

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université a. Mira de Bejaia



Faculté de Technologie
Département de Génie des procédés

Mémoire EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

Domaine : Science et Technologie Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie de l'environnement

BOUAKAZ Samir

KAROUCHE Moussa

Thème

*Etude du pouvoir absorbant d'une substance végétale decertains
métaux lourds*

Soutenue le 13/07/2022

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
Mme BELKACEMI Hayet	Professeur	Université de Bejaia	Président
Mme Bouariche Zakia	MCA	Université de Bejaia	Examinatrice
Mme BELHADJ Nadra	Professeur	Université de Bejaia	Encadrant

Année Universitaire : 2021/2022

Tables des matières

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction :	1

CHAPITRE I : L'ASPECT THEORIQUE DE L'ETUDE

I.1. Généralités sur l'ortie.....	3
1.1. Historique :	3
1.2. Les usages :.....	3
1.3. Morphologie générale de l'ortie :	6
1.4. Ortie et métaux lourds :	8
I.2. Les métaux lourds	8
I.3. Mobilité des polluants métalliques dans les sols	9
3.1. Constituants des sols impliqués dans la mobilité des éléments métalliques	9
3.2. Facteurs modifiant la mobilité des éléments métalliques	13
I.4. Tolérance aux métaux lourds chez les végétaux.....	15
I.5. Les métaux lourds dans la plante	15
5.1. Absorption racinaire	16
5.2. Translocation	16
5.3. Accumulation.....	17
I.6. Toxicité et tolérance.....	17

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

II.1. Le matériel végétal	18
1.1. Récolte du matériel végétal	18
II.2. Préparation de la matière végétale et minérale	18
2.1. Préparation de la matière végétale :.....	18
2.2. Préparation de la matière minérale (la terre)	21

Tables des matières

II.3. Dosage des métaux lourds par la méthode des ajouts dosés par Spectroscopie d'adsorption atomique (SAA)	21
3.1. Spectroscopie d'adsorption atomique (SAA)	21
3.1.1. Préparation des échantillons végétales (racine, tige, feuille) pour le dosage par SAA.....	22
3.1.2. Préparation de l'échantillon minéral (la terre) pour le dosage par SAA.....	23
3.2. Le dosage des métaux lourds par la méthode des ajouts dosés	23
3.2.1. Préparation des solutions mères des métaux lourds (Pb, Cd, Ni, Mn).....	24
3.2.2. Préparations des étalons pour le dosage des métaux (Pb, Cd, Ni, Mn) dans les échantillons végétales et l'échantillon minérale	25
II.4. Les facteurs modifiant la mobilité des éléments métalliques dans la matière minérale...	26
4.1. La Conductivité :	26
4.2. PH : (Potentiel Hydrogène)	27
<u>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION</u>	
III.1. Résultats des dosages des métaux lourds (Pb, Cd, Ni, Mn), dans la matière végétale (les différentes parties de l'ortie : les racines, la tige, les feuilles) et la matière minérale (la terre) prélevés d'un site industriel (la zone industrielle d'el kseur –bejaia) et un site non industriel (boukhiam) avec la méthode des ajouts dosés par SAA.....	28
III.1.1. Le dosage des métaux lourds dans la matière végétale et minérale prélevée dans un site industriel (la zone industrielle de El kseur –Bejaia)	28
III.1.2. Le dosage des métaux lourds dans la matière végétale et minérale prélevée dans un site non contaminé (Village boukhiam).....	37
III.2. 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)	44
III.3. Facteurs physiques modifiant la mobilité des éléments dans la matière minérale (la sol) prélevé du site industriel et non industriel	49
III.3.1. La Conductivité électrique.....	49
III.3.2. Le potentiel à hydrogène pH	50

Tables des matières

Conclusion.....	52
Références	
ANNEXE 1 :	
ANNEXE 2 :	

Liste des abréviations

Cd : Cadmium

Ni : Nickel

Pb : Plomb

Mn : Manganèse

PH : Potentiel hydrogène

SAA : Spectrométrie d'absorption atomique

MIR : La spectroscopie moyen infrarouge

IR : Rayonnement Infrarouge

PC : Les phytochélatines

ROS : Réactive Oxygen Species

Asc : l'acide ascorbique

EDTA : acide éthylène diamine tétra-acétique

DTPA : L'acide di éthylène thiamine penta acétique

CEC : capacité d'échange cationique

GR : glutathion réductase

KBr : bromure de potassium

Listes des illustrations

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les différentes teintures obtenues à partir de l'ortie [1]	5
Tableau II.1: Préparations des étalons pour le dosage des métaux (Pb, Cd, Ni ,Mn) dans les échantillons végétales et l'échantillon minérale.....	26
Tableau III.2 : Détermination de $[Cd^{2+}]_{\text{échantillon}}$ dans les différents organes de la plante <i>Urtica dioica</i> et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives.....	31
Tableau III.4 : Détermination de $[Ni^{2+}]_{\text{échantillon}}$ dans les différents organes de la plante <i>Urtica dioica</i> et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives.....	33
Tableau III.6: Détermination de $[Mn^{2+}]_{\text{échantillon}}$ dans les différents organes de la plante <i>Urtica dioica</i> et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives.....	35
Tableau III.8: Détermination de $[pb^{2+}]_{\text{échantillon}}$ dans les différents organes de la plante <i>Urtica Dioica</i> et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives	37
Tableau III.9: Détermination de $[Cd^{2+}]_{\text{échantillon}}$ dans les différents organes de la plante <i>Urtica dioica</i> et la terre par l' exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives.....	39
Tableau III.10 : Détermination de $[Ni^{2+}]_{\text{échantillon}}$ dans les différents organes de la plante <i>Urtica dioica</i> et la terre par l' exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives	41
Tableau III.11: Détermination de $[Mn^{2+}]_{\text{échantillon}}$ dans les différents organes de la plante <i>Urtica dioica</i> et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives	42
Tableau III.13: Les mesures de la conductivité électrique des sols issues de la zone industrielle et la zone non industrielle	
Tableau III.14: Les mesures du ph des sols issus de la zone industrielle et la zone non industrielle ont été réalisées trois fois	
Tableau III.15: Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, <i>Urtica Dioica</i>	58
Tableau III.16 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige, <i>Urtica dioica</i>	58
Tableau III.17 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la feuille, <i>Urtica dioica</i>	58
Tableau III.18 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, <i>Urtica dioica</i>	59

Listes des illustrations

Tableau III.19 : Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, Urtica Dioica.....	59
Tableau III.20: Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige, Urtica dioica	59
Tableau III.21 : Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la feuille, Urtica dioica	60
Tableau III.22: Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, Urtica dioica	60
Tableau III.23 : Les résultats du dosage du nickel à $\lambda=232$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, Urtica Dioica.....	60
Tableau III.24 : Les résultats du dosage du nickel à $\lambda=232$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige, Urtica dioica	61
Tableau III.25 : Les résultats du dosage du nickel à $\lambda=232$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la feuille, Urtica dioica	61
Tableau III.26 : Les résultats du dosage du nickel à $\lambda=232$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, Urtica dioica	61
Tableau III.27: Les résultats du dosage du Manganèse à $\lambda=279.5$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, Urtica dioica	62
Tableau III.28 : Les résultats du dosage du Manganèse à $\lambda=279.5$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, Urtica Dioica.....	62
Tableau III.29 : Les résultats du dosage du Manganèse à $\lambda=279.5$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige , Urtica Dioica	62
Tableau III.30 : Les résultats du dosage du Manganèse à $\lambda=279.5$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la feuille , Urtica Dioica	63
Tableau III.31 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, Urtica Dioica.....	63
Tableau III.32 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige, Urtica dioica	63
Tableau III.33 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la feuille, Urtica dioica	64
Tableau III.34 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, Urtica dioica	64
Tableau III.35 : Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, Urtica Dioica.....	64

Listes des illustrations

Tableau III.36 : Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige, <i>Urtica dioica</i>	65
Tableau III.37 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=467$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la feuille, <i>Urtica dioica</i>	65
Tableau III.38 : Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, <i>Urtica dioica</i>	65
Tableau III.39 : Les résultats du dosage du Nickel à $\lambda=232$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, <i>Urtica Dioica</i>	66
Tableau III.40 : Les résultats du dosage du nickel à $\lambda=232$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige, <i>Urtica dioica</i>	66
Tableau III.41 : Les résultats du dosage du nickel à $\lambda=232$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la feuille, <i>Urtica dioica</i>	66
Tableau III.42: Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=232$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, <i>Urtica dioica</i>	67
Tableau III.43 : Les résultats du dosage du manganèse à $\lambda=279.5$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, <i>Urtica dioica</i>	67
Tableau III.44 : Les résultats du dosage du manganèse à $\lambda=279.5$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, <i>Urtica dioica</i>	67
Tableau III.45 : Les résultats du dosage du manganèse à $\lambda=279.5$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige , <i>Urtica dioica</i>	68
Tableau III.46 : Les résultats du dosage du manganèse à $\lambda=279.5$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige , <i>Urtica dioica</i>	68
Tableau I.1 : Les différentes teintures obtenues à partir de l'ortie[1]	5

Listes des illustrations

Liste des figures

Figure I.1 : détail d'une feuille de la grande ortie.....	5
Figure I.2 : détail des cystolithes [1]	6
Figure I.3 : tige d'ortie recouverte de poils.....	6
Figure I.4 : poil urticant au microscope.....	7
Figure I.5: Rhizomes d'ortie comprenant des ramifications composées de racines fines.....	7
Figure II.1 : Site industriel de la collecte de la plante l'ortie commun (Google Earth).	26
Figure II.2 : Site non industriel la collecte de la plante l'ortie commun (Google Earth).	26
Figure II.3 : Les différentes étapes de préparations de la matière végétale.....	27
Figure II.4 : Les différentes étapes de préparations de la matière minérale (la terre)	28
Figure II.5 : Le spectromètre d'absorption atomique (S.A.A) (thermo scientifique ; ICE 3000Series)	29
Figure II.6 : Etapes de préparation de l'échantillon	30
Figure II.7 : étape de préparation de l'échantillon (terre).....	30
Figure II.8 : Solution mère de cadmium étalon de cadmium (1000mg/l)	31
Figure II.9 : Solution mère de cadmium étalon de Nickel (1000mg/l).....	31
Figure II.10 : Solution mère de cadmium étalon de plomb (1000mg/l)	32
Figure II.11 : Solution mère de cadmium étalon de manganèse (1000mg/l).....	32
Figure II.12: Un conductimètre "WTW Cond_720 "	34
Figure II.13: Un pH mètre (Ph 211 Micro processor ph mètre)	34
Figure III.1: organigramme pour voir la variation de la [pb ²⁺] dans les échantillons végétaux et la terre.....	36
Figure III.2 : un organigramme pour voir la variation de la [Cd ²⁺] dans les échantillons végétaux et la terre.....	38
Figure III.3 : un organigramme pour voir la variation de la [Ni] dans les échantillons végétaux et la terre.....	40
Figure III.4 :Organigramme pour voir la variation de la [Mn ²⁺] dans les échantillons végétaux et la terre.....	42
Figure III.5 : un organigramme pour voir la variation de la [pb ²⁺] dans les échantillons végétaux et la terre.....	44
Figure III.6 : un organigramme pour voir la variation de la [Cd ²⁺] dans les échantillons végétaux et la terre.....	45
Figure III.7 : un organigramme pour voir la variation de la [Ni ²⁺] dans les échantillons végétaux et la terre.....	47
Figure III.8 : un organigramme pour voir la variation de la [Mn ²⁺] dans les échantillons végétaux et la terre.....	48

Listes des illustrations

Figure III.9: Histogramme représentant la variation de la concentration de $[Pb^{2+}]$ dans les l'échantillon végétal et l'échantillon minéral (la terre) dans les deux zones d'études	51
Figure III.10: Histogramme représentant la variation de la concentration de $[Cd^{2+}]$ dans les l'échantillon végétal et l'échantillon minéral (la terre) dans les deux zones d'études	52
Figure III.11: Histogramme représentant la variation de la concentration de $[Ni^{2+}]$ dans les	53
Figure III.12: Histogramme représentant la variation de la concentration de $[Mn^{2+}]$ dans les	54
Figure III.13: droite d'étalonnage du dosage de Pb^{2+} dans les racines du site industriel.....	62
Figure III.14 : droite d'étalonnage du dosage de Pb^{2+} dans les tiges du site industriel	62
Figure III.15 : droite d'étalonnage du dosage de Pb^{2+} dans les feuilles du site industriel	63
Figure III.16 : droite d'étalonnage du dosage de Pb^{2+} dans la terre point de prélèvement de la plante du site industriel	63
Figure III.17 : Droite d'étalonnage du dosage de Cd^{2+} dans les racines du site industriel	64
Figure III.18 : Droite d'étalonnage du dosage de Cd^{2+} dans les tige du site industriel.....	64
Figure III.19 : Droite d'étalonnage du dosage de Cd^{2+} dans les feuilles du site industriel	65
Figure III.20 : Droite d'étalonnage du dosage de Cd^{2+} dans la terre point de prélèvement de la plante du site industriel	65
Figure III.21 : Droite d'étalonnage du dosage de Ni^{2+} dans les racines du site industriel	66
Figure III.22: Droite d'étalonnage du dosage de Ni^{2+} dans les tiges du site industriel.....	66
Figure III.23: Droite d'étalonnage du dosage de Ni^{2+} dans les feuilles du site industriel.....	67
Figure III.24 : Droite d'étalonnage du dosage de Ni^{2+} dans la terre point de prélèvement de la plante du site industriel	67
Figure III.25 : Droite d'étalonnage du dosage de Mn^{2+} dans la terre point de prélèvement de la plante du site industriel	68
Figure III.26 : Droite d'étalonnage du dosage de Mn^{2+} dans la racine point de prélèvement de la plante du site industriel.....	68
Figure III.27 : Droite d'étalonnage du dosage de Mn^{2+} dans la tige point de prélèvement de la plante du site industriel	69
Figure III.28 : Droite d'étalonnage du dosage de Mn^{2+} dans la feuille point de prélèvement de la plante du site industriel.....	69
Figure III.29 : Droite d'étalonnage du dosage de Pb^{2+} dans les racines du site non industriel.....	70
Figure III.30 : Droite d'étalonnage du dosage de Pb^{2+} dans la tige du site non industriel.....	70
Figure III.31 : Droite d'étalonnage du dosage de Pb^{2+} dans les feuilles du site non industriel	71
Figure III.32 : Droite d'étalonnage du dosage de Pb^{2+} dans la terre point de prélèvement de la plante du site non industriel	71
Figure III.33 : droite d'étalonnage du dosage de Cd^{2+} dans les racines du site non industriel	72

Listes des illustrations

Figure III.34 : droite d'étalonnage du dosage de Cd ²⁺ dans la tige du site non industriel	72
Figure III.35 : droite d'étalonnage du dosage de Cd ²⁺ dans les feuilles du site non industriel	73
Figure III.36 : droite d'étalonnage du dosage de Cd ²⁺ dans la terre point de prélèvement de la plante du site non industriel	73
Figure III.37 : droite d'étalonnage du dosage de Ni ²⁺ dans les racines du site non industriel	74
Figure III.38 : droite d'étalonnage du dosage de Ni ²⁺ dans la tige du site non industriel	74
Figure III.39 : droite d'étalonnage du dosage de Ni ²⁺ dans les feuilles du site non industriel.....	75
Figure III.40 : droite d'étalonnage du dosage de Ni ²⁺ dans la terre point de prélèvement de la plante du site non industriel	75
Figure III.41 : droite d'étalonnage du dosage de Mn ²⁺ dans la racine point de prélèvement de la plante du site non industriel	76
Figure III.42: droite d'étalonnage du dosage de Mn ²⁺ dans la tige point de prélèvement de la plante du site non industriel	76
Figure III.43: droite d'étalonnage du dosage de Mn ²⁺ dans la feuille point de prélèvement de la plante du site non industriel	77
Figure III.44: droite d'étalonnage du dosage de Mn ²⁺ dans la terre point de prélèvement de la plante du site non industriel	77

Chapitre I :
Aspect théorique
de l'étude

Introduction

Introduction :

Depuis la fin du XIX^{ème} siècle, le secteur industriel s'est développé sans préoccupation des rejets d'éléments toxiques dans les sols. De fait, le sol a été longtemps considéré comme une ressource renouvelable, voire même inépuisable à l'échelle des générations humaines, capable de recevoir sans conséquence les rejets de nos activités. Depuis quelques années, les dangers potentiels des pollutions pour l'équilibre écologique et la santé publique sont considérés avec une inquiétude croissante par les pouvoirs publics [1].

Parmi les principaux polluants générés par les activités industrielles, les métaux lourds (Cu, le Pb, le Cr, Ni, Cd, etc...) posent effectivement des problèmes particulièrement préoccupants. Ces éléments, par nature non biodégradables, présentent une forte écotoxicité et pourraient être impliqués dans de nombreuses pathologies (atteintes du système nerveux central, du foie, des reins, mais aussi cancers et malformations embryonnaires [2, 3]; Il est donc aujourd'hui indispensable non seulement de mieux connaître les effets de ces polluants sur les organismes vivants, mais aussi de mettre en œuvre des solutions durables, visant à limiter leurs risques [2, 3]

Malgré leur forte toxicité potentielle, la plupart des sites contaminés par des métaux lourds présentent souvent une flore diversifiée tolérant apparemment bien de fortes teneurs en métaux. L'étude de ces plantes résistantes, par leurs capacités de détoxification, d'immobilisation ou d'absorption des métaux lourds, pourrait donc constituer un outil intéressant, non seulement pour estimer les risques de transfert potentiel des métaux lourds au sein de l'écosystème [4] mais aussi comme outil de réhabilitation des sols [4].

Dans le cadre de cette étude le choix s'est porté sur une plante ; L'ortie piquante (*Urtica dioica L.*) et l'étude de son pouvoir décontaminant des sols par certain métal lourd.

L'ortie piquante (*Urtica dioica L.*) est une espèce végétale répandue en Algérie, elle est considérée comme une mauvaise herbe dans l'agriculture intensive car sa croissance végétative rapide et ses densités élevées permettent une propagation et une couverture du sol accrues [5], Les effets de la culture de l'ortie sur l'environnement sont potentiellement favorables, il s'agit d'une culture pérenne peu exigeante [6], elle peut améliorer les sols sur fertilisés avec de l'azote et du phosphate, et peut ainsi favoriser la biodiversité de la flore et de la faune locales et peut être utilisée pour produire de nouvelles matières premières agricoles

Introduction

de haute qualité pour les secteurs de la teinture, du textile et de l'énergie [6]. L'ortie a aussi une application très prometteuse dans les secteurs de l'alimentation humaine et animale, de la médecine et de la cosmétique [6-8].

Ce travail est divisé en trois chapitres.

- Le premier chapitre renferme une approche théorique de l'étude à savoir ; une étude botanique de l'ortie piquante (*Urtica dioica L.*), la mobilité des polluants métalliques dans les sols, ainsi que la tolérance des végétaux aux métaux lourds²
- 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

Et enfin, une conclusion et des perspectives pour clore le l'étude menée

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

I.1. Généralités sur l'ortie

L'Ortie est une des rares plantes que l'on peut reconnaître les yeux fermés. Qui ne s'est jamais laissé surprendre par son contact irritant. Considérée comme une « mauvaise herbe », l'Ortie est en réalité une plante riche en vitamines et minéraux et pourvue de nombreuses vertus médicinales. Elle est également employée dans d'autres domaines comme l'agriculture, l'art culinaire ou encore le textile[7, 9].

1.1. Historique :

Le mot français « ortie » est un dérivé du latin *urtica* venant du verbe *urere*, qui signifie « brûler », en référence au caractère urticant de cette plante. La grande ortie, *Urtica dioica L.* fait partie des plantes que nous apprenons très tôt à reconnaître, sa piqûre douloureuse laissant un souvenir désagréable. Mais il ne faut pas se fier à cette première impression, car derrière ce système de défense se cache une véritable panacée. Nos ancêtres l'avaient bien compris puisqu'ils l'utilisaient déjà pour se soigner ainsi que pour d'autres usages. Elle tomba cependant peu à peu dans l'oubli pour réapparaître au milieu du XXème siècle. De nombreuses études ont été menées ces dernières années afin de mieux comprendre ses activités ainsi que ses mécanismes d'action[7].

1.2. Les usages :

L'ortie (*Urtica dioica L.*) est une plante herbacée vivace, ayant une utilisation très prometteuse dans plusieurs domaines.

➤ Usages thérapeutiques

C'est le médecin grec Hippocrate, le « père de la médecine », qui est l'un des premiers à avoir mis en avant les vertus de l'ortie. Il énumère dans son œuvre pas moins de 61 remèdes à base d'ortie : aussi bien pour soulager la douleur, chasser les vers intestinaux, soigner la calvitie, la goutte et les douleurs articulaires [7, 10]

Traditionnellement, l'ortie fait partie des plantes aux multiples vertus, de ses racines jusqu'à ses graines, l'ortie est utilisée pour le bien-être de notre corps, même son pouvoir urticant est thérapeutique, puisque l'application de tiges ou feuillées soulage les douleurs d'arthrites ou de

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

rhumatismes chez des personnes qui en souffrent, ceci peut être associé à l'acide formique, dont la plante est richement fournie qui a une action anti-inflammatoire[11].

➤ Dans textile

L'utilisation textile de l'ortie fait surtout référence à la ramie ou « ortie de Chine » (*Boehmeria nivea*.L *Urticaceae*) dont l'utilisation dans ce domaine est très répandue et remonte à loin puisque les égyptiens s'en servaient pour embaumer leurs morts[7, 10]. La qualité de sa fibre a été démontrée (par exemple, teneur en cellulose autour de 86%) et dépend fortement de la méthode d'extraction. [7, 8].

➤ En cosmétique

L'ortie (*Urtica dioica* L.) est utilisée depuis des siècles en médecine traditionnelle. Plus récemment, les extraits (L'acide ursolique et la quercitrine) d'ortie ont été également utilisés dans des produits cosmétiques en raison des nombreux effets bénéfiques de leurs applications topiques sur la santé de la peau. En particulier, leur potentielle action anti-âge présente un fort intérêt qui a été essentiellement attribuée leur fort pouvoir antioxydant [6, 12].

➤ Usage tinctorial

L'usage tinctorial de l'ortie est assez récent. Son origine remonte certainement au XVIIIème siècle, lorsque les Lorrains utilisaient la racine de la plante pour teindre en jaune les œufs de Pâques [7, 13]. La teinture à partir de l'ortie utilise différentes parties de la plante, ainsi que différents agents mordants, permettant d'obtenir une gamme de couleurs variées[7]. Comme indiqué dans **le tableau. I 1**

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

Tableau I.1 : Les différentes teintures obtenues à partir de l'ortie[7]

Partie de la plante utilisée	Agent mordant	Couleurs obtenues
Racines	Alun	Jaune
Jeunes pousses	Alun	jaune soufre intense
Feuilles	Aucun	jaune verdâtre
	alun	jaune saturé
	sel marin	jaune plus foncé
	fer	presque vert olive

➤ Usage alimentaire

Les jeunes feuilles d'orties peuvent être consommées crues hachées ou broyées, par exemple en salade, ou cuites comme les épinards. Il faut éviter la plante adulte, devenue filandreuse, qui prend alors un goût désagréable et dont la consommation excessive à ce stade peut provoquer des dysfonctionnements rénaux [8].

➤ Usage fourrager

L'ortie est également utilisée comme aliment d'élevage pour le bétail et la volaille [9], l'ortie sèche a une teneur en protéines supérieure à celle du foin (12.8% contre 5.4%)[7, 13, 14].

➤ Autres usages

- **Industrie** : La grande ortie est utilisée pour l'extraction industrielle de la chlorophylle qui est employée comme colorant alimentaire (E 140) et également comme agent aromatisant dans certains dentifrices et chewing-gum[13, 15].
- **Le Papier** : L'emploi de l'ortie comme constituant unique de la pâte à papier a été relativement limité, alors que son incorporation en mélange à d'autres matières, notamment les vieux chiffons, était une pratique courante. Malheureusement aujourd'hui, pour cause de rentabilité, cette pratique a été abandonnée sauf pour quelques rares exceptions.

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

- **Conservateur alimentaire :** Bien avant l'apparition des réfrigérateurs, les propriétés conservatrices des feuilles d'orties étaient mises à profit pour envelopper le gibier et le poisson et ainsi garder leur fraîcheur. [8, 13].

1.3. Morphologie générale de l'ortie :

L'ortie piquante "*Urtica dioica L*". Est une plante herbacée vivace, monoïque, appartenant à la famille des Urticacée. **Figure I.1.** Ses tiges et ses feuilles sont recouvertes de trichomes urticants contenant un fluide qui provoque des cloques en pénétrant dans la peau [6, 16].



Figure I.1 L'ortie piquante "*Urtica dioica L*"

- ✓ **La feuille :** Les feuilles d'*Urtica dioica* sont de couleur vert foncé riches en chlorophylle, alternes ou opposées deux à deux, ovales à lancéolées, cordiformes et se terminant en pointe, simples, charnues, à bords irrégulièrement dentelés. Elles sont en général plus longues que larges figure I.2 [7]. Les feuilles, comme la tige, sont recouvertes de poils urticants mais seulement sur la face supérieure [7, 17].



Figure I.2. la feuille de L'ortie piquante "*Urtica dioica L*".([7].

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

- ✓ **La tige :** La tige d'*Urtica dioïca* est dressée, robuste, non ramifiée, et à section quadrangulaire. Elle peut atteindre 1.5 m de hauteur. Comme la feuille, elle est recouverte de poils urticants **figure I.3**[7, 18]



Figure I.3 La tige d'*Urtica dioïca*

- ✓ **Les racines :** L'ortie présente de longs rhizomes (tige souterraine considérée comme une racine spécialisée) qui lui permettent de former des colonies, d'où son pouvoir envahissant. Les rhizomes, rampants mesurent de 1 à 5 mm d'épaisseur et sont pourvus d'un chevelu de fines racines adventives. Le rhizome est jaunâtre, cylindrique, de 3 à 10 mm d'épaisseur, traçant, et abondamment ramifié. Figure I.4. [7, 19].



