadras, 2000**).

Pour l'adsorption non spécifique, les atomes de métal ne sont pas directement en contact avec la surface des particules du sol, mais ils sont présents au sein d'une sphère de molécules d'eau enrobant les particules du sol, appelées couche d'hydratation. On nomme ce type d'interaction « complexe de sphère externe ».

- **La chimisorption** : Contrairement à l'adsorption non spécifique, l'adsorption spécifique fait intervenir une liaison chimique forte (les liaisons ionique, covalente et de coordination) (**Blanchard, 2000**). Elles peuvent se produire entre un ion métallique et un ligand organique ou inorganique sans molécule d'eau interposée entre le groupe fonctionnel et la surface de l'ion adsorbé. Les éléments métalliques ainsi chimisorbés seront ainsi beaucoup moins susceptibles d'être mobilisés. Les éléments adsorbés en surface peuvent diffuser à l'intérieur des particules minérales.

### I.2.3 Facteurs modifiant la mobilité des éléments métalliques

- **Le pH** : Le pH constitue un facteur dont le rôle est crucial pour la mobilité des ions métalliques, car il influence le nombre de charges négatives pouvant être mises en solution (**McLaughlin, et al., 2000** (**Blanchard, 2000**)). Les variations de pH ont donc des

conséquences complexes et parfois contraires sur la mobilité des métaux lourds, en particulier en présence de ligands organiques et inorganiques.

- **Le potentiel redox :** Le potentiel redox (Eh) permet de caractériser les échanges d'électrons entre les espèces chimiques. Les valeurs les plus courantes du potentiel redox dans les sols naturels sont comprises entre -200 et 400 mV, **(Deneux-Mustinet al., 2003)**. Domaine de potentiel qui recouvre des degrés d'oxydation variés de nombreuses espèces en solution, influant ainsi directement ou indirectement sur la mobilité des métaux qui constituent ces espèces minérales. De plus, la modification du degré d'oxydation des ligands ou des éléments se liant avec le métal influence indirectement la solubilité des métaux lourds. En conditions réductrices, les sulfates sont réduits en sulfures qui piègent volontiers les éléments chalcophiles tels que Fe, Zn, Pb, Cd **(Deneux-Mustinet al., 2003)**. D'autre part, la dissolution des (hydro)oxydes est favorisée entraînant de manière opposée la solubilisation des métaux associés **(Chaignon, 2001)**. Il n'en demeure pas moins que ce facteur apparaît souvent comme secondaire par rapport au pH **(Deneux-Mustinet al., 2003)**, **(Lespagnol, 2003)**.
- **La température** La température du sol dépend en premier lieu de la météorologie, et donc du climat, mais elle est également liée à l'activité biologique et influence rétroactivement la formation de complexes avec des ligands inorganiques, en modifiant l'activité de l'élément en solution **(DeneuxMustinet al., 2003)**. La température a un impact direct sur la mobilité des éléments métalliques en déplaçant les équilibres des réactions de dissolution - précipitation et co-précipitation, et un impact indirect, en modifiant la teneur en eau du sol et le pH.

## I.3 Tolérance aux métaux lourds chez les végétaux

### I.3.1 Définition des métaux lourds

L'organisation mondiale de la santé **(O.M.S, 1997)** désigne sous le nom de métaux lourds l'ensemble des métaux présentant un caractère toxique pour la santé et l'environnement. Les métaux lourds sont présents en traces dans tous les compartiments de l'environnement, Certains sont indispensables au déroulement des processus biologiques des végétaux et des animaux à des quantités infinitésimales, ils sont alors nommés « Oligo- élément ». À trop faible dose ils provoquent des carences dans l'organisme, mais ils deviennent toxiques à haute dose. **(BENHADDYA,2014)**.

### I.3.2 Origine de la contamination des sols par les métaux lourds

Dans la croûte terrestre, les métaux lourds sont présents sous forme de minerai, d'où ils peuvent être mobilisés par des phénomènes naturels comme l'érosion ou les éruptions volcaniques, mais également par des activités anthropiques. (Baize, 2002)

Le problème principal avec les métaux lourds comme le plomb, le cadmium, le cuivre et le mercure est qu'ils ne peuvent pas être biodégradés, et donc persistent pendant de longues périodes dans des sols. Leur présence dans les sols peut être naturelle ou anthropogénique (Huynh, 2009), (figure I.3).

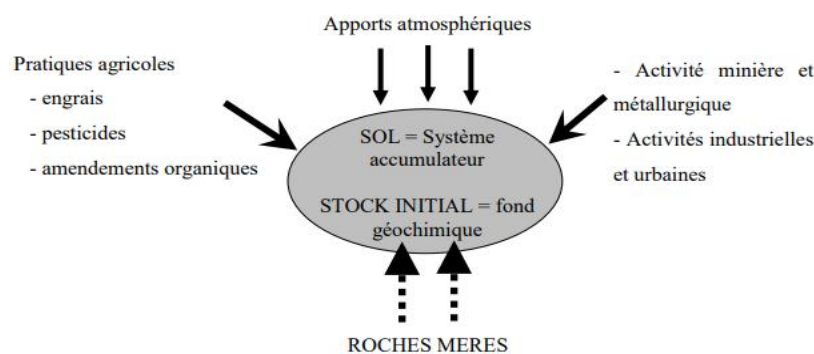


Figure I .3 : Origine des métaux lourds dans le sol (Huynh, 2009)

- **Origines naturelles des métaux lourds**

Dans les écosystèmes non perturbés, (Peterson, 1978 ; Adriano, 1986). Les métaux lourds sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique (Bourrelier et Berthelin, 1998). La concentration naturelle de ces métaux lourds dans les sols varie selon la nature de la roche, sa localisation et son âge. (Salomons et Forstner, 1988 ; Davidson et al., 1985).

- **Origine anthropiques des métaux lourds**

Dans certaines zones, la présence marquée de métaux lourds est directement liée à l'activité humaine (Impens et al., 1979 ; Coullery, 1996 ; Baize, 1997). Au cours des décennies dernières, l'apport de métaux lourds au sol dans le monde s'est étendu ; à l'heure actuelle on l'estime à 22000 tonnes de cadmium, 939000 t de cuivre, 783000 t de plomb, et 1350000 t de zinc (Singh et al., 2003). Les principaux types de pollutions anthropiques responsables de l'augmentation des flux de métaux, sont la pollution atmosphérique (rejets urbains et industriels), la pollution liée aux activités agricoles et la pollution industrielle.

- **Les retombées atmosphériques**

Les sources émettrices de polluant métallique dans l'atmosphère sont fort nombreuses et concernent tous les secteurs relatifs aux activités humaines (domestiques, industries, agriculture, transports, etc.), dans l'atmosphère c'est la combustion du charbon dans les centrales thermiques et les brûleurs industriels tertiaires ou résiduels qui fournit l'apport majeur de mercure, de molybdène et sélénium ainsi qu'une contribution significative d'arsenic, de chrome, de manganèse, d'antimoine et de thallium. **Bourdial (1988) (Juste, 1995).**

- **Les pratiques agricoles**

Les sources agricoles correspondent aux impuretés présentes dans les produits phytosanitaires (le plomb dans les pesticides), les lisiers (Cu, Zn, Cd) ou les engrais (Mn dans les scories potassiques, Cd dans les engrais phosphatés). (**BENHADDYA,2014**)

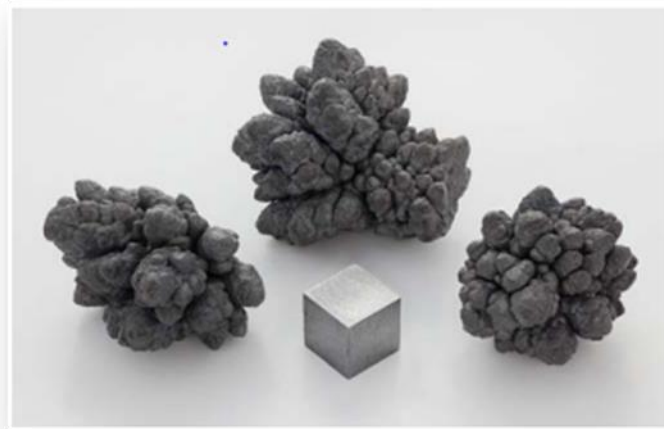
- **Les sources urbaines**

Les sources urbaines regroupent l'épandage des boues de station d'épuration ou des boues de curage (apport de Cr, Cu et Pb), l'incinération de déchets domestiques (Cd) ou le trafic routier (apport de Zn, de Cd lors de la combustion des carburants **Viard et al., 2004**).

### **I.3.3 Caractéristique General des métaux les plus concentrés**

- **Le plomb**

Le Pb (**figure I.4**) appartient au groupe IV A de la classification périodique des éléments. Les deux états d'oxydation Pb (II) et Pb (IV) sont stables mais la chimie environnementale de cet élément est dominée par l'ion Pb<sup>2+</sup>. Le Pb est largement véhiculé par les particules atmosphériques sub-microniques (**Varga, I 2000**) et s'accumule facilement dans les horizons de surfaces des sols et du fait de sa faible mobilité et n'est pas entraîné vers les horizons profonds (**Jervis1995, Van Herck 2000**). Le saturnisme est la maladie liée à une intoxication au Pb à la suite d'une exposition intense ou prolongée.



**Figure I.4** Le plomb (ZEGGAI.F, 2020)

- **Le cadmium**

Le Cd (**figure I.5**) appartient au groupe II B de la classification périodique des éléments. (Magali Sammut) Anciennement appelé Carbonate de Zinc. Le cadmium n'existe pas à l'état natif, cependant, il est présent dans presque tous les minerais de zinc, de plomb et de cuivre ainsi que dans les phosphates naturels. Sa mobilité dans les sols dépend fortement du pH (Loganathan et al., 2008). Le Cd est très facilement assimilé par les plantes. (Sinicropi et al., 2010).



**Figure I.5 :** Le cadmium. (ZEGGAI.F, 2020)

- **Nickel**

Le nickel (**figure I.7**) est un métal du bloc d de la période IV l'élément plus abondant de la croûte terrestre (FRANCK ULM ,2019). Le Nickel sous forme d'ions, se présente essentiellement sous degré d'oxydation +2. Il peut se présenter au degré +3 et très exceptionnellement au degré +4. Au degré d'oxydation +2, le Nickel donne d'une manière générale des composés de couleur verte. (C. Wang,2009).



**Figure I.6:** Le nickel (C. Wang, 2009)

- **Le manganèse**

Le manganèse (**figure I.8**) existe dans la nature à l'état d'oxydes (**Hurlbut et Klein, 1982**), il est naturellement présent dans un certain nombre de formes physiques et chimiques dans la croûte terrestre, dans les particules de l'atmosphère et dans l'eau (**Prabhakaran et al., 2009**). C'est un oligoélément indispensable au fonctionnement normal d'un grand nombre de processus physiologiques. Il est notamment impliqué dans les métabolismes des glucides, des acides aminés et des lipides. (**Gillet et al., 2010**).



**Figure I.7 :** Le manganèse (**Hurlbut et Klein, 1982**)



### I.3.4 Toxicité des métaux lourds

La toxicité d'un métal dépend de sa spéciation (forme chimique) autant que des facteurs environnementaux. [H. BABICH,1977]. Dans le sol, les métaux lourds peuvent exister sous forme d'ion libre toxique pour les organismes vivants il est alors biodisponible ou sous forme liée à des particules de sol. La "spéciation physique" d'un métal fait appel à sa distribution entre des formes particulières (>200nm), colloïdales (10-200nm) ou dissoutes (<10nm), alors que la "spéciation chimique" d'un élément métallique se réfère surtout à son implication dans la formation de divers complexes de coordination. [SETRA,2004)

#### I.3.4.1 Effets toxiques sur l'homme

Les polluants peuvent atteindre l'homme par passage à travers la peau, ingestion (diffusion par gradient de concentration jusqu'à la circulation sanguine; le plomb et le cadmium peuvent prendre la place du calcium et de la vitamine D en cas de carence) par la contamination des chaînes alimentaires, bioaccumulation (accumulation de métaux lourds dans les plantes et les animaux ces derniers étant incapable de les éliminer) et contamination de l'eau, ou par inhalation (les vapeurs peuvent se dissoudre dans les muqueuses du système respiratoire ou arriver dans la circulation sanguine par l'intermédiaire des alvéoles pulmonaires).(figure I.8) illustre les différentes voies d'exposition pour l'homme(M.C.GIRARD,2005)

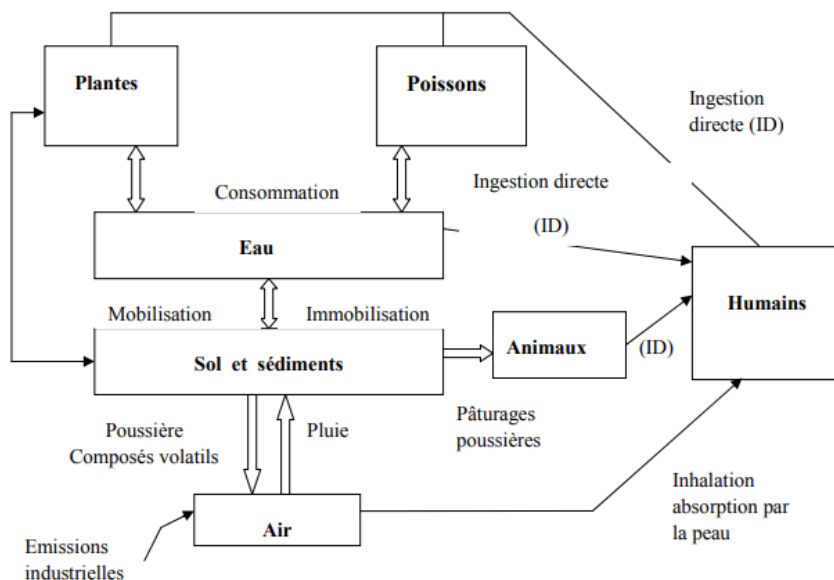


Figure I.8 : Différents voies d'exposition pour l'homme (B. LOMBI and all,2000)

#### I.3.4.2 Impact des métaux lourds sur la faune et la flore du sol

Une concentration excessive de métaux lourds dans le sol peut se traduire par des modifications quantitatives et qualitatives de la flore (bactéries, champignons et algues...etc.) et la faune du sol (vers de terre, fourmis, coléoptères, termites, araignées, nématodes, mollusques, protozoaires...etc.). Dans les cas extrêmes, des fonctions biologiques du sol peuvent être altérées et des effets phytotoxiques peuvent être observés, avec des conséquences sur le fonctionnement des cycles biogéochimiques

Au plan quantitatif, les effets toxiques d'une concentration excessive d'éléments traces se manifestent par une chute plus au moins importante de l'abondance des microorganismes ou du niveau de la biomasse microbienne, et une altération de la structure de cette communauté. A l'origine de ces manifestations toxiques, se trouve principalement l'inactivation d'enzymes par fixation irréversible d'éléments traces sur des protéines à activité enzymatique. Au plan qualitatif, les modifications de la faune et la flore du sol sous l'influence des éléments traces résultent principalement de la sensibilité différentielle des différents genres et espèces. Au-delà d'un certain seuil, seuls les microorganismes les plus résistants peuvent survivre, d'où une diminution de la diversité. (M.C. GIRARD ,2005)

## I.4 Les métaux lourds dans la plante

### I.4.1 Transfert des métaux lourds vers les plantes

Parmi l'ensemble des métaux lourds, une vingtaine d'entre eux sont indispensables aux processus physiologiques majeurs, en particulier la respiration, la photosynthèse ou l'assimilation des macronutriments (e.g. azote, soufre... ; **Kabata-Pendias and Pendias, 2001**). Nombre de ces métaux, Cu, Zn, Ni, Fe, Co, Se et Ba sont aussi impliqués au niveau de processus moléculaires tels que le contrôle de l'expression des gènes ; la biosynthèse des protéines, des acides nucléiques, le métabolisme lipidique ou la tolérance au stress (**Rengel, 1999**). Malgré la grande diversité des besoins et des niveaux de tolérance aux métaux lourds chez les plantes, certains restent considérés comme des poisons cellulaires pour lesquels les doses admissibles sont très faibles. On retrouve parmi les plus toxiques, Hg, Cr, Ni, Pb et Cd (**Kabata-Pendias and Pendias, 2001**). Les plantes sont exposées de deux façons aux éléments-traces.

- **Transfert par les parties aériennes**

Les éléments-traces sous forme de poussière ou de gaz peuvent entrer directement par les stomates des feuilles. Une partie des retombées atmosphériques, solubilisée par l'eau de pluie ou d'irrigation, peut traverser la cuticule des feuilles et des fruits. (M. FERRANDON 1989) [M. Prasard 1999)

- **Transfert par les racines**

L'absorption des métaux lourds par les plantes dépend du type de sol, du pH, de l'humidité, de la température, du type de plantes et de la concentration d'un élément dans la solution du sol. Le transfert des métaux lourds par les racines se fait par [G. MIQUEL,2001] :

- Cheminement direct : de la phase solide vers la plante. Ce chemin serait négligeable (moins de 5% des transferts).
- Cheminement indirect, les métaux transitant par la phase liquide. Dans ce dernier cas, le flux de masse et la diffusion constitueraient les deux mécanismes explicatifs de leur déplacement vers la plante.

# Chapitre II

## Matériels et méthodes

## II.1. Le matériel végétal et minéral

### II.1.1 la collecte du matériel végétal

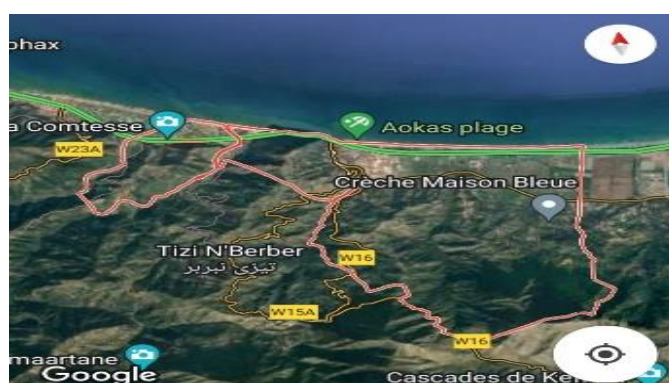
La collecte des échantillons de la plante le roseau commun, "*Phragmites australis* " et les échantillons minéraux (la terre) a été réalisée au mois de mars 2022 dans deux régions différentes :

- Zone industrielle El-Kseur -Bejaia (**figure II .1**) qui renferme de nombreuses industries (cevital, Moulex,) pour l'étude des échantillons éventuellement contaminés par les polluants industriels.



**Figure II.1** : Site industriel de la collecte de la plante Roseau commun (Google Earth, donnée orthographique 2022).

- Zone non industrielle dans la région de Aokas -Bejaia, pour les échantillons non contaminés (**Figure.II.2**)



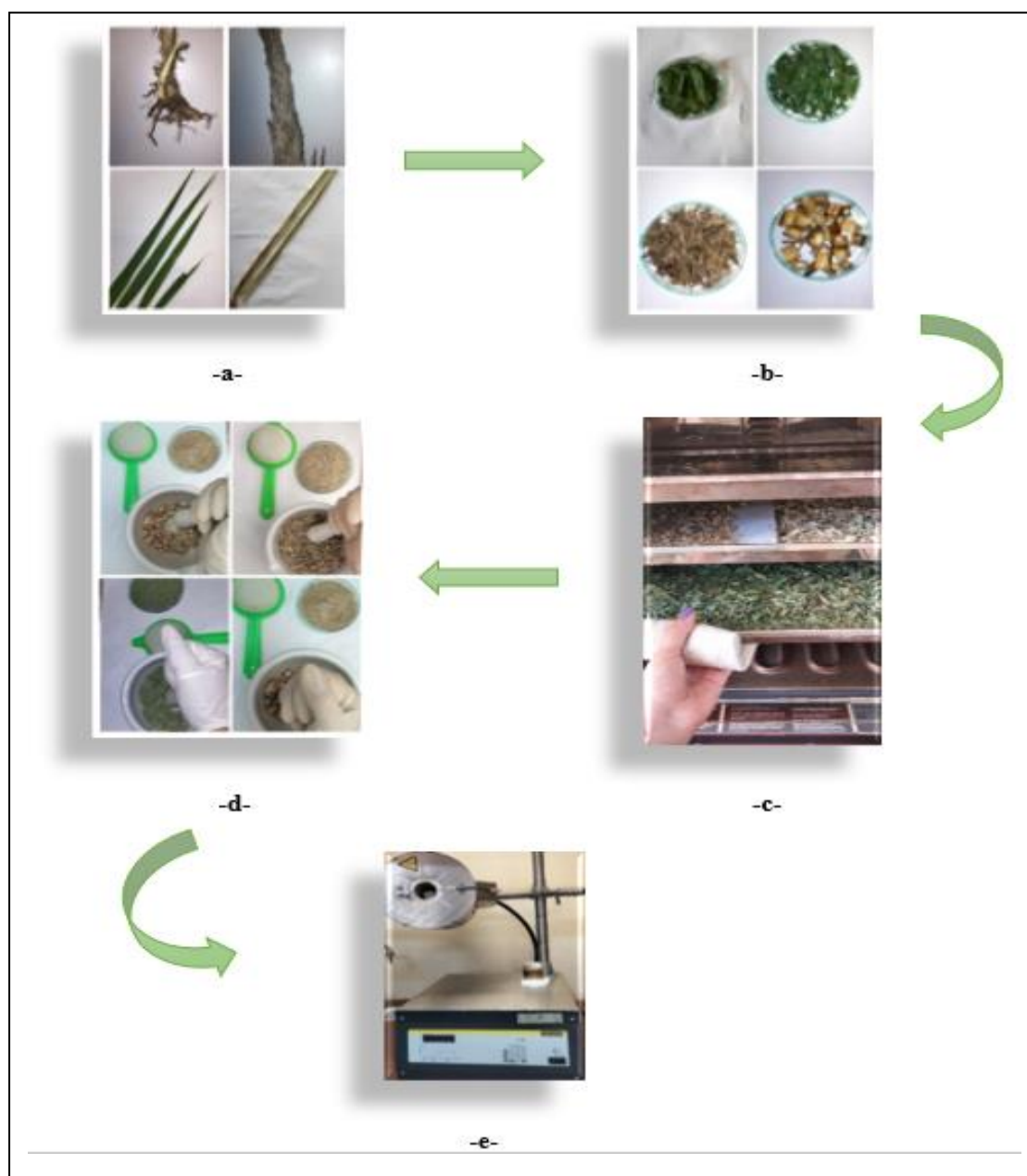
**Figure II.2** : Site non industriel de la collecte de la plante Roseau commun (Google Earth ,donnée orthographique 2022).

## II.1.2 Préparation de la matière végétale et minérale

### II.1.2.1 Préparation de la matière végétale

La matière végétale analysée est les différentes parties (racine, tige, feuille, fleures) de la plante Roseau commun. Préparées comme suit :

- Les échantillons ont été nettoyés à l'eau du robinet puis ensuite à l'eau distillée pour éliminer la poussière, insectes ou toute autre substance pouvant nuire aux résultats de l'étude.
- Ils ont été découpés en petits morceaux
- Puis séchés dans une étuve à 100°C, pour faciliter le broyage qui a été réalisé manuellement avec un mortier
- Les échantillons ont été ensuite tamisés avec une passoire en nylon ( taille de la passoire <63um)
- Les poudres végétales des différentes parties de plante ont été calcinées dans un four de calcination (**NABERTHERM B\_180**) à 600°C pendant 2h. La calcination permet d'éliminer les matières organiques présentes dans les végétaux et constitue une pré-minéralisation de l'échantillon, favorisant la mise en solution des éléments traces métalliques. Les étapes de cette préparation sont représentées sur la (**FigureII.3**)



**Figure II.3 :** Les différentes étapes de préparations de la matière végétale : **a** : séparation des différentes parties, **b** : lavage et découpage, **c** : séchage, **d** : broyage et tamisage et **e** : calcination des échantillons

#### II.1.2.2. Préparation de l'échantillon minéral (la terre)

La matière minérale est la terre collectée de l'endroit même où le roseau été collecté et dans les deux sites d'étude précédemment cités, les échantillons minéraux ont été préparés comme suit :

- La terre récoltée a été séchée dans étuve à 100°C pendant 2h

- Elle est ensuite broyée avec un mortier puis tamisée à l'aide d'une passoire en nylon (**Figure II.4**)



**Figure II.4** : Les différentes étapes de préparations de la matière minérale (la terre)

## II.2 Dosage des métaux lourds par la méthode des ajouts dosés avec spectroscopie d'adsorption atomique (SAA)

### II.2.1 Spectroscopie d'adsorption atomique (SAA)

Spectroscopie d'adsorption atomique (SAA) permet le dosage mono-élémentaire des cations majeurs de l'ordre du mg/L dans des échantillons liquides dans une température entre 1700-3150 °C, C'est une des principales techniques mettant en jeu la spectroscopie atomique dans le domaine UV-visible. Elle est fondée sur le principe que les atomes libres peuvent absorber la lumière à une certaine longueur d'ondes émise par des lampes spécifiques pour chaque élément dosé. L'absorption de lumière par les atomes fournit ainsi un puissant instrument analytique à la fois pour l'analyse quantitative et qualitative. La chaleur nécessaire pour faire passer l'échantillon à l'état gazeux et placer l'élément à doser dans un état « fondamental » est générée par une flamme ou un four de graphite. La spectroscopie de flamme analyse seulement les solutions, tandis que la SAA de four de graphite analyse les solutions, les boues liquides et les échantillons à l'état solide (F. Zeggai 2020). L'ensemble des analyses réalisées dans cette étude ont été effectuées au niveau du laboratoire 12, bloc 11 –Université A. mira sur un spectromètre (SAA) (thermo scientifique ; ICE 3000Series) (Figure II.5)





**Figure II.5** : Le spectromètre d'absorption atomique (S.A.A) (thermo scientifique ; ICE 3000Series)

Cette technique quantitative permet de doser une soixantaine d'éléments chimiques à l'état de trace, elle se base sur le principe de l'absorbance décrit par la loi de B er-Lambert :

$$A = K.C.L$$

A: absorbance,

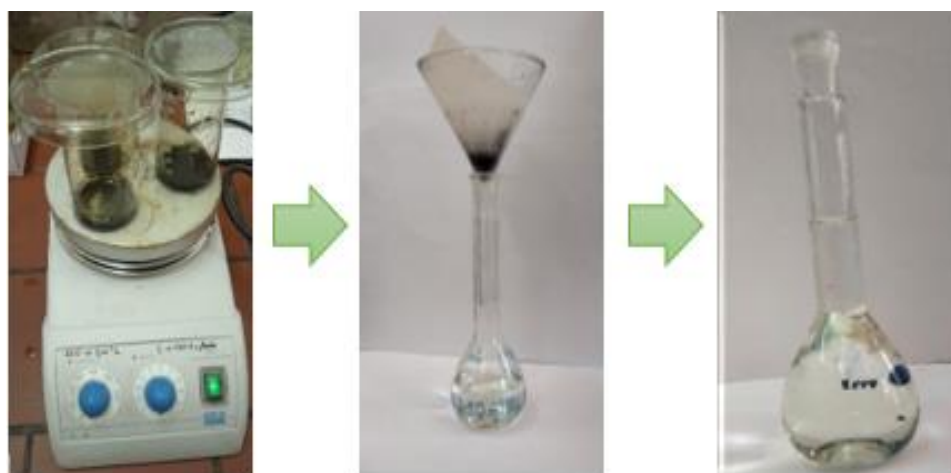
C : concentration d'élément absorbant,

L : longueur de chemin de la flamme,

K : coefficient propre à chaque élément.

