

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Université M'hamed Bougara de Boumerdes
Département de Biologie



Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du diplôme de Master II
Spécialité : Biodiversité et environnement

Thème

Evaluation de la phytotoxicité de plomb et de cadmium sur *Vicia faba* : Etude des paramètres morphologiques et physiologiques ainsi que leur pouvoir phytoaccumulateur

Réalisé par :

NOUAR MERIEM

Soutenu publiquement, le 03 / 07 / 2018, Devant le jury composé de :

| | | |
|-------------------------------|------------|------------|
| M ^{er} HARITI. M | MAA (UMBB) | Président |
| M ^{er} BELLOUT. Y | MCB (UMBB) | Examineur |
| M ^{me} BENHABILES. K | MAB (UMBB) | Promotrice |

Année universitaire : 2017-2018

REMERCIEMENTS

*J*e remercie Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné durant tous ces années d'étude. Avant de présenter ce travail, je voudrais remercier tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à sa réalisation

A terme de ce modeste travail, je voudrai remercier en premier lieu Mme BENHABYLES Krenfela d'avoir assuré l'encadrement de ce mémoire Je tiens également à exprimer ma grande considération et mes profonds remerciements aux membres de jury qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail

Je voudrais exprimer également ma gratitude et remerciements à monsieur HARITI. M qui m'a fait l'honneur d'avoir accepté de présider le jury de soutenance Je suis reconnaissant à Monsieur BELLOUT. Y d'avoir bien voulu accepter d'examiner ce travail

À monsieur LETRECH Khaled Je le remercie pour sa gentillesse, sa patience, la disponibilité, le soutien ET le temps qu'il m'a accordé au laboratoire. Je désire de plus exprimer ma profonde gratitude mes plus sincères remerciements ET reconnaissance à l'ensemble des Enseignants d'écologie pour l'aide et leurs conseils qu'ils m'ont fournis afin de mener à terme ce mémoire

Mes remerciements vont à mes chers parents. Ainsi qu'à toutes mes amies Enfin je remercie tous ceux qui ont collaborés de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

*J*e dédie ce mémoire

*A mes très chers parents Merci pour votre présence et,
merci pour les sacrifices*

*Ma douce mère, mon précieux père J'espère que je serais à la
hauteur de vos espérances.*

A mes frères et sœurs, et toute ma famille

*À tous mes amis et à tous ceux que ma réussite leur tient à
cœur. Et tous ceux qui sont chers pour moi chère
IBTISSAM merci d'être proche de moi et de m'avoir
supportée et encouragée depuis toujours*

Spéciale À mon petit roi Adam

MES adorables nièces et neveux

Je vous adore tous

MFRQFM

SOMMAIRE

Pages

| | |
|---|---------------------|
| Remerciement | |
| Dédicaces | |
| INTRODUCTION..... | 1 |
| CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE | : Les métaux lourds |
| I- Les métaux lourds..... | 3 |
| I.1- Définition des métaux lourds (_ Les métaux essentiels. _ Les métaux toxiques) | 3 |
| I.2-Origines des métaux lourds..... | 4 |
| I.2.1-Originelle naturelle..... | 4 |
| I.2.2-Originelle anthropique..... | 5 |
| I.3- La contamination des plantes par les métaux lourds..... | 6 |
| I.3.1-Contamination foliaire..... | 6 |
| I.3.2-Contamination racinaire (- voie symplasmique -voie apoplasmique) | 7 |
| II-Le Plomb..... | 9 |
| II.1-L'histoire..... | 9 |
| II.2-Généralités..... | 10 |
| II.3-Propriétés physiques..... | 10 |
| II.4-Propriétés chimiques..... | 11 |
| II.5-Spéciation et mobilité..... | 12 |
| II.6-L'absorption de plomb par les plantes..... | 12 |
| II.7- La translocation de plomb dans les plantes..... | 13 |
| II.8-La toxicité de plomb sur les plantes..... | 13 |
| III-Le Cadmium..... | 14 |
| III.1-L'histoire..... | 14 |
| III.2-Généralités..... | 14 |
| III.3-Propriétés physiques..... | 15 |
| III.4-Propriétés chimiques..... | 15 |
| III.5-Spéciation et mobilité..... | 16 |
| III.6- L'absorption de cadmium par les plantes..... | 16 |
| III.7-La translocation de cadmium dans les plantes..... | 17 |
| III.8-La toxicité de cadmium sur les plantes..... | 18 |
| CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE | : La fève |
| I -Le choix de l'espèce végétale..... | 19 |
| II-Originelle et évolution | 20 |
| III-Les variétés de la fève..... | 21 |
| IV-description de la fève (-Description de Baseflor - Classification botanique de la fève)..... | 21 |
| V-Les intérêts de la fève..... | 23 |
| V.1- Intérêts agro_ économique et nutritionnel..... | 23 |
| V.2-Intérêt écologique..... | 23 |
| CHAPITRE 2 : MATÉRIELS ET MÉTHODES | |
| I -Conditions de culture..... | 26 |
| I.1-Le choix et la sélection des graines..... | 26 |
| I.2- Mise en germination..... | 26 |
| I.3- Essai de croissance..... | 26 |
| II-Mesure des paramètres morphologiques..... | 28 |
| III-Mesures des paramètres physiologiques..... | 29 |
| III.1-La teneur relative en eau (TRE %)..... | 29 |
| III.2-Dosage des pigments chlorophylliens..... | 29 |
| III.3-Dosage des sucres..... | 30 |
| III.4-Dosages des protéines..... | 30 |
| III.5-Dosage de la proline..... | 31 |
| IV-Mesure du pouvoir phytoaccumulateur..... | 32 |
| IV.1-la minéralisation..... | 33 |

| | | |
|---|-----------------------|----|
| CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DESCUTIONS | : volet morphologique | |
| I- les conséquences morphologiques du plomb | | 35 |
| I.1- L'effet sur la croissance des organes aériens..... | | 35 |
| I.2- L'effet sur la croissance des organes racinaires..... | | 38 |
| II- Les conséquences morphologiques du cadmium..... | | 42 |
| II.1-L'effet sur la croissance des organes aérienne..... | | 42 |
| II.2-L'effet sur la croissance des organes racinaire | | 46 |
| CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DESCUTIONS | : volet physiologique | |
| III-Les conséquences physiologiques du plomb..... | | 51 |
| III.1- le statut hydrique..... | | 51 |
| III.2-Taux des pigments chlorophylliens : a ; b ; caroténoïdes..... | | 53 |
| III.3-Taux des sucres solubles..... | | 54 |
| III.4-Taux des protéines..... | | 55 |
| III.5-Taux de la Proline..... | | 57 |
| IV-La phytoaccumulation de plomb..... | | 58 |
| V-Les conséquences physiologiques du Cadmium..... | | 61 |
| V.1- le statut hydrique..... | | 61 |
| V.2-Taux des pigments chlorophylliens : a ; b ; caroténoïdes..... | | 62 |
| V.3-Taux des sucres solubles..... | | 64 |
| V.4-Taux des protéines..... | | 65 |
| V.5-Taux de la Proline..... | | 66 |
| VI- La phytoaccumulation de Cadmium..... | | 67 |
| Conclusion | | |
| Références | | |
| ANNEX | | |
| Résumé | | |

| Liste des figures | PAGE |
|---|-------------|
| Figure 1. Origine des éléments traces métalliques dans le sol | 4 |
| Figure 2. Les voies de contamination foliaire par les ETM | 6 |
| Figure 3. Les voies de contamination racinaire par les ETM | 8 |
| Figure 4. Forme naturelle de cadmium | 9 |
| Figure 5. (Galène)Forme naturelle de plomb..... | 9 |
| Figure 6. Les variétés de la fève..... | 21 |
| Figure 7. Schéma explicatif du plan expérimental..... | 25 |
| Figure 8. Graines sèches de <i>Vicia faba</i> | 26 |
| Figure 9. Schéma explicatif de la mise en culture..... | 27 |
| Figure 10. Déspositif experimental..... | 28 |
| Figure 11. L'ensemble des paramètres morphologiques | 28 |
| Figure 12. La matière végétale sèche broyée..... | 34 |
| Figure 13. La minéralisation de la (MVS) | 34 |
| Figure 14. mesure de la longueur des tiges (<i>Vicia faba</i>)..... | 35 |
| Figure 15. mesure de nombre des feuilles (<i>Vicia faba</i>)..... | 36 |
| Figure 16. mesures de la biomasse aérienne fraîche (a) et sèche (b) (<i>Vicia faba</i>)..... | 37 |
| Figure 17. mesure de la longueur des racines principale (<i>Vicia faba</i>)..... | 38 |
| Figure 18. mesures de (nombre et longueur) des racines II aires (<i>Vicia faba</i>)..... | 39 |
| Figure 19. mesures de la biomasse racinaire fraîche (a) et sèche (b)..... | 40 |
| Figure 20. mesure de la longueur des tiges (<i>Vicia Faba</i>)..... | 42 |
| Figure 21. mesure de nombre des feuilles (<i>Vicia faba</i>)..... | 43 |
| Figure 22. mesures de la biomasse aérienne fraîche (a) et sèche (b) (<i>Vicia Faba</i>)..... | 44 |
| Figure 23. mesure de la longueur des racines principale (<i>Vicia faba</i>)..... | 46 |
| Figure 24. mesures de (nombre et longueur) des racines II aires (<i>Vicia faba</i>)..... | 47 |
| Figure 25. mesures de la biomasse racinaire fraîche (a) et sèche (b) (<i>Vicia faba</i>)..... | 48 |
| Figure 26. La teneur relative en eau (<i>Vicia faba</i>)..... | 51 |
| Figure 27. Teneur en pigments chlorophylliens (<i>Vicia faba</i>)..... | 53 |
| Figure 28. Teneur en sucres (<i>Vicia faba</i>)..... | 54 |
| Figure 29. Teneur en protéines (<i>Vicia faba</i>)..... | 55 |
| Figure 30. Teneur en proline (<i>Vicia faba</i>)..... | 57 |

| | |
|--|-----------|
| Figure 31. La teneur en plomb dans les organes (aériens et racinaires)..... | 58 |
| Figure 32. La teneur relative en eau (<i>Vicia faba</i>)..... | 61 |
| Figure 33. Teneur en pigments chlorophylliens (<i>Vicia faba</i>)..... | 62 |
| Figure 34. Teneur en sucres (<i>Vicia faba</i>)..... | 64 |
| Figure 35. Teneur en protéines (<i>Vicia faba</i>)..... | 65 |
| Figure 36. Teneur en proline (<i>Vicia faba</i>)..... | 66 |
| Figure 37. La teneur en cadmium dans les organes (aériens et racinaires)..... | 67 |

| | |
|---|-------------|
| Liste des tableaux..... | PAGE |
| Tableau 1. Propriétés physicochimiques du plomb..... | 11 |
| Tableau 2. Propriétés physicochimiques du cadmium..... | 15 |
| Tableau 3. La description de la fève | 22 |
| Tableau 4. Composition biochimique globale (g/100g de MS) de(<i>Vicia faba</i>)..... | 24 |

_ Liste des abréviations _

| | | | |
|-----|-----------------------------|---------|--|
| Cd | : cadmium | DO | : densité optique |
| Pb | : plomb | TRE | : teneur relative en eau |
| MTL | : métaux lourds | RUBISCO | Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase |
| ETM | : élément targes métallique | La RMIS | inhibition de la division cellulaire au niveau du méristème racinaire |
| PF | : poids frais | TE | : tampon d'extraction |
| PT | : Poids de turgescence | BSA | : sérum albumine bovine |
| PS | : Poids sec | ABA | : acide abscissique |
| MVF | : matière végétale fraîche | SAA | : spectromètre d'absorption atomique |
| MVS | : matière végétale sèche | ml | : Millilitre |
| AF | : poids aérien frais | Nm | : Nanomètre |
| AS | : poids aérien sec | mg | : Milligramme |
| RF | : poids racinaire frais | µl | : Microlitre |
| RS | : poids racinaire sec | µg/g | : microgramme par gramme |
| Nbr | : nombre | µM | : Micromole |
| PA | : partie aérienne | Cm | : centimètre |
| PR | : partie racinaires | g/L | : gramme par litre |

Chl : Chlorophylle mg/g : milligramme par gramme

Crt'd : Caroténoïdes tr/min : tours par minute

C1.2.3 concentrations 1 ; 2 ; 3 T : Témoin

50P : Pots

INTRODUCTION

Depuis plus de cinquante ans, la pollution est l'un des plus graves problèmes auxquels est confronté notre monde moderne. (Zaafour, 2014), Un problème environnemental majeur, la contamination du sol, par une diversité de composants (Adriano, 2001 ; Alkorta *et al.*, 2004)... Les métaux lourds sont parmi les polluants les plus dangereux, car ils ne peuvent pas être dégradés et leurs concentrations augmentent régulièrement dans les différents compartiments des écosystèmes (Zorrig , 2004) Une fois dans le sol, les métaux lourds peuvent être redistribués, en migrant avec la solution du sol. Leur devenir dans l'environnement est très variable. Leurs concentrations ne cessent d'augmenter constituant un danger potentiel par bio-accumulation (Wang *et al.*, 2003). A cette catégorie appartiennent différents éléments tels que **le plomb**, le mercure, **le cadmium**, le cuivre, le zinc, et le fer ...dont la présence est fortement aggravée par les activités humaines dans le profile de développement agricole et industriel.

Le plomb, est l'un des contaminants les plus répandus dans l'environnement, toxique même à faible concentration (Jarup, 2003; Dazy, 2008). Au cours de l'histoire, le plomb a été utilisé pour de nombreuses applications, une fois le sol contaminé, il pénètre dans la plante et perturbe les mécanismes de celle-ci, induisant par conséquent un arrêt de la photosynthèse (Kupper *et al.*, 1996) ; une production d'espèces réactives de l'oxygène qui perturbent le statut redox des cellules, causant un stress oxydant (Pourrut et al. 2008; Liu et al. 2008; Grover et al. 2010; Yadav, 2010).

Le cadmium, est un métal lourd dont la toxicité n'a éveillé l'attention qu'à partir des années cinquante, composant naturel des roches et du sol (Sherlock, 1984), métal trace non-essentiel, Il représente un réel problème environnemental tant qu'il contamine les végétaux et les tissus animaux. Comme le cadmium du sol est généralement très phytodisponible, il peut être accumulé dans les cultures et transféré dans la chaîne alimentaire. Toxique à de très faibles concentrations ; il est considéré de 2 à 20 fois plus toxique que les autres métaux lourds (Johnson et al., 2003 et, pour (Gérard, 2001). il constitue le quatrième métal le plus toxique pour les plantes vasculaires. Bien qu'un nombre restreint de plantes tolèrent et/ou accumulent de fortes teneurs de ce métal, toutes les plantes manifestent des symptômes de toxicité qui apparaissent également chez les plantes tolérantes pour de plus fortes concentrations en métal, or ces métaux entraînent souvent des effets néfastes pour les organismes. L'accumulation excessive du plomb par exemple dans les tissus est toxique pour la plupart des plantes, conduisant à des diminutions de la germination, de l'allongement racinaire, de la biomasse, et

une inhibition de la biosynthèse chlorophyllienne (Sharma et Dubey, 2005; Brunet et al., 2009; Piotrowska et al., 2009; Sing et al., 2010). Cette fonctionnalité est connue pour être une cause majeure de la toxicité des métaux lourds.

Des travaux de recherche sont donc nécessaires pour répondre aux attentes dans les domaines de la phytoremédiation des sols (Cunningham et Berti, 1993) et surtout de la sécurité alimentaire (plantes potagères cultivées dans des jardins proches d'installations industrielles par exemple). En effet, il faut pouvoir s'assurer de l'innocuité des végétaux destinés à être consommés par les êtres humains.

Dans cette optique, que se situe le présent mémoire dont l'objectif majeur est l'évaluation de la phytotoxicité des deux métaux lourds à savoir le plomb et le cadmium à différentes concentrations sur une légumineuse fabacée (la fève : *Vicia faba*) comme modèle végétale. Dans ce contexte général, les enjeux scientifiques consistaient à étudier l'effet toxiques sur les paramètres morphologiques, physiologiques et le pouvoir phytoaccumulateur.

Dans le corps du manuscrit, la démarche scientifique est décrite en fonction des trois chapitres.

_ Chapitre I. synthèse bibliographique : Nous allons donc, dans un premier temps rappeler l'état des connaissances sur l'ensemble des ETM, le plomb et, le cadmium ainsi qu'une description générale de l'espèce végétale la fève.

_ Chapitre II. Matériels et méthodes : ou nous allons détailler l'ensemble des manipulations abordées au niveau de laboratoire.

_ Chapitre III. Résultats et discussion : ce dernier est consacré aux résultats obtenus et leur discussion relative aux expérimentations adoptées. À la fin de notre mémoire nous allons présenter une simple conclusion sur ce sujet.

I- Les métaux lourds

I.1- Définition des métaux lourds

Les définitions du terme « métal lourd » ou élément trace métallique (ETM) sont multiples. Ils peuvent être également définis comme tous les éléments métalliques à partir de la quatrième période de la classification des éléments. (Seregin and Ivanov., 2001).

D'un point de vue purement chimique, les éléments de la classification périodique formant des cations en solution sont des métaux.

D'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g.cm³ (Adriano, 2001).

D'un point de vue biologique, on en distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : métaux essentiels et métaux toxiques.

- **Les métaux essentiels** : sont des éléments indispensables à l'état de trace

Pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (Loué, 1993). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe). (Adriano, 2001).

- **Les métaux toxiques** : ont un caractère polluant avec des effets toxiques

Pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd), le chrome (Cr), l'arsenic (As). Ce sont les métaux lourds les plus fréquents. Ils contaminent de nombreux sites à travers le monde. D'ailleurs ont été identifiés comme agents chimiques de préoccupation majeure à l'échelle mondiale pour la santé humaine par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (Pacyna et al., 2001; World Health Organisation, 2016).

I.2-Origines des métaux lourds

Les métaux lourds peuvent provenir de plusieurs sources D'origine naturelle ou anthropique

I.2.1-Origine naturelle

Les ETM proviennent soit de l'éruption volcanique qui est à l'origine de 80% de l'émission naturelle, soit l'altération des continents ; les incendies de forêts et les sources biogéniques (Jarvis et Leung, 2002).

Ils sont transportés par la suite, vers les sols soit par le vent, soit par les eaux de précipitation le sol peut retenir jusqu'à un certain seuil de concentration en métaux. Ils sont le plus souvent stockés pendant les périodes sèches, remobilisés et entraînés pendant les périodes de pluie. (Laperche et al., 2004).a titre d'exemple, parmi ces ETM, le plomb, est par importance le 36ème élément constituant l'écorce terrestre et il est considéré comme un polluant primaire persistant, non biodégradable et ne perd pas sa toxicité avec le temps (Mielke et Reagan,1998). Sa durée de vie dans le sol est d'environ 1700 ans (Baize, 1997).

Les métaux lourds trouvés naturellement dans la nature (Dung Huynh, 2009), sont présents Dans l'eau, l'air et le sol.

Ces éléments proviennent d'abord de phénomènes naturels (fond pédo-géochimique naturel)

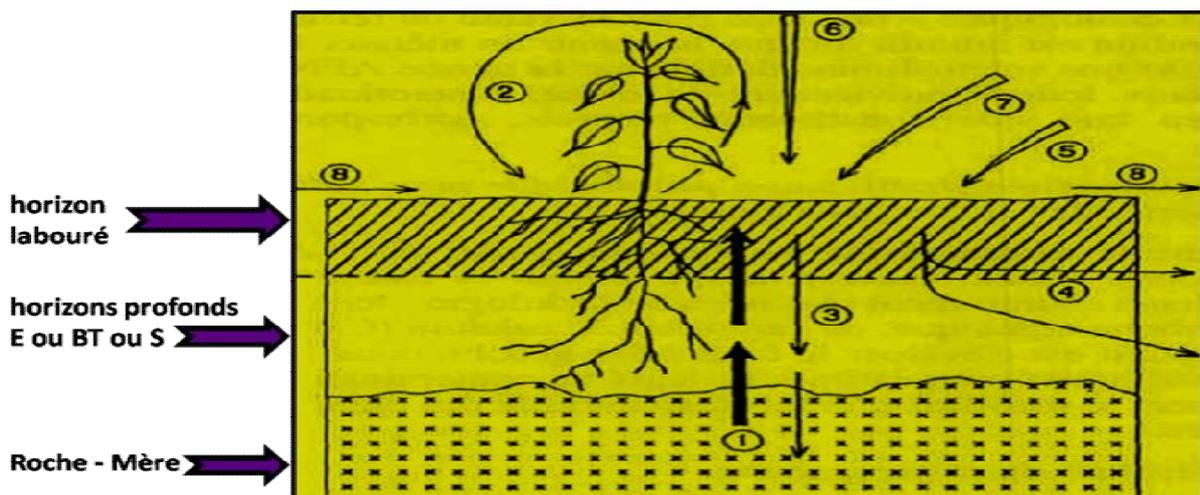


Figure 1. Origine des éléments traces métalliques dans le sol (Denis Baize, 1997)

- 1] héritage de la roche-mère (composition chimique de la roche - sans oublier de prendre en compte également les formations superficielles) ;
- 2] cycle bio-géochimique : des éléments sont adsorbés par les racines dans tous les horizons, assimilés par les plantes et libérés plus tard soit dans le sol (décomposition des racines) soit à la surface (débris des parties aériennes, litières forestières) ;
- 3] transferts pédologiques verticaux : migrations sous formes solubles ou associés aux particules d'argile et au fer vers les horizons profonds ou vers les nappes phréatiques ;
- 4] transferts pédologiques latéraux : lessivage latéral de particules ou redistributions suite aux cycles réduction/oxydation ; poussières et aérosols d'origine lointaine : volcaniques, embruns et vents lointains.
- 5] apports agricoles gérés à la parcelle : engrais (notamment phosphatés), amendements calcaires, fumiers, lisiers, épandages divers, boues de stations d'épuration, composts urbains, produits de traitements phytosanitaires, etc. ;
- 6] apports diffus aériens d'origine lointaine : poussières et aérosols provenant des chauffages, activités industrielles, moteurs d'automobiles, etc.
- 7] apports massifs localisés d'origine proche : « pollutions »
- 8] transferts latéraux de particules par ruissellement à la surface. Apports ou pertes selon position sur les versants.

I.2.2-Origine anthropique

Les métaux lourds d'origine anthropique intervenant des pratiques agricoles et industrielle sont plus important que ceux, d'origine naturelle, par exemple, le plomb rejeté dans l'environnement par les activités humaines est en quantité 300 fois supérieure que par les processus naturels (Lacoue-Labarthe, 2007) On les résume comme suivant :

- ✓ Activités pétrochimiques
- ✓ Utilisation de combustibles fossiles (centrales électriques au charbon, chaudières industrielles, fours à ciment...)
- ✓ Transport (véhicules et moteurs routiers et non routiers, embarcations)
- ✓ Incinération de déchets
- ✓ Produits (interrupteurs électriques, amalgames dentaires, éclairages fluorescents)
- ✓ Déchets urbains (eaux usées, boues d'épuration, ordures ménagères) agricoles

I.3- La contamination des plantes par les métaux lourds

Les plantes sont exposées de deux façons aux éléments traces : par les parties aériennes et par les racines. Ils peuvent y pénétrer par les parties aériennes (feuilles, tiges, fruits), à partir de particules en suspension dans l'air ou de composés dissous dans l'eau de pluie ou d'irrigation. Ils peuvent pénétrer par les **racines** à partir du sol.

Une fois prélevés par la plante, les éléments traces peuvent être accumulés et ne pas circuler dans la plante, ou alors être transportés du lieu de l'absorption vers un autre organe végétal.

I.3.1-Contamination foliaire

La contamination des végétaux par les métaux lourds, vient avant tout des parties aériennes (Figure 2), les poussières contenant des métaux lourds ne pénètrent pratiquement pas les plantes, mais elles s'y accumulent en formant un dépôt inerte à leur surface. Et elles peuvent pénétrer sous certaines conditions de précipitation et d'acidité (Lefèvre, 1998.).

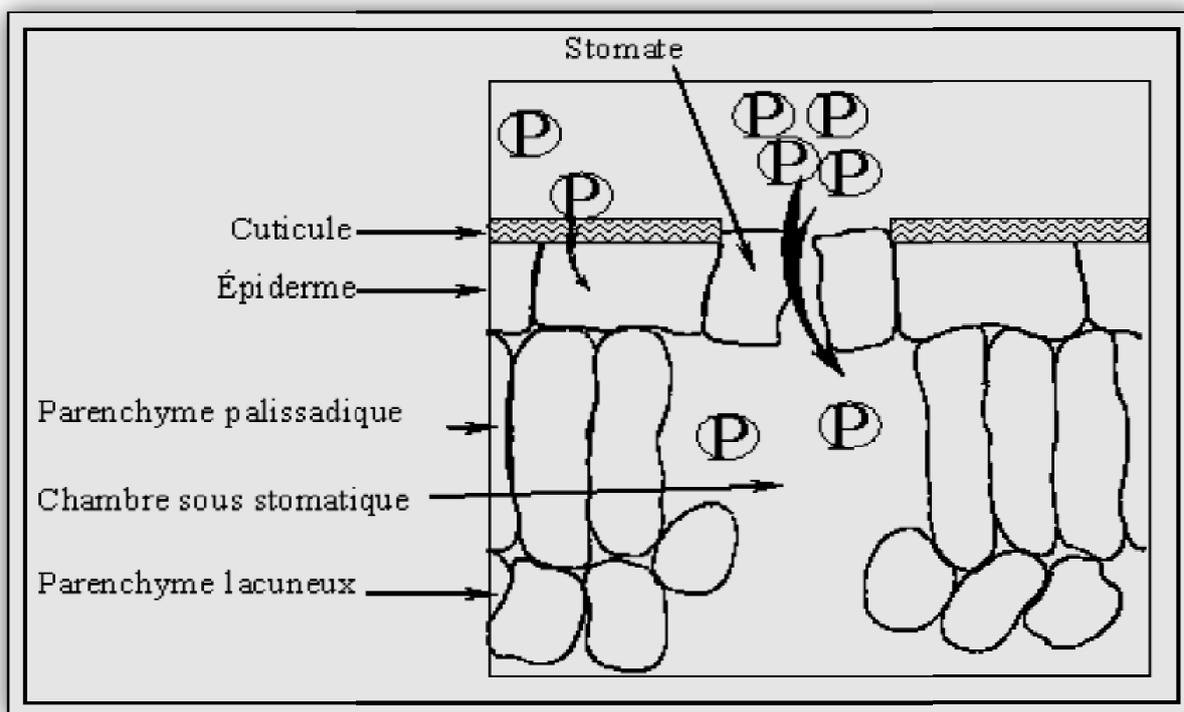


Figure 2. Les voies de contamination foliaire par les ETM d'après (Cuny et al.,2006)

I.3.2-Contamination racinaire

Dans le sol, l'absorption racinaire correspond au prélèvement par la plante des éléments minéraux du milieu extérieur et elle peut se faire de plusieurs manières. Soit la pénétration des éléments dans les racines se fait grâce à un transport actif interne par le **symplaste**. Ce transport peut aussi se faire par voie passive appelée **l'apoplaste (figure 3)**

❖ Voie symplasmique (intérieur de la cellule)

Le symplaste est défini comme ce qui se trouve à l'intérieur de la membrane plasmique. Les éléments métalliques traversent la paroi, puis la membrane plasmique, et se déplacent de cellule en cellule par les plasmodesmes. Il s'agit dans ce cas d'une réelle absorption de l'élément par la cellule végétale, puisqu'il se trouve dans le milieu intérieur de la cellule. L'absorption se fait de trois manières (Bourrelier P et J Berthelin, 1998)

- La première est une absorption passive, le long d'un gradient électrochimique des ions (spontanément d'un endroit où la solution est chargée plus positivement vers un endroit où elle est chargée moins positivement), et ne requérant pas d'énergie. Ce type de transport existe quand la solution de sol est très chargée en cet élément, ce qui est rare.
- La deuxième est une absorption passive demandant une dépense d'énergie de la part de la cellule, et maintenant ainsi le gradient électrochimique (Intérieur de la cellule négatif par rapport à la solution de sol extérieure).
- La dernière est une absorption active (contre un gradient électrochimique) avec dépense d'énergie

❖ Voie apoplasmique (extérieur de la cellule)

L'apoplasme est constitué de la paroi perméable et des espaces entre les cellules. Il représente 10-15 % du volume de la racine. Il ne s'agit pas d'une véritable absorption de l'élément, on dit que l'élément est prélevé par la plante, mais non absorbé. Ce type de transport est arrêté après 5 à 10 cellules par une rangée de cellules dont la paroi est subérisée, c'est-à-dire recouverte d'une substance lipidique imperméable (Morel J.L ; Leyval C ; Berthelin J, 1994) La suite du transport vers les vaisseaux conducteurs de sève brute, le xylème, se fait donc par l'intérieur des cellules et nécessite donc une absorption réelle. Une fois dans le xylème, les éléments peuvent être transportés vers les parties aériennes de la plante.

La voie apoplastique n'est pas à négliger. Elle peut être prépondérante pour certains éléments traces chargés positivement qui entrent difficilement dans la cellule. Ceci pourrait expliquer pourquoi certains cations ont tendance à s'accumuler dans les racines : parce qu'ils restent fixés dans les parois racinaires, comme le Pb, le Cu, le Cd, et le Zn (Morel J.L ; Leyval C ; Berthelin J, 1994). D'une façon générale, les monocotylédones, comme le maïs, ont moins de charges négatives à la surface de leur paroi que la majorité des dicotylédones, comme le concombre, et donc accumulent moins les métaux à cet endroit (Gérard Miquel M, 2000-2001)

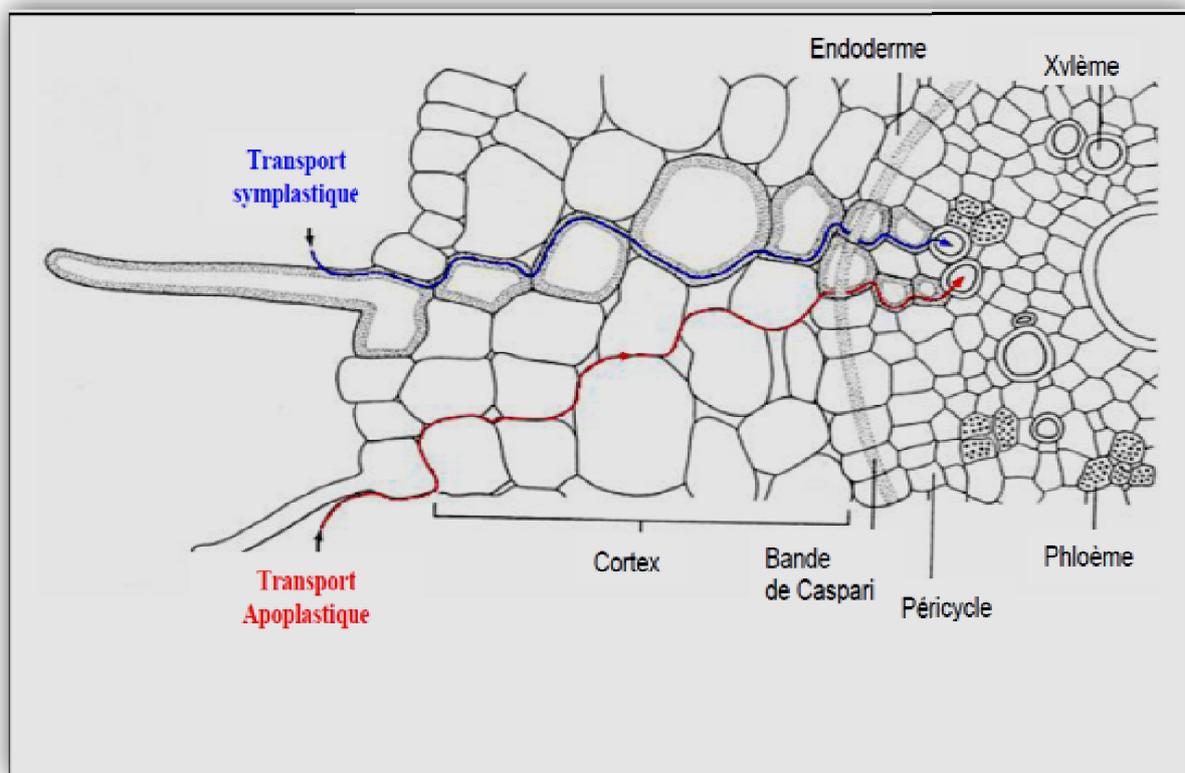


Figure 3. Les voies de contamination racinaire par les ETM (Bourbonnais G ,2007)

Cette section décrit les principales caractéristiques et propriétés physicochimiques pour chaque un des contaminants de l'étude. Un métal est un élément chimique, bon Conducteur de chaleur et d'électricité ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, (Lee, 1979)



Figure 4. Forme naturelle de cadmium (Forme naturelle) de plomb



Figure 5. Galène

II-Le Plomb

II.1-L'historique

Le plomb a été l'un des premiers métaux utilisés par l'homme dès l'âge du bronze, il y a plus de 7 000 ans. Du fait de sa relative disponibilité et de ses propriétés physico chimiques (malléabilité, ductilité, bas point de fusion, propriété anticorrosion), le plomb a été largement utilisé par les Grecs et les Romains comme pigments (oxyde de plomb) ou pour réaliser des canalisations, de la vaisselle, des pièces de monnaie, des toitures...

