



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Tissemsilt



Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme

de Master académique en

Filière :Écologie et Environnement

Spécialité :Protection des écosystèmes

Présenté par : CHERF Naziha

CHATERBACH Mayssa

Thème

**Contribution à l'étude du stress métallique sur la fève
(*Vicia faba*)**

Soutenu le, 23/06/2022

Devant le Jury :

Mr. MELIANI Kaddour	Président	M.A.A.	Univ- Tissemsilt
Mr. ZEMOUR Kamel	Examineur	M.C.B.	Univ – Tissemsilt
Melle. BOUKIRAT Dyhia	Encadrante	M.C.B.	Univ–Tissemsilt
Melle. LAABAS Saadia	Co-Encadrante	M.C.B.	Univ - Tissemsilt

Année universitaire : 2021-2022

Tout d'abord, on tient à remercier Allah le tout Puissant de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à notre Encadrante Mme Boukirat Dyhia, qui était toujours disponible pour partager son temps et ses connaissances, nous la remercions pour avoir suivie et guidée ce travail avec un grand intérêt, nous la remercions également de la confiance qu'elle nous a accordée au cours de la réalisation de ce travail. . sans oublier la Co-Encadrante Mme LAABAS SAADIA pour son aide, et ses conseils.

Nous exprimons nos respectueux remerciements à Monsieur Zemour Kamel pour toute l'aide qu'il a pu nous donner tout au long de ce travail aussi bien pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'examiner ce mémoire.

Nos remerciements spécialement à l'examineur Monsieur MELIANI Kadour , pour toutes les informations et leur précieux conseils.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à

notre formation depuis notre premier cycle d'étude jusqu'à la fin de notre cycle universitaire.

Nous tenons également à adresser nos vifs remerciements à Mr le directeur de INSPF de Tissemsilt, et son personnel surtout monsieur Bentata et monsieur Hakem pour les encouragements et les orientations fournies pour la préparation de notre essai expérimental.

Nous remercions aussi tous les responsables du laboratoire de la faculté de SNV.

Merci aussi à toute la famille universitaire et à nos collègues de la spécialité écologie et environnement.

Et toutes les personnes qui ont contribué de près et loin à l'élaboration de ce mémoire. Avec l'aide d'Allah le tout-puissant, on a pu achever ce modeste travail

Je dédie ce mémoire à...

A mon très cher papa qui il est toujours présent dans mon cœur et qui grace a lui je me suis devenue ce que je suis maintenant, merci papa pour tout les courages et la volonté.

Que Dieu te garde pour moi.

celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à toi maman toutes mes joies, mon amour et ma reconnaissance.

Que Dieu te bénisse toujours.

À mes très chers frères Tayeb Mourad, Hatem Abdeldjalil et Hamed Achraf.

À toute ma famille lespetits et grands.

Un merci plein de gratitude pour mon cher oncle

OUCHEBEUR Mourad.

À ma binôme Chaterbach Mayssa.

À mes amies Imen, Hadjer, Ikram, Aya et Houda.

Naziha



Je dédie ce mémoire à...

À ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

À mon très cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail témoignera gratitude et mon affection.

À mes chères sœurs Rabiaa, Hanaa

À ma belle-sœur Fatiha

À mes chers frères Abd el aziz ,Abdel rezak et Ayad

À mes grands-mères Yamina et Arbiya

À mes cosines Chahinez et Chanez

À mes neveux Mouhamed Anes, Mouhamed, Moad, Moataz bi llah, Abd allah

À mes nièces Rihab et Rahil

À ma chère binôme Cherf Naziha

À ma chère amie Naziha.

Mayssa



Table de matière

Remerciements

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Partie I : Étude bibliographique

Introduction.....01

Chapitre 01 : Généralités sur les métaux lourds

Introduction.....02

I .1.1.Les sources des métaux lourds.....02

I .1.1.1.Sources naturelles.....02

I.1.1.2. Sources anthropiques03

I .1.2.Le plomb (Pb).....04

I .1.3. Origines de la pollution au plomb.....07

I .1.3.1. Plomb d'origine naturelle07

I .1.3.2. Plomb d'origine anthropique.....08

I.1.4.Cycle biogéochimique du plomb.....08

I .1.5. Pollution de sol par le plomb09

I.1.6.Le plomb dans la plante.....10

I .1.7.Effets du plomb sur la plante.....11

Partie II : Partie expérimentale

Chapitre 01: Matériel et Méthodes

II.1.1.Objectif du travail16

II.1.2. Lieu de l'expérimentation16

II.1.3. Composants de l'expérimentation17

II.1.3.1.Origine du sol.....17

II.1.3.2.Choix de l'espèce végétale.....17

II.1.4.Mise en place de l'expérimentation18

II.1.5. Test de germination.....20

II.1.6. Analyse du sol.....21

II.1.6.1. Dosage de la matière organique.....21

II.1.6.2. La conductivité électrique.....	22
II.1.6.3. pH.....	22
II.1.7. Paramètres étudiés.....	23
II.1.7.1. Taux de germination.....	23
II.1.7.2. Nombre des folioles	23
II.1.7.3. Surface foliaire.....	23
II.1.7.3. Hauteur de la plante.....	23
II.1.7.4. Nombres des nodules.....	24
II.1.7.5. La longueur et le volume des racines.....	24
II.1.7.6. Estimation du poids frais.....	24
II.1.7.7. Estimation du poids sec.....	24
II.1.7.8. Dosages des sucres solubles.....	25
II.1.7.9. Dosage de Proline (PRLN)	26
II.1.7.10. Traitement statistiques des données	

Chapitre 02 : résultats et discussions

II.2.1. Résultats.....	30
II.2.1.1. Effet du plomb sur le taux de germination	30
II.2.1.2. Effet du plomb sur la hauteur de la tige	31
II.2.1.3. Effet du plomb sur le nombre de foliole	31
II.2.1.4. Effet du plomb sur la surface foliaire.....	32
II.2.1.5. Effet du plomb sur la longueur racinaire.....	33
II.2.1.6. Effet du plomb sur le volume racinaire.....	34
II.2.1.7. Effets de plomb sur le nombre des nodules	35
II.2.1.8. Effets de plomb sur le poids frais racinaire et aérien.....	36
II.2.1.9. Effets de plomb sur le poids sec aérien et racinaire	38
II.2.1.10. Effets de plomb sur la proline	39
II.2.1.11. Effets de plomb sur les sucres solubles.....	40
II.2.2. Discussion.....	41
Conclusion.....	42

Les références bibliographiques

Annexe

Résumé

Liste des tableaux

Tableau n° 01 : Rapport du flux lié à l'activité humaine et le flux naturel des métaux lourds (Miquel, 2001).	03
Tableau n°02 :Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement (Brignon et al, 2005).	04
Tableau n°03 :Principaux minéraux et composés de plomb (BRGM, 2004).....	05
Tableau n°04 : Situation du plomb dans le monde en 2004.....	07

Liste des figures

Figure n°1: cycle biogéochimique des ETM adapté selon Lamand, (1991).	09
Figure n°02 : Trajet des éléments métalliques de la surface des racines jusqu' au cylindre central par voie apoplastique (en bleu) et voie symplastique (en rouge) (Kirpichtchikova, 2009).	10
Figure n°03 : La serre expérimentale (photo par Chaterbach et Cherf 2022).	16
Figure n°04 : Aspect morphologique de <i>Vicia faba</i> .a : Tige et feuilles ; b : Fleurs ; c : Gousses d : Graines (Mezani et Madjdoub-Bensaad, 2014).	18
Figure n°05 : Remplissage des pots par le substrat.	19
Figure n°06 : Application de stress.	20
Figure n°07 : Mise a germination des grains de la fève.	21
Figure n°08 : Mesure de la matière organique.	22
Figure n°09 : Mesure de la conductivité électrique.	22
Figure n°10 : Mesure le ph de sol.	23
Figure n°11 : Mesure du volume racinaire.	24
Figure n°12: Séchage par l'étuve.	25
Figure n°13: Préparation des échantillons pour ledosage de sucre soluble.	26
Figure n°14 : L'élimination la phase Inférieure de solution.	27
Figure n°15 : Préparation des échantillons pour ledosage de proline.	27
Figure n°16 : Organigramme du protocole expérimental adopté.	28
Figure n°17 : Effet du plomb sur le taux de germination.	30
Figure n°18 : Effet du plomb sur la Hauteur de la Tige.	31
Figure n°19 : Effet du plomb sur le nombre de foliole.	32
Figure n°20 : Effet du plomb sur la surface foliaire.	33
Figure n°21 : Effet du plomb sur la longueur racinaire	34
Figure n°22 : Effet du plomb sur le volume racinaire.	35
Figure n°23 : Effet de plomb sur le Nombre des nodules	36
Figure n°24 : Effet de plomb sur le Poids frais aérien.	37
Figure n°25 : Effet de plomb sur le Poids frais racinaire	37
Figure n°26 : Effet de plomb sur le Poids sec aérien	38

Figure n°27: Effet de plomb sur le Poids sec racinaire.....	39
Figure n°28 : Effet de plomb sur la proline	40
Figure n°29 : Effet de plomb sur le sucre soluble	41

Liste des abréviations

ABA : Acide abscissique

ADEM : Agence de l'environnement et de Maitrise de l'énergie

ANOVA : Analyse de la variance

BRGM : Bureau de recherche géologique et minière

ILZSG: International lead and zinc study group

MO : Matière organique

PF: Poids frais

ppm : Partie par million

PS : Poids sec

$\mu\text{g.g}^{-1}$: Micro gramme par gramme.

Partie I

Étude bibliographique

Introduction

INTRODUCTION

La pollution de l'environnement, particulièrement celle des sols est devenue un problème préoccupant. Les substances polluantes présentes dans le sol sont extrêmement nombreuses, les plus répandues sont les hydrocarbures, les pesticides, les matières plastiques et les métaux lourds... etc. (Adriano, 2001; Alkorta et *al*, 2004) causant une modification des composantes physiques, chimiques ou biologiques défavorable du milieu naturel (Mazoyer, 2002; Ramade, 1989 in Stengel et Gelin, 1998).

Les métaux lourds font partie des principaux polluants inorganiques du sol. Ils sont continuellement rajoutés dans les sols par diverses activités. Par exemple, en agriculture par les boues d'épuration, en industrie par les activités métallurgiques... etc. Si certains éléments métalliques (oligo-éléments), présents à l'état de traces, tels que le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le Manganèse (Mn) sont essentiels pour l'organisme, l'augmentation de leur concentration les rend toxiques et dangereux pour les êtres vivants. D'autres éléments ne sont pas nécessaires et ne peuvent avoir que des effets toxiques, à cette catégorie appartiennent différents éléments, tels que le plomb (Pb), le mercure (Hg) et le cadmium (Cd) (Vamerali et *al*, 2010). Les métaux lourds ont des effets néfastes sur les végétaux, les denrées alimentaires et sur la santé humaine (DiBenedetto, 1997).

Le plomb est l'un des contaminants les plus répandus dans l'environnement (Jarup, 2003; Hernández-Ochoa et *al*, 2005). Toxique, même à faible concentration pour de nombreux organismes vivants (Citepa, 2009). Il est persistant et s'accumule dans les sols (Baize, 1997). Une fois le sol contaminé, le plomb peut être transféré dans les écosystèmes et donc représenter un danger pour la santé humaine.

La fève (*Vicia faba* L.) est une plante robuste, et peu exigeante sur le plan type de sol (Foltete, 2010). En Algérie, la fève reste la plus importante culture vivrière, couvrant une surface de 58000 hectares avec un rendement total de 254000 tonnes (Laamari et *al*, 2008). La fève occupe la première place parmi les légumineuses en Algérie en raison de sa valeur nutritionnelle élevée et de ses divers usages.

Le plomb accumulé dans le sol de surface peut donc être prélevé par les plantes, et par conséquent contaminer l'homme via la chaîne alimentaire, ce qui constitue un problème sanitaire majeur.

Introduction

Le présent travail consiste en l'estimation de l'effet de la pollution des sols par le plomb sur le comportement de la fève. L'étude englobe l'évaluation des modifications morphologiques et biochimiques de la fève face au stress induit par différentes dose de plomb.

Chapitre 1

Métaux lourds

1.1.Introduction

Les éléments métalliques sont sous différentes formes, toujours présents au sein de l'environnement. A l'état de traces, ils sont nécessaires voire indispensables aux êtres vivants (Mohan et *al.*, 2006). A concentration élevée, en revanche, ils présentent une toxicité plus ou moins forte (Mohan et Singh, 2002). La présence de métaux lourds dans l'environnement résulte de causes naturelles et des activités humaines. Elle pose un problème particulier, car les métaux lourds ne sont pas biodégradables (Naseem et Tahir, 2001).

Les métaux lourds ne présentent pas tous les mêmes risques en raison de leurs effets sur les organismes, leurs propriétés chimiques, physico-chimiques et biologiques. Leur toxicité est très variable et leur impact sur l'environnement est très différent (Reddad et *al.*, 2002).