### **II.2.2 Préparation des échantillons végétales (racine, tige, feuille, fleur) pour le dosage des métaux lourds par SAA**

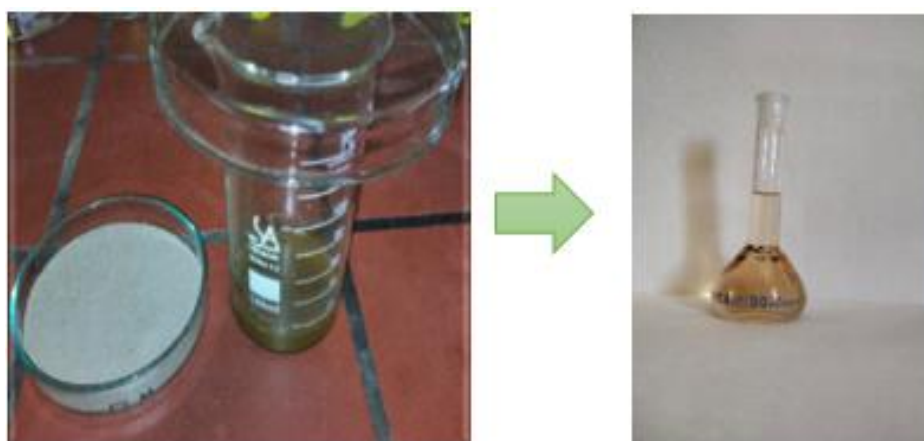
Une masse de (0.5g) de l'échantillon calciné des différentes parties de la plante (racine, tige, feuille, fleur), ont été mélangées à l'acide nitrique  $\text{HNO}_3$  (50%), (5ml). Le mélange été chauffé pendant 30min à 50 C et sans agitation. Après refroidissement le mélange été filtré sur papier whatman et le filtrat obtenu a été dilué avec l'eau distillée dans une fiole de 50ml (**Bradshaw, et al.1975**) (**Figure II.6**)



**Figure II.6 :** Préparation des échantillons végétales

### II.2.3 Préparation de l'échantillon minérale (la terre) pour le dosage par SAA

Une masse de (1g) de l'échantillon calciné la terre à été mélangée à l'acide nitrique  $\text{HNO}_3$  (50%), (10ml) et l'acide chlorhydrique à 20% (10 ml). Le mélange à été chauffé pendant 30min à  $40^\circ\text{C}$  et sans agitation. Après refroidissement le mélange à été filtré sur papier wattman et le filtrat obtenus a été dilué avec l'eau distillée dans une fiole de 50ml. (Beckett, P.H.T., 1989\*) (Figure II.7).



**Figure II.7 :** Préparation de l'échantillon minéral (la terre)

## II.2.4 Le dosage des métaux lourds par la méthode des ajouts dosés

La méthode des ajoutes dosées est une méthode d'analyse quantitative, souvent utilisé lorsque l'échantillon comporte des éléments multiples qui donnent lieu à des effets de matrice ou les composantes supplémentaire, peuvent réduire ou augmentes le signal d'absorbance qui se traduit par des erreurs significatives dans les résultats de l'analyse.

### II.2.4.1 Préparation des solutions mères des métaux lourds (Pb, Cd, Ni, Mn)

- La solution mère de cadmium (1000mg/l) a été préparée avec le nitrate de cadmium tetrahydraté ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) (98.5 %) par la dissolution d'une masse de 2130 mg de ce sel dans 1000 ml d'eau distillée. (**Figure II.8**)



**Figure II.8** : Solution mère de cadmium (1000mg/l)

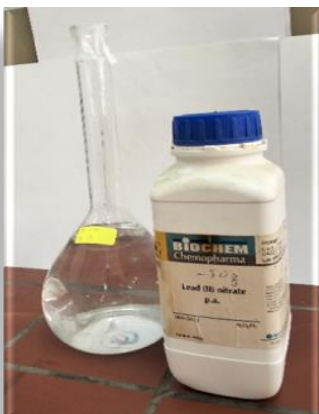
- La solution mère de Nickel (1000mg/l) a été préparée avec le nitrate de Nickel hexa hydraté ( $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) (98.5 %) par la dissolution d'une masse de 5050mg de ce sel dans 1000ml d'eau distillée. (**Figure II.9**)



**Figure II.9** Solution mère de de Nickel (1000mg/l)

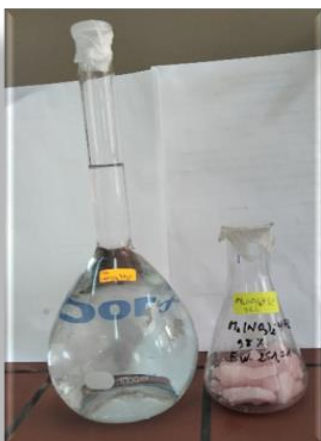
- La solution mère de plomb (1000mg/l) a été préparée avec nitrate de plomb( $(\text{N}_2\text{O})_6\text{Pb}$ ) (98 %) par la dissolution d'une masse 1380mg de ce sel dans 1000 ml d'eau distillée.

(Figure II.10)



**Figure II.10** Solution mère de plomb(1000mg/l)

- La solution mère de manganèse (1000mg/l) a été préparée avec Manganèse II nitrate Tetrahydrate ( $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) (98 %) par la dissolution d'une masse 3980mg de ce sel dans 1000 ml d'eau distillée. (Figure II.11)



**Figure II.11** : solution étalon de manganèse

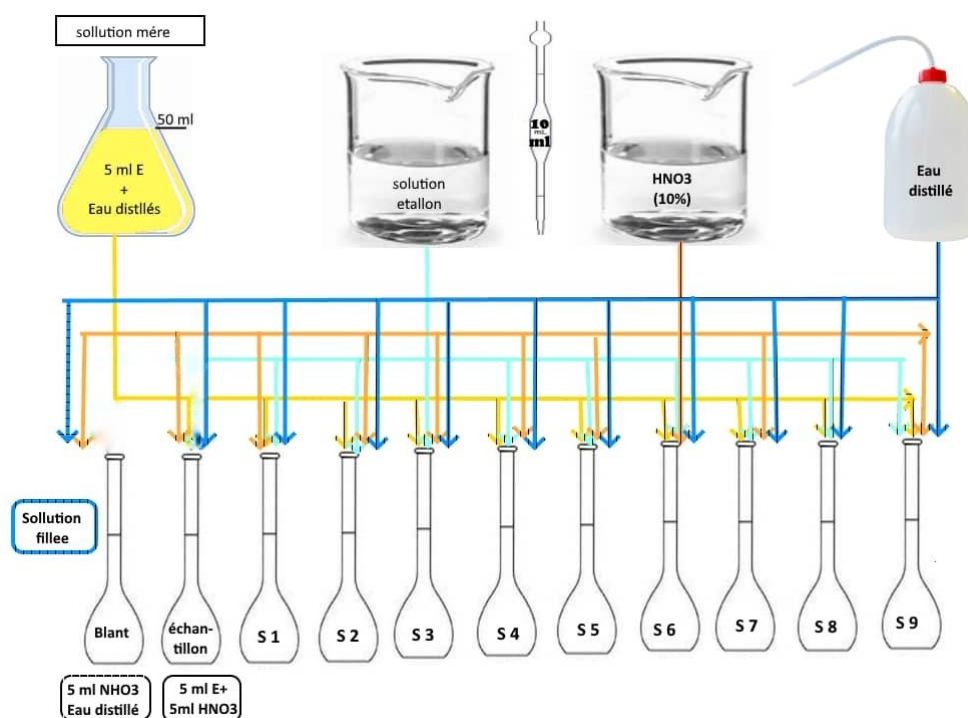
### II.2.4.2. Préparations des étalons pour le dosage des métaux (Pb, Cd, Ni, Mn) dans les échantillons végétaux et l'échantillon minéral

Les gammes de solutions étalons pour le dosage des métaux lourds (Pb, Cd, Ni, Mn) dans les différents échantillons végétaux et l'échantillon minéral par la méthode des ajouts dosés ont été réalisées comme suit (**Bradshaw et al.1975**) :

Dans des fioles de 25ml, des volumes déterminés de la solution mère à (1000mg/L) de chaque métal et de l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) (5ml) ont été ajoutés aux échantillons végétaux et l'échantillon minéral dilué au 10 ième avec l'eau distillée (**tableau II.1**). Pour être ensuite dosés par la méthode des ajouts dosés avec (**S.A.A**) avec des longueurs d'ondes respectives de chaque métal à dosé. L'exploitation des courbes d'étalonnages permettrait la détermination de la concentration des métaux lourds (Pb, Cd, Ni, Mn) dans les échantillons végétaux (racine, tige feuille et fleurs) de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) lieu de ou cette plate a été extraite. Les étapes de la préparation de ses étalons sont schématisées sur la (**Figure II.11**).

**Tableau II.1** : Préparations des étalons pour le dosage des métaux (Pb, Cd, Ni, Mn) dans les échantillons végétaux et l'échantillon minérale.

Identifiant des Solutions étalons	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Volumes prélevés de la solution mère (pb, Cd, Ni, Mn) (ml)	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	+ 5ml de $\text{HNO}_3$ dilue à 10% + 5ml d'échantillons végétales (Racine, tige, feuilles, fleurs) ou minérale dilués au 10 ième									



**Figure II.12 :** Préparation des étalons pour le dosage des métaux (Pb, Cd, Ni, Mn) dans les échantillons végétaux et l'échantillon minéral.

## II.3 Détermination des facteurs modifiant la mobilité des éléments métallique dans la matière minérale

### II.3.1 La Conductivité

La mesure de la conductivité renseigne sur la teneur en matières dissoutes dans l'eau sous forme d'ions chargés électriquement. On se sert d'un appareil appelé conductimètre muni de deux électrodes (**Figure II.2**), elle est mesurée en micro siemens par cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Les résultats de mesure de cette dernière sont toujours présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25°C. La température du sol influence rétroactivement la formation de complexes avec des ligands inorganiques, en modifiant l'activité de l'élément en solution (**D. Mustin et al., 2003**). La mesure de la conductivité dans l'échantillon minéral (la terre) prélevé du site industriel et le site non industrialisé est réalisée comme suit :

Un échantillon de (1g) de la terre (des deux sites de prélèvements) a été macéré dans l'eau distillée (100 ml) pendant 24h à 25°C. Après filtration sur papier whatman, la conductivité du filtrat minéral a été mesurée avec un conductimètre "WTW Cond\_720 " (Figure II.12)



Figure II.13 : Un conductimètre "WTW Cond\_720 "

### II.3.2 pH (Potentiel Hydrogène)

Le pH constitue un facteur dont le rôle est crucial pour la mobilité des ions métalliques, car il influence le nombre de charges négatives pouvant être mises en solution (McLaughlin, *et al.*, 2000). D'une façon générale, lorsque le pH augmente, les cations sont moins solubles et les anions sont plus solubles (Blanchard, 2000). De plus, l'augmentation de pH induit souvent la formation d'espèces précipitées qui peuvent limiter la solubilité et la biodisponibilité de toutes les espèces ioniques (Deneux-Mustin *et al.*, 2003). Cependant, elle entraîne également la dissolution de matières organiques et la formation consécutive de complexes organo- métalliques plus solubles (Chaignon, 2001). Les variations de pH ont donc des conséquences complexes et parfois contraires sur la mobilité des métaux lourds, en particulier en présence de ligands organiques et inorganiques. Le pH des filtrats des échantillons minéraux dont la conductivité a été mesurée précédemment a été mesuré avec un pH-mètre (Ph 211 Microprocessor ph meter) 25°C (Figure II.13)



**Figure II.14 : Un pH mètre (Ph 211 Microprocessor ph meter)**



# **Chapitre III**

## **Résultats et discussions**

**III.1 Résultats des dosages des métaux lourds (Pb, Ni, Cd ,Mn), dans la matière végétale (les différentes parties du roseau commun : les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et la matière minérale (la terre) prélevés d'un site industriel (la zone industrielle d'El kseur –Bejaia) et un site non industriel (Aokas) avec la méthode des ajouts dosés par SAA**

**III.1.1 Le dosage des métaux lourds dans la matière végétale et minérale prélevée dans un site industriel (la zone industrielle d'el kseur –Bejaïa)**

**1.1.1. Le dosage du plomb (Pb) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre) :** les résultats du dosage du plomb à  $\lambda=217\text{nm}$  dans les solutions étalons en absence et en présence des échantillons (la racine, la tige, les feuilles, les fleurs) de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante '*Phragmites australis* par SAA sont représentés respectivement sur le **tableau III.1. Tableau III.2. Tableau III.3. Tableau III.4. Tableau III.5** dans l'**annexe 1.**

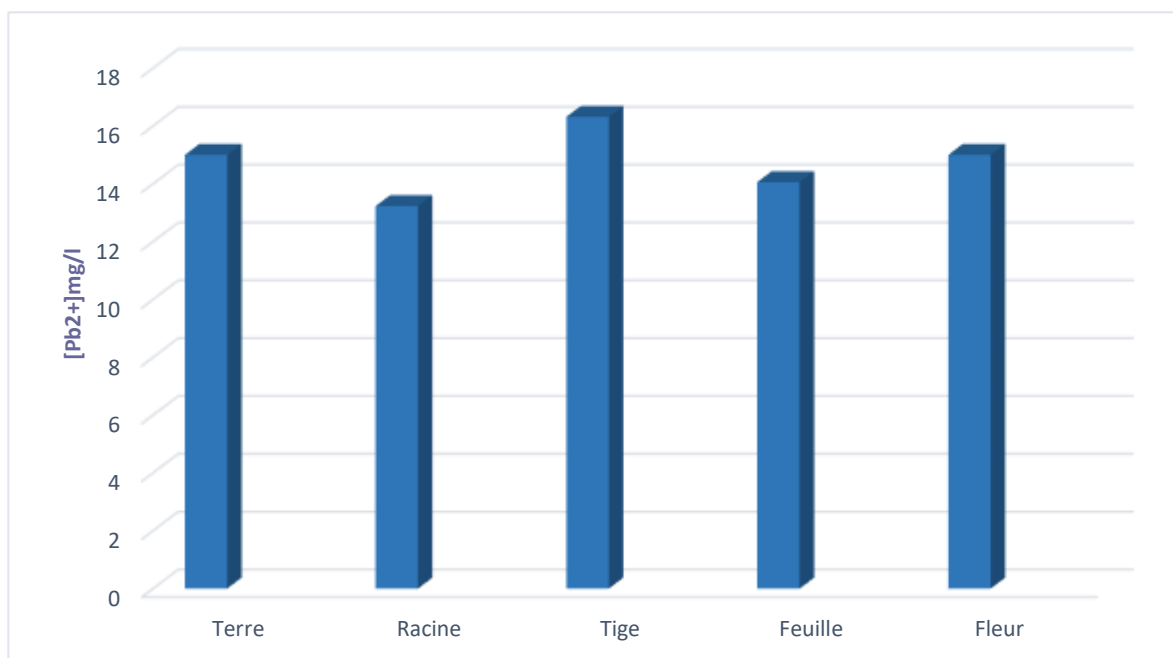
L'exploitation des résultats du **tableau III.1 tableau III.2. Tableau III.3. Tableau III.4. Tableau III.5** dans **annexe 1 a** permis la réalisation des droites d'étalonnages représentant la variation de l'absorbance en fonctions de la concentration en  $\text{Pb}^{+2}$  des solution ajoutées (mg/l) à l'échantillon racine, tige, feuille, fleurs de '*Phragmites australis*' les droites d'étalonnages respectives sont représentés sur **Figure III.1, Figure III.2, Figure III.3, Figure III.4. Figure III.5 annexe 2.**

L'exploitation des équations linéaires relatives aux droites d'étalonnages de chaque échantillon, a permis la détermination de la concentration de  $\text{Pb}^{+2}$ . L'ensemble des résultats est représentés dans le **tableau III.6.**

**Tableau III.6 :** Détermination de  $[Pb^{2+}]_{\text{échantillon}}$  dans les différents organes de la plante '*Phragmites australis* et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives ;

Echantillon	Equation linéaire du droit étalonnage Abs= A*C+ B	$[pb^{2+}]_{\text{échantillon}}$ sans ajouts se calcule pour $y=0$ : $[pb^{2+}]=B/A$ en (1mg/l=1ppm)
Racine	$y = 0.017x + 0,015$	13.23
Tige	$y = 0.017x + 0,016$	16.32
Feuille	$y = 0.016x + 0,015$	14.06
Fleurs	$y = 0,014x + 0,014$	15
La terre	$y = 0,016x + 0,016$	15

L'exploitation les résultats **tableau III.6** a permis la représentation sur **la figure III.6** la variation de la concentration  $[pb^{2+}]$  dans les différents organes de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de cette plante.



**Figure.III.6 :** Histogramme représentant la variation de la concentration en  $[Pb^{2+}]$  dans l'échantillons végétal (racine, tiges, feuille et fleurs) et minéral (la terre)

➤ Le Pb dans le sol provient essentiellement en système non anthropisé de la roche mère. A défaut de normes nationales sur les teneurs en éléments traces métalliques dans les sols algériens, les valeurs des concentrations obtenues ont été donc comparées aux valeurs limites (100mg/g =100ppm) selon la norme française (**AFNOR U44-41**). Le résultat du dosage du plomb dans l'échantillon du sol de la zone industrielle **d'el kseur –Bejaïa** a donné  $[pb^{2+}]$  égale a (15 mg/l= 15ppm), une concentration inférieur a la concentration limite en  $[pb^{2+}]$  (100ppm) **selon** la norme (**AFNOR U44-41**). Cela indique qu'il n'y a pas une contamination au plomb du sol dans zone industrielle d'el kseur. (**Tableau III.6**)

➤ Les résultats obtenus pour le dosage du plomb dans les différentes parties de *Phragmites australis* montres que la plus grande concentration en  $pb^{2+}$  est localisée au niveau de la tige (16.32 ppm), suivie par la fleur (15ppm) après la feuille (14.06 mg/l), la plus faible concentration est constatée au niveau de la racine (13.23 mg/l). Il est a remarqué aussi que la concentration de  $[pb^{+2}]$  dans la terre (15mg/l) est similaire à celle dans la fleur. Ses concentrations de  $[pb^{+2}]$  dans les différentes parties de la plante sont supérieurs à la norme (0.3 ppm) (**kalonda et al, 2015**). Cette différence de concentration de  $[pb^{+2}]$  dans le sol et les différentes parties de la plante laisse supposée que ce dernier est absorbé par la racine puis migre vers les parties aériennes de la plante par la translocation, pour être stocké au niveau la tige, les feuilles et les fleurs. (**Jonopy et yong, 1993**). Le pH joue un rôle dans la mobilité du plomb. Plus le pH est faible plus le Plomb passe en solution et le pH du sol de la zone industrielle el -ekseur est basique est superieur en moyenne à 9.30 (**tableau III.6**). Le Pb serait le micropolluant métallique le moins mobile dans le sol. Ainsi dans la gamme de pH de 5 à 9 et à concentration totale identique Pb serait 100 fois moins mobile que Cd (**Juste et al, 1995**).

### 1.1.2. Le dosage du cadmium (Cd) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre) :

Les résultats du dosage du cadmium à  $\lambda=228.8\text{nm}$  dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon végétal (la racine, la tige, les feuilles, les fleurs) de '*Phragmites australis*' et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante par SAA sont représentés respectivement sur le **tableau III.7. Tableau III.8. Tableau III.9. Tableau III.10. Tableau III.11** dans l'**annexe 1**.

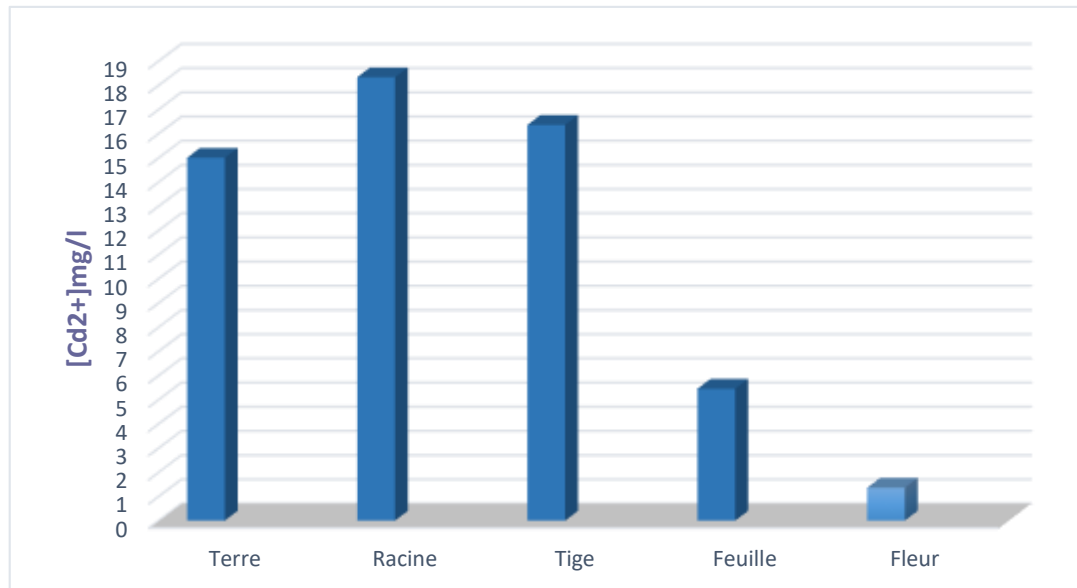
L'exploitation des résultats du **tableau III.7 tableau III.8. Tableau III.9. Tableau III.10. Tableau III.11** dans l'**annexe 1** a permis la réalisation des droites d'étalonnages représentant la variation de l'absorbance en fonctions de la concentration en  $[\text{Cd}^{2+}]$  des solution ajoutées (mg/l) à l'échantillon racine, tige, feuille, fleurs de '*Phragmites australis*'. Les droites d'étalonnages respectifs sont représentés sur **Figure III.7, figure III.8, Figure III.9, Figure III.10. Figure III.11** annexe 2

L'exploitation des équations linéaires relatives aux droites d'étalonnages de chaque échantillon, a permis la détermination de la concentration de  $[\text{Cd}^{2+}]$ . L'ensemble des résultats est représenté dans le **tableau III.12**

**Tableau III.12** : Détermination de  $[\text{Cd}^{2+}]_{\text{échantillon}}$  dans les différents organes de la plante '*Phragmites australis*' et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives

Echantillon	Equation linéaire du droit étalonnage $\text{Abs} = A \cdot C + B$	$[\text{Cd}^{2+}]_{\text{échantillon}}$ sans ajouts se calcule pour $y=0$ : $[\text{Cd}^{2+}] = B/A$ en (ppm)
Racine	$y = 0,009x + 0,011$	18.33
Tige	$y = 0,011x + 0,012$	16.36
Feuille	$y = 0,011x + 0,004$	5.45
Fleurs	$y = 0,011x + 0,001$	1.36
La terre	$y = 0,011x + 0,011$	15

L'exploitation des résultats du **tableau III.12** a permis la représentation sur la **figure III.12** de la variation de la concentration  $[Cd^{2+}]$  dans les différents organes de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante.



**Figure III.12 :** Histogramme représentant la variation de la concentration en  $[Cd^{2+}]$  dans l'échantillons végétal (racine, tiges, feuille et fleurs) et minéral (la terre).

- La présence de Cd dans les sols fut attribuée principalement à des facteurs anthropiques, et plus particulièrement à la pollution urbaine, la fertilisation des sols et l'épandage des boues d'épuration, selon les travaux (Atteia et al, 1995). La teneur trouvée dans l'échantillon prélevé du sol de la zone el- kseur est supérieure (15ppm) à 2 ppm la norme AFNOR (NFU 44-041). Il en résulte que le sol est contaminé avec le cadmium et que cette teneur peut présenter un risque environnemental. Lorsque le pH augmente la mobilité du Cd peut s'accroître au travers de la formation de complexes ou chélates mobile, et le pH du sol de l'endroit de prélèvement dans la zone industrielle el Ekseur est basique dont la moyenne des mesures a dépassée 9.30 (tableau III.52) ( Benitez et al ,1999). De même que le pH, la nature du sol influe aussi sur la concentration et la mobilité du cadmium donc

dans un sol, riche en sable, léger et pauvre en argile et matière organique ses deux paramètres sont favorisés.

- Les résultats du dosage de Cadmium dans les différentes parties de l'échantillon végétal, (**figure III.12**) montre que la plus grande concentration en  $[Cd^{2+}]$  est localisée au niveau de la racine 18.33ppm suivie par la tige 16.36ppm, des concentrations moindres situées respectivement dans la feuille 5.45ppm et la fleur 1.36ppm ; des concentrations supérieures à la norme 0.2 ppm ( **Benitez et al ,1999**). La concentration de  $[Cd^{2+}]$  dans le sol (15ppm) est inférieure à sa concentration dans la plante, cela pourrait s'expliquer par l'adsorption de ce dernier par les racines, et une migration vers les parties aériennes de la plante par la translocation, comme le  $[Pb^{2+}]$  (**Deneux-Mustin et al ,2003**).

**1.1.3 Le dosage du Nickel (Ni) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre) :** les résultats du dosage du Nickel à  $\lambda=232nm$  dans les solutions étalons en absence et en présence des échantillons : la racine, la tige, les feuilles, les fleurs de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante '*Phragmites australis* par SAA sont représentés respectivement sur le **tableau III.13**. **Tableau III.14**. **Tableau III.15**. **Tableau III.16**. **Tableau III.17** dans l'**annexe 1**.