L'utilisation du plomb a ensuite explosé au cours de la Révolution industrielle. Pendant la première moitié du XXème siècle, le plomb a été utilisé dans l'industrie, l'imprimerie et les peintures. Dans la seconde moitié du siècle, l'utilisation dominante était liée aux carburants automobiles (le plomb était ajouté dans l'essence comme antidétonant) puis aux accumulateurs de voitures et industriels. Depuis les années 1970, le développement de

nouvelles technologies, la prise en compte des problèmes environnementaux et de santé Publique, ont conduit à la diminution ou à l'arrêt de certaines utilisations du plomb (canalisations, soudure, peinture, pesticides, antidétonant dans l'essence...).

II.2-Généralités

Le plomb, du latin *plombum*, est un métal mou, gris, sans goût ni odeur caractéristique, est un métal qui résiste très bien à la corrosion. Très présent dans l'écorce terrestre, il s'y retrouve sous forme de minerai et il est souvent lié à l'argent et au zinc (Garnier, 2005). Les principaux minerais du plomb sont la galène (composée de sulfure de plomb), la cérusite (composée de carbonate naturel de plomb) et l'anglésite (composée de sulfates naturels de plomb) (Garnier, 2005). Ce métal qui se trouve rarement sous sa forme élémentaire. Il existe sous forme métallique, inorganique et organique. Il prend une forme inorganique lorsqu'il est associé à certains composés pour former les sels du plomb. Parmi les sels de plomb les plus fréquemment rencontrés, on retrouve ceux des chlorures, du chromate, du nitrate, des phosphates et des sulfates (Sterckeman, 2000). Le plomb est présent dans la croûte terrestre et dans tous les compartiments de la biosphère. La concentration moyenne en plomb de la croûte terrestre serait de l'ordre de 13 à 16 mg/kg. (Sterckeman, 2000) D'autres processus naturels, comme la dégradation et l'érosion du sol, (contenant entre 50 et 75 mg de plomb par kg de sol), Mais généralement Les principales sources de contamination en Pb sont les rejets anthropiques. Ils proviennent principalement des industriels qui extraient et purifient le Pb naturel et qui recyclent les composants contenant du Pb comme les batteries.

II.3-Propriétés physiques

Le plomb est un métal gris bleuâtre (figure.5) ; possède un point de fusion de 327°C et sa température d'ébullition est d'environ 1700°C. Il est difficilement détruit, et non dégradable (Morlot, 1996). Dans le sol, le Pb peut se retrouver sous forme ionique, dissoute, ou liée plus ou moins fortement aux particules (Raskin et Ensley, 2000). L'accumulation de Pb, provenant des retombées atmosphériques, ou de déchets contaminés déposés sur le sol, se fait principalement dans les horizons de surface (Steckeman et al., 2000) et plus précisément dans les horizons riches en matière organique. Les teneurs en Pb diminuent, ensuite, plus en profondeur (deAbreu et al., 1998). Ceci s'explique par le fait que le Pb est peu mobile. Etant principalement associé aux argiles, aux oxydes, aux hydroxydes de fer et à la matière

organique, il n'est mobile que lorsqu'il forme des complexes organiques solubles et/ou que le sol a dépassé sa capacité d'absorption pour le Pb (Morlot, 1996 ; Raskin et Ensley, 2000).

II.4-Propriétés chimiques

Le plomb, élément du groupe IV-A du tableau périodique, de masse atomique 207,2 g/mol, possède une densité élevée de 11,3 g.cm⁻³. Son rayon atomique de 180 pm et son volume molaire de 18,26.10⁻⁶ m³.mol⁻¹. (Tableau1).il possède 20 isotopes dont quatre sont naturels, soit le 204Pb (1,4 %), 206Pb (26,1 %), 207Pb (22,1%), 208Pb (52,4 %) (Garnier, 2005 et Institut national de la santé et de la recherche médicale, 1999).

Cet élément présente une forte réactivité vis à vis des oxydes de fer et de manganèse mais également vis à vis des phosphates et de la matière organique (Adriano, 2001; Hettiarachchi et Pierzynski, 2002).le métal est difficilement phytodisponible (Eick et al.,1999; Badawy et al., 2002 ; Baize et Tercé, 2002). Le facteur pH a un rôle important dans le transfert du Pb du sol vers les végétaux ; une acidification du sol favorise sa solubilisation et par conséquent sa biodisponibilité (Tresmel- Schaub et Feix, 2005).

| Propriétés | Valeurs |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Masse molaire | 207,2 g/mol |
| Pression de vapeur | 4,21x10 ⁻⁷ Pa à 327,6 °C |
| Solubilité dans l'eau | Non soluble à 20 °C |
| États d'oxydation | 3 (0, +2, et +4) |

Tableau 1. Propriétés physicochimiques du plomb

Tiré de (J.K. Barbalaceinc., 2012)

II.5-Spéciation et mobilité

Le Pb introduit dans le sol ne subit que peu de transformation et migre relativement peu à travers les différents horizons. Etant peu mobile, il reste généralement fixé à la partie supérieure du sol, En revanche une texture légère et un pH acide (4.1 à 4.3) provoqueraient un lessivage important et une contamination en profondeur. (Baize, 1997 ; Nriagu, 1978)

Le comportement du plomb dans un sol dépend de différents facteurs comme sa dynamique propre mais également des caractéristiques pédologiques et physico-chimiques du sol (Baize, 1997). (Hinsinger, 1996 ; Dumat et al., 2001 ; Ferrand et al.,2006).

La grande affinité de la matière organique vis-à-vis de ce métal expliquerait l'accumulation préférentielle de ce métal dans les horizons de surface (Juste et al, 1995). En règle générale 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.sa mobilité est principalement contrôlée par sa spéciation en phase aqueuse et par des processus d'adsorption/désorption ainsi que de dissolution/précipitation.

II.6-L'absorption de plomb par les plantes

L'absorption du plomb par les racines et son transfert vers les parties aériennes s'effectue au cours des premières vingt-quatre heures d'exposition (Pourrut Bertrand, 2008). Après pénétration dans les organes végétaux, le plomb passe par les deux voix citées auparavant. La rapide limitation de l'entrée de plomb dans la racine pourrait être un mécanisme général de défense des plantes contre les métaux lourds- Au niveau moléculaire, Il semblerait que le plomb puisse rentrer par plusieurs voies d'accès, notamment des canaux ioniques et/ou des transporteurs ioniques. Le plomb profiterait de la non-spécificité de certains de ces canaux/transporteurs et de la très forte différence de potentiel membranaire, pouvant dépasser -200 mV dans les cellules du rhizoderme (Hirsch et al., 1998), pour diffuser à l'intérieur de la racine. L'absorption du plomb est donc une absorption passive, la voie apoplastique pourrait être une voie importante pour le plomb mais nécessite une dépense énergétique de la cellule pour maintenir ce potentiel très négatif L'inhibition de l'absorption racinaire du plomb par le calcium est un phénomène connu depuis longtemps (Garland and Wilkins, 1981) et qui semble commun à toutes les espèces végétales. (Huang and Cunnigam .1996) ont les premiers, évoqué que l'ajout d'ions Ca^{2+} , Mg^{2+} ou K^{+} , dans le milieu extérieur, inhibe significativement la pénétration de plomb dans les racines de riz (Kim et al., 2002). Chez le blé, l'utilisation d'inhibiteurs de canaux calciques (lanthane) ou potassiques (chlorure de

césium) a permis de montrer que ces canaux étaient des voies d'entrée pour le plomb dans la racine (Wang et al., 2007b).

II.7- La translocation de plomb dans les plantes

Pour la plupart des espèces, la majorité du plomb absorbé par les plantes réside dans les racines, et seulement une faible proportion est transloquée vers les parties aériennes. De plus, (Yoon et al., 2006) ils trouvent des facteurs de translocation assez faibles, avec une valeur moyenne de 0,58 indiquant que les plantes séquestrent le plomb dans les parties racinaires et limitent le transport interne, des racines vers les parties aériennes. De même (Del-Rio Celestino et al., 2006) ont trouvé des facteurs de translocation compris entre 0 et 0,7 dans des plantes sauvages ayant poussé sur du sol artificiellement contaminé avec 500 mg Pb.kg-1. Quant à (Ding et Pan, 2003), ils ont montré que s'ils retrouvaient du plomb dans les parties aériennes de plantes ayant poussé sur site contaminé, au moins 50% était d'origine atmosphérique. Cependant les espèces hyper accumulatrices, ont la capacité de transloquer une grande quantité du plomb vers les parties aériennes (Seregin et Ivanov, 2001), et qui présentent donc des facteurs de translocation supérieurs à 1 (Baker, 1981).

II.8-La toxicité de plomb sur les plantes

La toxicité du plomb dépend de sa concentration dans le milieu, de sa spéciation, des propriétés du sol, et enfin de l'espèce végétale concernée. Le plomb entraîne des effets néfastes sur les plantes. En premier lieu, la germination est fortement inhibée par les ions Pb^{2+} et ce, à de très faibles concentrations (Tomulescu I et al., 2004). Les plantes cultivées dans un milieu contaminé par le Pb présentent un ralentissement de leur développement et une inhibition de la croissance des racines, L'exposition à une faible concentration conduit au développement de racines plus courtes mais plus compactes. Le Pb néfaste aussi des parties aériennes. Les feuilles ont généralement une surface inférieure à celle des témoins et des chloroses peuvent apparaître. Dans certains cas la présence de Pb peut mener à une mort des cellules (Ernst, 1998; Seregin et Ivaniov, 2001). Le plomb peut se fixer, en grandes quantités, sur les composants des parois ou des membranes. Cette fixation conduit notamment à une **minéralisation**. Des études ont permis d'observer une diminution du taux de transpiration ainsi que du contenu en eau dans les plantes (Iqbal et Mushtaq, 1987; Sharma et Dubey, 2005). La photosynthèse est elle aussi inhibée, (Stefanov et al., 1995), ainsi que la synthèse des protéines.

III-Le Cadmium

III.1-L'histoire

Le cadmium fut découvert en 1808 par Magnus Martin Pontin, mais c'est en 1817 que l'Allemand Friedrich Stromeyer le prépara pour la première fois. Le nom de Cadmium vient du latin *cadmia*, « calamine », ancien nom donné au carbonate de zinc, le cadmium était extrait de ce minerai aux environs de la ville de Thèbes, qui fut fondée par Cadmos, et dont la citadelle porte le nom de *kadmeia*, en français Cadmée.

III.2-Généralités

Le cadmium est un élément qui est peu présent dans la nature; il est principalement un sous produit des procédés métallurgiques du zinc, du cuivre et du plomb (Martelli et autres, 2006). Le cadmium peut se retrouver dans l'environnement sous deux formes, soit le cadmium métallique et les sels de cadmium (Andujar et autres, 2010). Le cadmium métallique est un métal malléable de couleur blanche et bleuâtre Les sels de cadmium peuvent prendre un aspect poudreux ou cristallin selon le type de sels formés (Andujar et autres, 2010). D'après l'*United States Environmental Protection* _ Les 10 sels de cadmium les plus communs dans l'environnement sont les oxydes de cadmium (CdO), le chlorure de cadmium (CdCl₂) et le sulfure de cadmium (CdS) (USEPA, 1986). Le CdO peut exister sous deux aspects, soit comme poudre incolore amorphe ou comme cristaux rouges et bruns; ils sont uniquement solubles dans les acides (Andujar et autres, 2010). Le CdCl₂ a un aspect de cristaux incolores et il est soluble dans l'eau et dans les acides (Andujar et autres, 2010). Le Cd a un aspect de cristaux jaunes ou rouges et il est insoluble dans l'eau (Andujar et autres, 2010). Le Cd ne se dégrade pas dans l'environnement, mais des processus physiques et chimiques peuvent modifier sa spéciation, Dans les sols, le cadmium est considéré comme un élément relativement mobile par rapport à d'autres métaux en traces tels que le cuivre ou le plomb (Bourrellet et Berthelin, 1998).

Il est rare de trouver des sols uniquement pollués par du cadmium car ce métal est plus souvent présent dans des milieux contenant aussi du plomb et / ou du zinc (Daud et al, 2008). La géochimie du Cd est étroitement liée à celle du zinc, mais elle diffère toutefois puisque le Cd présente une grande affinité pour le soufre.

III.3-Propriétés physiques

Le cadmium est un métal blanc argenté (figure.4), ayant des propriétés physiques proches de celle du zinc. Il fond à 320,9 °C et bout à 767 °C. Lors de l'ébullition du cadmium, il se dégage des vapeurs jaunes toxiques. Sa masse spécifique (densité) est de 8 650 kg/m³. Et une masse molaire atomique de 112,411 g.mol(USEPA), Il est ductile (résistance à l'étirement), malléable (résistance à l'aplatissement) et résiste à la corrosion atmosphérique (Andujar et autres, 2010), ce qui en fait un revêtement de protection pour les métaux ferreux.

III.4-Propriétés chimiques

Les propriétés chimiques du cadmium sont semblables à celles du zinc. L'ion cadmium est remplacé par le zinc métallique en solution : il est donc plus noble que le zinc. Il s'oxyde très peu à température ambiante et brûle dans l'air en donnant l'oxyde anhydre CdO, insoluble dans un excès d'hydroxyde de sodium. Il réagit avec les acides et les bases. Le cadmium est soluble dans l'acide nitrique dilué et dans les acides chlorhydrique et sulfurique concentrés et chauds. On le trouve sous un aspect oxydé (+II) de manière stable (Cd²⁺, CdSO₄, CdS, CdCl₂, CdCO₃, CdHCO₃⁺ ou Cd(PO₄)₂) (Ross, 1994). En conditions de forte oxydation, le Cd forme des oxydes ou des carbonates (CdO, CdCO₃). Il peut également s'accumuler dans des phosphates ou des phytocytos (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). Le Cd est rapidement libéré des roches par altération. Il donne en solution Cd⁺⁺ mais aussi des ions complexes comme CdCl⁻ ; CdOH⁺ ; CdHCO₃⁺ ; CdCl₃⁻ ; Cd(OH)₃⁻ ; Cd(OH)⁻ de même que les chélates organiques (Coullery, 1997)

| Propriétés | Valeurs |
|-----------------------|------------------------------------|
| Masse molaire | 112,411 g/mol |
| Pression de vapeur | 7,5x10 ⁻³ mmHg à 257 °C |
| Solubilité dans l'eau | Non soluble à 20 °C |
| États d'oxydation | 2 (0 et +2) |

Tableau 2. Propriétés physicochimiques du cadmium Tiré de J.K. Barbalace inc.2012

III.5-Spéciation et mobilité

Le Cd est fortement adsorbé par les argiles, les matières organiques, les boues et les acides humiques avec lesquels il forme des complexes. Ou encore peut exister en tant que cation échangeable dans des fractions organiques et inorganiques. Il se concentre préférentiellement dans les roches argileuses et schisteuses (Coullery, 1997). Sa rétention par la phase solide croît exponentiellement avec le pH croissant (Alloway, 1995). En d'autres termes la mobilité du Cd dépendrait largement du pH et du Eh, mais (Baize, 1997), au cours de ses divers travaux, a pu constater plusieurs exemples de migrations en profondeur même en sols à pH neutre ou alcalin.

En générale La mobilité et la forme chimique du Cd dans les sols varient suivant les propriétés physiques et chimiques du milieu: taille et aire de surface des particules, masse volumique, température, aération, quantité et type de matière organique, pH, capacité d'échange cationique (Ross, 1994) Sa mobilité dans les sols, est limitée par son affinité vis-à-vis de la matière organique (Adriano, 2001). Donc plus disponible pour Les plantes.

III.6-L'absorption de cadmium par les plantes

Les taux d'absorption du cadmium varient énormément en fonction de l'espèce considérée, de la concentration du cadmium bio disponible dans le sol et de nombreux facteurs bio-physico-chimiques (pH notamment). (Jackson et Alloway, 1992). La forme ionique Cd^{2+} est celle immédiatement disponible pour la plante. Cependant, d'autres formes telles des complexes chlorés semblent être aussi assimilables par la plante, (Bingham, 1986; Tyler et McBride, 1982). La forme ionique est toutefois largement préférée aux formes chélatées (Cabrera et al. 1988; Hamon et al. 1998). Puisque le Cd^{2+} est un ion métallique non essentiel, on considère qu'il n'existe pas de mécanisme spécifique d'absorption de cet élément. (Smolders et al., 1996) Le cadmium étant un métal facilement absorbé par les racines des plantes (Wagner, 1993) il est probable qu'il puisse entrer dans les cellules de plantes par l'intermédiaire de plusieurs systèmes de prélèvement des cations essentiels (Clemens, 2006). Il a cependant été rapporté que le cadmium peut être absorbé par simple diffusion et que les différentes voies d'absorption du cadmium peuvent varier selon l'espèce végétale considérée. Chez le riz, le maïs et le soja, l'absorption est réalisée principalement par des transporteurs membranaires (Cataldo et al., 1988) alors que chez l'orge, l'absorption du cadmium se fait principalement par une simple diffusion (Cutler et Rains, 1974). Chez d'autres espèces, les deux voies peuvent coexister comme chez le blé dur (Hart et al., 1998b). Le facteur de transfert racinaire du

cadmium aux végétaux est compris entre 0,1 et 10 (Alloway, 1990) et généralement supérieur à celui de la Plupart des métaux traces. En outre, il a été observé que les légumes feuilles (salades, épinards), les légumes racines (carotte, radis) ou les tubercules (pomme de terre) ont un taux de transfert 3 à 5 fois supérieur à celui des céréales (Jackson et Alloway, 1992). La répartition du cadmium dans la plante est hétérogène et l'organe cible privilégié est la feuille

III.7-La translocation de cadmium dans les plantes

Le transport du cadmium des racines vers les feuilles se fait *via* la sève brute (xylème). Suite à l'absorption du cadmium par les racines, trois processus contrôlent le transport du cadmium:

- la séquestration des métaux à l'intérieur des cellules racinaires, - le transport symplasmique dans la stèle - et la décharge du cadmium dans le xylème (Clemens et al.,2002a). Le transport du cadmium vers les feuilles semble être étroitement lié au processus de la transpiration (Hardiman et Jacoby., 1984). En effet, il a été démontré que la fermeture totale des stomates s'accompagne par une diminution importante de l'accumulation du cadmium au niveau des feuilles,(Salt et al.,1995). Chez plusieurs espèces les phytochélatines jouent un rôle important dans le transport à longue distance du cadmium, des racines vers les parties aériennes et inversement (Chen et al., 2007;Gong et al., 2003;Mendoza-Cózatl et al., 2008). À ce jour, différentes familles de transporteurs capables de transporter le cadmium ont été identifiées chez les plantes la famille ubiquitaire ZIP de transporteurs de métaux (Zinc Regulated Transporter/IRT Relatedproteins), (Briat et Lebrun, 1999 ; Guerinot, 2000 ; Clemens, 2006) Une autre famille de transporteurs de métaux permettant potentiellement l'entrée du cadmium est constituée par la famille Nramp (protéines de macrophages associées à la résistance naturelle). (Thomine et al.,2000)

_ Des canaux, notamment les canaux calciques pourrait aussi être impliqués dans le transport du cadmium (Hinkle et al.,1992 ; Perfus- Barbeoch et al.2002)

III.8-La toxicité de cadmium sur les plantes

Chez les plantes, le cadmium n'a aucune fonction biologique connue (Pokorny et al., 2004), et il est toxique à de faibles concentrations (De la Rosa et al., 2004)

La toxicité du cadmium chez les plantes s'observe par l'apparition de retard dans le développement des jeunes pousses, de la chlorose et de perturbations de la photosynthèse.

La chlorose est une conséquence de la perturbation du métabolisme foliaire du fer et du zinc. Ainsi, la présence de cadmium dans le milieu de culture conduit à la diminution de l'absorption du fer et à la modification du rapport fer/zinc dans la feuille. Les symptômes les plus évidents de la toxicité du Cd sont l'enroulement des feuilles ainsi que la fermeture des stomates (Clemens, 2006). Al'échelle cellulaire, le Cd va provoquer des dommages à l'appareil photosynthétique, en particulier au niveau des antennes collectrices et des deux photosystèmes, en engendrant une diminution du taux de chlorophylle et de caroténoïde (DalCorso et al., 2008). Cela va abaisser le rendement quantique. De plus, en inhibant les enzymes impliquées dans la fixation du CO₂, le Cd diminue l'assimilation du carbone (Perfus-Barbeoch et al., 2002).



I -Le choix de l'espèce végétale

Les légumineuses alimentaires constituent une grande famille, avec quelques 690 genres et environ 18000 espèces, dont fait partie la fève qui est une plante herbacée annuelle, **La fève, *Vicia faba*** est choisie comme une espèce végétale. C'est une plante supérieure dicotylédone, de la famille des Fabaceae (Peron, 2006). la plante a été choisie en raison de son utilisation au laboratoire comme plante modèle pour des études de toxicologie de différents polluants (Loudes, 2002; Pourrut, 2003; El Hajjoujiet *al.*, 2007; Marcato, 2007; Cecchi, 2008). De plus, l'utilisation de *Vicia faba* présente de nombreux intérêts : croissance rapide, biomasse importante, sensibilité aux métaux. A l'échelle internationale, son utilisation dans des études d'écotoxicologie est croissante depuis plusieurs années. Cette plante a déjà fait l'objet d'expérimentations dans la littérature et elle est recommandée par la norme AFNOR NF T 90-327 pour l'évaluation de la génotoxicité, du fait de sa grande sensibilité vis-à-vis des micropolluants et de sa facilité d'obtention. Par exemple, elle a déjà été utilisée pour étudier les effets mutagènes des micropolluants rencontrés dans l'environnement. C'est un bon indicateur car elle est très sensible avec de courtes périodes de traitement. Elle est donc actuellement utilisée comme plante sentinelle.

II-Origine et évolution

Le nom *fab* provient de l'une des formes du verbe grec *wagev* - " manger " - qui met en évidence son utilisation pour l'alimentation et la nourriture pour les anciens Grecs et les Romains (Muratova, 1931) Malgré de nombreuses études, on sait peu de l'origine et de la domestication de fève (Maxted et al.,1991). La fève aurait été cultivée dès la fin du néolithique, elle a constitué durant toute l'antiquité et le moyen âge, une base alimentaire importante jusqu'au développement du haricot et de la pomme de terre (Hullé et al.,1999).

D'après (Saxena ,1991), la fève a été domestiquée très tôt dans le monde. Bien que son origine ne soit pas encore claire (Nuessly et al., 2004; Mikic,2011), de récentes découvertes archéologiques à Tell el-kerkh de la Nord-ouest de la Syrie ont montré que la fève daterait de la fin du 10ème millénaire avant J-C, ce qui indique que le sud-ouest de l'Asie est le principal centre d'origine et de diversité de *v.faba* (Duc et al., 2010). Selon (Cubero, 2011) le centre d'origine de *v.faba* serait le Proche-Orient, La forme ancestrale de *v.faba* est inconnue, mais le plus proche parent sauvage de la fève est supposé être l'espèce *vicia plinianad* d'Algérie (Duc et al.,2010).

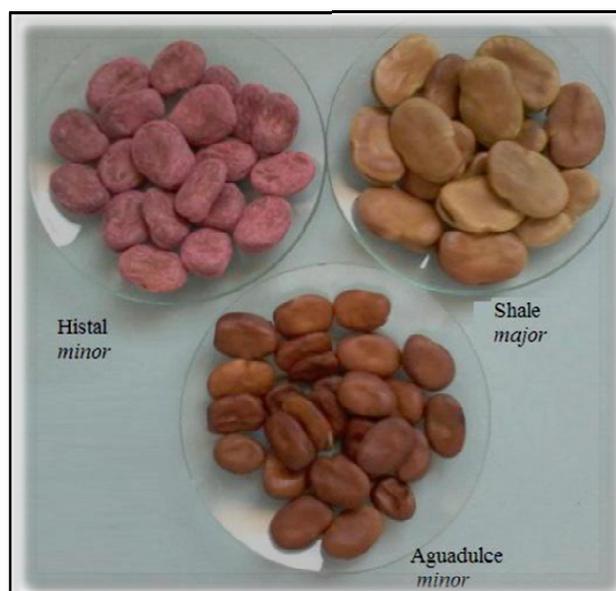
EXIGENCES

- **Aime les sols argilo- calcaire ou argilo siliceux riche en humus.**
- **Température : 18 -22 °C résiste au froid jusqu'à -3°C.**
- **pH : 6 à 7**
- **Aime les sols humides.**
- **Salinités : plante tolérante 3,20 à 5,10 g / l (5 à 8 mmhos/cm-1).**
- **Résiste à la chaleur, exigeante en lumière plante des jours longs.**

III-Les variétés de la fève

Le genre *Vicia* comprend environ 120 espèces réparties principalement dans les régions tempérées de l'hémisphère nord. La taxonomie interspécifique de *Vicia faba* prêche à confusion plusieurs variétés qui ont été distinguées sur la base de la morphologie et la taille des graines du cultivar et qui ont été nommées comme mentionné ci-dessous (Brink, 2006) :

- *Vicia faba major*, dont chaque graine pèse plus d'un gramme. C'est la fève cultivée pour l'alimentation humaine.
 - *Vicia faba minor*, dont les graines, beaucoup plus petites ne sont utilisées qu'en oisellerie.
 - *Vicia faba equina*, à graines plus lourdes que celles de *Vicia faba minor* mais plus légères que celles de *Vicia faba major* (Pesson, 1984).
- Figure 6. les variétés de la fève**
(Muratova ; Guen et Duc ,1996)



IV-Description de la fève

FICHE DESCRIPTIVE

- **Plante enrichissante, fixe l'azote grâce aux nodosités.**
- **Longévité moyenne de la graine: 5 à 6 ans.**
- **Germination : 6°C lui est nécessaire pour la levée.**
- **Dose de semis : 150 à 200 kg / ha**
- **Cycle végétatif : 120 jours**

- Description de Baseflor

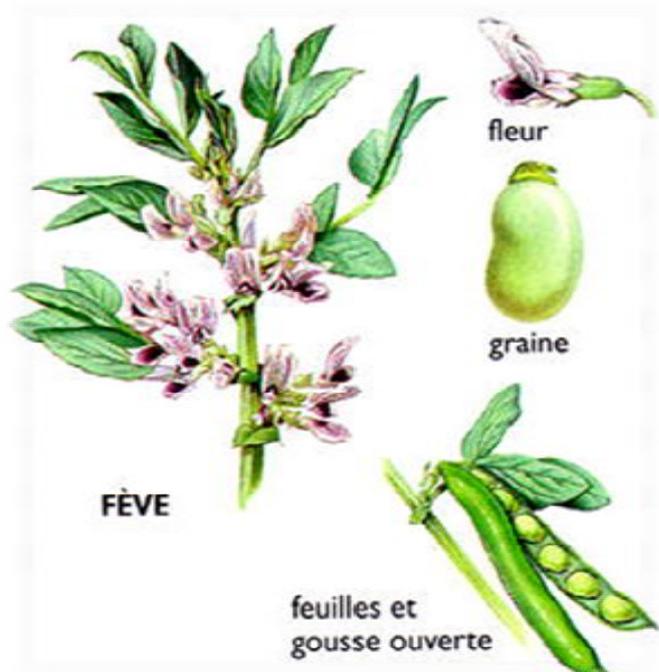
| | |
|---|--|
| Type Biologique : | Thérophytes (< 1m) Estivaux |
| Formation Végétale : | Thérophytaie |
| Chorologie : | Méditerranéen Occidental |
| Inflorescence : Fruit : Couleur De La Fleur: Sexualité : Pollinisation : Dissémination : | Racème Simple Gousse Blanc Hermaphrodite Entomogame Barochore |

Tableau 3. La description de la fève (Julve Ph. Baseflor, 2017)

- Classification botanique de la fève

D'après (Waiciechowski et al.,2004), cette classification est décrite comme suite

Règne : *Plantae*
Sous-règne : *Tracheobionta*
Division : *Magnoliophyta*
Classe : *Magnoliopsida*
Sous-classe : *Rosidae*
Ordre : *Fabales*
Famille : *Fabaceae*
Genre : *Vicia*
Espèce : *Vicia faba*



V-Les intérêts de la fève

V.1-Intérêts agro_ économique et nutritionnel

L'espèce *V.faba* comme toutes les légumineuses alimentaires, contribue à l'enrichissement du sol en éléments fertilisants, (Sillero, 2010) son aptitude à fixer l'azote atmosphérique limite l'utilisation des engrais azotés qui sont coûteux pour l'agriculteur et néfastes pour la santé humaine et l'environnement (Girard, 1990) elle améliore aussi la structure du sol par son système racinaire puissant et dense. Les résidus des récoltes enrichissent le sol en matière organique (Rachef et al., 2005). La fève est aujourd'hui parmi les plantes légumières les plus cultivées dans le monde. Selon les statistiques de la FAO, la récolte mondiale s'élève, en 2002, à 4.75 millions de tonnes dont 1.02 millions de fèves vertes et 3.73 millions de fèves sèches. Elle constitue une importante ressource socio-économique en occupant toujours la première place parmi les légumes secs (Benachour et al., 2007). La fève est la principale légumineuse alimentaire cultivée en Algérie (INRA, 2007). Elle est retenue surtout pour la consommation humaine sous forme de gousses fraîches, ou en grains secs (Maatougui, 1996). La valeur nutritionnelle de la fève est attribuée à sa teneur élevée en protéines (20- 5%) qui contrairement aux céréales, sont riches en lysine et faibles en méthionine. Elles sont aussi une bonne source de glucides (50-60% d'amidon), de minéraux, de fibres et de vitamines. Par contre, la proportion lipidique est faible (Larrald et Martinez, 1991). La fève constitue une source considérable d'énergie (344 Kcal/100g) et peut efficacement remplacer les protéines animales dans les pays pauvres (Chaieb et al., 2011).

V.2-Intérêt écologique

La fève est localisée dans l'étage bioclimatique de 250mm de pluie, tolère bien le froid et les hautes températures (Herzog, 1984). Sa température optimale de pousse se situe aux environs de 20° C (Foltete, 2010). La somme de températures nécessaires pour accomplir son cycle végétatif varie de 19 à 20°C (Carlu, 1952). La fève préfère les sols profonds, siliceux riches en matière nutritives et en humus (Kolov, 1976). Cette plante est capable de s'adapter à des sols très pauvres et très dégradés, donc elle a un rôle améliorateur des sols, en plus d'un

intérêt alimentaire (Singh et Jauhar, 2005). La fève est très sensible à la pollution du sol, ce qui en fait un modèle végétatif utilisé en écotoxicologie dans un grand nombre d'étude (Nori, 2012). La fève est aussi employée pour étudier les réponses des marqueurs au stress oxydant (Radetski, 2004) ; et d'autres mécanismes de défenses antitoxiques de la plante comme les phytochélatines (Beraud, 2007).

| COMPOSANTS | TENEURS |
|-------------------------|-----------|
| Protéines brutes | 30 - 31.8 |
| Matières grasses brutes | 2 - 2.6 |
| Fibres brutes | 8 - 9.3 |
| Cendres | 3 - 3.7 |

Tableau 4. Composition biochimique globale (g/100g de MS) de *Vicia faba* (Feillet, 2000).

Ce chapitre sera consacré à la présentation de l'ensemble des manipulations qui ont été menées au niveau de laboratoire d'écologie et environnement (département de biologie) dans l'objectif d'évaluer la phytotoxicité des deux métaux lourds (plomb et cadmium) sur les paramètres de croissance ainsi que le potentiel phytoaccumulateur d'une espèce végétale choisie dans cette étude comme légumineuse fabacée (*vicia faba*). Pour aboutir à notre objectif nous avons adopté ce Plan d'expérimentation :

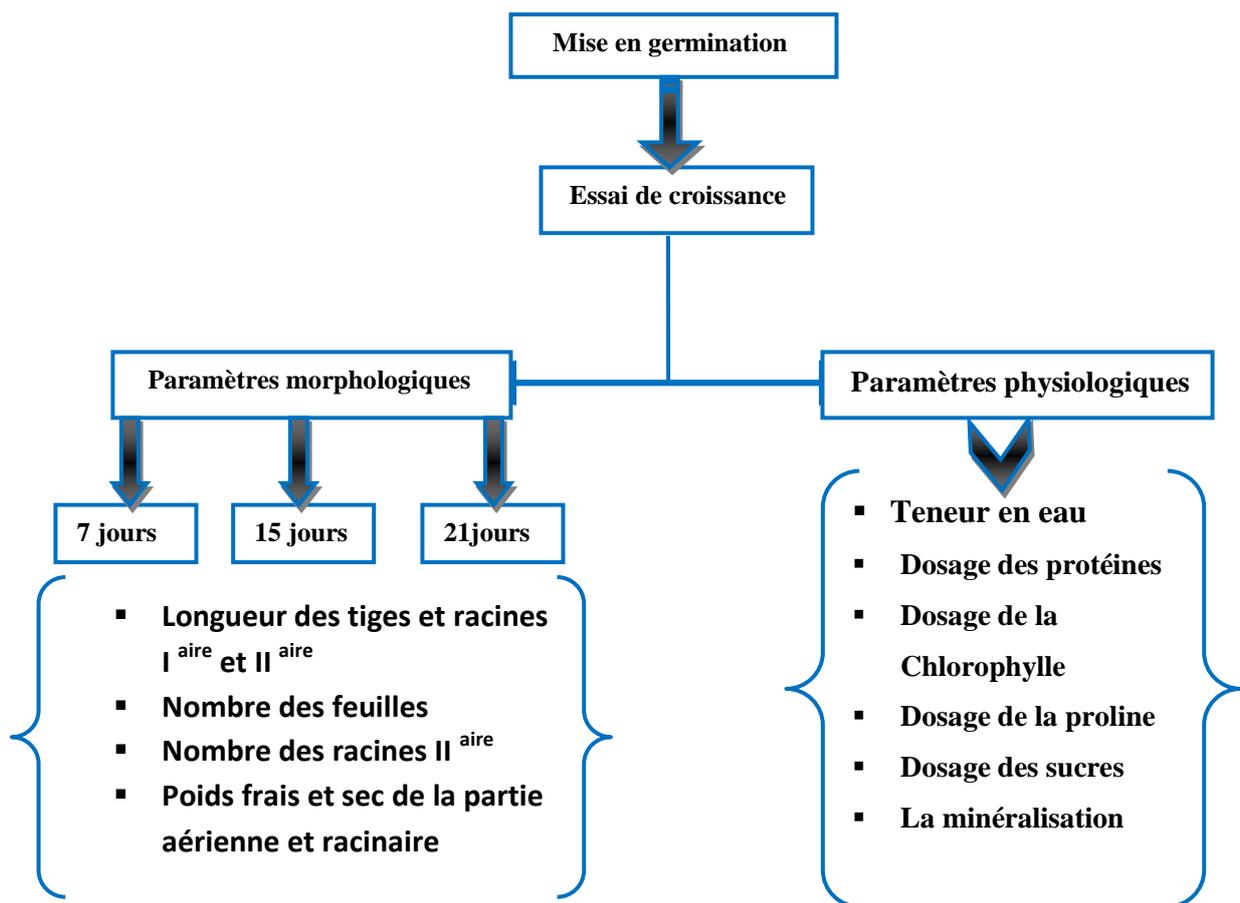


Figure7. Schéma explicatif du plan expérimental

I -Conditions de culture

I.1-Le choix et la sélection des graines

Les graines sèches de la fève sont tout d'abord choisies selon leur état sanitaire ; morphologie et taille en utilisant une loupe. Ensuite les graines Triées doivent être désinfectées à l'eau de javel (10%) pendant 20 min puis rincées abondamment à l'eau distillée pour lessiver le produit de conservation ayant adhéré à la graine. Et pour faciliter et homogénéiser leur germination elles vont être immergées dans l'eau distillée toute une nuit.