Certains de ces éléments traces constituent les micronutriments essentiels à plusieurs organismes vivants (végétaux, animaux, microorganismes), parmi lesquels on retrouve le cuivre (Cu), le nickel (Ni) et le zinc (Zn). Par exemple, le cuivre est utilisé dans les réactions de photosynthèse et lors de la respiration (Hopkins, 2003; Yruela, 2009). Une trop forte concentration de Cu peut cependant le rendre toxique, notamment en inhibant la croissance racinaire (Marschner, 2012) et en altérant la structure de certaines protéines (Yruela, 2009). Les éléments traces comme l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le plomb (Pb) et le mercure (Hg) n'occupent aucune fonction physiologique chez les organismes vivants et sont considérés comme des éléments non essentiels toxiques.

1.2.Les sources des métaux lourds

1.2.1. Sources naturelles

Parmi les importantes sources naturelles, citons l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies de forêts. La contribution des volcans peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma. (Darmendrail et *al.*, 2000). Le tableau 01 montre le rapport entre le flux lié à l'activité humaine et le flux naturel.

Tableau 01 : Rapport du flux lié à l'activité humaine et le flux naturel des métaux lourds (Miquel, 2001).

Élément	Flux lié à l'Homme / Flux naturel (%)
Cadmium	1.897
Mercure	27.500
Chrome	1.610
Arsenic	2.786
Plomb	34.583

1.1.2. Sources anthropiques

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes (Mckenzie, 1997). Parmi les sources anthropogènes on peut citer : l'activité pétrochimique ; l'utilisation de combustibles fossiles (centrales électriques au charbon, chaudières industrielles, fours à ciment) ; le transport (véhicules et moteurs routiers et non routiers, embarcations), l'incinération de déchets ; les produits (interrupteurs électriques, amalgames dentaires, éclairages fluorescents) ; et les déchets urbains (eaux usées, boues d'épuration, ordures ménagères) et agricoles. Le tableau 02 présente quelques exemples de sources industrielles et agricoles d'où peuvent provenir les métaux présents dans l'environnement.

Tableau 02 : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement (Brignon *et al.*, 2005).

Sources	Métaux
Batteries et autres appareils électriques	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni
Pigments et peintures	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe
Alliages et soudures	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
Biocides (pesticides, herbicides)	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
Agents de catalyse	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn
Verre	As, Sn, Mn
Engrais	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
Matières plastiques	Cd, Sn, Pb
Produits dentaires et cosmétiques	Sn, Hg
Textiles	Cr, Fe, Al
Raffineries	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn
Carburants	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

1.3.Le plomb (pb)

Le plomb est un métal connu depuis plus de 5000 ans. En effet, par exemple en Egypte des composés de plomb étaient déjà utilisés lors de l'émaillage du travail de poterie, autour de 3000 ans av. JC. La métallurgie du plomb a donc démarré à cette époque. Sous l'empire romain, le plomb était utilisé pour la fabrication de canalisations, la production de monnaie ou bien de la vaisselle, l'oxyde de plomb étant employé comme pigment. Ensuite son utilisation a été largement répandue aux XIXème et XXème siècles,

sa production atteignant un million de tonne par an à l'ère industrielle (BRGM, 2004). 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 étant ajouté dans l'essence comme antidétonant. Cependant, depuis les années 1970, le développement de nouvelles technologies ainsi que 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...).

N'ayant aucun rôle bénéfique connu aux êtres vivants à ce jour, le Pb, toxique à de très faibles concentrations, ne possède pas de voie d'entrée ou de sortie dans les cellules qui lui soit spécifique. Il est classé comme élément très dangereux pour les êtres vivants et les écosystèmes. Il agit donc en imitant les métaux physiologiques afin de traverser les membranes cellulaires.

Le Pb est un élément réparti uniformément dans la croûte terrestre (36e élément), où sa concentration moyenne est de 32mg.kg⁻¹ (Pais *et al.*, 2000). Il est présent dans l'environnement sous les degrés d'oxydation (0) métal, (+II) et (+IV) cependant, la forme la plus dominante dans la nature est Pb⁺² (Adriano, 2001).

Tableau 03 :Principaux minéraux et composés de plomb (BRGM, 2004).

Nom	Formule chimique
Plomb	Pb
Anglésite	PbSO ₄
Arséniate de plomb	Pb ₃ (AsO ₄) ₂
Boulangérite	Pb ₅ Sb ₄ Si ₁₁
Bromure de plomb	PbBr ₂
Cerussite	PbCO ₃
Crocoïte	PbCrO ₄
Di-chlorure de plomb	PbCl ₂

Dioxyde de plomb	PbO ₂
Fluoropyromorphite	Pb ₅ (PO ₄) ₃ F
Franckéite	Pb ₅ Sn ₃ Sb ₂ S ₁₄
Galène	PbS
Hydrocerusite	(PbO) ₃ , (CO ₂) ₂ , H ₂ O
Hydroxyde de plomb	Pb(OH) ₂
Hydroxypyromorphite	Pb ₅ (PO ₄) ₃ OH
Massicot	PbO
Minium	Pb ₃ O ₄
Phosgénite	Pb ₂ (CO ₃)Cl ₂
Plumbogummite	PbAl ₃ (PO ₄) ₂ (OH) ₅ , H ₂ O
Pyromorphite	Pb ₅ (PO ₄) ₃ Cl
Raspite	PbWO ₄
Vanadinite	Pb ₅ (VO ₄) ₃ Cl
Wulfénite	PbMoO ₄

Selon les données de l'ILZSG (2009), les États Unis produisent à eux seuls 435,2 tonnes de plomb soit 15,3% de la production mondiale. Sur 3,8 millions de tonnes produits, 3 millions proviennent du recyclage des batteries. La consommation de Pb augmente donc depuis le Moyen-âge. Alors que sa production stagne dans les pays développés, celle des pays en développement continue d'augmenter.

Tableau 04 :Situation du plomb dans le monde en 2004.

Continent	Production (kt)	Consommation (kt)
Asie	2880	2870
Amériques	2009	2030
Europe	1551	2011
Afrique	101	131
Océanie	281	40

1.3. Origines de la pollution au plomb

La pollution au Pb a des origines naturelles mais relève aussi et surtout d'émissions variées de produits hétérogènes occasionnées par les activités de l'homme. Ces émissions sont des poussières atmosphériques ramenées par les pluies ou des rejets directs dans les matrices environnementales(Nduwayezo, 2010).

1.3.1. Plomb d'origine naturelle

Le Pb d'origine naturelle résulte de l'altération et de l'effritement de la roche-mère puis transfert des débris sous forme d'alluvions, de colluvions, etc. qui contribueront à former le sol. En particulier, le Pb se trouve dans la nature sous différentes formes inorganiques dans la croûte terrestre telles les carbonates, les sulfures, les chlorures, etc. Ainsi, on distingue divers minerais de plomb tels la galène PbS (86,6%) la plus exploitée dans la métallurgie du Pb, la cérusite $PbCO_3$, l'anglésite $PbSO_4$, etc. (Bliefert *et al.*, 2009). D'autres sources de Pb méritent d'être signalées (Sirven, 2006) : les apports lointains d'origine atmosphérique (poussières et aérosols transportés par les vents) ; le lessivage du sol et érosion en surface et bioaccumulation par les plantes dans le sol via le cycle biogéochimique ou bien par voie atmosphérique, puis redéposé à la surface du sol (feuilles mortes, décomposition des végétaux).

1.3.2.Plomb d'origine anthropique

Différentes sources anthropiques de Pb ont été documentées:secteur agroalimentaire (épandages de lisiers, engrais...etc.), contamination ponctuelle (peintures des habitations anciennes, accumulateurs au Pb ; plastiques, sidérurgie-métallurgie fonderie, traitements de déchets notamment par incinération de déchets ménagers et municipaux, textiles, antirouille, mastics, munitions, jouets, poteries, émaux, les poids utilisés pour la pêche et dans la soudure, des pigments de Pb ajoutés au verre pour empêcher l'exposition aux rayonnements des écrans de télévision et d'ordinateur, aux conteneurs de stockage des déchets nucléaires et aux tabliers de protection contre les rayons X, etc.)(Blais et *al.*, 2002 ; Bliefert *etal.*, 2009), contaminations diffuses (précipitations,...) (Sirven, 2006).

1.4.Cycle biogéochimique du plomb

Le plomb contenu dans les roches peut se retrouver dans les sols, par altération de ces dernières, à des teneurs variables selon la composition initiale de la roche mère. De même, il est présent dans tous les autres compartiments de l'environnement (eaux, air et même les êtres vivants). La localisation ou la forme chimique du plomb dans l'environnement peut varier selon des phénomènes naturels ou par l'intervention de l'homme (Figure N° 1). Il existe donc un véritable cycle biogéochimique du plomb (tout comme il existe un cycle pour les éléments majeurs et les autres éléments traces) au cours duquel le plomb change de compartiment et de forme chimique sous l'influence de processus naturels ou anthropiques.

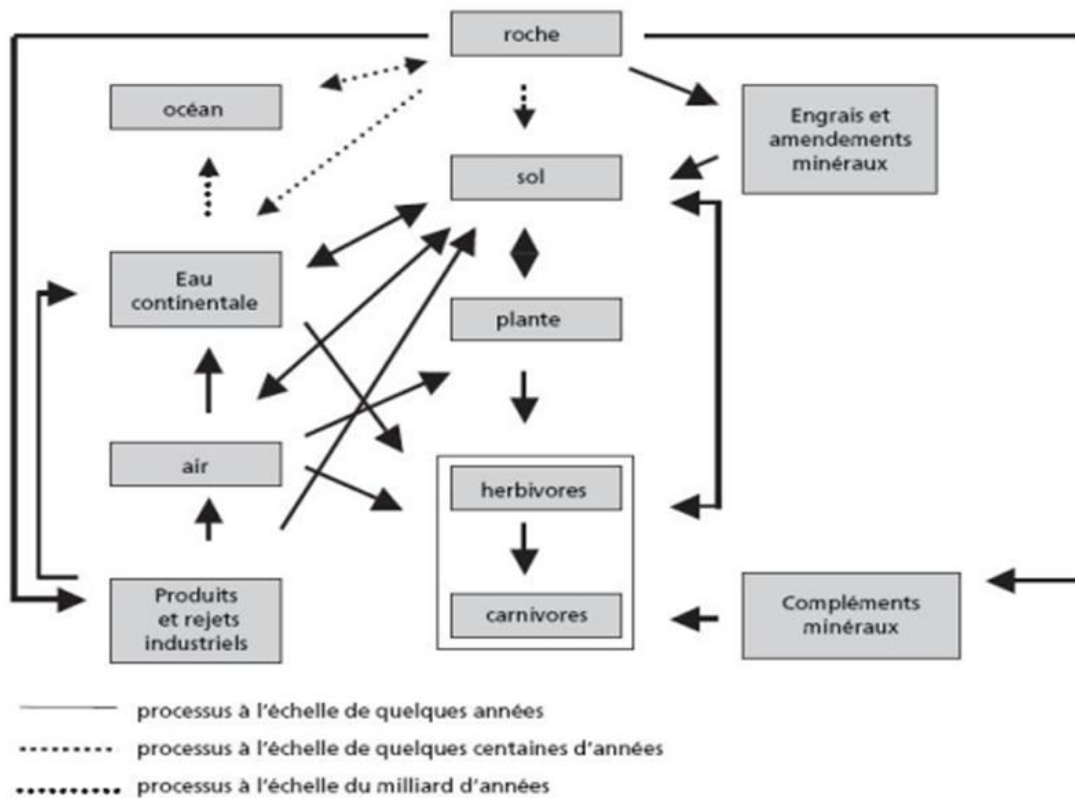


Figure n°1 : Cycle biogéochimique des ETM adapté selon Lamand, (1991).

1.5. Pollution de sol par le plomb

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 (Abreu et Andrade, 1998). Ceci s'explique par le fait que le Pb est peu mobile. Étant 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). Les principales sources de contamination en Pb sont les rejets anthropiques.

Tableau N°07 : Normes internationales pour la contamination des sols en éléments traces métalliques en ppm.

ETM	Valeurs seuils en ppm				
	Directive 86/278/EEC	Arrêté de 8 Janvier 1998	Projet de révision de la directive européenne (2000)		
			5<pH<6	6<pH<7	7<pH
Pb	50 à 300	100	70	70	100
Zn	150 à 300	300	60	150	200
Cu	10 à 20	50	0,3	0,8	11

1.6. Le plomb dans la plante

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

Le transfert radial des ions métalliques de la surface des racines jusqu'aux vaisseaux du xylème peut suivre deux voies : la voie apoplasmique en passant dans les espaces intercellulaires, ou la voie symplasmique en traversant la membrane plasmique d'une cellule à l'autre par les plasmodesmes (les pores de la paroi cellulaire).

La majorité des ions métalliques dans la racine, à l'exception des ions calcium (transportés essentiellement dans l'apoplasme), empruntent un transport transmembranaire. (Kirpichtchikova, 2009).