Figure I.4 : La racine d'*Urtica dioïca*

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

1.4. Ortie et métaux lourds :

L'ortie est une plante qui a le pouvoir de fixer les métaux lourds les pesticides et les nitrates, pour cela si l'on récolte des orties en pleine nature, il y a des lieux qu'il faut éviter le bord des routes ou chemins forestiers, les décharges ou encore les terrains récemment traités[7, 13, 20].

L'Ortie est nitrophyte, elle peut donc assimiler l'azote, elle peut aussi absorber en quantité importante le fer. En captant ces éléments, l'Ortie est donc un bon moyen de résoudre les problèmes liés aux excès de nitrates et fer contenus dans les sols pollués. Une fois en décomposition elle libère dans le sol des éléments nutritifs qui se retrouvent sous forme assimilable pour les autres plantes. L'Ortie peut aussi amoindrir les quantités de calcaire dans un sol en l'absorbant[21]. L'Ortie pourrait donc être préalablement utilisée comme dépolluant sur une grande culture à condition qu'elle soit plantée puis bêchée en profondeur. Ainsi le sol est affaibli en nitrates et fer et enrichi en matière organique (libérée auparavant par l'Ortie). [21-23].

I.2. Les métaux lourds

- **Le plomb** : Le Pb 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^{2+} . Le Pb est largement véhiculé par les particules atmosphériques sub-microniques 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 le saturnisme est la maladie liée à une intoxication au Pb à la suite d'une exposition intense ou prolongée.
- **Le cadmium** : Le Cd appartient au groupe II B de la classification périodique des éléments. (F. Zeggai., 2020). 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.
- **Nickel** : Le nickel est un métal du bloc d de la période IV l'élément plus abondant de la croûte terrestre (U.Franck ,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

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

degré +4. Au degré d'oxydation +2, le Nickel donne d'une manière générale des composés de couleur verte.

- **Manganèse** : Le manganèse (symbole Mn, n°atomique 25) est un métal gris clair, brillant comme l'acier, avec des reflets rougeâtres. Il se situe en tête de la colonne VII A de classification périodique et au centre de la série des éléments dits de transition de la quatrième période, entre le chrome et le fer il possède des analogies aussi bien avec les éléments de transition qu'avec ceux de sa propre colonne : technétium et rhénium

I.3. Mobilité des polluants métalliques dans les sols

De nombreuses recherches, dans le domaine de l'écotoxicité des métaux lourds, s'accordent sur le fait que le risque résulte non pas des concentrations totales relevées dans les sols pollués, mais de leur fraction bio disponible [2, 24-27]. La mobilité des espèces chimiques métalliques peut être définie par leur aptitude à être transférées vers des compartiments du sol où elles sont moins énergiquement retenues, le compartiment ultime étant la phase liquide représentée par la solution du sol. C'est cette dernière qui constitue le réservoir principal d'alimentation pour les plantes[26, 28]. Les processus de transferts entre la phase solide et la phase liquide sont multiples ; ils dépendent fortement de la nature de la liaison entre les métaux et la phase solide, appelée également phase porteuse ou phase de rétention, ainsi que des conditions physico-chimiques régnant dans le sol. Il convient alors de traiter séparément ces aspects pour expliquer la mobilité des métaux lourds.

3.1. 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.

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

➤ 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 [28, 29]. Lorsque les processus d'altération se poursuivent, ils peuvent être la source des minéraux secondaires

➤ Les minéraux secondaires

Les minéraux créés durant la pédogénèse sont essentiellement des argiles, des (hydr)oxydes 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.

➤ **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. [28]. 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.

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

➤ Les oxydes et hydroxydes

Les (hydr)oxydes de fer et d'aluminium, sous forme amorphe ou cristalline, sont des constituants communs dans les sols naturels. Les (hydr)oxydes de fer sont les plus abondants (Fe_2O_3 : hématite et maghémite ; FeOOH : goethite et lepidocrocite et $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$: ferrihydrite). Les (hydr)oxydes d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_3$: gibbsite ; AlOOH : boehmite) sont relativement moins fréquents. Enfin, les (hydr)oxydes de manganèse, relativement mal définis car de structure minérale complexe, sont généralement minoritaires dans les sols naturels. Comme les argiles, la réactivité des (hydr)oxydes de fer et d'aluminium provient de leur importante surface spécifique et de la charge de surface, variable avec le pH du milieu. En effet, suivant les conditions physico-chimiques, ils présentent des charges de surface variables permettant d'adsorber les anions et les cations par des liaisons de haut niveau d'énergie. Les (hydr)oxydes de manganèse possèdent des propriétés différentes des oxydes de fer et d'aluminium [30]. Contrairement aux autres (hydr)oxydes, 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 en conséquence un rôle prépondérant dans la sorption des ions métalliques[31]. En outre, les (hydr)oxydes peuvent précipiter en piégeant les métaux à l'intérieur des mailles cristallines, permettant ainsi la fixation de métaux. [28].

➤ Les carbonates, phosphates, sulfates, sulfures et chlorures

- ✓ La forme prédominante des carbonates ($\text{R}^{2+}\text{CO}_3^{2-}$; 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.
- ✓ 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[28].
- ✓ Les sulfates (généralement de la forme $\text{R}^{2+}\text{SO}_4^{2-}$) et les arseniates (minéraux d'arsenic As^{+5} comprenant le groupement AsO_4^{3-}), les sulfures (souvent $\text{R}^{+2}\text{S}^{2-}$), les arseniures (minéraux d' As^{+3}) et les chlorures (principalement R^{+2}Cl_2) sont des espèces présentes

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

en quantité généralement négligeable dans la plupart des sols, mais qui peuvent être abondantes en contexte industriel ou minier. [25]

➤ La matière organique

La matière organique désigne différents types de composés carbonés et azotés. Elle est principalement issue de l'activité biologique des végétaux et des animaux et de leurs produits de décomposition, mais peut également avoir une origine anthropique : composts, boues, pesticides, hydrocarbures. 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[28].

- **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) [28]. 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 :

A. Phénomène de sorption des éléments métalliques dans les sols

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

A.1. La physisorption : une adsorption non spécifique

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,

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

les éléments métalliques adsorbés sont facilement mobilisables en cas de changements physico-chimiques du milieu. La matrice du sol, globalement chargée négativement, attire les cations en solution. Ce sont les minéraux argileux et la matière organique, souvent réunis pour former le complexe argilohumique, qui participent le plus à la charge négative du sol[32]. La présence des charges de surface peut provenir soit de substitutions isomorphiques dans le réseau cristallin (remplacement d'un cation trivalent par un divalent), soit de réactions chimiques de surface dues aux variations de pH. 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 ».

A.2. La chimisorption : une adsorption spécifique

Contrairement à l'adsorption non spécifique, l'adsorption spécifique fait intervenir une liaison chimique forte, 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. On parle dans ce cas de « complexe de sphère interne ». Trois types de liaison chimique sont à l'origine de la spécificité de la chimisorption entre l'ion et la matrice : les liaisons ioniques, covalentes et de coordination. Elles peuvent se produire entre un ion métallique et un ligand organique ou inorganique. On appelle ligand un groupe fonctionnel, un atome ou un ion lié à un groupe central d'atomes ou d'ions. On parle alors de complexation ou de chélation. Les complexes formés peuvent parfois précipiter. En outre, après avoir été adsorbés en surface, les éléments peuvent diffuser à l'intérieur des particules minérales ; c'est le phénomène d'absorption. Tous ces processus de sorption sont réversibles. La réversibilité est due aux conditions physicochimiques du sol, pH, potentiel redox.

3.2. Facteurs modifiant la mobilité des éléments métalliques

- **Le pH :** 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 [26]. Les protons proviennent majoritairement de la respiration végétale et microbienne, ainsi que de l'oxydation des sulfures. A l'inverse, ils sont consommés par l'hydrolyse des minéraux altérables. D'une façon générale, lorsque le pH augmente, les cations sont moins solubles et les anions sont plus solubles. 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[33].

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

Cependant, elle entraîne également la dissolution de matières organiques et la formation consécutive de complexes organo-métalliques plus solubles. 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. Ainsi, les formes oxydées prédominent pour un potentiel redox élevé, alors que les faibles valeurs favorisent l'apparition d'espèces réduites. Les valeurs les plus courantes du potentiel redox dans les sols naturels sont comprises entre -200 et 400 mV, 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. Le Cr^{3+} peut ainsi subir une oxydation directe en Cr^{6+} , plus mobile et plus toxique. 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[33]. D'autre part, la dissolution des (hydro)oxydes est favorisée entraînant de manière opposée la solubilisation des métaux associés. Bien que l'influence des conditions oxydoréductrices du sol semble très importante au regard de la mobilité des éléments métalliques, il n'en demeure pas moins que ce facteur apparaît souvent comme secondaire par rapport au pH. En effet, pour un sol donné l'Eh varie en fonction inverse du pH, il augmente quand le pH diminue[33], en conséquence de quoi l'influence des conditions oxydoréductrices apparaît souvent comme secondaire par rapport au pH. De plus, il est relativement difficile d'interpréter les valeurs obtenues. En raison du nombre important des couples redox et de la cinétique des réactions[29], l'influence du potentiel redox est souvent difficile à comprendre.
- **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. La température a un impact direct sur la mobilité des éléments métalliques en déplaçant les équilibres des réactions de

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

dissolution - précipitation et co-précipitation, et un impact indirect, en modifiant la teneur en eau du sol et le pH. [33].

I.4. Tolérance aux métaux lourds chez les végétaux

Certains éléments métalliques sont essentiels aux organismes vivants à de faibles concentrations. Mais, ils agissent à de fortes concentrations comme un facteur de stress qui entraîne une modification de la réaction physiologique. Le terme « **sensibilité** » décrit les effets du stress, qui peuvent aller jusqu'à la mort de la plante. Par opposition, le terme « **résistance** » fait référence à la réaction de la plante qui lui permet de survivre face au stress métallique et d'assurer sa descendance. Deux stratégies principales sont impliquées dans ce phénomène de résistance :

- **la stratégie d'évitement** par laquelle les plantes se protègent du stress métallique en limitant leur absorption ;
- **la stratégie de tolérance** (terme qui sera utilisé dans la suite de ce travail comme étant synonyme de résistance) qui fait référence aux réactions permettant de limiter les effets néfastes des métaux dans l'organisme. Ces différents aspects sont abordés dans ce chapitre de façon à comprendre la physiologie de la plante vis-à-vis des métaux lourds. Pour terminer, nous développerons les stratégies d'utilisation des plantes dans une optique de phytoremédiation des sols contaminés.

I.5. Les métaux lourds dans la plante

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...) [28]. 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, des substances de croissance, de la chlorophylle et des métabolites secondaires ; le métabolisme lipidique ou la tolérance au stress [34]. En outre, certains éléments trace peuvent se présenter sous différents états d'oxydation (e.g. $\text{Cu}^{2+} + e^- \text{Cu}^+$). Ils jouent ainsi un rôle d'accepteurs ou de donneurs d'électrons, très important dans les multiples systèmes enzymatiques mettant en jeu des réactions d'oxydoréduction [32]. Pour autant, les métaux lourds n'ont pas tous une

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

fonction connue à ce jour dans le métabolisme de la plante, et 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 [28].

5.1. Absorption racinaire

La voie principale d'absorption des métaux se fait par simple diffusion au travers de l'apoplaste du cortex racinaire et de l'endoderme. Le transport des éléments métalliques à travers la paroi cellulaire se fait passivement (non métabolique et donc dans le sens du gradient de concentration) par les pores du réseau de la cellulose, de l'hémicellulose et des glycoprotéines. Cependant, une partie des ions peut être adsorbés par les charges négatives de surface de l'acide polygalacturonique des pectines, qui agissent comme des échangeurs d'ions [35]. le plomb et le nickel sont absorbés passivement via certaines protéines de type porine, alors que le zinc et le cuivre sont absorbés activement par une protéine de transport sélective, nécessitant de l'énergie [28]. Par ailleurs, bien que le transport actif soit en principe spécifique, certains cations toxiques (Cs (césium), Cd, Pb ou Cr) sont des compétiteurs potentiels vis-à-vis des cations essentiels. Par exemple, le cadmium semble être un compétiteur connu du calcium en empruntant les canaux calciques membranaires [36]. 70% du Cd entrerait dans la racine par ce biais-là [36].

5.2. Translocation

Après leur absorption, le transport des éléments dans le xylème de la plante vers les parties aériennes, appelé « translocation », peut nécessiter ou non la prise en charge des éléments par des agents complexant, tels que les acides organiques, les acides aminés et divers peptides : le fer est pris en charge par le citrate ; le zinc peut être transporté par un complexe anionique ; la majorité du cuivre et une partie du nickel sont chélatés par un acide polyamino-polycarboxylique encore non identifié chez la tomate ; le cadmium est transporté sous forme libre [36]. Chez certaines espèces la translocation d'éléments toxiques est plus importante que chez d'autres, pouvant conduire à une accumulation des métaux dans les feuilles et les autres parties aériennes, sans que l'on sache avec rigueur si elle est due à un transport plus actif ou une absence d'immobilisation dans les racines. Le transport des éléments toxiques par le phloème est moins évident du fait que les cellules qui le constituent sont vivantes et forment un piège supplémentaire [36]. Toutefois, chez certaines plantes, la nicotianamine, dérivée de

Chapitre I : Aspect théorique de l'étude

la méthionine, pourrait être responsable du transport des métaux, Fe, Cu, Zn et Mn, dans la sève du phloème[35].

5.3. Accumulation

Certaines plantes accumulent des quantités inhabituelles d'éléments métalliques ; 100 mg/kg de matière sèche pour le Cd, 1000 mg/kg pour le Ni, le Cu, le Co ainsi que 10 000 mg/kg pour le Zn et le Mn. Ces espèces sont alors qualifiées de plante « hyperaccumulatrice » (e.g. *Alyssum bertolonii*, *Sebertia acuminata*, *Silene cobalticola*, *Thlaspi caerulescens*, *Brassica napus*, *Pteris vittata*). Ainsi, plus de 400 espèces hyperaccumulatrices sont recensées, dont plus de 300 pour le nickel et seulement une pour le cadmium. A part une possible résistance à la sécheresse et aux herbivores [37], il est encore impossible d'attribuer ce phénomène à un avantage sélectif quelconque. Dans la cellule, les métaux ayant pénétré dans le cytoplasme sont pris en charge par diverses molécules afin de les stocker ou d'éviter tout dommage cellulaire.

I.6. Toxicité et tolérance

Le premier effet des métaux lourds observable chez les végétaux est une inhibition de la croissance. Celle-ci s'accompagne très souvent de nombreux autres indices de dysfonctionnement : chlorose foliaire, importantes lésions nécrotiques, jaunissement progressif, repliement ou dessèchement du feuillage [38-40]. Pour éviter ces inconvénients, des systèmes de stockage ou de détoxification des métaux accumulés ont été sélectionnés chez certains végétaux. D'efficacité variée selon les espèces, il semble à l'heure actuelle que trois mécanismes, encore mal compris, soient largement prépondérants : la modification de la perméabilité membranaire, qui permet de réduire l'entrée des métaux dans la cellule, le système anti-oxydant, qui limite les dégâts des espèces réactives de l'oxygène et la chélation intracellulaire, qui empêche l'activité de l'ion métallique.

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1. Le matériel végétal

1.1. Récolte du matériel végétal

La récolte des échantillons de la plante l'ortie commun, (*Urtica dioica L.*) et les échantillons minérales (la terre) a été réalisés au mois de mars 2022 dans deux régions différentes :

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



Figure II.1: Zone industrielle El-Kseur, site de la collecte de la plante l'ortie commun (Google Earth).

- Zone non industrielle dans la région Boukhiana -Bejaia, pour les échantillons non contaminés **figure II.2**.



Figure II. 2 : Site non industriel Boukhiana lieu de la collecte de la plante l'ortie commun (Google Earth).

II.2. Préparation de la matière végétale et minérale

2.1. Préparation de la matière végétale :

La matière végétale analysée; les différentes parties (racine, tige, feuille) de la plante l'ortie dioica. Sont préparées comme suit :

Chapitre II : Matériels et méthodes

- Les échantillons ont été nettoyés à l'eau du robinet puis ensuite à l'eau distillée pour éliminer la poussière, et 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 mécaniquement avec moulin électrique
- Les échantillons ont été ensuite tamisés avec une passoire en nylon
- Les poudres végétales des différentes parties de la plante ont été calcinées dans un four (Nabertherm) B180 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 **Figure II.3**

Chapitre II : Matériels et méthodes

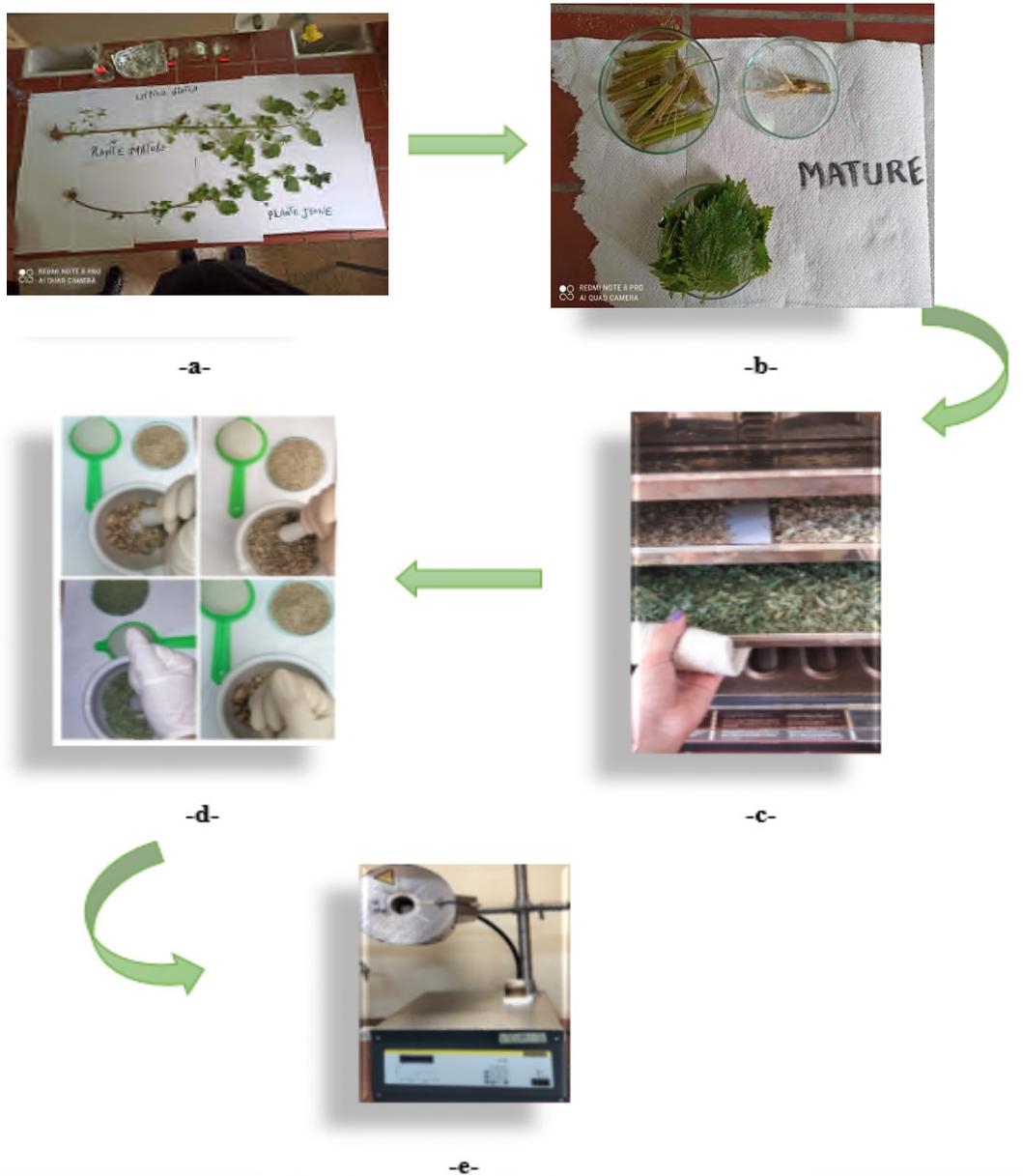


Figure II.3 : Les différentes étapes de préparations de la matière végétale a : séparation des différentes ;

- b : lavage et découpage ;
- c : séchage ;
- d : broyage et tamisage ;
- e : calcination deséchantillons ;

Chapitre II : Matériels et méthodes

2.2. Préparation de la matière minérale (la terre)

La matière minérale est la terre collectée de l'endroit même où l'ortie était plantée 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 1h
- Elle est ensuite broyée 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.3. Dosage des métaux lourds par la méthode des ajouts dosés par Spectroscopie d'adsorption atomique (SAA)

3.1. 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 (ZEGGAI F,2020). L'ensemble des analyses réalisées dans cette étude ont été effectuées au niveau du laboratoire 12, bloc 11 –universitéA. Mira sur un spectromètre (SAA) thermo scientifique ; ICE 3000Series (**FigureII.5**).

Chapitre II : Matériels et méthodes



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.

3.1.1. Préparation des échantillons végétales (racine, tige, feuille) pour le dosage par SAA

Une masse de (0.5g) de l'échantillon calciné des différentes parties de la plante (racine, tige, feuille), ont été mélangées à l'acide nitrique HNO₃ (50%), (5ml). Le mélange a été chauffé pendant 30min à 50 C et sans agitation. Après refroidissement le mélange a été filtré sur papier whatman et le filtrat obtenu a été dilué avec l'eau distillée dans une fiole de 50ml. **(Figure II.6)**

Chapitre II : Matériels et méthodes

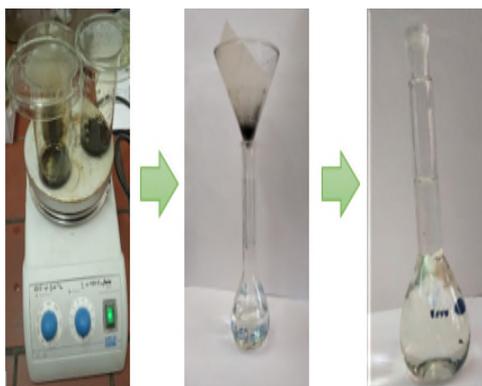
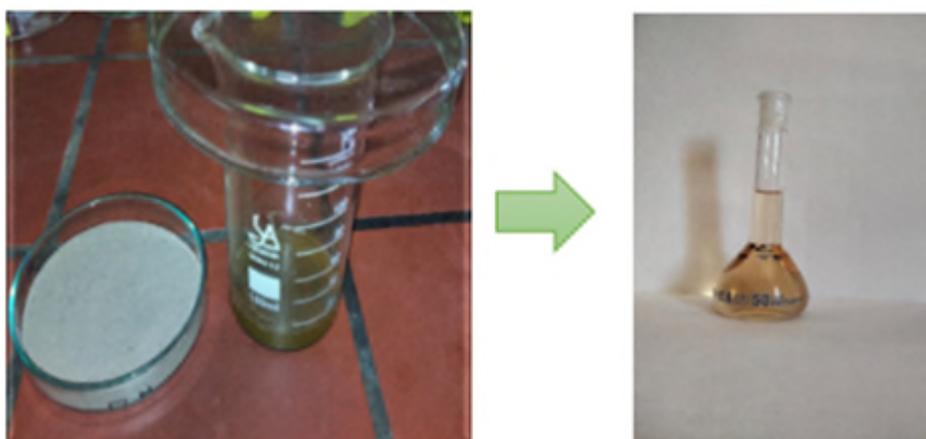


Figure II.6. : Les étapes de préparation de l'échantillon

3.1.2. Préparation de l'échantillon minéral (la terre) pour le dosage par SAA

Une masse de (1g) de l'échantillon calciné la terre a été mélangée à l'acide nitrique HNO_3 (50%), (10ml) et l'acide chlorhydrique à 20% (10 ml). Le mélange a été chauffé pendant 30min à 40°C et sans agitation. Après refroidissement le mélange a été filtré sur papier whatman et le filtrat obtenu a été dilué avec l'eau distillée dans une fiole de 50ml. (**Figure II.7**)



FigureII.7 : Etape de préparation de l'échantillon (terre)

3.2. 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.

Chapitre II : Matériels et méthodes

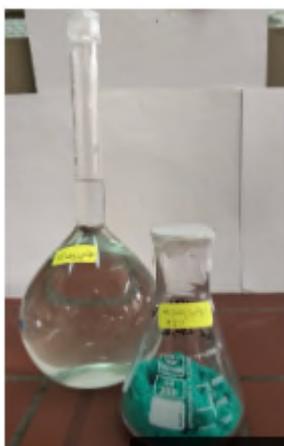
3.2.1. Préparation des solutions mères des métaux lourds (Pb, Cd, Ni, Mn).

- La solution mère de cadmium (1000mg/l) a été préparée avec nitrate de cadmium tétra hydraté ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (98.5 %) par la dissolution d'une masse de 2.13 g de ce sel dans 1L d'eau distillée. **FigureII.8**



FigureII.8 : Solution mère de cadmium étalon de cadmium (1000mg/l)

- La solution mère de Nickel (1000mg/l) a été préparée avec 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 5.05 g de ce sel dans 1L d'eau distillée. **FigureII.9.**



FigureII.9 : Solution mère de cadmium étalon 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 1.38 g de ce sel dans 1L d'eau distillée. **FigureII.10**

Chapitre II : Matériels et méthodes

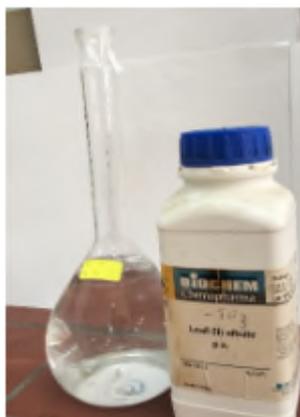


Figure II.10 : Solution mère de cadmium étalon de plomb (1000mg/l)

- La solution mère de manganèse (1000mg/l) a été préparée avec nitrate Manganèse II Tetrahydrate ($\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (98 %) par la dissolution d'une masse 3.98 g de ce sel dans 1L d'eau distillée. **Figure II.11**



Figure II.11 : Solution mère de cadmium étalon de manganèse (1000mg/l)

3.2.2. Préparations des étalons pour le dosage des métaux (Pb, Cd, Ni, Mn) dans les échantillons végétales et l'échantillon minérale

Les gammes de solutions étalent pour le dosage des métaux lourds (Pb, Cd, Ni, Mn) dans les différents échantillons végétales et l'échantillon minérale par la méthode des ajouts dosées ont été réalisées comme suit :

- Dans des fioles de 25ml, des volumes déterminés de la solution mère à (1000mg/L) de chaque métal et de l'acide nitrique (HNO_3) (5ml) ont été ajoutés, aux échantillons végétaux et

Chapitre II : Matériels et méthodes

l'échantillon minéral dilué au 10^{ème} avec l'eau distillée (**tableau II.1.**). Pour être ensuite dosés par la méthode des ajouts dosés avec (S.A.A) dont 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 et feuille) de l'Ortica Dioica et l'échantillon minéral (la terre) lieu ou cette plante a été extraite.