Figure(8). Graines sèches de *Vicia faba*

I.2-Mise en germination

Les graines sont mises à germer dans des boîtes, tapissées du papier imbibé avec de l'eau distillée et placées à la lumière à température ambiante. Jusqu'à la percée de la radicule

I.3-Essai de croissance

La culture est réalisée dans des pots remplis avec la même quantité de terreau ou sont enfoncées les graines germées pour pousser dans des conditions de contamination par les métaux lourds cette étape est effectuée par l'arrosage avec les solutions polluantes préparées en Pb et en Cd. à différentes concentrations à raison de (45ml/ pot) Les prochains arrosages seront assurés avec l'eau, et selon la capacité au champ de chaque Pot. (Figure 9)

La culture a été réalisée dans labo d'écologie avec une température approximative de (24c° le jour et 20c°la nuit).

○ **Préparation des solutions polluantes**

- ❖ solutions d'acétate de plomb $[\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$: pour préparer des solutions à 0.25g/L ; 0.5g/L ; 1g /L .Il faut dissoudre dans (1L) D'eau distillée les quantités : 0.392g ; 0.784g ; 1.569g respectivement
- ❖ solutions de chlorure de cadmium $[\text{CdSO}_4]$: pour préparer des solutions à ; 0.25g/L ; 0.5g/L ; 1g /L .Il faut dissoudre dans (1L) D'eau distillée les quantités: 0.463g ; 0.927g ; 1.854g respectivement

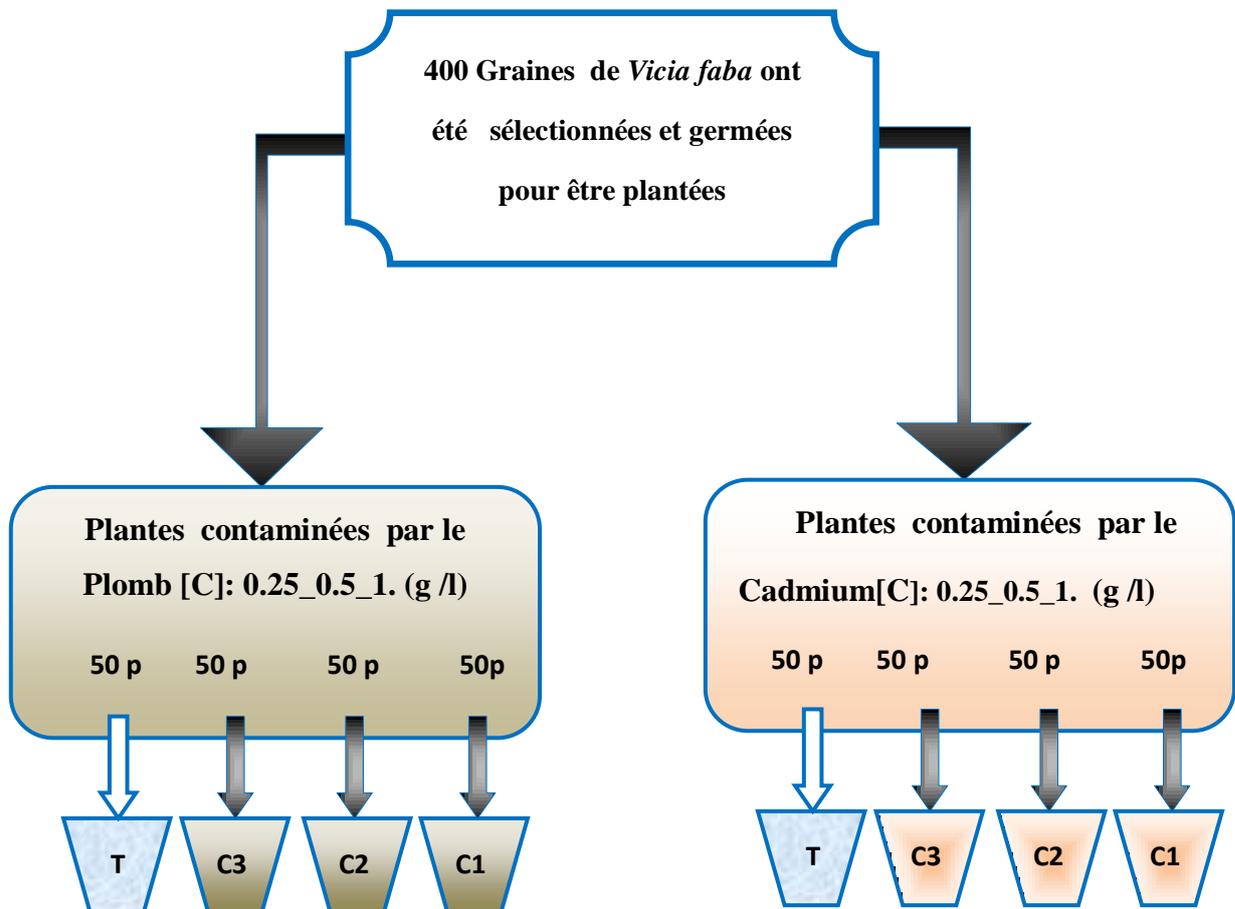


Figure 9. Schéma explicatif de la mise en culture



Figure 10 .Dépositif expérimental

II-Mesure des paramètres morphologiques

Au cours de la croissance des plantules (7, 15 ,21 /jour) nous allons mesurer un ensemble de paramètres morphologiques ; a chaque prélèvement on sacrifie 4 plantules par concentration pour avoir un maximum de répétition .en suivant la figure (11)



Figure 11.L'ensemble des parametres morphologiques

- Les racines sont parfaitement rincées avec de l'eau et nettoyées à l'aide d'un pinceau afin d'éliminer toute particule du terreau pour ne pas fausser les mesures.
- La mesure de la longueur des tiges et des racines primaires et secondaires de chaque plantule est effectuée à l'aide d'une règle graduée après chaque semaine
- Ainsi que le poids frais de la partie aérienne et racinaire en utilisant une balance de précision, alors que le poids sec a été mesuré après séchage de la plante à (80°C/48 h) dans l'étuve.

III-Mesure des paramètres physiologiques

III.1-La teneur relative en eau (TRE %)

Cette mesure nous a permis d'apprécier l'état hydrique des plantules soumises à l'expérience selon (Scippa et al., 2004). La méthode est basée sur des feuilles coupées en forme de disque. Dix disques sont coupés à partir des feuilles des plantules contaminées du chaque concentration. A fin de peser ces derniers avec une balance de précisions, les poids à déterminer sont :

- poids frais (PF) : immédiatement après la coupe
- Poids de turgescence (PT) : après refroidissement des disques dans l'eau distillée au Réfrigérateur à 4°C durant 24h.
- Poids sec (PS) : après séchage des disques dans l'étuve à 80°C durant 48h. Le paramètre est déterminé selon l'équation suivante : **TRE (%) = [(PF-PS) / (PT-PS)] / 100**

III.2-Dosage des pigments chlorophylliens

Cette analyse se base sur l'extraction des pigments chlorophylliens des tissus foliaires qui a été réalisée en suivant la méthode de Mc Kinney cité par (Arnon, 1949). On procède à la lecture de la densité optique à l'aide d'un spectrophotomètre afin d'évaluer l'activité photosynthétique des plantules

➤ Protocol

Le dosage est réalisé. Par une simple technique de broyage de la MVF prenant (10mg) dans un volume de (2ml) d'acétone à 80%. Après la centrifugation à (3000tr /10min) le surnageant sera récupéré pour faire la lecture par spectrophotométrie aux longueurs d'ondes 647, 663 et 470 nm correspondant aux types des pigments photosynthétiques. Les teneurs en

chlorophylle A, B et caroténoïdes, exprimées en $\mu\text{g/g}$ MVF, sont déterminées selon les équations suivantes :

$$* \text{Chl a } (\mu\text{g /g}) = (12.25 * \text{DO 663}) - (2.79 * \text{DO 647})$$

$$* \text{Chl b } (\mu\text{g /g}) = (21.5 * \text{DO 647}) - (5.1 * \text{DO 663})$$

$$* \text{Chl a + chl b } (\mu\text{g /g}) = (7.15 * \text{DO 663}) + (18.71 * \text{DO 647})$$

$$* \text{Caroténoïdes } (\mu\text{g /g}) = \{(1000 * \text{DO 470}) - [(1.82 * \text{Chl a}) + (85.02 * \text{Chl b})]\} / 198$$

III.3- Dosage des sucres

En milieu acide et à chaud, les glucides solubles sont dégradés en furfural qui forme avec l'anthrone un composé bleu dont l'absorbance est mesurée au spectrophotomètre à 630 nm (Cerning-Beroard.1975) La teneur en sucres est déduite à partir de la courbe d'étalonnage (Courbe 3. Annexe).

➤ Protocol

Ce dosage fait intervenir une solution d'Anthrone {Anthrone ; H_2SO_4 }

- La manipulation sert à broyer la MVF dans (1ml) d'éthanol à (80%) puis Centrifuger à (500tr/20min) a fin d'avoir un surnageant duquel on prélève (0.5ml) et on ajoute (0.5 ml d'eau) qui sont additionnés encore à (2ml) de la solution d'Anthrone
- Après incubation les échantillons sont mis au bain marie ($90^\circ/15\text{min}$) ensuite ils vont être récupérés après refroidissement pour faire la lecture à l'aide de spectrophotomètre à une longueur d'onde (630 nm)

III.4-Dosages des protéines

La quantité des protéines est mesurée par la méthode de Bradford citée par (Klavons & Bennett.1986), le changement d'absorbance à 595 nm du réactif de Bradford, dû à la liaison du bleu de coomassie aux résidus aromatiques des protéines. La lecture des teneurs en Protéines est effectuée par rapport à une gamme étalon de sérum albumine bovine (BSA) (Courbe 1. Annexe)

➤ Protocol

Cette opération consiste d'abord à faire une extraction des protéines en utilisant le TE : tris-HCl ($MgCl_2$; glucose) Et un dosage qui nécessite le réactif de Bradford (bleu de coomassie ; éthanol ; acide phosphorique)

- Une quantité de (50mg) prélevée de notre matière végétale fraîche (partie foliaire) soit broyée dans un volume de 2ml du tris-HCl. La solution obtenue est centrifugée à (1300 tr/5min)
- Sur l'extrait protéique récupéré (50 μ l) un volume de 1ml du réactif de Bradford est ajouté ; après incubation de cet ensemble, on effectue la lecture des densités optiques à une longueur d'onde égale à (595nm.).La teneur en protéines est déterminée par référence à une gamme étalon d'une solution BSA (Bovin Sérum Albumine)

III.5-Dosage de la proline

La méthode utilisée est celle de Troll et Lindsley simplifiée par (Rasio et al.1987). Cette technique est basée sur la réaction, en milieu acide et chaud, de la proline et Ninhydrine qui donne un composé rose soluble dans le toluène. Deux phases se séparent, la phase supérieure organique qui contient la proline est récupérée. La lecture de son absorbance est faite au spectrophotomètre à une longueur d'onde (520 nm). La concentration de la proline est déduite à partir de la courbe d'étalonnage (courbe 2. Annexe).

➤ Protocol

Au cours de cette expérience nous allons utiliser comme réactifs : une solution de la Ninhydrine préparée de : (Ninhydrine ; H₂O ; acide acétique ; acide ortho phosphorique) et du toluène. La matière végétale à partir de laquelle on fait le dosage doit être séchée auparavant dans l'étuve pendant quelques jours.

- Dans (1ml) d'eau on fait broyé (20mg) de la MVS afin d'obtenir une solution aqueuse cette dernière est transvasée par la suite dans des tubes à Essai qui sont placés à leurs tours dans un bain marie (à 90° /15min)
- Après refroidissement on réalise une centrifugation (3000tr /10min) et on récupère le surnageant ; sur lequel on rajoute (1ml) de la solution de Ninhydrine ensuite on remet ce dernier au bain marie (90° /15min)

- Dans cette dernière étape ; on ajoute aux tubes après refroidissement (3ml) du Toluène. Cette Solution va être séparée en deux phases après agitation au vortex La phase supérieure doit être récupérée pour faire les lectures au spectrophotomètre à une longueur d'onde (520 nm)

IV-Mesure du pouvoir phytoaccumulateur par (SAA)



○ Principe de l'analyse par (SAA)

L'absorption atomique est un processus qui se produit lorsqu'un atome appartenant à l'état fondamental passe à l'état excité par l'absorption d'une énergie, sous la forme d'un rayonnement électromagnétique, qui correspond à une longueur d'onde spécifique.

Le principe consiste à aspirer l'échantillon sous forme liquide dans une flamme à une température de l'ordre de 1 700 à 2 550 °C, de sorte qu'il se forme une vapeur atomique (atomes neutres, libres et a l'état fondamental). On irradie cette vapeur avec une lampe Spectrale à cathode creuse. Ces lampes émettent des raies de transition des atomes recherchés. Seuls les atomes recherchés absorbent la radiation excitatrice. Ce qui nous permet de lier l'absorption lumineuse à la concentration des atomes étudiées (Patnaik., 2004)

IV.1-La minéralisation

➤ **Protocol :**

- Les plantes ont été sacrifiées ; la partie aérienne est séparée de celle souterraine Les racines sont bien lavées à l'eau de robinet pour éliminer toutes les particules de terreau associées aux racines secondaires.

- La matière végétale (souterraine et aérienne) soit mise à l'étuve à (105C°). Pendant 72h, la MVS obtenue est broyée et tamisée en poudre. (figure 12)

_ Tout le matériel utilisé lors de la minéralisation doit être rincé avec une Solution de HNO₃ à 10% avant usage.

- On prélève (0.5g) de (MVS).La Quantité est trompée dans (6ml) d'acide nitrique concentré dans un bécher toute une nuit.

- Sous une haut a flux laminaire on fait chauffer sur des plaques chauffantes les Échantillons à (150 C° / 60min.) A ce moment là la matière organique commence à se brulée après un instant on va additionner (2ml) d'acide perchlorique HClO₄ à70% et chauffer à 250 C°/2h jusqu'à l'évaporation complète. Dans ce cas là toute la matière organique est éliminée il nous reste que de la matière minérale (figure 13) Pour la récupérer il faut la rincer avec (10 ml) de l'eau distillée et verser cette eau dans une fiole jaugée (25ml) après qu'elle soit filtrée cette opération est répété jusqu'à l'obtention d'un volume de (25ml)

_ Ces étapes sont effectuées sur deux répétitions de chaque partie (aérienne ; racinaire) par échantillon contaminé

- A la fin les échantillons doivent être transvasés dans des tubes étiquetés pour les Conserver Au réfrigérateur en attendant une étape d'analyse par la spectrométrie d'absorption atomique (SAA)



Figure 12 .La matière végétale sèche broyée



Figure 13. La minéralisation de la (MVS)

Chapitre II : Matériels et méthodes

L'ensemble des résultats présentés dans ce chapitre obéisse à une analyse par le test de Student

I- Les conséquences morphologiques du plomb

I.1-L'effet sur la croissance des organes aériens

- La tige

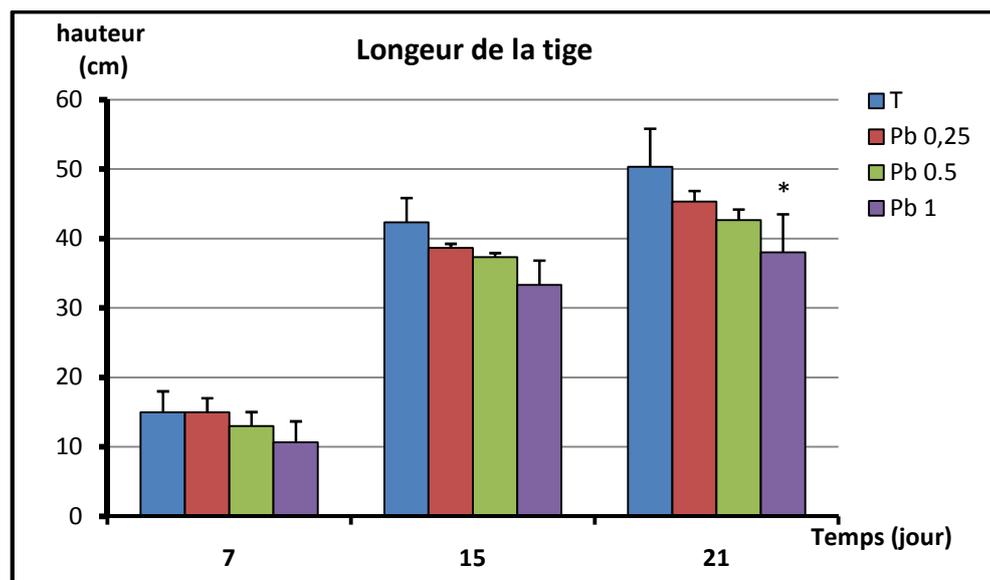


Figure 14. mesure de la longueur des tiges de (*vicia faba*)

D'après les résultats présentés sur la figure (14) on peut constater que la longueur de la tige diminue d'une façon non significative avec les concentrations 0.25 et 0.5 g/l mais significative avec la dose 1g/l par rapport au témoin. Un exemple sur *Lathyrussativus* peut être rapporté dans notre cas. Malgré la quasi absence de Pb dans les parties aériennes de *Lathyrussativus* l'élongation de la tige est faible et les feuilles sont plus petites que celles des témoins (Judicaelle Brunet, 2008) l'ajout de Pb dans le milieu de culture induit une inhibition de la croissance des tiges. Ceci se traduit par les faibles indices de tolérance.

- Les feuilles

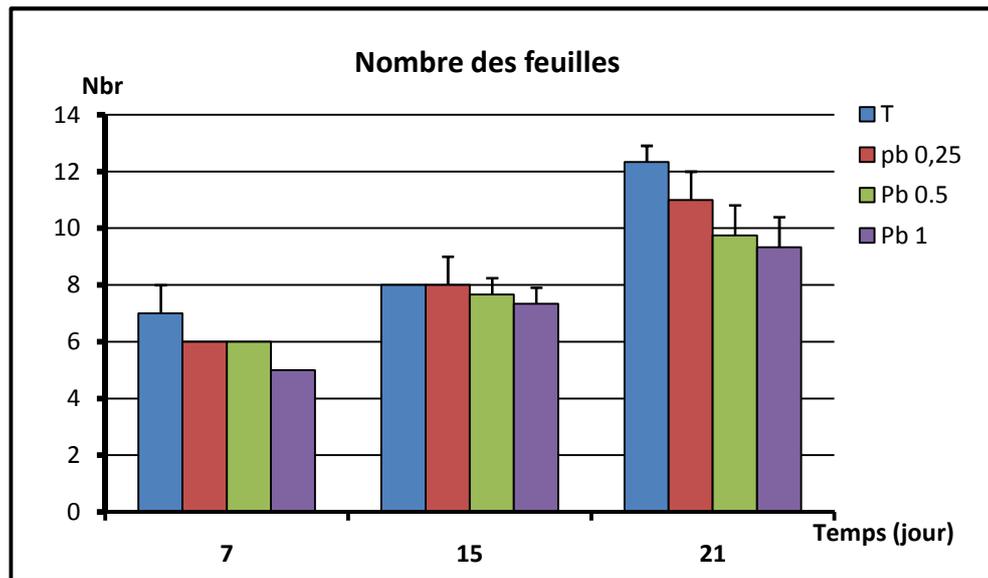


Figure15.mesure de nombre des feuilles (*vicia faba*)

Les résultats sur la figure (15) montrent une augmentation du nombre des feuilles au cours du temps pour l'ensemble des plantes. Tandis que la comparaison entre les plantes contaminées et celles témoin, montre une réduction du nombre des feuilles chez les plantes contaminées par rapport au témoin, ces résultats ont été prouvés sur le blé selon (Nedjah I, 2015), dans les lots où la concentration en nitrate du plomb est élevée, le nombre des feuilles réduit graduellement

- La biomasse aérienne

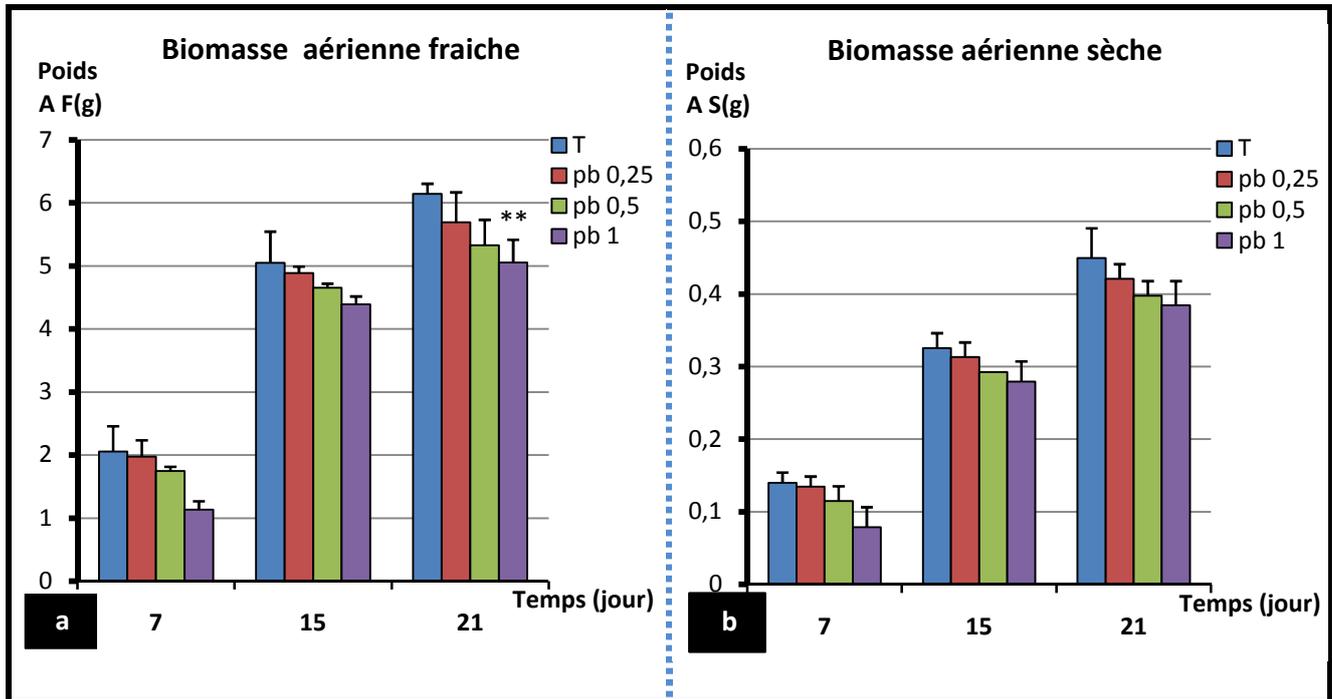


Figure 16. mesures de la biomasse aérienne fraîche (a) et sèche (b) (*vicia faba*)

Les mesures de la biomasse aérienne fraîche et sèche sont rapportées dans La figure (16) , on remarque que toutes les plantules arrivent dans le temps à se développées en matière de poids aérien mais ce développement est réduit dans les plantes contaminées notamment chez les plantes traitées avec la concentration de 1g/l du Pb qui présentent une réduction hautement significative dans le poids frais. Pour la biomasse aérienne nos résultats sont similaires à ceux révélés dans un travail sur la pollution de blé par le plomb. La teneur 0.3g/l a entraîné une réduction importante du poids sec des feuilles de blé. (Nedjah I, 2015) .il ya aussi une corrélation avec des résultats obtenus lors une étude physiologique et moléculaire chez (Brassicacée récoltée au Maroc) selon (Fahr M, 2014) Pour la Population métallicole, la biomasse de la partie aérienne a diminué de 61% et 75%, à 50 et 100 μM du Pb (NO₃)₂, respectivement par rapport aux témoins.

L'ensemble de ces résultats admet que L'absorption du plomb par les racines et son transfert vers les parties aériennes s'effectue au cours des premières vingt-quatre heures d'exposition (Pourrut Bertrand, 2008). Il semblerait donc que le plomb puisse rentrer par plusieurs voies d'accès, pour diffuser à l'intérieur(Hirsch et al., 1998),on conçoit alors que les feuilles de *Vicia faba* apparaissent très sensibles au plomb. Chez d'autre plantes, la

Lathyrussativus comme exemple tolèrent la culture hydroponique en présence de Pb. Cependant le développement des plantes en est inhibé, ce qui est un phénomène observé en réponse au Pb chez d'autres Fabacées (légumineuses) (Huang et Cunningham, 1996; Piechalak et al., 2002; Piechalak et al., 2003). comme ce ci le cas. L'inhibition de la division et de l'élongation cellulaire sont les phénomènes les plus souvent reportés pour expliquer ces effets du plomb. (Seregin et Ivanov, 2001 ; Malkowski et al., 2002 ; Patra et al., 2004 ; Kopittke et al., 2007).

I.2-L'effet sur la croissance des organes racinaires

- La racine principale

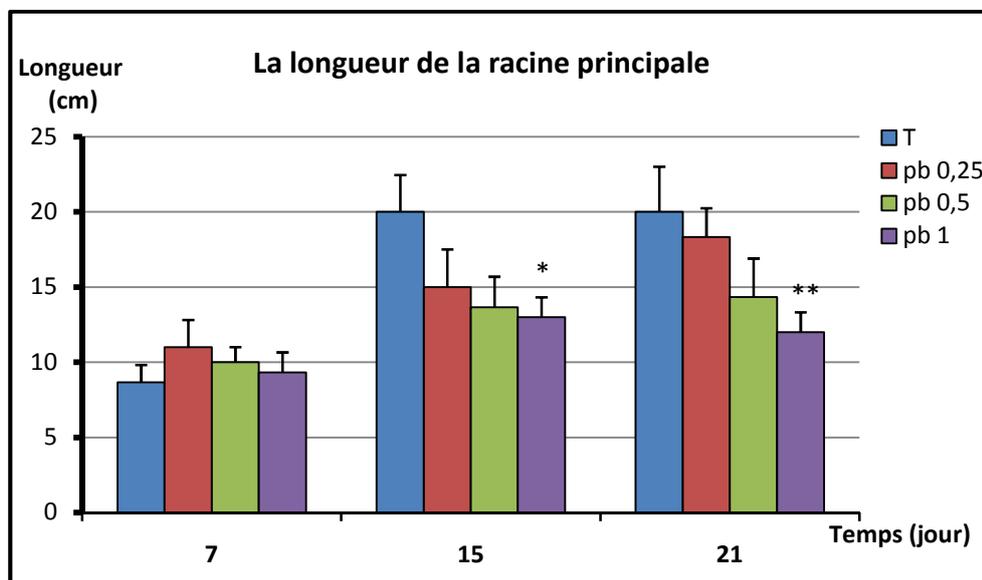


Figure 17. mesure de la longueur des racines principale (*vicia faba*)

Pour la racine principale les résultats apportés dans la figure (17) indiquent une croissance en longueur au cours du temps chez toutes les plantules de la fève de même que les résultats précédents. L'effet de plomb sur la longueur de la racine principale est également négatif avec les trois concentrations ce qui est bien évident chez les plantes traitées par ce métal après comparaison avec le témoin. La différence qui a été notée pour la contamination à C3 semble significative après 15 jours et hautement significative après 21 jours. Ceci avait déjà été mis en évidence il y a près de 84 ans par (Hammett, 1929) qui avait montré une diminution de l'index mitotique dans les racines de maïs et d'oignon, provoquée par la présence de $Pb(NO_3)_2$, et qu'il avait expliqué par la fixation du plomb sur les groupements $-SH$ des protéines.

- Les racines secondaires

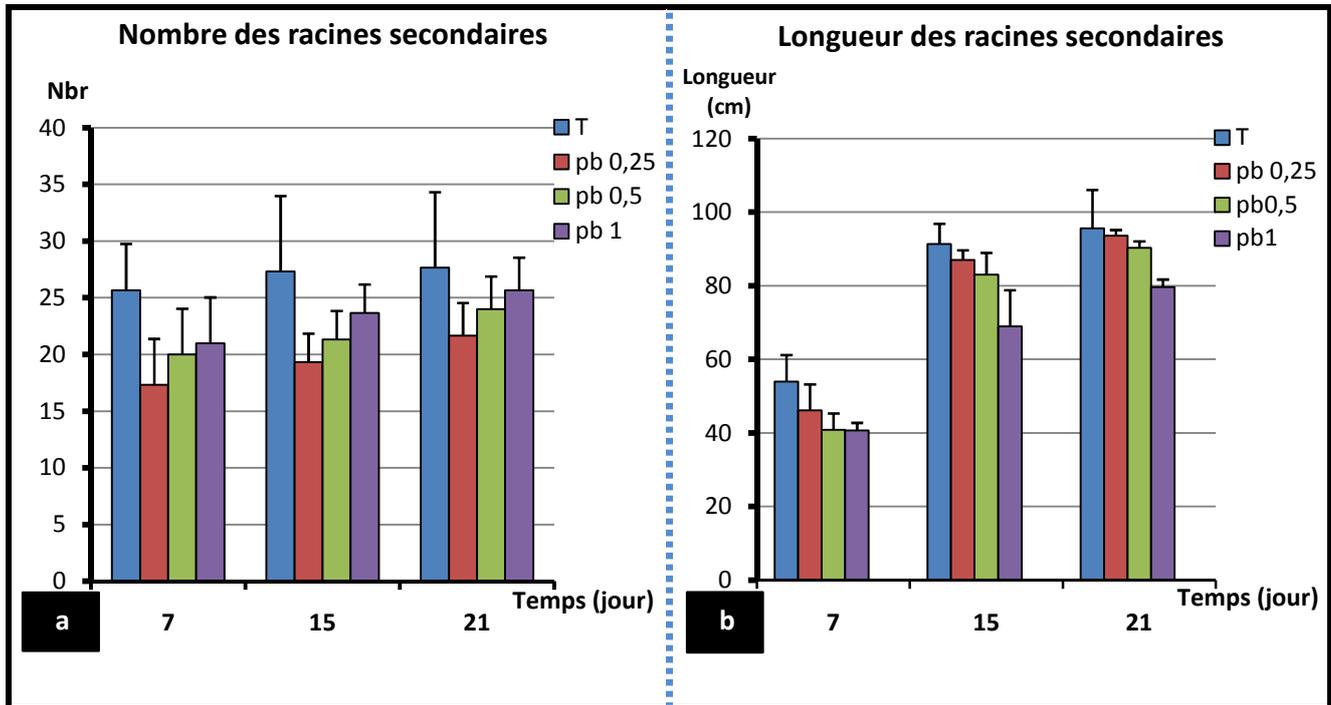


Figure 18. mesures de (nombre et longueur) des racines II^{aires} (*vicia faba*)

Les résultats apportés sur le nombre (graphe a) et la longueur (graphe b) des racines secondaires indiquent que le nombre racinaire est plus ou moins constant à l'échelle du temps pour l'ensemble des plantes, comme nous voyons que l'augmentation de la dose du Pb dans le milieu aboutit à l'apparition de nouvelles racines secondaires chez les plantules contaminées en plomb tandis que ça reste moins important devant le nombre des racines secondaires apparaissant chez les plantes sains (témoins). sur le (graphe b) on révèle qu'au cours de temps les racines secondaires s'étendent en longueur mais en comparant entre les trois concentrations la longueur des racines est plus faible chez les plantes C3 que C2 que C1. ces résultats ont été montrés par (Wierzbicka, 1998), une exposition à une faible concentration de plomb conduit au développement de racines plus courtes mais plus compactes.