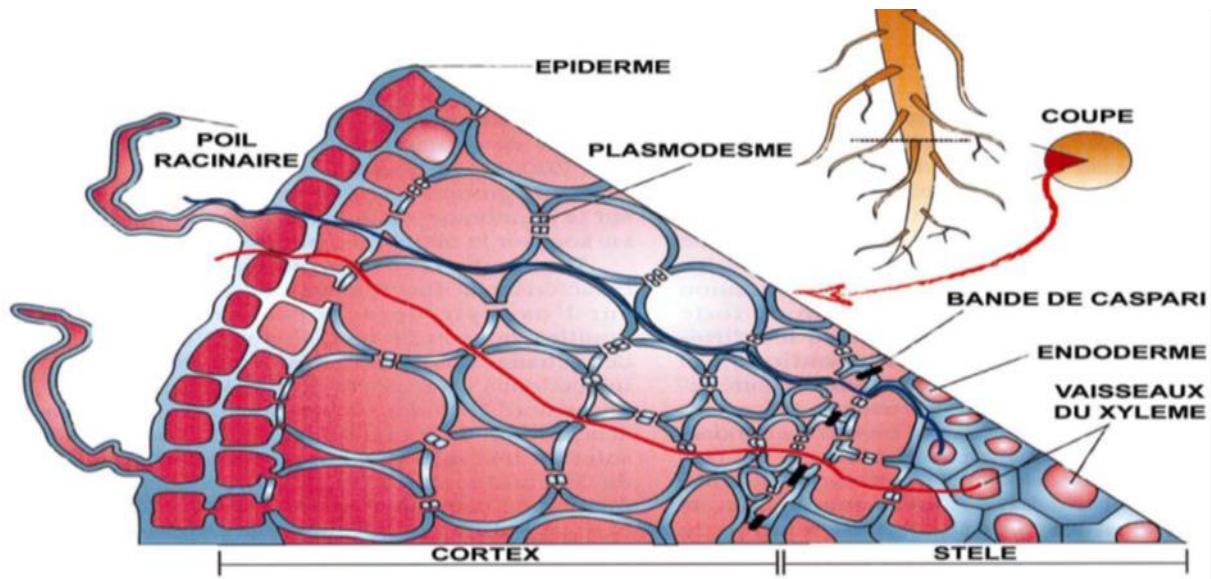


Figure n02: Trajet des éléments métalliques de la surface des racines jusqu' au cylindre central par voie apoplastique (en bleu) et voie symplastique (en rouge) (Kirpichtchikova, 2009).

1.7. Effet du plomb sur la plante

A l'échelle macroscopique, 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 (Mishra and Choudhuri, 1998; Tomulescu et *al.*, 2004). De plus fortes doses conduisent à une inhibition totale de la germination chez les espèces végétales, comme le haricot, dont le tégument de la graine ne limite pas assez la pénétration de ces ions (Wierzbicka and Obidzinska, 1998). Le plomb réduit également fortement le développement de la plantule et des radicelles (Mishra and Choudhuri, 1998). Un traitement à de faibles concentrations en plomb inhibe la croissance des racines et des parties aériennes (Garland and Wilkins, 1981; Mishra and Choudhuri, 1998; Wierzbicka, 1999a; Makowski et *al.*, 2002; An, 2006). Cette inhibition est plus importante pour la racine, ce qui peut être corrélé à la plus forte teneur en plomb de cette dernière. Les racines primaires sont également plus sensibles que les racines latérales (Obroucheva et *al.*, 1998).

L'ensemble des perturbations macroscopiques observées lors de l'exposition des plantes au plomb peuvent résulter de l'interaction du plomb avec les différents composants cellulaires et les macromolécules (protéines, ADN...) ou de la perturbation de nombreux

processus physiologiques comme la régulation du statut hydrique, la nutrition minérale, la respiration ou la photosynthèse.

L'accroissement de biomasse végétale est diminué par de fortes doses de plomb. Toutefois, l'effet des faibles concentrations n'est pas clairement établi et l'inhibition de la croissance (Mishra and Choudhuri, 1998; Kosobrukhov *et al.*, 2004; Xiong *et al.*, 2006; Zheljzakov *et al.*, 2006).

(Makowski *et al.*, 2002) observée n'est pas forcément corrélée à une diminution de biomasse ont même montré un accroissement de la biomasse dans les zones racinaires contenant les plus grandes quantités de plomb, comme l'apex et la zone d'élongation. Cette augmentation de biomasse peut être attribuée à la synthèse de nouveaux composants pariétaux (Wierzbicka, 1998). Au niveau morphologique, une exposition à une faible concentration de plomb conduit au développement de racines plus courtes mais plus compactes.

Les plantes cultivées dans un milieu contaminé par le Pb présentent un ralentissement de leur développement et une inhibition de la croissance des racines et des parties aériennes. Leurs 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). Différents dérèglements physiologiques et moléculaires sont à l'origine de ces phénomènes. La présence de Pb^{2+} dans le milieu extérieur induit une compétition avec les ions minéraux au niveau des transporteurs cellulaires altérant la perméabilité membranaire et induisant une carence en éléments nutritifs dans les plantes (Haussling *et al.*, 1988; Marschner, 1995).

Le ralentissement de la croissance racinaire par le Pb, et les métaux lourds en général (Potters *et al.*, 2007), peut résulter d'une inhibition de la division cellulaire (Wierzbicka, 1989; Wozny et Jerczynska, 1991; Eun *et al.*, 2000) et de l'élongation des cellules (Seregin et Ivanov, 1997; Obroucheva *et al.*, 1998; Malkowski *et al.*, 2002). 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). Ceci pouvant être du à une fermeture des stomates induite par l'altération des flux de potassium (K^+) à travers la membrane et l'augmentation du contenu en ABA (Bazzaz *et al.*, 1974). La photosynthèse est elle aussi inhibée, ceci s'explique par une déformation des structures chloroplastiques (Stefanov *et al.*, 1995), une diminution de la synthèse de chlorophylle, de

plastoquinone, et de caroténoïde (Burzynski, 1987), un transport des électrons altéré (Rashid et *al.*, 1994), un manque de CO₂ et une inhibition de l'activité de certaines enzymes (Vallee et Ulmer, 1972).

D'autres enzymes peuvent être affectées par la présence de Pb car il se lie aux groupements SH et parfois bloque les fonctions COOH (Van Assche et Clijsters, 1990). Les enzymes dont l'activité est inhibée participent notamment à la synthèse de la chlorophylle, à la fixation du CO₂, au cycle de Calvin, à l'assimilation de l'azote et au métabolisme des sucres (Sharma et Dubey, 2005). Certaines enzymes sont au contraire activées telles que les hydrolases (comme les protéases), les phosphohydrolases et les enzymes du cycle ascorbate-glutathion (Sharma et Dubey, 2005). D'autre part, la présence de Pb induit indirectement une contrainte oxydative et par conséquent la production d'espèces activées de l'oxygène (ROS) (Malecka et *al.*, 2001).

Sur de longues durées, les traitements au plomb, même à des doses non-létales, peuvent conduire à l'apparition de nécroses au niveau des apex racinaires et des feuilles, ainsi que des chloroses foliaires (Khan and Frankland, 1983 ; Liu et *al.*, 2000). Il faut cependant noter que, même aux plus fortes concentrations rencontrées dans l'environnement (sols miniers, usines de retraitement de batteries), le plomb induit rarement une mort des végétaux (Cobb et *al.*, 2000; Arshad et *al.*, 2008).

Partie II

Partie expérimentale

Chapitre 1

Matériel et Méthodes

1.1. Objectif du travail

Le présent travail a pour objectif l'évaluation de la réponse de la fève face au stress métallique induit par différentes concentrations de plomb dans le sol. Pour cela une expérimentation sous serre est réalisée avec un suivi de la croissance de la plante.

1.2. Lieu de l'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée au niveau de l'Institut National de Formation Professionnelle de Tissemsilt, dans une serre en plastique ayant une longueur de 10 m, une largeur de 7.60 m et une hauteur de 3.85 m.(Figure N°03).



Figure n°03 : La serre expérimentale (photo par Cherf et Chaterbach 2022).

1.3. Composants de l'expérimentation

1.3.1. Origine du sol

Le sol utilisé dans l'expérimentation est un sol agricole de texture argileuse provenant d'une ferme agricole de la région de khemisti - Tissemsilt. Le sol est prélevé à une profondeur ne dépassant pas les 20 cm, il est ensuite séché à l'air libre, broyé, tamisé (< 5mm) et bien mélangé. Ce sol est utilisé dans une expérimentation en pots dans des conditions semi contrôlées.

Le sol a une texture argileuse, un pH de l'ordre de (8.26 ±0.04) et la conductivité électrique est de l'ordre de 4.64 mmhos/cm ce qui indique que le sol est faiblement salé, suivant la classification de Diehel (1975) (voir annexe). Le sol est très riche de matière organique avec une teneur de 12.28±3.11 % selon la classification de Baize (1988).

1.3.2. Choix de l'espèce végétale

Vicia faba est une plante annuelle appartenant à la famille des fabacées, son cycle complet, de la graine à la graine est d'environ 5 à 6 mois (selon la variété). C'est une plante pubescente dressée et robuste haute de 20 à 60 cm. Les feuilles sont constituées d'une à trois paires de folioles très grandes (40-80 x 10-30 mm) (Heywood et Richardson, 1964; Guinochet et DeVilmorin, 1984).

D'après (Peron, 2006), cette culture est peu exigeante sur le plan édaphique, cependant, elle préfère les sols sablo-argileux humifiés. La température optimale pour sa croissance se situe entre 15-25°C (Matthews & Marcellos, 2003), mais elle résiste bien au froid (jusqu'à -3 et -4°C) (Chaux, 1971). La fève est une plante très sensible à la sécheresse, elle a besoin de l'eau durant tout son cycle végétatif et en particulier à partir de la floraison (Chaux & Foury, 1994).

Cette plante présente plusieurs intérêts écologiques, elle 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 (Nouri, 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).



Figure n°04 : Aspect morphologique de *Vicia faba*. a : Tige et feuilles ; b : Fleurs ; c : Gousses d : Graines (Mezani et Madjdoub-Bensaad, 2014).

- **Classification systématique** : La classification de la fève est la suivante

Règne : végétal

Embranchement : Spermaphytes

Sous-embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Sous-classe : Dialypétales

Série : Caliciflores

Ordre : Rosales

Famille : Fabacées (légumineuses)

Sous-famille : Papilionacées

Genre : *Vicia*

Espèce : *faba*

1.4. Mise en place de l'expérimentation

Le sol constituant le substrat de culture a été séché à l'air libre, tamisé avec un tamis de 5 mm puis homogénéisé (figure N° 5). Douze pots sont remplis de 2 kg de sol et 0.5 Kg de terreau, et sont réparties au niveau de la serre en quatre différents traitements suivant la dose de plomb appliquée : le lot témoin (T), 100ppm (C1), 500 ppm (C2), 1000ppm (C3), chaque traitement est constitué de trois répétitions.

Le plomb est apporté sous forme de solution d'acétate de plomb $Pb(C_2H_3O_2)_2$. L'application du stress (Figure N°06) est effectuée directement sur le sol disposé dans les pots avant le repiquage des plantules.

Les graines de *Vicia faba* sont désinfectées avec de l'eau de Javel (12 %) diluée pour éliminer toute possibilité de contamination fongique, puis rincées abondamment avec de l'eau pour éliminer l'excès de l'eau de javel.

Les graines sont ensuite disposées dans des boîtes en plastique et mises à germer entre deux couches de papier filtre imbibé continuellement par de l'eau, les boîtes sont maintenues à l'obscurité et à une température comprise entre 25 et 28°C.

Au bout de 5 jours les graines germées sont transférées vers les pots à raison d'une plante par pot. Les pots sont arrosés quotidiennement avec de l'eau, une solution nutritive est appliquée toutes les deux semaines.

Les plantes ont été suivies et mesurées régulièrement pendant toute la durée de l'expérimentation.



Figure n°05: Remplissage des pots par le substrat (cherf et chaterbach 2022).



Figure n°06: Application du stress.(cherf et chaterbach2022).

1.5. Test de germination :

Le but de ce test est d'estimer l'effet du plomb sur la capacité de germination des graines de la fève.

Six graines de fève en bon état sont sélectionnées pour chaque concentration de plomb avec trois répétitions (Figure 07).

Les graines ont été désinfectées avec de l'eau de javel diluée et rincé plusieurs fois avec de l'eau distillée. Les graines sont ensuite mises à germer dans des boîtes de pétri tapissées de papier absorbant et imbibées avec 20 ml de la solution de plomb chaque 2 jours, ou avec de l'eau distillée pour le lot témoin. La germination est réalisée à l'obscurité dans une étuve à température moyenne de $25 \pm 1^\circ\text{C}$.



Figure n°07 : Mise en germination des grains de la fève (charf et chaterbach 2022).

1.6. Analyse du sol

Le sol utilisés dans l'expérimentation ont été analysés au niveau du laboratoire de l'université de Tissemsilt.

1.6.1. Dosage de la matière organique

La teneur en matière organique a été déterminée par calcination au four à 500°C suivant la norme NF ISO10694. Le Sol (50 g) a été calciné à une Température de 500°C dans un four pendant 5h. La teneur en matière organique représente la différence entre les deux masses (avant – après calcination) (la teneur ensuite a été rapportée à 100g de l'échantillon initial).

$$\%MO = (M0 - M1 / M0) * 100$$

- M0: étant la masse initiale d'échantillon séché à $40 \pm 5^\circ\text{C}$, en gramme;
- M1: masse finale, après calcination à $500 \pm 5^\circ\text{C}$, en gramme(Kebir., 2012).