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

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 HNO ₃ dilue à 10% + 5ml d'échantillons végétales (Racine, tige, feuilles) ou minérale dilués au 10 ^{ème}									

II.4. Les facteurs modifiant la mobilité des éléments métalliques dans la matière minérale

4.1. 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, 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.[33]

La mesure de la conductivité dans les échantillons minéraux de la terre prélevée d'un 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 (1000 ml) pendant 24h à 25°C.

Chapitre II : Matériels et méthodes

- Après filtration sur papier whatman, la conductivité du filtrat minéral a été mesurée avec un conductimètre "WTW Cond_720" figure II.12



Figure II.12 : Un conductimètre WTW Cond_720

4.2. 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.[26] D'une façon générale, lorsque le pH augmente, les cations sont moins solubles et les anions sont plus solubles.[31] 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. [33] Cependant, elle entraîne également la dissolution de matières organiques et la formation consécutive de complexes organométalliques plus solubles.[32]. 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 211 Micro processor ph mètre) à 25°C. figure II.13



Figure II.13 : Un pH mètre (pH 211 Micro processor pH mètre)

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Résultats des dosages des métaux lourds (Pb, Cd, Ni, Mn), dans la matière végétale (les différentes parties de l'ortie : les racines, la tige, les feuilles) et la matière minérale (la terre) prélevés d'un site industriel (la zone industrielle d'el kseur –bejaia) et un site non industriel (boukhama) 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 de El kseur –Bejaia)

1.1.1. Le dosage du plomb (Pb²⁺) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles) 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, de *Urtica Dioica* et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante par SAA sont représentés respectivement sur le **Tableau III.12, Tableau III.13, Tableau III. 14 et Tableau III.15**. Dans **annexe 1**.

L'exploitation des résultats du **Tableau 12, Tableau 13, Tableau 14 et Tableau 15**. Dans **annexe 1**. A permis la réalisation des droites d'étalonnages représentant la variation de l'absorbance en fonctions de la concentration en pb²⁺ des solutions ajoutées (mg/l) à l'échantillon racine, tige, feuille de 'Urtica Dioica représentées respectivement sur **Figure III. 13, Figure III.14, Figure III.15 et Figure 16**. Dans l'**Annexe 2**

Les droites étalonnages respectifs à chaque type de dosage ont permis la détermination des équations résumé dans le **Tableau III. 1** dont l'exploitation a permis la détermination de concentration de [pb²⁺] dans les échantillons étudiés.

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau III.1 : Détermination de $[pb^{2+}]_{\text{échantillon}}$ dans les différents organes de la plante *Urtica Dioica* et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives.

Echantillon	Equation linéaire de la droite étalonnage $Abs = A * C + B$	$[pb^{2+}]_{\text{échantillon}}$ sans ajouts se calcule pour $y=0$: $[pb^{2+}] = B/A$
Racine	$0.069x + 0.007$	15.21 ppm
Tige	$0.0063x + 0.006$	14.34 ppm
Feuille	$0.0082x + 0.009$	16.49 ppm
La terre	$0.0074x + 0.034$	68.92 ppm

L'exploitation des résultats **Tableau III.1** a permis la représentation sur la **figure III.1** (organigramme pour voir la variations) de la variation de la concentration $[pb^{2+}]$ dans les différents organes de **Urtica dioica** et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante

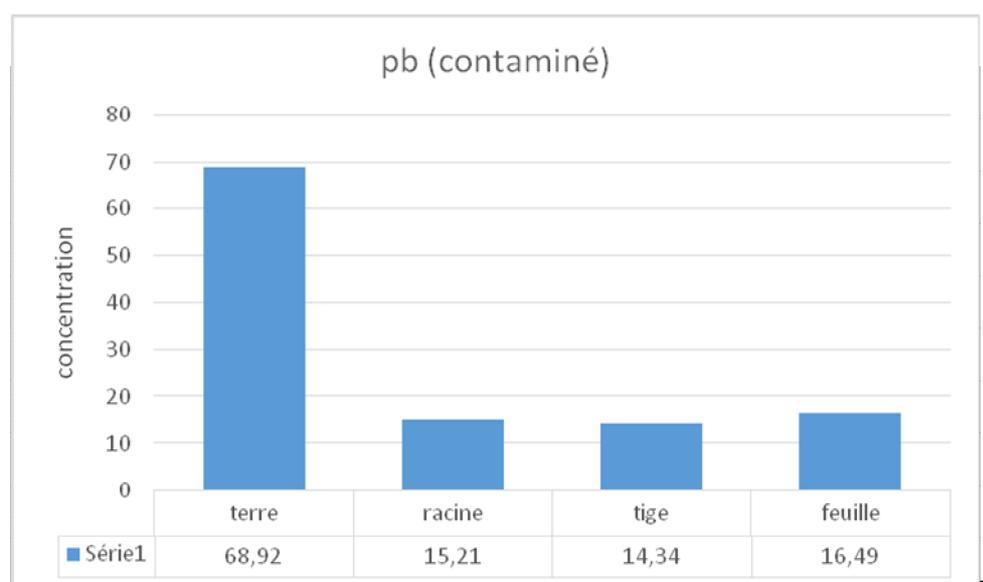


Figure III.1 : organigramme pour voir la variation de la $[pb^{2+}]$ dans les échantillons végétaux et la terre.

- Le Pb dans le sol provient essentiellement en système non anthropisé de la roche mère.

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

Chapitre III : Résultats et discussion

(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 [pb2+] Égale a (68.92 mg/l= 68.92ppm), une concentration inférieure à la concentration limite en [pb2+] (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 3)

- Les résultats obtenus pour le dosage du plomb dans les différentes parties de 'Urtica Dioica montrent que la plus grande concentration en Pb 2+ est localisée au niveau de la feuille (16.49 ppm), suivie par la racine (15.21ppm), la plus faible Concentration est constatée au niveau de la tige (14.34 mg/l). Ses Concentrations de [Pb +2] dans les différentes parties de la plante sont supérieures à la norme (0.3 ppm) 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 de la feuille.
- 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 supérieur en moyenne à 9.30 (tableau III.52). 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 Cd2+ [41].

1.1.2. Le dosage du cadmium (Cd2+) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles) et minérale (la terre) :

Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillons la racine, la tige, les feuilles, de **Urtica dioica** et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante **Urtica dioica** par SAA sont représentés respectivement sur le **Tableau III. 16**, **Tableau III. 17**, **Tableau III. 18** et **Tableau III. 19**. Dans **annexe 1**.

L'exploitation des résultats du **Tableau III. 16**, **Tableau III. 17**, **Tableau III. 18** et **Tableau III. 19**. Dans **annexe 1**. A permis la réalisation des droites d'étalonnages représentant la

Chapitre III : Résultats et discussion

variation de l'absorbance en fonctions de la concentration en $[Cd^{2+}]$ des solutions ajoutées (mg/l) à l'échantillon racine, tige, feuille de **Urtica Dioica** représentées respectivement sur la **Figure III.17, Figure III.18, Figure III.19 et Figure III.20. Dans l'Annexe 2.**

Les droites étalonnages respectifs à chaque type de dosage ont permis la détermination des équations résumé dans le **Tableau III.2** dont l'exploitation a permis la détermination de concentration de Cd^{2+} dans les échantillons étudiés.

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

Echantillon	Equation linéaire de la droite étalonnage $Abs = A \cdot C + B$	$[Cd^{2+}]$ échantillon sans ajout se calcule pour $y=0$: $[Cd^{2+}] = B/A$
Racine	$0.0123x + 0.008$	9.75 ppm
Tige	$0.0118x + 0.006$	7.62 ppm
Feuille	$0.0134x + 0.011$	12.31 ppm
La terre	$0.0128x + 0.018$	22.13 ppm

L'exploitation des résultats **tableau III.2** a permis la représentation sur la **Figure III.2** (organigramme pour voir la variations) de la variation de la concentration $[Cd^{2+}]$ dans les différents organes de **Urtica dioica** et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante

Chapitre III : Résultats et discussion

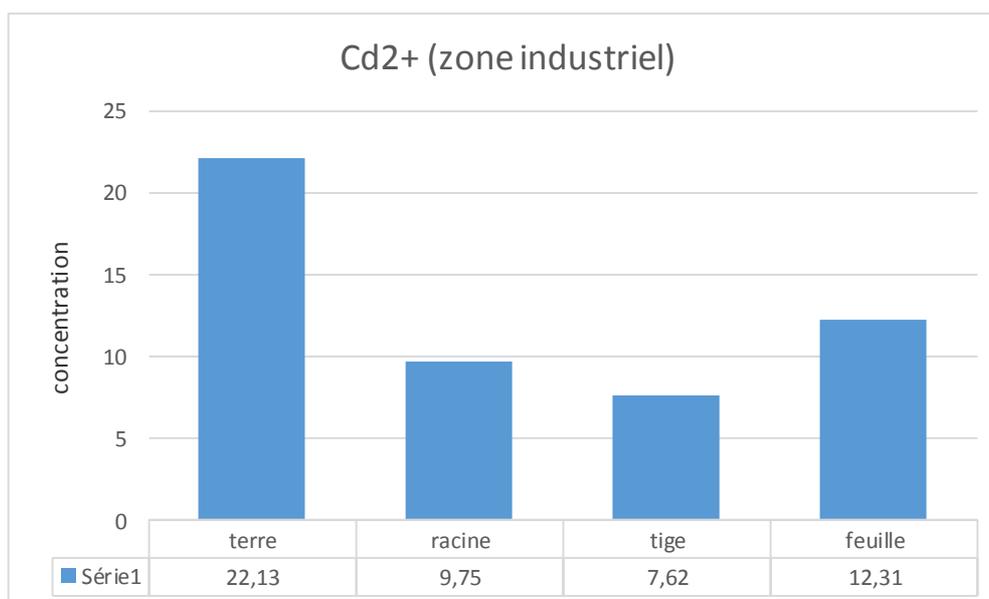


Figure III.2 : un organigramme pour voir la variation de la $[Cd^{2+}]$ dans les échantillons végétaux et la terre

- La présence de Cd^{2+} 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 [42]. La teneur trouvée dans l'échantillon prélevé du sol de la zone el- kseur est supérieure (22.13ppm) 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^{2+} 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 5**) [43]. 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.2**) montre que la plus grande concentration en $[Cd^{2+}]$ est localisée au niveau de la feuille 12.31 ppm suivie par la racine 9.75 ppm, une concentration moindre située dans la tige 7.62 ppm ; des concentrations supérieures à la norme 0.2 ppm [43]. 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

Chapitre III : Résultats et discussion

par les racines, et une migration vers les parties aériennes de la plante par la translocation, comme le [pb²⁺] [33].

1.1.3. Le dosage du nickel (Ni²⁺) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles) et minérale (la terre) :

Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=232$ dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillons la racine, la tige, les feuilles, de **Urtica dioica** et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante **Urtica dioica** par SAA sont représentés respectivement sur le **Tableau III. 20**, **Tableau III. 21**, **Tableau III. 22** et **Tableau III.23**. Dans **annexe 1**.

L'exploitation des résultats du **Tableau III. 20**, **Tableau III. 21**, **Tableau III. 22** et **Tableau III. 23**. Dans **annexe 1**.A permis la réalisation des droites d'étalonnages représentant la variation de l'absorbance en fonctions de la concentration en [Ni²⁺] des solutions ajoutées (mg/l) à l'échantillon racine, tige, feuille de **Urtica Dioica** représentées respectivement sur **Figure III.21** **Figure III.22**, **Figure III.23** et **Figure III.24**. Dans l'Annexe 2

Les droites étalonnages respectifs à chaque type de dosage ont permis la détermination des équations résumé dans le **Tableau III.3** dont l'exploitation a permis la détermination de concentration de Ni²⁺ dans les échantillons étudiés.

Tableau III.3 : Détermination de [Ni²⁺] échantillon dans les différents organes de la plante *Urtica dioica* et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives

Echantillon	Equation linéaire de la droit étalonnage Abs= A*C+ B	[Cd ²⁺]échantillon sans ajouts se calcule pour y=0 : [Cd ²⁺]=B/A
Racine	0.016x+0.028	26.25 ppm
Tige	0.0176x+0.022	18.75 ppm
Feuille	0.0174x+0.026	22.41 ppm
La terre	0.0159x+0.084	79.24 ppm

Chapitre III : Résultats et discussion

L'exploitation des résultats **Tableau III.3** a permis la représentation sur **la figure III.3** (organigramme pour voir la variations) de la variation de la concentration $[Ni^{2+}]$ dans les différents organes de **Urtica dioica** et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante.

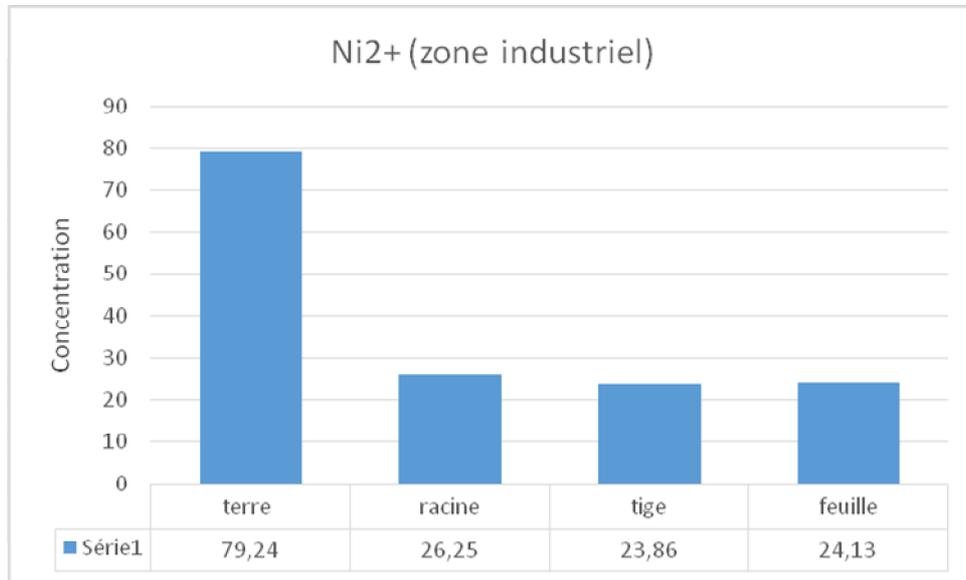


Figure III.3 : un organigramme pour voir la variation de la $[Ni]$ dans les échantillons végétaux et la terre

- 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 $[Ni^{2+}]$ dans la terre prélevée du site industriel d'el-ekseur est élevée 79.24ppm 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 [44], 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 [45].

Chapitre III : Résultats et discussion

- L'exploitation des résultats de la (**figure III.3**) indique une concentration élevée de $[Ni^{2+}]$ dans les différentes parties de la plante où la valeur la plus importante trouvée dans la racine 26.25 ppm, suivie de la feuille 22.41, la plus faible concentration est située dans la tige 18.75 ppm Les concentrations trouvées de $[Ni^{2+}]$ dans les échantillons de la plante **Urtica dioica** sont inférieurs à la norme 50ppm [46].

1.1.4. Le dosage du manganèse (Mn^{2+}) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles) et minérale (la terre) :

Les résultats du dosage du manganèse à $\lambda=279.5nm$ dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillons végétales (la racine, la tige, les feuilles) de **Urtica dioica** et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante **Urtica dioica** par SAA sont représentés respectivement sur le **tableau III.24. Tableau III.25. Tableau III.26. Tableau III.27.** Dans l'**annexe 1.**

L'exploitation des résultats du **tableau III.24 tableau III.25. Tableau III.26. Tableau III.27.** 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 de **Urtica dioica**. Elles sont représentées respectivement sur **Figure III.25, figure III.26, Figure III.27, Figure III.28 annexe 2**

L'exploitation des équations linéaires des droites 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.4.**

Tableau III.4: Détermination de $[Mn^{2+}]$ échantillon dans les différents organes de la plante **Urtica dioica** et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives

Echantillon	Equation linéaire de la droite étalonnage $Abs= A*C+ B$	$[Mn^{2+}]$ échantillon sans ajouts se calcule pour $y=0$: $[Mn^{2+}]=B/A$
Racine	0.0149x+0.064	64.43 ppm
Tige	0.014x+0.029	31.07 ppm
Feuille	0.0152+0.048	47.37 ppm
La terre	0.0056x+0.116	310.71 ppm

Chapitre III : Résultats et discussion

L'exploitation des résultats du **tableau III.4** a permis la représentation sur la **figure III.4** a variation de la concentration $[Mn^{2+}]$ dans les différents organes de *Urtica dioica* et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante.

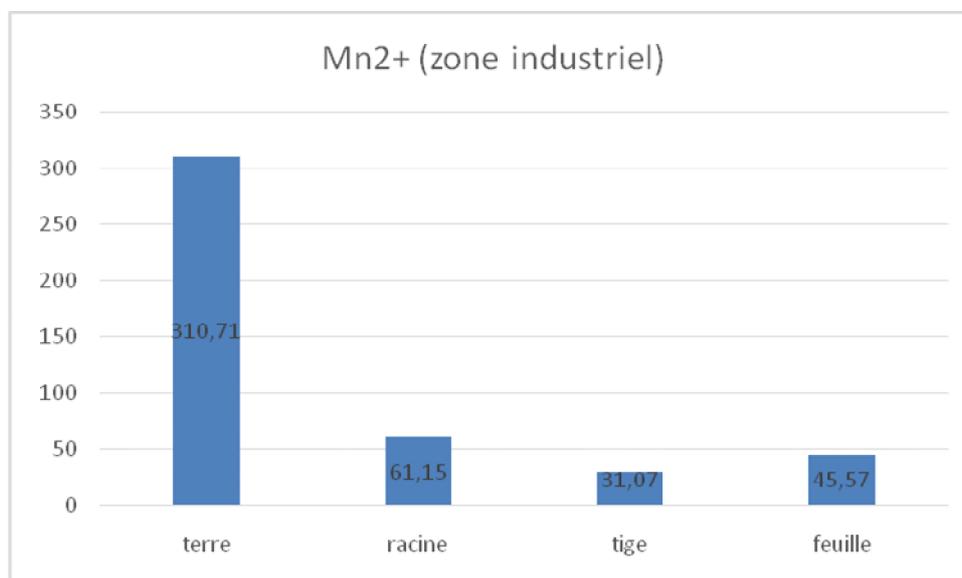


Figure III.4 : Organigramme pour voir la variation de la $[Mn^{2+}]$ dans les échantillons végétaux et la terre.

➤ 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 $10^{-4}M$) [47]. La concentration de $[Mn^{2+}]$ dans le sol étudié de la zone industrielle d'el- ekseur est de l'ordre de 310.71 ppm inférieur à la norme 1000ppm [46]. 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 [1, 46].

➤ La concentration de $[Mn^{2+}]$ dans les différentes parties de la plante est largement inférieure par rapport au 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. Une concentration de 61.15 dans la racine et par translocation dans les autres parties de la plante ; 31.07 ppm dans la tige et 45.57 ppm dans la feuille. Alors que les teneurs moyennes dans la matière sèche des plantes

Chapitre III : Résultats et discussion

cultivées vont de 50 à 150 ppm [44]. La racines contiennent plus de manganèse que n'importe quel autre organe ou partie de plantes, Relativement aux concentrations trouvées dans ce dosage, il y a pas de contamination du sol et de la plante avec le manganèse [3].

III.1.2. Le dosage des métaux lourds dans la matière végétale et minérale prélevée dans un site non contaminé (Village boukhiana)

1.2.1. Le dosage du plomb (Pb) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles) et minérale (la terre) :

Les résultats du dosage du plomb à $\lambda = 217$ dans les solutions étalons en absence et en présence des échantillons la racine, la tige, les feuilles, de *Urtica Dioica* et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante *Urtica Dioica* par SAA sont représentés respectivement sur le **Tableau III. 28**, **Tableau III. 29**, **Tableau III. 30** et **Tableau III. 31**. Dans **annexe 1**.

L'exploitation des résultats du **Tableau III. 28**, **Tableau III. 29**, **Tableau III. 30** et **Tableau III. 31**. Dans **annexe 1.A** permis la réalisation des droites d'étalonnages représentant la variation de l'absorbance en fonctions de la concentration en Pb^{2+} des solutions ajoutées (mg/l) à l'échantillon racine, tige, feuille de '*Urtica Dioica* représentées respectivement sur **Figure III .29****Figure III.30**, **Figure III. 31** et **Figure III.32**. Dans l'**Annexe 2**.

Les droites étalonnages respectifs à chaque type de dosage ont permis la détermination des équations résumé dans le **Tableau III.5** dont l'exploitation a permis la détermination de concentration de Pb^{2+} dans les échantillons étudiés.

Tableau III.5 : Détermination de $[Pb^{2+}]_{\text{échantillon}}$ dans les différents organes de la plante *Urtica Dioica* et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives

Echantillon	Equation linéaire de la droite étalonnage $Abs = A * C + B$	$[Pb^{2+}]_{\text{échantillon}}$ sans ajouts se calcule pour $y=0$: $[Pb^{2+}] = B/A$
Racine	$0.0526x + 0.002$	0.57 ppm
Tige	$0.0312x + 0.001$	0.48 ppm
Feuille	$0.0714x + 0.003$	0.63 ppm
La terre	$0.058x + 0.003$	7.75 ppm

Chapitre III : Résultats et discussion

L'exploitation des résultats du **tableau III.5** a permis la représentation sur la **Figure III.5** (organigramme pour voir la variation) de la variation de la concentration $[Pb^{2+}]$ dans les différents organes de **Urtica dioica** et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante

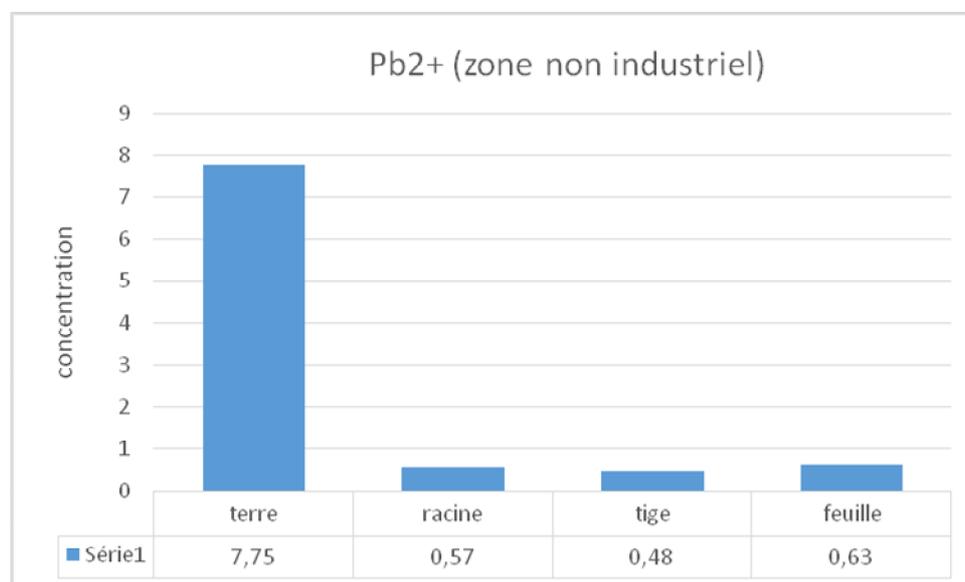


Figure III.5 : un organigramme pour voir la variation de la $[Pb^{2+}]$ dans les échantillons végétaux et la terre

- Les résultats sur la **figure III.5** montrent clairement que la concentration de $[Pb^{2+}]$ dans le sol 7.75ppm est inférieure à la concentration limite en $[Pb^{2+}]$ (100ppm) selon la norme **AFNOR U44-41**. La différence de concentration $[Pb^{2+}]$ dans la racine 0.57ppm, 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 0.48ppm et la feuille 0.63ppm. La concentration de $[Pb^{2+}]$ dans les différentes parties reste supérieure à la norme 0.3 ppm [70]. 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 minérale (la terre) :

Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ dans les solutions étalons en absence et en présence des échantillons la racine, la tige, les feuilles, de **Urtica dioica** et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante **Urtica dioica** par SAA sont

Chapitre III : Résultats et discussion

représentés respectivement sur le **Tableau III. 32**, **Tableau III. 33**, **Tableau III. 34** et **Tableau III.35**. Dans **annexe 1**.

L'exploitation des résultats des **Tableau III. 32**, **Tableau III. 33**, **Tableau III.34** et **Tableau III. 35**. Dans **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 de **Urtica Dioica** représentées respectivement sur **Figure III.33**, **Figure III.34**, **Figure III.35** et **Figure III.36**. Dans l'Annexe 2.

Les droites étalonnages respectifs à chaque type de dosage ont permis la détermination des équations résumé dans le **Tableau III.6** dont l'exploitation a permis la détermination de concentration de Pb^{2+} dans les échantillons étudiés.

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

Echantillon	Equation linéaire de la droite étalonnage $Abs = A \cdot C + B$	$[Cd^{2+}]_{\text{échantillon}}$ sans ajouts se calcule pour $y=0$: $[Cd^{2+}] = B/A$
Racine	$0.0243x + 0.002$	1.38 ppm
Tige	$0.0251x + 0.001$	0.59 ppm
Feuille	$0.0217x + 0.002$	1.23 ppm
La terre	$0.0112x + 0.003$	4.41 ppm

L'exploitation les résultats **Tableau III.6** a permis la représentation sur la **Figure III.6** (organigramme pour voir la variations) de la variation de la concentration $[Cd^{2+}]$ dans les différents organes de **Urtica dioica** et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante.