- La biomasse racinaire

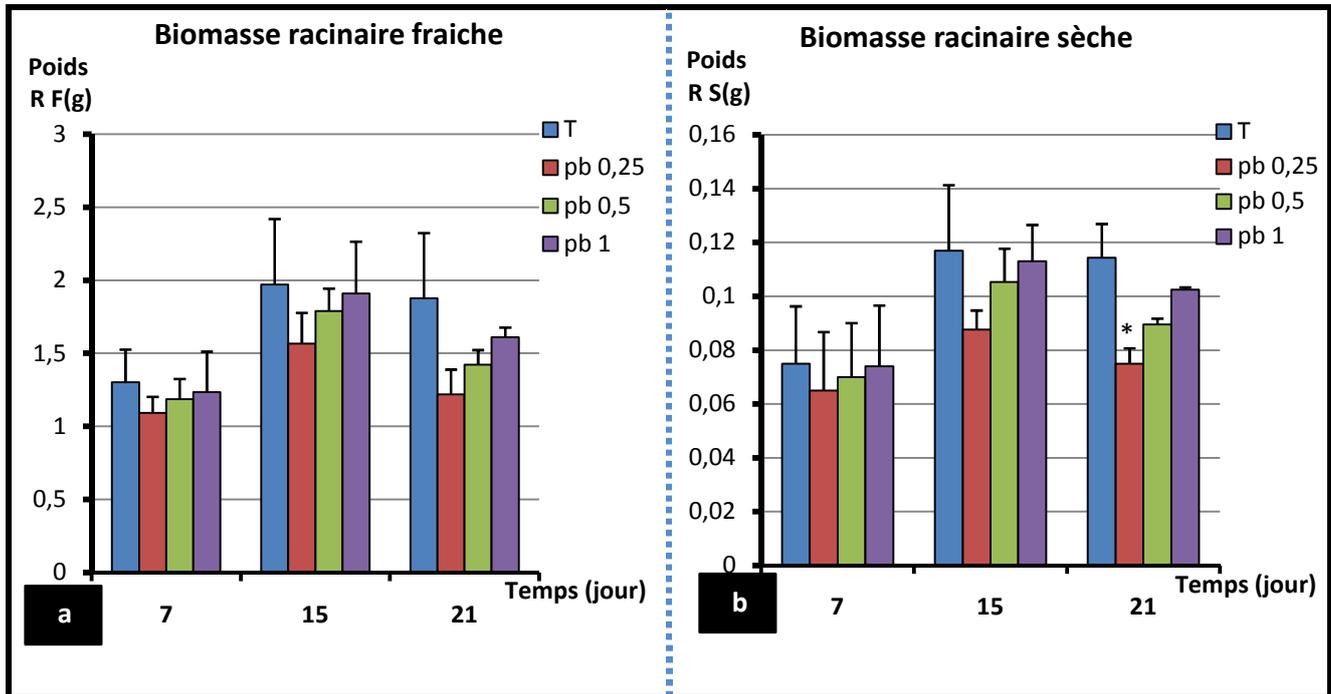


Figure 19.mesures de la biomasse racinaire fraîche (a) et sèche (b)

Les résultats obtenus sur la biomasse racinaire fraîche (a) et sèche (b) sont rapportés sur la figure (19) ces résultats montrent que la biomasse racinaire de toutes les plantules augmente pendant les deux premières semaines puis baisse au-delà du 15^{ème} jour. Nous constatons également que la biomasse des plantes contaminées est très faible par rapport aux témoins la différence est significative pour la C3 après 21 jours. Concernant les poids secs, ces résultats sont conformes à d'autres travaux effectués par (Kopittke et al., 2007) dans une étude réalisée sur la cornille (*Vigna unguiculata*), où ils ont montré que les racines sont plus sensibles que les parties aériennes à l'exposition au plomb. Ou encore (Nedjah I, 2015) qui a prouvé que la production en biomasse racinaire est inhibée dès le seuil minimal de 0,1 μ M de plomb dans la solution, avec une apparition de symptômes visibles sur les racines à partir de 1,5 μ M.

Ces résultats pourraient être expliqués par l'exposition à une concentration réaliste de plomb induisant des modifications chez *Vicia faba*. Un tel traitement entraîne un brunissement de la racine, caractéristique d'un stress. Les apex racinaires commencent également à sénescer. Ces effets du plomb sont la conséquence d'une mort cellulaire dans les zones contenant les plus fortes concentrations en métal (Wierzbicka, 1987; Tung and Temple, 1996b; Seregin et

al.,2004).Cet effet dépressif du Pb est légèrement plus marqué sur les racines que sur les parties aériennes. Cette observation indique une toxicité du Pb plus élevée pour les tissus racinaires, comme le rapportent (Prasad and Hagemeyer, 1999), en présence de polluants métalliques, la croissance des racines est fortement inhibée du fait de leur contact direct avec les polluants du milieu. Par ailleurs, cette inhibition de croissance peut être causée par une carence en certains minéraux essentiels à la croissance racinaire provoquée par la présence de fortes concentrations en métaux (Sharma and Dubey, 2005 ; Zou et al.,2010) qui interviennent dans les mécanismes d'élongation cellulaire (Reymond et al., 2006) et dans l'activité du méristème (Jain et al., 2007). En effet, le Pb agit comme un analogue de certains ions (Brunet et al.,2008; Sharma and Dubey, 2005). Il est transporté à travers la membrane plasmique *via* les transporteurs ioniques racinaires (Arnetoli et al.,2008). Le Pb peut donc entraîner une carence en minéraux dans la plante induisant ainsi une inhibition de la croissance racinaire et aérienne. Donc, d'une manière globale, le plomb affecte la croissance et la morphogénèse des plantes, en perturbant de très nombreux mécanismes physiologiques, entraînant un nanisme des plantes. La toxicité du plomb dépend fortement des interactions de cet élément métallique avec les espèces végétales considérées. On suggère donc que les concentrations (0.25 ; 0.5 ; 1) g/l sont des concentrations inhibitrices de la croissance selon les résultats obtenus sur les différents paramètres morphologiques consignés pour la fève.

II-Les conséquences morphologiques du Cadmium

II.1-L'effet sur la croissance des organes aériennes

- La tige

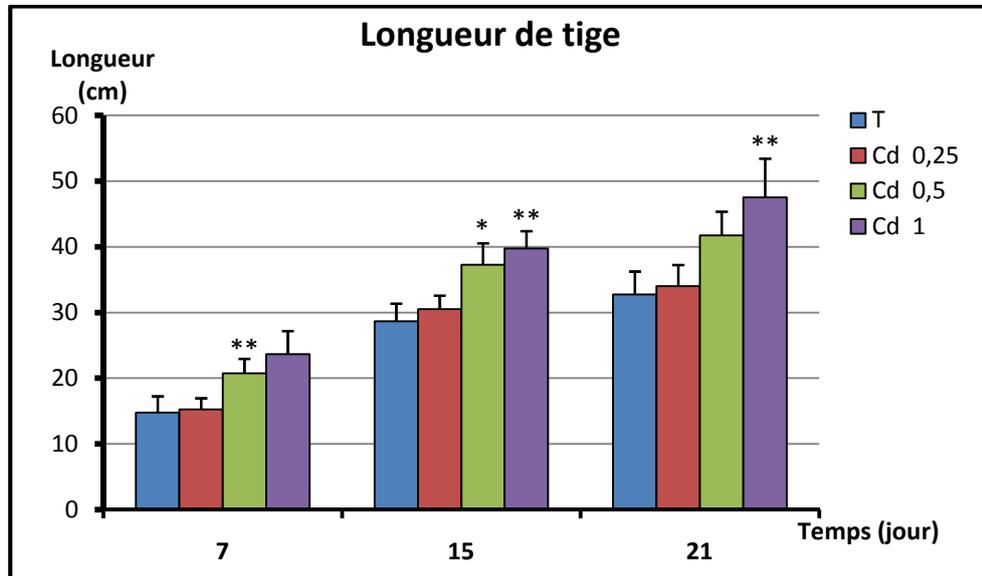


Figure 20 .mesure de la longueur des tiges (*Vicia Faba*)

Les mesures de la longueur des tiges sous stress du cadmium à trois concentrations au cours de 21 jours sont rapportées dans la figure (20), la croissance s'est déroulée avec les trois concentrations. La comparaison avec Les plantes témoins révèle une différence hautement significative dans 7 jours chez les plantes contaminées à C2. ET une différence significative aussi pour C2 dans 15 jours entre temps la différence est hautement significative pour C3 jusqu'à la fin de traitement.

A l'exemple de ces mesures, Les résultats obtenus quant aux variations de la hauteur moyenne des plantules d'*Atriplex nummularia* L. On constate que les hauteurs moyennes des plantes augmentent progressivement et tout particulièrement chez le traitement (Cd/6) où on enregistre une augmentation de plus de 43 % par rapport au témoin (Badache H, 2015).

- Les feuilles

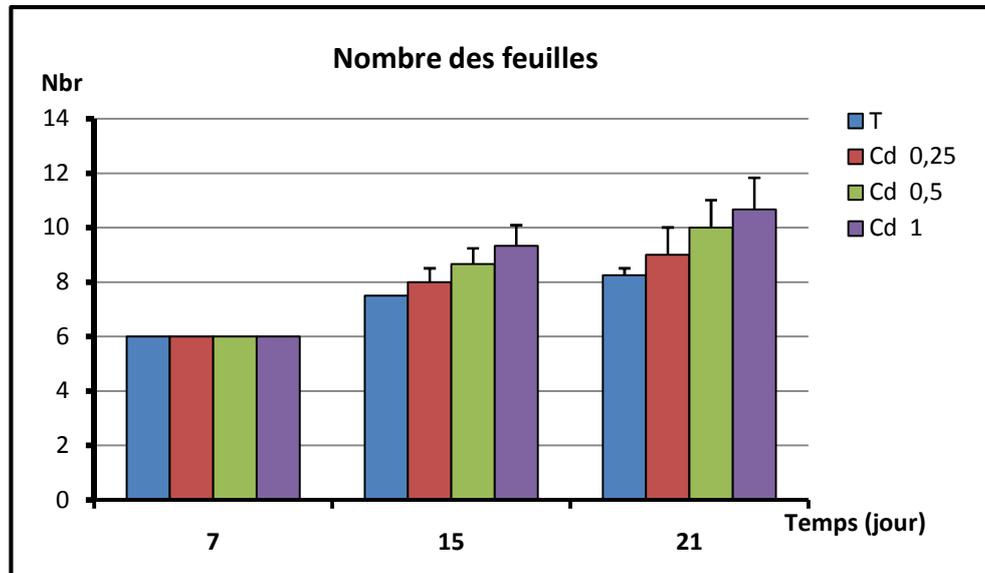


Figure 21. mesure de nombre des feuilles (*vicia faba*)

Les résultats menés sur le nombre des feuilles montrent en termes de morphologie que la fève ne présente aucun symptôme via le cadmium. Bien que les 3 concentrations utilisées en cadmium n'affectent pas le nombre des feuilles qui augmentent pendant le traitement chez les plantules contaminées par rapport aux plantules témoins. Ce phénomène a été remarqué sur *Arabidopsis thaliana* comme exemple quand à 50 et 100 μM de cadmium, les feuilles ont un développement similaire à celui des plantules témoins comme la réduction de nombre de feuilles était signalée à partir de 400 μM (MoussavouMoudouma C, 2010)

- La biomasse aérienne

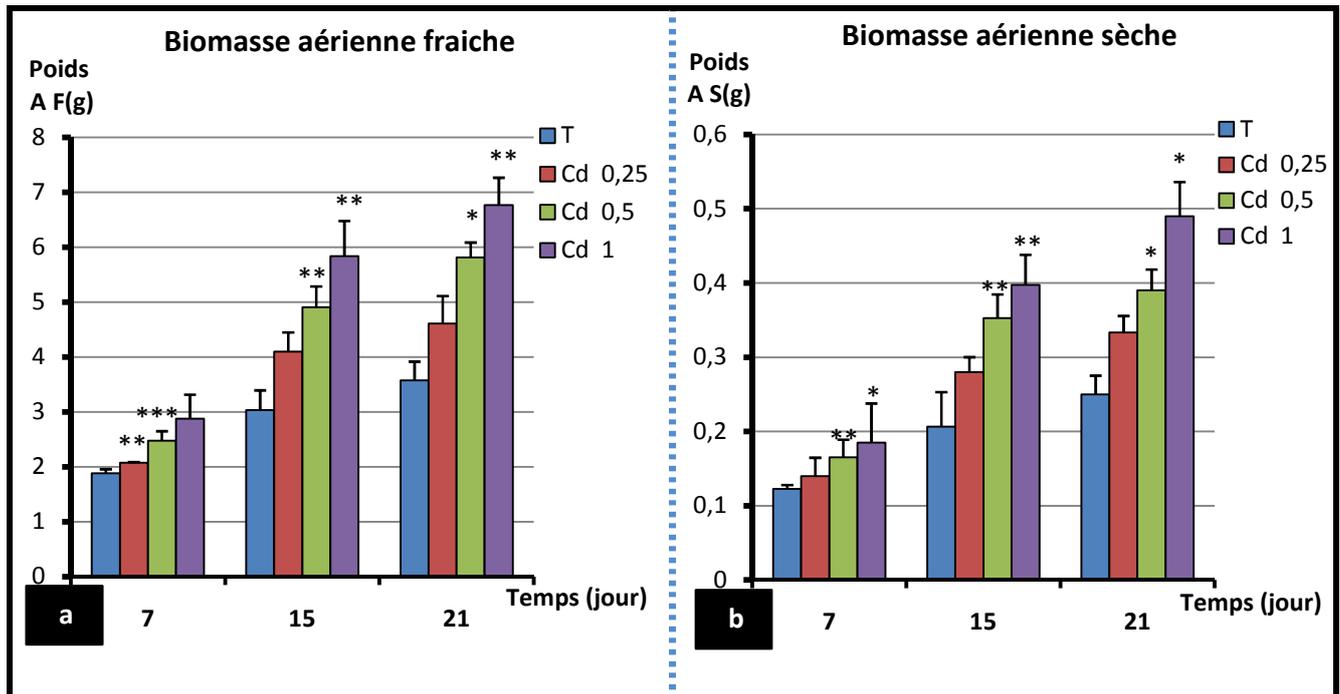


Figure 22. mesures de la biomasse aérienne fraîche (a) et sèche (b) (*Vicia Faba*)

Les résultats obtenus pour l'effet de cadmium sur la biomasse aérienne fraîche (a) et sèche (b) mettent en évidence que la plante *vicia faba* présente un rendement de biomasse aérienne très important au cours de temps (7,15, 21 jours)

Même en présence de cadmium à 3 concentrations la plante présente une augmentation de son poids aérien plus important chez les plantes traitées que les plantes témoins. sur le (graphe a) La différence est hautement significative pour C1 et très hautement significative pour C2 à 7 jours. Dans 15 jours, également des différences hautement significatives ont été signalées pour des contaminations à C2 et à C3. Dans 21 jours la différence est toujours marquée, pour C2 elle est significative et hautement significative pour C3. Sur le graphe (b) la comparaison entre les résultats nous a permis de remarquer majoritairement des différences pour les contaminations à C2 et à C3. elle est hautement significative et significative après 7 jours. dans 15 jours elle est hautement significative après 21 jours la différence est significative pour ces deux concentrations d'après ces résultats les concentrations utilisées en cadmium n'affectent pas la biomasse aérienne de notre plante la fève Comme cela était confirmé par (Moussavou Moudouma C, 2010) Les résultats montrent que la masse fraîche des parties aériennes de mélèze hybride n'est pas affectée de manière significative avec 1

mMde cadmium mais diminue fortement en présence de 2 mMavec une réduction d'environ 40 % par rapport aux témoins.

Nous n'avons pas pu mettre en évidence une élongation perturbée de la tige ni le nombre de feuilles était modifié face à cette contamination ce qui laisse penser à l'explication de (MoussavouMoudouma C, 2010) d'après l'auteur :avec une dose de 1g/Lde cadmium la RMIS ne s'est produite qu'au niveau racinaire. Il serait cependant intéressant de traiter les plantes plus longtemps et d'analyser les phénotypes observés au niveau du développement de l'appareil aérien. Ça ratifie de ce fait que Le transport du cadmium vers les feuilles est étroitement lié au processus de la transpiration (Hardiman et Jacoby., 1984). Et que la fermeture totale des stomates s'accompagne par une diminution importante de cadmium au niveau des feuilles, (Salt et al., 1995). Dont on a articulé dans le premier chapitre, En effet L'exposition à long terme au cadmium produit au niveau des feuilles, l'apparition du phénomène de chlorose, La chlorose est une conséquence de la perturbation du métabolisme foliaire du fer et du zinc et les symptômes les plus évidents de la toxicité du Cd comme les restitue (Clemens, 2006).sont l'enroulement des feuilles ainsi que la fermeture des stomates

II.2-L'effet sur la croissance des organes racinaires

- **La racine principale**

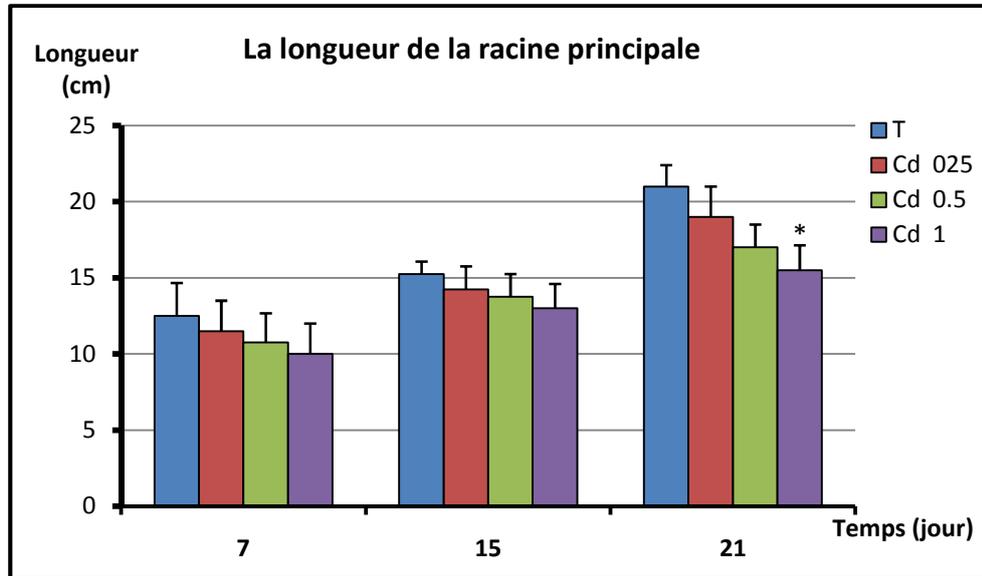


Figure 23. mesure de la longueur des racines principales(*vicia faba*)

Pour la racine principale les résultats montrent une croissance en longueur au cours du temps pour l'ensemble des plantules de *vicia faba* en contrepartie la longueur des racines est plus faible chez les plantes traitées par des concentrations élevées de cadmium, une seule différence significative est signalée pour la C3 dans 21 jour. La réduction de la longueur des racines devient de plus en plus forte en fonction de la dose du métal appliquée. Nos résultats sont similaires à ceux de (MoussavouMoudouma C, 2010) selon une étude sur *Arabidopsisthaliana*, La racine principale des plantules est significativement réduite par rapport au témoin dès une concentration de 50 μM . Cette réduction de la longueur de la racine principale a été observée chez d'autres espèces : des plantes de pois de 7 jours soumis à un traitement de 60 ou 120 μM de cadmium pendant 6 jours présentent une racine principale réduite d'environ 10 et 30 % respectivement (Lima et al., 2006). Des plantules d'orge ayant germé sur un milieu contenant 25 μM de cadmium, présentent des racines réduites de 40 % par rapport aux plantes témoins (Sharma et al., 2004a). (Zhou et Qiu, 2005) ont également observé une diminution de la longueur des racines chez la plante phytoaccumulatrice *Sedum alfredii* exposée à 800 μM de cadmium pendant 20 jours : les racines sont trois fois plus courtes que celles des témoins.

- Les racines secondaires

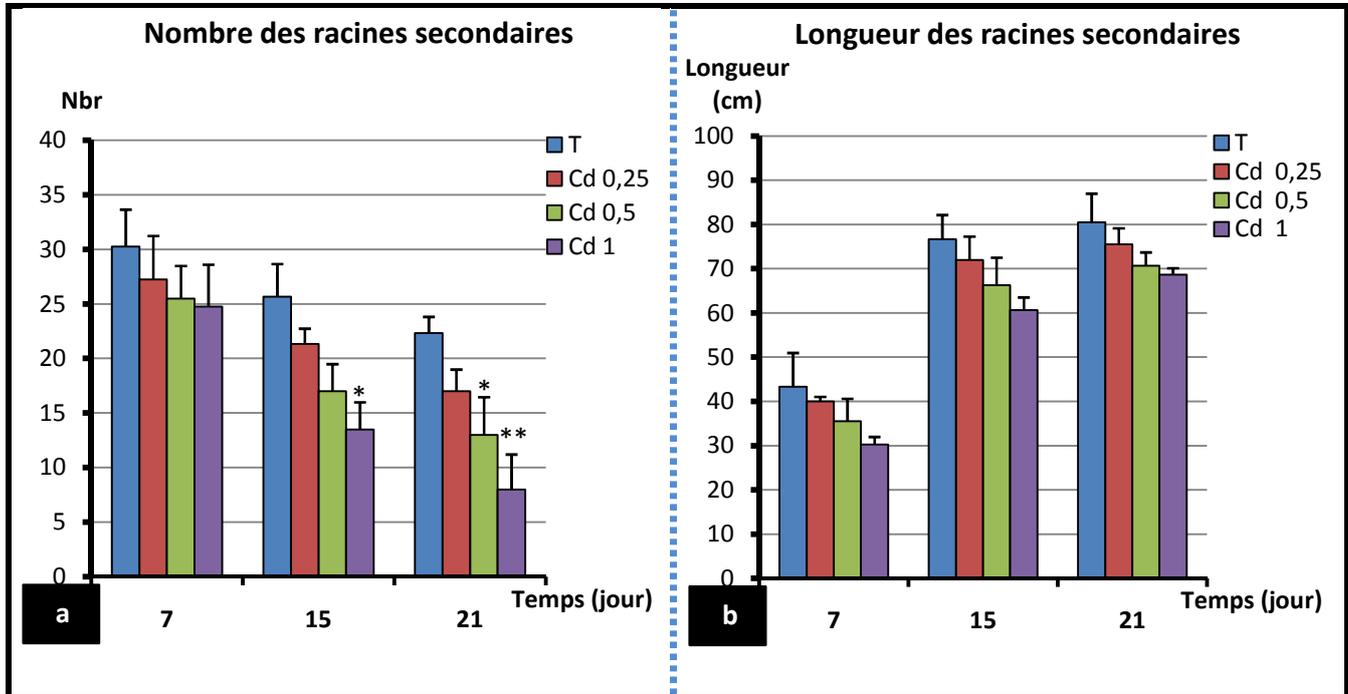


Figure 24. mesures de (nombre et longueur) des racines II^{aire} (*vicia faba*)

Les résultats apportés sur le nombre des racines secondaires (graphe a) indiquent une diminution en nombre chez toutes les plantules de la fève au cours du temps d'expérimentation. Tandis que cette diminution est très importante et remarquable pour les plantules contaminées en cadmium à différentes concentrations plus la concentration en cadmium est importante plus le nombre de racines secondaires décroît. Une différence significative lors de 15^{ème} jour est signalée pour C3 comparativement au témoin. deux autres différences sont signalées au de-là de 21 jour lune est significative pour la C2. L'autre est hautement significative pour la C3.

On remarque la même allure pour la longueur des racines secondaires sur le graphe (b) qui se développent dans le temps. en revanche les plantules contaminées par le cadmium à différentes concentrations la longueur de leurs racines secondaires est en dégradation au fur et à mesure que la dose en cadmium dans le milieu de culture augmente. La diminution de la croissance racinaire ainsi que la réduction du nombre et de la longueur des racines latérales sont des caractères phénotypiques observés précédemment chez *Pisum sativum* par (Rodriguez-

Serrano et al.,2006) suite à un traitement par une concentration de 50 μ M de Cd pendant 14 jours. (Lima et al.,2006)ont également montré une réduction de l'élongation racinaire chez la même espèce en présence de 30, 60 et 90 μ M de Cd. Cette réduction atteint 50% chez *Hordeumvulgare* traité par 1mM de Cd pendant 24 h (Tamás et al.,2008)

- **La biomasse racinaire**

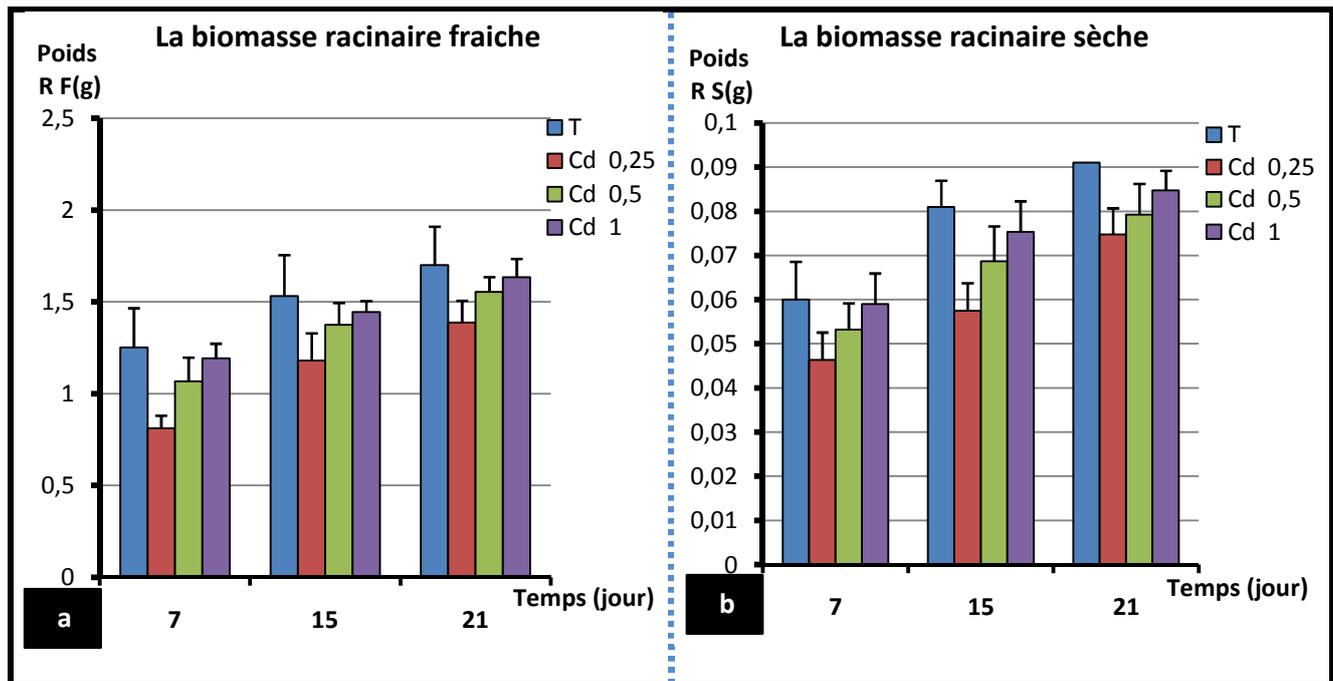


Figure 25. mesures de la biomasse racinaire fraîche (a) et sèche (b) (*vicia faba*)

Les valeurs de la masse fraîche (a) et sèche (b) du système racinaire révèlent qu'en présence des 3 concentrations de cadmium, la production en biomasse augmente le long de la période d'essai cependant cette augmentation reste toujours faible par rapport à la biomasse racinaire des témoins ce qui signifie que le rendement en biomasse racinaire dans les milieux contaminés à (0.25g 0.5g 1g)/l par le cadmium est fortement affecté. ces résultats sont conformes avec d'autres travaux réalisés par (Souguir D, 2009) lors d'une génotoxicité de la fève induite par le cadmium où la réduction de la matière sèche racinaire est importante dès 24 h du traitement à des concentrations de 100 et 200 μ M de Cd. Plus tard. Aussitôt selon (ZorrigW, 2010). qui a révélé que chez la laitue L'effet du cadmium sur la production de la biomasse des racines continue à s'accroître avec l'augmentation de la concentration en cadmium dans le milieu: il provoque des réductions de biomasse racinaire de 75%, 62% et 63% chez les plantes des variétés Kordaat, Paris Island Cos et RedSaladBowl, respectivement,

lorsqu'elles sont cultivées en présence de 50 μM de CdCl_2 . (Mobin et Khan, 2007; Ebbs et Uchil, 2008 ; Ekmekci et al., 2008) ont montré que l'augmentation de la concentration du cadmium dans le milieu, réduit significativement la quantité de la matière sèche des racines chez (*Zeamaysbadach*). La réduction de biomasse racinaire est également mentionnée dans la littérature chez d'autres espèces : des plantules de pois de 5 jours traitées pendant 6 jours avec 60 ou 120 μM de cadmium, présentent une réduction d'environ 25 % de la masse fraîche des racines (Lima et al., 2006). De même, Chez *Thlaspi arvense*, un traitement de 7 jours avec 50 μM de cadmium (sur des plantes âgées au départ de 30 à 40 jours) provoque une réduction de la biomasse racinaire d'un facteur 3,5 (Ebbset al., 2002). Certaines espèces hyperaccumulatrices peuvent aussi présenter un ralentissement de la production de biomasse. Ainsi des plantes d'*Arabidopsis halleri* d'un mois traitées pendant 3 semaines avec 100 μM de cadmium présentent une réduction de biomasse de l'ordre de 70 % (Zhao et al., 2006)

Ces résultats préliminaires montrent que les concentrations 0.25 ; 0.5 ; 1 g/l entraînent une forte diminution de la croissance en termes de biomasse et développement racinaire ça pourrait être dû à une modification au niveau des apex racinaires, aussi bien au niveau de la racine principale que des racines latérales .selon (MoussavouMoudouma C, 2010) En présence de cadmium, la zone d'élongation cellulaire n'est plus visible. En effet, la zone de différenciation où se forment les poils absorbants est située juste après la zone de division cellulaire En réponse aux concentrations élevées du cadmium la zone de formation des poils absorbants n'est pas située aussi près de l'apex, la racine principale et les racines latérales sont raccourcies dès l'exposition à 50 μM de cadmium et présentent une disparition (ou une déformation pour les doses élevées de cadmium) de la zone d'élongation (MoussavouMoudouma C, 2010).

L'allongement et la ramification racinaire sont fortement affectés chez la fève dans nos conditions expérimentales. La racine primaire ainsi que les racines secondaires des plantules traitées montrent une réduction de leur croissance pendant la période de traitement et deviennent de plus en plus rigides par rapport à celles des témoins en présence des 3 traitements. L'absence de développement des racines latérales courtes pourrait être la conséquence d'une déficience en approvisionnement calcique comme l'ont suggéré (Greger et Lindberg, 1987). Selon d'autres auteurs, cela pourrait être la conséquence d'une subérisation

poussée au niveau de ces organes (Barcelo et Poschenrieder, 1990) qui limiterait l'absorption en eau (Breckle, 1991).

Plusieurs études ont montré que la présence du cadmium dans le milieu de culture peut se traduire, au-delà d'une certaine limite, par l'apparition de symptômes d'intoxication, accompagnés d'une inhibition de la croissance pondérale des plantes (Ouariti et al., 1997; Djebali et al., 2002; Ghnaya et al., 2005; Zorrig et al., 2010). Ces effets peuvent être liés, entre autres, à la perturbation de l'équilibre de certaines hormones de croissance, notamment l'auxine (Hasenstein et al., 1988), ainsi qu'à des perturbations de la machinerie photosynthétique, notamment la structure des chloroplastes et la biosynthèse de la chlorophylle. Parmi les symptômes visibles, le cadmium induit une inhibition de la croissance de différentes parties des plantes. Ainsi, il produit une réduction de la biomasse des différents organes chez des plantes aussi variées comme le haricot (Poschenrieder et al., 1989), le pois (Sandalio et al., 2001; Chaoui et al., 2004), le tournesol (Di Cagno et al., 1999; Groppa et al., 2007a), le riz (Fodor, 2002; Hassan et al., 2005; Aina et al., 2007), le saule et le peuplier (Lunackova et al., 2003; Cosio et al., 2005), l'ail (Liu et al., 2003/4) et des plantes du genre Brassica comme le colza (Larsson et al., 1998) et la moutarde indienne (Haag-Kerwer et al., 1999). Ces inhibitions de la croissance s'accompagnent de changements anatomiques, structuraux et ultrastructuraux importants au niveau des feuilles (Baryla et al., 2001; Sandalio et al., 2001) mais également des racines (Cosio et al., 2005; Patel et al., 2005).