Figure n°08 : Dosage de la matière organique (cherf et chaterbach 2022)

1.6.2. La conductivité électrique

La conductivité d'un sol ou un sédiment est une mesure de la quantité d'ions présents et qui pourraient se dissoudre en présence d'eau.

La conductivité électrique a été mesurée dans une suspension de sol (M/V) de 1/5 suivant la norme NF ISO 11265 avec un conductimètre.



Figure n°09 : Mesure de la conductivité électrique (cherf et chaterbach 2022).

1.6.3. pH

L'acidité d'une solution dépend de sa concentration en ions H^+ . Le pH (eau) du sol est mesuré en utilisant une suspension de sol dans un Rapport (M/V) de 1/5. Le pH est mesuré après 30 minutes de repos de la suspension.

La lecture se fait à l'aide d'un pH-mètre (pH-mètre étant préalablement étalonné à l'aide de solutions tampon de pH connu).



. **Figure n°10** : Mesure le pH de sol (cherf et chaterbach 2022).

1.7.Paramètres étudiés

1.7.1.Taux de germination

Il est exprimé par le rapport du nombre de grains germés sur le nombre total de graines soumises à la germination. Sur l'essai de germination ont été déterminé le pourcentage définitif de germination (G%) après 07 jours.

$$G\% = 100 (XT/N)$$

XT est le nombre total de grains germées N le nombre total de grains mises à germer.

1.7.2. Nombre defoliolle

Le nombre des feuilles de chaque plante a été déterminé chaque semaine.

1.7.3. Surface foliaire

La surface foliaire a été mesurée a l'aide du logiciel MESURIM pro.

1.7.4. Hauteur de la tige

La hauteur de tige a été déterminée chaque semaine. Exprimé en centimètres (cm) avec un ruban mètre.

1.7.5. Nombre de nodule

Le nombre des nodules a été déterminé a la fin de l'expérimentation.

1.7.6. La longueur et le volume des racines

La longueur des racines a été mesurées avec une règle, ces dernières sont ensuite placées dans une éprouvette graduée contenant un volume connu d'eau ($V_1=100$ ml), après immersion totale des racines on note le volume V_2 , le volume des racines représente la différence entre les deux volumes V_2-V_1 .



Figure n°11: Mesure de volume racinaire (cherf et chaterbach 2022).

1.7.7. Estimation du poids frais

Après l'enlèvement de la plante du pot, nous avons coupés au niveau du collet pour séparer la partie aérienne et la partie souterraines. Chaque partie a été pesée à l'aide d'une balance de précision pour déterminer le poids frais.

1.7.8. Estimation du poids sec

Après avoir pesé le poids frais chaque partie de la plante a été mise dans des sacs en papier. Le poids sec a été obtenu après passage à l'étuve pendant 24 h à une température de 70°C.



Figure n°12: Séchage par l'étuve (cherf et chaterbach 2022).

1.7.9. Dosages des sucres solubles

Prendre 100 mg de matériel végétal issues des différents échantillons estles tremper pendant 24hdans 5mL éthanol à 80%. Dans des tubes à essais propres, on met 2mL de la solution à analyser, on ajoute 1mL de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de eau distillée). Après, 5mL acide sulfurique concentré 96% a été rajouté rapidement tout en évitant de verser d'acide contre les parois du tube. Une solution jaune orange est obtenue à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10mn et on les place au bain-marie pour 10 à 20mn à une température de 30°C (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures.). Les mesures absorbances sont effectuées à une longueur ondes de 485 nm.



Figure n°13:Préparation des échantillons pour le dosage des sucres solubles (cherf et chaterbach 2022).

1.7.10. Proline (PRLN) ($\mu\text{g/g}$ MF)

La méthode suivie est celle de Troll et Lindsley (1955), simplifiée et mise au point par Dreir et Goring (1974). Elle consiste à prendre 100 mg de matériel végétal (1/3 médian du limbe) puis ajouter 2ml de méthanol à 95 % le tout est chauffé à 95°C dans un bain marie pendant 10 mn. Après refroidissement on prélève 1 ml d'extrait auquel il faut ajouter:

1 ml d'eau distillée et 1 ml de mélange contenant (40 ml d'eau distillée, 60 ml d'acide acétique CH_3COOH , 500 mg de ninhydrine $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$) Le mélange est chauffé à 95 °C dans un bain marie durant 25 à 30 mn, la solution vire au rouge, après refroidissement pendant 5 mn, 3 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée par le vortex, puis laisser le tout à l'obscurité pendant 30 mn Deux phases se séparent (une phase supérieure, et une phase inférieure). Après avoir éliminé la phase inférieure, on détermine la densité optique à (528 nm). Les valeurs obtenues sont converties en teneur de proline (mg/g MF).



Figure n°14: L'élimination la phase Inférieure de solution(cherf et chaterbach 2022).

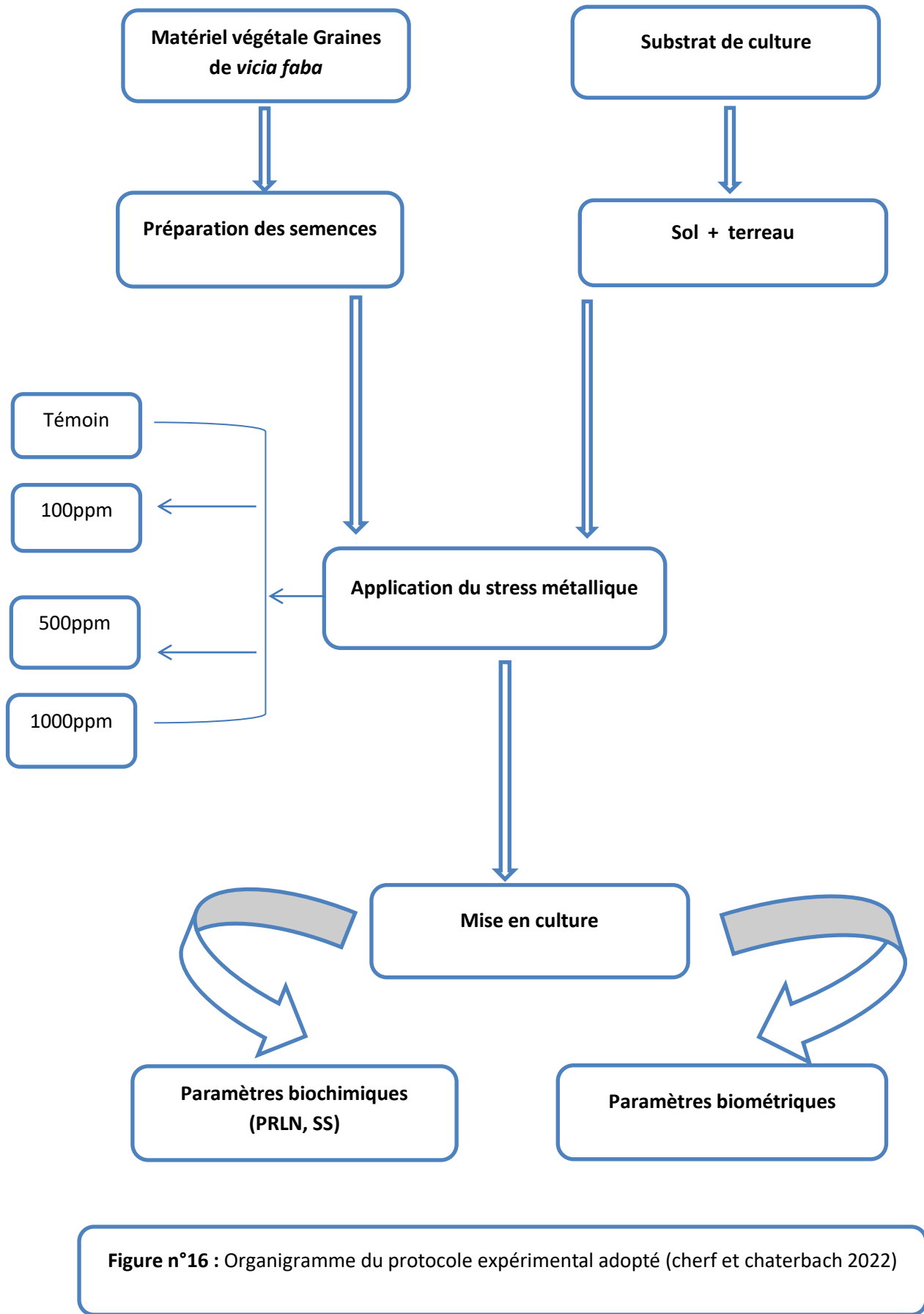


Figure n°15 : Préparation des échantillons pour le dosage de proline (cherf et chaterbach 2022).

I.7.11. Traitement statistique des données

Les résultats présentés correspondent à la moyenne \pm l'écart type des trois répétitions pour chaque traitement. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA 8.0.

Les données obtenues ont été soumises à une ANOVA et pour évaluer le comportement des plantes vis-à-vis les traitements testés. Les différences ont été considérées comme significatives à $p \leq 0.05$ (*), très significatives à $p \leq 0.01$ (**), hautement significatives à $p \leq 0.001$ (***) et non significatives (NS) si $p > 0.05$.



Chapitre 2

Résultats et Discussion

2.1. Résultats

2.1.1. Effet du plomb sur le taux de germination

La figure n°17 représente le taux de germination suivant les concentrations de plomb appliquées.

On observe que les graines de fève ont une bonne faculté germinative en absence de plomb (Témoin) avec un taux de $93,33 \pm 11,55$. La dose C1 ne semble pas affecter la germination de la fève, ou on observe le même taux de germination que pour le témoin.

En ce qui concerne l'effet du plomb sur la faculté de germination, on a observé une diminution significative ($p < 0.001$) lors de l'exposition à la dose de C2 et C3.

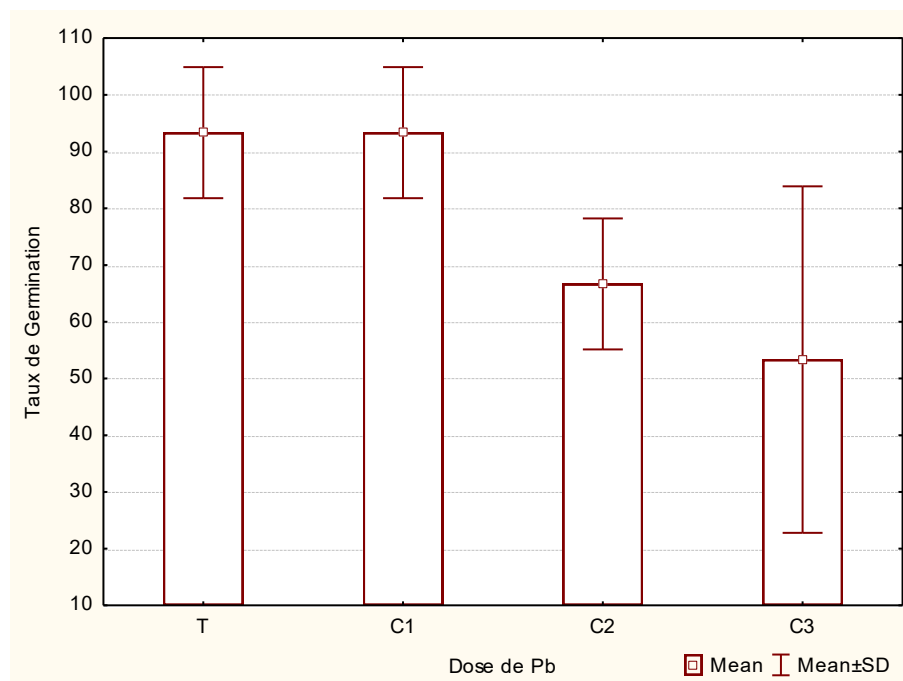


Figure n°17 : Effet du plomb sur le taux de germination des graines de la fève.

2.1.1.Effet du plomb sur la hauteur de la plante

La figure n°18 représente la hauteur de la plante suivant les concentrations de plomb appliquées.

On a observé une diminution significative ($p < 0.001$) de la hauteur de la plante pour la dose de C2 et C3. La dose C1 ne semble pas affecter ce paramètre, on a enregistré le même taux de développement avec le témoin (C1 : 48.66 ± 3.75 ; T : 48.16 ± 10.79).

La hauteur de tige la plus faible est enregistrée pour la dose la plus forte.