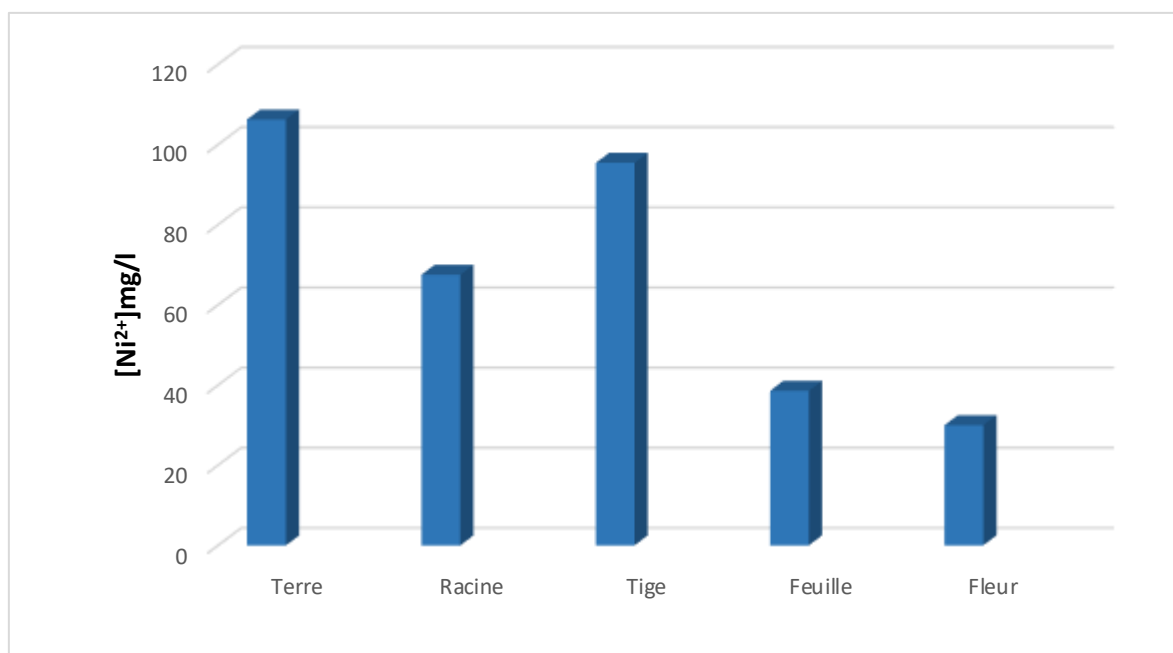
L'exploitation des résultats du **tableau III.13** **tableau III.14**. **Tableau III.15**. **Tableau III.16**. **Tableau III.17** dans l'**annexe 1**. A permis la réalisation des droites d'étalonnages représentant la variation de l'absorbance en fonctions de la concentration en  $[Ni^{2+}]$  des solution ajoutées (mg/l) à l'échantillon : racine, tige, feuille, fleurs de '*Phragmites australis*'. Elles sont représentées respectivement sur **Figure III.13**, **Figure III.14**, **Figure III.15**, **Figure III.16**. **Figure III.17** **annexe 3**.

L'exploitation des équations linéaires des droites d'étalonnages respectifs à chaque type de dosage ont permis la détermination de la concentration de  $[\text{Ni}^{2+}]$  l'ensembles des résultats obtenus sont représentés le **tableau III.18** .

**Tableau III.18** : Détermination de  $[\text{Ni}^{2+}]_{\text{échantillon}}$  dans les différents organes de la plante "*Phragmites australis*" et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives ;

Echantillon	Equation linéaire du droit étalonnage Abs= A*C+ B	$[\text{Ni}^{2+}]_{\text{échantillon}}$ sans ajouts se calcule pour $y=0$ : $[\text{Ni}^{2+}]=B/A(1\text{mg/l}=1\text{ppm})$
Racine	$y = 0,01x + 0,045$	67.5
Tige	$y = 0,011x + 0,07$	95.45
Feuille	$y = 0,007x + 0,018$	38.57
Fleurs	$y = 0,007x + 0,04$	30
La terre	$y = 0.012x + 0,085$	106.27

L'exploitation des résultats **tableau III.18** a permis la représentation sur **la figure III.18** la variation de la concentration  $[\text{Ni}^{2+}]$  dans les différents organes de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante.



**Figure III.18** : Histogramme représentant la variation de la concentration en  $[\text{Ni}^{2+}]$  dans l'échantillons végétal (racine, tiges, feuille et fleurs) et minéral (la terre).



- L'activité anthropique est une source importante du nickel, mais aussi les émissions des centrales et des incinérateurs, la combustion du Mazout, la production minière, la métallurgie et l'industrie de galvanisation ces sources sont communes à plusieurs activités industrielles. La teneur de  $[\text{Ni}^{2+}]$  dans la terre prélevée du site industriel d'el-Ekseur est très élevée 106.27ppm par rapport à 50ppm de la norme **AFNOR (NFU 44-041)**, ce qui confirme la pollution au nickel du sol, à cause des différentes activités industrielles dans cette zone. Dans le sol, la mobilité du Ni est d'autant plus importante que le pH est faible mais le pH du sol testé est basique (9.30), D'après (**Juste et al, 1995**), la concentration en Ni des roches sédimentaires serait comprise entre 20 et 40 ppm. Elle dépasserait 100mg/kg dans les roches éruptives. Ni est présent à forte concentration dans les roches ferromagnésiennes où il se substitue partiellement au fer et au magnésium
- L'exploitation des résultats de la (**figure III.18**) indique une concentration élevée de  $[\text{Ni}^{2+}]$  dans les différentes parties de la plante où la valeur la plus importante trouvée dans la tige 95.45ppm, suivie de la racine 67.5ppm par absorption du métal du sol, vers la racine, ensuite par translocation vers la tige, après dans la feuille 38.57ppm et en dernier dans la fleur 30ppm, (**Deneux-Mustin et al ,2003**). Les concentrations trouvées de  $[\text{Ni}^{2+}]$  dans les échantillons de la plante '*Phragmites australis* sont largement supérieures à la norme 50ppm (**kalonda et al, 2015**).

**1.1.4 Le dosage du manganèse ( $\text{Mn}^{2+}$ ) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre) :** les résultats du dosage du manganèse à  $\lambda=279.5\text{nm}$  dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillons végétales ( la racine, la tige, les feuilles, les fleurs) de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante '*Phragmites australis* par SAA sont représentés respectivement sur le **tableau III.19. Tableau III.20. Tableau III.21. Tableau III.22. Tableau III.23** dans l'**annexe 1**.

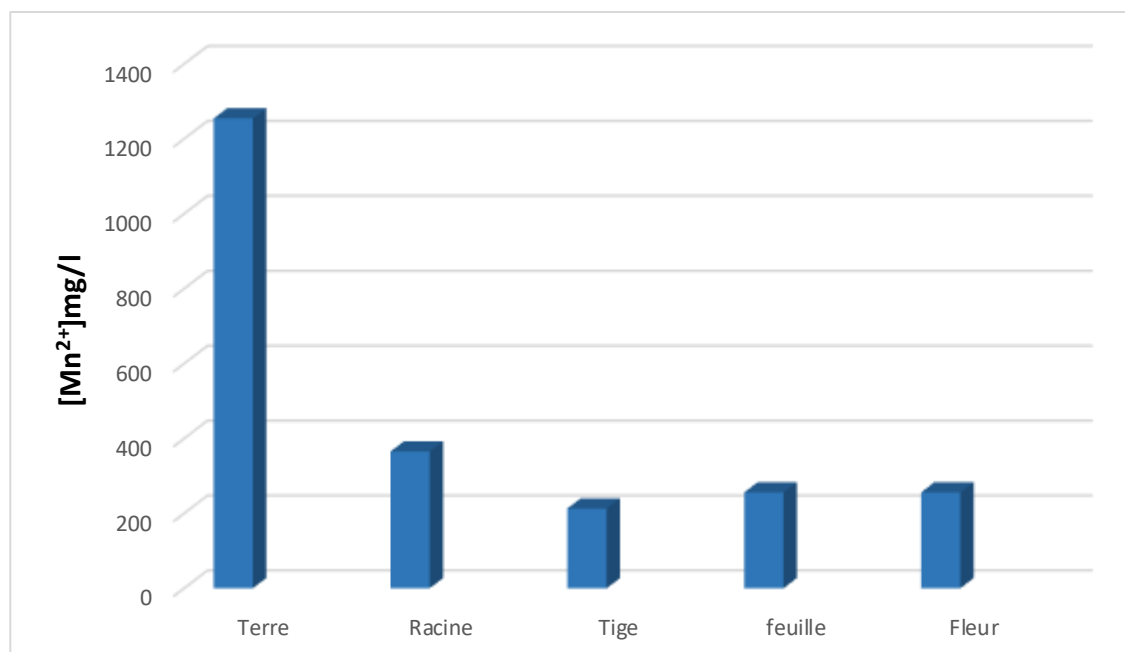
L'exploitation des résultats du **tableau III.19** **tableau III.20**. **Tableau III.21**. **Tableau III.22**. **Tableau III.23** dans l'**annexe 1**. a permis la réalisation des droites d'étalonnages représentant la variation de l'absorbance en fonctions de la concentration en  $[Mn^{2+}]$  des solution ajoutées (mg/l) à l'échantillon racine, tige, feuille, fleurs de '*Phragmites australis*. Elles sont représentées respectivement sur **Figure III.19**, **figure III.20**, **Figure III.21**, **Figure III.22**. **Figure III.23** **annexe 2**

L'exploitation des équations linéaires des droits d'étalonnages respectifs à chaque type de dosage a permis la détermination de la concentration de  $[Mn^{2+}]$ , l'ensembles des résultats obtenus sont représentés le **tableau III.24**.

**Tableau III.24** : Détermination de  $[Mn^{2+}]$  échantillon dans les différents organes de la plante '*Phragmites australis* et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives

Echantillon	Equation linéaire du droit étalonnage $Abs = A * C + B$	$[Mn^{2+}]$ échantillon sans ajouts se calcule pour $y=0$ : $[Mn^{2+}] = B/A$ en (ppm)
<b>Racine</b>	$y = 0.0044 x + 0.1071$	365.11
<b>Tige</b>	$y = 0.0028 x + 0.0397$	212.67
<b>Feuille</b>	$y = 0.0049x + 0.0836$	255.91
<b>Fleurs</b>	$y = 0.0049 x + 0.0836$	255.91
<b>La terre</b>	$y = 0.003x + 0.2509$	1254.5

L'exploitation des résultats du **tableau III. 24** a permis la représentation sur la **figure III.24** la variation de la concentration  $[Mn^{2+}]$  dans les différents organes de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante.



**Figure III.24 :** Histogramme représentant la variation de la concentration en  $[Mn^{2+}]$  dans l'échantillons végétal (racine, tiges, feuille et fleurs) et minéral (la terre)

Le manganèse est moyennement mobile dans les sols, comparativement à des éléments fortement fixés tels que le césium. La plus grande partie du manganèse se trouve sous forme d'oxydes en équilibre avec les ions  $Mn^{2+}$ , adsorbés sur le complexe argilo-humique ou en solution ( $10^{-6}$  à  $10^{-4}M$ ) (**Perrono,1999**).la concentration de  $[Mn^{2+}]$  dans le sol étudié de la zone industrielle de el- ekseur est de l'ordre de 1254.5ppm supérieure a la norme 1000ppm (**Kabata-Pendias et al, 2004**). La migration dépend des caractéristiques du sol : dans les sols à faible capacité d'échange cationique (sablonneux acides, par exemple), le lessivage est modéré ; les sols ou horizons riches en matière organique fixeraient faiblement le manganèse, en revanche, les sols riches en argiles fixeraient assez fortement le manganèse (**Kabata-Pendias et al, 2004**).

➤ La concentration de  $[Mn^{2+}]$  dans les différentes parties de la plante est largement inférieure dans le sol. Cela peut être dû au pH du sol, où l'absorption racinaire augmente avec la diminution du pH du sol, l'aluminium, le cadmium, le calcium et le fer sont des compétiteurs du manganèse pour les sites d'échange du sol (capacité d'échange) et peuvent ainsi influencer sur son absorption par les végétaux. Le pH du sol étudié est basique et avoisine moyennement 9.30, ce qui pourrait expliquer une concentration de 255.91ppm dans le sol et 365.11ppm dans la racine

et par translocation dans les autres parties de la plante ; 255.91ppm dans la feuille et la fleur et 212.27 ppm dans la tige. Alors que les teneurs moyennes dans la matière sèche des plantes cultivées vont de 50 à 150 ppm (Turner, Mawji ,2005). Les feuilles contiennent plus de manganèse que n'importe quel autre organe ou partie de plantes, les légumes feuilles présentent donc logiquement des concentrations plus élevées que les autres organes tels que les fruits, les racines, les tubercules (Schäfer, 2004). Relativement aux concentrations trouvées dans ce dosage, il y a une contamination du sol et de la plante avec le manganèse.

### III.1.2. Le dosage des métaux lourds dans la matière végétale et minérale prélevée dans un site non contaminé (Aokas –Bejaïa)

1.2.1. Le dosage du plomb (Pb) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre) : les résultats du dosage du plomb à  $\lambda=217\text{nm}$  dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillons la racine, la tige, les feuilles, les fleurs de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante '*Phragmites australis* par SAA sont représentés respectivement sur le **tableau III.25. Tableau III.26. Tableau III.27 Tableau III.28. Tableau III.29** dans **annexe 1.**

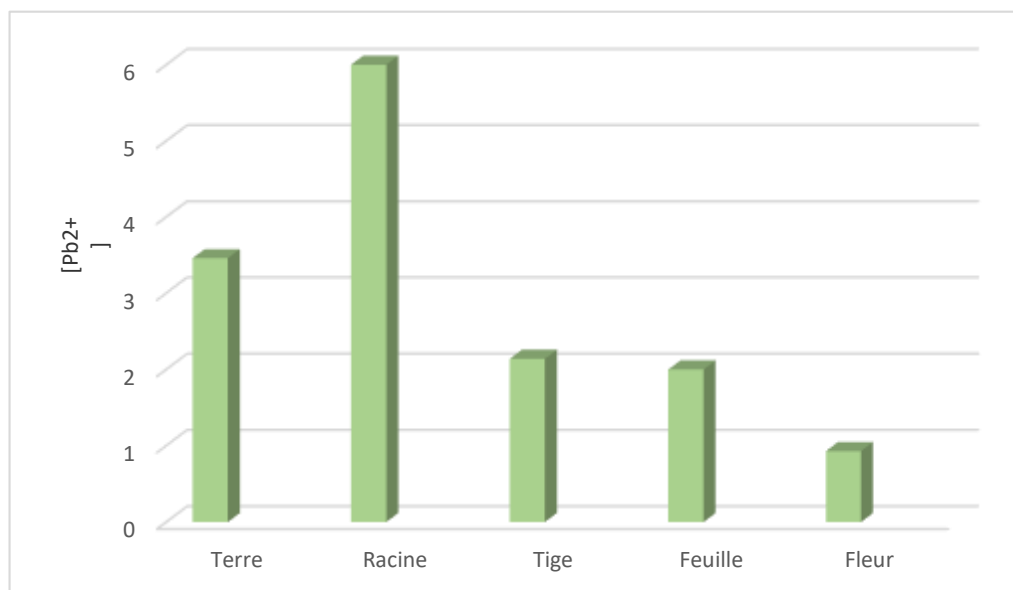
L'exploitation des résultats du **tableau III.25 tableau III.26. Tableau III.27. Tableau III.28. Tableau III.29** dans **annexe 1.** A permis la réalisation des droites d'étalonnages représentant la variation de l'absorbance en fonctions de la concentration en  $[\text{Pb}^{2+}]$  des solutions ajoutées (mg/l) à l'échantillon (racine, tige, feuille, fleurs )de '*Phragmites australis* représentées respectivement sur **Figure III.25, Figure III.26, Figure III.27, Figure III.28. Figure III.29** **annexe 2.**

L'exploitation des équations linéaires des droits d'étalonnages respectifs à chaque type de dosage a permis la détermination de la concentration de  $[\text{pb}^{2+}]$ , l'ensembles des résultats obtenus sont représentés **Tableau III.30.**

**Tableau III.30 :** Détermination de  $[Pb^{2+}]_{\text{échantillon}}$  dans les différents organes de la plante '*Phragmites australis* et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives :

Echantillon	Equation linéaire du droit étalonnage $Abs = A \cdot C + B$	$[pb^{2+}]_{\text{échantillon}}$ sans ajouts se calcule pour $y=0$ : $[pb^{2+}] = B/A$ (ppm)
Racine	$y = 0,015x + 0,006$	6
Tige	$y = 0,014x + 0,002$	2.14
Feuille	$y = 0,015x + 0,002$	2
Fleurs	$y = 0.016x + 0.001$	0.93
La terre	$y = 0,013x + 0,003$	3.46

L'exploitation des résultats **tableau III.30** a permis la représentation sur **la figure III.30** la variation de la concentration  $[pb^{2+}]$  dans les différents organes de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante.



**Figure III.30 :** Histogramme représentant la variation de la concentration en  $[pb^{2+}]$  dans l'échantillons végétal (racine, tiges, feuille et fleurs) et minéral (la terre)

Les résultats sur la **figure III.30** montrent clairement que la concentration de  $[pb^{2+}]$  dans le sol 3.46ppm est inférieure à la concentration limite en  $[pb^{2+}]$  (100ppm) selon la norme (**AFNOR U44-41**). La différence de concentration  $[pb^{2+}]$  dans le sol et dans la racine 6ppm, laisse penser qu'il y a adsorption de ce métal par la racine vers la plante, et une translocation de ce dernier vers les organes aériens de la plante, où la concentration dans la tige 2.14ppm, la feuille 2ppm et la fleurs 0.93ppm. La concentration de  $[pb^{2+}]$  dans les différentes parties reste supérieure à la norme 0.3 ppm (**kalonda et al, 2015**). Ce qui laisse penser que cette plante a une affinité et un pouvoir accumulateur pour  $[pb^{2+}]$

**1.2.2. Le dosage du cadmium (Cd) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre) :** les résultats du dosage du cadmium à  $\lambda=228.8$  dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillons la racine, la tige, les feuilles, les fleurs de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante '*Phragmites australis* par SAA sont représentés respectivement sur le **tableau III.31. Tableau III.32. Tableau III.33. Tableau III.34. Tableau III.35** dans l'**annexe 1**.

L'exploitation des résultats du **tableau III.31 tableau III.32. Tableau III.33. Tableau III.34. Tableau III.35** dans l'**annexe 1** a permis la réalisation des droites d'étalonnages représentant la variation de l'absorbance en fonctions de la concentration en  $[Cd^{2+}]$  des solutions ajoutées (mg/l) à l'échantillon racine, tige, feuille, fleurs de '*Phragmites australis*. Les figures sont représentées respectivement sur **Figure III.31, figure III.32, Figure III.33, figure III.34. Figure III.35 annexe 2**

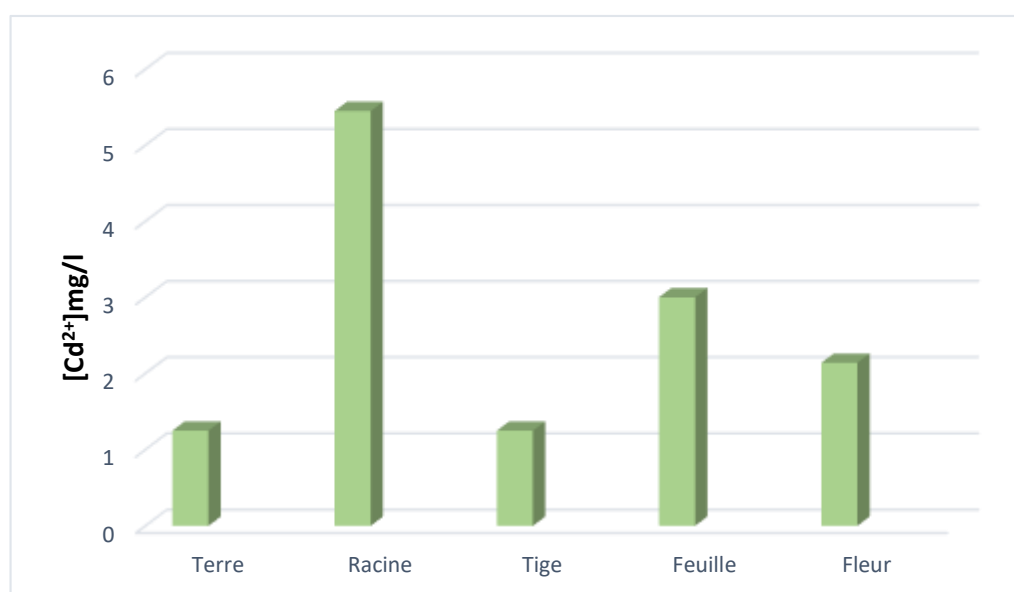
L'exploitation des équations linéaires relatives aux droites d'étalonnages de chaque échantillon, a permis la détermination de la concentration de  $[Cd^{2+}]$ . L'ensemble des résultats est représenté dans **tableau III.36**

**Tableau III.36 :** Détermination de  $[Cd^{2+}]_{\text{échantillon}}$  dans les différents organes de la plante '

*Phragmites australis* et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives

Echantillon	Equation linéaire du droit étalonnage Abs= A*C+ B	[Cd <sup>2+</sup> ] <sub>échantillon sans ajouts se calcule pour y=0 : [Cd<sup>2+</sup>]=B/A en (1mg/l=1ppm )</sub>
Racine	$y = 0,011x + 0.004$	5.45
Tige	$y = 0,012x + 0,001$	1.25
Feuille	$y = 0,01x + 0.002$	3
Fleurs	$y = 0,014x + 0,002$	2.14
La terre	$y = 0,012x + 0.001$	1.25

L'exploitation des résultats **tableau III.36** a permis la représentation sur **la figure III.36** la variation de la concentration [Cd<sup>2+</sup>] dans les différents organes de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante.



**Figure III.36** : Histogramme représentant la variation de la concentration en [Cd<sup>2+</sup>] dans l'échantillons végétal (racine, tige, feuille et fleurs) et minéral (la terre)

L'exploitation des résultats **Figure III.36** montre clairement que la concentration de [Cd<sup>2+</sup>] dans la terre 1.25ppm est inférieure à la limite 2ppm de la norme (AFNOR U44-41). Cette

concentration augmente dans les différentes parties de la plante par adsorption par la racine 5.45ppm et par translocation vers les parties aériennes où elle est dans la tige 1.25ppm, dans la feuille 3ppm et la fleur 2.14ppm. Ces concentrations sont supérieures à la norme 0.2 ppm (Benitez et al, 1999). Ces résultats mettent en avant le pouvoir accumulateur et éventuellement décontaminant du  $[Cd^{2+}]$  par la plante *Phragmites australis*.

**1.2.3 Le dosage du Nickel (Ni) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre) :** les résultats du dosage du Nickel à  $\lambda=232nm$  dans les solutions étalons en absence et en présence des échantillons la racine, la tige, les feuilles, les fleurs de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante '*Phragmites australis* par SAA sont représentés respectivement sur le **tableau III.37. Tableau III.38 Tableau III.39. Tableau III.40. Tableau III.41** dans **annexe 1.**

L'exploitation des résultats du **tableau III.37 tableau III.38. Tableau III.39. Tableau III.40. Tableau III.41** dans l'**annexe 1.** A permis la réalisation des droites d'étalonnages représentant la variation de l'absorbance en fonctions de la concentration en  $[Ni^{2+}]$  des solutions ajoutées (mg/l) à l'échantillon racine, tige, feuille, fleurs de '*Phragmites australis*. Ces figures sont représentées respectivement sur **Figure III37, Figure III.38, Figure III.39, Figure III.40. Figure III.41** annexe 2.

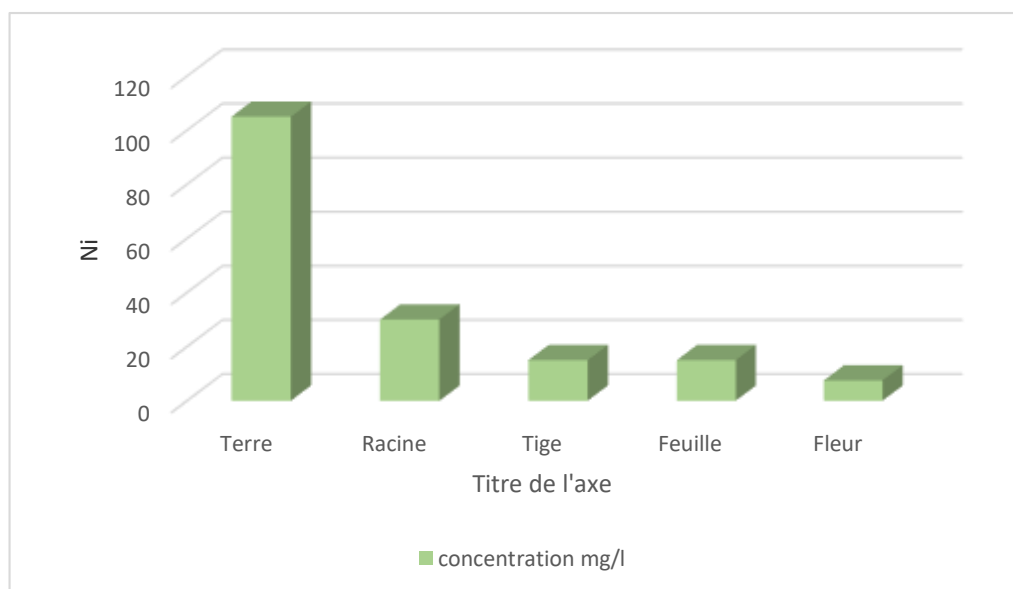
L'exploitation des équations linéaires relatives aux droites d'étalonnages de chaque échantillon, a permis la détermination de la concentration de  $[Ni^{2+}]$ . L'ensemble des résultats est représenté dans **tableau III.42**



**Tableau III.42:** Détermination de  $[\text{Ni}^{2+}]_{\text{échantillon}}$  dans les différents organes de la plante '*Phragmites australis* et la terre par l' exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives ;

Echantillon	Equation linéaire du droit étalonnage $\text{Abs} = A \cdot C + B$	$[\text{Ni}^{2+}]_{\text{échantillon}}$ sans ajouts se calcule pour $y=0$ : $[\text{Ni}^{2+}] = B/A$ en (ppm)
Racine	$y = 0,002x + 0,004$	30
Tige	$y = 0,002x + 0,002$	15
Feuille	$y = 0,002x + 0,002$	15
Fleurs	$y = 0,002x + 0,001$	7.5
La terre	$y = 0,001x + 0,007$	105

L'exploitation des résultats **tableau III.42** a permis la représentation sur **la figure III.42** de la variation de la concentration  $[\text{Ni}^{2+}]$  dans les différents organes de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante.