III-Les conséquences physiologiques du plomb

III.1- le statut hydrique

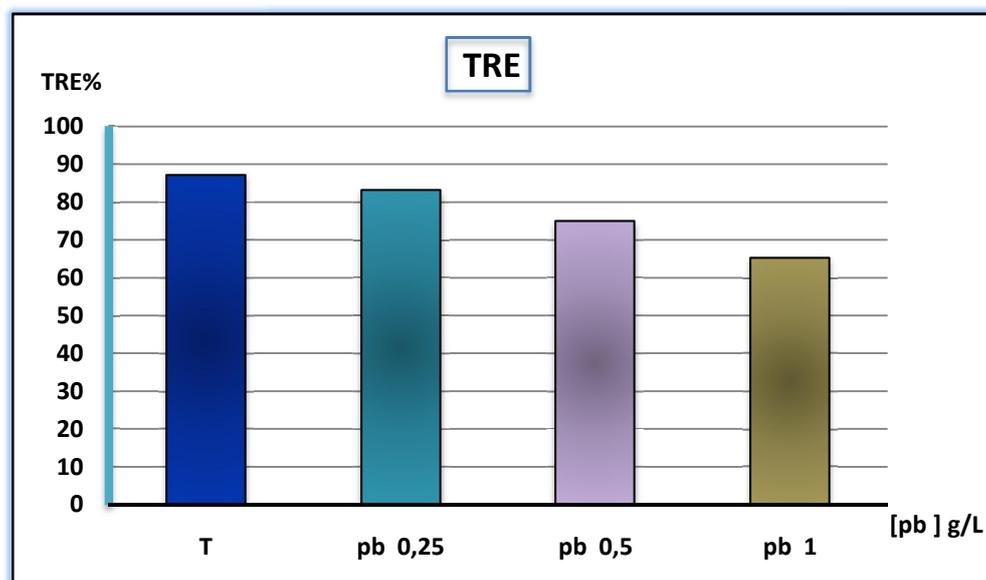


Figure 26. La teneur relative en eau (*vicia faba*)

La figure met en évidence une perturbation importante dans le statut hydrique des plantes traitées au plomb. Les trois différentes concentrations du Pb impliquées dans cet essai de contamination induisent graduellement la diminution de la teneur en eau chez la fève

De nombreuses études ont mis en évidence une perturbation importante du statut hydrique des plantes traitées au plomb. Elles ont principalement révélé une diminution de la transpiration, y compris à de faibles doses, ainsi qu'une diminution de la teneur en eau (Barcelo and Poschenrieder, 1990; Wozny et al., 1995; Sayed, 1999). Une diminution du degré de transpiration et de la quantité d'eau contenue dans les feuilles a été aussi observée sur les plantes traitées avec le plomb d'après (Barcelo & poschenrieder, 1990).

Les chercheurs veillent à mieux expliquer ce phénomène. En premier lieu, la diminution de la croissance des feuilles conduit à un amoindrissement de la surface foliaire qui est la zone principale de transpiration de la plante (Iqbal and Mushtaq, 1987; Weryszko-Chmielewska and Chwil, 2005). Au niveau des feuilles, les stomates des plantes traitées au plomb sont de plus petites tailles (Weryszko-Chmielewska and Chwil, 2005). Toutefois, les plantes semblent pouvoir s'adapter à ces effets, en développant une plus grande densité de stomates (Kosobrukhov et al., 2004; Weryszko-Chmielewska and Chwil, 2005).

Le plomb peut minéraliser la paroi cellulaire, diminuant ainsi sa plasticité, et par conséquent influençant le potentiel hydrique de la cellule. Ce phénomène est accentué par la diminution des concentrations en molécules maintenant la turgescence cellulaire comme les sucres et les acides aminés (Lane et al., 1978; Barcelo and Poschenrieder, 1990). Cette modification du potentiel hydrique cellulaire, en particulier au niveau des cellules de garde, pose des problèmes de régulation d'ouverture et de fermeture des stomates. Pour maintenir la turgescence de ces cellules, la plante synthétise massivement des osmolytes, et en particulier de la proline (Saradhi and Saradhi, 1991; Mohan and Hosetti, 1997; Qureshi et al., 2007). Le mécanisme d'ouverture/fermeture est sous le contrôle d'une phytohormone, l'acide abscissique ou ABA (Roelfsema and Hedrich, 2005). La présence d'ions Pb^{2+} entraîne une forte accumulation d'ABA dans les racines et les parties aériennes (Parys et al., 1998; Atici et al., 2005), induisant la fermeture des stomates (Stefanov et al., 1993; Kosobrukhov et al., 2004; Weryszko-Chmielewska and Chwil, 2005). Cette fermeture limite fortement les échanges gazeux avec l'atmosphère, (Parys et al., 1998; Vassil et al., 1998). La transpiration de la plante, via des pores foliaires est également limitée par le dépôt d'une couche de cuticule sur la surface des feuilles, consécutivement à une exposition au plomb (Weryszko-Chmielewska and Chwil, 2005). Pour résumer les données précédentes, le plomb limite les pertes en eau de la plante par transpiration. Cette limitation de la transpiration, moteur principal de la circulation de la sève brute et par conséquent d'eau, conduit à une diminution de la teneur en eau dans les plantes.

III.2-Taux des pigments chlorophylliens : a ; b ; caroténoïdes

La photosynthèse est un processus important pour la production de biomasse et la Croissance des plantes

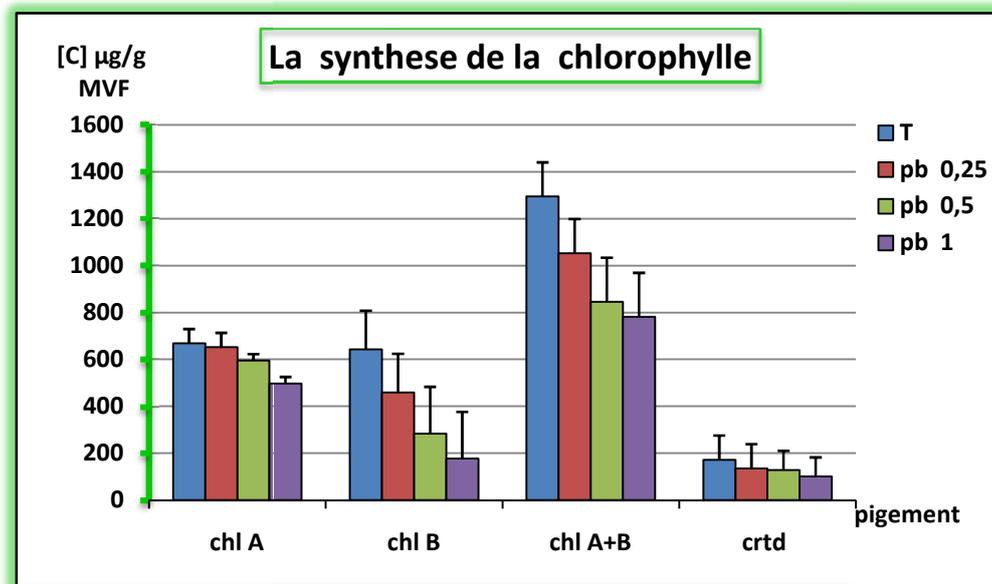


Figure 27 .Teneur en pigments chlorophylliens (*vicia faba*)

Selon les résultats consignés dans la figure (27). L'effet du plomb sur la teneur en chlorophylle est variable en fonction des concentrations utilisées de ce métal tel que : $T > C1 > C2 > C3$. En effet, le contenu en pigments (a) et (b), et La chlorophylle totale (a+b) chez la fève sont réduits d'une manière proportionnelle, (plus la dose du polluant est forte, plus la réduction est intense). Aussi que La chlorophylle (b) semble plus sensible que la chlorophylle (a) comme cela été distingué d'après (Kacabova and Natr, 1986; Stiborova et al., 1986; Woznyet al., 1995 ; Vodnik et al., 1999). ainsi la teneur en caroténoïdes elle est par conséquent abaissée dans cette expérience au même titre (Ralph et Burchett, 1998) ont également enregistré une forte diminution de la teneur en caroténoïdes dans les seules plantes exposées au plomb.

Globalement la teneur en pigments chlorophylliens (a) et (b), (a+b) y compris les caroténoïdes semble sous l'effet dépressif provoqué par le de plomb chez les plantes polluées par rapport au plantes témoins. Par l'exposition aux MTL, les surfaces foliaires sont réduites et du coup l'accumulation des pigments photosynthétiques est faible (Patra et al., 2004). En générale, la photosynthèse diminue (Seregin et Ivanov, 2000) et également le rendement photosynthétique

peut chuter de plus de 50% (Bazzazet *al.*, 1975). alors la chute du taux chlorophyllien explorée dans les résultats précédentes, dans les fortes doses chez les plantes exposées au plomb est un phénomène très courant et supposé comme étant préliminaire à l'inhibition de la photosynthèse (Prasad, 1999 ;Oncelet *al.*,2000). Cette inhibition est due à l'altération de l'appareil photosynthétique. En revanche, le plomb induit des déformations dans les structures des chloroplastes, plus sensibles que les mitochondries (Choudhury and Panda, 2004;Weryszko-Chmielewska and Chwil, 2005;Islam *et al.*,2007). Il provoque également un changement dans la composition des lipides de la membrane chloroplastique (Stefanovetal.,1995c) ou bien la RUBISCO qui permet la fixation du CO₂ (Seregin et Ivanov, 2001;Patra *et al.*, 2004). Ceci entraîne une réduction de la teneur en chlorophylle ainsi que celle de tous les pigments photosynthétiques. Une concentration plus élevée en plomb provoque une substitution de l'atome de magnésium (Mg) au centre de la molécule de chlorophylle par un atome de plomb (Pb) provoquant un arrêt de la photosynthèse (Kupper *et al.*,1996).

III.3-Taux des sucres solubles

Dans cette étude les sucres solubles ont été dosés Tenant compte que Les sucres solubles participeraient au phénomène d'ajustement osmotique

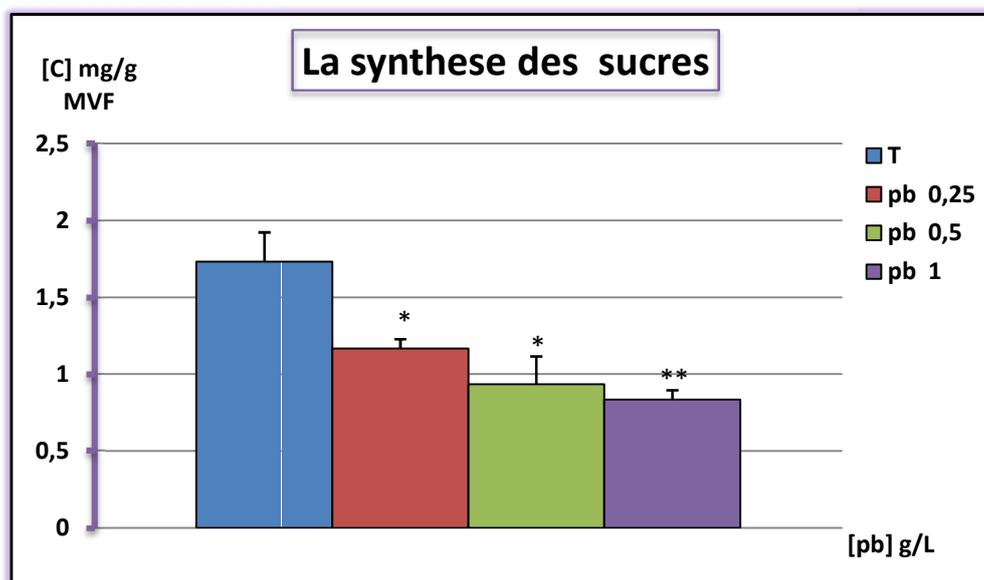


Figure 28. Teneur en sucres (*vicia faba*)

La teneur en sucres solubles comme la représente cette figure semble comme étant altérée par la présence de plomb. la production de ce composé organique décroît dès le

traitement par la plus faible concentration jusqu'à la plus forte selon une allure descendante . Les contaminations à C1 et C2 perturbent de manière significative la synthèse des sucres l'inhibition est devenue hautement significative sous la concentration C3 chez la fève.

Nos résultats sont effectivement approuvés sur d'autre espèce tel que le blé où li a été démontré que dans les graines traitées avec la forte dose en plomb ils ont observé une diminution du contenu en sucres. La concentration (0.35g/l) a inhibé complètement la synthèse et/ou la libération des sucres chez les variétés. Du plus de vue statistique, les résultats obtenus montrent l'existence de différences très hautement significatives (Nedjah I, 2015)

III.4-Taux des protéines

La teneur en protéines solubles totales est un test souvent utilisé pour mettre en évidence un stress chez la plante

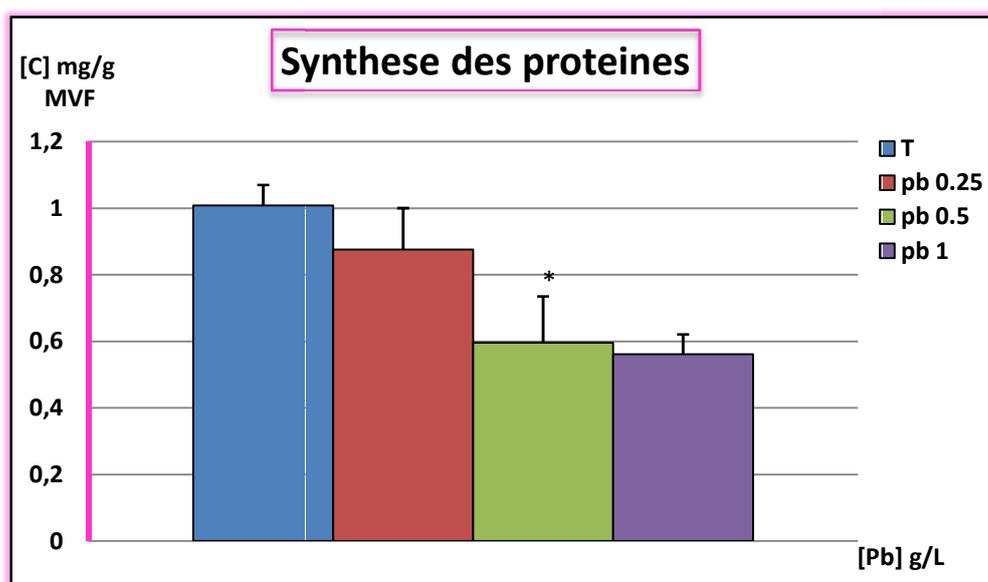


Figure 29. Teneur en protéines (*vicia faba*)

A la lumière de ces résultats correspondants à la synthèse des protéines dans les conditions expérimentales. On a constaté une perturbation dans le taux des protéines vis-à-vis la présence du plomb chez la fève. En effet, la comparaison des plantes témoins avec celles poussées dans les lots contaminés à différentes concentrations en Pb nous indique une seule différence significative sous la concentration C2. En se basant sur des réponses biochimiques des effets induits par le plomb nous pouvons citer l'exemple de blé quant à la variété Waha et Vitron, la plus forte concentration à savoir (0,35g/l) a induit une diminution de la synthèse protéique. (Nedjah I, 2015)

Plusieurs auteurs ont signalé que les stress environnementaux peuvent provoquer une baisse ou une hausse des protéines totales (Rai *et al.*, 1983 ; Kumar&Singh, 1991). Dans le cas de réduction, le plomb présent dans le cytoplasme interagit avec les protéines, bien que de fortes concentrations puissent diminuer le pool protéique (Jana and Choudhuri, 1982; Mohan and Hosetti, 1997; Saxena *et al.*, 2003; Mishra *et al.*, 2006b). Cette diminution quantitative de la teneur en protéines totales telle qu'elle est illustrée dans l'expérience apparaît comme la résultante de plusieurs conséquences de l'action du plomb : _ Modification de l'expression génique (Kovalchuk *et al.*, 2005) et augmentation de l'activité ribonucléasique (Jana and Choudhuri, 1982; Gopal and Rizvi, 2008) _ Stimulation de l'activité protéasique (Jana and Choudhuri, 1982) _ Diminution de la teneur en acides aminés libres (Xionget *al.*, 2006), corrélée à une forte perturbation du métabolisme de l'azote . Cependant, on constate une augmentation de certains acides aminés comme la proline (Saradhi and Saradhi, 1991; Mohan and Hosetti, 1997; Qureshi *et al.*, 2007) qui semble jouer un rôle important dans la tolérance de la plante au plomb (Saradhi and Saradhi, 1991). Outre une modification quantitative, le plomb agit sur la composition qualitative des protéines cellulaires. Il modifie le profil protéique des cellules racinaires de fèves exposées au plomb (Beltagi, 2005). Les ions Pb^{2+} influencent également fortement les activités de nombreuses enzymes intervenant dans différents processus métaboliques. D'autres auteurs comme (Shraddha Singh *et al.*, 2004) ont trouvé une accumulation nette des protéines dans les racines et les feuilles de tomate, proportionnelle à la concentration du métal étudié.

III.5-Taux de la Proline

La proline est un acide aminé souvent considéré comme bio marqueur de stress (Dinakaret al.,2008;Szabados et Savouré, 2009).elle est connue pour être synthétisée en réponse à de nombreux stress ; c'est pourquoi une attention particulière a été portée à cet acide aminé

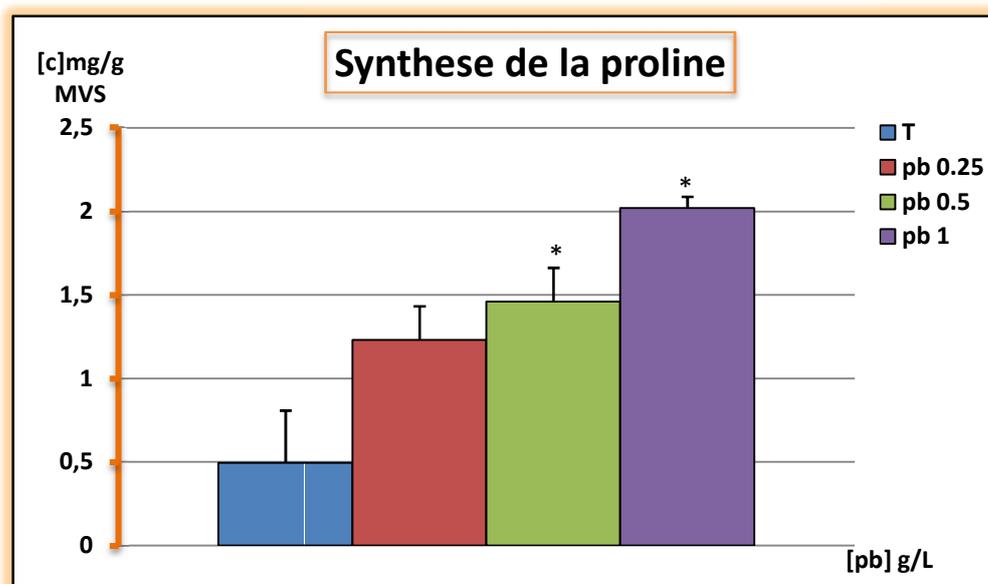


Figure 30 .Teneur en proline (*vicia faba*)

Contrairement à l'ensemble des dosages précédents, cette analyse nous a signalé une augmentation très prononcée dans la teneur en proline chez la fève contaminée en plomb donc le traitement au plomb a augmenté la synthèse de la proline tout au long d'expérience, en outre les concentrations C2 et C3 du métal agissent d'une manière significative sur la production de cette acide aminée. Ceux-ci sont également corroborés sur un grand nombre d'espèces végétales. on stipule que Le Pb augmente la production de proline chez les deux cultivars de *Brassic napus* (Gohari et al.,2012). La proline joue un rôle essentiel en réduisant les stress abiotiques, y compris celui induit par les métaux lourds. c'est également assuré par (Saradhi and Saradhi, 1991; Mohan and Hosetti, 1997; Qureshi et al., 2007) quand ils constatent une augmentation de certains acides aminés comme la proline qui semble jouer un rôle important dans la tolérance de la plante au plomb (Saradhi and Saradhi, 1991).

La proline étant un soluté compatible important, elle joue un rôle crucial dans l'osmorégulation et l'osmotolérance (Rhodes et Hanson, 1993).Dans les conditions de stress

hydrique, la cellule entraîne une accumulation élevée de la proline endogène et pourrait donc constituer une approche efficace pour atténuer les effets néfastes de la dessiccation. En plus de son rôle dans l'ajustement osmotique, elle protège les enzymes, les structures des protéines et les membranes des organites. Elle fournit également de l'énergie pour la croissance et la survie de la plante (Chandrashekar et Sandhyarani, 1996; Ashraf et Foolad, 2007; Hoque *et al.*, 2007). Les résultats illustrés sur les figures de la proline et de la chlorophylle montrent une certaine proportionnalité entre les teneurs en proline, et les teneurs en pigments chlorophylliens accumulés. Nos résultats rejoignent ceux obtenus par (Lewin *et al.*, 1978), (Stewart, 1981) sur l'orge et (Tan et Halloran, 1982) sur le blé. Parallèlement à cette accumulation, on a remarqué une proportionnalité inverse entre la proline et la chlorophylle ce qui laisse penser que la plante qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît une diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa. Donc, plus il y a de proline plus il y a une forte diminution en pigments chlorophylliens. (Bengston *et al.*, 1978), (Reddy et Veeranjanyulu, 1991) suggèrent l'existence d'une connexion vraisemblable entre les voies de biosynthèse des pigments chlorophylliens et la proline. Cette évolution pourrait se traduire par une compétition entre ces deux composés sur leur précurseur commun qui est le glutamate. En effet, la proline est considérée comme agent adaptatif et marqueur de stress favorable. (Dinakar *et al.*, 2008 ; Szabados et Savaure, 2009). Au-delà il se dégage de ces observations comme nous avons mentionné pour l'accumulation de proline que l'effet conjugué du déficit hydrique et osmotique apporté par l'effet de plomb a incité une forte accumulation de proline ce qui explique la forte teneur de cet élément dans les plantes.

IV-La phytoaccumulation de plomb

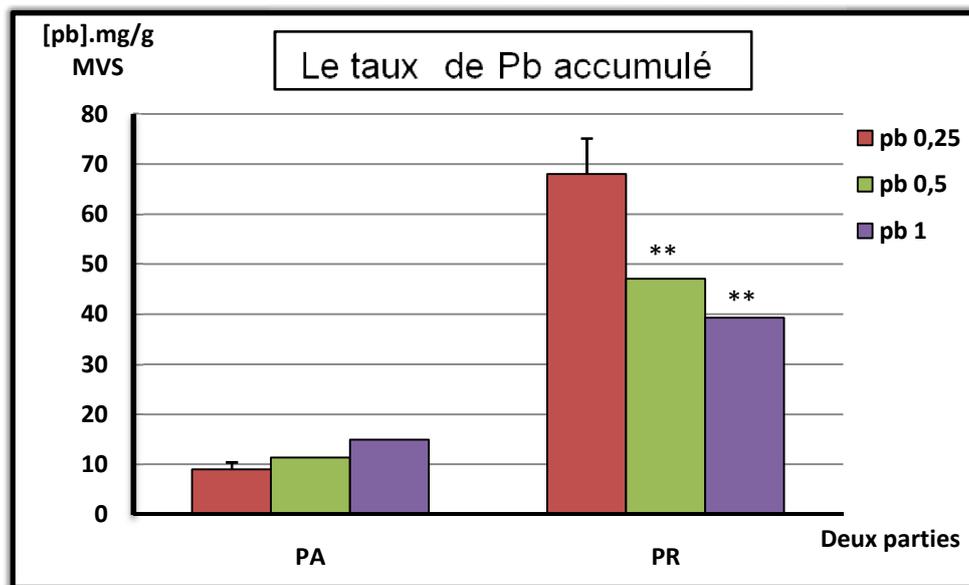


Figure 31. La teneur en plomb dans les organes (aériens et racinaires)

La partie aérienne ne semble pas être comme cite convenable pour l'accumulation du Pb mais cela n'empêche pas le passage vers les organes aériens proportionnellement à la concentration du plomb dont la teneur en ne dépassant pas (20mg /g MVS). En revanche la quantité du plomb prélevée dans la partie racinaire est assez importante ce qui nous a permis de penser que les racines sont les organes préférables chez la fève pour l'accumulation du Pb avec une teneur qui touche (40mg/g MVS) pour les concentrations (0.5 et 1) g/L . L'analyse de ces résultats par le test de student signale une différence hautement significative pour C2 et C3. correspond au système racinaire. Nos résultats se concordent avec (Kebir T, 2012) qui a démontré que Le Pb se concentre dans les racines et les feuilles du poivron, d'artichaut et du raisin avec respectivement des teneurs (6,48 ±1,95) et (3,35 ±1,01) mg/kg; (19,83 ±5,97) mg/kg et (14,87 ±4,47) mg/kg; (78,67 ±13,68) mg/kg et (62,38 ±8,78) mg/kg. Ou encore selon (Meyerset *al.*, 2008). Les plantes de *Lathyrussativus*, lignées 'Raipur' et 'Bangladesh', exposées au Pb accumulent Dans leurs racines des quantités de Pb comparables à celles retrouvées dans les racines de plantes accumulatrices.

La racine est le premier organe du végétal exposé aux métaux (Lynch and Whipps, 1990; Piechalak et *al.*, 2002). Depuis plus de trente ans, du fait des risques de contamination de la chaîne alimentaire par le plomb, l'absorption racinaire a fait l'objet de nombreuses recherches sur diverses espèces végétales. De ce fait, les études portées essentiellement sur les céréales, comme l'orge et le blé (Tanton and Crowdy, 1971), le maïs (Tung and Temple,

1996b), ou les légumes, comme la laitue (Glaser and Hernandez, 1972), le radis (Lane and Martin, 1977) et l'oignon (Wierzbicka, 1987). Ces travaux ont révélé que le plomb, après s'être fixé au rhizoderme, pénétrait dans le système racinaire de façon passive et suivait le système de conduction de l'eau. Cette absorption n'est pas uniforme le long de la racine, puisqu'il existe un gradient de concentration en plomb dans les tissus à partir de l'apex, qui est la zone la plus concentrée (Tung and Temple, 1996b; Seregin *et al.*, 2004). Les tissus jeunes, et en particulier la zone apicale (en dehors de la coiffe) où les cellules possèdent des parois encore fines, sont les zones absorbant le plus de plomb (Wierzbicka, 1987; Tung and Temple, 1996b; Seregin *et al.*, 2004). Des études ont montré que le plomb était majoritairement présent dans l'apoplaste et que seule une faible proportion pénétrait dans l'endoderme (Tung and Temple, 1996; Seregin *et al.*, 1997; Patra *et al.*, 2004). Il aurait donc tendance à s'accumuler dans l'espace libre, étant fortement lié aux groupements carboxyliques des composés pectocellulosiques des parois.

Ce transport limité des racines vers les feuilles comme le démontrent nos résultats peut être expliqué par la barrière formée par l'endoderme des racines. Les bandes de Caspary peuvent en effet être un facteur majeur limitant le franchissement de l'endoderme jusqu'au cylindre central selon (Seregin *et al.*, 2004; Sharma and Dubey, 2005). (Yoon *et al.*, 2006) dans une étude des concentrations en métaux dans des plantes natives sur un site contaminé ont montré que dans 95% des cas, les concentrations en plomb dans les racines étaient beaucoup plus élevées que dans les feuilles, soulignant une faible mobilité du plomb des racines vers les parties aériennes également comme nous l'avons vue, et donc une immobilisation dans les racines.

V- Les conséquences physiologiques du cadmium

V.1-le statut hydrique

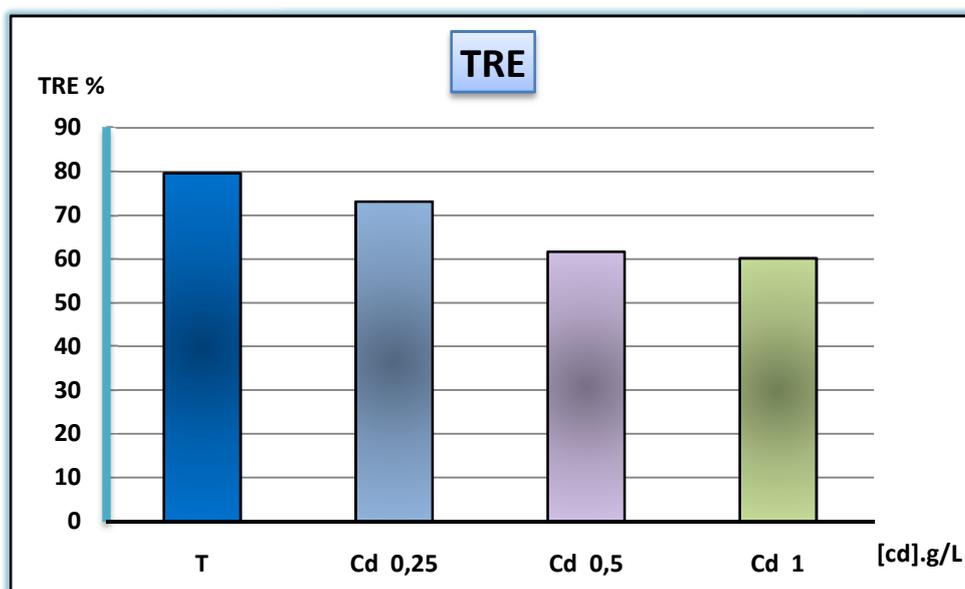


Figure 32.La teneur relative en eau (*vicia faba*)

Le statut hydrique des plantes est très affecté en présence de cadmium comme il est indiqué sur la figure(32). Selon ces résultats les 3 concentrations de cadmium 0.25, 0.5 et 1 g /L perturbent la teneur en eau de notre plante exemplaire *vicia faba* vers un ordre décroissant comparativement au témoin. Ces résultats ont été confirmés par plusieurs chercheurs le cadmium affecte l'absorption de l'eau, son transport ainsi que la transpiration (Barcelo et *al.*,1986;Costa et *al.*, 1994;Vassilev et *al.*, 1997). Ces perturbations hydriques se manifestent par une diminution de la teneur relative en eau (TRE ou RWC : Relative Water Content), du potentiel hydrique (ψ) et du potentiel de turgescence foliaire (Vassilev et Yordanov, 1997). (Barcelo et *al.*,1988et Marchiol et *al.*, 1996) suggèrent que le transport d'eau diminue de deux à quatre fois selon l'espèce et la concentration du cadmium.

(Barcelo et *al.*, 1988) ont considéré que cette diminution est due à l'inhibition de la division et de l'élongation des cellules xylémiques. Ces auteurs ont présumé que ceci est une conséquence des perturbations de l'équilibre hormonal causées par le cadmium. De même, le cadmium induit une accumulation de composés phénoliques insolubles, comme la lignine, dans les vaisseaux de xylème réduisant ainsi le transport ascendant de l'eau et des éléments nutritifs (Chaoui et El Ferjani, 2004). Le cadmium provoque également une réduction de la transpiration ainsi qu'une augmentation de la résistance stomatique accompagnée d'un accroissement de la teneur en acide abscissique (ABA) (Sharma et *al.*,2002;Fediuc et

al.,2005). En effet, plusieurs hypothèses ont été élaborées pour expliquer le mode d'action du cadmium sur les mouvements stomatiques. (Polle et Schützendübel, 2003) suggèrent que la réduction de l'absorption de l'eau chez les plantes, en présence des métaux lourds, induit une surproduction de l'ABA qui va transmettre un signal vers les feuilles répondant par une fermeture de leurs stomates. D'autres chercheurs suggèrent que la fermeture stomatique, en présence de Cd^{2+} , est due à la ressemblance chimique entre les ions Cd^{2+} et Ca^{2+} (Fediuc et *al.*,2005 ; DalCorso et *al.*, 2008). En effet, la fermeture stomatique est due essentiellement aux variations du potentiel de turgescence dans les cellules de garde. Elle se déclenche suite à une accumulation des ions Ca^{2+} dans le cytosol des cellules de garde (MacRobbie et Kurup, 2007). Étant chimiquement semblables aux ions Ca^{2+} , les ions Cd^{2+} gagnent les cellules de garde Et limitent l'activité de Ca^{2+} (Perfus-Barbeoch et *al.*,2002) et ce qui peuvent récapituler un ensemble possible justificatif sur nos résultats obtenus

V.2-Taux des pigments chlorophylliens : a ; b ; caroténoïdes

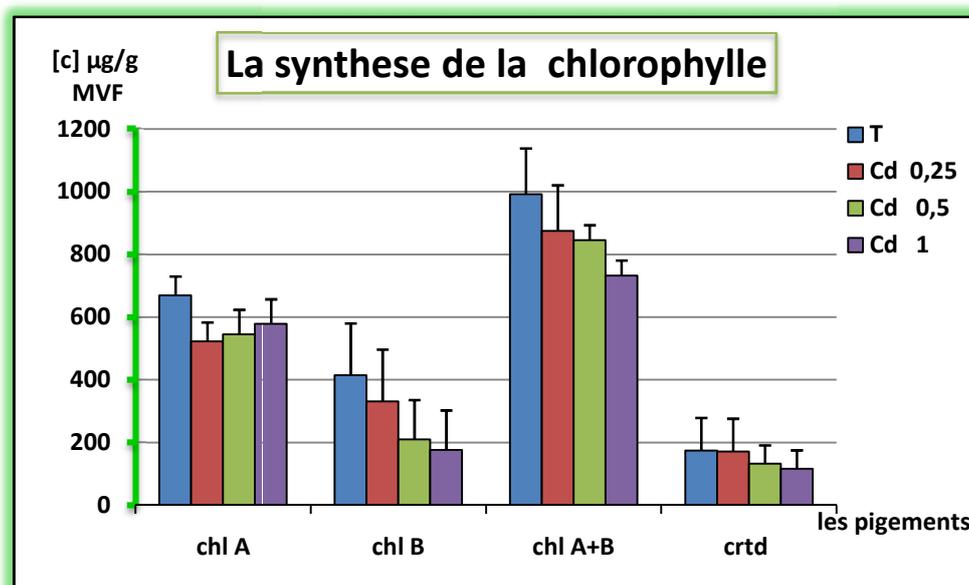


Figure 33. Teneur en pigments chlorophylliens (*vicia faba*)

La figure (33) représente l'évolution des différents pigments photorécepteurs: chlorophylle totale **a+b**, chlorophylle **a**, chlorophylle **b** et **Caroténoïdes** chez les plantules de *Vicia faba* témoins, et traitées par le Cd à différentes concentrations.