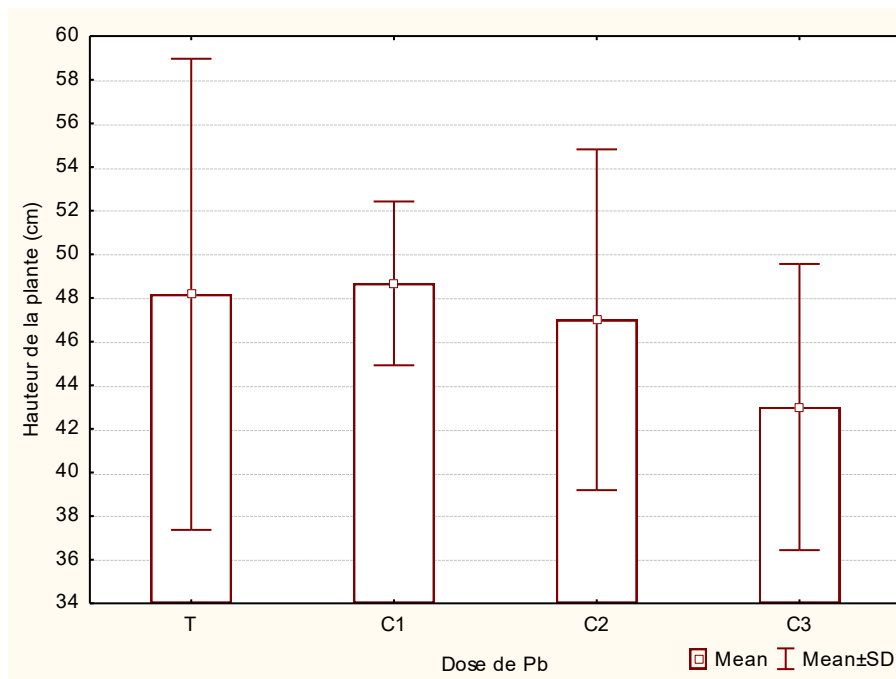


Figure n° 18: Effet du plomb sur la Hauteur de la plante.

2.1.3.Effet du plomb sur le nombre de foliole

La figure n°19 représente le nombre de folioles finales suivant les concentrations de plomb appliquées. L'ANOVA montre un effet significatif des doses du plomb sur les nombre de folioles ($p < 0.001$).

Pour les plantes témoins le nombre est de l'ordre de 135.33 ± 9.02 ; et pour les autres concertations le nombre est inférieur à celui du témoin, avec la valeur la plus faible enregistrée pour la dose C1 (111.33 ± 58.89) suivi de C2 (125.33 ± 8.33).

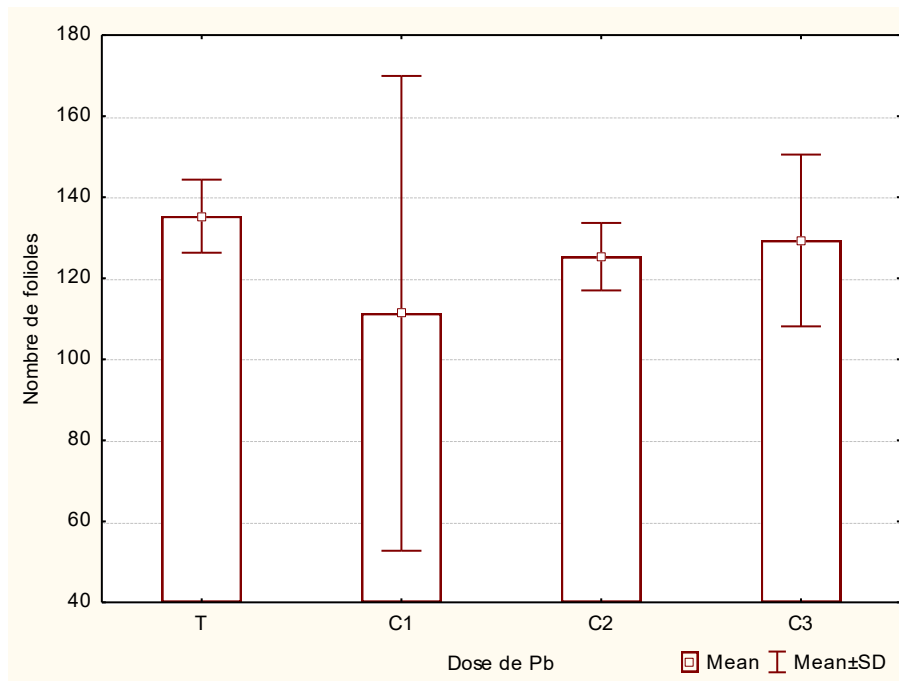


Figure n°19 : Effet du plomb sur le nombre de foliole.

2.1.4.Effet du plomb sur la Surface foliaire

La figure n°20 représente la surface foliaire calculée pour les différentes doses de plomb, on observe que la surface foliaire des feuilles pour les dose C1 et C2 est supérieure à celle du témoin sauf pour la dose la plus forte (C3).

La valeur la plus élevée ($21.69 \pm 4.28 \text{ cm}^2$) est observée à la dose C2. L'ANOVA montre un effet significatif des doses de plomb ($p < 0.001$) sur la surface foliaire de la fève.

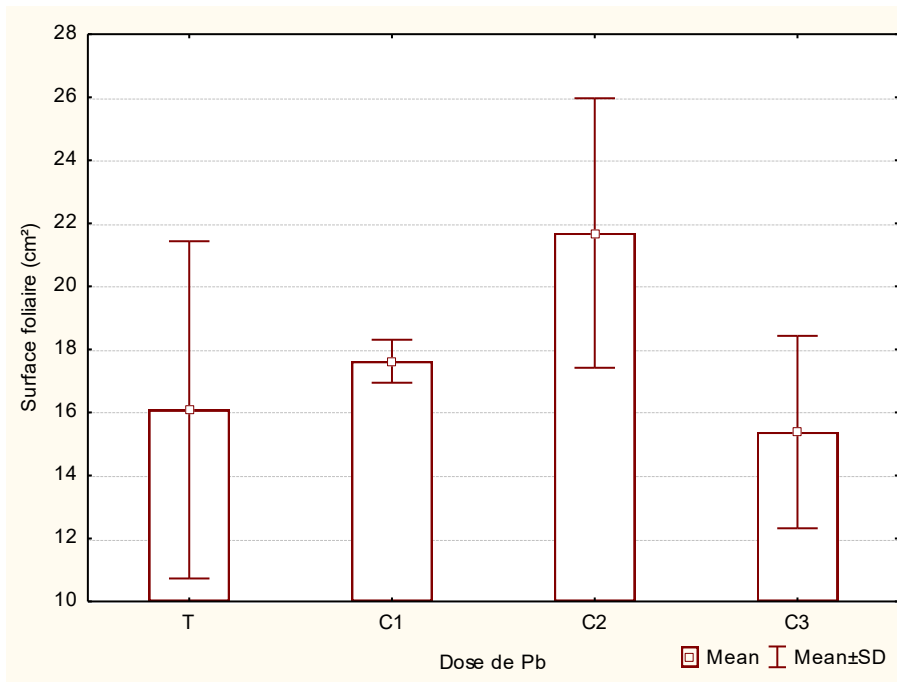


Figure n°20 : Effet du plomb sur la Surface foliaire.

2.1.5.Effet du plomb sur la longueur des racines

La figure n°21 représente la longueur racinaire suivant les concentrations de plomb Appliquées. On observe une augmentation de la longueur des racinaires dans toute les plantes exposées au plomb.

La valeur la plus importante est enregistrée pour la dose C2 (28.33 ± 2.52 cm).

L'ANOVA montre un effet significatif ($p < 0.001$) des doses de plomb sur ce paramètre.

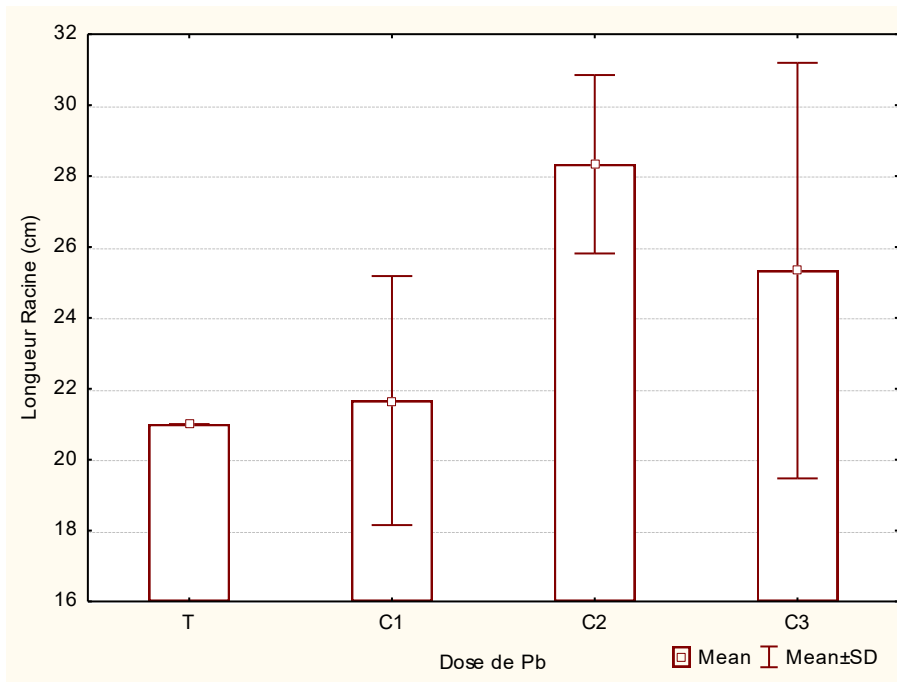


Figure n°21 : Effet du plomb sur la longueur des racines.

2.1.6.Effet du plomb sur le volume racinaire

La figure n°22 représente le volume racinaire suivant les concentrations de plomb appliquées.

Le volume racinaire des plantes de fève sont significativement influencées par les doses de plomb ($p < 0.001$).

Les valeurs enregistrées sont inférieures au témoin mise à part pour la dose C2, où on a observé une augmentation du volume racinaire par rapport au témoin de l'ordre de ($C2 : 21.33 \pm 7.09 \text{ cm}^3$; $T : 19.67 \pm 2.52 \text{ cm}^3$).

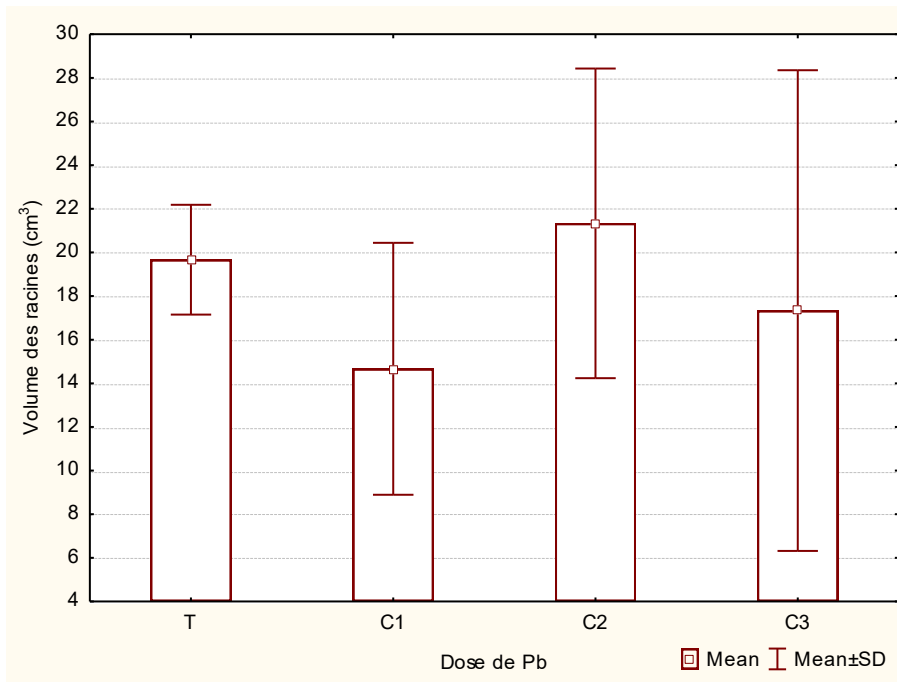


Figure n°22 : Effet de plomb sur le Volume racinaire.

2.1.7. Effet de plomb sur le nombre des nodules

La figure n°23 représente le nombre des nodules rapporté pour chaque dose de plomb.

On observe que le nombre des nodules des différentes doses de plomb sont inférieur au témoin mise à part pour la dose C2, ou on observe une augmentation du nombre de nodule par rapport au témoin de l'ordre de (C2 : 40.67 ± 5.51 , T : 34 ± 7.55).

L'ANOVA montre un effet significatif des doses du plomb ($p < 0.01$) sur lenombre des nodules.