Chapitre III : Résultats et discussion

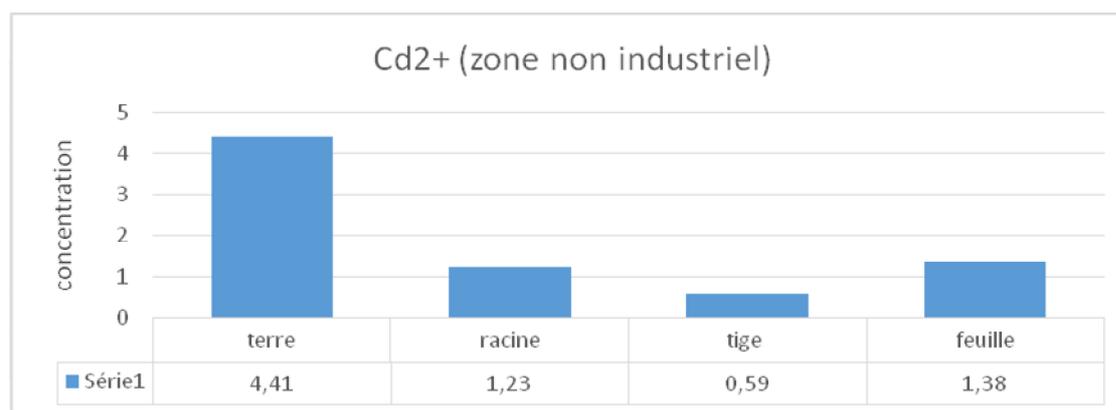


Figure III.6: un organigramme pour voir la variation de la $[Cd^{2+}]$ dans les échantillons végétaux et la terre

- L'exploitation des résultats **Figure III.6** montre clairement que la concentration de $[Cd^{2+}]$ dans la terre 4.41ppm est supérieur à la limite 2ppm de la norme **AFNOR U44-41**. Cette concentration baisse dans les différentes parties de la plante par adsorption par la racine 1.23 ppm et par translocation vers les parties aériennes où elle est dans la tige 0.59 ppm et dans la feuille 1.38ppm. Ces concentrations sont supérieures à la norme 0.2 ppm [47]. Ces résultats mettent en avant le pouvoir accumulateur et éventuellement décontaminant du $[Cd^{2+}]$ par la plante **Urtica dioica**

1.2.3. Le dosage du nikel (Ni) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles) et minérale (la terre) :

Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=232$ dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillons la racine, la tige, les feuilles, de **Urtica dioica** et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante **Urtica dioica** par SAA sont représentés respectivement sur le **Tableau III.36**, **Tableau III. 37**, **Tableau III. 38** et **Tableau III. 39**. Dans **annexe 1**.

L'exploitation des résultats du **Tableau III. 36**, **Tableau III. 37**, **Tableau III. 38** et **Tableau III. 39**. Dans **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 de **Urtica Dioica** représentées respectivement sur **Figure III.37** **Figure III.38**, **Figure III.39**et **Figure III.40**. Dans l'**Annexe 2**.

Chapitre III : Résultats et discussion

Les droites étalonnages respectifs à chaque type de dosage ont permis la détermination des équations résumé dans le **Tableau III.7** dont l'exploitation a permis la détermination de concentration de Pb^{2+} dans les échantillons étudiés.

Tableau III.7 : Détermination de $[Ni^{2+}]_{\text{échantillon}}$ dans les différents organes de la plante *Urtica dioica* et la terre par l' exploitation des équations des droites d étalonnages respectives

Echantillon	Equation linéaire de la droite étalonnage $Abs = A * C + B$	$[Ni^{2+}]_{\text{échantillon}}$ sans ajouts se calcule pour $y=0$: $[Ni^{2+}] = B/A$
Racine	$0.0138x + 0.004$	4.34
Tige	$0.0142x + 0.002$	2.11
Feuille	$0.0158x + 0.004$	3.79
La terre	$0.0084x + 0.012$	21.42

L'exploitation des résultats **Tableau III.7** a permis la représentation sur la **Figure III.7** (organigramme pour voir la variations) de la variation de la concentration $[Ni^{2+}]$ dans les différents organes de *Urtica dioica* et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante.

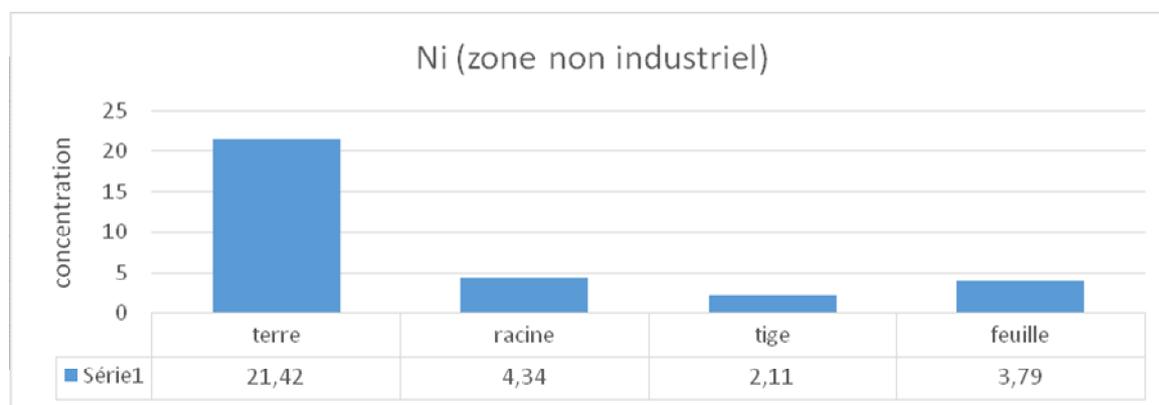


Figure III.7: un organigramme pour voir la variation de la $[Ni^{2+}]$ dans les échantillons végétaux et la terre.

- La concentration de $[Ni^{2+}]$ dans le sol étudié est de 21.42ppm, elle est inférieure par rapport à la limite 50ppm de la norme **AFNOR U44-41**. Concernant l'échantillon végétal par absorption de la plante, la concentration de $[Ni^{2+}]$ dans la racine 4.34ppm, et par translocation dans les parties aériennes, dans la tige 2.11 ppm et la feuille 3.79 ppm. Les concentrations trouvées de $[Ni^{2+}]$ dans les échantillons de la plante *Urtica*

Chapitre III : Résultats et discussion

dioica sont largement inférieures à la norme 50ppm [48]. Ces résultats laissent penser que la plante **Urtica dioica** n'a pas une grande affinité pour le $[Ni^{2+}]$

1.2.4. Le dosage du manganèse (Mn^{2+}) dans la matière végétale (les racines, les tiges, les feuilles) et minérale (la terre) :

Les résultats du dosage du manganèse à $\lambda=279.5nm$ dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillons la racine, la tige, les feuilles, de **Urtica dioica** et l'échantillon minéral (la terre) dans le point de prélèvement de la plante **Urtica dioica** par SAA sont représentés respectivement sur le **tableau III.40. Tableau III.41. Tableau III.42 et. Tableau III.43.** Dans l'**annexe 1.**

L'exploitation des résultats du **tableau III.40 tableau III.41. Tableau III.42. Tableau III.43.** 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 de **Urtica dioica**. L'ensemble des figures est représenté respectivement sur **Figure III.41, figure III.42, Figure III.43, Figure III.44.** **annexe 2**

L'exploitation des équations linéaires relatives aux droites d'étalonnages de chaque échantillon, a permis la détermination de la concentration de $[Mn^{2+}]$. L'ensemble des résultats est représenté dans **le tableau III.8**

Tableau III.8 : Détermination de $[Mn^{2+}]$ échantillon dans les différents organes de la plante **Urtica dioica** et la terre par l'exploitation des équations des droites d'étalonnages respectives

Echantillon	Equation linéaire de la droite étalonnage $Abs = A * C + B$	$[Mn^{2+}]$ échantillon sans ajouts se calcule pour $y=0$: $[Mn^{2+}] = B/A$
Racine	$0.0062x + 0.011$	26.61 ppm
Tige	$0.0098x + 0.008$	12.24 ppm
Feuille	$0.0068x + 0.010$	22.05 ppm
La terre	$0.0097x + 0.024$	37.11 ppm

Chapitre III : Résultats et discussion

L'exploitation des résultats du **tableau III.8** a permis la représentation sur la **figure III.8** de la variation de la concentration $[Mn^{2+}]$ dans les différents organes de **Urtica dioica** et l'échantillon minéral (la terre) le point de prélèvement de cette plante.

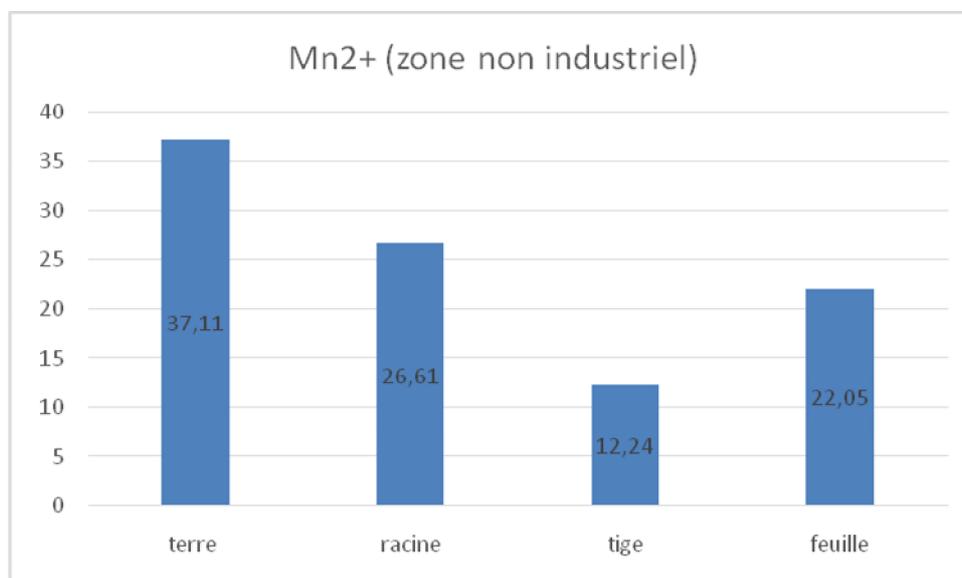


Figure III.8 : un organigramme pour voir la variation de la $[Mn^{2+}]$ dans les échantillons végétaux et la terre

- La concentration de $[Mn^{2+}]$ dans le sol étudié est de 37.11ppm, elle est inférieure à la limite 100ppm de la norme [44]. Concernant l'échantillon végétal par absorption de la plante, la concentration de $[Mn^{2+}]$ dans la racine 26.61ppm, et par translocation dans les parties aériennes, dans la tige 12.24ppm, la feuille 22.05ppm., La racine contiennent plus de manganèse que n'importe quel autre organe ou partie de plantes [49]. des concentrations qui restent dans la norme 50 à 150 ppm [44]. Cette constatation expérimentale sélectionne la plante **Urtica dioica** comme une plante absorbante de $[Mn^{2+}]$

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau III.9 : Comparaison des concentrations obtenues avec les valeurs normales de concentration (Pour tous les métaux lourds)

Echantillon	Terre	Racine	Tige	Feuille
Concentration Pb ²⁺ en (PPM)	7.75	0.57	0.48	0.63
concentration normale Pb ²⁺	100	0.3	0.3	0.3
Concentration Cd ²⁺	4.41	1.23	0.59	1.38
Concentration normale Cd ²⁺	0.2	0.2	0.2	0.2
Concentration Ni ²⁺	21.42	4.34	2.11	3.79
Concentration normale Ni ²⁺	50	1-50	1-50	1-50
Concentration Mn ²⁺	37.11	26.61	12.24	22.05
Concentration normale Mn ²⁺	1000	50 à 150	50 à 150	50 à 150

III.2. 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 (boukhiaama- bejaia)

2.1. Dosage de [pb²⁺] :

Une comparaison de la concentration de [pb²⁺] dans l'échantillon végétal (racine tige, feuille) de la plante *Urtica Dioica* et l'échantillon minéral(le sol) dans les deux sites d'études est représentée dans la **Figure III.9**

Chapitre III : Résultats et discussion

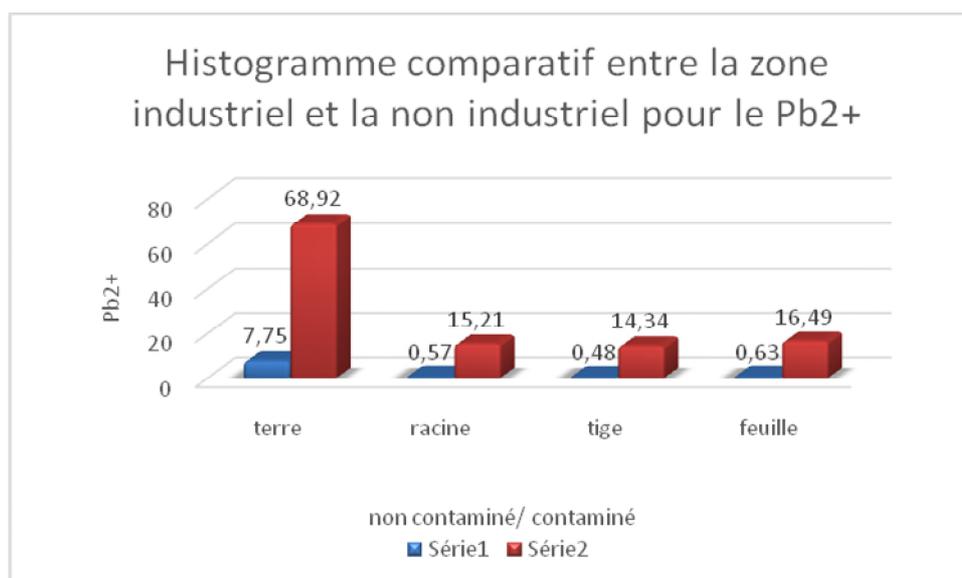


Figure III.9: Histogramme représentant la variation de la concentration de [Pb²⁺] dans les l'échantillon végétal et l'échantillon minéral (la terre) dans les deux zones d'études

- La comparaison des résultats obtenus, montre clairement que la concentration de [Pb²⁺] dans l'échantillon minéral prélevé dans le site industriel est largement supérieure par rapport aux échantillons du site non industriel. La concentration de [Pb²⁺] dans les échantillons végétaux dans le site industriel est élevée par rapport au site non industriel pour la racine par exemple la concentration de [Pb²⁺] est de 15.21 ppm, par contre dans le site non industriel elle avoisine les 0.57ppm. Les mêmes différences dans la concentration ont été observées pour les autres organes de la plante, je déduis que plus la terre est chargée en métaux lourds, plus notre plante végétale absorbe de plus grandes quantités. Ce qui confirme l'effet absorbant et décontaminant de cette plante pour [Cd²⁺] dans le sol industriel de el -ekseur .

2.2. Dosage de [Cd²⁺] :

Une comparaison de la concentration de [Cd²⁺] dans l'échantillon végétal (racine, tige, feuille) de la plante *Urtica dioica* et l'échantillon minéral (le sol) dans les deux sites d'études est représentée dans la **Figure III.10**

Chapitre III : Résultats et discussion

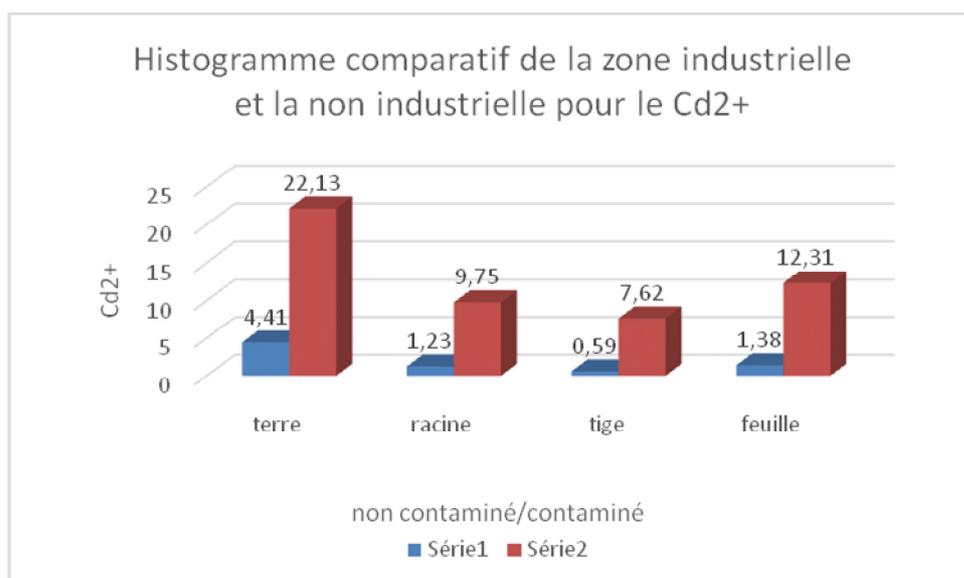


Figure III.10: Histogramme représentant la variation de la concentration de [Cd²⁺] dans les l'échantillon végétal et l'échantillon minéral (la terre) dans les deux zones d'études

- La comparaison des résultats obtenus, montre clairement que la concentration de [Cd²⁺] dans l'échantillon minéral prélevé dans le site industriel est largement supérieure par rapport aux échantillons du site non industriel. La concentration de [Cd²⁺] dans les échantillons végétaux dans le site industriel est élevée par rapport au site non industriel pour la racine par exemple la concentration de [Cd²⁺] est de 9.75 ppm, par contre dans le site non industriel elle avoisine les 1.23ppm. Les mêmes différences dans la concentration ont été observées pour les autres organes de la plante, je déduis que plus la terre est chargée en métaux lourds, plus notre plante végétale absorbe de plus grandes quantités. Ce qui confirme l'effet absorbant et décontaminant de cette plante pour [Cd²⁺] dans le sol industriel de el -ekseur .

2.3. Dosage de[Ni²⁺] :

Une comparaison de la concentration de [Ni²⁺] dans l'échantillon végétal (racine, tige, feuille) de la plante *Urtica Dioica* et l'échantillon minéral (le sol) dans les deux sites d'études est représentée dans la **Figure III.11**

Chapitre III : Résultats et discussion

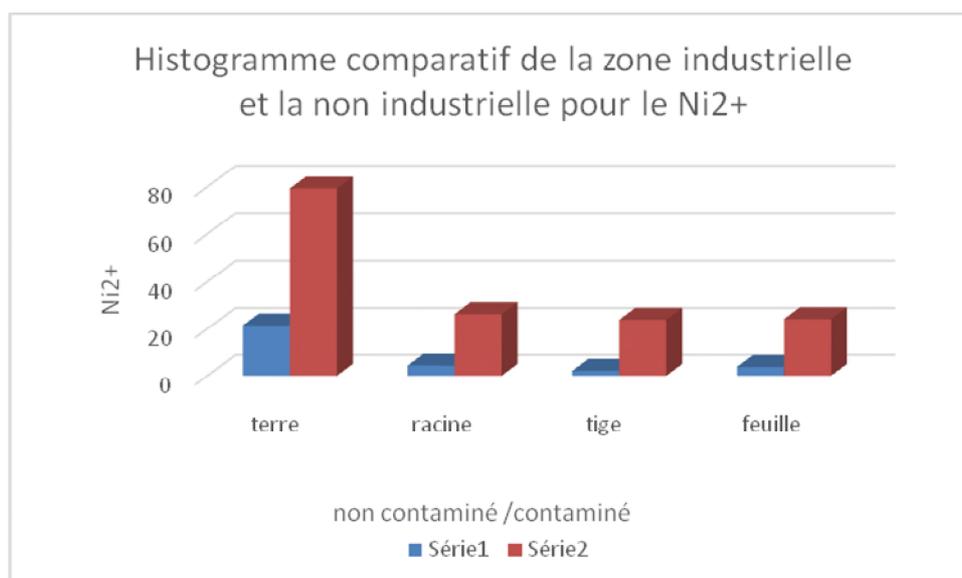


Figure III.11: Histogramme représentant la variation de la concentration de [Ni²⁺] dans l'échantillon végétal et l'échantillon minéral (la terre) dans les deux zones d'études

- La comparaison des résultats obtenus, montre clairement que la concentration de [Ni²⁺] dans l'échantillon minéral prélevé dans le site industriel est largement supérieure par rapport aux échantillons du site non industriel. La concentration de [Ni²⁺] dans les échantillons végétaux dans le site industriel est élevée par rapport au site non industriel pour la racine par exemple la concentration de [Ni²⁺] est de 26.25 ppm, par contre dans le site non industriel elle avoisine les 4.34 ppm. Les mêmes différences dans la concentration ont été observées pour les autres organes de la plante, je déduis que plus la terre est chargée en métaux lourds, notre plante végétale absorbe de plus grandes quantités. Ce qui confirme l'effet absorbant et décontaminant de cette plante pour [Ni²⁺] dans le sol industriel de el -ekseur .

2.4. Dosage de [Mn²⁺]: une comparaison de la concentration de [Mn²⁺] dans l'échantillon végétal (racine, tige, feuille) de la plante '*Urtica Dioica* et l'échantillon minéral (le sol) dans les deux sites d'études est représentée dans la **Figure III.12**

Chapitre III : Résultats et discussion

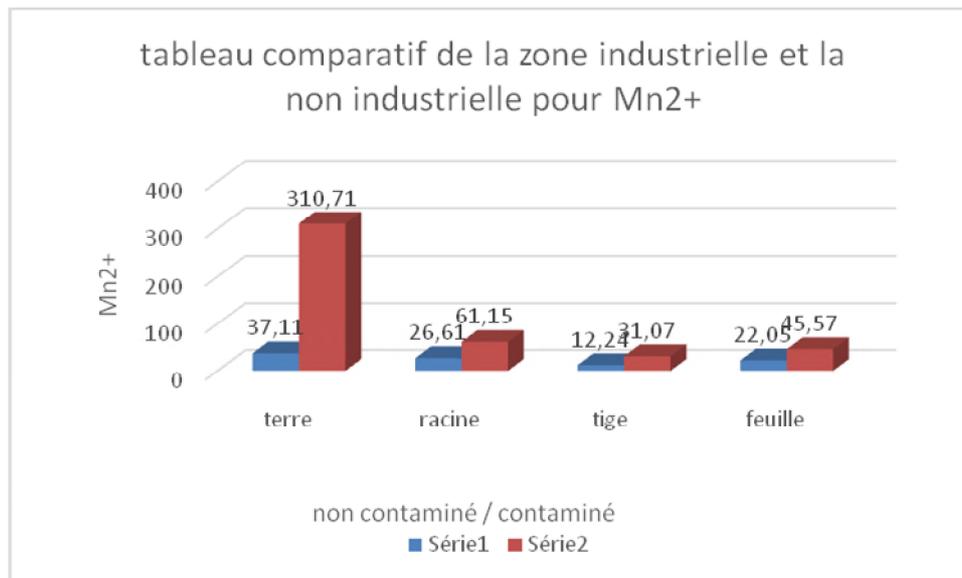


Figure III.12: Histogramme représentant la variation de la concentration de [Mn²⁺] dans l'échantillon végétal et l'échantillon minéral (la terre) dans les deux zones d'études

- La comparaison des résultats obtenus, montre clairement que la concentration de [Mn²⁺] dans l'échantillon minéral prélevé dans le site industriel est largement supérieure par rapport aux échantillons du site non industriel. La concentration de [Mn²⁺] dans les échantillons végétaux dans le site industriel est élevée par rapport au site non industriel pour la racine par exemple la concentration de [Mn²⁺] est de 61.15 ppm, par contre dans le site non industriel elle avoisine les 26.61ppm. Les mêmes différences dans la concentration ont été observées pour les autres organes de la plante, je déduis que plus la terre est chargée en métaux lourds, plus notre plante végétale absorbe de plus grandes quantités. Ce qui confirme l'effet absorbant et décontaminant de cette plante pour [Mn²⁺] dans le sol industriel de el -ekseur .

Chapitre III : Résultats et discussion

III.3. Facteurs physiques modifiant la mobilité des éléments dans la matière minérale (la sol) prélevé du site industriel et non industriel

III.3.1. 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.10**.

Tableau III.10: 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 boukhama- Bejaia
1 essai	186.2	51.8
2 essai	197.4	62.4
3 essai	201.2	59.5
Moyenne	194.93	57.9

Selon les résultats illustrés sur le **tableau III.10**, la valeur moyenne de la conductivité électrique de la zone industrielle 194.93($\mu\text{s}/\text{cm}$) est supérieure, à la valeur moyenne de la conductivité dans la zone non industrielle est de 57.9 ($\mu\text{s}/\text{cm}$), 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) prélevés dans la zone industrielle par rapport à ceux prélevés dans la zone non industrielle [50].

Chapitre III : Résultats et discussion

III.3.2. 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.11**

Tableau III.11 : 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 boukhiamma-bejaia
1 essai	9.73	7.52
2 essai	9.12	7.37
3 essai	9.22	7.28

Les mesures du pH des sols issus de la zone industrielle de El-kseur et la zone non industrielle boukhiamma représenté dans la **tableau III.11** montrent clairement que le sol de la zone industrielle est plus basique il varie entre 9.22 et 9.73 par contre le pH de la zone non industrielle est neutre entre 7.28 et 7.52. 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 [42]. Au-dessus de pH 7, le manganèse est immobilisé dans le sol, sous forme d'oxydes tri- et tétravalents très peu solubles [47], 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 -ekseur est basique (9.30) (**tableau III.11**). 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 [51]. Concernant le cadmium, lorsque le pH augmente la mobilité du Cd peut s'accroître au travers de la formation de complexes ou chélates mobile [43]. Dans le sol,

Chapitre III : Résultats et discussion

la mobilité du Ni est d'autant plus importante que le pH est faible [51]. Dans le cas du sol étudié le pH est basique (9.30).