**Figure III.42 :** Histogramme représentant la variation de la  $[\text{Ni}^{2+}]$  dans les échantillons végétaux et la terre.

➤ La concentration de  $[\text{Ni}^{2+}]$  dans le sol étudié est de 105ppm, elle doublement supérieure par rapport à la limite 50ppm de la norme (AFNOR U44-41). Concernant l'échantillon végétal par absorption de la plante, la concentration de  $[\text{Ni}^{2+}]$  dans la racine 30ppm, et par translocation dans les parties aériennes, dans la tige et la feuille 15ppm, et dans la fleur 7.5ppm. Les concentrations trouvées de  $[\text{Ni}^{2+}]$  dans les échantillons de la plante '*Phragmites australis*' sont largement inférieures à la norme 50ppm (kalonda et al, 2015). Ces résultats laissent penser que la plante '*Phragmites australis*' n'a pas une grande affinité pour le  $[\text{Ni}^{2+}]$

**1.2.4 Le dosage du manganèse ( $\text{Mn}^{2+}$ ) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs) et minérale (la terre) :** les résultats du dosage du manganèse à  $\lambda=279.5\text{nm}$  dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillons la racine, la tige, les feuilles, les fleurs de '*Phragmites australis*' et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante '*Phragmites australis*' par SAA sont représentés respectivement sur le **tableau III.43. Tableau III.44. Tableau III.45. Tableau III.46. Tableau III.47** dans l'**annexe 1**.

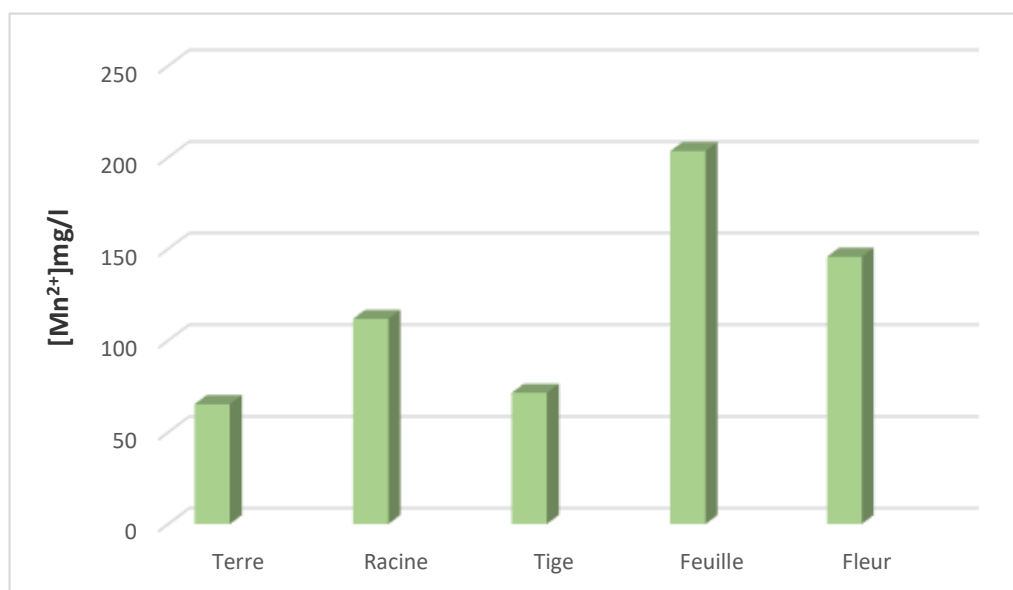
L'exploitation des résultats du **tableau III.43 tableau III.44. Tableau III.45. Tableau III.46. Tableau III.47** dans l'**annexe 1**. A permis la réalisation des droites d'étalonnages représentant la variation de l'absorbance en fonctions de la concentration en  $[\text{Mn}^{2+}]$  des solution ajoutées (mg/l) à l'échantillon racine, tige, feuille, fleurs de '*Phragmites australis*'. L'ensemble des figures est représenté respectivement sur **Figure III.43, figure III.44, Figure III.45, Figure III.46. Figure III.47 annexe 2**

L'exploitation des équations linéaires relatives aux droites d'étalonnages de chaque échantillon, a permis la détermination de la concentration de  $[\text{Mn}^{2+}]$ . L'ensemble des résultats est représenté dans le **tableau III.48**

**Tableau III.48** : Détermination de  $[Mn^{2+}]_{\text{échantillon}}$  dans les différents organes de la plante '*Phragmites australis* et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives

Echantillon	Equation linéaire du droit étalonnage $Abs = A \cdot C + B$	$[Mn^{2+}]_{\text{échantillon}}$ sans ajouts se calcule pour $y=0$ : $[Mn^{2+}] = B/A$ en (mg/l)
Racine	$y = 0.004 x + 0.0328$	111.81
Tige	$y = 0.0043 x + 0.0205$	71.51
Feuille	$y = 0.005 x + 0.678$	203.4
Fleurs	$y = 0.0052x + 0.0505$	145.67
La terre	$y = 0.0046x + 0.02$	65.31

L'exploitation des résultats du **tableau III. 48** a permis la représentation sur la **figure III.48** de la variation de la concentration  $[Mn^{2+}]$  dans les différents organes de '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante.



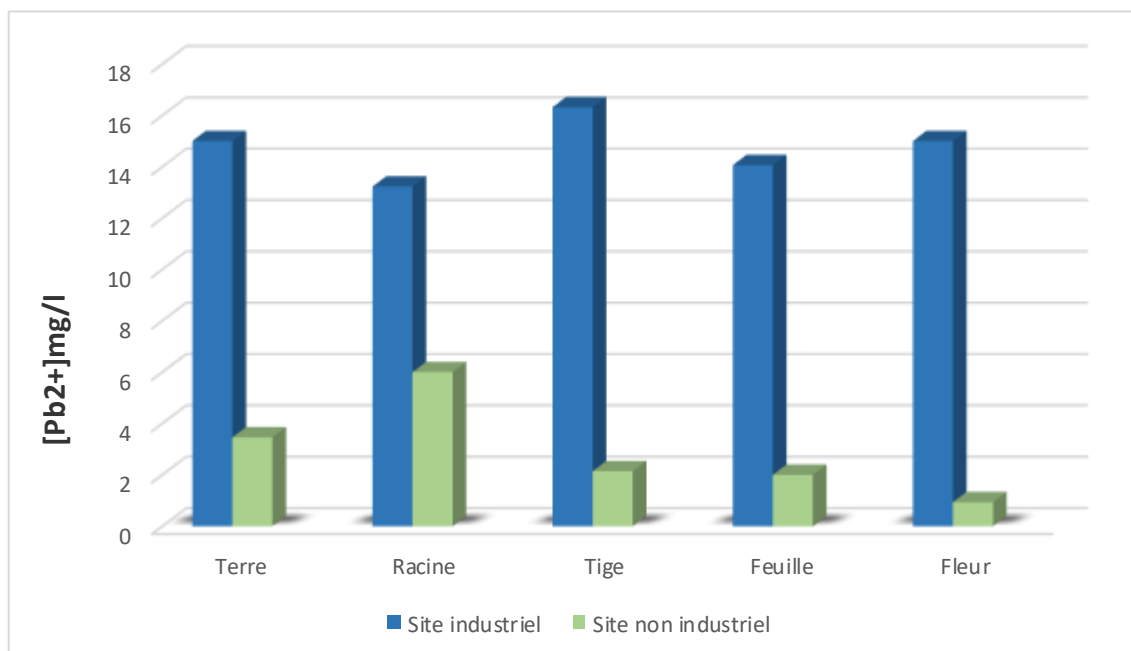
**Figure III.48** : Histogramme représentant la variation de la concentration de  $[Mn^{2+}]$  dans les échantillons végétaux et la terre.

La concentration de  $[Mn^{2+}]$  dans le sol étudié est de 65.31ppm, elle est inférieure à la limite 100ppm de la norme (Turner, Mawji 2005). Concernant l'échantillon végétal par absorption de

la plante, la concentration de  $[Mn^{2+}]$  dans la racine 11.08ppm, et par translocation dans les parties aériennes, dans la tige 71.51ppm, la feuille 203.4ppm. Les feuilles contiennent plus de manganèse que n'importe quel autre organe ou partie de plantes, (Schäfer, 2004) et dans la fleur 145.67ppm, des concentrations qui restent dans la norme 50 à 150 ppm (Turner, Mawji, 2005). Sauf pour les feuilles. Cette constatation expérimentale sélectionne la plante '*Phragmites australis*' comme une plante absorbante de  $[Mn^{2+}]$

### III.1.3. Etude comparative de la concentration des métaux lourds dans l'échantillon végétal (racine, tige, feuille et fleur) et l'échantillon minéral (le terre) dans (la zone industrielle d'El kseur –Bejaia) et le site non industriel (Aokas- bejaia)

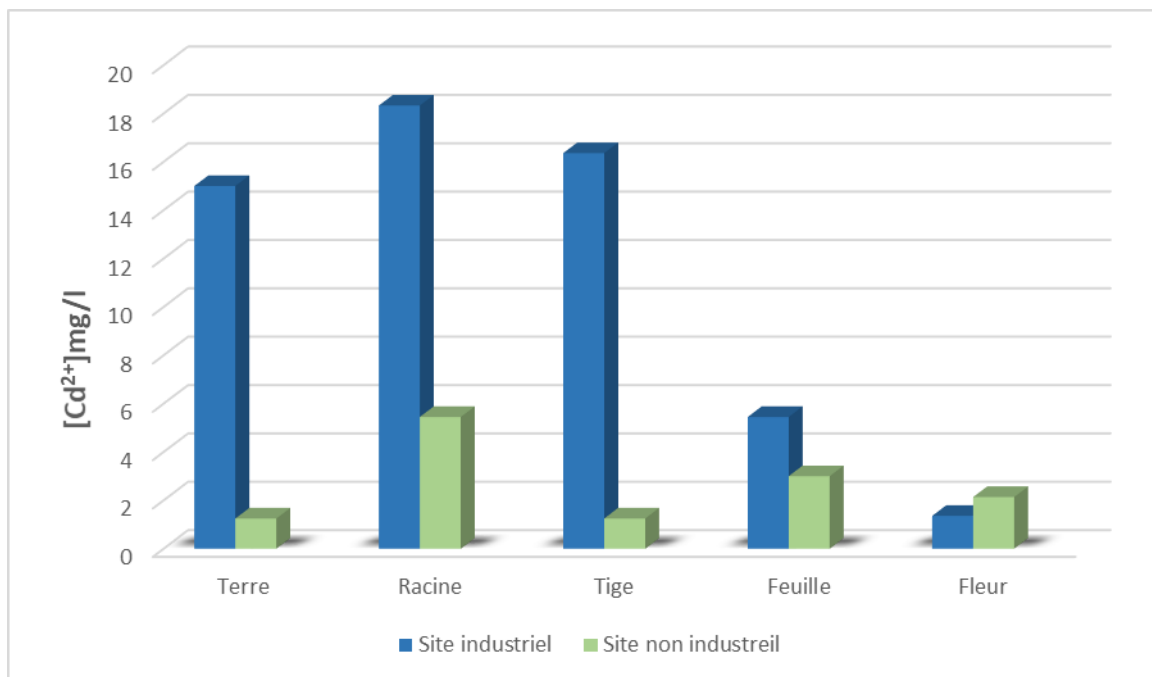
**1.3.1. Dosage de  $[Pb^{2+}]$  :** une comparaison de la concentration de  $[Pb^{2+}]$  dans l'échantillon végétal (racine, tige, feuille, fleur) de la plante '*Phragmites australis*' et l'échantillon minéral (le sol) dans les deux sites d'études est représentée dans la **Figure III.49**



**Figure III.49 :** Histogramme représentant la variation de la concentration de  $[Pb^{2+}]$  dans les échantillons végétaux et l'échantillon minéral (la terre) dans les deux zones d'études

La comparaison des résultats obtenus, montre clairement que la concentration de  $[pb^{2+}]$  dans les échantillons végétales et l'échantillon minéral prélevés dans le site industriel est supérieure par rapport aux échantillons du site non industriel. La concentration de  $[pb^{2+}]$  dans le sol est inférieure à 100ppm de la norme (AFNOR U44-41) dans les deux sites. La concentration de  $[pb^{2+}]$  dans les échantillons végétales dans le site industriel est enlevée par rapport au site non industriel ce qui confirme l'effet absorbant et accumulateur de cette plante pour  $[pb^{2+}]$  et en d'autres termes décontaminant du sol industriel de l'excès.

**1.3.2. Dosage de  $[Cd^{2+}]$  :** une comparaison de la concentration de  $[Cd^{2+}]$  dans l'échantillon végétal (racine, tige, feuille, fleur) de la plante '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (le sol) dans les deux sites d'études est représentée dans la **Figure III.50**

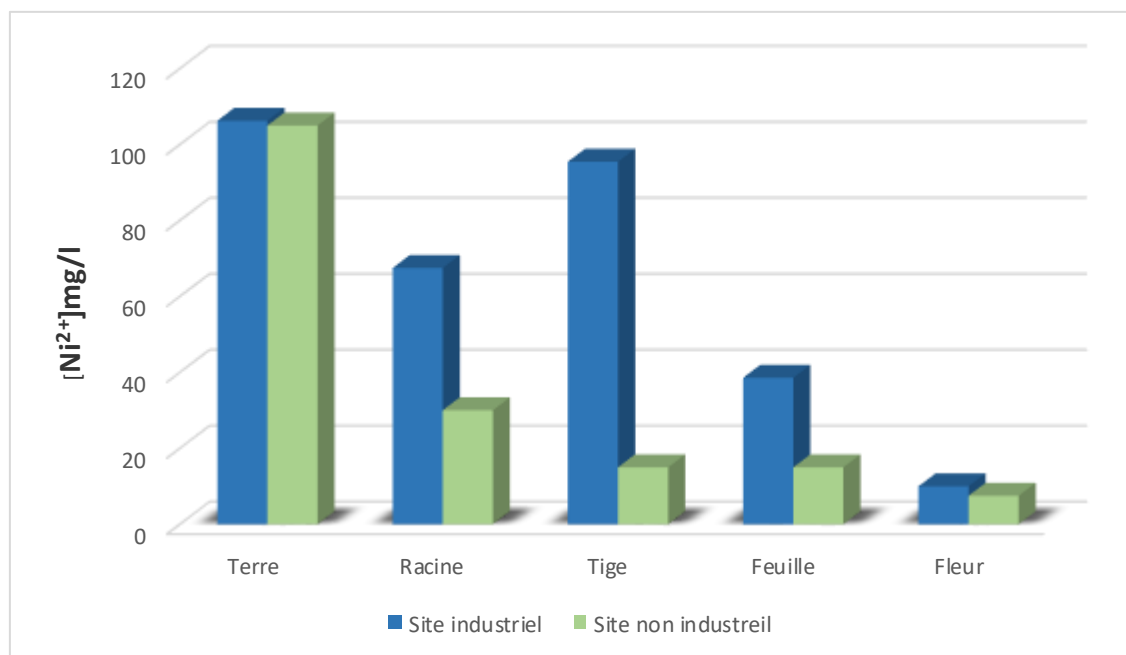


**Figure III.50 :** Histogramme représentant la variation de la concentration de  $[Cd^{2+}]$  dans les échantillons végétaux et l'échantillon minéral (la terre) dans les deux zones d'études

La comparaison des résultats obtenus, montre clairement que la concentration de  $[Cd^{2+}]$  dans les échantillons végétaux et l'échantillon minéral prélevés dans le site industriel est supérieure par rapport aux échantillons du site non industriel. La concentration de  $[Cd^{2+}]$  dans le sol de la zone

industrielle 15ppm supérieur a 2ppm de la norme (AFNOR U44-41) et dans le site non industriel inférieur a cette norme. La concentration de  $[Cd^{2+}]$  dans les échantillons végétales dans le site industriel est enlevée par rapport au site non industriel pour la racine par exemple la concentration de  $[Cd^{2+}]$  est de 18ppm par contre dans le site industriel elle avoisine les 6ppm. Les mêmes différences dans la concentration ont été observées pour les autres organes de la plante ce qui confirme l'effet absorbant et décontaminant de cette plante pour  $[Cd^{2+}]$  dans le sol industriel de l'ekseur .

**1.2.3 Dosage de  $[Ni^{2+}]$  :** une comparaison de la concentration de  $[Ni^{2+}]$  dans l'échantillon végétal (racine, tige, feuille, fleur) de la plante '*Phragmites australis* et l'échantillon minéral (le sol) dans les deux sites d'études est représentée dans la **Figure III.51**

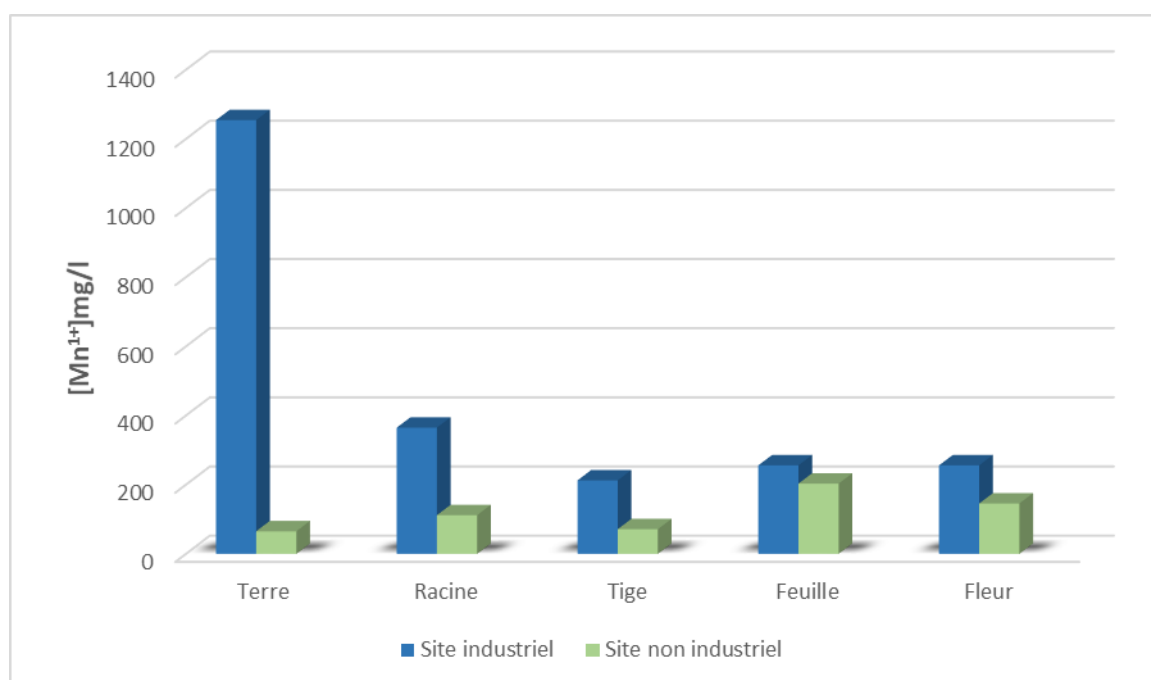


**Figure III.51 :** Histogramme représentant la variation de la concentration de  $[Ni^{2+}]$  dans les L'échantillon végétal et l'échantillon minéral (la terre) dans les deux zones d'études

La concentration de  $[Ni^{2+}]$  dans la zone non industriel 105ppm est élevée par rapport a 50ppm de la norme (AFNOR U44-41), ce taux est dû probablement à la nature du sol de la région de aokas ou à d'autres types de contaminations entres autres atmosphériques, La même concentration en

$[\text{Ni}^{2+}]$  est constatée pour le sol industriel. La concentration de  $[\text{Ni}^{2+}]$  dans les échantillons végétales de la zone industrielle est supérieure par rapport à la zone industrielle et dans les deux cas elle dépasse la norme, par exemple dans la tige 95.45ppm dans la plante de la zone industrielle contre 40ppm dans la tige de la zone non industrielle. Cette accumulation de  $\text{Ni}^{2+}$  dans les différentes parties de la plante met en évidence son caractère décontaminant de  $[\text{Ni}^{2+}]$ .

**1.2.4 Dosage de  $[\text{Mn}^{2+}]$  :** une comparaison de la concentration de  $[\text{Mn}^{2+}]$  dans l'échantillon végétal ( racine , tige , feuille, fleur ) de la plante '*Phragmites australis* et l' échantillon minéral ( le sol) dans les deux sites d' études est représentée dans la **Figure III.52**



**Figure III.52 :** Histogramme représentant la variation de la concentration de  $[\text{Mn}^{2+}]$  dans les L'échantillon végétal et l'échantillon minéral (la terre) dans les deux zones d'études

La concentration de  $[\text{Mn}^{2+}]$  dans le sol de la zone industrielle 1250ppm est élevée par rapport à la norme 1000 ppm, ce qui confirme sa contamination au manganèse. Par contre dans le sol non industriel 65.50ppm est en dessous de cette norme. La concentration de  $[\text{Mn}^{2+}]$  dans les différentes parties de la plante prélevée dans la zone industrielle est supérieure par rapport à celle prélevée dans la zone non industrielle, où pour la feuille par exemple la concentration de  $[\text{Mn}^{2+}]$

est de 203.4ppm dans le premier site et 145.5 ppm dans le second. La grande concentration de  $[Mn^{2+}]$  trouvée dans les différentes parties de la plante prélevée dans le site industriel confirme que cette plante a un potentiel absorbant de  $[Mn^{2+}]$  et en d'autres termes décontaminant

### III.2 Les facteurs physiques modifiant la mobilité des éléments métalliques dans la matière minérale (le sol) prélevée du site industriel et non industriel

#### III.2.1 La Conductivité électrique

Les mesures de la conductivité électrique des sols issues de la zone industrielle et la zone non industrielle ont été réalisées trois fois, l'ensemble des mesures est représenté dans le **tableau III.49**.

**Tableau III.49** : Les mesures de la conductivité électrique des sols issues de la zone industrielle et la zone non industrielle

Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Sol prélevé zone industrielle l'Ekser - Bejaia	Sol prélevé zone non industrielle Aokas -Bejaia
1 essai	185.4	53.8
2 essai	192.7	64.4
3 essai	203.2	58.5
Moyenne	193.76	58.9

Selon les résultats illustrés sur le **tableau III.49**, la valeur moyenne de la conductivité électrique de la zone industrielle 193.76( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) est supérieure, à la valeur moyenne de la conductivité dans la zone non industrielle est de 58.9 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), cette différence dans la conductivité appuie les résultats obtenus concernant la concentration enlevée des métaux lourds dans le sol et les



différentes parties de la plante ( racine, tige, feuille et fleur) prélevés dans la zone industrielle par rapport à ceux prélevés dans la zone non industrielle (BREVICK *et al.*2006).

### III.2.2 Le potentiel à hydrogène pH

Les mesures du pH des sols issus de la zone industrielle et la zone non industrielle ont été réalisées trois fois, l'ensemble des mesures est représenté dans le **tableau III.50**

**Tableau III.50** Les mesures du PH des sols issus de la zone industrielle et la zone non industrielle ont été réalisées trois fois.

pH	Sol prélevé de la zone industrielle l'akser -bejaia	Sol prélevé de la zone non industrielle Aokas-bejaia
1 essai	9.69	7.68
2 essai	9.06	7.42
3 essai	9.31	7.46

Les mesures du pH des sols issus de la zone industrielle de El-kseur et la zone non industrielle Aokas représenté dans la **tableau III.50** montrent clairement que le sol de la zone industrielle est plus basique il varie entre 9.31 et 9.69 par contre le pH de la zone non industrielle est neutre entre 7.42 et 7.68. Le pH du sol a un effet très marqué sur la concentration et la mobilité des métaux dans le sol. Par exemple la solubilité du manganèse est augmentée en milieu acide, jusqu'à générer un effet toxique pour les végétaux pour un pH inférieur à 4,5 environ (Loué, 1993). Au-dessus de pH 7, le manganèse est immobilisé dans le sol, sous forme d'oxydes tri- et tétravalents très peu solubles (Perrono,1999), ce qui peut générer des carences pour les végétaux. Le pH joue un rôle aussi dans la mobilité du plomb, plus le pH est faible plus le plomb passe en solution et le pH du sol de la zone industrielle el -kseur est basique (9.30).

(**tableau III.51**). Le Pb serait le micropolluant métallique le moins mobile dans le sol. Ainsi dans la gamme de pH de 5 à 9 et à concentration totale identique Pb serait 100 fois moins mobile que Cd (**Juste et al., 1995**). Concernant le cadmium, lorsque le pH augmente la mobilité du Cd peut s'accroître au travers de la formation de complexes ou chélates mobile (**Esteban Remon,2006**). Dans le sol, la mobilité du Ni est d'autant plus important que le pH est faible (**Juste et al. 1995**), dans le cas du sol étudié le pH est basique (9.30).

# Conclusion

La prise de conscience du mauvais état sanitaire des sols conduit évidemment à la question de savoir quels sont les risques, pour la santé publique et pour les écosystèmes, dans chaque situation de pollution. Concernant les métaux lourds, leurs effets sur les écosystèmes locaux et les mécanismes de leur transfert, du sol aux organismes vivants (notamment les plantes), sont encore mal compris. Néanmoins l'utilisation des végétaux comme outil de bioindication et la biodécontamination s'avère être une approche prometteuse

C'est dans la lumière de ces observations et questionnements que la présente étude a été proposée et réalisée où il a été question du dosage des métaux lourds présents dans les différentes parties du roseau commun (*Phragmites australis*), (racine, tige, feuilles, fleurs) prélevé dans un site industriel à el-ekseur bejaia et un site non industriel aokas- bejaia, ainsi que le sol où ses plantes ont évoluées. Ce dosage a été réalisé par la méthode des ajouts dosés, par l'utilisation de la spectrophotométrie d'adsorption atomique (S.A.A).