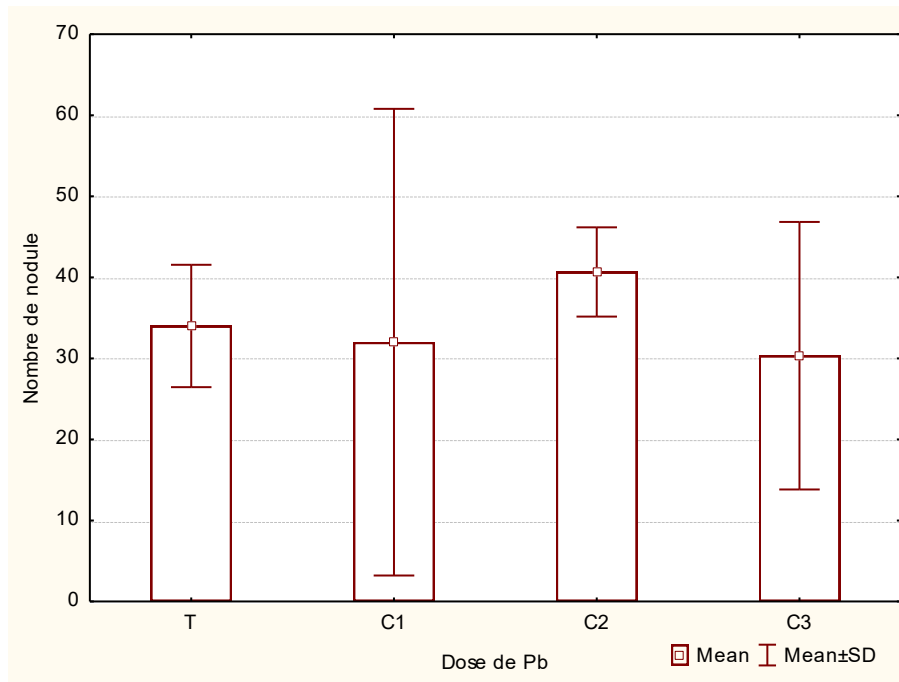


Figure n°23: Effet de plomb sur le Nombre des nodules.

1.2.8. Effet de plomb sur le poids frais aérien (PFA) et le poids frais racinaire (PFR)

Selon la figure n° 24 la seule différence signalé est une forte augmentation du poids frais des parties aériennes pour la dose C3 par rapport au témoin. Contrairement aux autres doses ou on a observé aucune différence.

L'ANOVA montre qu'il n'y a aucun effet significatif des doses de plomb sur ce paramètre ($p > 0.05$).

Pour le poids frais des parties racinaires (figure n°25) une diminution significative ($p < 0.001$) est observée pour les doses C1 et C3 par rapport au témoin avec la valeur la plus faible pour la dose C1 : 24.30 ± 7.71 .

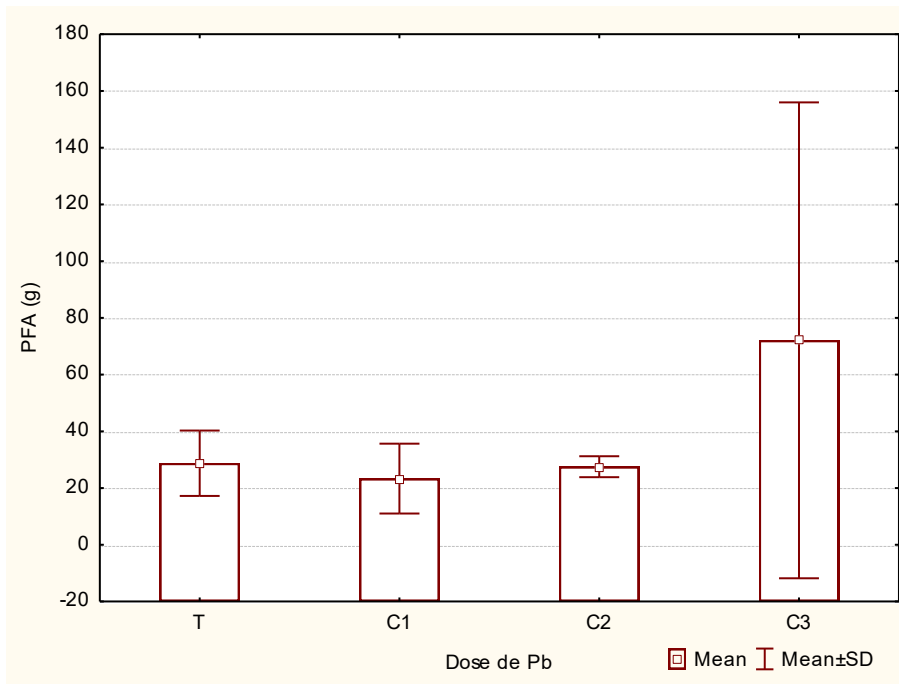


Figure n°24: Effets du plomb sur le Poids frais aérien.

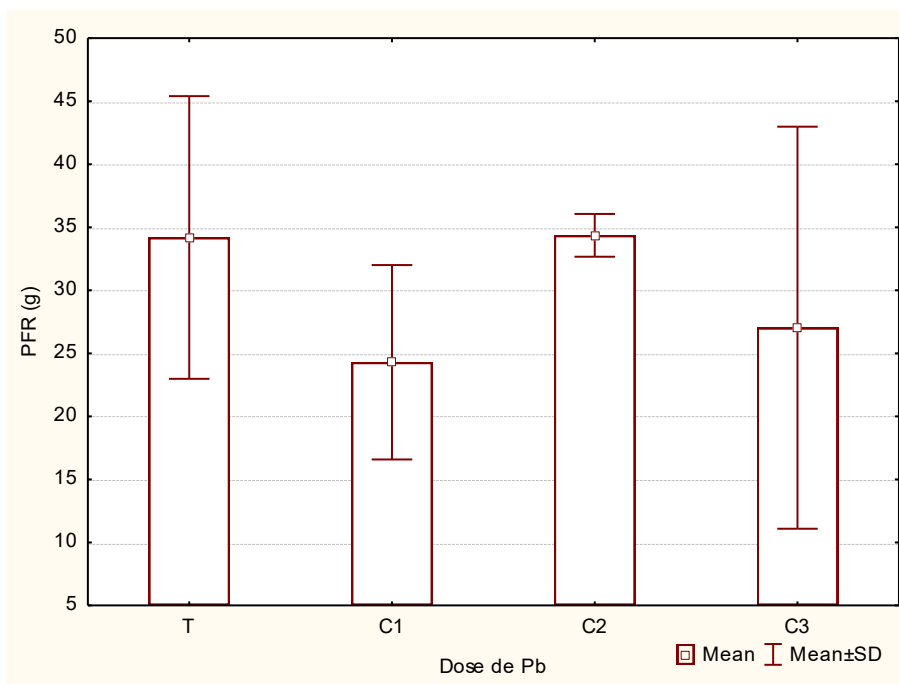


Figure n°25 : Effets de plomb sur le poids frais racinaire.

1.2.9. Effets de plomb sur le poids sec aérien (PSA) et le poids sec racinaire (PSR)

La figure n°26 représente le poids sec aérien suivant les concentrations de plomb appliquées. On observe une diminution significative ($p < 0.001$) du poids sec aérien par rapport au témoin. Avec une forte diminution pour la dose C2 (4.03 ± 1.22 g).

Pour le poids sec des parties racinaires (figure n°27) une diminution significative ($p < 0.001$) est observée pour toutes les doses par rapport au témoin avec la valeur la plus faible enregistrée pour la dose C1 (4.09 ± 1.08 g)

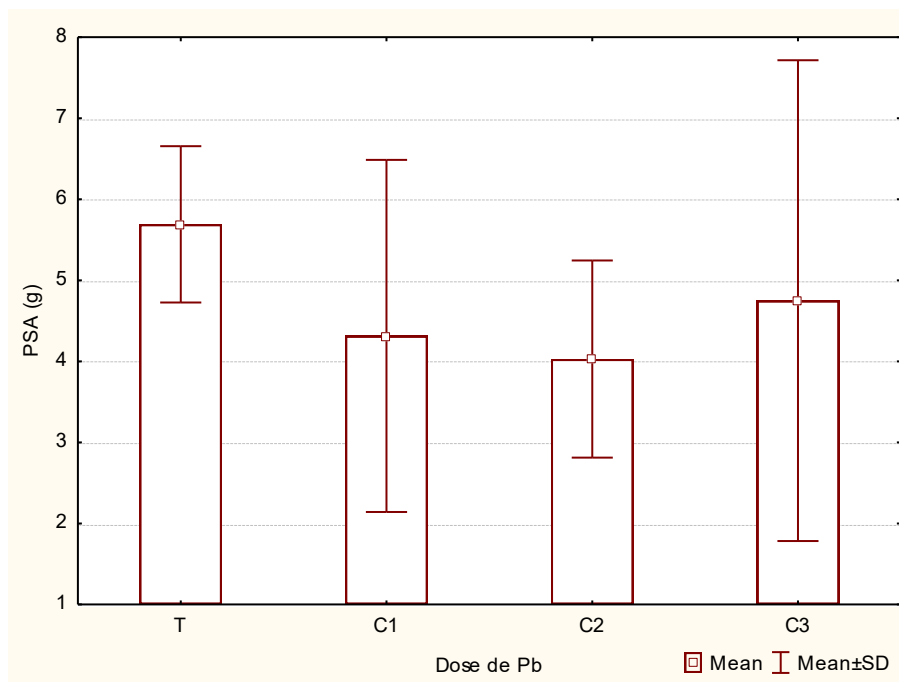


Figure n°26 : Effet du plomb sur le poids sec aérien.

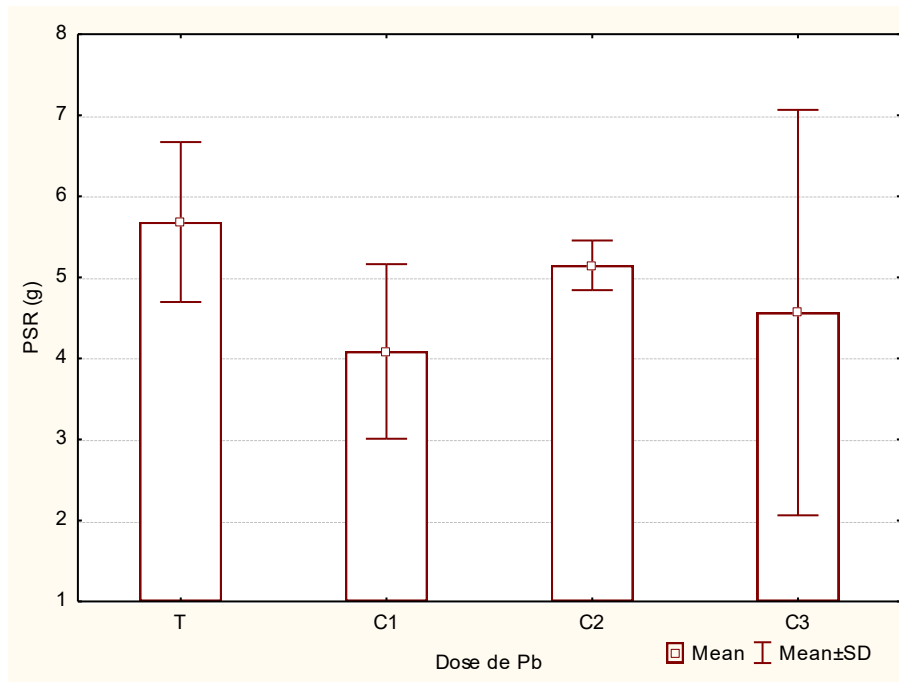


Figure n°27: Effets de plomb sur le poids sec racinaire.

1.2.10. Effet de plomb sur la proline

La figure n°28 représente le taux de la proline accumulée suivant les doses de plomb appliquées.

On observe que le taux de proline accumulée dans les plantes témoin est de l'ordre de (237.30 ± 58.07) .

L'ANOVA montre que le taux de la proline est significativement influencé par les concentrations du plomb ($p < 0.01$).

Les plantes traitées avec la dose la plus faible C1 est supérieur par rapport au témoin, pour la dose la plus forte C3 on observe une forte diminution (C1 : 260.57 ± 73.61 ; C3 : 170.64 ± 35.34), cependant la dose C2 ne semble pas affecter le taux de la proline.

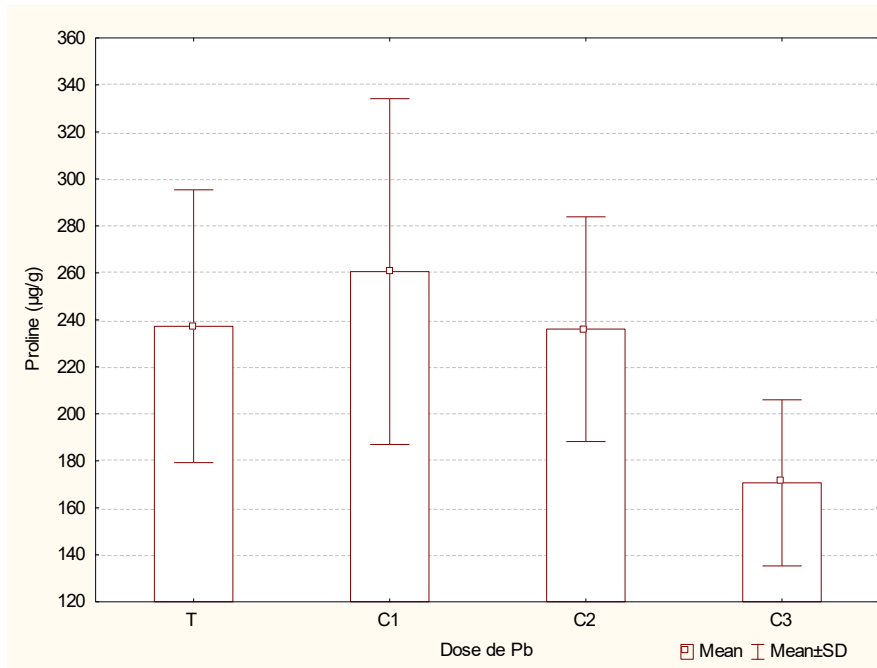


Figure n°28 : Effets de plomb sur la proline.