Nous avons noté une réduction graduelle de la chlorophylle totale ainsi les caroténoïdes lors des contaminations effectuées. Tandis que les plantes témoins gardent un niveau plus élevé pour ces sites photorécepteurs, la diminution touche exclusivement la chlorophylle (b) alors qu'une insensibilité de la chlorophylle (a) a été remarquée. Ces mêmes résultats ont été prouvés par (Souguir D,2012) dans un traitement de la fève par le cadmium à différentes concentrations durant 12, 24 et 48 h. l'auteur a révélé une réduction significative de la chlorophylle totale qui atteint 30% au terme du traitement avec 100 et 200 μ M de Cd. Cette diminution correspond à La chlorophylle (b) tandis que la chlorophylle (a) reste insensible. Le Cd induit également une diminution de la teneur en caroténoïdes, en accord avec de nombreux travaux portant sur des plantes variées (Baszynskiet *al.*, 1980 ; Larsson*etal.*, 1998 ; Mysliwa-Kurdziel et Strzalka, 2002).La diminution de la chlorophylle totale a été observée aussi chez *Bechmerianivea*, *Bacopamonniери* et *Pisumsativum* exposées au Cd d'après (Sandalio et al., 2001;Mishra et al., 2006; Liu et al., 2007).

La réduction prononcée dans les sites photorécepteurs (b), (a+b) et la non sensibilité de la chlorophylle (a) vis a vis la contamination en cadmium, peut être expliquée dans ce cas par le faible passage de l'ion métallique vers les parties aériennes pendant les premiers jours de traitement. Autant d'explications peuvent être rapportées sur ce phénomène. Le cadmium affecte sérieusement l'appareil photosynthétique (Clemens, 2006). La diminution de la capacité photosynthétique par le cadmium peut être due essentiellement à une désorganisation structurale des chloroplastes (Djebalietal., 2005;Baryla *etal.*, 2001) rapportent que la chlorose observée dans les feuilles de *Brassica napus* est due à une diminution significative de la densité des chloroplastes et à une augmentation de la taille des cellules mésophylliennes et suggèrent que Cd²⁺ affecte aussi la genèse des organites cellulaires, essentiellement les chloroplastes. Le cadmium pourrait aussi avoir une action directe ou indirecte sur la teneur en chlorophylles (Ghnaya et *al.*, 2005;Mobin et Khan, 2007 ; Singh et *al.*, 2010) par l'intermédiaire de perturbations métaboliques (Vassilev et *al.*, 1997) ou d'une inhibition des enzymes de biosynthèse de la chlorophylle (Padmaja et *al.*, 1990).La diminution de l'activité photosynthétique en présence de cadmium pourrait être aussi due à une diminution de la teneur des parties aériennes en autres pigments comme le β -carotène ou les xanthophylles (Larbi et al., 2002). On pense que le cadmium agit également sur le processus de transport des électrons lors de la photosynthèse. Le cadmium affecte les composants des photosystèmes II (PSII) en altérant leurs structures et/ou leurs activités (Van Assche et Clijsters, 1985;Sigfridsson et al.,2004) et du coud les caroténoïdes qui protègent les photosystèmes de

plusieurs façons, en plus de capter l'énergie lumineuse sont affectés à cette raison (Baroli et al., 2004). La fermeture des stomates dont on a vu qu'elle pouvait être causée par le cadmium pourrait être une autre cause de la limitation de la photosynthèse comme conséquence de la restriction de la diffusion du CO₂ dans les feuilles selon (Polle et Schützendübel, 2003 ; Fediuc et al., 2005).

V.2- Taux des sucres solubles

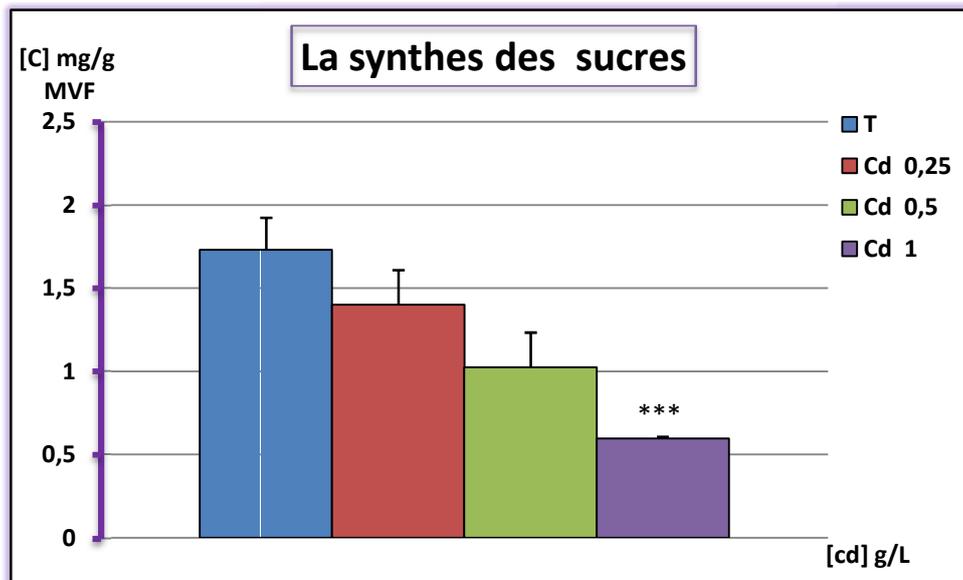


Figure 34. Teneur en sucres (*vicia faba*)

Les résultats consignés sur la figure montrent l'influence de cadmium sur la production des sucres par la plante *vicia faba*. La contamination à C3 du cadmium perturbe de manière très hautement significative la production des sucres. L'évolution de ce composant dans nos essais décroît graduellement.

À l'exemple de ce qui a été rapporté, (Costa et Spitz, 1997) observent également une perturbation de la teneur en glucides solubles sous l'effet du Cd.

V.3- Taux des protéines

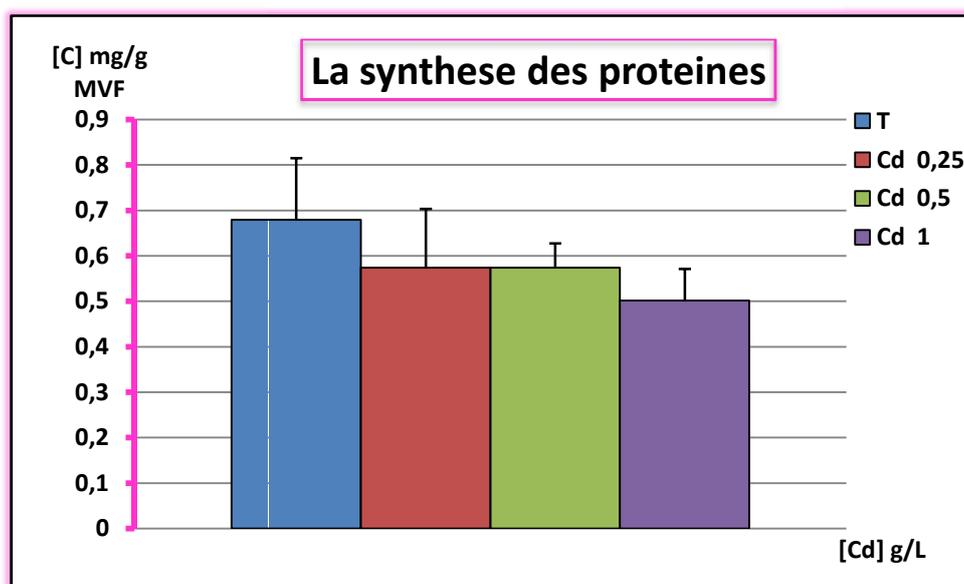


Figure 35. Teneur en protéines (*vicia faba*)

Le dosage de protéines solubles obtenues dans les résultats sur la figure (35) met en évidence l'effet stressant des concentrations utilisées en cadmium comme métal polluant sur la plante étudiée. La réponse de celle-ci en matière de protéines vis-à-vis le cadmium décroît avec l'augmentation en concentration du métal. Cependant le contenu en protéines dans les lots témoins, est plus important que les lots contaminés, ces résultats sont conformes avec d'autres études sur le règne végétale comme par exemple Chez le soja, le Cd induit la sénescence des nodosités, réduit le nombre de nodosités et indirectement, induit aussi un stress oxydatif qui réduit par conséquent la synthèse des protéines (Maynaud, 2012).

Lorsque les contraintes environnementales (stress hydrique, thermique, oxydant, exposition à une pollution, infection par des agents pathogènes...) sont fortes, la plupart des protéines subit une dénaturation (Paridaet *al.*,2004;Guo *et al.*, 2007 ; Mohammad khani et Heidari, 2008 ; John *et al.*2009).Au sein des légumineuses, diverses publications font état des effets néfastes du Cd sur la croissance donc nos résultats sont plus souvent confirmés. Cette chute accentuée pour la synthèse des protéines peut réintégrer dans cette explication : Les métaux lourds sont connus pour accroître la formation de ROS (Siedlecka et Krupa, 2002), produisant un stress oxydatif secondaire dont une altération de la structure des protéines, par oxydation des groupes thiols (Davies, 1987 ; Van Assche et Clijsters, 1990 ; Dietz, 2005),La toxicité due au cadmium peut résulter de sa liaison aux groupes thiols des protéines entraînant l'inhibition de leur activité ou la destruction de leur structure (Van Assche et Clijsters, 1990 ; Prasad, 1995)

V.4- Taux de la proline

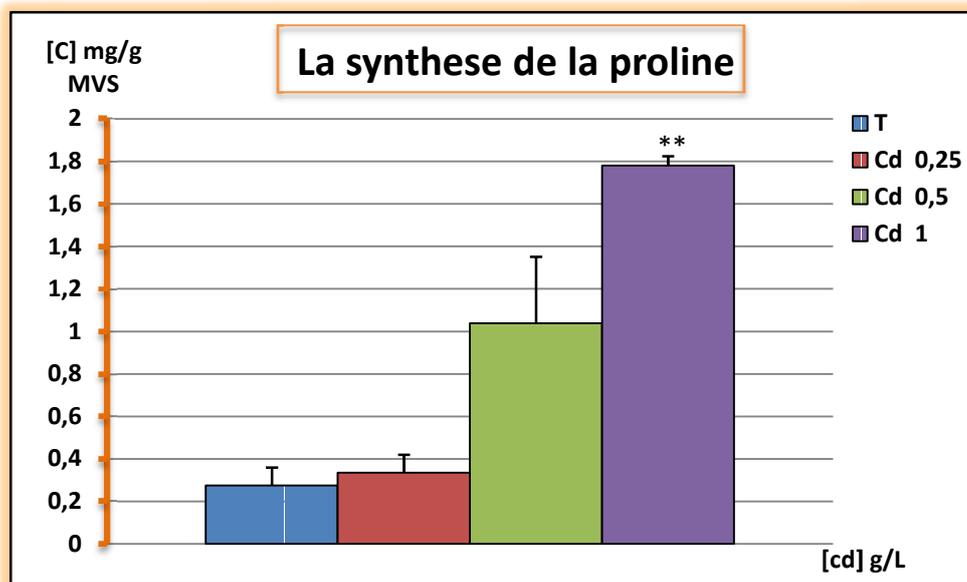


Figure 36. Teneur en proline (*vicia faba*)

En ce qui concerne le contenu en proline les résultats obtenus sur la figure (36) indiquent des modifications chez les plantules contaminées à trois concentrations du polluant bien que la teneur en proline dans les conditions de nos essais suit une allure croissante en fonction des concentrations appliquées $C1 < C2 < C3$ respectivement. La plus haute concentration de ce contaminant provoque une modification hautement significative chez la fève. De même que nos résultats des travaux sur l'action du cadmium sur les plantes de moutarde indienne *Brassicajuncea* (L.) réalisés Par (Michel A, 2009) dans lesquels il démontrait que L'exposition au $CdCl_2$ (75 μM) induit une accumulation significative de la proline dans les feuilles dont la teneur est multipliée par un facteur de 2,28 par rapport au témoin.

L'exposition aux métaux lourds se traduit souvent par une synthèse de métabolites divers qui s'accumulent à des concentrations de l'ordre des milli moles, parmi lesquels figurent certains acides aminés (Costa et Spitz, 1997; Sharma et Dietz, 2006 ; Lei *et al.*, 2007), particulièrement la proline, bien que ne constituant que moins de 5 % des acides aminés libres (Matysiket *al.*, 2002 ; Lei *et al.*, 2007), est probablement l'un des métabolites de stress les plus répandus. Nos résultats confirment également une augmentation accentuée dans la production en proline chez la fève ça pourrait revenir à ce qui l'ont expliqué plusieurs chercheurs. Une augmentation de la proline sous l'effet du cadmium a été rapportée pour des plantes variées telles que le lupin (Costa et Spitz, 1997), le riz (Shah et Dubey, 1998a,b), le

radis (Chen *et al.*, 2003) et le soja (Balestrasse *et al.*, 2005). Une telle augmentation de la proline a également été observée sous l'effet d'autres métaux tels que le Mn (Lei *et al.*, 2007), le Zn, Pb, Co, Cu (Alia *et al.*, 1995; Schat *et al.*, 1997; Sharmila et Pardha Saradhi, 2002; Sharma et Dietz, 2006) mais aussi sous l'action d'autres types de stress : salin (Demiral et Türkan, 2005), hydrique (Taulavuori *et al.*, 2005), radiations UV (Pardha Saradhi *et al.*, 1995), thermique (Taulavuori *et al.*, 2005). Différentes fonctions sont attribuées à l'accumulation de ce soluté compatible : osmorégulation, chélation et détoxification des métaux, protection des enzymes, régulation de l'acidité cytosolique, stabilisation de la machinerie de la synthèse protéique et piégeage des espèces réactives de l'oxygène (radicaux hydroxyles, oxygène singlet) assurant ainsi une protection des constituants cellulaires (Sharmila et Pardha Saradhi, 2002)

VI- La phytoaccumulation de cadmium

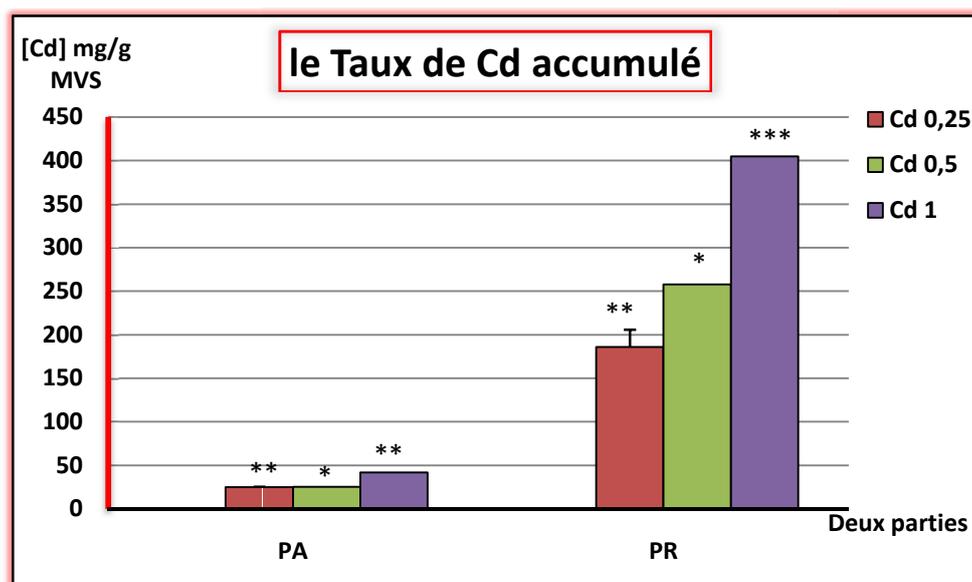


Figure 37. La teneur de cadmium dans les organes (aériens et racinaires)

Concernant la répartition du Cd entre les feuilles et les racines de la fève, nos résultats montrent un faible passage des ions métalliques vers les feuilles et une localisation préférentielle de ces ions dans les racines. La teneur en Cd augmente rapidement dans ce niveau et atteint des valeurs d'autant plus élevées que celles accumulées dans les parties aériennes là où la teneur maximale métallique accumulée ne dépasse pas 50 mg/g MVS pour une contamination de 1 g/L en Cd. Nos résultats sont en concordance avec d'autres études telles que (Souguir D, 2012) dans ces résultats les teneurs sont 44 fois plus élevées

dans les racines de la fève que celles des feuilles suite à un traitement de 48 h en présence de 200 μM de Cd. Ceci confirme l'importance de la racine autant que site d'accumulation privilégiée de Cd comparativement aux autres parties de la plante. D'autant d'exemple peuvent être cités à propre de nos résultats comme l'espèce *Plantago renaria*, cultivée en présence de différentes concentrations en Cd. Dans les racines, la teneur en Cd augmente rapidement et atteint des valeurs d'autant plus élevées que la concentration du milieu approuvé par (Esteban R, 2006), ou encore chez *Arabidopsis thaliana* ainsi que une quantification du cadmium piégé dans les racines avec un facteur de 1,46 fois plus importante que dans les parties aériennes, Ce qui permet en effet à la plante de limiter la concentration dans les racines et donc la toxicité localisée du métal (Gong *et al.*, 2003)

L'accumulation du cadmium diffère considérablement selon les organes et les tissus d'une même plante. À l'échelle de la plante entière, il y a généralement moins de Cd dans les feuilles que dans les racines, et encore moins dans les fruits et dans les graines (Wagner, 1993). L'accumulation du Cd au niveau racinaire peut s'expliquer, soit par une forte précipitation du métal dans les espaces intercellulaires (Van Balen, 1980) ou dans les vaisseaux du xylème (Barcelo *et al.*, 1989; Sela *et al.*, 1988), soit par une importante rétention pariétale du polluant (Nishizono *et al.*, 1989; Vecchia *et al.*, 2005), ou par sa séquestration endocellulaire par des peptides soufrés (Mehra et Tripathi, 2000; Clemens, 2001; Bruns *et al.*, 2001). Ce qui permet également de traduire nos résultats selon lesquels le cadmium était majoritairement accumulé dans les racines. Il existe donc probablement chez la fève comme chez beaucoup d'autres espèces (Baker, 1981), un mécanisme permettant de limiter la translocation du Cd du système racinaire vers le système foliaire. Cependant, chez certaines espèces, le cadmium peut s'accumuler fortement en dehors des racines. C'est par exemple le cas du tabac qui accumule dans ses feuilles plus de 80% du cadmium prélevé par les racines (Elmayan et Tepfer, 1994).

CONCLUSION

Le plomb (Pb), et le cadmium (Cd) sont parmi les polluant les plus dangereux ils ne peuvent pas être dégradés et surtout Ils n'ont aucun effet bénéfique connu. Car les plantes cultivées sont le point d'entrée dans la chaîne alimentaire, ils représentent un danger potentiel par bio-accumulation; La prise de conscience du mauvais état sanitaire des sols conduit à la question de savoir quels sont les risques, pour la santé publique et pour les écosystèmes. Nous souhaitons de progresser dans la compréhension des mécanismes de stress induit par ces deux polluants sur la fève (*Vicia faba*). L'objectif de Cette étude, comporte deux volets Le premier avait pour but de voir les repenses morphologiques Le deuxième porte sur les effets physiologique, et le pouvoir phytoaccumulateur Il ressort donc un certain nombre de résultats novateurs :

Sur le Volet morphologique on a vu

_ Le traitement par le Plomb à 3 concentrations inhibe la croissance de tout le corps aérien ainsi que le corps racinaire chez la fève, en effet la toxicité du Pb est plus marquée sur les organes racinaires que sur les organes aériens

_ Le traitement par le cadmium à 3 concentrations n'implique pas des modifications contre la croissance du corps aérien chez la fève, par ailleurs la croissance du corps racinaire est raccourcie à propos de cette contamination.

Sur le Volet physiologique des effets induits par le Pb et par le Cd on retient que

_ La présence de plomb et de cadmium dans les milieux de culture perturbent le statut hydrique des plantules traitées de *vicia faba*

_ Les pigments chlorophylliens sont aussi influencés par la toxicité métallique en particulier la chlorophylle totale et les caroténoïdes qui diminuent vis-à-vis le traitement avec le Pb et avec le cd.

_ La synthèse des sucres chez les plantes contaminées par le Pb et celles contaminées par le Cd est absolument dégradée selon nos essais

_ Au même titre les protéines solubles ont tendance de subir une chute accentuée face à l'existence de Pb et aussi de Cd.

_ En revanche l'analyse de la proline indique dans cette expérience l'augmentation de sa teneur avec l'intensité de la concentration des métaux

Le pouvoir phytoaccumulateur :

_ Après l'analyse de (SAA). On distingue le passage des ions métalliques des racines vers la partie aérienne de la fève mais cette apparence ne semble pas être comme on cite convenable pour l'accumulation du Pb du fait que la quantité du plomb accumulée dans la partie racinaire est assez importante.

_ la répartition du Cd dans la fève révèle un très faible passage des ions métalliques vers les organes aériens et une localisation sélective de ce métal dans les racines.

Perspectives

Comme perspective dans ce mémoire On a bien voulu de faire des analyses sur le volet anatomique de la fève et même de continuer l'étude jusqu'à la période de fructification.

-A-

Adriano d.c. (2001). Trace elements in the terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risks of metals (2nd ed). Springer verlag, New york, 866 p.

Aina r., labra m., fumagalli p., vannini c., marsoni m., cucchi u., bracale m., sgorbati s., Et citterio s. (2007): thiol-peptide level and proteomic changes in response to cadmium Toxicity in *oryza sativa* l. Roots. *Environ. Exp. Bot.* 59 ,381-392.

Alia., prasad k.v.s.k., pardha saradi p. (1995) .effect of zinc on free-radicals and proline in Brassica juncea and cajanus cajan. *Phytochem.* 39 ,45-47.

Alkorta I., Hernandez-Allica J., Becerril J.M., Amezaga I., Albizu I., Garbisu C. (2004). Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead and arsenic. *Environ. Sci. Biotechnol.* 3, 71-90

Alloway b.j. (1990). cadmium in alloway bj +hdyhwdolqvrlov. Blackie & son, Glasgow. P 100-121.

Alloway b. J. (1995). Cadmium. In alloway, b. J., éditeur : heavy metals in soils, Blackie academic & professional, glasgow, second édition p.122–151

Andujar p., bensefa-colas L., Et descatha a. (2010). Intoxication aiguë et chronique au cadmium. *La revue de médecine interne*, vol. 31, n° 2, p. 107-115.

Arnetoli m., vooijs r., bookum v.T., galardi f., gonnelli g., gabbrielli r., schat h. & verkleij j. A. C. (2008). Arsenate tolerance in *silene paradoxa* does not rely on phytochelatins-dependent sequestration. *Environmental pollution.* 152, 585-591.

Arnon d. I. (1949). Cooper enzymes in isolated chloroplastes polyphenoloxylase in *beta Vulgaris* .*plant physio.* 24, 1-25.

Ashraf M., et M.R. Foolad. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.*, 59, 206-216.

Atici, ouml, g aar and p battal (2005). Changes in phytohormone contents in chickpea seeds Germinating under lead or zinc stress *biologia plantarum.* 49,215-222.

-B-

Badache Hakim. (2015). Modifications Physiologiques et Biochimiques observées chez les plantes en C4 soumises à un stress métallique (Cd). These de doctorat. Biologie vegetale, Universite Badji Mokhtar – Annaba 105.p

Badawy S.H., Helal M.I.D., Chaudri A.M., Lawlor K., McGrath S.P. (2002). Soil solid-phase controls lead activity in soil solution. *J Environ Qual.* 31,162-167.

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

Baize D., Tercé M. (2002). Les éléments traces métalliques dans les sols. Approches fonctionnelles et spatiales. Quae. France, 570 p

Baker A.J.M. (1981). Accumulators and excluders – Strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*. 3, 643-654.

Balestrasse K.B., Gallego S.M., Benavides M.P. et Tomaro M.L. (2005). Polyamines and proline are affected by cadmium stress in nodules and roots of soybean plants. *Plant and Soil* .270, 343-353)

Barbalace J.K. inc. (2012). *Environmentalchemistry.com: Environmental, Chemistry & Hazardous Materials News, Careers & Resources*, [Enlign].

[Http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic](http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic) (Page consultée le 14 janvier 2012).

Barcelo J., Poschenrieder C. H. (1990) .Plant water relations as affected by heavy metal stress. *J Plant Nutr.* 13, 1-37.

Barcelo J., Ch Pochenrieder., Andreu I. (1986) .Cadmium-induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender). I. Effects of Cd on water potential, relative water content and cell wall elasticity. *J Plant Physiol* .125, 17-25.

Barcelo J., Vázquez MD., Poschenrieder C. (1988) .Cadmium induced structural and ultrastructural changes in the vascular system of bush bean stems. *Bot Acta.* 101, 254-261.

Baroli L. A.D. Do., T Yamane., et K.K Niyogi. (2004). Zeaxanthin accumulation in the absence of a functional xanthophyll cycle protects *Chlamydomonas reinhardtii* from photooxidative stress. *Plant Cell*, vol. 15 p. 992-1008.

Baryla A., Carrier P., Franck F., Coulomb C., Sahut C., Havaux M. (2001). Leaf chlorosis in oilseed rape plants (*Brassica napus*) grown on cadmium-polluted soil causes and consequences for photosynthesis and growth. *Planta.* 212, 696-709

Baszynski T., Wajda L., Krol M., Wolinska D., Krupa Z. et Tukendorf A. (1980). Photosynthetic activities of cadmium-treated tomato plants. *Physiol. Plant.* 48, 365-370.

Bazzaz FA., RW Carlson and GL Rolfe. (1975). Inhibition of Corn and Sunflower Photosynthesis by Lead. *Physiologia Plantarum* .34(4), 326-329

Beaulne, Jean-Sébastien. (2008). Modélisation de la présence de mercure dans la chair des brochets et des dorés des lacs les plus pêchés de l'Abitibi-Témiscamingue: une approche par les systèmes d'infonnation géographique. Mémoire, Montréal Université du Québec à Montréal, 138 p. En ligne

Beltagi MS. (2005). Phytotoxicity of lead (Pb) to SDS-PAGE protein profile in root nodules of faba bean (*Vicia faba* L.) *Plants. Pakistan Journal of Biological Sciences* 8(5), 687-690.

Benacheur K., Louadik et Terzo M. (2007). Rôle des abeilles sauvages et domestiques (Hymenpteraapoidea) dans la pollinisation de la fève (*Vicia faba* L.) en région de Constantine (Algerie). *J Plant Physiol* .152 ,213-219.

Bengston C., Klockare B., Klockar R., Larsson S., Sundquist C. (1978). The after effect of water stress on chlorophyll formation during greening and the level of abscisic acid and proline in dark grown wheat seedlings. *Plant Physiol.* 43, 205-212

Beraud. (2007). Etude des effets écotoxiques et de l'induction des phytochélatines chez *Vicia faba* L. (fabaceae) exposée au cadmium. Application de test *Vicia* –micronoyaux à des matrices. Thèse de doctorat. Metz .Université de Mets 107p.

Bert V., Macnair M., Laguerie D., Saumitou L.P. (2000). Zinc tolerance and accumulation in metallicolous and non-metallicolous populations of *Arabidopsis halleri* (*Brassicaceae*). *New Phytol.* 146, 225-233.

Bingham F T., Sposito G., Strong JE. (1986) The effect of sulfate on the availability of cadmium. *Soil Sci.* 141, 172-177

Bourbonnais G. (2007). http://ici.cegep-ste-foy.qc.ca/profs/gbourbonnais/pascal/nya/botanique/powerpoint/botanique_4.ppt15

Bourdin JB. (2009). Mise au point d'une méthode de phytoremédiation pour les rizières polluées au Cadmium. BE Japon 512 (04/09/2009). Ambassade de France au Japon/ADIT

Bourel P. Et J Berthelin. (1998). Contamination des sols par les éléments traces .les risques et leur gestion. Rapport de l'Académie des sciences. Ed Lavoisier, Paris.

Breckle S. W. (1991) .Growth under stress.heavy metals, plant roots, the hidden half, Waisel Y. and Kakafi U (Eds). New York, Marcel Dekker. 351-373.

Briat J-F., Lebrun M. (1999). Plant responses to metal toxicity. *Plant biology and pathology.* 322, 43-54.

Brink.M., Belay.G. (2006). Ressources végétales et légumes secs. ED Wageningen. ACTA, 328p

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

Bruns I., Sutter K., Menge S., Neumann D., Krauss G. J. (2001) .Cadmium lets increase the glutathione pool in bryophytes. *J Plant Physiol.* 158, 79–89.

C

Canada. Santé Canada. (1992), Le plomb *In* Santé Canada. http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/lead/lead-plomb-fra.pdf (Page consultée le 8 février 2013).

Carlu J. (1952). Fèves et féveroles. *Larousse agricole* 204p

Carrillo González R., Šimůnek J., Sauvé S. & Adriano D. (2006). Mechanisms and Pathways of Trace Element Mobility in Soils. *Adv. Agron.* 91(06), 111–178

Cataldo DA., McFadden KM., Garland TR., Wildung RE. (1988) .Organic constituents and complexation of nickel(II), iron(III), cadmium(II) and potonium (IV) in soybean xylem exsudates. *Plant Physiol* 86, 734-739

Cecchi M. (2008). Devenir du plomb dans le système Sol-Plante. Cas d'un sol contaminé par une usine de recyclage du plomb et de deux plantes potagères (Fève et Tomate). Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse

Cerning-Beroard J. (1975). A note on sugar determination by anthrone method. *Cereal Chem.* 52, 857-860

Chaieb N ., Bouslama M., Mars M. (2011) . Growth and yield parameters variability among faba bean (*vicia faba l*) genotypes .j.nat.prod.plant resour .1(2) ,81_90

Chandrasekhar K.R. et S. Sandhyarani. (1996). Salinity induced chemical changes in *Crotalaria striata* DC. *Ind. J. Plant Physiol.* **1**, 44–48.

Chaoui A, El Ferjani E (2004) Impact of cadmium and copper excess on cell wall peroxidases in Pea stems. *Pak J .Biol Sci.*7, 902-904

Chaoui A., Jarrar B. Et El Ferjani E. (2004) .Effects of cadmium and copper on peroxidase, NADH oxydase and IAA oxidase activities in cell wall, soluble and microsomal membrane Fractions of pea roots. *J. Plant Physiol.* **161** ,1225-1234.

Chen Y.X., He Y.F., Luo Y.M., Yu Y.L., Lin Q. Et Wong M.H. (2003) .Physiological Mechanism of plant roots exposed to cadmium. *Chemosphere* **50** ; 789-793

Chen LQ., Guo YF., Yang LM., Wang QQ. (2007) SEC-ICP-MS and ESI-MS/MS for Analyzing *In Vitro* and *In Vivo* Cd- Phytochelatin Complexes in a Cd- Hyperaccumulator *Brassica chinensis*. *J Anal Atom Spectrom* **22**, 1403-1408

Choudhury S .and SK Panda. (2004). Induction of oxidative stress and ultrastructural changes in moss *Taxithelium nepalense* (Schwaegr.) Broth. Under lead and arsenic phytotoxicity. *Current Science.* **87**(3), 342-348

Clemens s. (2001). Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. *Planta.* **212**, 475–486

Clemens S., Palmgren MG., Krämer U. (2002a). A long way ahead .understanding and engineering plant metal accumulation. *Trends Plant Sci* **7**,309-315

Clemens S. (2006).Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie* **88** ,1707-1719

Cohen Hubal EA, et al. (2000). Children's Exposure Assessment A Review of factors influencing Children's Exposure, and the Data available to characterize and assess that exposure. *Environmental health perspectives* **108**,475-486

Cosio C., Vollenweider P., Keller C. (2005) Localization and effects of cadmium in leaves of a cadmium-tolerant willow (*Salix viminalis* L.). I. Macrolocalization and phytotoxic effects of cadmium. *Environ. Exp. Bot.* **58**,64-74.

Costa G., Michaut J., Morel J. (1994) .Influence of cadmium on water relations and gas exchanges, in phosphorus deficient *Lupinus albus* L. *Plant Physiol Biochem* **32**,105-114

Costa G., Spitz E. (1997) Influence of cadmium on soluble carbohydrate, free amino acids, protein content of *in vitro* cultured *Lupinus albus*. *Plant Sci.* **128**, 131-140

Coullery P. (1997). Comportement de métaux lourds en agrosystèmes tempérés à faible taux de pollution. Thèse de Doctorat. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne

Crépon K., Marget P., Peyronnet C., Carrouée B., Arese P., Duc G. (2010).Nutritional value of faba bean (*vicia faba l*) seeds for feed and food .field corps research .**115** ,329_339.