Conclusion

Conclusion

La pollution de l'environnement est devenue en quelques décennies un des problèmes majeurs qui conditionne l'avenir de notre civilisation. En effet, les dégradations de plus en plus étendues qui résultent de la pollution de l'écosphère compromettent la stabilité des écosystèmes affectés et par conséquent le renouvellement de ressources naturelles biologiques, voire minérales, considérées voici peu encore comme inépuisables et gratuites, telles l'air, l'eau et le sol. Les méthodes biologiques offrent une nouvelle alternative de traitement 'in situ' pour certaines pollutions, elles sont de faibles coûts et privilégiées par rapport aux autres méthodes.

Jour après jour les biotechnologies prennent une part croissante pour résoudre des problèmes environnementaux depuis plusieurs siècles, il a été démontré que la présence de certains métaux lourds (Cu ou autres) dans les sols conduit à une croissance et une coloration anormale des plantes [52].

Il nous semble intéressant dans la mesure où ces phénomènes résultent d'une accumulation de certains cations d'utiliser des végétaux pour détoxifier les sols pollués par des métaux lourds. 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 de *Ortica Dioica* (racine, tige, feuilles) prélevé dans un site industriel à el-ekseur - bejaia et un site non industriel boukhama- bejaia, ainsi que le sol où ses plantes ont évolué. 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 l'étude menée montrent que :

- La comparaison des résultats obtenus, montre clairement que la concentration de $[Pb^{2+}]$ dans l'échantillon minéral prélevé dans le site industriel est largement supérieure 68.90 ppm par rapport aux échantillons du site non industriel. 7.75 ppm, des valeurs pour les deux sites inférieures à 100 ppm de la norme **AFNOR U44-41**.
- La concentration de $[Pb^{2+}]$ dans les échantillons végétaux dans le site industriel est élevée par rapport au site non industriel, pour la racine par exemple la concentration de $[Pb^{2+}]$ est de 15.21 ppm, par contre dans le site non industriel elle avoisine les 0.57 ppm.

Conclusion

La même chose a été observée pour les autres organes de la plante, cela confirme l'effet absorbant de cette plante de [pb2+] du sol de la zone industrielle et ekseur

- Les résultats du dosage de [Cd2+], montre clairement que sa concentration dans le sol prélevé dans le site industriel 22.13ppm est largement supérieure par rapport aux échantillons du site non industriel(4.41ppm).et dans les deux sites ; elle est supérieure à 2ppm de la norme **AFNOR U44-41**. Ce qui confirme la contamination des deux sites avec le cadmium
- La concentration de [Cd2+] dans les échantillons végétaux dans le site industriel est élevée par rapport au site non industriel pour la racine par exemple la concentration de [Cd2+] est de 9.75 ppm, par contre dans le site non industriel elle avoisine les 1.23ppm. Les mêmes différences dans la concentration ont été observées pour les autres organes de la plante, ce qui laisse penser que le [Cd2+] passe de la racine vers les parties aériennes de la plante par translocation et accumulé au niveau de la feuille 12.31ppm
- La concentration de [Ni2+] dans l'échantillon minéral prélevé dans le site industriel est largement supérieure par rapport aux échantillons du site non industriel. Et dans le premier site elle est supérieure à la norme de 50ppm ce qui confirme la contamination du sol de la zone industrielle avec le nickel et qui n'est pas le cas du sol de Boukhiam
- La concentration de [Ni2+] dans les échantillons végétales dans le site industriel est élevée par rapport au site non industriel, pour la racine par exemple la concentration de [Ni2+] est de 26.25 ppm, par contre dans le site non industriel elle avoisine les 4.34 ppm. La même constatation a été remarquée pour les autres organe de la plante, ce qui laisse supposer que le [Ni2+] a été absorbé par la racine et transmis vers les autres organes par translocation
- La concentration de [Mn2+] dans l'échantillon minéral prélevé dans le site industriel est largement supérieure par rapport aux échantillons du site non industriel mais dans les deux sites elle est inférieure à la norme 1000ppm
- La concentration de [Mn2+] dans les échantillons végétaux dans le site industriel est élevée par rapport au site boukhiam. La concentration de [Mn2+] dans la feuille de la plante prélevée dans les deux sites est supérieure à sa concentration dans la tige et de ce fait [Mn2+] est accumulé dans la feuille
- La valeur moyenne de la conductivité électrique de la zone 194.93(μs/cm) est supérieure à la valeur moyenne de la conductivité dans la zone non industrielle est de 57.9 (μs/cm),

Conclusion

- Le pH du sol a un effet très marqué sur la concentration et la mobilité des éléments métalliques dans la matière minérale (le sol) prélevé du site industriel et non industriel

Comme synthèse, et conformément aux résultats expérimentaux trouvés dans cette étude le *l' Ortica Dioica* , peut être considéré comme une plante bioindicatrice et biodecontaminante des sols contaminés par certains métaux lourds [pb²⁺] [cd²⁺],[Ni²⁺]et [Mn²⁺].

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

Références

Références

1. Lecomte, P. and P. Broquet, *Polluted sites: soils and ground waters treatment; Les sites pollués: traitement des sols et des eaux souterraines*. 1998.
2. Adriano, D.C., *Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals*. Vol. 860. 2001: Springer.
3. Abrahams, P., *Soils: their implications to human health*. Science of the Total Environment, 2002. **291**(1-3): p. 1-32.
4. Martin, H., et al., *Evaluation of three herbaceous index plant species for bioavailability of soil cadmium, chromium, nickel and vanadium*. Plant and soil, 1996. **182**(2): p. 199-207.
5. Klimešová, J., *Population dynamics of Phalaris arundinacea L. and Urtica dioica L. in a floodplain during a dry period*. Wetlands Ecology and Management, 1995. **3**(2): p. 79-85.
6. Di Virgilio, N., et al., *The potential of stinging nettle (Urtica dioica L.) as a crop with multiple uses*. Industrial Crops and Products, 2015. **68**: p. 42-49.
7. DE PHARMACIE, U.D.M.E., *Utilisations de l'ortie-Urtica dioica L.*
8. Barot, A., *ortie, sa valeur alimentaire, fourragère, textile, industrielle & économique, sa culture en France & en Suède*. 1891.
9. Draghi, F., *L'ortie dioïque (Urtica dioica L.): étude bibliographique*. 2005, UHP-Université Henri Poincaré.
10. Schauenberg, P. and F. Paris, *Guide des plantes médicinales: analyse, description et utilisation de 400 plantes*. 2005: Delachaux et Niestlé.
11. Couplan, F., *Remèdes et recettes à l'ortie: Les bonnes plantes de nos grands-mères*. 2013: Fleurus.
12. Bourgeois, C., et al., *Nettle (Urtica dioica L.) as a source of antioxidant and anti-aging phytochemicals for cosmetic applications*. Comptes Rendus Chimie, 2016. **19**(9): p. 1090-1100.
13. Tissier, Y., *Les vertus de l'ortie*. 2011: Le Courrier du Livre.
14. Buronzo, A.M., *Les incroyables vertus de l'ortie*. 2013: Éditions Jouvence.
15. Teuscher, E., R. Anton, and A. Lobstein, *Plantes aromatiques: épices, aromates, condiments et huiles essentielles*. 2005: Tec & Doc.
16. Bisht, S., S. Bhandari, and N. Bisht, *Urtica dioica (L): an undervalued, economically important plant*. Agric Sci Res J, 2012. **2**(5): p. 250-252.
17. Botineau, M., *Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs*. 2010: Tec & doc.
18. Anton, R. and M. Bernard, *Plantes thérapeutiques: tradition, pratique officinale, science et thérapeutique*. 2003: Tec & Doc.
19. Langlade, V., *L'Ortie dioïque, Urtica dioica, L.* 2010, Thèse de docteur en pharmacie, Université de Nantes.
20. Delvaille, A., *Toutes les vertus d'un produit miracle: l'ortie*. Artémis. Losanges. 160p, 2013.
21. Bertrand, *les secrets de l'ortie*. Le compagnon vegetal, 2002. **1**.
22. <http://www.intelligenceverte.org/purin-ortie.asp>.
23. Blandine, B., et al., *La Multi Valorisation de l'Ortie*. 2014.
24. Scheifler, R., et al., *"Nonavailable" soil cadmium is bioavailable to snails: evidence from isotopic dilution experiments*. Environmental science & technology, 2003. **37**(1): p. 81-86.
25. Janssen, C., et al., *Environmental risk assessment of metals: tools for incorporating bioavailability*. Environment international, 2003. **28**(8): p. 793-800.
26. McLaughlin, M.J., et al., *Soil testing for heavy metals*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2000. **31**(11-14): p. 1661-1700.
27. Van Straalen, N.M., *Assessment of soil contamination—a functional perspective*. Biodegradation, 2002. **13**(1): p. 41-52.
28. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias, *Trace elements in soils and plants, 3rd edn CRC Press*. Boca Raton, FL, USA, 2001.

Références

29. Lespagnol, G., *Lixiviation du Chrome, du Cuivre et de l'Arsenic (CCA) à partir de sols contaminés sur des sites de traitement du bois*. 2003, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.
30. Sigg, L., P. Behra, and W. Stumm, *Chimie des milieux aquatiques*. 2001: Dunod.
31. Blanchard, C., *Characterization of the potential mobilization of inorganic pollutants in polluted soils; Caractérisation de la mobilisation potentielle des polluants inorganiques dans les sols pollués*. 2000.
32. Chaignon, V., *Biodisponibilité du cuivre dans la rhizosphère de différentes plantes cultivées. Cas de sols viticoles contaminés par de fongicides*. 2001, Aix-Marseille 3.
33. Deneux-Mustin, S., et al., *Mobilité et transfert racinaire des éléments en traces (influence des micro-organismes du sol)*. 2003.
34. Rengel, Z., *Heavy metals as essential nutrients*, in *Heavy metal stress in plants*. 2004, Springer. p. 271-294.
35. Briat, J.-F. and M. Lebrun, *Plant responses to metal toxicity*. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie, 1999. **322**(1): p. 43-54.
36. Greger, M., *Metal availability and bioconcentration in plants*, in *Heavy metal stress in plants*. 1999, Springer. p. 1-27.
37. Boyd, R., *Hyperaccumulation as a plant defensive strategy*. Plants that hyperaccumulate heavy metals, 1998.
38. Devi, S.R. and M. Prasad, *Membrane lipid alterations in heavy metal exposed plants*, in *Heavy metal stress in plants*. 1999, Springer. p. 99-116.
39. Dietz, K.-J., M. Baier, and U. Krämer, *Free radicals and reactive oxygen species as mediators of heavy metal toxicity in plants*, in *Heavy metal stress in plants*. 1999, Springer. p. 73-97.
40. Cheng, S., *Effects of heavy metals on plants and resistance mechanisms*. Environmental Science and Pollution Research, 2003. **10**(4): p. 256-264.
41. Benitez, L.N. and J.-P. Dubois, *Evaluation of the selectivity of sequential extraction procedures applied to the speciation of cadmium in soils*. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 1999. **74**(1-4): p. 289-303.
42. Loué, J.-F. and P. Messerlin, *Le Grand marché et le commerce extérieur*. Revue de l'OFCE, 1993. **43**(1): p. 243-272.
43. Remon, E., *Tolérance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée des friches métallurgiques: vers de nouvelles méthodes de bio-dépollution*. 2006, Université Jean Monnet-Saint-Etienne.
44. Turner, A. and E. Mawji, *Octanol-solubility of dissolved and particulate trace metals in contaminated rivers: implications for metal reactivity and availability*. Environmental Pollution, 2005. **135**(2): p. 235-244.
45. Jopony, M. and S. Young, *Assessment of lead availability in soils contaminated by mine spoil*. Plant and Soil, 1993. **151**(2): p. 273-278.
46. Kabata-Pendias, A. and W. Sadurski, *Trace elements and compounds in soil*. Elements and their compounds in the environment: Occurrence, analysis and biological relevance, 2004: p. 79-99.
47. Perrono, P., *Les micro-polluants métalliques et les sols amendés par des boues résiduaires urbaines*. Mém. DUESS., université de Picardie, Amiens, France, 1999.
48. Hendriksen, R.S., et al., *Genomic signature of multidrug-resistant Salmonella enterica serovar Typhi isolates related to a massive outbreak in Zambia between 2010 and 2012*. Journal of clinical microbiology, 2015. **53**(1): p. 262-272.
49. Schäfer, K., et al., *Leptin promotes vascular remodeling and neointimal growth in mice*. Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology, 2004. **24**(1): p. 112-117.
50. Boluyt, M.O., et al., *Changes in the rat heart proteome induced by exercise training: Increased abundance of heat shock protein hsp20*. Proteomics, 2006. **6**(10): p. 3154-3169.

Références

51. Fa, J.E., et al., *Impact of market hunting on mammal species in Equatorial Guinea*. Conservation biology, 1995. **9**(5): p. 1107-1115.
52. Shewry, P., H. Woolhouse, and K. Thompson, *Relationships of vegetation to copper and cobalt in the copper clearings of Haut Shaba, Zaire*. Botanical Journal of the Linnean Society, 1979. **79**(1): p. 1-35.

Annexes

ANNEXE 1 :

Résultats de dosage des métaux lourds dans les échantillons végétaux et minéraux dans le site industriel et non industriel.

- **Site industriel**

- **Le dosage du plomb Pb**

Tableau III.12 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, *Urtica Dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.007	0.072	0.098	0.121	0.157	0.174	0.196	0.225	0.253	0.273

Tableau III.13 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.006	0.068	0.092	0.103	0.133	0.169	0.187	0.203	0.229	0.253

Tableau III.14 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la feuille, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.009	0.084	0.116	0.141	0.164	0.211	0.249	0.275	0.293	0.332

Annexes

Tableau III.15 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.034	0.088	0.121	0.147	0.189	0.212	0.245	0.261	0.292	0.347

➤ **Le dosage du cadmium Cd**

Tableau III.16 : Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, *Urtica Dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.008	0.129	0.161	0.226	0.261	0.313	0.359	0.402	0.432	0.489

Tableau III.17 : Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.006	0.111	0.151	0.206	0.254	0.307	0.351	0.374	0.411	0.474

Annexes

Tableau III.18 : Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la feuille, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.006	0.118	0.162	0.215	0.268	0.317	0.361	0.379	0.425	0.481

Tableau III.19 : Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.018	0.134	0.168	0.235	0.276	0.312	0.362	0.401	0.446	0.504

- **Le dosage du nickel Ni**

Tableau III.20 : Les résultats du dosage du nickel à $\lambda=232$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, *Urtica Dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.028	0.164	0.247	0.283	0.359	0.421	0.512	0.541	0.596	0.623

Annexes

Tableau III.21 : Les résultats du dosage du nickel à $\lambda=232$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.022	0.149	0.228	0.358	0.401	0.473	0.536	0.594	0.652	0.678

Tableau III.22 : Les résultats du dosage du nickel à $\lambda=232$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la feuille, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.026	0.168	0.231	0.367	0.405	0.463	0.528	0.587	0.649	0.673

Tableau III.23 : Les résultats du dosage du nickel à $\lambda=232$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.084	0.194	0.267	0.345	0.423	0.501	0.564	0.597	0.641	0.684

Annexes

➤ Le dosage du Manganèse

Tableau III.24 : Les résultats du dosage du Manganèse à $\lambda=279.5$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mn] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.116	0.313	0.436	0.503	0.574	0.721	0.782	0.872	0.962	0.974

Tableau III.25 : Les résultats du dosage du Manganèse à $\lambda=279.5$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, *Urtica Dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mn] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.064	0.174	0.213	0.268	0.341	0.409	0.479	0.547	0.628	0.674

Tableau III.26 : Les résultats du dosage du Manganèse à $\lambda=279.5$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige , *Urtica Dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mn] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.029	0.138	0.198	0.235	0.297	0.347	0.416	0.473	0.551	0.607

Annexes

Tableau III.27 : Les résultats du dosage du Manganèse à $\lambda=279.5$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la feuille, Urtica Dioica

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mn] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.048	0.164	0.208	0.282	0.341	0.405	0.462	0.547	0.611	0.659

- **Site non contaminé : Village boukhama**

- **Le dosage du plomb Pb**

Tableau III.28 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, Urtica Dioica

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.002	0.018	0.024	0.031	0.038	0.048	0.056	0.063	0.072	0.082

Tableau III.29 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige, Urtica dioica

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.006	0.111	0.151	0.206	0.254	0.307	0.351	0.374	0.411	0.474

Annexes

Tableau III.30 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la feuille, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.006	0.118	0.162	0.215	0.268	0.317	0.361	0.379	0.425	0.481

Tableau III.31 : Les résultats du dosage du plomb à $\lambda=217$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[pb] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.003	0.042	0.051	0.075	0.086	0.103	0.121	0.134	0.163	0.182

➤ Le dosage du cadmium Cd

Tableau III.32 : Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, *Urtica Dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.002	0.038	0.067	0.081	0.093	0.0107	0.119	0.147	0.162	0.184

Annexes

Tableau III.33 : Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.001	0.034	0.049	0.061	0.072	0.084	0.099	0.115	0.131	0.149

Tableau III.34 : Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la feuille, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.003	0.062	0.072	0.087	0.095	0.112	0.127	0.152	0.166	0.189

Tableau III.35 : Les résultats du dosage du cadmium à $\lambda=467$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[cd] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.003	0.044	0.062	0.076	0.104	0.123	0.149	0.174	0.198	0.222

Annexes

➤ Le dosage du nickel Ni

Tableau III.36: Les résultats du dosage du Nickel à $\lambda=232$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, *Urtica Dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.004	0.074	0.102	0.145	0.167	0.202	0.232	0.258	0.282	0.297

Tableau III.37 : Les résultats du dosage du nickel à $\lambda=232$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.002	0.063	0.091	0.118	0.143	0.161	0.204	0.228	0.248	0.263

Tableau III.38 : Les résultats du dosage du nickel à $\lambda=232$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la feuille, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.004	0.086	0.104	0.132	0.152	0.184	0.204	0.255	0.271	0.289

Annexes

Tableau III.39: Les résultats du dosage du nikel à $\lambda=232$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, Urtica dioica

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Ni] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.004	0.081	0.108	0.132	0.162	0.198	0.223	0.247	0.275	0.302

➤ **Le dosage du manganèse**

Tableau III.40 : Les résultats du dosage du manganèse à $\lambda=279.5$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la terre, Urtica dioica

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mn2+] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.024	0.074	0.092	0.113	0.129	0.167	0.187	0.209	0.247	0.268

Tableau III.41 : Les résultats du dosage du manganèse à $\lambda=279.5$ nm dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la racine, Urtica dioica

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mn2+] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.011	0.028	0.038	0.048	0.053	0.068	0.078	0.092	0.102	0.118

Annexes

Tableau III.42 : Les résultats du dosage du manganèse à $\lambda=279.5$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige, *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mn ²⁺] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.008	0.024	0.035	0.047	0.059	0.064	0.077	0.082	0.088	0.095

Tableau III.43 : Les résultats du dosage du manganèse à $\lambda=279.5$ mn dans les solutions étalons en absence et en présence des l'échantillon la tige , *Urtica dioica*

Identifiants	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
[Mn ²⁺] (mg/l) dans les solutions étalons	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Absorbance	0.010	0.028	0.036	0.049	0.055	0.065	0.069	0.080	0.095	0.102

Annexes

ANNEXE 2 :

Les droites des étalonnages

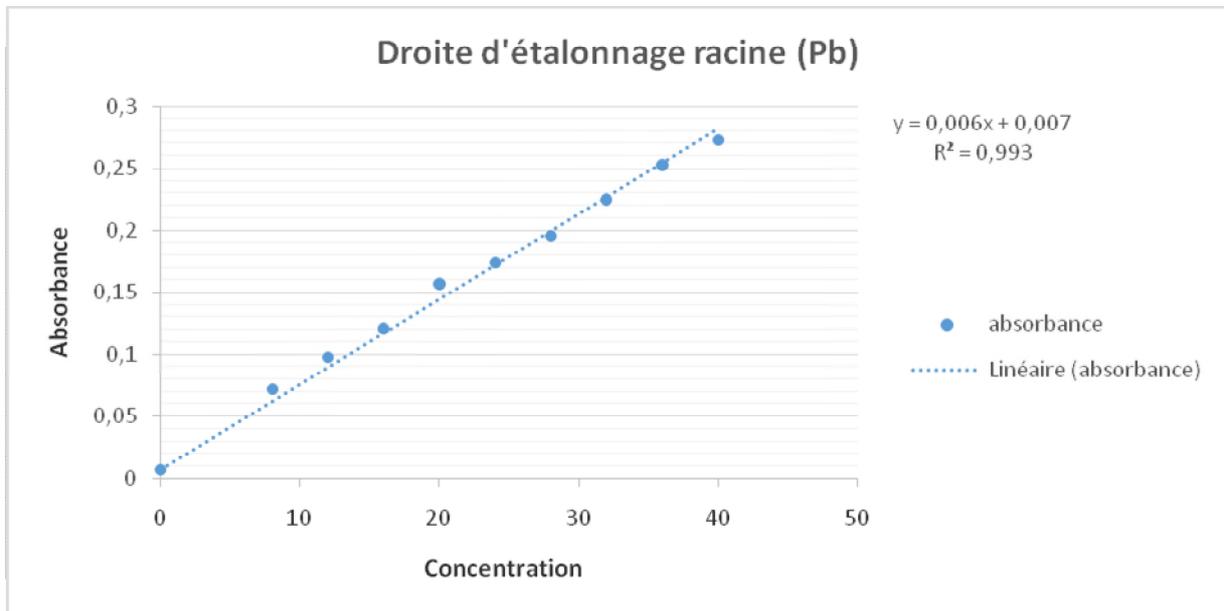


Figure III.13: droite d'étalonnage du dosage de Pb^{2+} dans les racines du site industriel

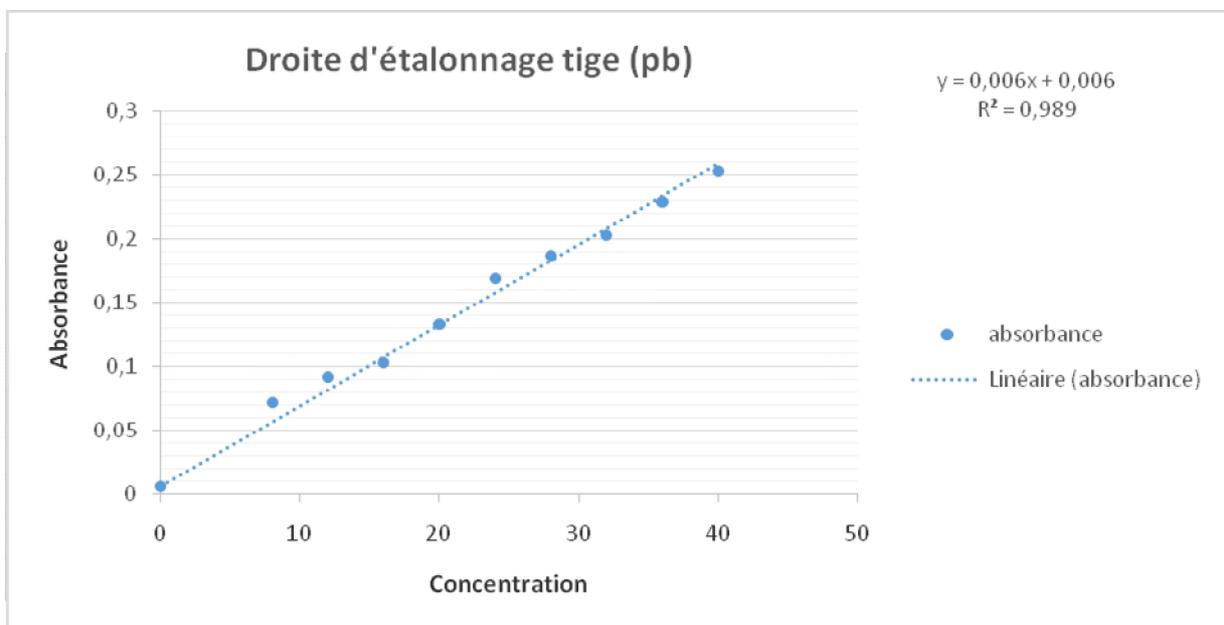


Figure III.14: droite d'étalonnage du dosage de Pb^{2+} dans les tiges du site industriel

Annexes

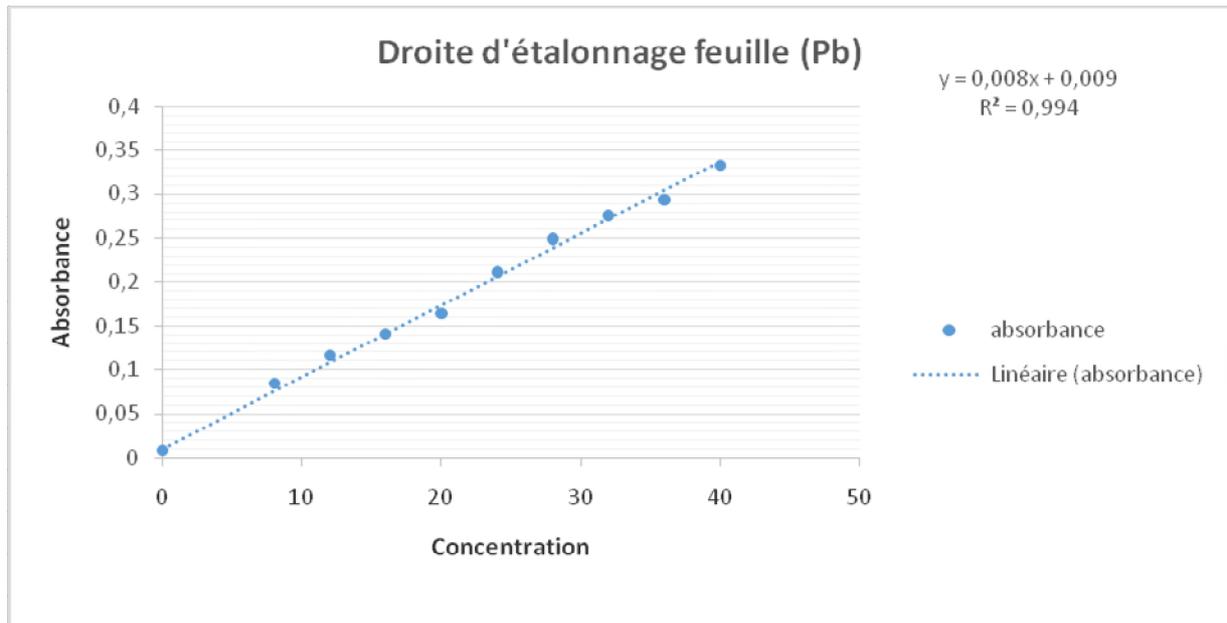


Figure III.15 : droite d'étalonnage du dosage de Pb^{2+} dans les feuilles du site industriel