1.2.11. Effet de plomb sur le sucre soluble des feuilles

La figure n° 29 représente la teneur en sucres solubles suivant les concentrations de plomb appliquées.

On observe que la teneur en sucres solubles a diminué par rapport au témoin pour les doses C1 et C2 avec la valeur la plus basse mesuré dans la C2 ($11.67 \pm 3.33 \mu\text{g/g}$)

Pour la dose la plus forte C3 on observe une augmentation de la teneur des sucres accumulée (C3 : $27.21 \pm 25.20 \mu\text{g/g}$; T : $25.15 \pm 1.88 \mu\text{g/g}$)

L'ANOVA montre un effet significatif des doses de plomb ($p < 0.001$) sur ce paramètre.

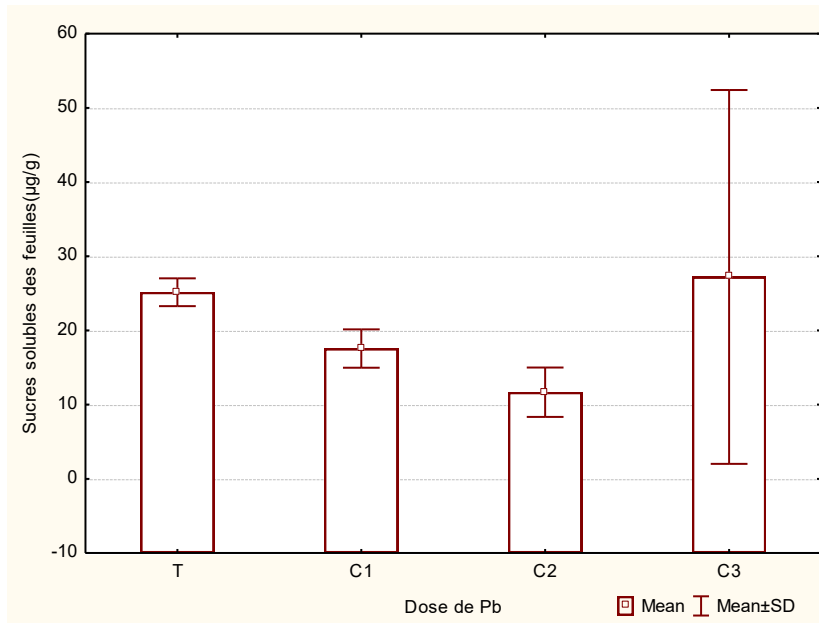


Figure n°29 : Effet du plomb sur la teneur en sucres solubles des feuilles.

Discussion

Discussion

Le plomb est l'un des éléments les plus toxiques pour les organismes vivants. Les sols contaminés par le plomb sont très nombreux car cet élément a été utilisé dans des secteurs industriels variés depuis des siècles : canalisations anciennes de distribution des eaux, extraction minière, carburants automobiles, peintures, installations de transformation ou recyclage des déchets, accumulateurs... etc. (AGHTM, 1996; Miquel, 2001).

La fève est une plante très sensible à la pollution du sol (Nouri, 2012). Dans cette étude nous nous sommes intéressés à la réponse de *Vicia faba* vis-à-vis des concentrations croissantes de plomb dans le sol (100µg/g, 500 µg/g, 1000µg/g), en étudiant quelques paramètres morpho métrique et biochimiques.

L'exposition des plantes aux métaux lourds peut entraîner de nombreux troubles morphologiques et histologiques. L'inhibition de la croissance des plantes peut être considérée comme une réponse générale associée à la toxicité des métaux lourds (Kopyra et al., 2006). Les résultats ont montré que l'ensemble des paramètres morphologiques mesurés sont affectés par les différentes doses de plomb appliquées sur les plantes.

La germination des graines est un ensemble de processus métaboliques aboutissant à l'émergence de la radicule (Ibn Maaouia-Houimli et al., 2011). Elle correspond à la transition de la phase de vie latente de la graine à la phase de développement de la plantule (Baskin & Baskin 2001). Le taux de germination peut refléter la qualité de l'environnement des plantes (Azizi, 2017).

La capacité d'une plante à résister ou à tolérer la toxicité des métaux lourds dépend de son aptitude à maintenir la germination dans un environnement pollué. Compte tenu de l'importance de la phase germinative dans le déroulement des stades ultérieurs du développement de toute espèce végétale, il s'avère indispensable d'étudier le comportement germinatif et d'évaluer la tolérance vis à vis d'un stress métallique (Peralta et al., 2001).

Dans cette étude nous avons observé une diminution significative de la germination des graines de la fève pour toutes les doses de plomb, mise à part pour la dose (100 ppm) où on a observé le même taux de germination avec le témoin.

L'action dépressive de ce métal sur la germination est signalée par plusieurs auteurs (Mishra and Choudhuri, 1998; Wierzbicka et Obidzinska, 1998; Tomulescu et al., 2004, Islam et al., 2007; Luan et al., 2008; Sengar et al., 2009 ; Wang et al., 2010).

Le plomb est connu pour avoir un effet négatif sur les paramètres germinatifs (Nedjah, 2015 ; Seregin et Kozidzinska, 2005). Plusieurs auteurs ont rapporté une inhibition de la germination voire même l'arrêt sur les graines de blé, haricot, fève et

Discussion

concombre (Pourrut 2008 ; Wixrbicka et Obidzinska, 1998 ; Seregin et Kozidzinska, 2005).

Les concentrations en plomb toxiques pour les végétaux varient considérablement selon les études (Cecchi, 2008). La contamination par le plomb ne provoquent pas de symptômes visibles qu'en cas de toxicité avancée (Seregin et *al.*, 2004 ; Sharma et Dubey, 2005).

Le plomb provoque une diminution des paramètres de croissance notamment une réduction de la hauteur de la tige, du poids frais et de la surface foliaire par rapport au témoin, avec une inhibition significative du développement du végétal (Islam et *al.*, 2008 ; Bouziani 2012).

La feuille est un organe utilisé pour l'identification des carences ou excès d'un élément métallique grâce à certain symptômes, la nécroses ou chloroses des jeunes feuilles peut être induite par des niveaux élevés de cuivre et/ou de manganèse (Ouzounidou et *al.*, 1994 ; Dazy et *al.*, 2008), le plomb induit aussi des nécroses dans les feuilles (Patra et *al.*, 2004 ; Liu et *al.*, 2000) et des nécroses des apex racinaires et des chloroses foliaires (Liu et *al.*, 2000).

Le plomb affecter la croissance et la morphogénèse des plantes, en perturbant de très nombreux mécanismes physiologiques. (Zembala *et al.*, 2009 ; Nedjah, 2015) Même à de faibles concentrations, le plomb conduit souvent à la diminution du taux de la germination, de l'indice de germination et de la longueur des racines et des tiges des jeunes plants (Sharma et Dubey, 2005).

D'une façon générale des concentrations élevées de plomb affecté la croissance de la fève, on a peut observer pour la dose la plus forte (1000 ppm), une diminution de tous les paramètres étudiés (germination, nombre de feuille, longueur de la plante, surface foliaire, le poids frais et sec de la plante...) par rapport au témoin.

Nos résultats concordent avec ceux trouvés par Mroczek-Zdyrska et *al.*, (2017) qui ont signalé une diminution des paramètres morphologiques (la longueur des racines, le poids frais et sec des racines, le nombre des feuilles) de *Vicia faba* traité par du 50 μ M de Pb.

L'augmentation du taux des métaux non essentiels dans les plantes exerce une toxicité (Prasad, 1999), affectant plusieurs étapes de développement, de la germination à la formation des feuilles.

Discussion

Le plomb est toxique pour la plupart des plantes, il cause des diminutions de la germination, du volume racinaire et de la biomasse (Sharma et Dubey, 2005; Brunet et *al.*, 2009; Piotrowska et *al.*, 2009; Sing et *al.*, 2010).

Les travaux de Bouziani (2012) et Lei et *al.*, (2006) ont révélés une inhibition du volume racinaire de la fève en fonction de la dose de plomb appliqué.

La partie racinaire semble être plus sensible que la partie aérienne à cause de la présence de plomb dans le milieu (Islam et *al.*, 2008). Nos résultats montrent que le poids frais racinaire est plus affecté par le plomb que le poids frais aérien, et pour le poids sec il a diminué en fonction de l'augmentation des doses du plomb, la diminution du poids sec a touché les deux parties de la plante.

L'ampleur de la toxicité par le plomb est responsable d'un dysfonctionnement physiologiques qui se traduit par une chute de la production de la biomasse et par conséquent une chute du poids sec (Bouziani, 2012).

Les plants contaminés par le plomb présentent un ralentissement de leur développement et une inhibition de la croissance des racines et des parties aériennes (Brunet, 2008). Cela est attribué à la perturbation de nombreux processus physiologiques comme la régulation du statut hydrique et la nutrition minérale (Azouz et *al.*, 2011), la respiration et à la photosynthèse (Pourrut, 2008).

Certains auteurs (Huang *ét al.*, 1974 ; Soheir et *al.*, 2002 ; John et *al.*, 2008) ont détecté une diminution des sucres solubles, d'autres (Azouz et *al.*, 2011 ; Ashraf et *al.*, 2017) ont signalé au contraire une augmentation des sucres solubles en fonction de l'intensité du stress au Pb appliqué. Dans cette étude nous avons remarqué une légère augmentation des sucres solubles pour la plus forte dose de plomb (1000ppm) par contre pour les doses (100 et 500 ppm) la teneur en sucre a diminuée.

Les sucres solubles totaux contribuent fortement à l'ajustement osmotique chez les plantes en conditions de stress (Ben Hassine et Bouzid, 2008). Ils compromettent indirectement la croissance puisque les glucides ne sont pas directement métabolisables et, d'autre part, parce qu'il est aujourd'hui clairement établi que l'accumulation des sucres solubles totaux peut modifier certains paramètres de la photosynthèse en inhibant l'expression de nombreux gènes impliqués dans l'assimilation du CO₂ (Koch, 1996).

Discussion

Govindjee, (1976), Gawęda, (2007) et Sofi et *al.*, (2014) ont signalé que l'accumulation des sucres est très affectée par la contamination par le plomb. Les changements des taux des sucres solubles dans les tissus des plantes qui évoluent dans des environnements pollués par le plomb ne sont pas déterminés avec certitude (Gawęda, 2007).

L'accumulation de la proline est considérée par plusieurs chercheurs chez certaines plantes, comme un paramètre de tolérance au stress biotique (Fabro et al. ,2003) et au stress abiotique (Fabro et *al.*, 2003). La proline est parmi les acides aminés les plus présents au niveau des cellules dans les conditions de stress, il joue un rôle dans la tolérance des plantes à la contamination par les métaux lourds, notamment le plomb (John et *al.*, 2008 ; Shahid, 2010 ; Azooz et *al.*, 2011 ; Rucińska-Sobkowiak et *al.*, 2013). L'accumulation de la proline est signalée en présence de fortes doses de plomb sur la fève (Qureshi et *al.*, 2007 ; Hedaya, 2008 ; Nadgórska-Socha et *al.*, 2013), ou sur d'autres espèces (John, et *al.*, 2008 ; Jiang Wang et *al.*, 2010 ; Azooz et *al.*, 2011).

Les travaux de Nadgórska-Socha et *al.*, (2013) réalisés sur les plantes de la fève ont montré une augmentation significative de la teneur de la proline dans les feuilles des plantes exposées au plomb. Cette augmentation atteint plus de 134% chez les plantes de fèves exposées à 4.8mM de nitrate de plomb (Hedaya, 2008). Chez Glycine max exposées aux chlorures de plomb à 50, 100 et 150µM, l'augmentation de la teneur en proline atteint plus 600% (Sofi et *al.*, 2014). La présence du Pb a occasionné une augmentation significative de la teneur en proline de plus de 120% chez les plantes de blé (*Triticum aestivum*) exposées à 4 mM de nitrate de plomb (Yang et *al.*, 2010), et plus de 120 % chez les plantes de riz exposées à 1200 ppm (Ashraf et *al.*, 2017).

Nos résultats ont montré que la teneur en proline diminue avec l'augmentation de la dose de plomb, elle atteint le minimum à la dose de Pb la plus forte (1000 ppm) ce qui est en accord avec les résultats de (Seban 2015) qui a détecté une diminution de la proline dans la même dose chez *Atriplex halumis* L.

Islam et *al.*, (2008) ont rapporté une augmentation de la surface foliaire des plantes exposées à une dose de 1000 ppm de plomb, ils ont supposé que cette réponse est due à une compensation à la diminution de l'activité de la photosynthèse (Islam et *al.*, 2008). L'augmentation observée de certains paramètres par rapport au témoin peut être donc expliqué par la stimulation de la plante par le plomb.

Discussion

Le plomb est l'un des métaux lourds qui cause de multiples effets sur le développement et la morphologie des plantes (Bhushan et Gupta, 2008 ; Islam et *al.*, 2008 ; Shafiq et *al.*, 2008 ; Aydinalp et Marinova, 2009 ; Farooqi et *al.*, 2009 ; Heidari et Sarani, 2011).