Cubero J.L. (2011). the faba bean. A historic perspective .*Graines legumes* .N° .56 ,5-7

Cunningham SD., Berti WR. (1993). Remediation of contaminated soils with green plants, an overview. In *Vitro Cellular and Developmental Biology*. 29, 207-12

Cuny D., Rzepka., Bulteau G., Lakel A., Devred I. & Van haluwyn C. (2006). Quels rôles les plantes peuvent-elles jouer. *Phytoremédiation*. pp 33-35

Cutler JM., Rains DW. (1974). Characterization of cadmium uptake by plant tissue. *Plant Physiol* 54, 67-71

D-

DalCorso G., Farinati S., Maistri S., Furini A. (2008) .How plants cope with cadmium: staking all on metabolism and gene expression. *J Integr Plant Biol* 50,1268-1280

Daud M.K., Suna Y., Dawooda M., Hayat Y., Variatha M.T., Wua Y.-X., Raziuddina, Mishkat U., Salahuddine, Najeeba U., Zhua S. (2008). Cadmium-induced functional and ultrastructural alterations in roots of two transgenic cotton cultivars. *Journal of Hazardous Materials* 161, 463-473

Davies K.J.A. (1987). Protein damage and degradation by oxygen radicals. I. General aspects. *J. Biol. Chem.* 262, 9895-9901

Dazy M., Jung V., Féraud J-F., Masfarau J-F. (2008). Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implications in site restoration. *Chemosphere* 74(1) ,57-63

De Abreu C. A., De Abreu M. F. & Andrade J. C. (1998). Distribution of lead in the soil profile evaluated by DTPA and Mehlich-3 solutions. *Bragantia*, 57, 185-882.

De La Rosa G., Peralta-Videa JR., Montes M., Parsons JG., Cano-Aguilera I., Gardea-Torresdey JL. (2004) .Cadmium uptake and translocation in tumbleweed (*Salsola kali*), a potential Cd hyperaccumulator desert plant species. ICP/OES and XAS studies. *Chemosphere* 55,1159-1168

Del Rio-Celestino M., Font R., Moreno-Rojas R., De Haro-Bailon A. (2006).Uptake of lead and zinc by wild plants growing on contaminated soils. *Industrial Crops and products* 24 (3) ,230-237

Demiral T. et Türkan I.(2005) .Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environ. Exp. Bot.* 53, 247-257.

Denis Baize. (1997) .INRA, unité de Science du sol, 45160 Ardon

Di Cagno R., Guidi L., Stefani A., et Soldatini G.F. (1999). Effects of cadmium on growth of *Helianthus annuus* seedlings physiological aspects. *New Phytol.* 144 ,65-71.

Dietz K.J. (2005). Plant thiol enzymes and thiol homeostasis in relation to thiol-dependent redox regulation and oxidative stress. In “ Antioxidants and reactive oxygen species in plants,N. Smirnoff éd. Blackwell Publishing Ltd. P. 197-214

- Dinakar N., Nagajyothi P.C., Suresh S., Udaykiran Y., Damodharam T.** (2008). Phytotoxicity of cadmium on protein, proline and antioxidant enzyme activities in growing *Arachis hypogaea* L. seedlings. *Journal of Environmental Sciences* 20, 199-206
- Ding AF., Pan GX.** (2003). Contents of heavy metals in soils and Chinese cabbages from some urban vegetables fields around Nanjing and Human Health risks. *Ecological Environment* 12(4), 409-411.
- Dixit V., Pandey, V., Shyam R.** (2001). Differential oxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L. Cv. Azad). *J. Exp. Bot.* 52; 1101-1109
- Djebali W., Chaïbi W., Ghorbel M.H.** (2002). Croissance, activité peroxydasique et modifications structurales et ultrastructurales induites par le cadmium dans la racine de tomate (*Lycopersicon esculentum*), *Can.J. Bot.* 80: 942–953.
- Dube A., Zbytniewski R., Kowalkowski T., Cukrowska E. & Buszewski B.** (2001). Adsorption and Migration of Heavy Metals in Soil. *Polish J. Environ. Stud.* 10(1), 1–10.
- Duc A.** (1981). Manuel des légumineuses d'importance économique du monde pression D'Espace, New York-p 199-255.
- Duc G., Mignolet C., Carrouée B. & Huyghe C.** (2010). Importance économique passée et présente des légumineuses. Rôle historique dans les assolements et facteurs d'évolution. *Innovations Agronomiques* 11, 1-24
- Duc j. A.** (1981). Manuel des légumineuses d'importance économique du monde pression D'Espace ; New York-p 199-255.
- Dumat C., Chiquet A., Goody D., Aubry E., Morin G., Juillot F., Benedetti M.,** (2001). Metal ion geochemistry in smelter impacted soils and soil solutions. *Bulletin de la Société Géologique de France* 172, 539-548
- Dung Huynh Tm.** (2009). Impact des métaux lourds sur les interactions plante/ ver de terre/microore tellurique. Océan, Atmosphère. Université Paris-Est, Français <https://tel.archives-ouvertes.fr>
- *f* -
- Ebbs S., Uchil S.** (2008). Cadmium and zinc induced chlorosis in Indian mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern] involves preferential loss of chlorophyll b. *Photosynthetica* 46, 49-55.
- Eick M.J., Peak J.D., Brady P.V., Pesek J.D.** (1999). Kinetics of lead adsorption/desorption on goethite: residence time effect. *Soil Sci.*, 164, 28-39.
- Ekmekci Y., Tanyolac D., Ayhana B.** (2008). Effects of cadmium on antioxidant enzyme and photosynthetic activities in leaves of two maize cultivars. *J Plant Physiol* 165, 600–611
- El Hajjouji H, E Pinelli, M Guiresse, G Merlina, JC Revel and M Hafidi .** (2007). Assessment of the genotoxicity of olive mill waste water (OMWW) with the *Vicia faba* micronucleus test. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 634(1-2), 25-31
- ElmayanT., TepferM.** (1994) Synthesis of a bifunctional metallothionein /betaglucuronidase fusion protein in transgenic tobacco plants as a means of reducing leaf cadmium levels.

Ernst WHO. (1998) .Effects of heavy metals in plants at the cellular and organismic level. *In* GSaB Markert, ed, Ecotoxicology. J Wiley and Sons Inc and Spectrum Akademischer Verlag p 587–620

Esteban Remon. (2006). Tolerance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée des friches métallurgiques vers de nouvelles méthodes de biodepollution. Biologie végétale. Université Jean Monnet - Saint-Etienne, Français. 159P



Fahr M. (2014). Étude physiologique et moléculaire de la tolérance et l'accumulation du Pb chez une population métallicole et une population non métallicole d'*Hirschfeldia incana* (Brassicacée récoltée au Maroc) : Perspectives pour la phytoremédiation. THÈSE DE DOCTORAT. Physiologie et Biotechnologie Végétale, université Mohammed V .Rabat, 154p

Fediuc E, Lips SH, Erdei L. (2005). O-acetylserine (thiol) lyase activity in Phragmites and Typha plants under cadmium and NaCl stress conditions and the involvement of ABA in the stress response. *J Plant Physiol* **162**, 865-872

Feillet P. (2000). Le grain de blé .composition et utilisation. INRA Editions, pp 308.

Ferrand E., Dumat C., Leclerc-Cessac E., Benedetti M. (2006). Phytoavailability of zirconium in relation to its initial added form and soil characteristics. *Plant Soil* 2006 ; 287, 313-325.

Fodor F. (2002). Physiological responses of vascular plants to heavy metals. *In* :Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants, Prasad M.N.V. et Strzalka K. eds, Kluwer Academic Publishers, Netherlands pp. 149-177

Foltete A. S. (2010). Effets écotoxiques et systèmes de détoxification chez *Vicia faba* .L (fabaceae) dans le cadre des sols pollués. Thèse de Doctorat. Université de Paul Verlaines Meets .245p



Galsomies L. (1999). Retombées atmosphériques des métaux en France estimation par dosage dans les mousses ; ADEME édition.

Garland C and D Wilkins. (1981). Effect of Calcium on the Uptake and Toxicity of Lead in *Hordeum vulgare* L. and *Festuca ovina* L. *New Phytologist* 87(3), 581-593.

Garnier R. (2005). Toxicité du plomb et de ses dérivés. *EMC, Toxicologie-pathologie* vol. 2, n° 2, p. 67-88.

Gérard Miquel M. (2000-2001). Rapport d'information n° 261 l'Office parlementaire d'évaluation des choix .scient tech, France

Gérard Miquel. (2001). Sénateur, document n° 2979 de l'Assemblée nationale et n° 261 du Sénat

Ghnaya T., Nouairi I., Slama I., Messedi D., Grignon C., Abdelly C., Ghorbel M.H. (2005). Cadmium effects on growth and mineral nutrition of two halophytes: *Sesuvium portulacastrum* and *Mesembryanthemum crystallinum*, *Journal of Plant Physiology*, 162, 1133-1140.

Girard. (1990). féverole techniques agricoles 213 ,1-16

Glater RAB and L Hernandez Jr. (1972). Lead detection in living plant tissue using a new histochemical method. *J. Air Pollut. Control Assoc.* Vol/Issue.22:6, Pages 463-467.

Gohari M., Habib-Zadeh A. R. & Khayat M. (2012). Assessing the intensity of tolerance to lead and its effect on amount of protein and proline in root and aerial parts of two varieties of rape seed (*Brassica Napus L.*). *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2, 935-938.

Gong JM, Lee DA, Schroeder JI. (2003). Long-distance root-to-shoot transport of phytochelatins and cadmium in *Arabidopsis*. *Proc Natl Acad Sci U S A* 100, 10118-10123

Gopal R et AHRizvi. (2008). Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. *Chemosphere* 70(9), 1539-1544

Greengard J. (1966) .Lead Poisoning in Childhood Signs, Symptoms, Current Therapy, Clinical Expressions. *Clin Pediatr* 5(5), 269-276

Greger M., Lindberg S. (1987). Effects of Cd²⁺ and EDTA on young sugar beets (*Beta vulgaris*). II-Net uptake and distribution of Mg²⁺, Ca²⁺, and Fe²⁺/Fe³⁺. *Physiol. Plant* 69, 81-86.

Grill E., Loeffler S., Winnacker E.L., Zenk M. H. (1989) .Phytochelatin, the heavy metalbinding peptides of plants, are synthesized from glutathione by a specific γ -glutamylcysteine dipeptidyl transpeptidase (Phytochelatin synthase) *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* 86, 6838- 6842

Groppa M.D., Ianuzzo M.P., Tomaro M.L. et Benavides M.P. (2007)a Polyamine metabolism in sunflower plants under long-terme cadmium or copper stress. *Amino Acids* 32, 265-275

Guerinot ML. (2000). The ZIP family of metal transporters. *Biochim Biophys Acta* 1465, 190 198

Guo T.R., Zhang G.P., Zhang Y.H. (2007). Physiological changes in barley plants under combinedtoxicity of aluminum, copper and cadmium. *Colloids and Surfaces B, Biointerfaces* 57, 182-188

—H—

Haag-Kerwer A., Schäfer H.J., Heiss S., Walter C. et Rausch T. (1999) Cadmium exposure in *Brassica juncea* causes a decline in transpiration rate and leaf expansion without effect on photosynthesis. *J. Exp. Bot.* 50, 1827-1835.

Hagemeyer F. (1999). Heavy Metal Stress in Plants From Molecules to Ecosystems. *Berlin, Springer Verlag*

Hammett FS. (1929) Studies in the biology of metals: the influence of lead on mitosis and cell size in the growing root. *Protoplasma* 5, 535-542.

Hamon RE., McLaughlin MJ., Naidu R., Correll R. (1998). Long-Term Changes in Cadmium Bioavailability in Soil. *Environ. Sci. Technol.* 32(23), 3699-3703

Hardiman RT., Jacoby B. (1984). Absorption and translocation of Cd in bush beans (*Phaseolus vulgaris*). *Physiol Plant* 61, 670- 674

Hart JJ, Welch RM, Norvell WA, Sullivan LA, Kochian LV. (1998b). Characterization of cadmium binding, uptake, and translocation in intact seedlings of bread and durum wheat cultivars. *Plant Physiol* 116, 1413-1420

Hasenstein K.H., Evans M.L., Stinemetz C.L., Moore R., Fondren W.M., Koon E.C., Higby M.A., Smucker A.J. (1988). Comparative effectiveness of metal ions in inducing curvature of primary roots of *Zea mays*. *Plant Physiol* 86,885-889

Hassan M.J., Zhang G., Wu F., Wei K., et Chen Z. (2005) Zinc alleviates growth inhibition and oxidative stress caused by cadmium. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 255-261.

Health Canada. (2011c). Food and Nutrition Lead. Available on http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/envIRON/lead_plomb-eng.php (Accessed on 14/12/2014). In.

Herzog H. (1984). Relation of source and sink during grain filling period in wheat and some aspects of its regulation. *Physiol.Plant.* 56, 155-160.

Hettiarachchi G.M., Pierzynski G.M. (2002). *In situ* stabilization of soil lead using phosphorus and manganese oxide. Influence of plant growth. *J. Environ. Quality* 31, 564 572

Hinkle PM, Shanshala ED, 2nd, Nelson EJ. (1992). Measurement of intracellular cadmium with fluorescent dyes. Further evidence for the role of calcium channels in cadmium uptake. *J Biol Chem* 267,25553-25559

Hinsinger P., Gilkes RJ., (1996). Mobilisation of phosphates rock and alumina-sorbed phosphate by roots of ryegrass and clover as related to rhizosphere pH. *European Journal of Soil Science.* 47,53-544.

Hirsch RE, BD Lewis, EP Spalding and MR Sussman. (1998). A Role for the AKT1 Potassium Channel in Plant Nutrition. *Science* 280(5365). 918-921.

Hoque M.A., E Okuma M.N.A., Banu Y., Nakamura Y., Shimoishi et Y Murata. (2007). Exogenous proline mitigates the detrimental effects of salt stress more than the betaine by increasing antioxidant enzyme activities *J. Plant Physiol.* 164, 553-561

Huang JW and SD Cunningham. (1996). Lead phytoextraction species variation in lead uptake and translocation. *New Phytologist* 134(1) ,75-84

Hullé M et al. (1999). Les pucerons des plantes maraichères Cycles biologiques et activités de vol. Ed Quae. France. 134 p.



INRA. (2007). Contribution à l'étude des principales maladies, parasites et ravageurs des fèves et féveroles. Institut Technique Des Grandes Cultures, Tiaret. *Séminaire* N°10, 123-125

Iqbal J., Mushtaq S. (1987) .Effect of lead on germination, early seedling growth, soluble protein and acid phosphatase content in *Zea mays*. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research*. 30, 853-856

Islam E., X Yang., T Li., D Liu., X Jin and F Meng. (2007). Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. *Journal of Hazardous Materials* 147(3), 806-816.



Jackson AP., Alloway BJ. (1992). The transfer of Cadmium from agricultural soils to the human food chain, In, Adriano DC, %lrjhrfkhplvwu\riwudfhphwdov, Lewis Publishers

Jain M., Pal M., Gupta P & Garde R. (2007). Effect of cadmium on chlorophyll biosynthesis and enzymes of nitrogen assimilation in greening maize leaf segment, Role of 2-oxoglutarate. *Indian Journal of Experimental Biology*. 45, 385-389

Jana S. and M Choudhuri. (1982). Senescence in submerged aquatic angiosperms, effects of heavy metals. *New Phytologist* 90(3), 477-484

Jarvis MD., Leung DWM. (2002). Chelated lead transport in *Pinus radiata*, an ultrastructural study. *Environmental and Experimental Botany* 48, 21-32

Jarup L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *Br Med Bul.* 68(1), 167-182

Jean Sébastien. (2008). Modélisation de la présence de mercure dans la chair des brochets et des dorés des lacs les plus pêchés de l'Abitibi-Témiscamingue, une approche par les systèmes d'infonction géographique. Mémoire, Montréal Université du Québec à Montréal, 138 p. En ligne

John R., Ahmad P., Gadgil K., Sharma S. (2009). Heavy metal toxicity: Effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by *Brassica juncea* L. *International Journal of Plant Production*. 3, 65-75

Johnson MD., Kenney N., Stoica A., Hi lakivi-Clarke L., Singh B., Chepko G., Clarke R, Sholler PF., Lirio AA., Foss C., Reiter R., Trock B., Paik S et Martin M. (2003). Cadmium mimics the in vivo effects of estrogen in the uterus and mammary gland. *Nature Medicine* 9 (8), p 1081-1084

Judicaelle Brunet. (2008) .Adaptation aux métaux lourds d'une Fabacee (legumineuse) .reponses phenologique et moleculaire au plomb du *Lathyrus sativus* L. *Biologie vegetale*. Université Paris-Est. Français.

Julve Ph. (2017). **Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France.** <http://www.tela-botanica.org>

Juste C., Chassin P., Gomez A., Linères M., Mocquot B. (1995). Les micropolluants métalliques dans les boues résiduelles de stations d'épuration urbaines. *In* I- ADEME, ed, Collection Valorisation agricole des boues d'épuration. I. Kimber



- Kabata-Pendias A., Pendias H.** (1992). Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, 2nd Edition, 209 p.
- Kacabova P and L Natr.** (1986). Effect of lead on growth characteristics and chlorophyll content in barley seedlings. *Photosynthetica* .20(4), 411-417
- Kastori R., Petrovic M et Petrovic N.** (1992).Effect of excess lead, cadmium, copper and zinc. 53, 99-1001
- Kebir Tahar.** (2012). Etude De Contamination, D'accumulation Et De Mobilite De Quelques Metaux Lourds Dans Des Legumes, Des Fruits Et Des Sols Agricoles Situes Pres D'une Decharge Industrielle De L'usine Alzinc De La Ville De Ghazaouet. Thèse .Chimie De L'environnement, Université Abou Bekr Belkaid –Tlemcen faculté .234p
- Kim YY, YY Yang and Y Lee.** (2002). Pb and Cd uptake in rice roots. *Physiologia Plantarum* 116, 368-372
- Klavons J., Bennett R.** (1986). Determination of methanol using alcohol oxidase and its application to methyl ester content of pectins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 34, 597–599.
- Kolev N.** (1976). Cultures maraichères en Algérie. (I) FAO, p.178-186
- Kopittke P., Colin A., Kopittke R., Menzies W.** (2007). Toxic effects of Pb²⁺ on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Environmental Pollution, in press.*
- Kopke U., Nemecek T.** (2010).Ecological Services Of Faba Bean Filed Crops Research .115 ,2017_233.
- Kosobrukhov A., I Knyazeva and V Mudrik.** (2004). Plantago major plants responses to increase content of lead in soil, Growth and photosynthesis. *Plant Growth Regulation.* 42, 145 151
- Kovalchuk I., V Titov., B Hohn and O Kovalchuk.** (2005).Transcriptome profiling reveals similarities and differences in plant responses to cadmium and lead. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis.* 570(2), 149-161.
- Kumar P.K. et Singh R.A.** (1991).Germination and metabolism in susceptible and tolerant bean genotypes under moisture stress. *Indian J. Plant Physiol,* 34- 267
- Kupper H., Kupper F., Spiller M.** (1996). Environmental relevance of heavy metal substituted chlorophylls using the example of water plants. *Journal of Experimental Botany* 47, 259-266
- f-**
- Lacoue-Labarthe Thomas.** (2007).Incorporation des métaux dans les oeufs de la seiche commune *Sepia officinalis* et effets potentiels sur les fonctions digestives et immunitaires. Thèse de doctorat Océanologie Biologique & Environnement Marin. 200 p.
- Lane SD and ES Martin.** (1977). A histochemical investigation of lead uptake in *Raphanus sativus*. *New Phytologist* 79(2), 281-286.

- Lane SD., ES Martin and JF Garrod.** (1978). Lead toxicity effects on indole-3-ylacetic acid-induced cell elongation. *Planta* 144(1), 79-84
- Laperche V., Dictor M. C., Clozel-Leloup B. & Baranger P. H.** (2004). Guide méthodologique du plomb, appliqué à la gestion des sites et sols pollués. *BRGM/RP-52881-FR*, 136p.
- Larbi A., Morales F., Abadía A., Gogorcena R., Lucena J., Abadía J.** (2002). Effects of Cd and Pb in sugar beet plants grown in nutrient solution induced Fe deficiency and growth inhibition. *Funct Plant Biol* **29**, 1453-1464
- Larraalde J., Martinez J .A.** (1991). Nutritional Value Of Faba.Bean Effects On Nutrient Utilization Protein Turnover And Immunity .Options Medeteranneennes .N°10 ,111_117
- Larsson E.H., Bornman J.F. et Asp H.** (1998). Influence of UV-radiation and Cd²⁺ on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in *Brassica napus*. *J. Exp. Bot.* 323, 1031-1039.
- Lee R., Low RA., Pocock SJ.** (1979) .Contribution of drinking water lead to maternal blood lead concentrations. *Clinical Chimica Acta* 95(1), 129-133
- Lefevre G., Beljean-Leymarie M., Beyerle F., Bonnefont-Rousselot D., Cristol J. P., Therond P and Torreilles J.** (1998). Evaluation of lipid peroxidation by measuring thiobarbituric acid reactive substances. *Annales de biologie clinique* **56**, 305-19.
- Le Guen J et Duc G.** (1996). La Féverole. In Amélioration des Espèces Végétales Cultivées leguminosarum symbiovarviciae isolées du pois (*Pisum sativum*) et de la lentille (*Lens culinaris*) cultivés dans deux zones éco-climatiques subhumide et semi-aride de l'est algérien mimoir **doc, p119**
- Lei Y.B., Korpelainen H., Li C.Y.** (2007) .Physiological and biochemical responses to high Mn concentrations in two contrasting *Populus cathayana* populations. *Chemosphere* 68, 686-694.
- Lewin L.G., Sparrow D.H.B., Aspinall D.** (1978). Proline accumulation and drought resistance in Barley. *J. Plant .Cell and Environment.* 23. 3(b) 8. 36-12.
- Lima A.I.G., Pereira S.I.A., deAlmeida Paula Figueira E.M., Caldeira J.C.N., de Matos Caldeira H.D.Q.** (2006). Cadmium detoxification in roots of *Pisum sativum* seedlings relationship between toxicity levels, thiol pool alterations and growth. *Environmental and Experimental Botany* 55 ,149- 162
- Lin R., Wang W., Luo Y., Du W. a Guo H., Yin D.** (2007). Effects of soil cadmium on growth, oxidative stress and antioxidant system in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). *Chemosphere* 69 , 89–98
- Liu D., Jiang W., et Liu D., Jiang W. et Gao X.** (2003/4). Effects of cadmium on root growth, cell division and nucleoli in root tip cells of garlic. *Biol. Plant.* 47, 79-83.
- Liu Y., Wang X., Zeng G., Qu D., Gu J., Zhou M., Chai L.** (2007). Cadmium-induced oxidative stress and reponse of the ascorbate-glutathion cycle in *Bechmeria nivea*(L.) Gaud. *Chemosphere* 69, 99-107

Loudes JP. (2002). Mise au point de biotests sur les plantes pour mettre en évidence un effet toxique ou agronomique de substances exogènes (Zinc, Plomb, Substances Humiques). ENSAT. Rapport DEA.

Loué A. (1993). Les oligo-éléments en agriculture (2nd Ed.). SCPA, Agri-Nathan International, Paris, 577 p

Lunackova L., Sottnikova A., Masarovicova E., Lux A. et Stresko V. (2003/4) .Comparison of cadmium effect on willow and poplar in response to different cultivation conditions. *Biol. Plant.* 47, 403-411.

Lynch, J. M. & Whipps, J. M. (1990). Substrate flow in the rhizosphere. *Plant Soil* 129, 1-10.

_ M _

Maatougui M.E.H. (1996). Situation de la culture des fèves en Algérie et perspectives de relance, in réhabilitation of faba bean. Ed. Actes, Rabat (Maroc) 202 p.

Macfie S. M. & Welbourn P. M. (2000). The cell wall as a barrier to uptake of metal ions in the unicellular green alga *Chlamydomonas reinhardtii* (Chlorophyceae). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39, 413-419

MacRobbie EA., Kurup S. (2007). Signalling mechanisms in the regulation of vacuolar ion release in guard cells. *New Phytol* 175, 630- 640

Malkowski EK., Galas W., Karez W., Kuperberg JM. (2002). Lead distribution in cornseedlings (*Zea mays* L.) and its effects on growth and the concentration of potassium and calcium. *Plant Growth Regulation*. 37, 69-76.

Marcato CE. (2007). Origine, devenir et impact du cuivre et du zinc des lisiers porcins. Rôle de la digestion anaérobie. Thèse de doctorat, INP de Toulouse.

Marchiol L., Leita L., Martin M., Peterssotti A., Zerbi G. (1996) .Physiological responses of two soybean cultivars to cadmium. *J Environ Qual* 25, 562-566

Martelli A., Rousselet E., Dycke C., Bouron A. et Moulis J. (2006). Cadmium Toxicity in Animal Cells by Interference with Essential Metals. *Biochimie*, vol. 88, n° 11, p. 1807-1814

Martin-Laurent F., Philippot L., Hallet S., Chaussod R., Germon J. C., Soulas G. and Catroux G. (2001). DNA extraction from soils, old bias for new microbial diversity analysis methods. *Appl. Environ. Microbiol.* 67, 2354-2359.

Matysik J., Alia., Bhalu B. et Mohanty P. (2002). Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Current science* 82, 525-532

Maxted N., Callimassia M.A., Bennet M.D. (1991). Cytotaxonomic studies of Eastern Mediterranean *Vicia* species (Leguminosae). *Plant Syst. Evol.* 77, 221–234.

Maynaud G. (2012). Adaptation aux métaux lourds de populations de rhizobia impliquées dans la phytostabilisation de déblais miniers, Identification des mécanismes d'adaptation au Zn et au Cd, et structuration des populations de rhizobia adaptées aux sites miniers. Thèse de Doctorat. Université de Montpellier II

McLaughlin M. J., Tiller K. G. et Smart M. K. (1997). Speciation of cadmium in soil solutions of saline/sodic soils and relationship with cadmium concentrations in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Australian Journal of Soil Research*. 35, 183–198.

Mehra R. K., Tripathi R. D. (2000). Phytochelatin and metal tolerance, in Agarwal, S.B., Agarwal, M. (Eds.), *Environmental Pollution and Plant Responses*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA

Mendoza-Cózatl DG., Butko E., Springer F., Torpey JW., Komives EA., Kehr J., Schroeder JI. (2008). Identification of high levels of phytochelatin, glutathione and cadmium in the phloem sap of *Brassica napus*. A role for thiol-peptides in the long-distance transport of cadmium and the effect of cadmium on iron translocation. *Plant J*. 54, 249-259

Meyers DER, Auchterlonie GJ, Webb RI, Wood B. (2008). Uptake and localisation of lead in the root system of *Brassica juncea*. *Environmental Pollution* 153, 323-332

Michel Aoun. (2009). Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne (*Brassica juncea* (L.) Czern] neoformes a partir de couches cellulaires minces et issus de semis. *Analyses physiologiques et role des polyamines*. p86

Mielke HW., Reagan PL. (1998) .Soil is an important pathway of human lead exposure. *Environmental health perspectives* 106 (Suppl 1), 217-29

Mikic A. (2011). Words denoting Faba bean (*vicia faba*) in European languages. *Ratar.Povrt./ Field Veg. Crop Res*. 48, 233-238

Mishra S., S Srivastava RD Tripathi., R Kumar., CS Seth and DK Gupta. (2006b). Lead detoxification by coontail (*Ceratophyllum demersum* L.) involves induction of phytochelatin and antioxidant system in response to its accumulation. *Chemosphere* 65(6), 1027-1039

Mishra S., Srivastava S., Tripathi R. D., Govindarajan R., Kuriakose S. V., Prasad M. N. V. (2006). Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L. *Plant Physiol. Bioch.* 44, 25-37.

Mishra S., Srivastava S., Tripathi R. D., Kumar R., Seth C. S. & Gupta D. K. (2006). Lead detoxification by coontail (*Ceratophyllum demersum* L.) involves induction of phytochelatin and antioxidant system in response to its accumulation. *Chemosphere*, 65, 1027-1039.

Mobin M., Khan N.A. (2007). Photosynthetic activity, pigment composition and antioxidative response of two mustard (*Brassica juncea*) cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress. *J. Plant Physiol.* 164, 601-610

Mohammadkhani N., Heidari R. (2008). Effects of drought stress on soluble proteins in two maize varieties. *Turkish Journal of Biology* 32, 23-30.

Mohan BS and BB Hosetti. (1997). Potential phytotoxicity of lead and cadmium to lemna minor grown in sewage stabilization ponds. *Environmental Pollution* 98(2), 233-238

Morel J.L., Leyval C., Berthelin J. (1994). Influence de l'activité rhizosphérique sur la mobilité et le prélèvement des métaux lourds. Ministère de l'Environnement, Convention de Recherche n° 91147France

Morlot M. (1996). AGHTM Aspects analytiques du plomb dans l'environnement. Ed lavoisier TEC&DOC

Mouna FAHR. (2014). Étude physiologique et moléculaire de la tolérance et l'accumulation du Pb chez une population métallicole et une population non métallicole d'*Hirschfeldia incana* (Brassicacée récoltée au Maroc) Perspectives pour la phytoremédiation p79

Moussavou Moudouma C. (2010) .Etude Des Mécanismes D'accumulation Du Cadmium Chez *Arabidopsis Thaliana* (Ecotype Wassilewskija) Et Chez Un Mélèze Hybride (*Larix X Eurolepis*) Par Des Approches Moléculaire Et Développementale. Thèse. Biologie De L'environnement, L'universite De Limoges N P192.

Muratova V. S. (1931). *Vicia faba* L. In Bull. Appl. Bot. and Gen. Plant Breed. Suppl. 50, 285

Mysliwa-Kurdziel B. et Strzalka K. (2002) .Influence of metals on biosynthesis of photosynthetic pigments. In Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants, Prasad M.N.V. et Strzalka K. (eds), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 201-227

_ N _

Nedjah Imene. (2015). Changements Physiologiques Chez Des Plantes (Blé Dur *Triticum Durum* Desf.) Exposées A Une Pollution Par Un Métal Lourd (Plomb). These, Biologie Vegetale Et Environnement, Option Ecophysiologie Végétale. Universite Badji Mokhtar – Annaba. 98p, (63 ; 74)

Nishizono H., Kubota K., Suzuki S., Ishii F. (1989). Accumulation of heavy metals in cell walls of *Polygonum cuspidatum* roots from metalliferous habitats. Plant Cell Physiol. 30, 595–598

Nori. (2012). La réponse de la fève *Vicia faba* L. au stress salin .cas d'un sol sableux amendé en bentonite , thèse de magister .89. Office nationale d'assainissement 2004.Souk-Ahras.

Nriagu JO. (1978). The biogeochemistry of lead in the environment. Ed JO Nriagu, Elsevier Biomedical Press, Amsterdam

Nuessly GS., Hentz MG., Beiriger R., Scully BT. (2004). Insects associated with Faba bean, *vicia faba* (fabales, fabaceae), in southern Florida entomologist. 87(2), 204-211.

_ O _

Obroucheva NV., EI Bystrova., VB Ivanov., OV Antipova and IV Seregin. (1998). Root growth responses to lead in young maize seedlings. Plant and Soil 200, 55-61.

Oncel I., Keles Y., Ustun A.S. (2000). Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings. *Environ. Pollut.* 107, 315-320

Ouariti O., Gouia H., M.H. Ghorbel M.H. (1997). Responses of bean and tomato plants to cadmium, Growth, mineral nutrition, and nitrate reduction, Plant. Physiol. Biochem. 35, 347–354

Pacyna J.M. & Pacyna E.G. (2001). An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide. *Environ. Rev.* 9(4), 269–298.

Padmaja K., Prasad D.D.K. et Prasad A.R.K. (1990). Inhibition of chlorophyll synthesis in *Phaseolus vulgaris* L. seedlings by cadmium acetate. *Phytosynthetica* 24, 399-405

Pardha Saradhi P., Alia-Arora S. et Prasad K.V.S.K. (1995) .Proline accumulate in plants exposed to UV radiation and protects them against UV induced peroxidation. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 209, 1-5.

Parida A.K., Dasa A.B., Mittrac B., Mohanty P. (2004). Salt-stress Induced Alterations in Protein Profile and Protease Activity in the Mangrove *Bruguiera parviflora*. *Zeitschrift für Naturforschung* 59c, 408-414

Parys E., E Romanowska., M Siedlecka and J Poskuta. (1998). The effect of lead on photosynthesis and respiration in detached leaves and in mesophyll protoplasts of *Pisum sativum*. *Acta Physiologiae Plantarum* 20(3), 313-322

Patel M.J., Patel J.N., Subramanian R.B. (2005). Effect of cadmium on growth and the activity of H₂O₂ scavenging enzymes in *Colocassiaesculentum*. *Plant and Soil* 273, 183–188

Patnaik . (2004). *Dean's Analytical Chemistry Handbook (McGraw-Hill Handbooks)*. Second edition. ISBN 0071410600,1114 p.

Patra M., N Bhowmik., B Bandopadhyay and A Sharma. (2004). Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany* 52(3), 199-223

Perfus-Barbeoch L., Leonhardt N., Vavasseur A., Forestier C. (2002). Heavy metal toxicity ; cadmium permeates through calcium channels and disturbs the plant water status. *Plant J* 32, 539-548

Peron J-Y. (2006). Références. Production légumières. 2^{ème} ed. 613 p.