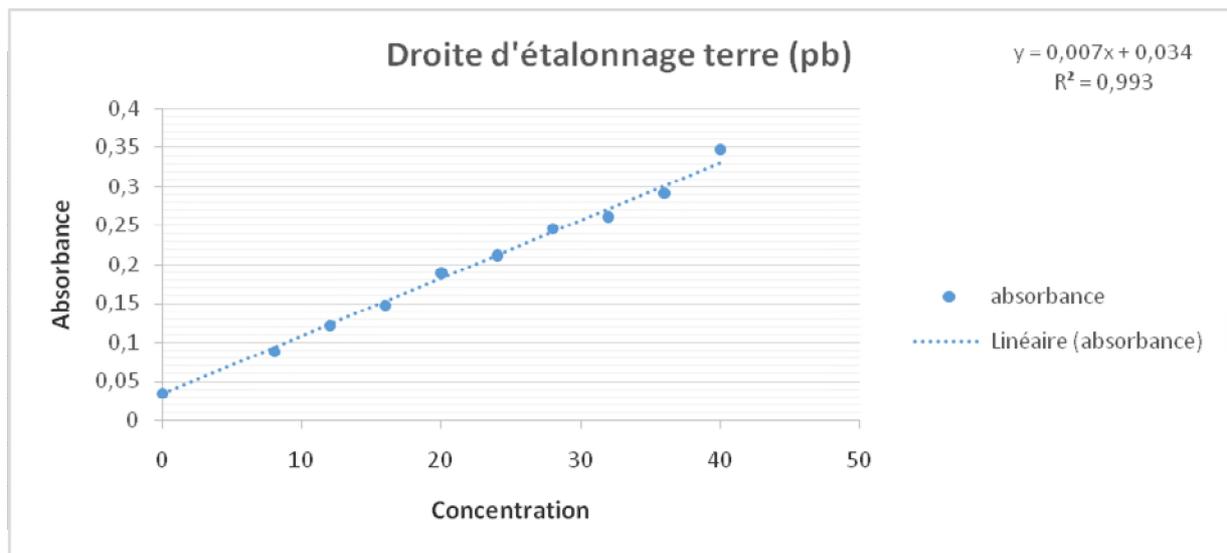


Figure III.16: droite d'étalonnage du dosage de Pb^{2+} dans la terre point de prélèvement de la plante du site industriel

Annexes

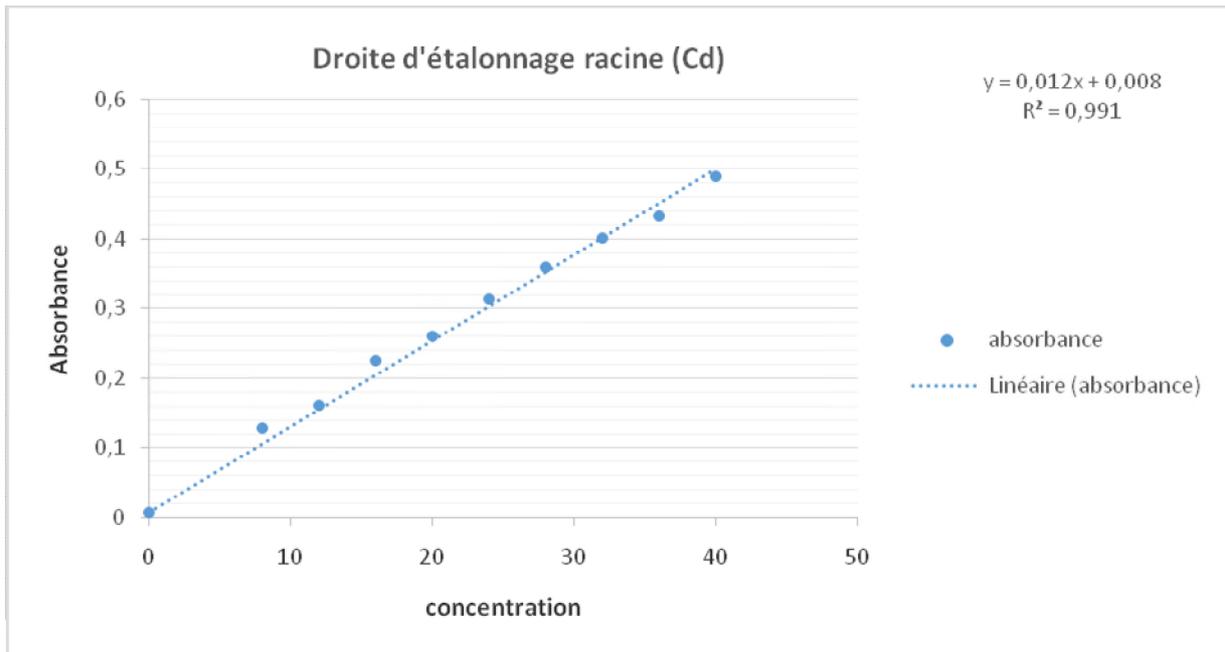


Figure III.17 : Droite d'étalonnage du dosage de Cd^{2+} dans les racines du site industriel

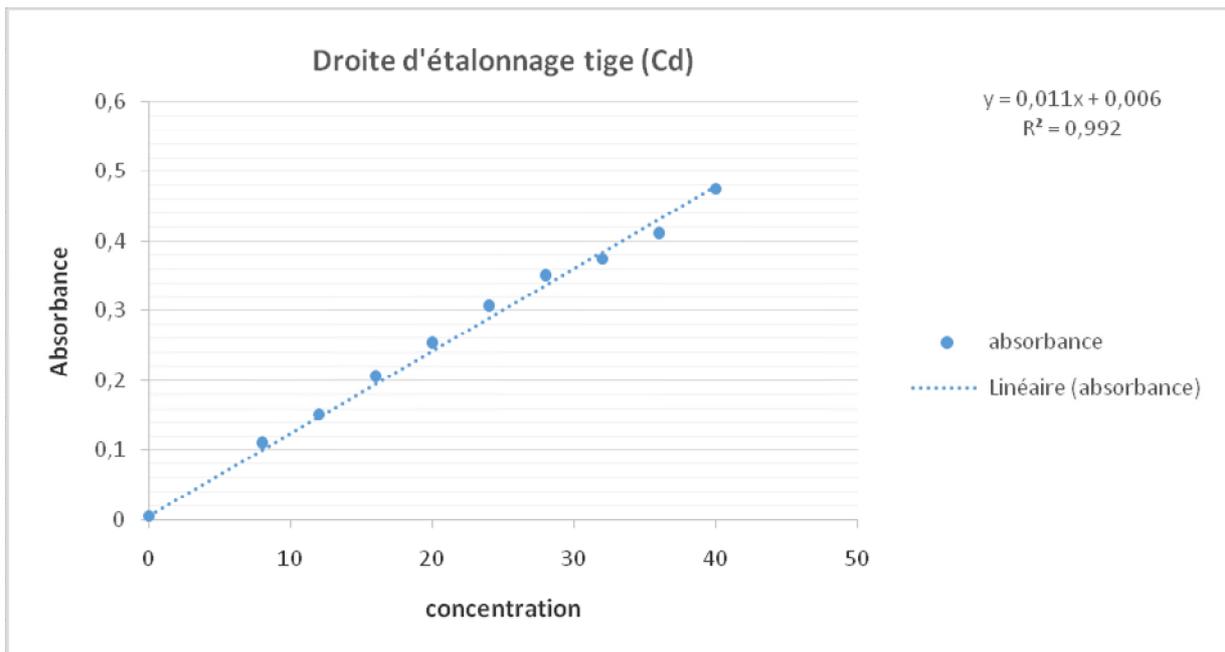


Figure III.18 : Droite d'étalonnage du dosage de Cd^{2+} dans les tiges du site industriel

Annexes

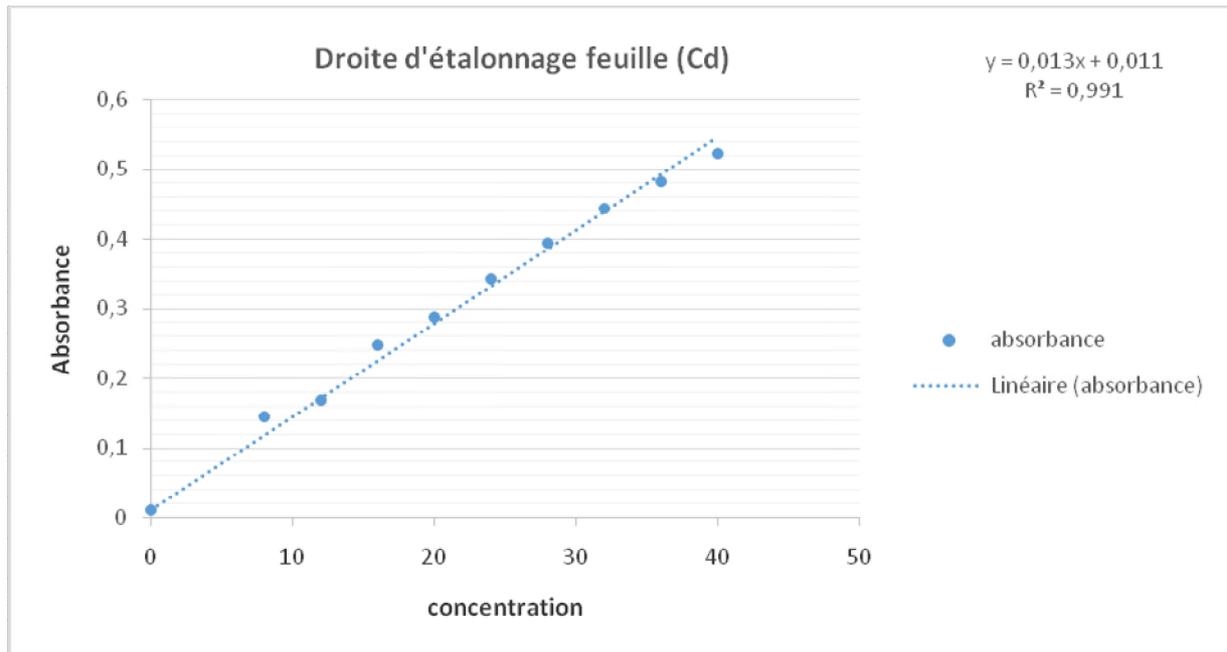


Figure III.19: Droite d'étalonnage du dosage de Cd^{2+} dans les feuilles du site industriel

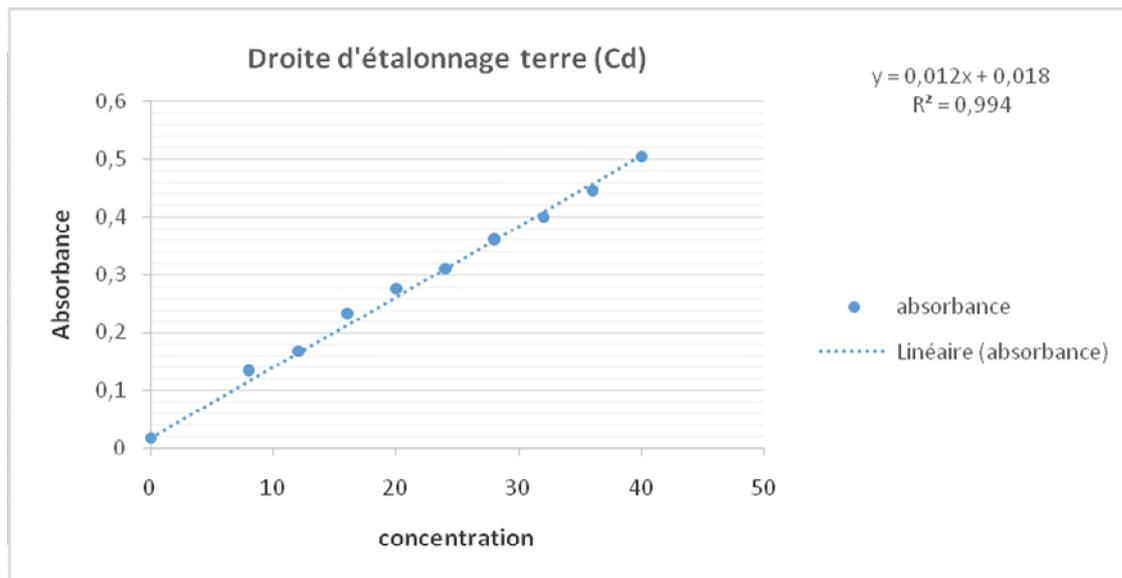


Figure III.20 : Droite d'étalonnage du dosage de Cd^{2+} dans la terre point de prélèvement de la plante du site industriel

Annexes

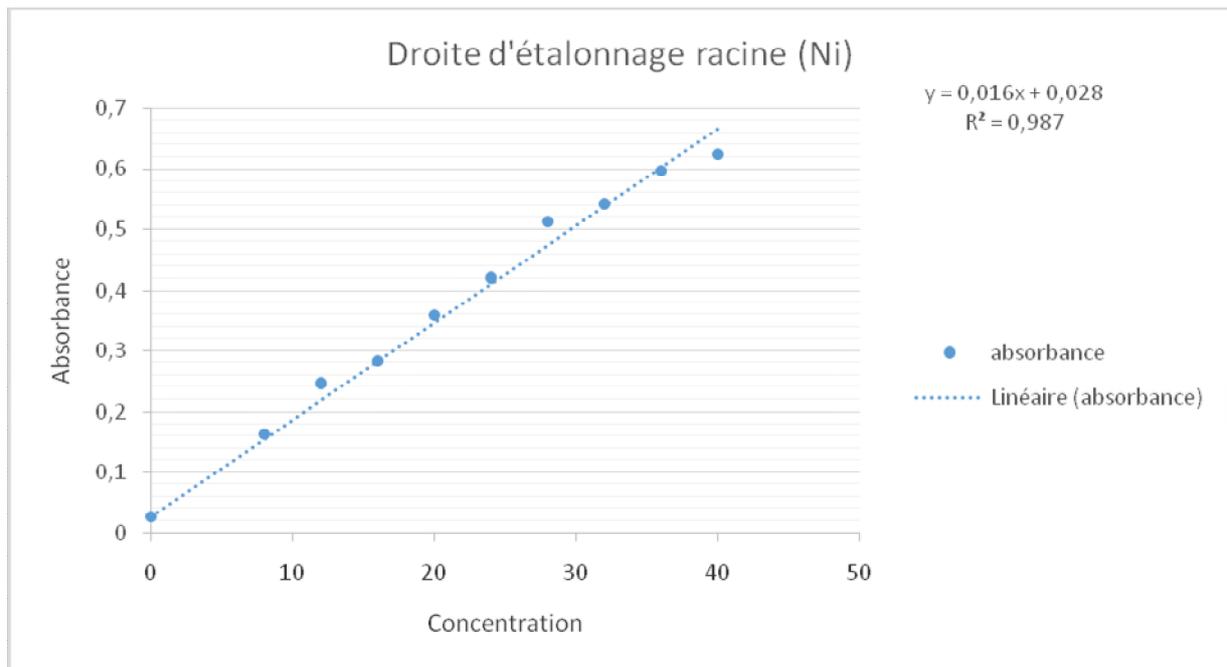


Figure III.21 : Droite d'étalonnage du dosage de Ni²⁺ dans les racines du site industriel

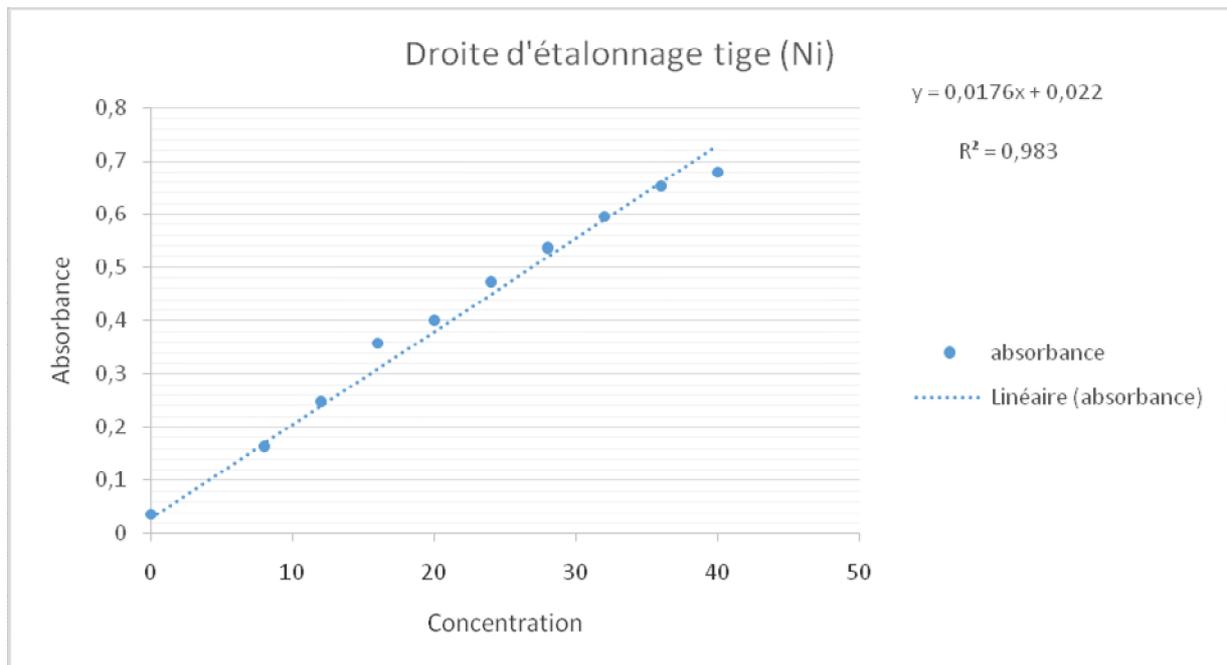


Figure III.22: Droite d'étalonnage du dosage de Ni²⁺ dans les tiges du site industriel

Annexes

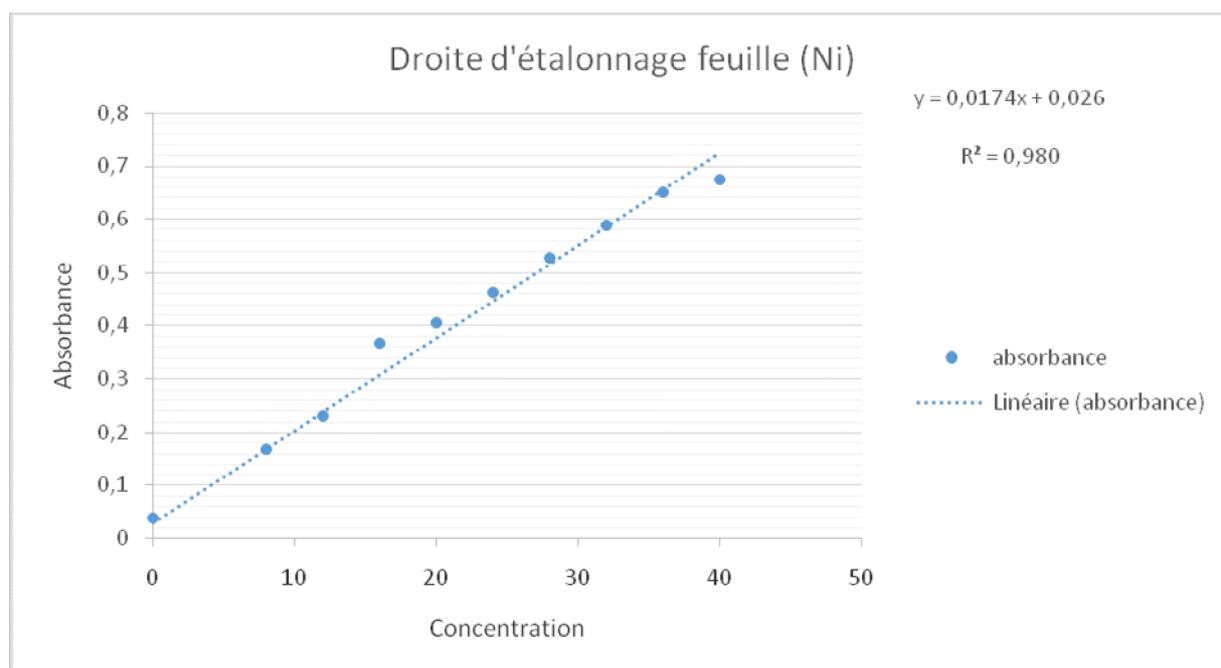


Figure III.23 : Droite d'étalonnage du dosage de Ni²⁺ dans les feuilles du site industriel

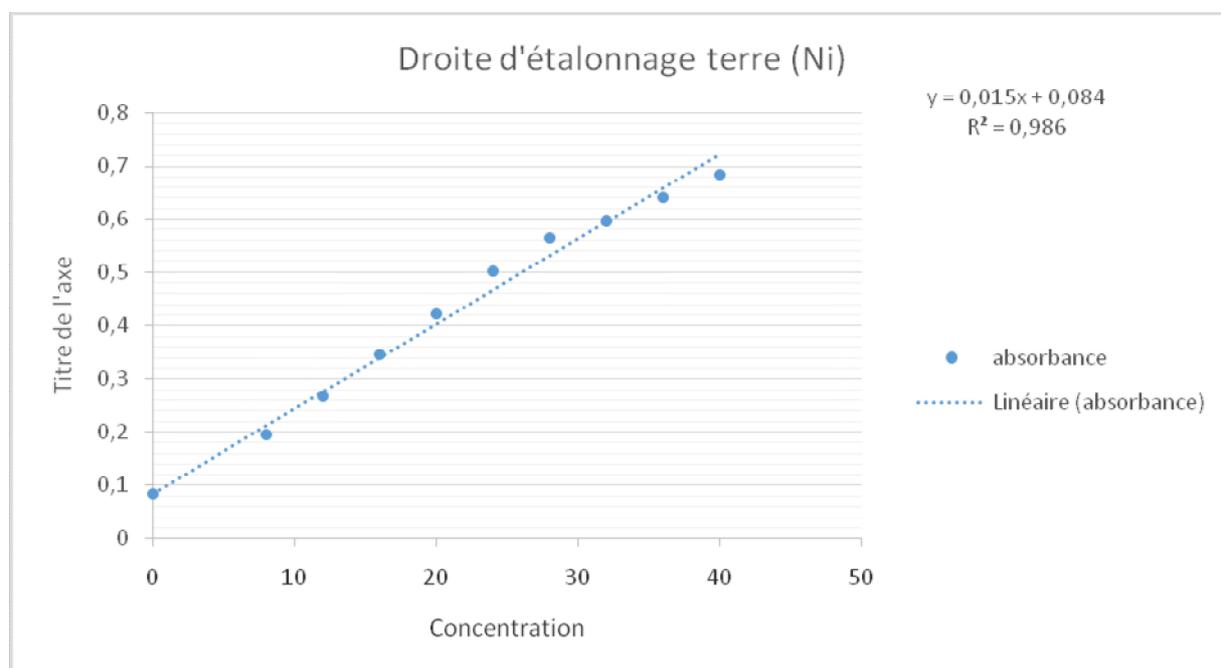


Figure III.24 : Droite d'étalonnage du dosage de Ni²⁺ dans la terre point de prélèvement de la plante du site industriel

Annexes

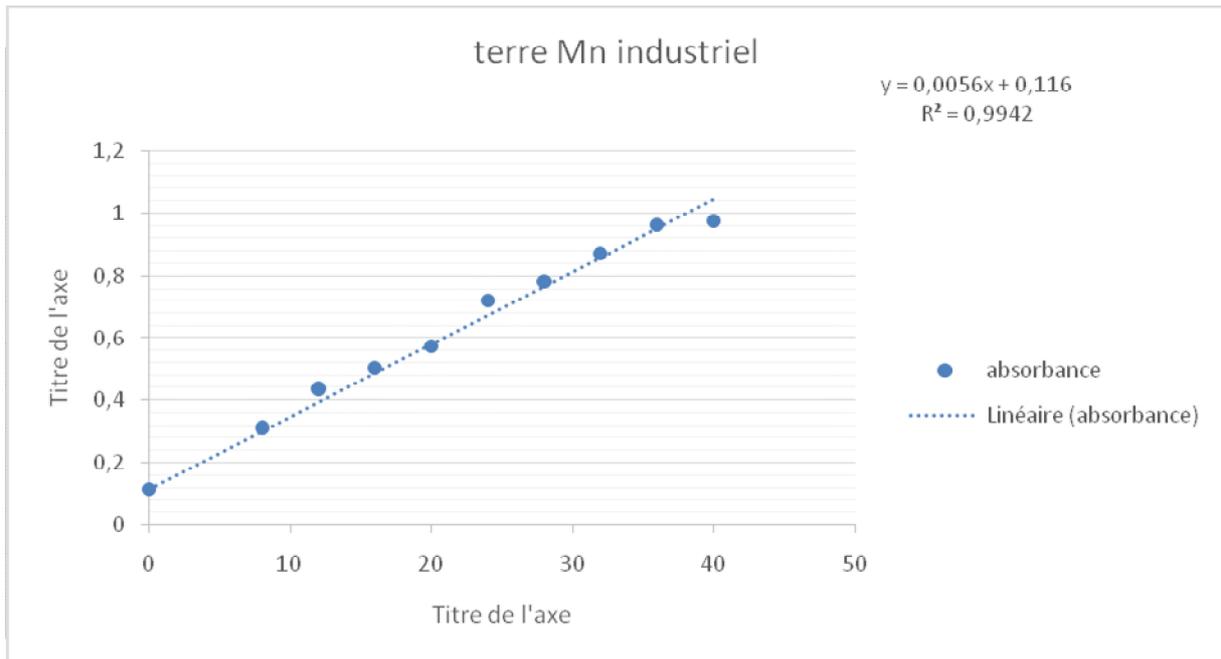


Figure III.25 : Droite d'étalonnage du dosage de Mn^{2+} dans la terre point de prélèvement de la plante du site industriel