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que :

- Le sol de la zone industrielle el-ekseur renferme des concentrations en métaux lourds qui pour certains correspondent à la norme **AFNOR U44-41** et pour d'autres dépassent la limite fixée par cette norme. Par exemple la concentration de  $[Pb^{2+}]$  (15ppm) elle est en dessous de la concentration de 100ppm de la norme **AFNOR U44-41**. Pour le  $[Cd^{2+}]$  la teneur trouvée dans l'échantillon prélevé du sol de la zone el-ekseur (15ppm) est supérieure à 2 ppm établit par norme **AFNOR U44-41**. La teneur de  $[Ni^{2+}]$  dans la terre prélevée du site industriel de el-ekseur est très élevée 106.27ppm par rapport à 50ppm de la même norme. La concentration de  $[Mn^{2+}]$  dans le sol étudié est de l'ordre de 1254.5ppm supérieure à la norme 1000ppm (**Kabata-Pendias et Sadurski, 2004**). Conformément aux concentrations relatives à chaque métal on peut déduire que le sol de la zone industrielle de el-ekseur présente des contaminations importantes en  $[Ni^{2+}]$ ,  $[Mn^{2+}]$ ,  $[Cd^{2+}]$  contrairement au  $[Pb^{2+}]$

• Le sol de la zone non industrielle Aokas referme des concentrations en métaux lourds inférieures à ceux imposées par la norme **AFNOR U44-41**. La concentration de  $Pb^{2+}$  dans le sol (3.46ppm) est inférieure à la concentration limite (100ppm) en la même chose pour la concentration de  $Cd^{2+}$  (1.25ppm) inférieur à la norme (2ppm) **AFNOR U44-41**. Par contre la concentration de  $Ni^{2+}$  dans le sol étudié est de 105ppm, elle est doublement supérieure à la limite (50ppm) de la norme. Cette concentration élevée peut être attribuée potentiellement la nature géologique du sol de Aokas. La concentration de  $Mn^{2+}$  dans le sol étudié est de 65.31ppm, elle est inférieure à la limite 100ppm (**Turner, Mawji 2005**).

• La concentration des métaux lourds étudiés varie selon la nature de l'organe de la plante et aussi avec le site de prélèvement par exemple, les résultats obtenus pour le dosage du plomb dans les différentes parties de *'Phragmites australis'* prélevé du site industriel montre que la plus grande concentration en  $Pb^{2+}$  est localisée au niveau de la tige (16.32 ppm), suivie par la fleur (15ppm) après la feuille (14.06 mg/l), la plus faible concentration est constatée au niveau de la racine (13.23 mg/l), ses concentrations sont supérieures à la norme (0.3 ppm). Concernant la concentration en  $Cd^{2+}$ , elle est localisée au niveau de la racine 18.33ppm suivie par la tige 16.36ppm, la feuille 5.45ppm et la fleur 1.36ppm toutes ses concentrations sont supérieures à la norme 0.2 ppm. Pour la concentration  $Ni^{2+}$  la valeur la plus importante trouvée dans la tige 95.45ppm, ensuite dans la feuille 38.57ppm et en dernier dans la fleur 30ppm. La concentration dans la racine 67.5ppm. La concentration de  $Mn^{2+}$  365.11ppm dans la racine et par translocation dans les autres parties de la plante ; 255.91ppm dans la feuille et la fleur et 212.27 ppm dans la tige. Elle est largement inférieure dans le sol, et ses concentrations sont supérieures à la limite tolérée. Concernant les échantillons prélevés du site non industriel, la concentration des métaux lourds varie selon la nature de l'organe de la plante néanmoins elles restent très inférieures à

celle trouvée dans le site industriel. Ces résultats présélectionne la plante '*Phragmites australis*' comme étant un outil potentiel de bioindication biodécontamination.

- la valeur moyenne de la conductivité électrique de la zone industrielle 193.76( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) est supérieure , à la valeur moyenne de la conductivité dans la zone non industrielle 58.9 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), cette différence dans la conductivité appuie les résultats obtenus concernant la concentration enlevée des métaux lourds dans le sol et par conséquent aussi dans les différentes parties de la plante ( racine, tige, feuille et fleur) prélevés dans la zone industrielle par rapport à ceux prélevés dans la zone non industrielle

- Le pH du sol a un effet très marqué sur la concentration et la mobilité des métaux dans le sol, les mesures du pH des sols issus de la zone industrielle de El-kseur et la zone non industrielle Aokas montrent clairement que le sol de la zone industrielle est plus basique il varie entre 9.31 et 9.69 par contre le pH de la zone non industrielle est neutre entre 7.42 et 7.68

A la lumière des résultats expérimentaux trouvés dans cette étude le *Phragmite australis*, peut être considéré comme une plante bioindicatrice et biodecontaminante des sols contaminés par certains métaux lourds [ $\text{pb}^{2+}$ ] [ $\text{cd}^{2+}$ ],[ $\text{Ni}^{2+}$ ] et [ $\text{Mn}^{2+}$ ]

Comme perspective une étude avec un échantillonnage du sols important de la zone industrielle et aussi des plante a différents stade de maturités pourra être menée

# **Référence bibliographique**

**A**

**Adriano, B.C. (1986).** Traces elements in terrestrial environment. Springer-Verlag, New York., 533p.

**Ait Ali N, Bernal MP, Ater M, (2004).** Tolerance and bioaccumulation of cadmium by *Phragmites australis* grown in the presence of elevated concentrations of cadmium, copper, and zinc. *Aquatic Botany*. 80, 163-176.

**Asaeda T, Rajapakse L, Manatunge J, Sahara N,(2006).** The effect of summer harvesting of *Phragmites australis* on growth characteristics and rhizome resource storage. *Hydrobiologia*. 553,327-335.

**B**

**BABICH H; STOTZKY G (1977).** Sensitivity of various bacteria including actinomycetes and fungi to cadmium and influence of their sensitivity, environment, microbial. P: 681-685.

**Baize, D. and Tercé, M. (Coordonnateurs) (2002)** Les éléments traces métalliques dans les sols – Approches fonctionnelles et spatiales. INRA Éditions, Paris. 570 p.

**Baize, D. (1997).** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). Références et stratégies d'interprétation. INRA Ed., Paris, 410 pp.

**Baran M, Váradyová Z, Krácmár S, Hedbávn J,(2002).** The Common Reed (*Phragmites australis*) as a Source of Roughage in Ruminant Nutrition. *ACTA VET. BRNO*. 71, 445-449.

**Beckett, P.H.T., 1989.** The use of extractants in studies on trace metals in soils, sewage sludges, and sludge-treated soils. In: Stewart, B.A. (Ed.). *Advances in soil science*, Vol. 9. Springer-Verlag, New York, pp. 143-176.

**Benitez N., Dubois J.-P., (1999).** Evaluation of the selectivity of Sequential Extraction Procedures applied to the Speciation of Cadmium in Soils. *Int. j. environ. Anal. chem.*, 74, 289-303.

**Blanchard, C., 2000.** Caractérisation de la mobilisation potentielle des polluants inorganiques dans les sols pollués. Thèse : Ecole Doctorale de Chimie de Lyon.



**Bonanno G, (2013).** Comparative performance of trace element bioaccumulation and biomonitoring in the plant species *Typhadomingensis*, *Phragmitesaustralis* and *Arundodonax*. *Ecotoxicology and Environmental safety*. 97, 124-130.

**Bourrelier, P.H. et Berthelin, J. (1998).** Contamination des sols par les éléments traces: les risques et leur gestion. CR. Acc Sci, 42. Ed. Lavoisier, Paris.

**Brink M, Achigan-dako EG, (2012).** Plant Resources of Tropical Africa 16. Fibres. *Economic Botany*. 66 (3), 312-313.

**Brooks, R.R., (1998).** Biogeochemistry and hyperaccumulators. In: Brooks, R.R. (Ed.). *Plants that hyperaccumulate heavy metals*. CABI Publishing, Wallingford, pp. 95-118

## C

**Cavalaglio G, Cotana F, Pisello AL, Gelosia M, Ingles D, Pompili E, (2015).** Sustainable Ethanol Production from Common Reed (*Phragmitesaustralis*) through Simultaneous Saccharification and Fermentation. *Sustainability*. 7(9), 12149-12163.

**Chaignon, V., (2001).** Biodisponibilité du cuivre dans la rhizosphère de différentes plantes cultivées. Cas de sols viticoles contaminés par des fongicides. Thèse : Ecole doctorale, Sciences de l'Environnement : Système Terre, Université d'Aix-Marseille.

**Claude L, 2007 ;** Le roseau commun au Québec ; enquête sur une invasion, page 5-9 ; La société provençaise d'histoire naturelle du Canada.

**Coullery, P. (1996).** Gestion des sols faiblement pollués par le Cd, Cu, Pb et Zn. Office fédérales de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEP). Document environnement. Sol. 58, pp. 75-245.

## D

**Davidson, C.I. Santhanam, S. Fortmann, R.C. and Olson, M.P. (1985).** Atmospheric transport and deposition of trace elements onto the Greenland ice sheet, *Atmos. Environ*.

**Delmas-Gadras, C., (2000).** Influence des conditions physico-chimiques sur la mobilité du plomb et du zinc dans un sol et un sédiment en domaine routier. Thèse : Université de Pau et des pays de l'Adour, U.F.R. Sciences.

**Deneux-Mustin S., Roussel-Debet S., Mustin C., (2003).** Mobilité et transfert racinaire des éléments traces : influence des micro-organismes du sol ; Pref. Elisabeth Leclerc-Cessac. Paris : Tec et Doc

## E

**Eric.C. BREVICK et al.**, « Soil electrical conductivity as a function of soil water content and implications for soil mapping ». *Precision Agriculture*, December 2006, Volume 7, Issue 6, pp. 393-404

**Esteban R. Tolérance et accumulation des métaux lourds par la végétation** spontanée des friches métallurgiques : vers de nouvelles méthodes de bio-dépollution. *Biologie végétale*. Université Jean Monnet - Saint-Etienne, 2006. Français

## F

**M. FERRANDON ; A. Chanel (1989)**, Absorption foliaire des aligo- éléments perspectives agricoles.P : 134

## G

**Gillet B, Chrystelle P, Damien D, Ctherine S, Philippe M (2010)**. Manganèse et imagerie de resonance magnétique du développement cérébral. *C. R. Chimie*. 13, 459-465.

**Guo W, Wang R, Zhou S, Zhang S, and Zhang Z (2003)**, “Genetic diversity and clonal structure of *Phragmites australis* in the Yellow River delta of China,” *Biochem. Syst. Ecol.*, vol. 31, no. 10, pp. 1093–1109.

**Giudice RL, Bonanno G,(2010)**. Heavy metal bioaccumulation by the organs of *Phragmitesaustralis*(common reed) and their potential use as contamination indicators. *Ecological Indicators*. 10,639-645.

**GIRARD M.C (200)**, sols et environnement, cours, exercices et étude des cas, édition DUNOD, Paris. P : 804.

**GIRARD M.C (2005)**. Sols et environnement, cours, exercices et étude des cas, édition DUNOD, Paris. P : 804.

## H

**Huang J. w., Cunnigham S.d. 1996**. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. *New phytol.*, 134, 75-84.

**Hurlbut-Jr CS, Klein C (1982)**. *Manual de Mineralogía de Dana*. Editorial Reverté, Barcelona, 564.

**Hurry C.R, James E.A, and Thompson R. M (2013).** Connectivity, genetic structure and stress response of *Phragmites australis*: Issues for restoration in a salinising wetland system. *Aquat. Bot.*, vol. 104, pp. 138–146.

## I

**Impens, R. Delcarte, E. Mathy, P. Pioret, T. (1979).** Voies de transfert d'éléments traces non essentiels dans le système sol-air-plante.

**Ishaii J and Kadono Y (2002).** Factors influencing seed production of *Phragmites australis*, *Aquat. Bot.*, vol. 72, pp. 129–141.

## J

**Jervis, R. E.; Krishnan, S. S.; KO, M. M.; Vela, L. D.; Pringle, T. G (1995); Chan, A. C.; LuXing,** Biological incinerator emissions of toxics inorganics, their residues and their availability. *Analyst*, 120, 651-657.

**Juste C., Chassin P., Gomez A., Linères M., et Mocquot B., (1995).** les micropolluants métalliques dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines. ADEME.209

**Jopony M, Young S., (1993).** Assessment of lead availability in soils contaminated by mine spoil. *Plant Soil*, 151: 273-278

## K

**Kabata-Pendias, A., Pendias, H (2001).** Trace elements in soils and plants. 3rd CRC Press, Boca Raton, London, New-York, Washington D.C.

**Kabata-Pendias A, Sadurski W (2004).** Trace Elements and Compounds in Soil. In: Elements and their Compounds in the Environment. Eds. Merian, Anke, Ihnat et Stoeppler. 2ème édition, Wiley-VCH Weinheim (D). Vol1, General aspects, 79-99

**Kadi SA, Ouendi M, Slimani M, Selmani K, Bannelier C, Berchiche M, Gidenne T, (2012).** Nutritive value of common reed (*Phragmites australis*) leaves for rabbits. *Nutrition*. 513 – 517.

**Kalonda et al. J. Appl. Biosci. 2015,** Profil des métaux lourds contenus dans les plantes vivrières consommées couramment dans quelques zones minières de la province du Katanga.

**Kleche M, Berrebbah H, Grara N, Bensoltane S, Djekoun M, Djebar MR, (2013).** Phytoremediation using *Phragmites australis* roots of polluted water with metallic trace elements (MTE). *Annals of Biological Research*. 4 (3), 130-133.

**Köbbing JF, Thevs N, Zerbe S, (2014).** The utilisation of reed (*Phragmites australis*): a review. *Mires and Peat*. 13, 1-14.

## L

**Lespagnol, G. (2003).** Lixiviation du Chrome, du Cuivre et de l'Arsecenic (CCA) à partir de sols contaminés sur des sites de traitement du bois. Thèse : Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, Université Jean Monnet.

**Loganathan, P., Hedley, M.J., and Grace, N.D (2008).** Pasture soils contaminated with fertilizer-derived cadmium and fluorine: livestock effects. *Rev Environ Contam Toxicol*, 192, 29-66.

## M

**Mal TK, Narine L (2004).** The biology of Canadian weeds. 129. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. *Can J Plant sci*. 365-396.

**Martens LK (1999).** The plant food component of the diet at the late Mesolithic (Ertebolle) settlement at Tybrind Vig, Denmark. *Veget Hist Archaeobot*. 8, 117-127.

**MIQUEL G (Avril 2001),** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, rapport du sénat français, France. P : 100-261.

**McLaughlin, M.J., Zarcinas, B.A., Stevens, D.P., Cook, N. (2000).** Soil testing for heavy metals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31 (11-14), 1661-1700.

**Muthanna JA, (2017).** Application of raw and activated *Phragmites australis* potential adsorbents for wastewater treatments. *Ecological Engineering*. 102, 262-269.

**M. A. ; Martinez, L. ; Segarra, M. ; Garcia, J. C (1992) ;** Espiell, F., Behavior of heavy metals in the combustion gases of urban waste incinerators. *Environment Science and Technology*, 26, 1040-1047.

## P

**Peaver, D, Eslinger, E, (1988).** Clay minerals for the petroleum geologists and engineers. *SEPM Short Course Notes No. 22*, Pp. 343, Tulsa, OK 74159. *Economic Geology* 84(2), 464-465.

**Perrono P (1999).** Les micropolluants métalliques des boues de stations d'épuration urbaine et l'épandage agricole. Mém. DUESS, D.E.P. Univ. Picardie, Amiens

**Prabhakaran K, Chapman GD, Gunasekar PG (2009).** BNIP3 up-regulation and mitochondrial dysfunction in manganese-induced neurotoxicity. *Neurotoxicology*. 30, 414-422.

**Prasard M; J. Hagemeyers (1999).** heavy metal stress in plant from molecules to ecosystem spongers.P: 401.

## R

**Rengel, Z (1999).** Heavy Metals as Essential Nutrients. In: Prasad, M.N.V. & Hagemayer, J. (Eds.). Heavy metal stress in plants: From molecules to ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, pp. 231- 251.

## S

**Saint. J,** OBV du Fleuve, Une espèce exotique envahissantes : Le roseau commun ou phragmites australis.

**Salomons, W. et Forstner, U (1988).** Metals in hydrocycle, Springer-Verlage, New York, Chap.5.

**SETRA (Décembre 2004),** pollution des sols et des végétaux à proximité des routes, note d'information, Economie, Environnement, Conception 73, P : 1-12.

**Schäfer U (2004).** Manganèse. In: Elements and their Compounds in the Environment. Eds. Merian, Anke, Ihnat et Stoepler. 2ème édition, Wiley-VCH Weinheim (D). Vol2, Metals and their Compounds, 901-930

**Sébire. H (2015),** La gestion des espèces végétales exotiques envahissantes prioritaires dans les municipalités de l'Estrie, maîtrise en environnement, Centre Universitaire de formation en environnement et développement durable, Sherbrouke.p 81.

**Shaltout K. H, Y. Al-sodany, and Eid E. M (2006),** Biology of Common Reed Phragmites Review and Inquiry, no. 7.

**Sinicropi, M.S., Amantea, D., Caruso, A., and Saturnino, C. (2010).** Chemical and biological properties of toxic metals and use of chelating agents for the pharmacological treatment of metal poisoning. *Arch Toxicol*, 84(7), 501-520.

**Singh, O. V., Labana, S., Pandey, G., Budhiraja, R., and Jain R. K. (2003).** Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 61, 405-412.

**Sigg L., Behra, P., Stumm, W (2000).** Chimie des milieux aquatiques. Chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement. 3ème édition, Dunod, Paris.

## T

Thèse en Vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat En Sciences Présenté Par BENHADDYA Mohammed Lamine.

**Thi My Dung HUYNH (2009),** IMPACTS DES METAUX LOURDS SUR L'INTERACTION PLANTE/VER DE TERRE/ MICROFLORE TELLURIQUE

**Turner A, Mawji E (2005).** Octanol-solubility of dissolved and particulate trace metals in contaminated rivers : implications for metal reactivity and availability. Environ Pollut 135 : 235-244.

## V

**Van Herck, P. ; Vandecasteele, C. ; Swennen, R. ; Mortier, R (2000),** Zinc and lead removal from blast furnace sludge with a hydrometallurgical process. Environ. Sci. Technol, 34, 3802-3808. (28) Fernandez.

**Varga, I. ; Von Bohlen, A. ; Zaray, G. ; Klockenkämper, R (2000),** Chemical speciation of metals and sulphur in air dust by sequential leaching and total reflection X-ray fluorescence analysis. Journal of Trace and Microprobe Techniques, 18, 293-302.

**Viard B, Pihan F, Promeyrat S, Pihan JC (2004).** Integrated assessment of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution : bioaccumulation in soil, Graminaceae and land snails. Chemosphere 55 : 1349–1359.

**Vymazal J, Švehla J, Kro pfelova L, Chrastny V (2007).** Trace metals in Phragmites australis and Phalaris arundinacea growing in constructed and natural wetlands. Sci. Total Environ. 380, 154-162.

## W

**C. Wang, D. van. Der. Vilet, K. C. Chang, H. Yoo, D. Strmenik, J. A. Schlueter, N. M. Markovic, V. R. Stamenkovic, (2009).** Monodisperse Pt<sub>3</sub>Co Nanoparticles as a Catalyst for the Oxygen Reduction Reaction: Size-Dependent Activity. Journal of Physical Chemistry C113 (45).

**Windham L, Weis JS, Weis P, (2003).** Uptake and distribution of metals in two dominant salt marsh macrophytes, Spartinaalterniflora (cordgrass) and Phragmitesaustralis(common reed).

**Wu, L., Bradshaw, A.D., Thurman, D.A., 1975.** The potential for evolution of heavy metal tolerance in plants. III. The rapid evolution of copper tolerance in *Agrostis stolonifera*. *Heredity* 34 (2), 165-187

**Z**

**Zirmi-zembri N, Kadi SA, (2016).** Valeur nutritive des principales ressources fourragères utilisées en Algérie. 1- Les fourrages naturels herbacés. *Livestock Research for Rural Development*. 28 (8).134-151.

# Annexes



**ANNEXE 1 : Résultats de dosage des métaux lourds dans les échantillons végétaux et minéraux dans le site industriel et non industriel**

**1) Site industriel**

➤ **Le dosage du plomb Pb**

**Tableau III.1. :** Les résultats du dosage du plomb à  $\lambda=217$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la racine, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.015	0.165	0.209	0.31	0.375	0.472	0.539	0.57	0.65	0.716

**Tableau III.2. :** Les résultats du dosage du plomb à  $\lambda=217$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la tige, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.016	0.142	0.241	0.279	0.36	0.421	0.492	0.534	0.580	0.645

**Tableau III.3. :** Les résultats du dosage du plomb à  $\lambda=217$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la feuille, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.015	0.159	0.212	0.264	0.324	0.397	0.488	0.511	0.573	0.62

**Tableau III.4.** : Les résultats du dosage du plomb à  $\lambda=217$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la fleur, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.014	0.135	0.203	0.254	0.298	0.365	0.425	0.485	0.579	0.621

**Tableau III.5.** : Les résultats du dosage du plomb à  $\lambda=217$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon minéral (la terre) point de prélèvement de '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.016	0.147	0.215	0.297	0.347	0.392	0.462	0.512	0.561	0.602

➤ **Le dosage du cadmium Cd**

**Tableau III.7.** : Les résultats du dosage du Cadmium à  $\lambda=228,8$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la racine, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.011	0.102	0.128	0.168	0.206	0.243	0.279	0.342	0.386	0.425

**Tableau III.8.** : Les résultats du dosage du cadmium à  $\lambda=228,8$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la tige, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.012	0.1	0.145	0.209	0.25	0.285	0.318	0.352	0.42	0.445

**Tableau III.9. :** Les résultats du dosage du cadmium à  $\lambda=228,8$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la feuille, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.004	0.097	0.148	0.177	0.229	0.282	0.316	0.356	0.394	0.433

**Tableau III.10 :** Les résultats du dosage du cadmium à  $\lambda=228,8$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la fleur, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.001	0.098	0.134	0.159	0.227	0.269	0.31	0.355	0.362	0.428

**Tableau III.11. :** Les résultats du dosage du cadmium à  $\lambda=228,8$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon minéral (la terre) point de prélèvement de '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.011	0.105	0.148	0.178	0.225	0.273	0.335	0.361	0.406	0.425

➤ **Le dosage du nickel**

**Tableau III.13. :** Les résultats du dosage du nickel à  $\lambda=232,0$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la racine, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.045	0.143	0.176	0.204	0.226	0.284	0.336	0.379	0.408	0.431

**Tableau III.14. :** Les résultats du dosage du nickel à  $\lambda=232,0$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la tige, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.071	0.164	0.186	0.243	0.321	0.376	0.408	0.437	0.476	0.546

**Tableau III.15. :** Les résultats du dosage du nickel à  $\lambda=232,0$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la feuille, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.018	0.076	0.116	0.148	0.183	0.208	0.241	0.274	0.294	0.308

**Tableau III.16. :** Les résultats du dosage du nickel à  $\lambda=232,0$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la fleur, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.014	0.076	0.108	0.143	0.173	0.201	0.243	0.264	0.284	0.294

**Tableau III.17. :** Les résultats du dosage du nickel à  $\lambda=232,0$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon minéral (la terre) point de prélèvement de '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.085	0.186	0.236	0.284	0.361	0.399	0.438	0.472	0.538	0.624

➤ **Le dosage du manganèse**

**Tableau III.19.** : Les résultats du dosage du manganèse à  $\lambda=279.5$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la racine, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mg] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.107	0.145	0.162	0.175	0.188	0.212	0.228	0.246	0.268	0.283

**Tableau III.20.** : Les résultats du dosage du manganèse à  $\lambda=279.5$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la tige, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mg] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.041	0.059	0.078	0.081	0.096	0.111	0.119	0.130	0.139	0.150

**Tableau III.21.** : Les résultats du dosage du manganèse à  $\lambda=279.5$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la feuille, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mg] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.0505	0.096	0.113	0.133	0.152	0.172	0.192	0.217	0.238	0.259

**Tableau III.22.** : Les résultats du dosage du manganèse à  $\lambda=279.5$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la fleur, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mg] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.068	0.1	0.131	0.151	0.174	0.192	0.206	0.226	0.248	0.278

**Tableau III.23.** : Les résultats du dosage du manganèse à  $\lambda=279.5$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon minéral (la terre) point de prélèvement de '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mg] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.251	0.275	0.283	0.299	0.316	0.321	0.337	0.349	0.359	0.370

2) Site non industriel

➤ Le dosage du plomb Pb

**Tableau III.25.** : Les résultats du dosage du plomb à  $\lambda=217$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la racine, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.006	0,159	0,192	0,273	0,305	0,369	0,448	0,478	0,581	0,601

**Tableau III.26.** : Les résultats du dosage du plomb à  $\lambda=217$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la tige, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.002	0,129	0,169	0,25	0,28	0,331	0,395	0,444	0,513	0,587

**Tableau III.27.** : Les résultats du dosage du plomb à  $\lambda=217$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la feuille, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l ) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,002	0,135	0,211	0,268	0,325	0,381	0,425	0,465	0,536	0,635

**Tableau III.28.** : Les résultats du dosage du plomb à  $\lambda=217$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la fleur, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l ) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,001	0,152	0,191	0,261	0,345	0,385	0,438	0,476	0,548	0,601

**Tableau III.29.** : Les résultats du dosage du plomb à  $\lambda=217$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon minéral (la terre) point de prélèvement de '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l ) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,003	0,091	0,163	0,238	0,261	0,353	0,381	0,452	0,488	0,569

➤ **Le dosage du cadmium Cd**

**Tableau III.31.** : Les résultats du dosage du Cadmium à  $\lambda=228,8$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la racine, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Cd] (mg/l ) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,004	0,1	0,145	0,209	0,25	0,285	0,318	0,358	0,426	0,456

**Tableau III.32.** : Les résultats du dosage du cadmium à  $\lambda=228,8$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la tige, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,001	0,098	0,158	0,218	0,273	0,321	0,352	0,428	0,448	0,492

**Tableau III.33.** : Les résultats du dosage du cadmium à  $\lambda=228,8$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la feuille, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,002	0,082	0,096	0,134	0,194	0,225	0,274	0,321	0,366	0,371

**Tableau III.34.** : Les résultats du dosage du cadmium à  $\lambda=228,8$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la fleur, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,002	0,106	0,203	0,217	0,281	0,343	0,426	0,499	0,535	0,572

**Tableau III.35.** : Les résultats du dosage du cadmium à  $\lambda=228,8$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon minéral (la terre) point de prélèvement de '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,001	0,109	0,166	0,232	0,263	0,293	0,355	0,406	0,452	0,521



➤ **Le dosage du nickel**

**Tableau III.37.** : Les résultats du dosage du nickel à  $\lambda=232,0$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la racine, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,004	0,022	0,032	0,039	0,049	0,055	0,065	0,077	0,085	0,088

**Tableau III.38.** : Les résultats du dosage du nickel à  $\lambda=232,0$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la tige, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,002	0,02	0,028	0,035	0,046	0,056	0,061	0,069	0,08	0,09

**Tableau III.39.** : Les résultats du dosage du nickel à  $\lambda=232,0$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la feuille, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,002	0,017	0,023	0,038	0,044	0,051	0,06	0,07	0,077	0,09

**Tableau III.40.** : Les résultats du dosage du nickel à  $\lambda=232,0$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la fleur, '*Phragmites australis*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,001	0,017	0,03	0,034	0,043	0,055	0,06	0,07	0,079	0,093

**Tableau III.41.** : Les résultats du dosage du nickel à  $\lambda=232,0$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon minéral (la terre) point de prélèvement de '*Phragmites australis*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,007	0,018	0,025	0,035	0,044	0,046	0,056	0,064	0,072	0,075

➤ **Le dosage du manganèse**

**Tableau III.43.** : Les résultats du dosage du manganèse à  $\lambda= 279.5$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la racine, '*Phragmites australis*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mg] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,032	0,071	0,084	0,096	0,125	0,141	0,16	0,182	0,195	0,201

**Tableau III.44.** : Les résultats du dosage du manganèse à  $\lambda=279.5$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la tige, '*Phragmites australis*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mg] (mg/l) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0,02	0,052	0,073	0,09	0,11	0,123	0,141	0,159	0,174	0,191

**Tableau III.45. :** Les résultats du dosage du manganèse à  $\lambda=279.5$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la feuille, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mg] (mg/l ) dans les solutions étalons		8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.083	0.	0.143	0.169	0.177	0.204	0.217	0.235	0.252	0.291

**Tableau III.46. :** Les résultats du dosage du manganèse à  $\lambda=279.5$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon la fleur, '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mg] (mg/l ) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.083	0.	0.143	0.169	0.177	0.204	0.217	0.185	0.252	0.291

**Tableau III.47. :** Les résultats du dosage du manganèse à  $\lambda=279.5$  dans les solutions étalons en absence et en présence de l'échantillon minéral (la terre) point de prélèvement de '*Phragmites australis*

identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mg] (mg/l ) dans les solutions étalons	0	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Absorbance	0.021	0.061	0.074	0.086	0.115	0.131	0.15	0.172	0.185	0.201

.....