Pesson P., loveaux J. (1984). Pollinisation et production végétales .édition INRA, pp 631. pp.51-57

Piechalak A., Tomaszewska B., Baralkiewicz D. (2003) .Enhancing phytoremediative ability of *Pisum sativum* by EDTA application. *Phytochemistry* 64, 1239-1251

Piechalak A., Tomaszewska B., Baralkiewicz D., Malecka A. (2002). Accumulation and detoxification of lead ions in legumes. *Phytochemistry* 60, 153-162

Pokorny B., Al Sayegh-Petkovsek S., Ribaric- Lasnik C., Vrtacnik J., Doganoc DZ., Adamic M. (2004). Fungi ingestion as an important factor influencing heavy metal intake in roe deer: evidence from faeces. *Sci Total Environ* 324, 223-234

Polle A., Schützendübel A. (2003). Heavy metal signalling in plants: linking cellular and organismic responses. In H Hirt, K Shinozaki, eds. *Plant Responses to Abiotic Stress*, Vol 4. Springer-Verlag, Berlin, pp 187-215

Poschenrieder C., Gunsé B. et Barcelo J. (1989). Influence of cadmium on water relations, stomatal resistance and abscisic acid content in expanding bean leaves. *Plant Physiol.* 90, 1365-1371.

Pourrut B. (2003). Etude des profils d'expression de peroxydases chez une plante sentinelle en fonction d'un stress métal lourd, ENSAT. Rapport de DEA, 34 pp

Pourrut Bertrand(2008). Implication du stress oxydatif dans la toxicité du plomb sur une plante modèle, thèse doctorat, université de Toulouse

Prasad M.N.V. (1995) .Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environ. Exp. Bot.*35, 525-545

Prasad M.N.V. (1999). Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems. *Springer- Verlag, Berlin-Heidelberg*, 462

Punz W.F. et Sieghardt H. (1993). The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals. *Environ. Exp. Bot.* 33, 85-98.

- Q -

Qureshi M., M Abdin., S Qadir and M Iqbal. (2007). Lead-induced oxidative stress and metabolic alterations in *Cassia angustifolia* Vahl. *Biologia Plantarum* 51(1), 121-128.

- R -

Rachef S.A., Ouamer F. Et Ouffroukh A. (2005). Inventaire des ravageurs de la fève en Algérie (Identification et caractérisation). I.N.R.A. 16, 36-41

Radetski CM., Ferrari B., Cottele S., Masfareaud JF., Ferard JF. (2004). Evaluation of the genotoxic, mutagenic and oxidant stress potentials of municipal solid waste incinerator bottom ash lactates. *Sci .Total Environ* .333(1-3), 209 -218

Rai V.K., Singh G., Thakur P.S. et Banyal S. (1983).Protein and amino-acid relationship during water stress in relation to drought resistance. *Plant Physiol. Biochem.* (Suppl.) 10, 161

Ralph PJ and MD Burchett. (1998). Photosynthetic response of *Halophila ovalis* to heavy metal stress. *Environmental Pollution* 103(1), 91-101

Rasio A., Sorrentino G., Cedola MC., Pastore D., Wittner G. (1987). Osmotic and elastic adjustment of Durum wheat leaves under stress conditions *Genetic. Agr.* 41,427- 436

Raskin I. & Ensley B. (2000). Phytoremediation of toxic metals. Using plants to clean up the environment. *John Wiley & Sons, New York*, pp 304

Reddy P. S., Veeranjanyulu K. (1991). Proline metabolism in senescing leaves of horsgram (*Macrotyloma uniflorum* Lam.). *J. Plant. Physiol.* 137, 381-383.

République française. Institut national de la recherche et de la santé médicale (1999). Plomb dans l'environnement ;Quels risques pour la santé?. Paris. Les éditions Inserm, 461 p.

- Reymond M., Svistoonoff S., Loudet O., Nussaume L. & Desnos T. (2006).** Identification of QTL controlling root growth response to phosphate starvation in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Environment*, 29, 115-125
- Rhodes D. et A.D. Hanson. (1993).** Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 44, 357-384.
- Rodriguez-Serrano M., Romero-Puertas M. C., Zabalza A., Corpas F. J., Gomez M., Del Rio L. A., Sandalio L. M. (2006).** Cadmium effect on oxidative metabolism of pea (*Pisum Sativum* L.) roots. Imaging of reactive oxygen species and nitric oxide accumulation *in vivo*, *Plant Cell Environ.* 29, 1532–1544
- Roelfsema MRG and R Hedrich. (2005).** In the light of stomatal opening: new insights into the Watergate'. *New Phytologist* 167(3), 665-691.
- Ross SM. (1994).** Toxic metals in soil-plant systems. Wiley publishers, Chichester, 469 p.
- _ S _
- Salt DE., Prince RC., Pickering IJ., Raskin I. (1995a).** Mechanisms of Cadmium Mobility and Accumulation in Indian Mustard. *Plant Physiol* 109, 1427-1433
- Sandalio L. M., Dalurzo H. C., Gómez M., Romero-Puertas M.C., Del Rio. (2001).** Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *J. Exp.Bot.* 52 (364), 2115-2126
- Santé Canada. (1986).** Rappott Santé de l'environnement et du milieu de travail Le Cadmium. <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/cadmiUtn!index-fra.php>
- Saradhi AP and PP Saradhi. (1991).** Proline accumulation under heavy metal stress. *Journal of Plant Physiology* 138(5), 554-558
- Saxena A., DK Saxena and HS Srivastava. (2003).** The Influence of Glutathione on Physiological Effects of Lead and its Accumulation in Moss *Sphagnum Squarrosum*. *Water, Air, & Soil Pollution* 143(1), 351-361
- Saxena.M.C(1991).**Status and scope for production of fababean in Mediterranean countries.*OptionsMéditerranées .Série Séminaires.* 10, 15-20
- Sayed SA. (1999).** Effects of lead and kinetin on the growth, and some physiological components of safflower. *Plant Growth Regulation* 29(3), 167-174. Cadmium copper, and uranium in *Azolla*. *Plant Physiol.* 88; 30–36.
- Schat H., Sharma S.S. et Vooijs R. (1997) .**Heavy metal induced accumulation of free proline in a metal tolerant and a non tolerant ecotype of *Silene vulgaris*. *Physiol. Plant.* 101, 477- 482.
- Scippa G., Di Michel M ., Onelli E ., Patrignani G., Chiatante D Et Bray E. (2004).** The histone-like protein H1-S and the response of tomato leaves to water deficit-j- *Exp.Bot* 55, 99-109
- Sela M., Tel-Or E., Fritz E., Huttermann A. (1988).** Localization and toxic effects of cadmium, copper, and uranium in *Azolla*. *Plant Physiol.* 88, 30–36

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

Seregin I and V Ivanov. (1997). Histochemical Investigation of Cadmium and Lead Distribution in Plants. *Russian Journal of Plant Physiology* 44(6), 791-796.

Seregin IV., LK Shpigun and VB Ivanov. (2004). Distribution and Toxic Effects of Cadmium and Lead on Maize Roots. *Russian Journal of Plant Physiology* 51(4), 525-533.

Siedlecka A., et Krupa Z. (2002). Functions of enzymes in heavy metal treated plants. *In Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants.* Prasad M.N.V. et Strzalka K. (Eds), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 303-324.

Sigfridsson KG., Bernat G., Mamedov F., Styring S. (2004). Molecular interference of Cd²⁺ with Photosystem II. *Biochim Biophys Acta* 1659, 19-31

Sillero. (2010) **JC, Rojas-Molina MM Emeran AA, Rubials D.** (2011) Rust resistance in faba bean. *Grain legumes.* N°56 ,27-28

Singh R. J., Jauhar P. P. (2005). Genetic resources, chromosome engineering and crop improvement, Volume 1, Grain Legumes. Ed CRC Press Taylor and Francis Group 363

Singh R., Tripathi RD., Dwivedi S., Singh M., Trivedi PK., Chakrabarty D. (2010). Cadmium-induced biochemical responses of *Vallisneria spiralis*. *Protoplasma*

Shah K., et Dubey R.S. (1998a). Effect of cadmium on proline accumulation and ribonuclease activity in rice seedlings : role of proline as a possible enzyme protectant. *Biol. Plant.* 40, 121-130

Shah K., et Dubey R.S. (1998 b). Cadmium elevates level of protein, amino acids and alters activity of proteolytic enzymes in germinating rice seeds. *Acta Physiol. Plant.* 20 ,189-196

Sharma N.C., Gardea-Torresdey J.L., Parsons J., Sahi S.V. (2004a). Chemical speciation and cellular deposition of lead in *Sesbania drummondii*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 23, 2068-2073

Sharma P. & Dubey R. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian journal of plant physiology* 17, 35-52

Sharma S.S. et Dietz K.J. (2006). The significance of amino acids and amino-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. *J. Exp. Bot.* 57, 711-726

Sharma SS., Kumar V. (2002). Responses of wild type and abscisic acid mutants of *Arabidopsis thaliana* to cadmium. *J Plant Physiol* 159, 1323-1327

Sharmila P., et Pardha Saradhi P. (2002) Proline accumulation in heavy metal stressed plants An adaptative strategy. *In Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants.* Prasad M.N.V. et Strzalka K. (Eds), 179-199

Sherlock JC. (1984). Cadmium in foods and the diet. *Experientia* 40, p 152.

Shraddha S., Sarita S., Rohit S., Kavita P., Kavita B. (2004). Translocation of metals and its effects in the tomato plants grown on various amendments of tannery waste: evidence for involvement of antioxidants. *Chemosphere*. 57, 91-99.

Somashekaraiah B. V., Padmaja K., Prasad A. R. K. (1992). Phytotoxicity of cadmium ions on germinating seedlings of mungbean (*Phaseolus vulgaris*): involvement of lipid peroxides in chlorophyll degradation. *Physiol. Plant* 85, 85-89.

Souguir Dalila. (2009). Modifications métaboliques, moléculaires et génotoxicité induites par le cadmium chez *Vicia faba*. *Biologie végétale*. Thèse, science biologique Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand II; Université d'Auvergne Clermont-Ferrand I; Université du 7 Novembre, Carthage, Tunisie, Français, 175p

Stefanov K., I Popova., E Kamburova., T Pancheva., G Kimenov., L Kuleva and S Popov (1993). Lipid and sterol changes in *Zea mays* caused by lead ions. *Phytochemistry* 33(1), 47-51.

Stefanov KL., SD Pandev., KA Seizova., LA Tyankova and SS Popov. (1995c). Effect of lead on the lipid metabolism in spinach leaves and thylakoid membranes *Biologia Plantarum* 37(2), 251-256

Sterckeman T., Douay F., Proix N., & Fourrier H. (2000). Vertical distribution of Cd, Pb and Zn in soils near smelters in the North of France. *Environmental Pollution* 107, 377-389

Stewart C.R. (1981). Proline accumulation, Biochemical aspects in Paleg, L.G. Aspinall D Eds *The physiology and Biochemistry of drought resistance in Plants Academic. Press. Sydney.* 629 – 635

Stiborova M., M Doubravova., A Brezinova and F A. (1986). Effect of heavy metal ions on growth and biochemical characteristics of photosynthesis of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Photosynthetica* 20(4), 418-425

Sun R.L., Zhou Q.X., Sun F.H., Jin C.X. (2007). Antioxidative defense and proline /phytochelatin accumulation in a newly discovered Cd hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. *Environ. Exp. Bot.* 60, 468-476.

Szabados L., Savouré A. (2009). Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science* 15, 89- 97.

T

Tamás L., Dudíková J., Ďurčekova K., Halušková L., Hottová J., Mistík I., Ollé M. (2008). Alterations of the gene expression, lipid peroxidation, proline and thiol content along the barley root exposed to cadmium. *J. Plant Physiol.* 165, 1193-1203

Tan B.H., Halloran G.M. (1982). Variation and correlations of proline accumulation in spring wheat cultivars. *J. Crop. Sci.* 22, 459-463.

Tanton TW and SH Crowdy. (1971). The distribution of lead chelate in the transpiration stream of higher plants. *Pesticide Science* 2(5), 211-213.

Taulavuori K., Prasad M.N.V., Taulavuori E. et Laine K. (2005)- Metal stress consequences on frost hardiness of plants at northern high latitudes : A review and hypothesis. *Environ Pollut* 135, 209-220

Thomine S., Wang R., Ward JM., Crawford NM., Schroeder JI. (2000). Cadmium and iron transport by members of a plant metal transporter family in *Arabidopsis* with homology to *Nramp* genes. *Proc Natl Acad Sci U S A* **97**, 4991-4996

Tomulescu I., E Radoviciu., V Merca and ATuduce. (2004). Effect of Copper Zinc and Lead and Their Combinations on the Germination Capacity of Two Cereals. *Journal of agricultural sciences* **15**, 39-42

Tresmel-Schaub A., Feix I. (2005). Contamination des sols. Transfert des sols vers les plantes. EDP Sciences/Ademe, France, 413 p.

Tung G., and PJ Temple. (1996b). Uptake and localization of lead in corn (*Zea mays* L.) seedlings a study by histochemical and electron microscopy." *Science of The Total Environment* **188**(2- 3), 71-85.

Tyler LD., McBride MB. (1982) .Influence of Ca, pH and humic acid on cadmium uptake. *Plant Soil* **64**, 259-262

u

U.S. CDC (2009) Children with Elevated Blood Lead Levels Related to Home Renovation, Repair, and Painting Activities - New York State, 2006-2007. *Morbidity and Mortality Weekly Report* **58**(3), 55-58

U.S. CDC. (2012a) .Infant Lead Poisoning Associated with Use of Tiro, an Eye Cosmetic from Nigeria - Boston, Massachusetts, 2011. *Morbidity and Mortality Weekly Report* **61**(30), 574-576

U.S. CDC. (2013a) .Blood Lead Levels in Children Aged 1–5 Years United States, 1999–2010. *Morbidity and Mortality Weekly Report* **64**(13), 245-248

USEPA : United States Environmental Protection Agency. (1986). Air quality criteria for lead. Research Triangle Park, North Carolina, Office of Research and Development, Office of Health and Environmental Assessment. Environmental Criteria and Assessment. Report No. EPA 600/8-83-028F

U.S. National Toxicology Program. (2011). Health effects of low-level lead. Available on <http://ntp.niehs.nih.gov/NTP/ohat/Lead/Final/MonographHealthEffectsLowLevelLeadFinal508.pdf> (Accessed on August 05, 2013). In U.S. Department of Health and Human Services, National Institute of Health.

v

Van Assche F., Clijsters H. (1985). Inhibition of photosynthesis by heavy metals. *Photosynth Res* **7**, 31-40

Van Assche F., et Clijsters H. (1990). Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant Cell Environ.* **13**, 195-206

Van Balen E., Van de Geijn S. C., Desmot G. M. (1980). Autoradiographic evidence for the incorporation of cadmium into calcium oxalate crystals. *Z. Pflanzenphysiol.* **97**, 123-133

Vassilev A., Yordanov I. (1997). Reductive analysis of factors limiting growth of cadmium-treated plants: a review. *Bulg J Plant Physiol* 23, 114-133

Vassilev A., Yordanov I., Tsonev T. (1997). Effects of Cd²⁺ on the physiological state and photosynthetic activity of young barley plants. *Photosynthetica* 34, 293-302

Vassil AD., Y Kapulnik., I Raskin and DE Salt. (1998). The Role of EDTA in Lead Transport and Accumulation by Indian Mustard. *Plant Physiology* 117(2), 447-453

Vecchia F.D., La Rocca N., Moro I., De Faveri S., Andreoli C., Rascio N. (2005) Morphogenetic, ultrastructural and physiological damages by submerged leaves of *Elodea canadensis* exposed to cadmium. *Plant Sci.* 168, 329-338.

Vodnik D., G Jentschke., E Fritz., N Gogala and DL Godbold. (1999). Root-applied cytokinin reduces lead uptake and affects its distribution in norway spruce seedlings. *Physiologia Plantarum* 106(1), 75-81.

W

Wagner G. J. (1993) Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health. *Advances in Agronomy* 51, 173-212.

Wajciechowski MF Lavin M., and Sanderson MI. (2004). Aphytogeny of legumes Leguminosa based on analysis of the plastid matk gene resolves many well-supported subclades with the family. *Am J Bot.* 91, 1846-1862

Wang H., X Shan., T Liu., Y Xie., B Wen., S Zhang., F Han and M Genuchten. (2007b). Organic acids enhance the uptake of lead by wheat roots. *Planta* 225, 1483-1494

Wang Q. R., Cui Y. S., Liu X. M., Dong Y. T., Christie P. (2003). Soil contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China. *J. Environ. Sci. Health Part A Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng.* 38, 823-838.

Weryszko-Chmielewska E and M Chwil. (2005). Lead-Induced Histological and Ultrastructural Changes in the Leaves of Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Soil Science and Plant Nutrition* 51(2), 203-212.

Wierzbicka M. (1987). Lead translocation and localization in *Allium cepa* roots. *Canadian Journal of Botany* 65(9), 1851-1860

Wierzbicka M. (1998). Lead in the apoplast of *Allium cepa* L. root tips--ultrastructural studies. *Plant Science* 133, 105-119.

World Health Organisation. (2016). Chemical Safety - Activity Report 2015, 1-16.

Wozny A., J Schneider and EA Gwozdz. (1995). The effects of lead and kinetin on greening barley leaves. *Biologia Plantarum* 37(4), 541-552.

-X-

Xiong Z., F Zhao and M Li. (2006). Lead toxicity in *Brassica pekinensis* Rupr. Effect on nitrate assimilation and growth. *Environmental Toxicology* 21(2), 147-153

Yannarelli G. G., Fernández-Alvarez A. J., Santa-Cruz D. M., Tomaro M. L. (2006).

Glutathione reductase activity and isoforms in leaves and roots of wheat plants subjected to cadmium stress. *Phytochemistry*

Yoon J., Cao X., Zhou Q., Ma L.Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *The Science of the Total Environment* 368, 456-464.

Young N.D., Mudge J., and Ellis T.H. (2003) .Legume genomes more than peas in a pod. *Curr Opin., Plant Biol.* Vol 6.pp. 199-204.

Zaafour M., Meddour A et Boulakoud M.S. (2014). Biométrie et dosage du glutathion chez *Helix aspersa* Müller (Gastropoda ; Helicidae) en zones agricole et urbaine polluée dans la région d'El-Hadjar (Annaba, Algérie). *Rev. Sci. Techno, Synthèse*, 28, 96-105

Zhang G., Fukami M. et Sekimoto H. (2000). Genotypic differences in effects of cadmium on growth and nutrient compositions in wheat. *J. Plant. Nutr.* 23,1337-1350

Zhao F.J., Jiang R.F., Dunham S.J., McGrath S.P. (2006). Cadmium uptake, translocation and tolerance in the hyperaccumulator *Arabidopsis halleri*. *New Phytologist* 172 : 646-654.

Zhou W., Qiu B. (2005). Effects of cadmium hyperaccumulation on physiological characteristics of *Sedum alfredii* Hance (Crassulaceae). *Plant Science* 169, 737-745.

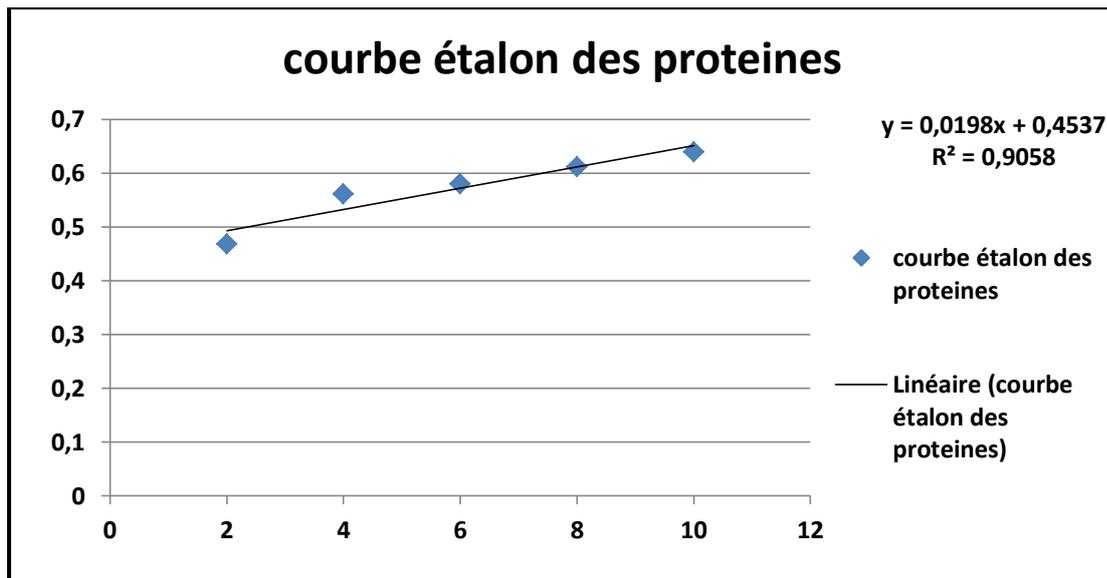
Zorrig Walid. (2010) .recherche et caractérisation de déterminants contrôlant l'accumulation de cadmium chez la laitue "*lactuca sativa*". thèse de doctorat. biochimie et physiologie moléculaire des plantes, umr cnrs/inra/université montpellier ii /supagro, faculté des sciences de tunis, 251p

Zorrig W., Rouached A., Shahzad Z., Abdely C., Davidian J.C., Berthomieu P. (2010). Identification of three relationships linking cadmium accumulation to cadmium tolerance and zinc and citrate accumulation in lettuce. *J. Plant Physiol* 167, 1239-1247

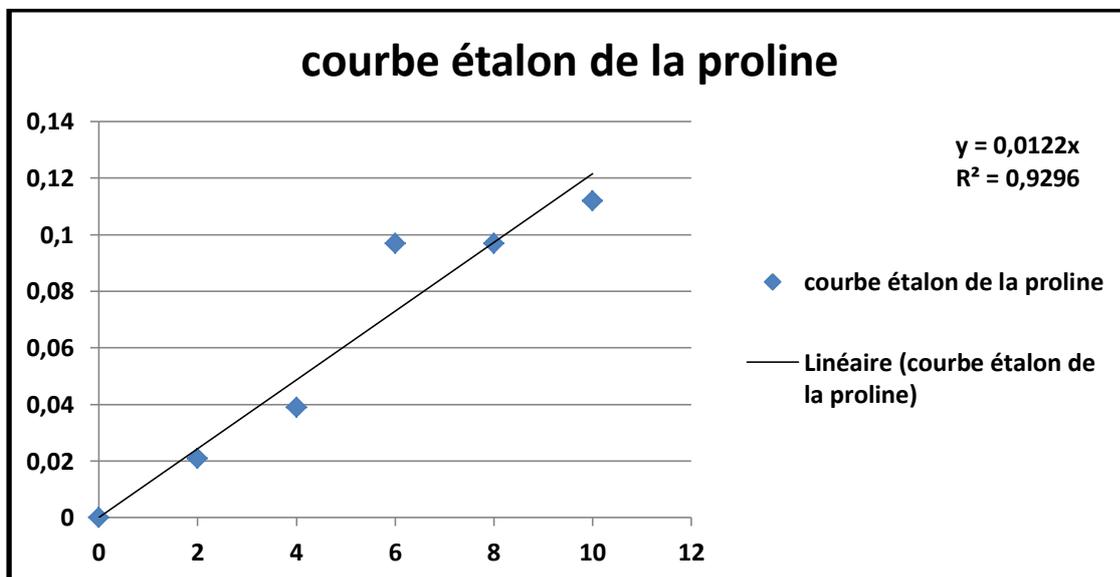
Zorrig W., Rouached A., Zaigham S., Chedly A., Davidian J.C. et Berthomieu P. (2004). Identification of three relationships linking cadmium accumulation to cadmium tolerance and zinc and citrate accumulation in lettuce. *Journal of Plant Physiology* 167, 1239–1247 *Biochimie & Physiologie Moléculaire des Plantes. Unité Mixte de Recherche CNRSINRA Université Montpellier II, Montpellier.*

Zou T., Li T., Zhang X., Yu H. & Luo H. (2010). Lead accumulation and tolerance characteristics of *Athyrium wardii* (Hook.) as a potential phytostabilizer. *Journal of Hazardous Material*, 186, 683-689

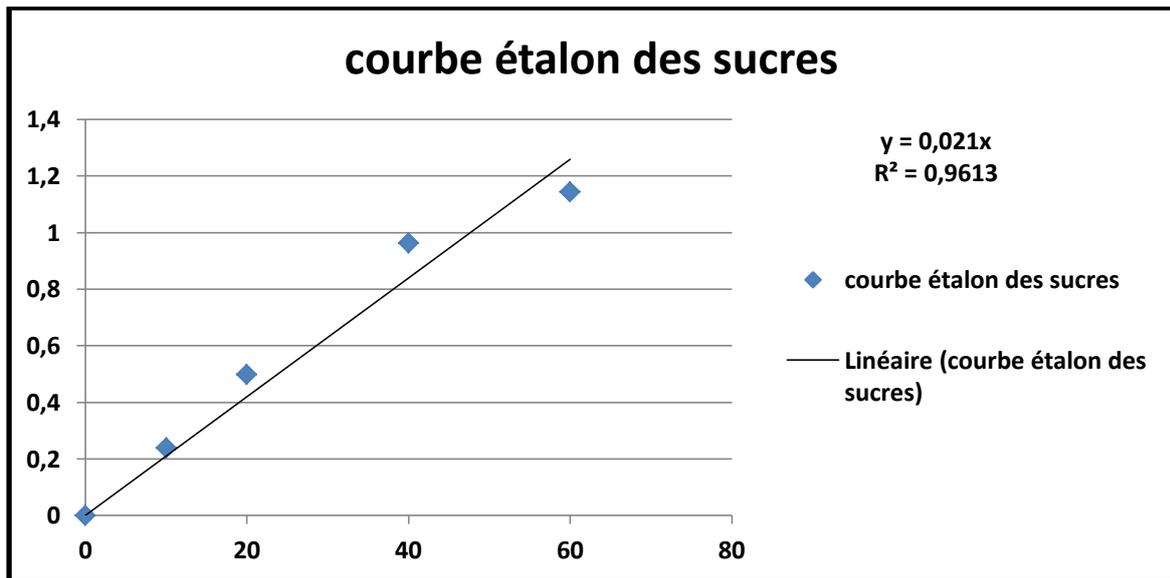
Les courbes d'étalonnages



Courbe.1



Courbe.2



Courbe.3

| Liste d'appareillage | Matériel |
|--------------------------------------|--|
| Centrifugeuse | mortier et tamis |
| Spectrophotomètre | règles et couteau et pinceau |
| Minéralisateur | papier absorbants |
| Bain marie | papier filtres |
| Réfrigérateur plaques chauffantes | des boîtes (pour la germination) des pots (pour la culture) |
| Etuve | tubes à essais et béchers |
| Agitateur, vortex | fioles /éprovettes |
| Balance de précision et une loupe | Micropipettes |

LISTE DES REACTIFS

| | |
|---------------------|--|
| ✓ Tris_ Hcl | ✓ H ₂ SO ₄ |
| ✓ Brad Ford | ✓ Acide Nitrique (HNO ₃) |
| ✓ Bleu De Coomassie | ✓ Acide Perchlorique (HCL O ₄) |
| ✓ Glucose | ✓ Acide Ortho phosphorique |
| ✓ Acétone | ✓ Acide Phosphorique |
| ✓ Ethanol | ✓ Acide Acétique |
| ✓ Anthron | ✓ l'acétate De Plomb [Pb(CH ₃ COO) ₂] |
| ✓ Ninhydrine | ✓ Sulfure De Cadmium [CdSO ₄] |
| ✓ Toluene | ✓ L'eau Distillée |
| ✓ MgCL ₂ | ✓ L'eau De Javel |

| Bloc s | | | | | | | | | | | | Bloc p | | | | | | |
|-------------|----|---|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|
| H | | <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #cccccc; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Métaux lourds de densité > 5 | | | | | | | | | | | | | | | | He |
| Li | Be | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne | |
| Na | Mg | Bloc d | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar | |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | |
| Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | |
| Cs | Ba | La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | |
| Fr | Ra | Ac | Bloc f | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lanthanides | | | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | | |
| Actinides | | | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Cf | Bk | Es | Fm | Md | No | Lr | | |

Classification périodique des métaux lourds (Fourest, 1993)

| Nutriment | (%) |
|----------------------------------|------------|
| Calories | 3.44 |
| Humidité | 10.1 |
| Protéine | 25.5 |
| Graisse | 1.3 |
| Hydrate de carbone total | 5.95 |
| Fibre alimentaire | 6.8 |
| Cendres | 3.0 |
| β -équivalent de carotène | 1.3 |
| Thiamine de magnésium | 0.38 |
| Riboflavine de magnésium | 0.24 |
| Tryptophane niacine de magnésium | 2.1 |
| Magnésium | 1.62 |

Les Nutriments Contenus Dans 100 G Des Graines Sèches De La Fève (DUC, 1981)

Résumé

À la catégorie des métaux lourds font partis le plomb et le cadmium, deux polluants plus dangereux. Toxiques pour les organismes vivants et représentent un danger pour la santé publique et environnementale. Cette étude s'intéresse principalement à l'évaluation de l'effet toxique de chaque un des deux éléments chimiques sur la croissance ainsi que le pouvoir phytoaccumulateur de la fève. Selon nos résultats On constate que : La croissance des organes aériens : la tige, le nombre des feuilles et la biomasse du corps aérien de la fève est inhibée lors de l'exposition au plomb ainsi que la croissance de corps racinaire est raccourcie où on a vécue un développement des racines plus courtes mais plus compactes .Et de même l'évolution de la biomasse racinaire soit inhibée en raison de cette contamination. Les résultats obtenus sur l'aspect morphologique sous l'effet de cadmium ne montre pas un problème contre la croissance de l'appareil aérien chez la fève tandis que la toxicité de ce métal aboutis à une forte inhibition de la croissance des organes racinaires. Les réponses physiologiques de la fève face à ces deux polluants manifeste par une chute dans le statut hydrique, faible teneur des pigments chlorophylliens provoquant le blocage de la photosynthèse et par conséquent l'obstruction de la synthèse des sucres et l'abaissement de la teneur en protéines, ce qui incite la forte synthèse de la proline.

Le pouvoir phytoaccumulateur chez la fève est différent au sens du mot d'un métal a l'autre , dans cette étude on a révélé que les racinessont les organes privilégiées pour l'accumulation des ions de plomb malgré l'éventuelle translocation vers les organes aériens , en contrepartie la fève limite la translocation des ions cadmium des racines vers les organes foliaires, et du cout le cadmium aura tendance à s'accumulé dans le système racinaire .

Mots clés : Cadmium, Plomb, Métaux lourd, *Vicia faba* , phytotoxicité , Accumulation

المخلص :

تشمل المعادن الثقيلة الرصاص والكاديوم ، وهما ملوثان خطيران بالنسبة للكائنات الحية وعلى الصحة العامة والبيئة ، تهتم هذه الدراسة أساساً بتقييم تأثير كل عنصر من العنصرين الكيميائيين على النمو النباتي بالإضافة إلى دراسة قدرة النبات على تخزين العنصرين في أعضائها. وفقاً لنتائجنا، يلاحظ أن: نمو كل من الأعضاء: الجذع، عدد الأوراق والكتلة الحيوية للجسم العلوي ل نبات الفول يتم تثبيطها أثناء التعرض للرصاص ويقل نمو الجذور أيضاً حيث تنمو جذور قصيرة و كثيفة. و بسبب هذا التلوث تتناقص الكتلة الحيوية في الجذور. لا تظهر النتائج التي تم الحصول عليها من الجانب المورفولوجي تحت تأثير الكاديوم مشكلة في نمو الأعضاء الهوائية للفول بينما ينتج عن هذا المعدن السام تثبيط قوي في نمو الجذور. تظهر الاستجابات الفسيولوجية للفول مع هذين الملوثين انخفاضاً في محتوى الماء ، وانخفاض كمية أصباغ الكلوروفيل مما تسبب في عرقلة عملية التركيب الضوئي ، وبالتالي منع تركيب السكريات وانخفاض محتوى البروتين ،

مما ينتج عنه إفراز قوي للبرولين. و بالتالي تختلف قدرة الفول على التخزين من المعدين ، في هذه الدراسة تم الكشف على أن الجذور هي الأعضاء المفضلة لتراكم أيونات الرصاص مع احتمال تنقلها إلى الأعضاء الهوائية ، في المقابل ، يحد الفول من نقل أيونات الكاديوم من الجذور إلى الأوراق ، ويكون تراكم الكاديوم في النظام الجذري . الكلمات المفتاحية: الكاديوم ، الرصاص ، المعادن الثقيلة ، *Vicia faba* ، السمية النباتية ، التراكم

summry

Heavy metals include lead and cadmium, two more dangerous pollutants. Toxic for living organisms and represent a danger for public and environmental health. This study is mainly concerned with the evaluation of the toxic effect of each one of the two chemical elements on the growth as well as the phytoaccumulator power of the bean. According to our results It is noted that: The growth of aerial organs: the stem, the number of leaves and the biomass of the aerial body of the bean is inhibited during exposure to lead and the growth of root body is shortened where there is shorter experienced root development but more compact. And the evolution of the root biomass is inhibited because of this contamination. The results obtained on the morphological aspect under the effect of cadmium do not show a problem against the growth of the aerial apparatus in the bean while the toxicity of this metal results in a strong inhibition of the growth of the root organs. The physiological responses of the bean to these two pollutants manifest a drop in the water status, low content of chlorophyll pigments causing the blocking of photosynthesis and consequently the obstruction of the synthesis of sugars and the lowering of the protein content, which encourages the strong synthesis of proline. The capacity to accumulate in the bean is different from one metal to the other, in this study it has been revealed that the reagents are the preferred organs for the accumulation of lead ions despite the possible translocation to the aerial organs, in return, the bean limits the translocation of cadmium ions from the roots to the foliar organs, and cadmium will tend to accumulate in the root system.

Key words: Cadmium, Lead, Heavy metals, *Vicia faba*, phytotoxicity, Accumulation