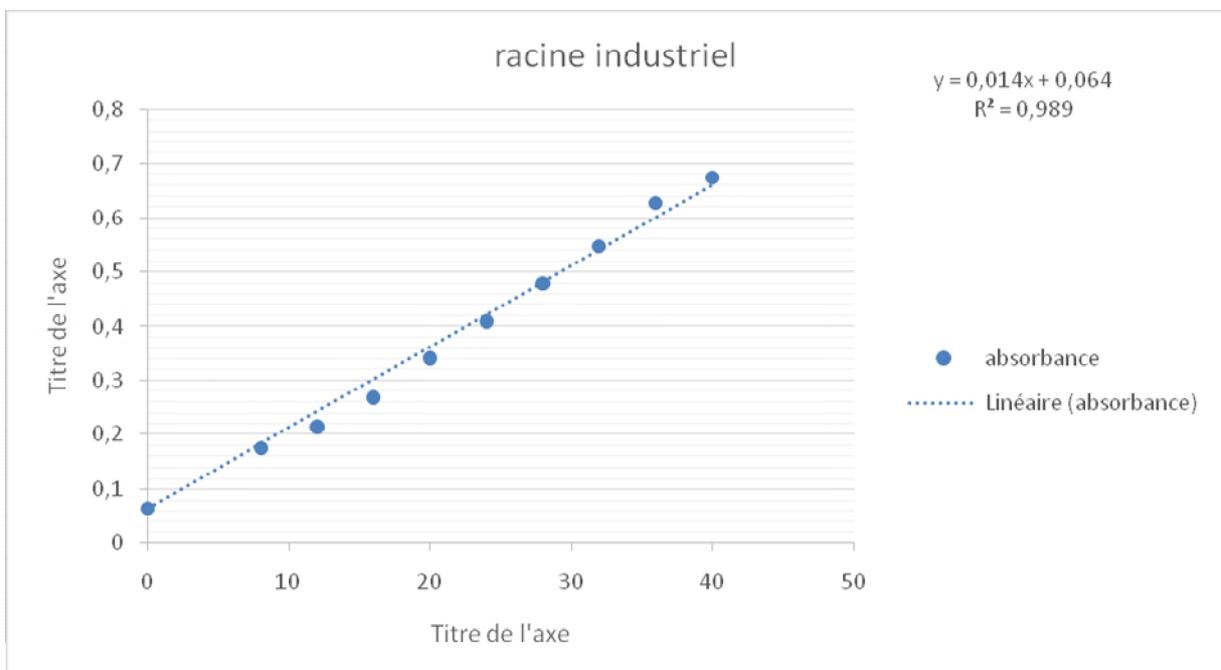


Figure III.26 : Droite d'étalonnage du dosage de Mn^{2+} dans la racine point de prélèvement de la plante du site industriel

Annexes

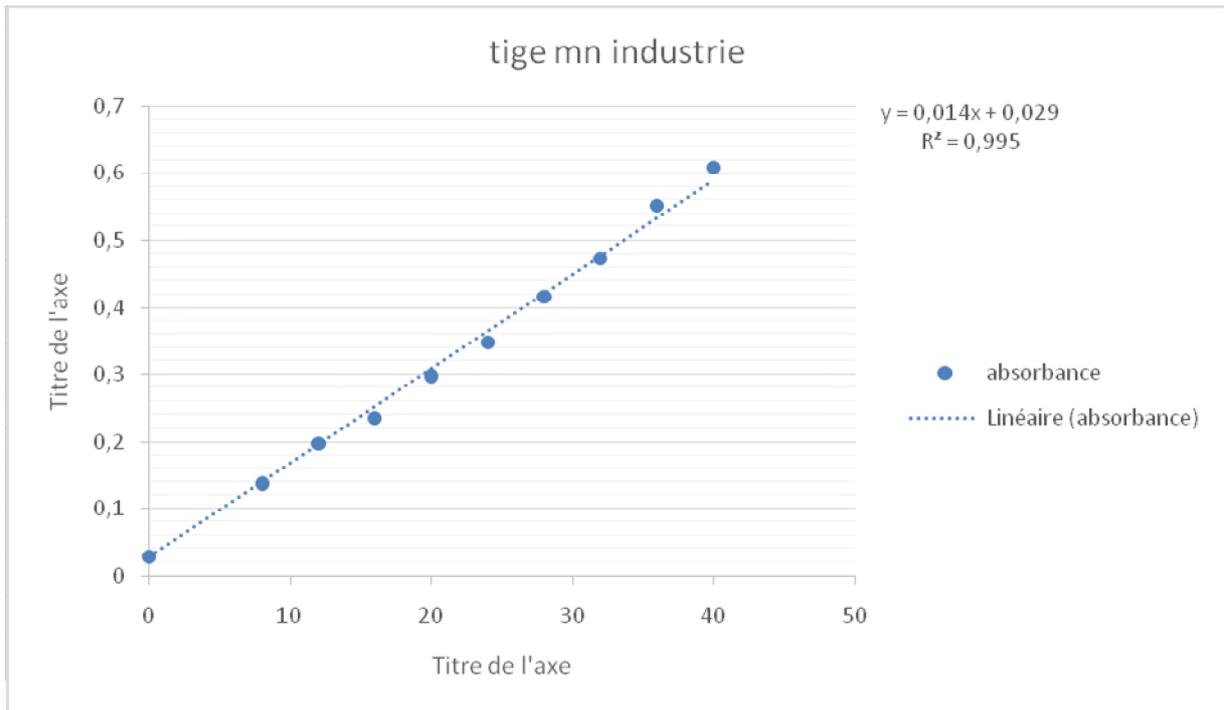


Figure III.27 : Droite d'étalonnage du dosage de Mn²⁺ dans la tige point de prélèvement de la plante du site industriel

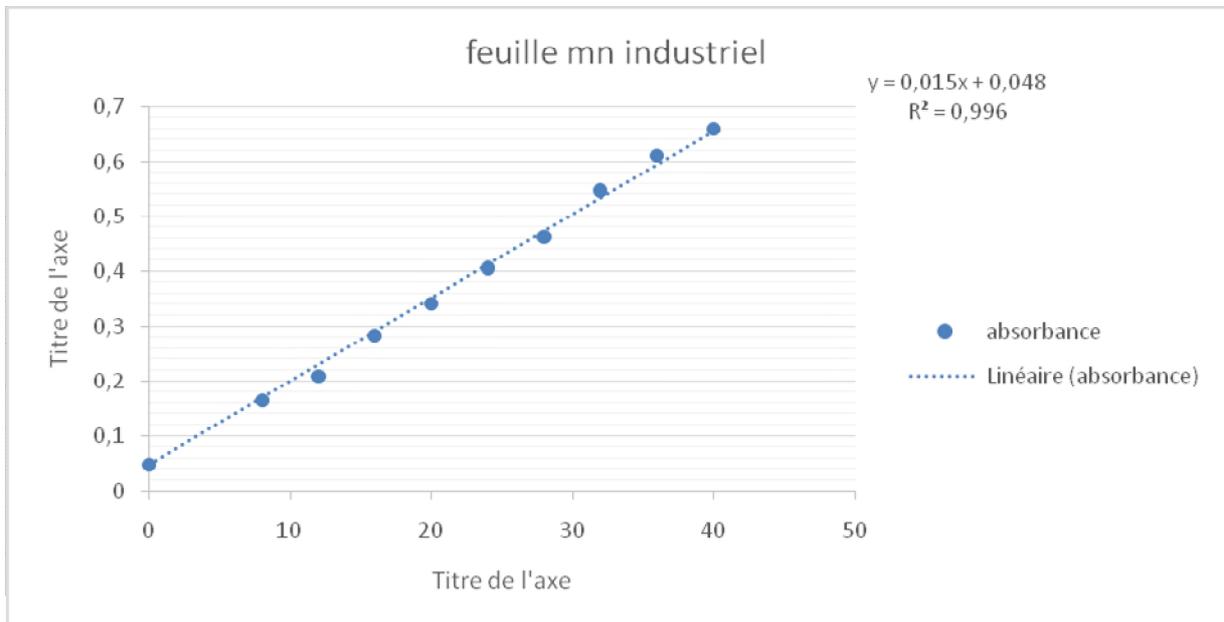


Figure III.28 : Droite d'étalonnage du dosage de Mn²⁺ dans la feuille point de prélèvement de la plante du site industriel

Annexes

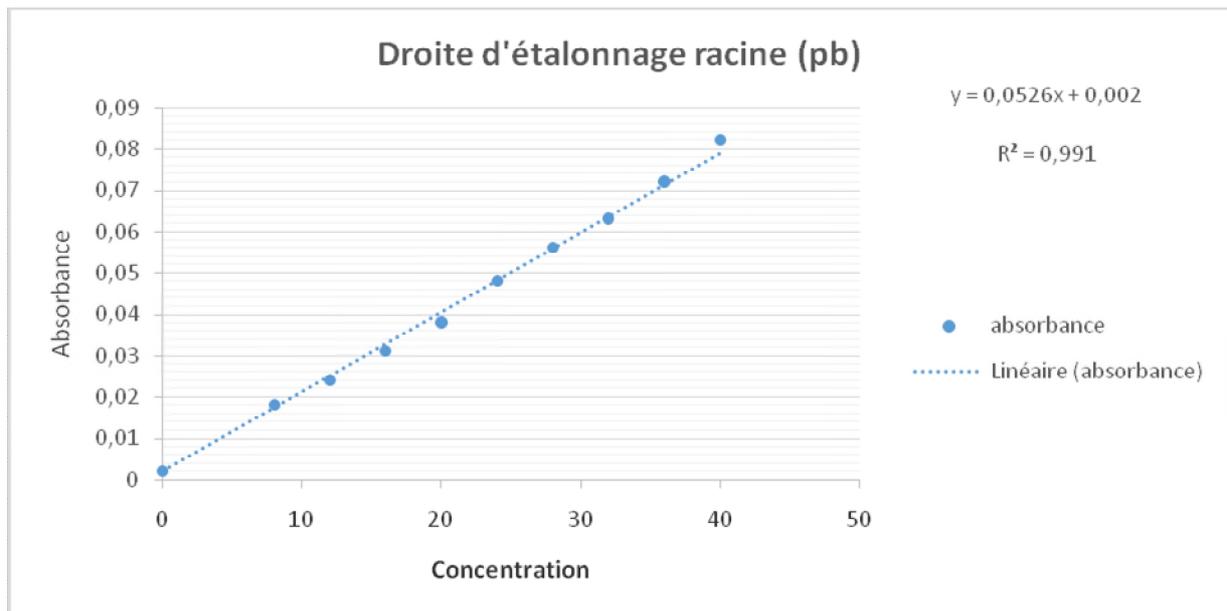


Figure III.29 : Droite d'étalonnage du dosage de Pb^{2+} dans les racines du site non industriel

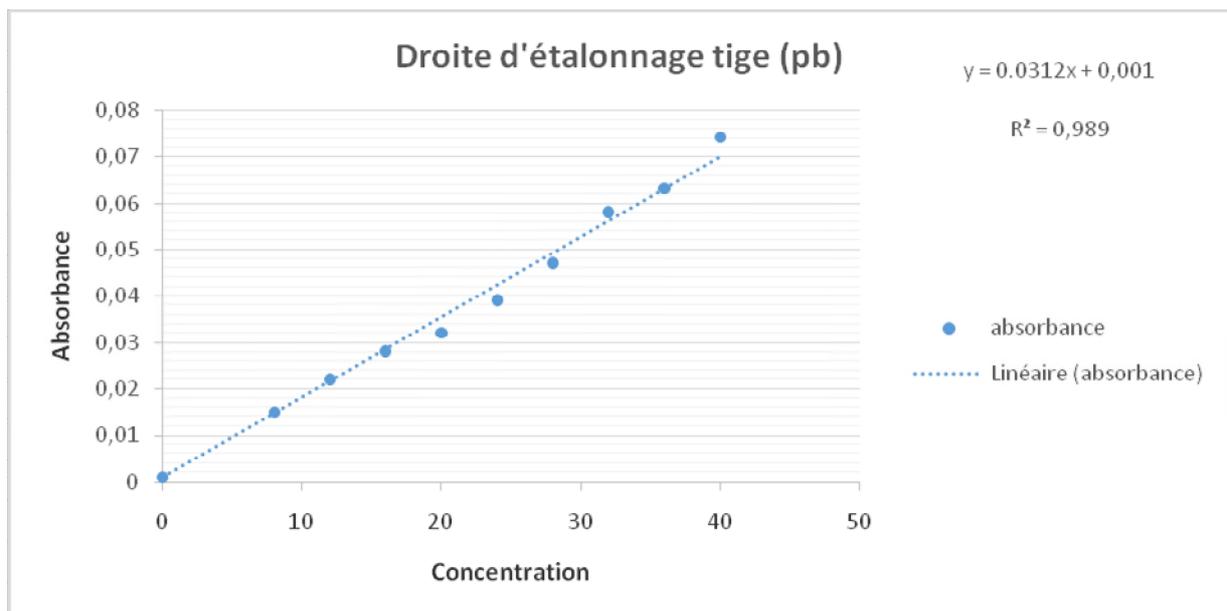


Figure III.30 : Droite d'étalonnage du dosage de Pb^{2+} dans la tige du site non industriel

Annexes

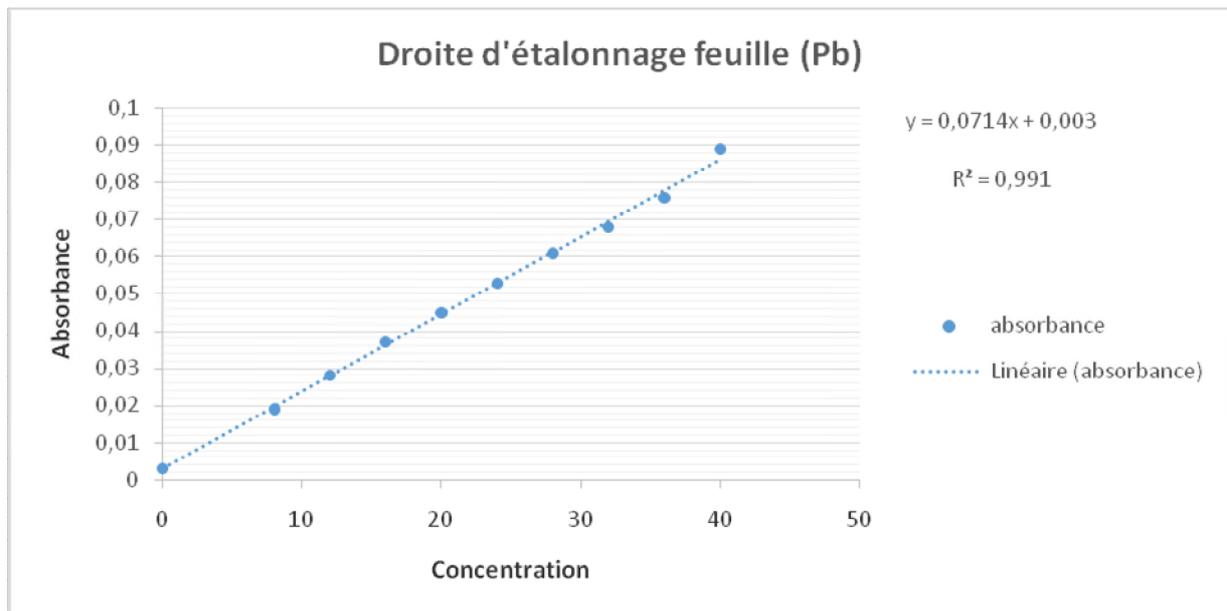


Figure III.31 : Droite d'étalonnage du dosage de Pb²⁺ dans les feuilles du site non industriel

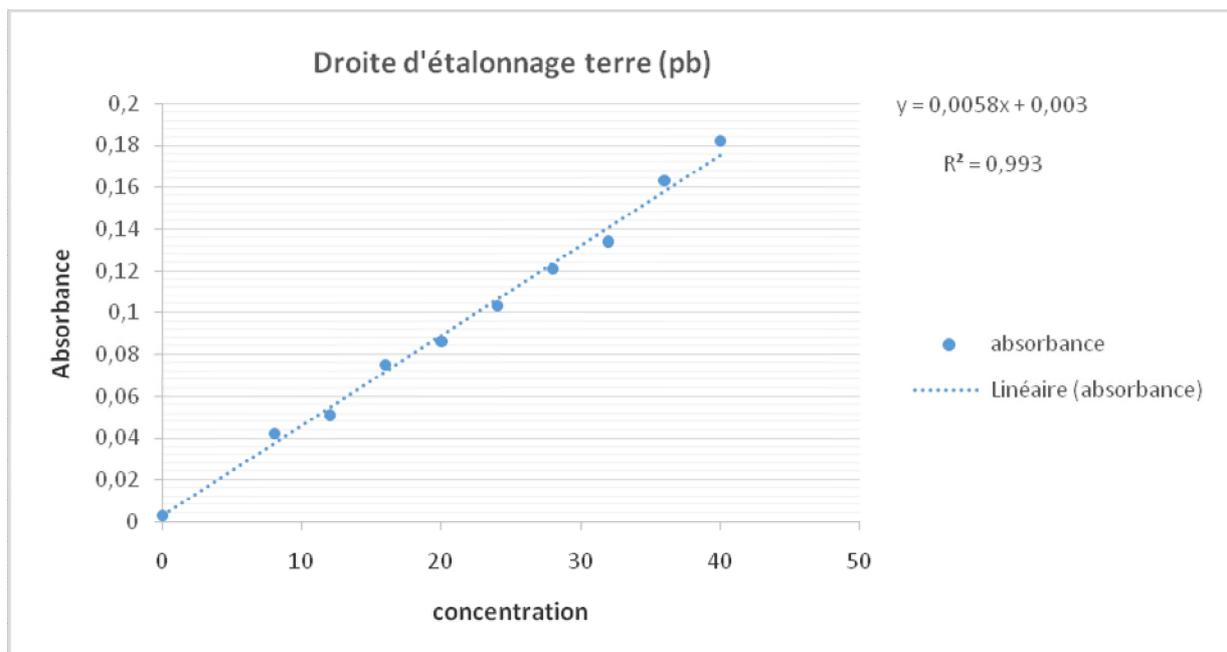


Figure III.32 : Droite d'étalonnage du dosage de Pb²⁺ dans la terre point de prélèvement de la plante du site non industriel

Annexes

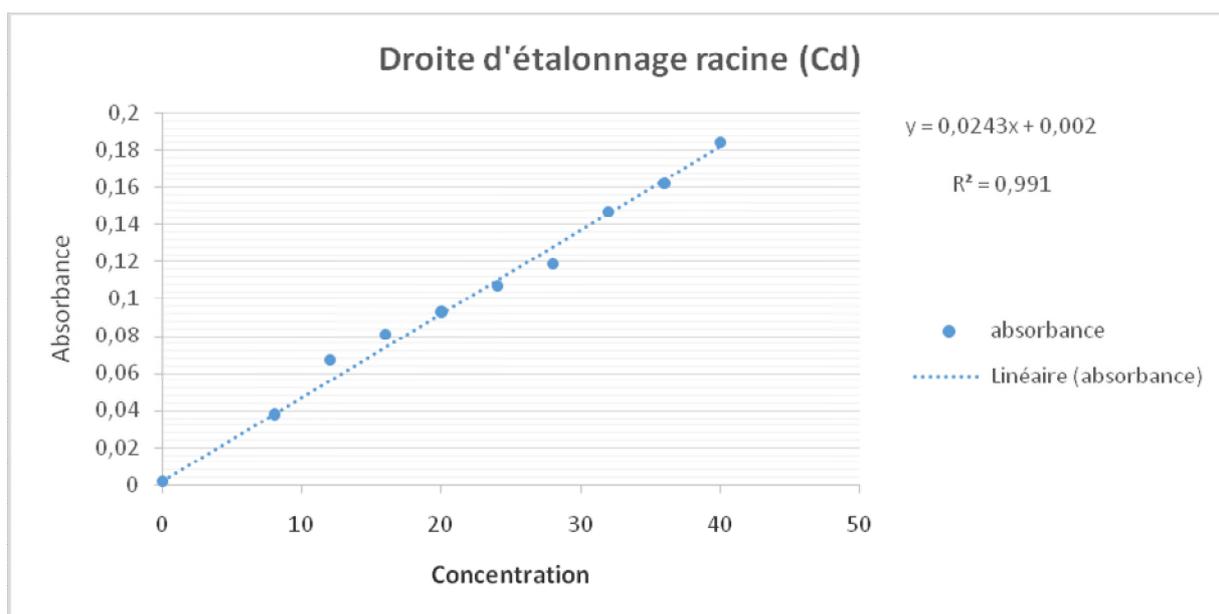


Figure III.33 : droite d'étalonnage du dosage de Cd^{2+} dans les racines du site non industriel

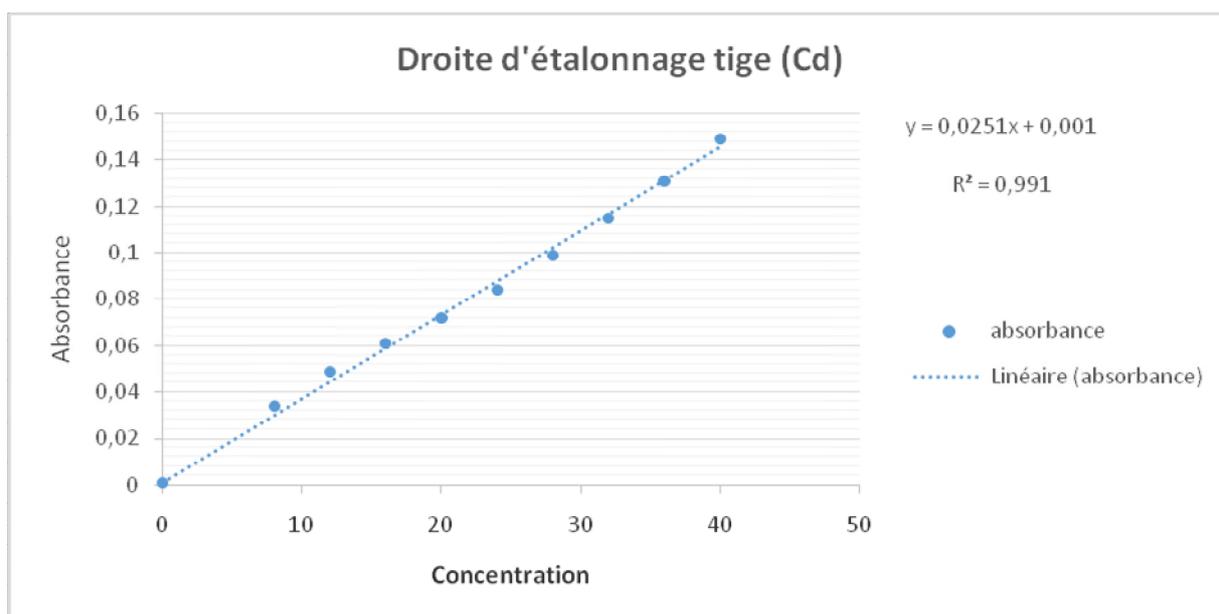


Figure III.34 : droite d'étalonnage du dosage de Cd^{2+} dans la tige du site non industriel

Annexes

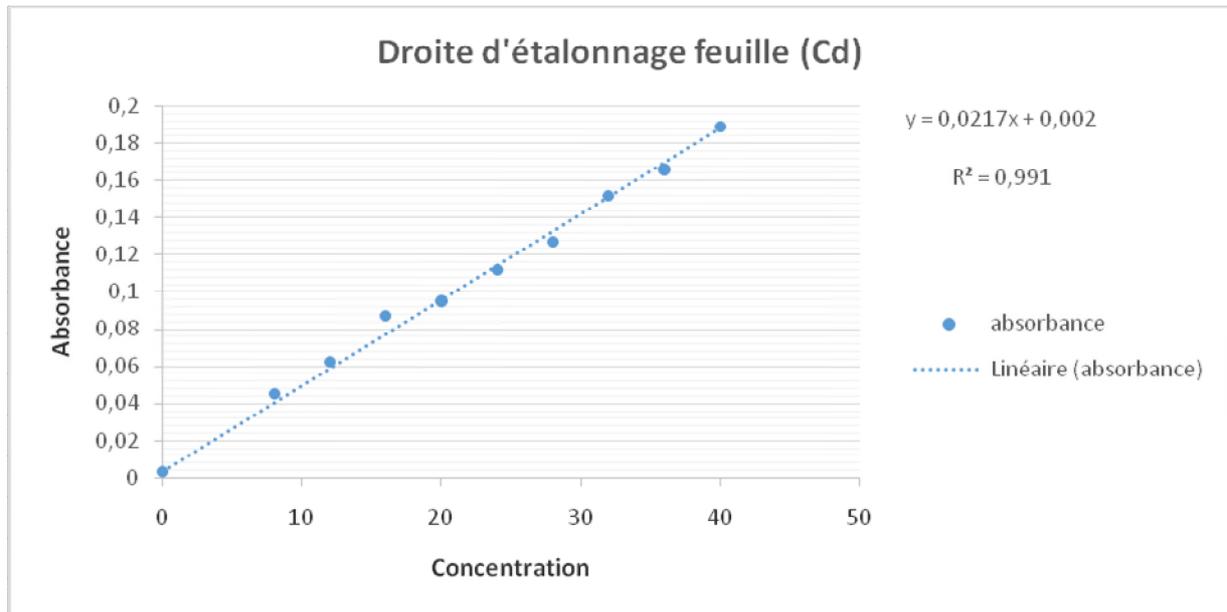


Figure III.35 : droite d'étalonnage du dosage de Cd²⁺ dans les feuilles du site non industriel