## Annexe 2 : droites d'étalonnages dans les échantillons végétaux et minéraux dans le site industriel et non industriel.

### 1) Site industriel

#### ➤ Dosage du plomb

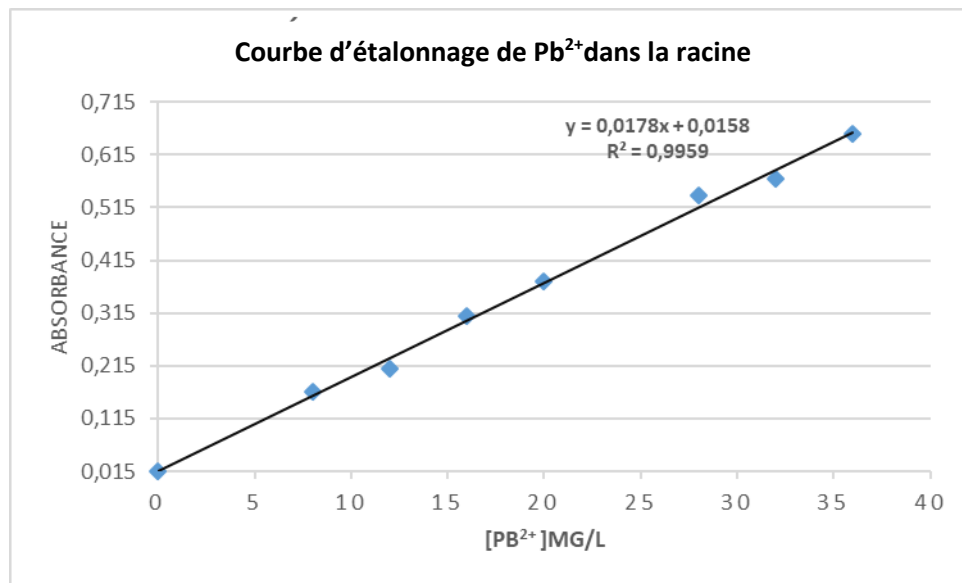


Figure III.1 droite d'étalonnage du dosage de pb<sup>2+</sup> dans les racines du site industriel

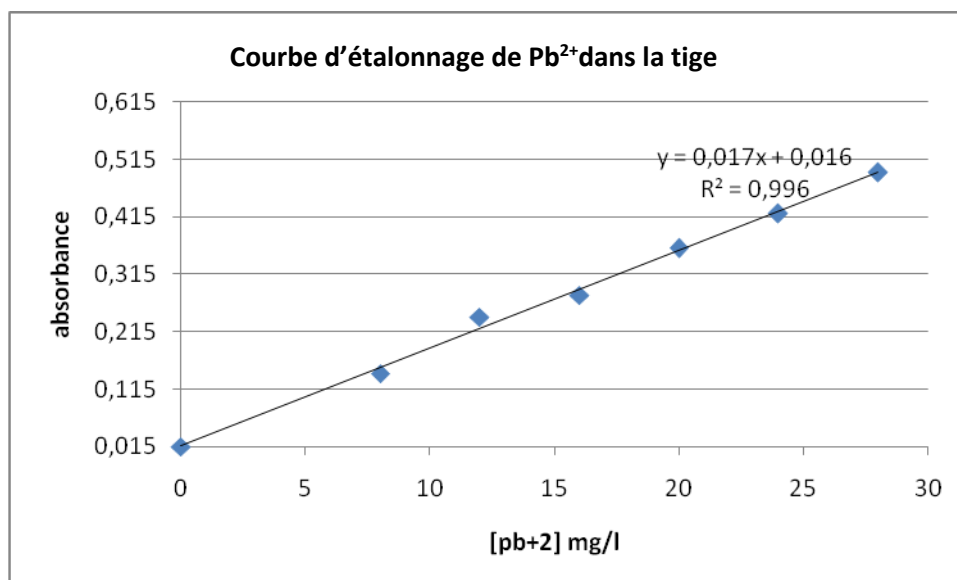
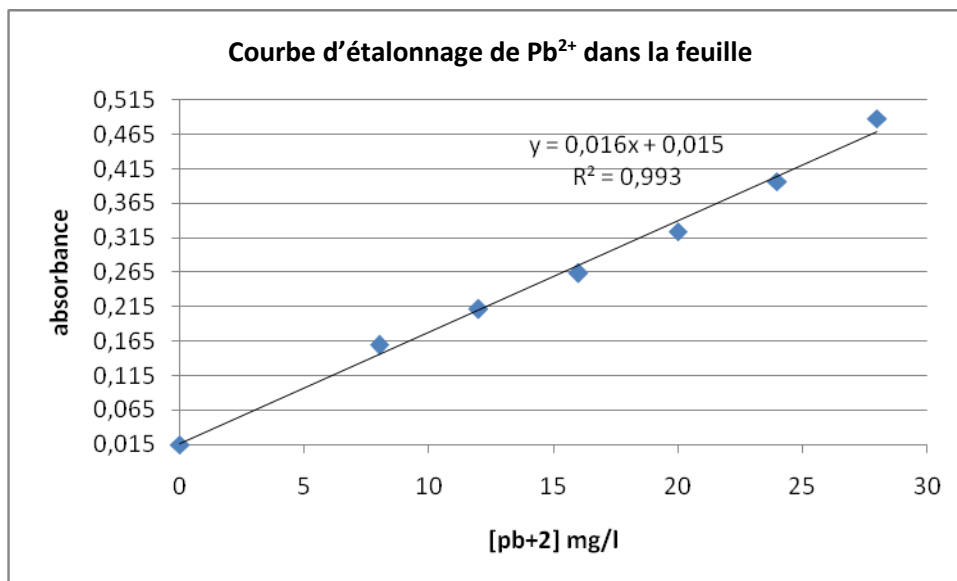
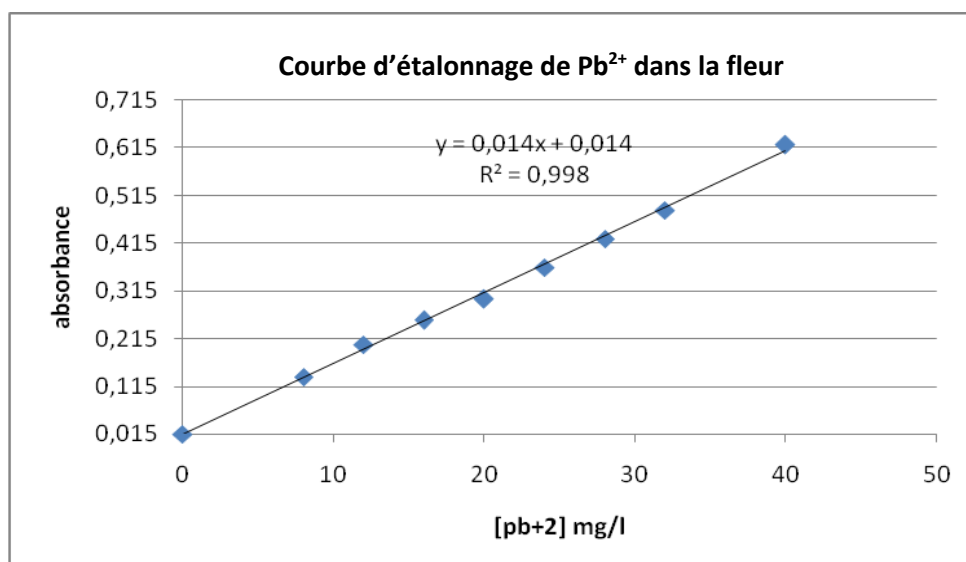


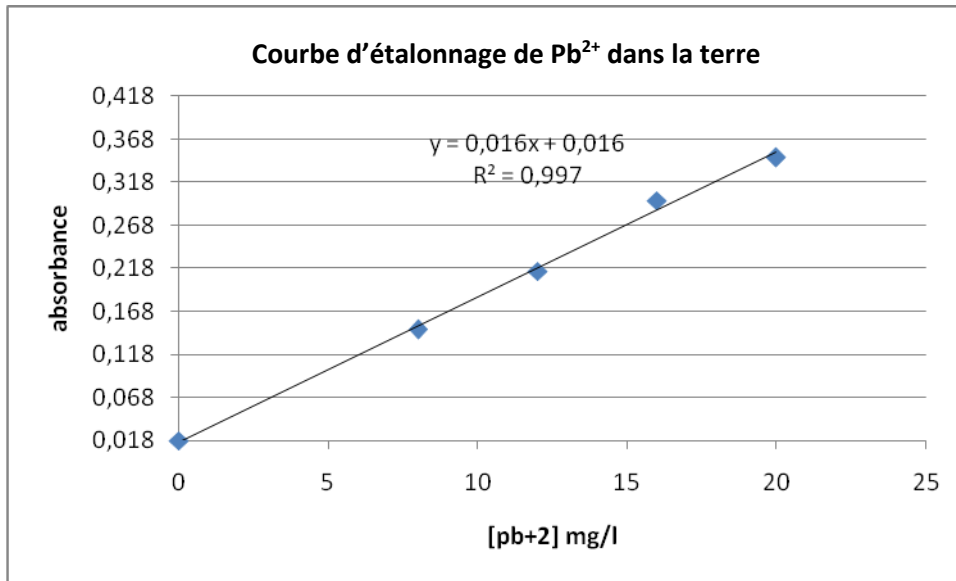
Figure III.2 droite d'étalonnage du dosage de pb<sup>2+</sup> dans la tige du site industriel



**Figure III.3** droite d'étalonnage du dosage de pb<sup>2+</sup> dans les feuilles du site industriel

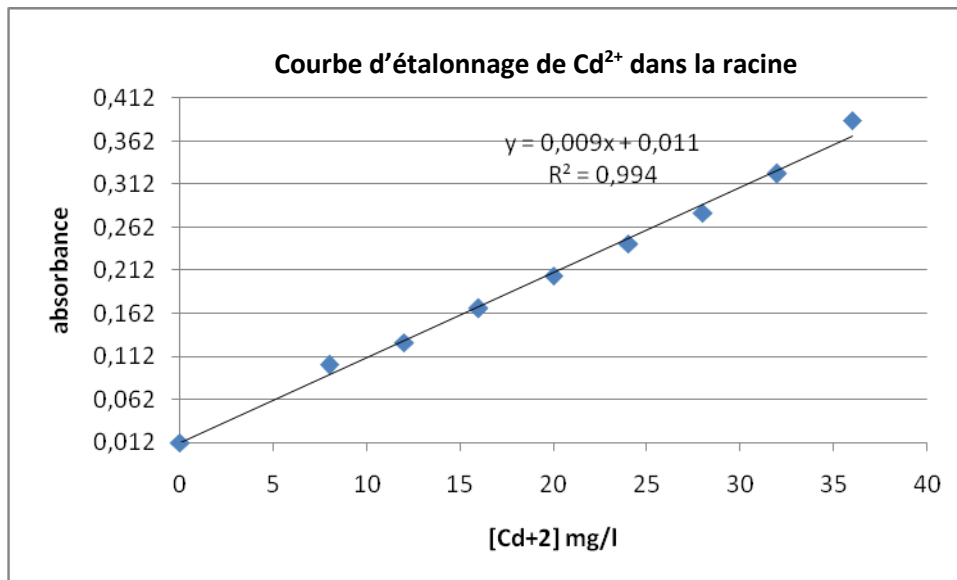


**Figure III.4** droite d'étalonnage du dosage de pb<sup>2+</sup> dans les fleurs du site industriel

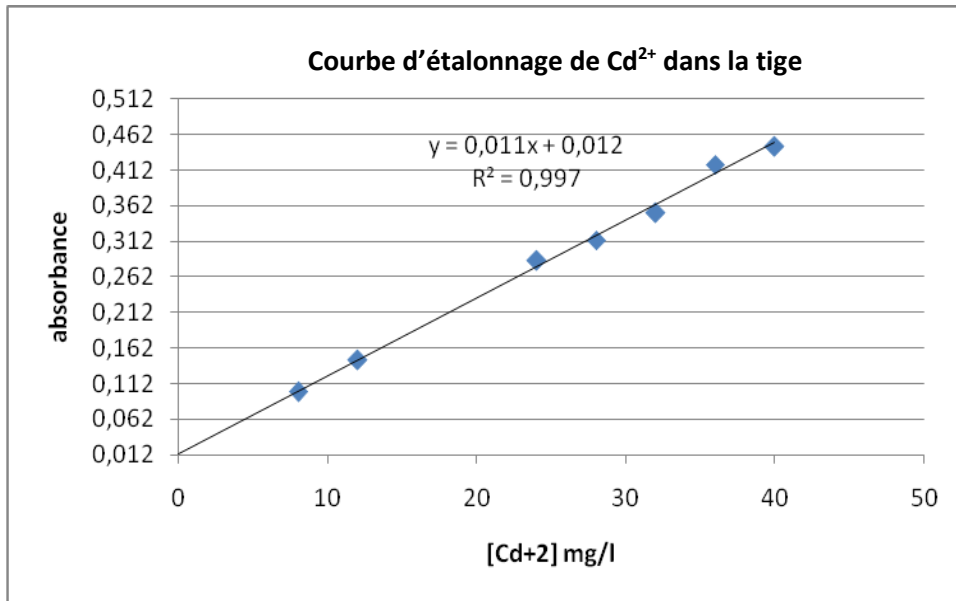


**Figure III.5** droite d'étalonnage du dosage de pb<sup>2+</sup> dans la terre point de prélèvement de la plante du site industriel

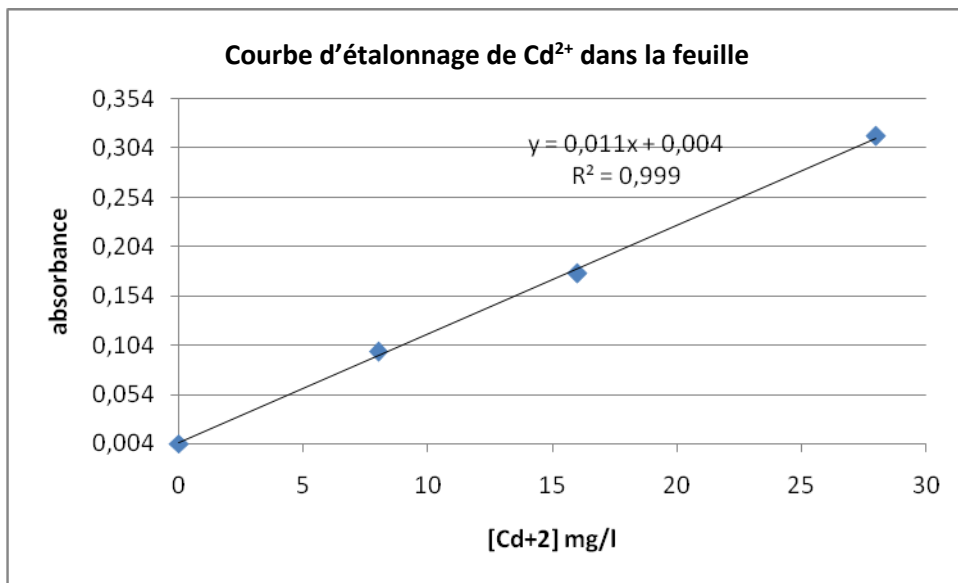
➤ **Le dosage de cadmium**



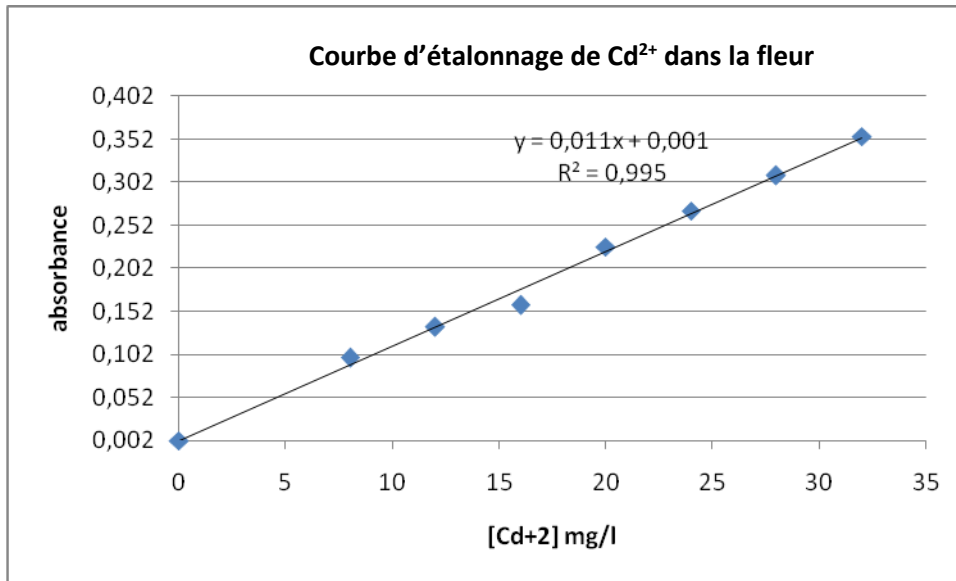
**Figure III.7** droite d'étalonnage du dosage de Cd<sup>2+</sup> dans la racines du site industriel



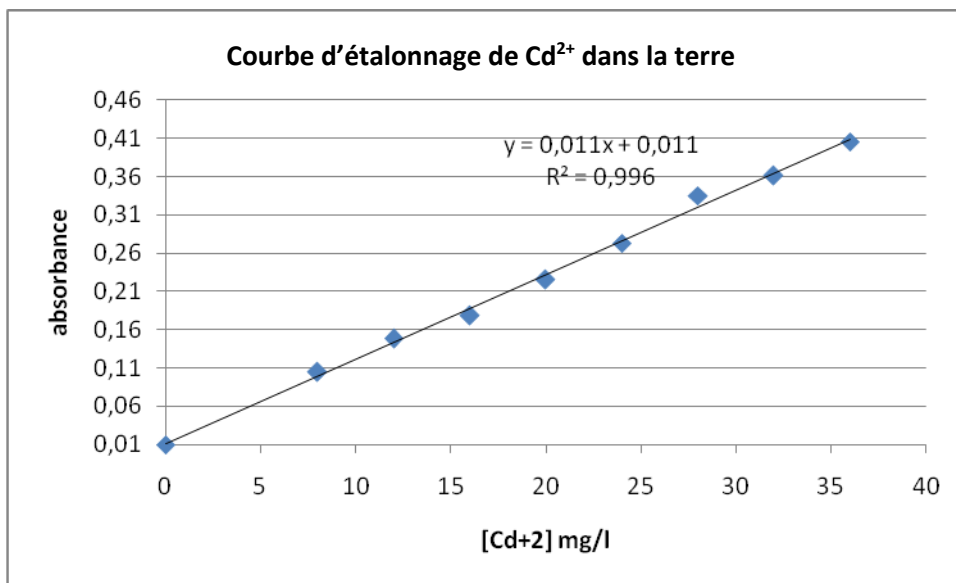
**Figure III.8** droite d'étalonnage du dosage de Cd<sup>2+</sup> dans la tige du site industriel



**Figure III.9** droite d'étalonnage du dosage de Cd<sup>2+</sup> dans les feuilles du site industriel



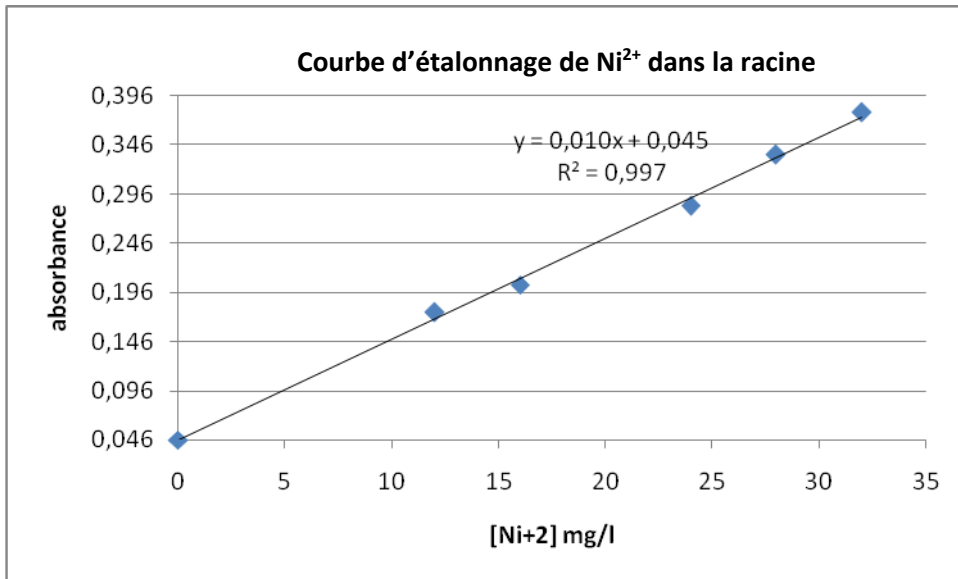
**Figure III.10** droite d'étalonnage du dosage de Cd<sup>2+</sup> dans les fleurs du site industriel



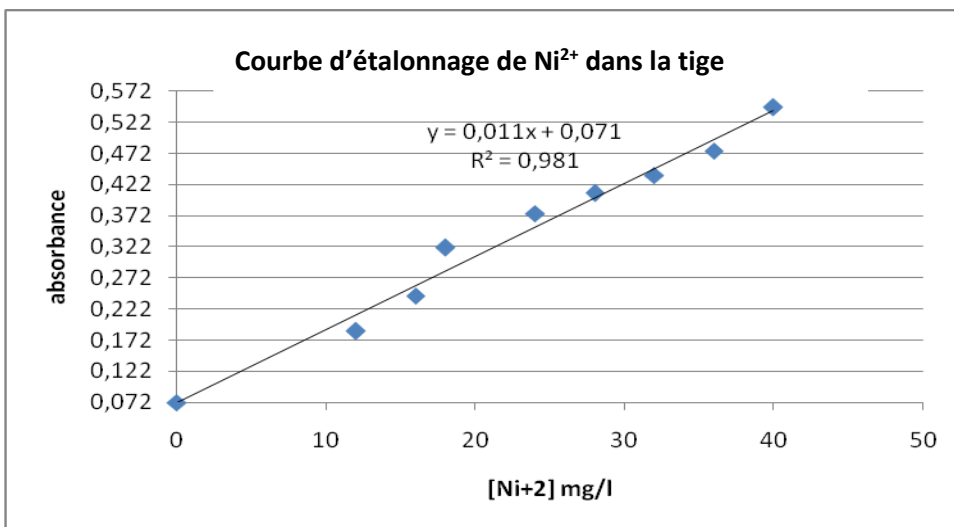
**Figure III.11** droite d'étalonnage du dosage de Cd dans la terre point de prélèvement de la plante du site industriel



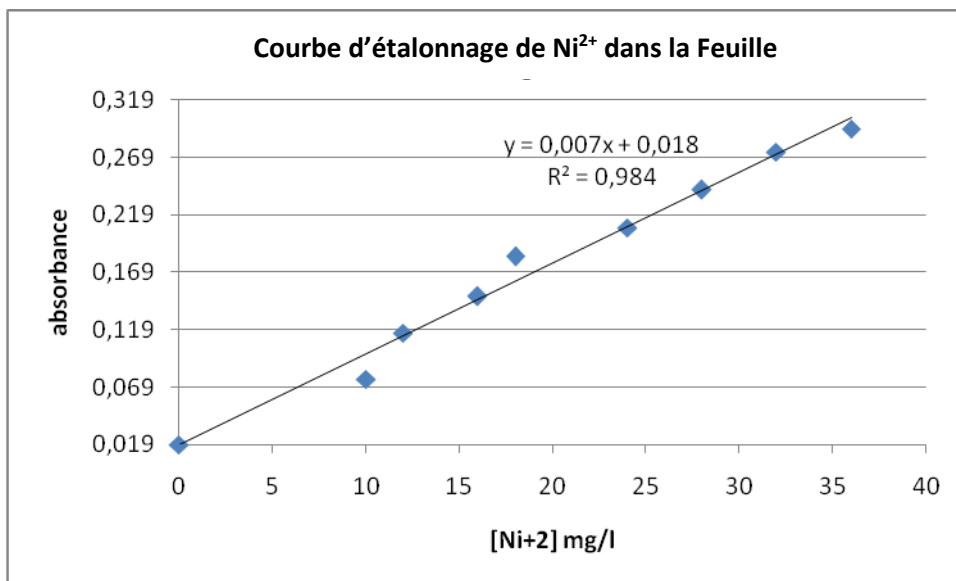
➤ **Le dosage de nickel**



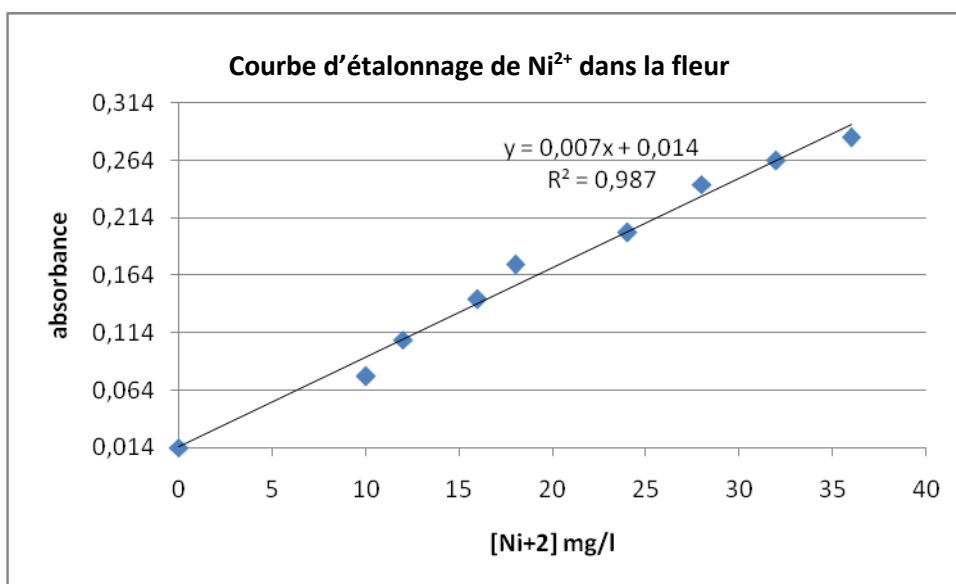
**Figure III.13** droite d'étalonnage du dosage de Ni dans la racines du site industriel



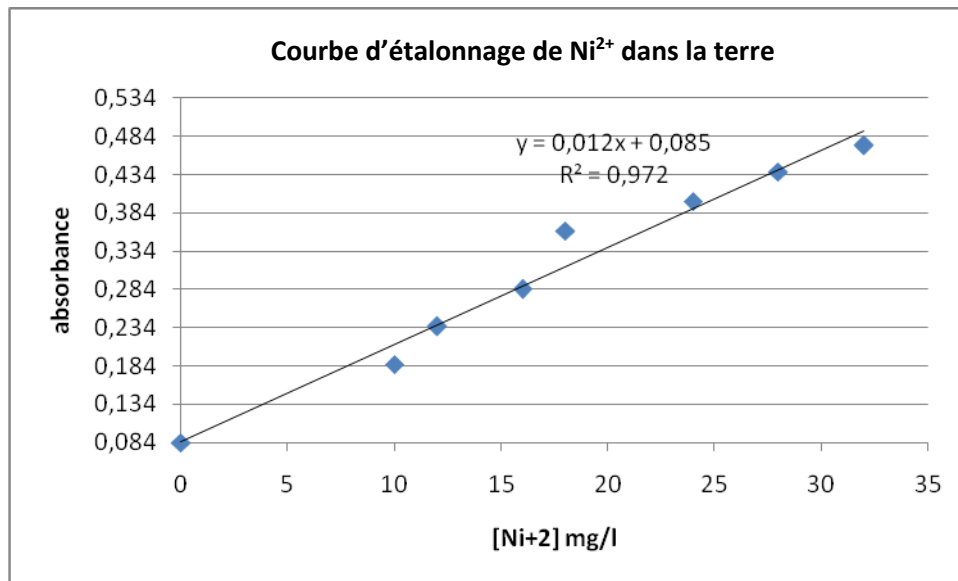
**Figure III.14** droite d'étalonnage du dosage de Ni dans la tige du site industriel



**Figure III.15** droite d'étalonnage du dosage de Ni dans les feuilles du site industriel

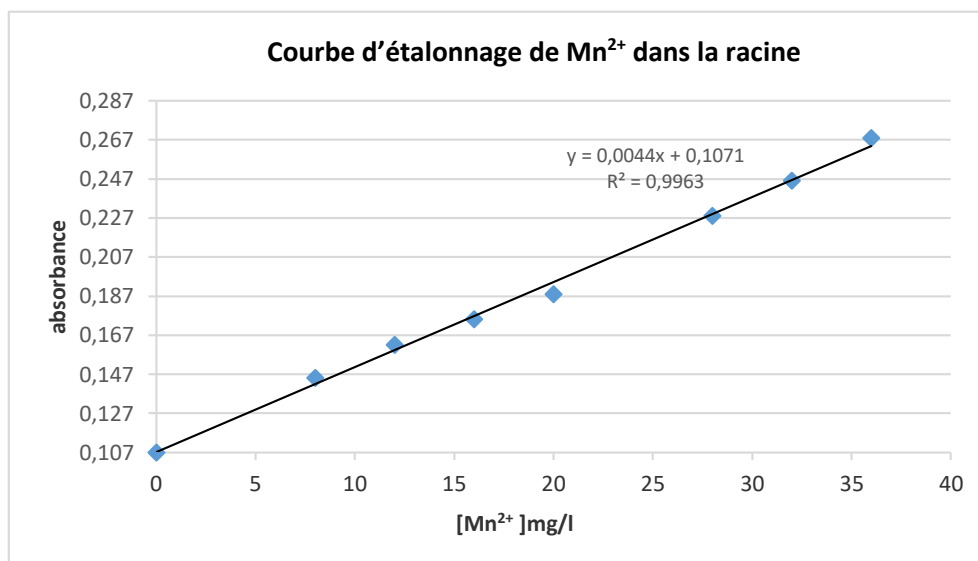


**Figure III.16** droite d'étalonnage du dosage de Ni dans les fleurs du site industriel

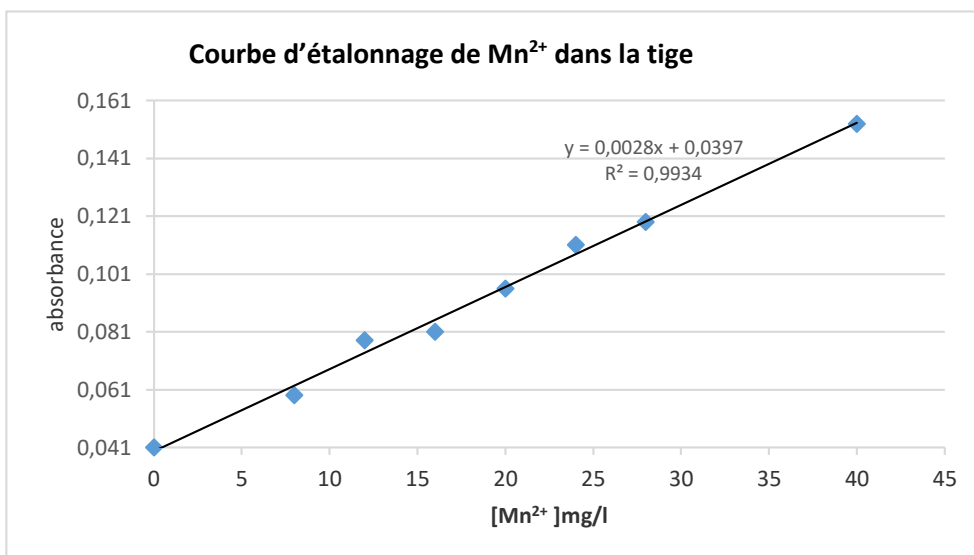


**Figure III.17** droite d'étalonnage du dosage de Ni dans la terre point de prélèvement de la plante du site industriel

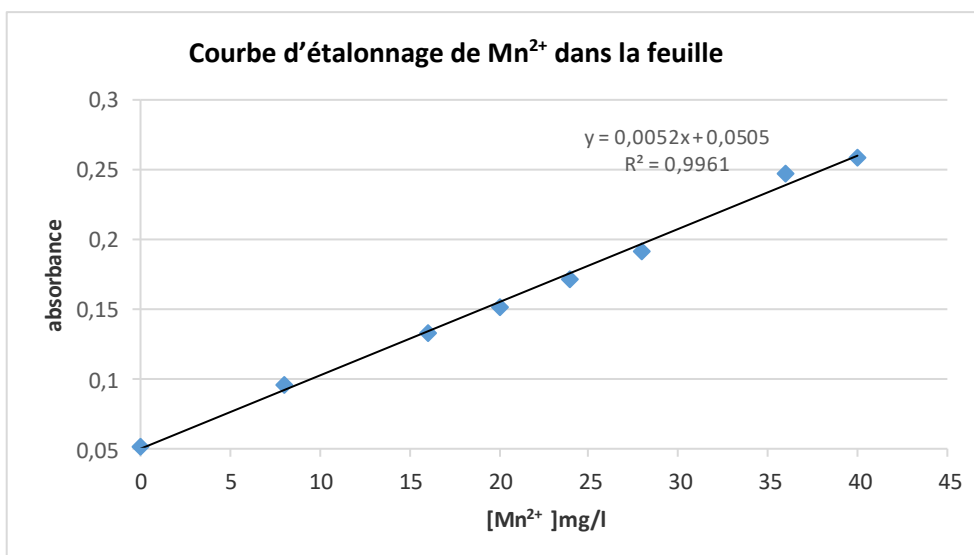
➤ **Dosage de manganèse**



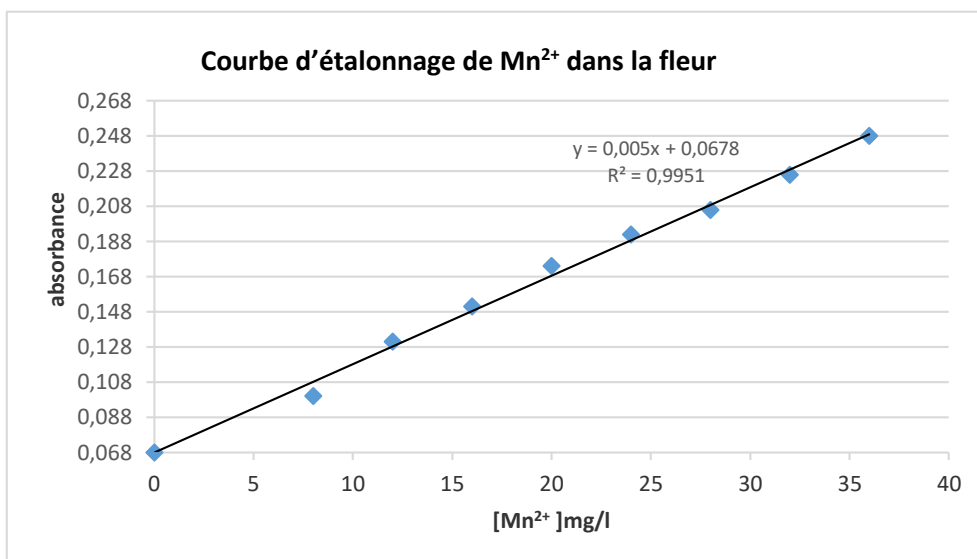
**Figure III.19** droite d'étalonnage du dosage de Mn dans la racines du site industriel



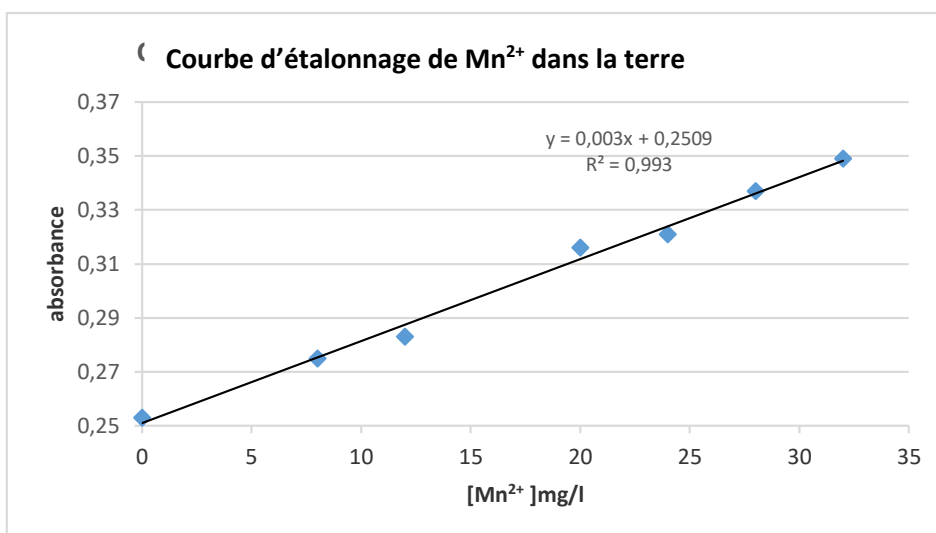
**Figure III.20** droite d'étalonnage du dosage de mn dans la tige du site industriel



**Figure III.21** droite d'étalonnage du dosage de mn dans les feuilles du site industriel



**Figure III.22** droite d'étalonnage du dosage de mn dans les fleurs du site industriel



**Figure III.23** droite d'étalonnage du dosage de Mn dans la terre point de prélèvement de la plante du site industriel

## 2) Site non industriel

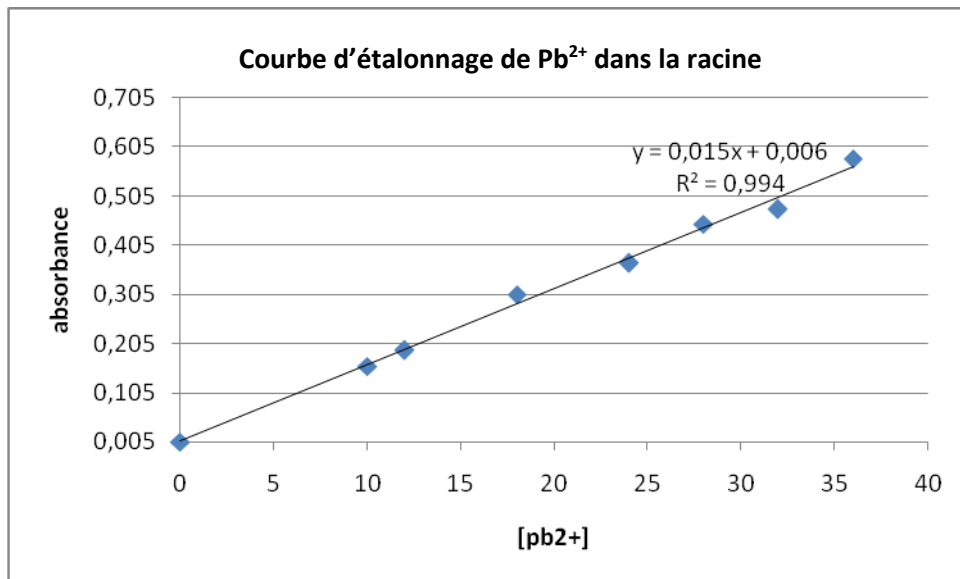


Figure III.25 droite d'étalonnage du dosage de pb<sup>2+</sup> dans les racines du site non industriel

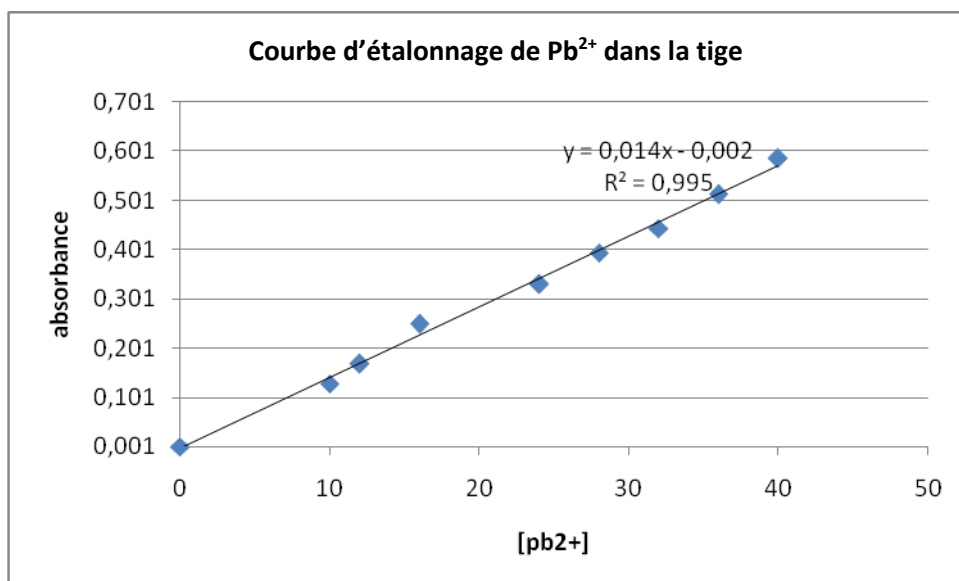
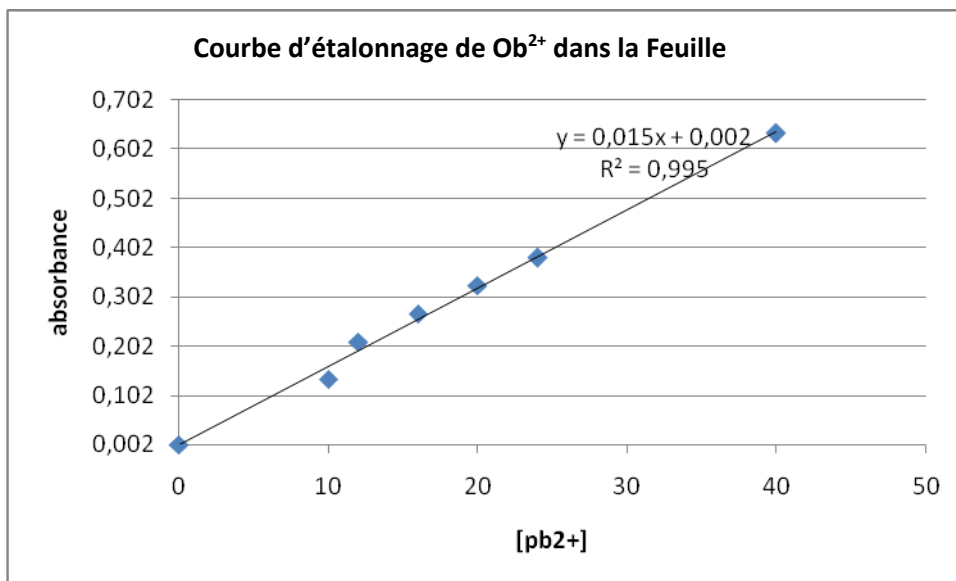
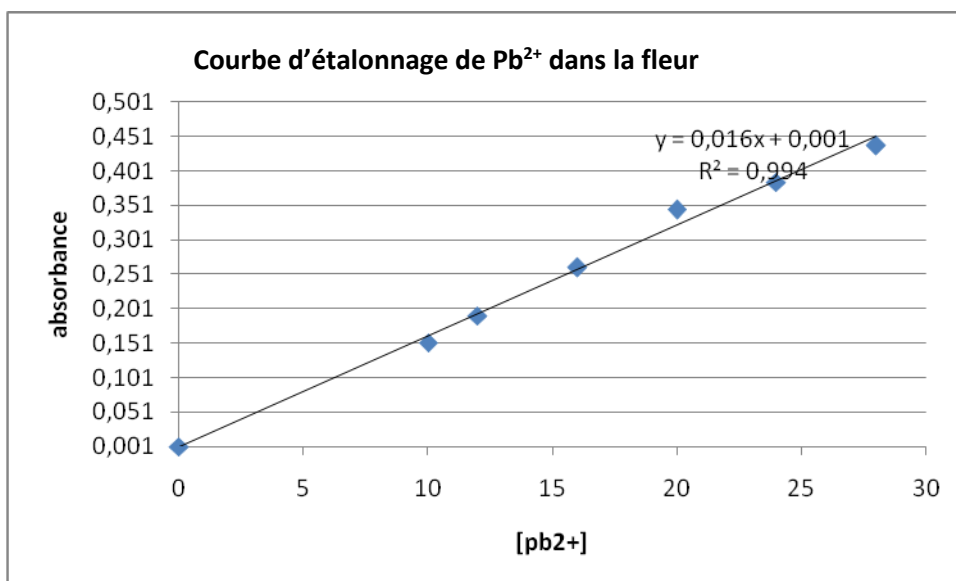


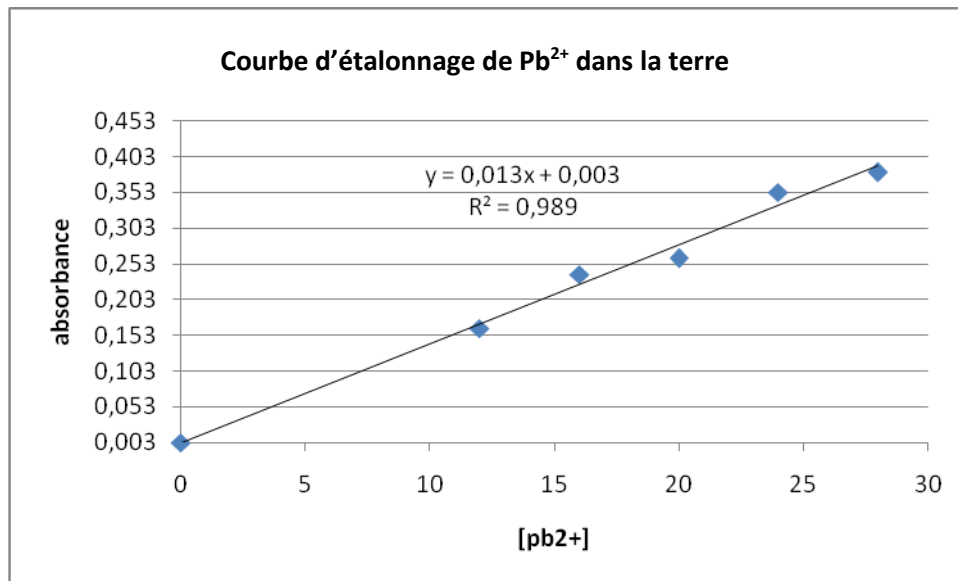
Figure III.26 droite d'étalonnage du dosage de pb<sup>2+</sup> dans la tige du site non industriel



**Figure III.27** droite d'étalonnage du dosage de  $Pb^{2+}$  dans les feuilles du site non industriel

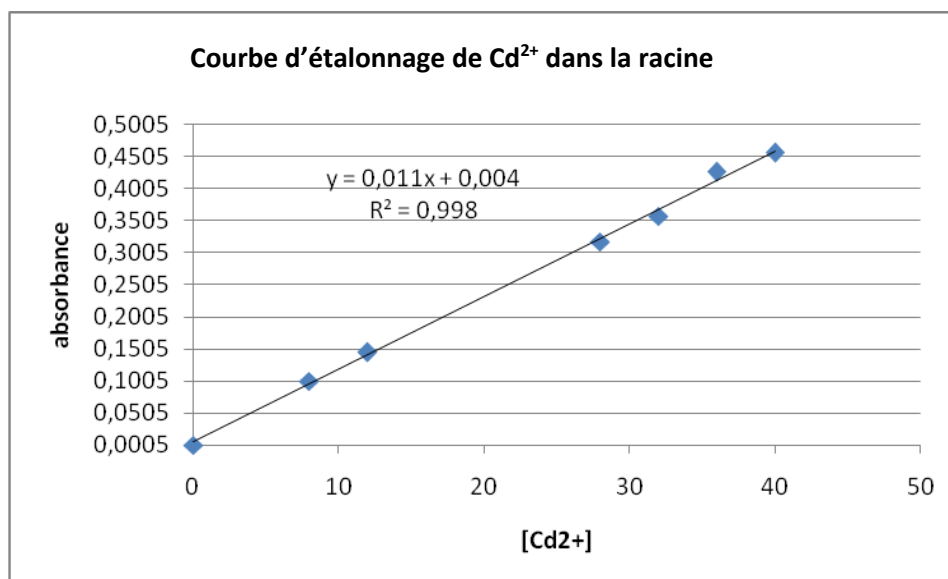


**Figure III.28** droite d'étalonnage du dosage de  $Pb^{2+}$  dans les fleurs du site non industriel



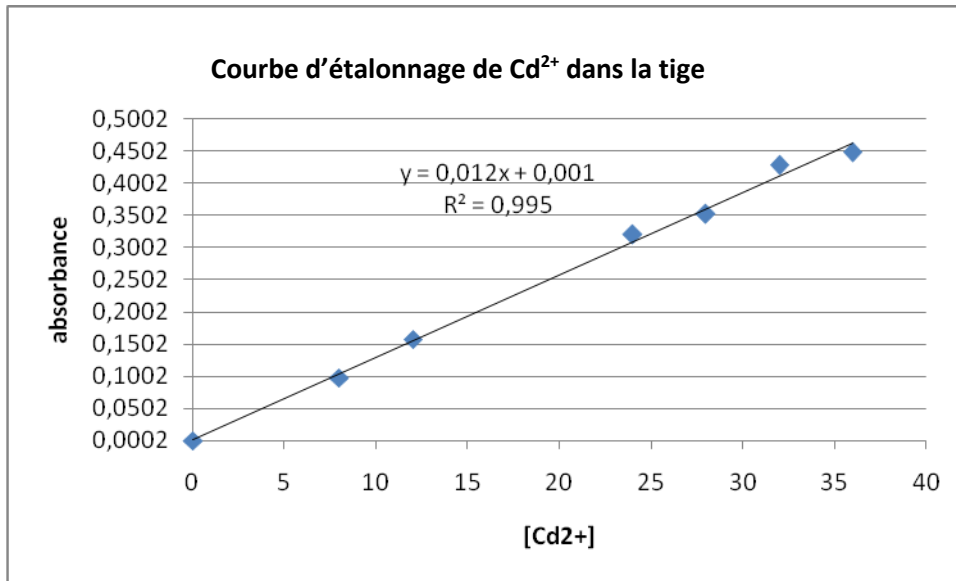
**Figure III.29** droite d'étalonnage du dosage de pb<sup>2+</sup> dans la terre point de prélèvement de la Plante du site non industriel