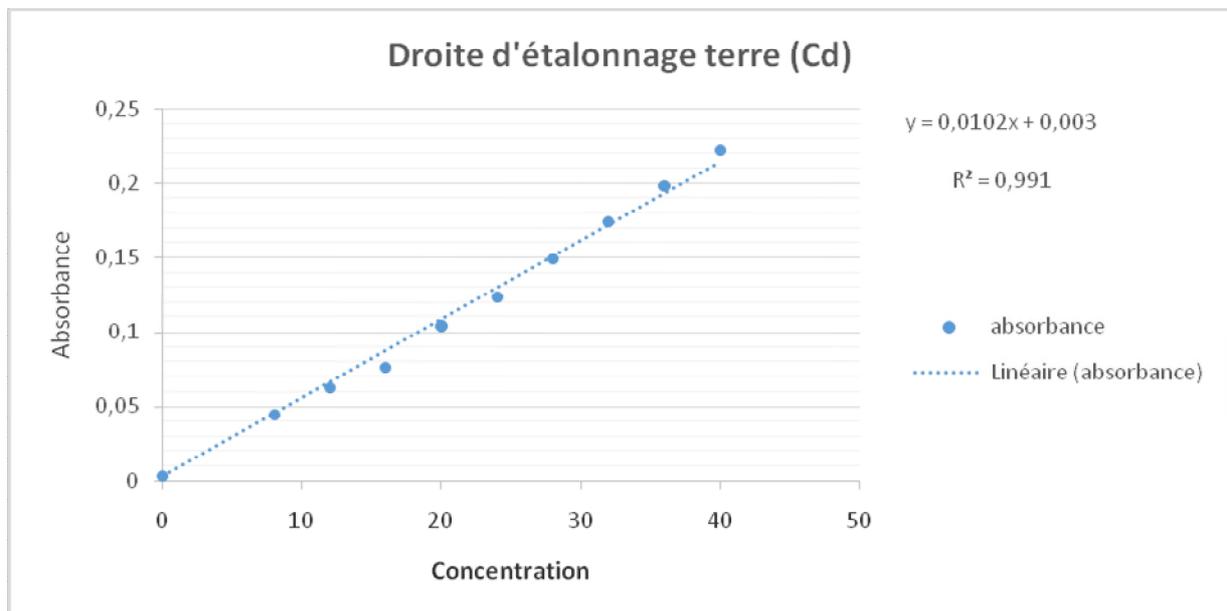


Figure III.36 : droite d'étalonnage du dosage de Cd²⁺ dans la terre point de prélèvement de la plante du site non industriel

Annexes

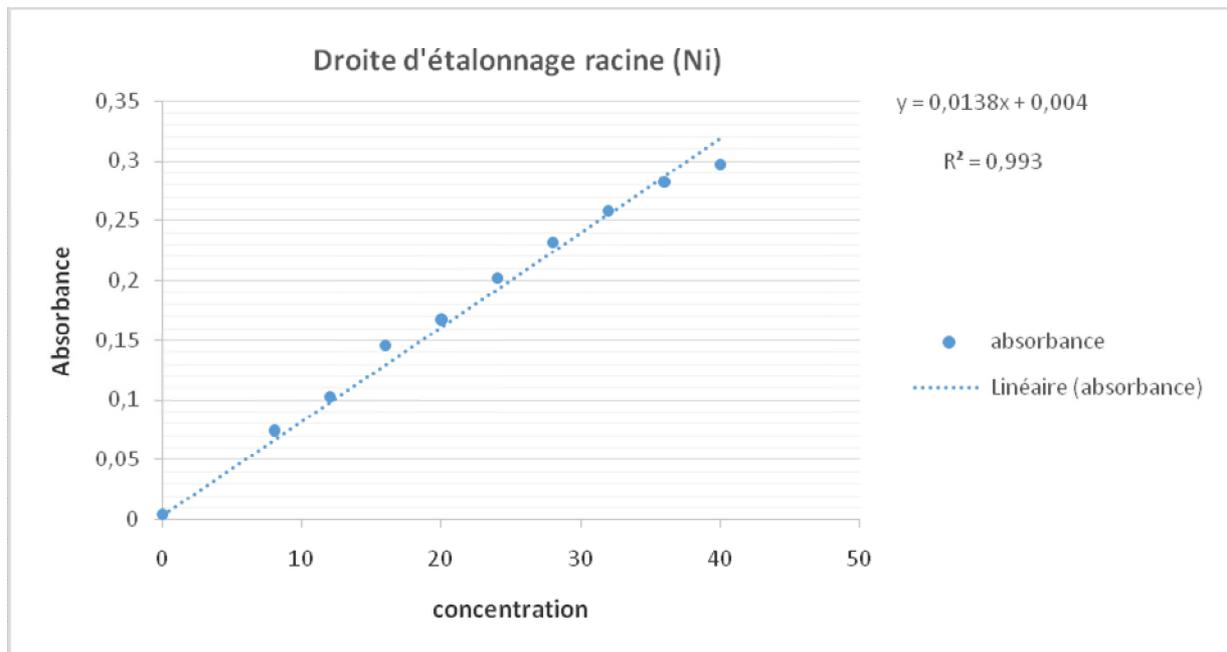


Figure III.37 : droite d'étalonnage du dosage de Ni²⁺ dans les racines du site non industriel

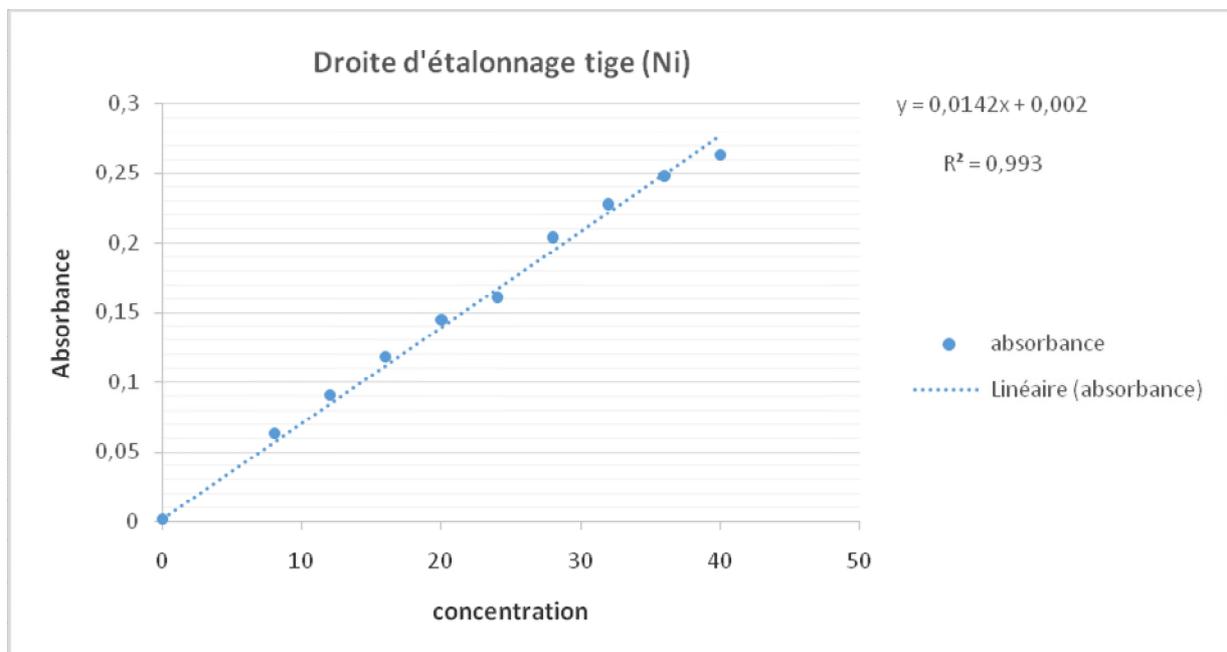


Figure III.38 : droite d'étalonnage du dosage de Ni²⁺ dans la tige du site non industriel

Annexes

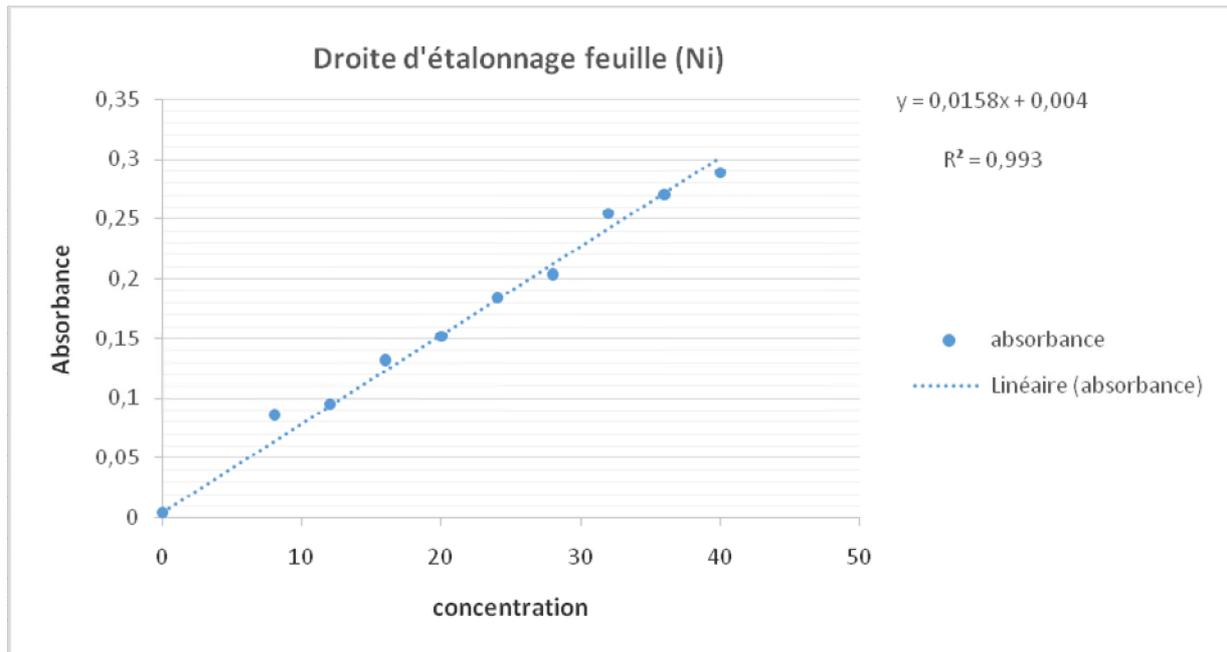


Figure III.39 : droite d'étalonnage du dosage de Ni²⁺ dans les feuilles du site non industriel

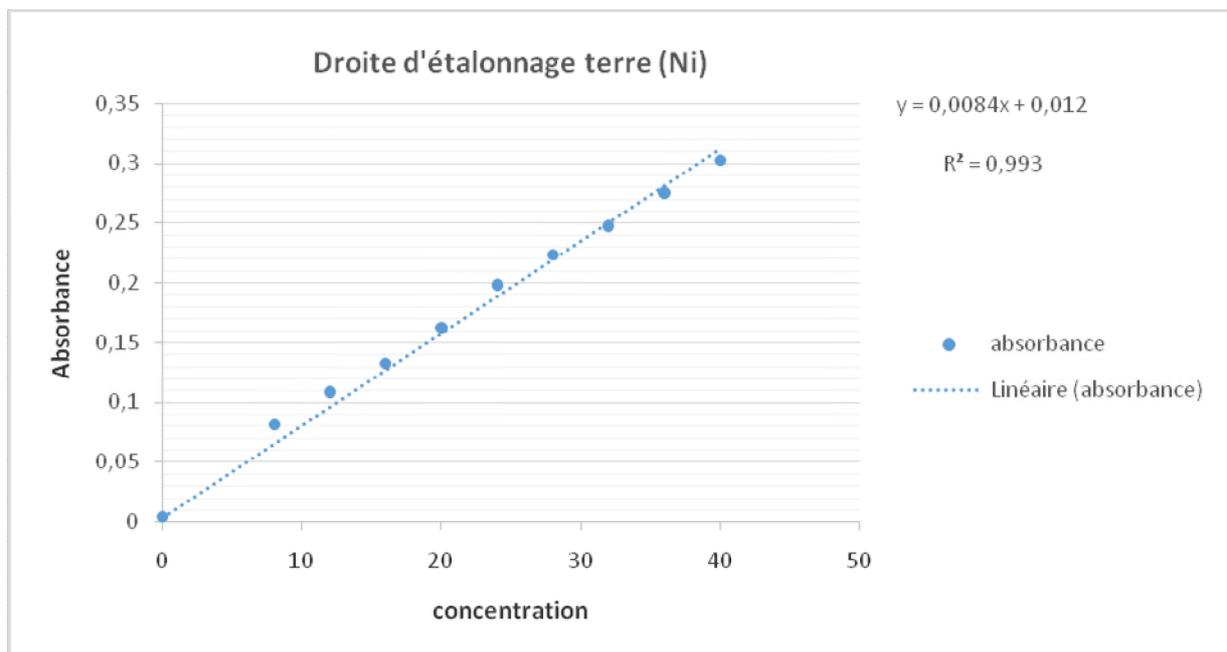


Figure III.40 : droite d'étalonnage du dosage de Ni²⁺ dans la terre point de prélèvement de la plante du site non industriel

Annexes

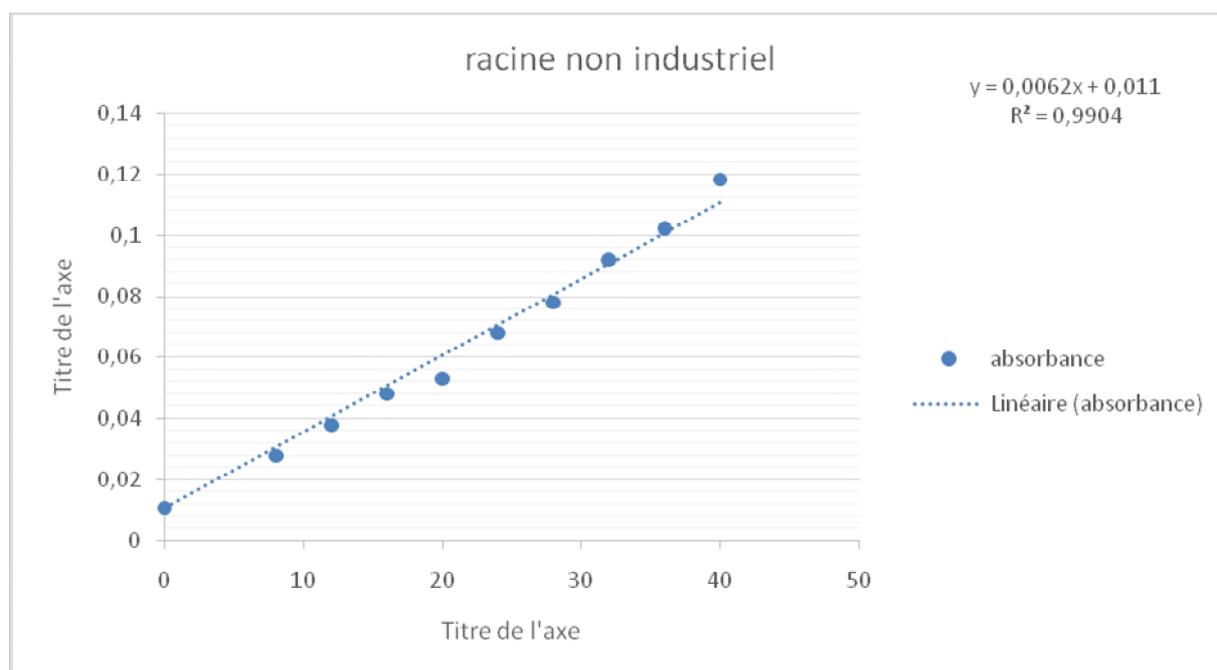


Figure III.41 : droite d'étalonnage du dosage de Mn^{2+} dans la racine point de prélèvement de la plante du site non industriel

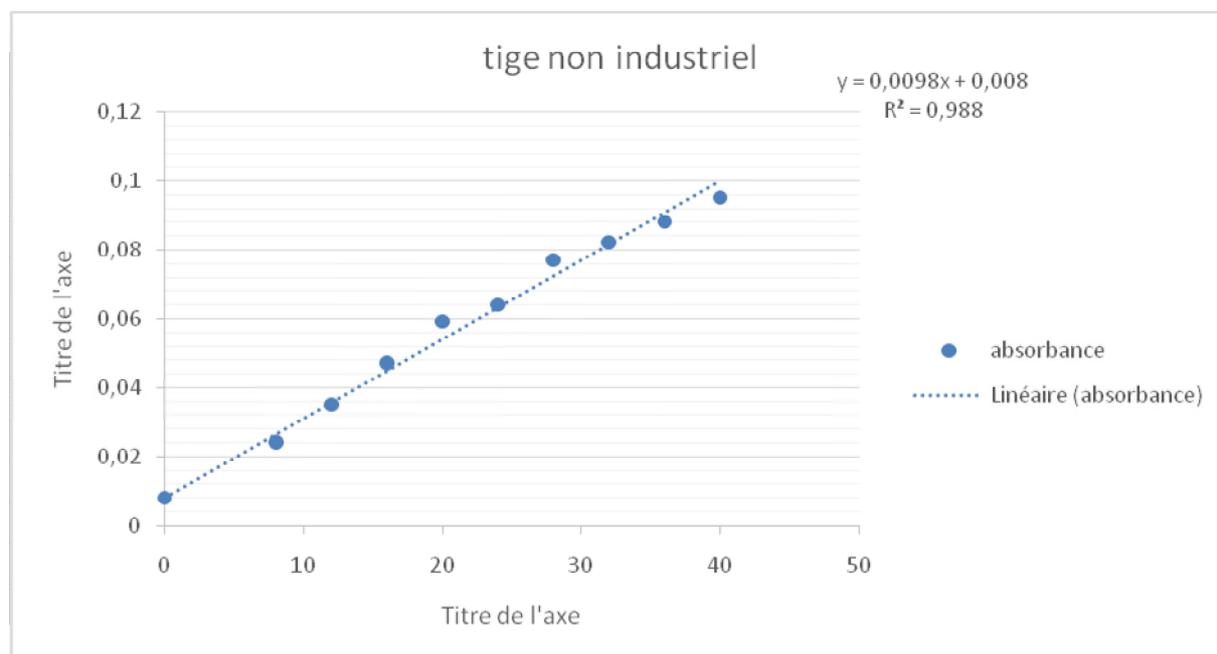


Figure III.42 : droite d'étalonnage du dosage de Mn^{2+} dans la tige point de prélèvement de la plante du site non industriel

Annexes

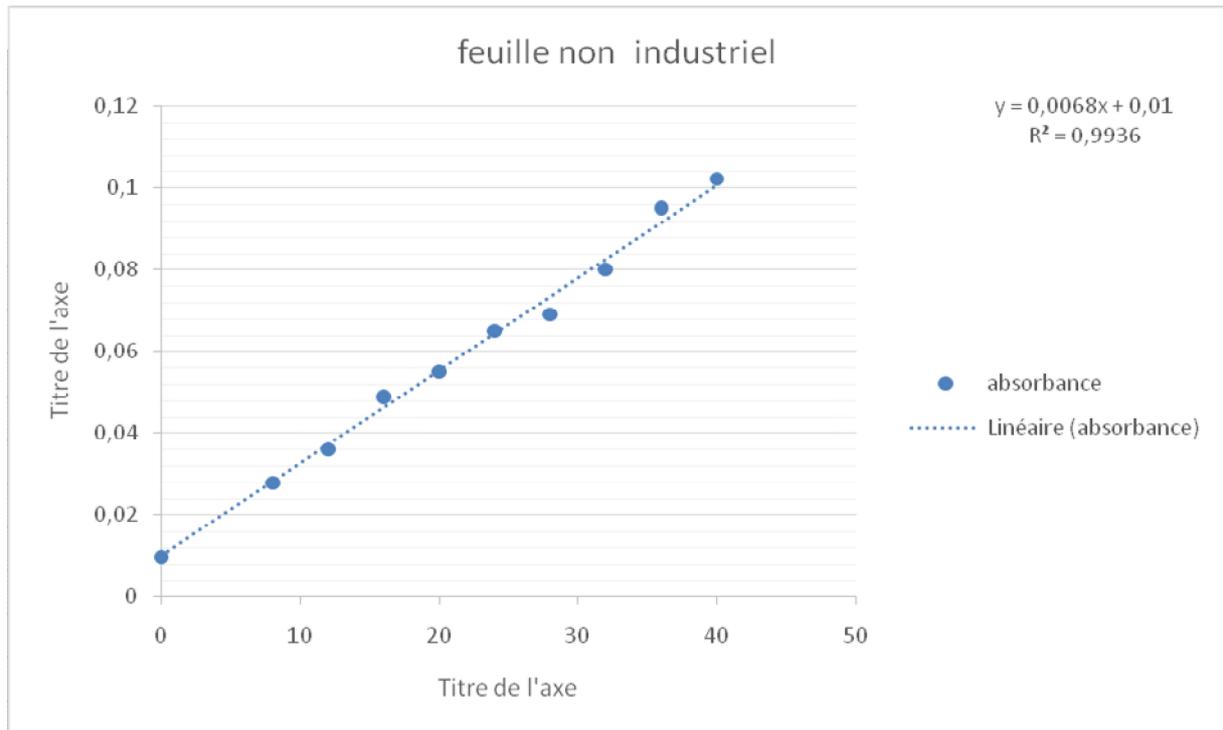


Figure III.43: droite d'étalonnage du dosage de Mn^{2+} dans la feuille point de prélèvement de la plante du site non industriel

Annexes

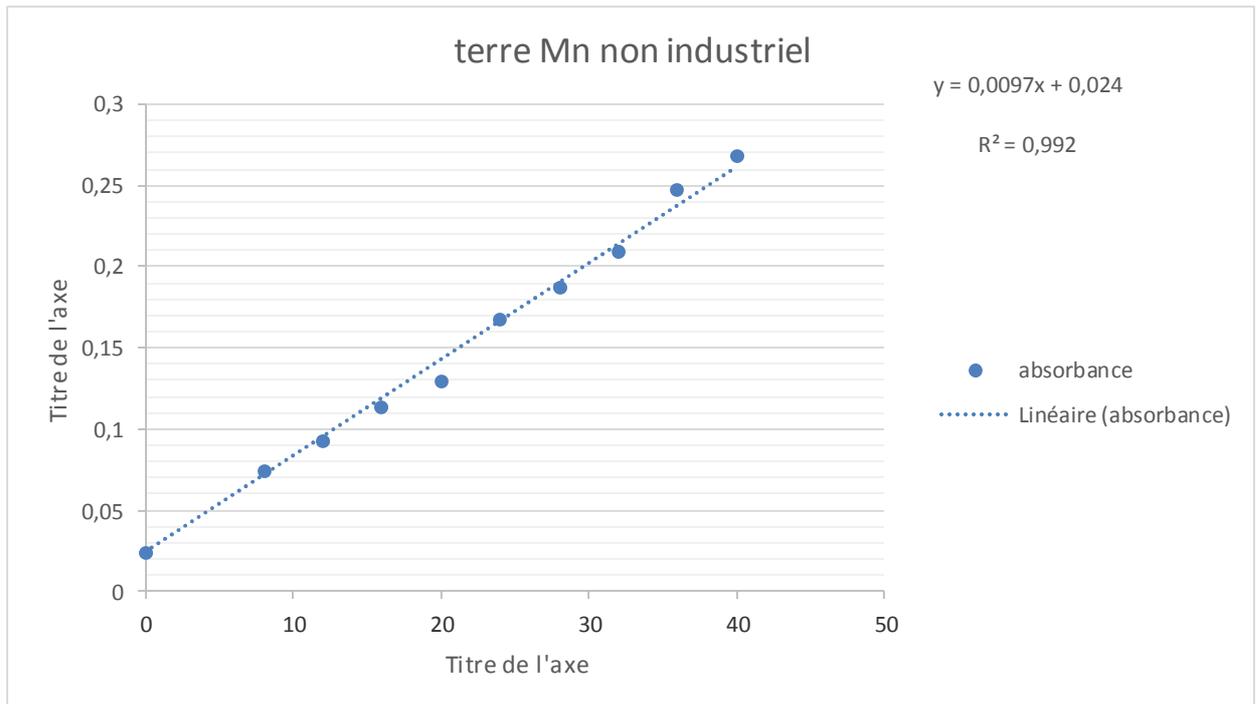


Figure III.44: droite d'étalonnage du dosage de Mn^{2+} dans la terre point de prélèvement de la plante du site non industriel

Résumé :

Notre recherche a pour objectif de démontrer et d'évaluer le pouvoir absorbant d'une substance végétale de certains métaux lourds dans les sols, la substance végétale choisie est L'UrticaDoica appelée ortie.

Nous avons procédé par la récolte de cette substance végétale et de la terre dans deux milieux différents, le premier représente une zone industrielle (El kseur) , le deuxième une zone non industriel (boukhiana) . Puis nous avons procédé à la préparation de tous les échantillons (végétales, terre) et les solutions mères et étalons des métaux lourds à analyser à savoir le (Pb, Ni, Mn, Cd) pour entamer un Dosage des métaux lourds par la méthode des ajouts dosés par Spectroscopie d'adsorption atomique (SAA).

Les résultats obtenus ont approuvé l'objectif de cette recherche. On a constaté la présence des métaux lourds dans les différentes parties de notre substance végétale (racine, tige, feuille). En outre la substance végétale issue du milieu industriel a stocké largement plus de métaux lourds que dans la zone non industrielles, cause d'une pollution importante de la terre issue dans cette zone.

Summary:

Our research aims to demonstrate and evaluate the absorbency of a plant substance of certain heavy metals in soils, the plant substance chosen is UrticaDoica called nettle.

We have proceeded by harvesting this vegetable substance and the earth in two different environments, the first represents an industrial zone (El kseur), the second a non-industrial zone (boukhiana). Then we proceeded to the preparation of all the samples (plants, soil) and the stock solutions and standards of the heavy metals to be analyzed, namely (Pb, Ni, Mn, Cd) to start a heavy metal assay by the method of additions assayed by Atomic Adsorption Spectroscopy (AAS).

The results obtained approved the objective of this research. The presence of heavy metals has been observed in the different parts of our plant substance (root, stem, leaf). In addition, the plant substance from the industrial environment has stored far more heavy metals than in the non-industrial zone, causing significant pollution of the soil from this zone.