➤ **Dosage de cadmium**

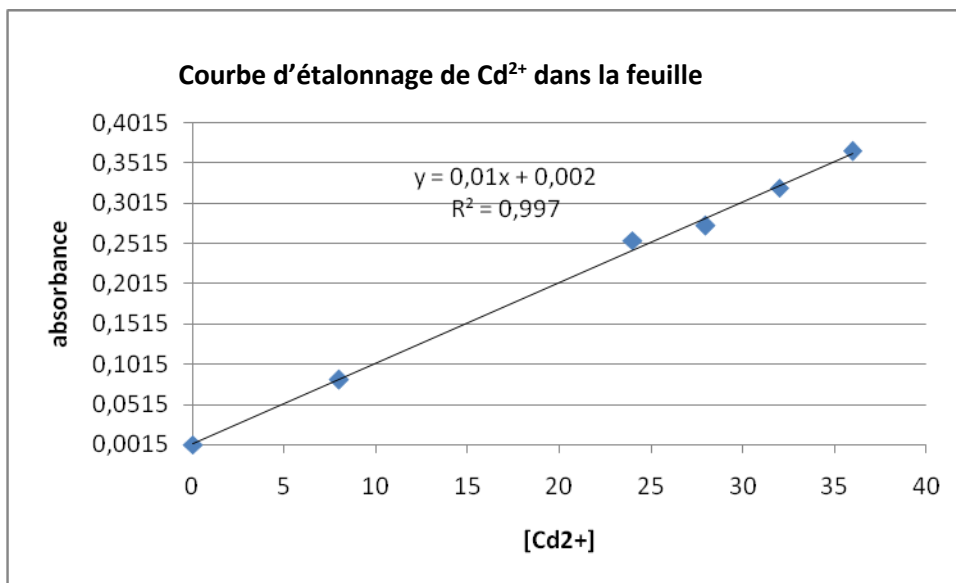


**Figure III.31** droite d'étalonnage du dosage de Cd<sup>2+</sup> dans les racines du site non industriel

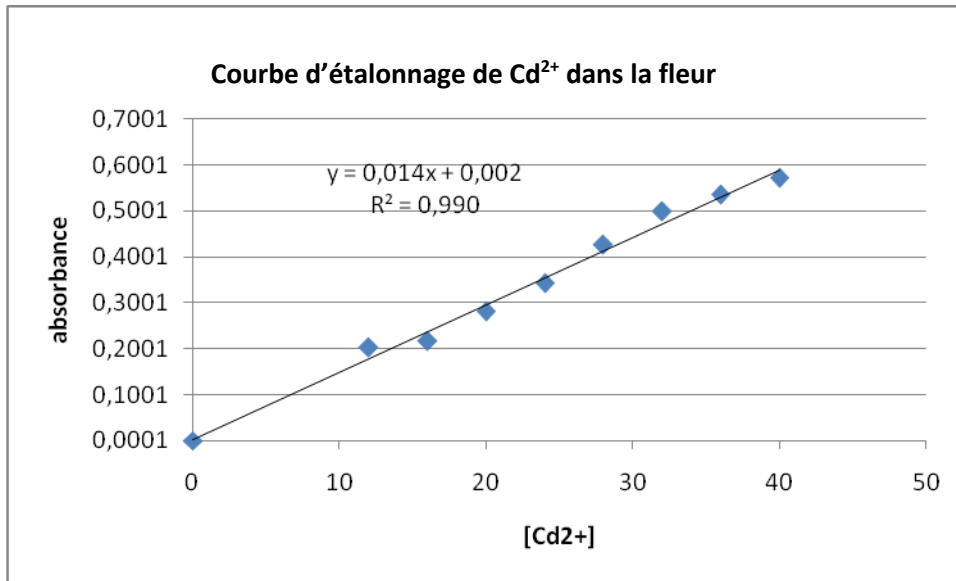




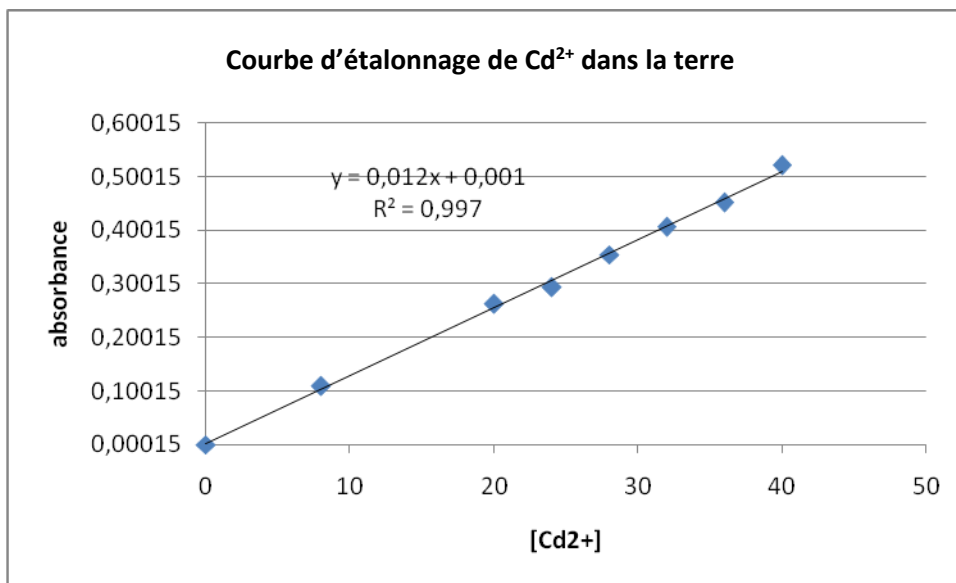
**Figure III.32** droite d'étalonnage du dosage de Cd<sup>2+</sup> dans les tiges du site non industriel



**Figure III.33** droite d'étalonnage du dosage de Cd<sup>2+</sup> dans les feuilles du site non industriel

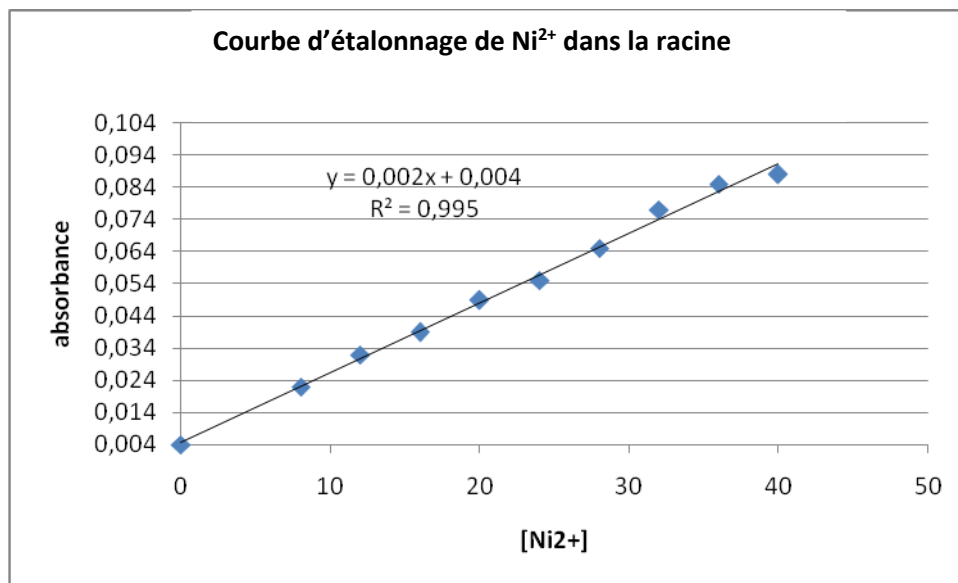


**Figure III.34** droite d'étalonnage du dosage de Cd<sup>2+</sup> dans les fleurs du site non industriel

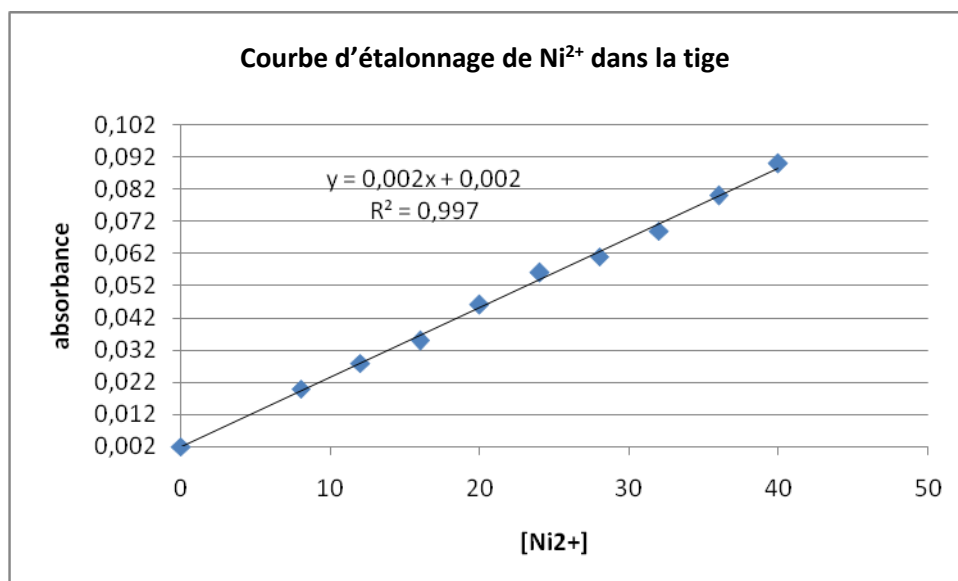


**Figure III.35** droite d'étalonnage du dosage de Cd<sup>2+</sup> dans la terre point de prélèvement de la Plante du site non industriel

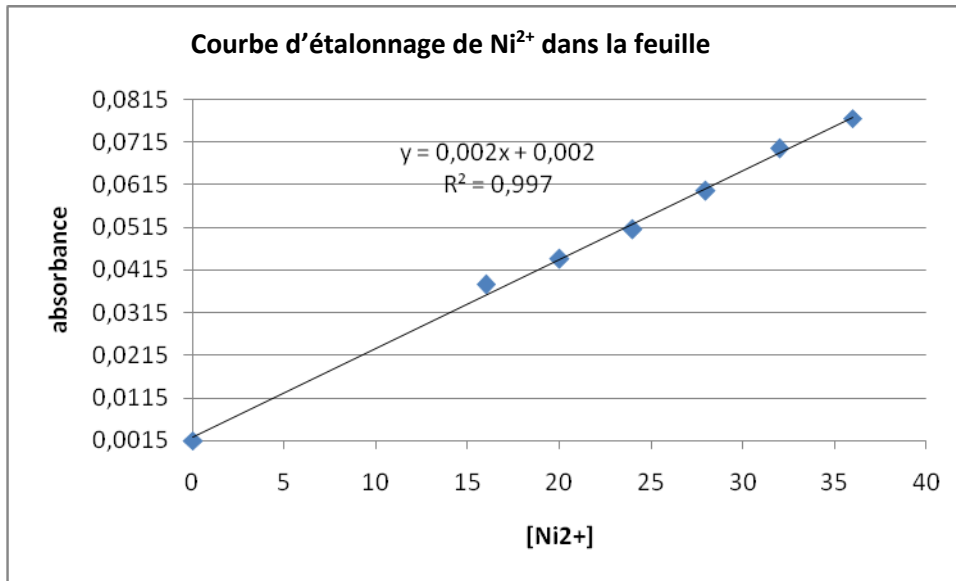
➤ Dosage de nickel



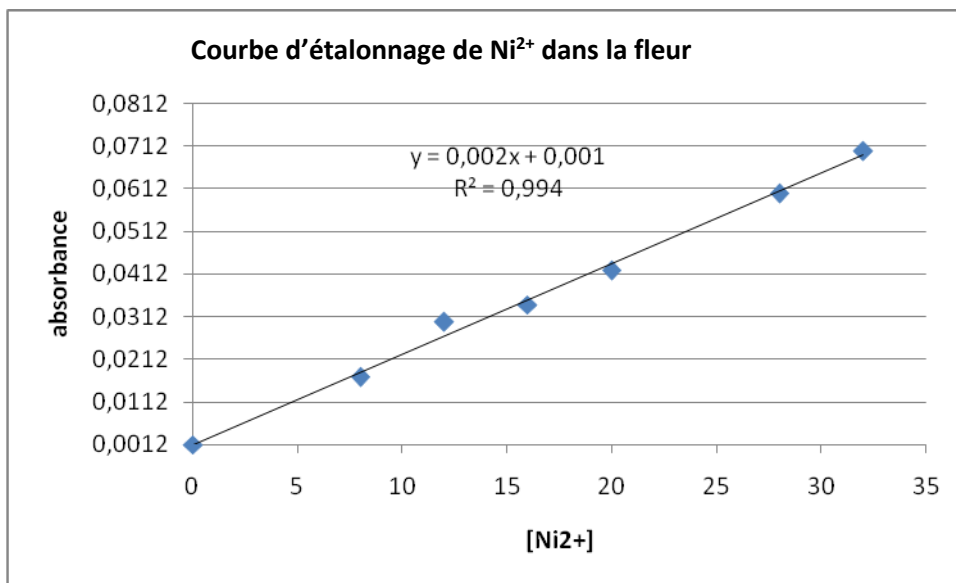
**Figure III.37** droite d'étalonnage du dosage de Ni<sup>2+</sup> dans la racine du site non industriel



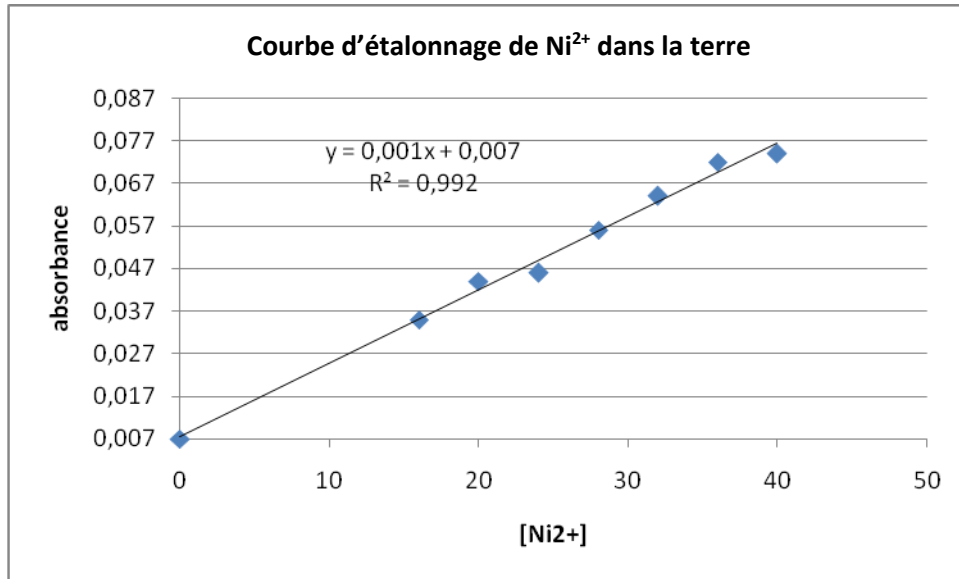
**Figure III.38** droite d'étalonnage du dosage de Ni<sup>2+</sup> dans la tige du site non industriel



**Figure III.39** droite d'étalonnage du dosage de Ni<sup>2+</sup> dans les feuille du site non industriel

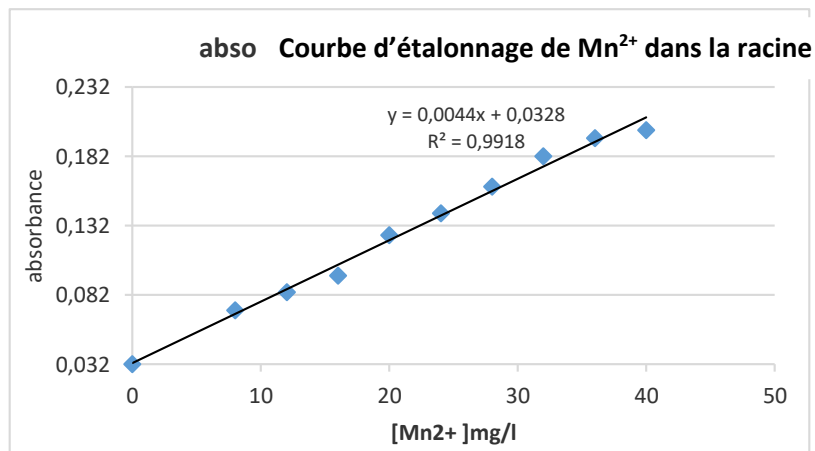


**Figure III.40** droite d'étalonnage du dosage de Ni<sup>2+</sup> dans les fleurs du site non industriel

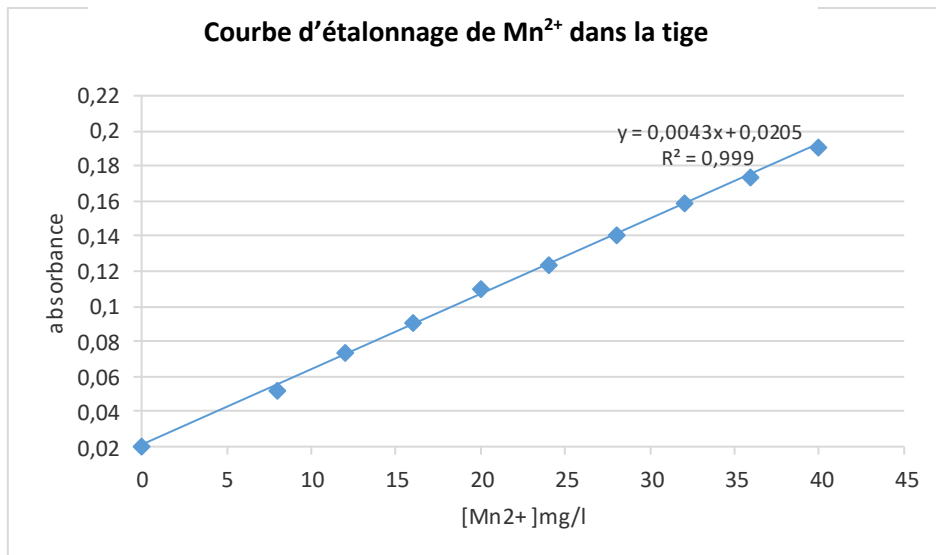


**Figure III.41** droite d'étalonnage du dosage de Ni<sup>2+</sup> dans la terre point de prélèvement de la plante du site non industriel

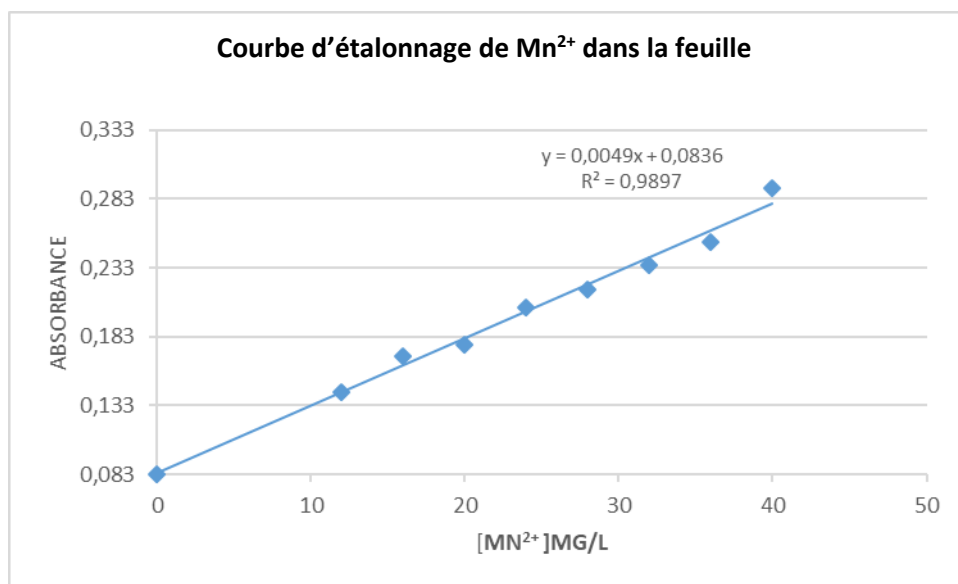
➤ **Dosage de Manganèse**



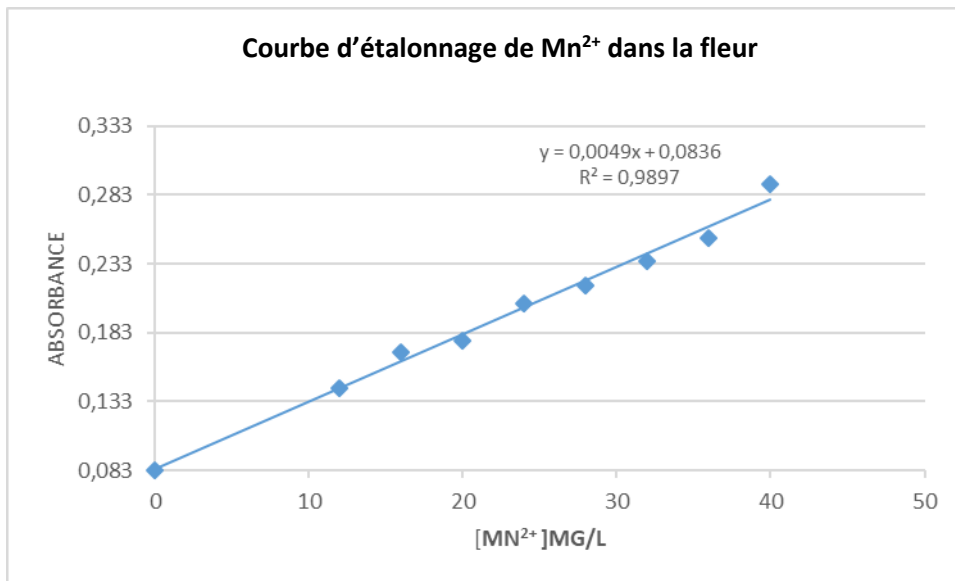
**Figure III.43** droite d'étalonnage du dosage de Mn<sup>2+</sup> dans la racine du site non industriel



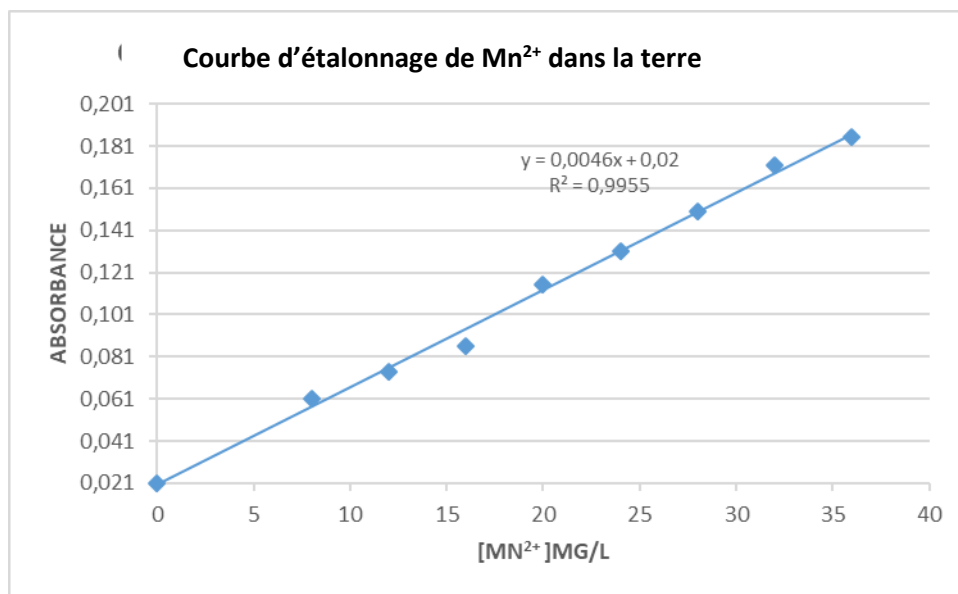
**Figure III.44** droite d'étalonnage du dosage de Mn<sup>2+</sup> dans la tige du site non industriel



**Figure III.45** droite d'étalonnage du dosage de Mn<sup>2+</sup> dans les feuilles du site industriel



**Figure III.46** droite d'étalonnage du dosage de Mn<sup>2+</sup> dans les fleurs du site non industriel



**Figure III.47** droite d'étalonnage du dosage de Ni dans la terre point de prélèvement de la plante du site non industriel





## **Résumé**

Le roseau commun, appelé *Phragmites australis*, est une graminée de grande taille se retrouve principalement dans les zones humides. Ses propriétés et sa disponibilité font de cette plante un matériau renouvelable et performant. De plus, n'utilisant pas les surfaces de cultures, ce roseau naturel est indépendant des enjeux agricoles et ne demande aucun intrant chimique, et l'une des plantes vasculaires les plus répandues dans le monde.

Le but de notre étude est le dosage des métaux lourds dans les végétaux de ces sites contaminés et non contaminés met en évidence le degré de transfert des métaux et de leur bio-accessibilité pour l'homme. Ce dosage a été réalisé par la méthode des ajouts dosés, et par l'utilisation de spectrophotométrie d'adsorption atomique (S.A.A).pour doser quelques métaux lourds (Pb, Cd, Ni). L'ensemble des résultats obtenus dans cette étude, montre que notre choix de plante roseau commun (*Phragmite australis*) a une capacité à absorber les métaux lourds, car les teneurs des métaux lourds dans la plante récoltée au site pollué trop importante que les teneurs trouvées au site non contaminé elle peut être considérée comme une espèce accumulatrice pour certains métaux ainsi que c'est une plante dépolluante naturelle.

**Mots clés :** *Phragmite australis*, méthodes des ajouts dosés, SAA,

## **Summary**

The common reed, called *Phragmites australis*, is a large grass found mainly in wetlands. Its properties and availability make this plant a renewable and efficient material. Moreover, not using the surfaces of cultures, this natural reed is independent of the agricultural stakes and does not require any chemical input, and one of the most widespread vascular plants in the world. The aim of our study is the determination of heavy metals in plants of these contaminated and non-contaminated sites highlights the degree of transfer of metals and their bio-accessibility for humans. This dosage was carried out by the method of the dosed additions, and by the use of spectrophotometry of atomic adsorption (S.A.A).pour doser some heavy metals (Pb, Cd, Ni),

The whole of the results obtained in this study, shows that our choice of plant common reed (*Phragmite australis*) has a capacity to absorb the heavy metals, because the contents of the heavy metals in the plant collected with the polluted site too important than the teneurs found with the plant collected with the noncontaminated site it can be considered like a species accumulator for certain metals as well as it is a natural depolluting plant

Key words: *Phragmites australis*, dosed addition methods, SAA,