En se basant sur ces résultats on peut dire que la fève est sensible à la pollution du plomb dans le sol, cependant l'effet de ce dernier sur les paramètres de croissance reste ambiguë et dépend de plusieurs facteurs notamment de la plante et de sa réponse face au stress.

Conclusion

Conclusion

Ce travail portait sur l'étude des effets de différents niveaux de plomb dans le sol sur la fève (*Vicia faba*). Plusieurs études ont démontré les effets délétères du plomb sur cette plante.

Les résultats obtenus indiquent que l'exposition de la fève à des concentrations plus faibles (100, 500 ppm) induit des réponses différentes suivant le paramètre étudié.

Cependant, son exposition à une forte concentration de plomb (1000 ppm) induit une diminution significative de la plus part des paramètres étudiés, tel que le taux de germination, le nombre de foliole, la surface foliaire, la biomasse, la proline...etc.

La longueur des racines par contre, ne semble pas être négativement perturbée par le plomb, une augmentation remarquable par rapport au témoin, même à une faible concentration de plomb a été notée.

Au niveau des racines, l'ensemble des paramètres étudiés ont diminué à l'application du plomb à une forte dose (1000 ppm). Par contre, pour la dose (500 ppm) on signale une augmentation du volume racinaire, du nombre de nodule et le poids frais des racines.

Pour le poids sec des deux parties, une réduction générale dans les parties aérienne et racinaire est enregistrée.

La production des sucres solubles est perturbée par le plomb, les teneurs de sucres diminuent par rapport au témoin pour les concentrations 100 et 500 ppm, et elles le dépassent à la concentration 1000 ppm.

En ce qui concerne les teneurs de la proline accumulées sous l'effet du plomb, on note une diminution de la proline à la plus forte dose de Pb et au contraire, une augmentation à la plus faible dose appliquée.

En conclusion, ce travail a permis de signaler une différence de la réponse de la fève face au stress induit par le plomb, cela se traduit par des réponses distinctes en fonction des doses appliquées mais aussi des paramètres étudiés.

Références
bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Abreu CA., de Abreu MF et andrade JC., 1998.**Distribution of lead in the soil profile evaluated by DTPA and Mehlich-3 solutions. *Bragantia* 57 : 185-882.
2. **Adriano., D.C. 2001.** Copper: In trace elements in terrestrial environments, biogeochemistry, bioavailability, and risks of metal, Ed D C Adriano. 499-546. 252p.
3. **AGHTM., 1996.** Aspects analytiques du plomb dans l'environnement. Techniques et documentation Ed, 483 p.
4. **Alkorta I., Hernandez-Allica J., Becceril J.M., Amezaga I., Albizu I. et 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.
5. **An Y-J., 2006.** "Assessment of comparative toxicities of lead and copper using plant *Chemosphere* 62(8): 1359-1365.
6. **Arshad M., J Silvestre., E Pinelli., J Kallerhoff., M Kaemmerer., A Tarigo., M Shahid., M Guisresse., 2008.**A field study of lead phytoextraction by various scented *Pelargonium* cultivars.
7. **Ashraf, U., Kanu, AS., Deng, Q., Mo, Z., Pan, S., Tian, H., Tang, X., 2017.** Lead (Pb) toxicity; physiobiochemical mechanisms, grain yield, quality, and Pb distribution proportions in scented rice. *Front Plant Sci.* 8:259.
8. **Aydinalp C et Marinova S., 2009.**The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15 (4): 347-350.
9. **Azouz, MM., Youssef, MM., Al-Omair, MA., 2011.**Comparative evaluation of zinc and lead and their synergistic effects on growth and some physiological responses of Hassawi Okra (*Hibiscus esculentus*) seedlings. *American journal of plant physiology.* 6 (6): 269-282.
10. **Azzouz Fatima., 2011.** Effet de l'interaction plomb –salinité sur la réponse physiologie et biochimique d'une halophyte (*Atriplex halimus*) et glyphyte (*Vicia faba*). Université D'Oran P 30.
11. **BAIZE D., 1997.** Les éléments traces dans les sols agricoles : constituants naturels et contaminations. ADEME Journées techniques : Aspects sanitaires et environnementaux de l'épandage des boues d'épuration urbaines, pp 160-161.
12. **Baskin., c.c., and Baskin., J.M., 2001.**Seeds : Ecology, biogeography and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San Diego, p. 666.

Références bibliographiques

13. **Bazzaz FA., Rolfe GL., Windle P., 1974.** Differing sensitive of corn and soybean photosynthesis and transpiration to lead contamination. *Journal of Environmental Quality* 3: 156-158
14. **Ben Hassine. A et Bouzid S.,2008.** Evaluation des capacités de résistance de d'hatriplex Halimus L. face au cadmium *Geo-Eco-Trop* 32 :17-20.
15. **BERAUD.,2007** . Etude des effets écotoxiques et de l'induction des phytochélatines chez *Vicia faba L*(fabaceae) expose au cadmium. Application de test Viciamicronoyaux à des matrices. Mstz. Université de Mets 107p.
16. **Bhushan B et Gupta K., 2008.** Effect of lead on carbohydrate mobilization in oat seeds during germination. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* Vol. 12(2): 29-33.
17. **Blais, J.F., Salvano, E., Hammy, F. et Mercier, G., 2002.** «Comparaison de divers adsorbants
18. **Bliefert., C. et Perraud., R., 2009.** Chimie de environnement: Air, eau, sols, déchets, Bruxelles: De Boeck Université.
19. **Bouziani., H., Reguieg Yssaad. ,H.A., 2015.** Phytotoxicity of Lead on the Physiological Parameters of Two Varieties of Broad Bean (*Vicia faba L.*).
20. **BRGM., 2004.** Guide méthodologique du plomb appliqué à la gestion des sites et des sols pollués. Rapport final, BRGM/RP-52881-FR.
21. **Brignonet al., 2005.** Les substances dangereuses prioritaires de la directive cadre sur l'eau Fiches de données technico économiques. Rapport final, INERIS DRC-MECO-200459520. (2005).
22. **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?. *Plant biology and pathology/Biologie et pathologie végétales. C.R. Biologies.* 331: 859-864.
23. **Brunet., J., Varrault, G., Zuily-Fodil, Y., Repellin, A.,2009.** Accumulation of Pb in the roots of grass pea (*Lathyrus sativus L.*) plants triggers systemic variation in gene expression in the shoots. *Chemosphere* 77, 1113-1120.
24. **Burzynski .,M .,1987.** The influence of lead and cadmium on the absorption and distribution of potassium, calcium, magnesium and iron in cucumber seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*9: 229-238 calcium." *Plant Growth Regulation* 37: 69-76.

Références bibliographiques

25. **Cebrian., M.E. and Quintanilla., B., 2005.** Low lead environmental exposure alters semen quality and sperm chromatin condensation in northern Mexico. *Reproductive Toxicology*, 20(2): 221- 228.
26. **Cecchi, M., Dumat, C., Alric, A., Felix-Faure., B., Pradere., P., Guiresse, M.,2008.** Multi-metal contamination of a calcic cambisol by fallout from a lead-recycling plant. *Geoderma*. 144:287-298. doi:10.1016/j.geoderma.2007.11.023.
27. **Chaux & Foury., 1994.** Production légumière : légumineuses potagères , légumes fruits .Ed.TEC et DOC.Lavoisier ,563pp.
28. **CobbG., KSands., M Waters., B Wixson and E Dorward-King .,2000.**“Accumulation of heavymetals by vegetables grown in mine wastes.” *Environmental Toxicology and Chemistry* 19(3): 600–607 content of lead in soil: Growth and photosynthesis." *Plant Growth Regulation* 42: 145-151.
29. **CITEPA., 2009.** CITEPA, [http:// citepa.org/](http://citepa.org/).
30. **Darmendrail., et al., 2000 .** Fonds géochimique naturel : État des connaissances à l'échelle nationale. BRGM/RP-50518-FR, 93 p.
31. **Dazy M., V Jung., JF Féraud., JF Masfarau – Chemosphere., 2008 .**Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implications in site restoration different plant species." *Plant Science* 137(2): 155-171.
32. **Di benedetti M ., 1997.**méthodes spectrométriques d'analyse et caractérisation .école de mine , sainte,Etienne.
33. **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 Akademisher Verlag, p 587–620
34. **Eun SO., Youn HS., Lee Y., 2000.**Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of *Zea mays*. *Physiologia Plantarum* 110: 357-365
35. **Farooqi ZR., ZafarIqbal M., Kabir M., Shafiq M., 2009.** Toxic effects of lead and cadmium on germination and seedling growth of *Albizialebbeck L. Benth.* *Pak. J. Bot.*, 41(1): 27-33.
36. **Garland C and D Wilkins .,1981.** "Effect of Calcium on the Uptake and Toxicity of Lead in *Hordeum*
37. **Gaweda., M., 2007.** Changes in the contents of some carbohydrates in vegetables cumulating lead. *Polish Journal of Environmental Studies*. 16(1): 57-62.

Références bibliographiques

38. **Govindjee., DW.,1976.** Effects of lead ions on photosystem I in isolated chloroplasts: studies on the reaction center P700. *Photosynthetica*. 10(3), 241.
39. **GUINOCHET M., et DE VILMORIN R., 1984.** Flore de France. Dd. CNRS, 5 Vol. Paris, 1879 p.
40. **Haussling M., Jorns CA., Lehmbecker G., Hecht-Buchholz C., Marschner H.,1988.** Ion and wateruptake in relation to root development of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). *Journal of Plant Physiology* 133: 486-491
41. **Hedaya., AK.,2008.** Lead Accumulation and its Effect on Photosynthesis and Free Amino Acids in *Vicia faba* Grown Hydroponically. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2(3): 438-446.
42. **HeidariMetSarani S., 2011.** Effects of lead and cadmium on seed germination, seedling growth and antioxidant enzymes activities of mustard (*Sinapisarvensis* L.). *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*. Vol. 6, no. 1: 44-47.
43. **HEYWOOD V. H. et RICHARDSON I. B. K., 1964.**The genera of flowering plants. Clarendon press. Oxford.
44. **Hopkins W.G., 2003.** Physiologie végétale. 1 st Ed. De Boeck Université 532p.
45. **Huang G., Bazzaz FA.,Vanderhoef LN., 1974.** The inhibition soybean metabolism by cadmium and lead. *Plant Physiol*. 54, 122-124.
46. **ILZSG., 2009.** «End uses of lead».
47. **Iqbal J., Mushtaq S .,1987.**Effect of lead on germination, early seedling growth, solubleprotein and acid phosphatase content in *Zea mays*. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research* 30: 853-856.
48. **Islam., E., Liu, D., Li, T., Yang, X., Jin, X., Mahmood, Q., Tian, S., Li, J.2008.** Effect of Pb toxicity on leaf growth, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. *Journal of Hazardous Materials*. 154: 914-926.
49. **Islam, E., Yang, X., Li, T., Liu, D., Jin, X., Meng., F.,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.
50. **Jiang., W., Liu., D.,2010.** Pb-induced cellular defense system in the root meristematic cells of *Allium sativum* L. *BMC Plant Biol*. 10:40-40
51. **John., R., Ahmad., P., Gadgil., K., Sharma., S.,2008.** Effect of cadmium and lead on growth,biochemical parameters and uptake in *Lemna polyrrhiza* L. *Plant Soil Environ*. 54 (6): 262-270.
52. **Jarup., L., 2003.** Hazads of heavy metal contamination. *Br Med Bull*, 68 (1): 167-182.

Références bibliographiques

53. **Khan D et B Frankland .,1983.**“Effects of cadmium and lead on radish plants with particular reference to movement of metals through soil profile and plant.” Plant and Soil 70(3): 335- 345.
54. **Kirpichtchikova., T., 2009 .**Phytoremediation par Jardins Filtrants d’un sol pollué par des métaux lourds.pp. 23-24.
55. **Koch G., Dambreville A., Rolland G., Bertin N., Granier C., 2017.** A multiscale pipeline for reproducible analyses of tomato leaf expansion and its plasticity. Acta Horticulturae,105–112.
56. **Kopyra M., et Gwozdz., E.A., 2006.**Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts theinhibitory effect of heavy metal and salinity on root growth of *Lupinus luteus*.Plant Physiol. Biochem. 41:1011-1017.
57. **Kosobrukhov A., I Knyazeva and V Mudrik ., 2004 .**“Plantago major plants responses to increase content of lead in soil: Growth and photosynthesis A.
58. **Laamari M., KHELFA L .,AND CŒUR ACIER A., 2008.**Resistance source to cowpea aphid (*Aphis craccivora* Koch) in broad bean (*Vicia faba* L.) algerian ladrace collection. African Journal of Biotechnology 7 (14): 2486-2490.
59. **Lamand M., 1991.** Les oligo-éléments dans la biosphère. Dans Les oligo-éléments en médecine (Ed), et en biologie, Chappuis P, SFERETE, Lavoisier Tec&Doc, Paris, 25-39. 46. ligne. <<http://pubs.nrc-cnrc.gc.ca/rp/rppdf/s02-017.pdf>>.
60. **Lin CC. et Kao CH ., 2000.**Effect of NaCl stress on H₂O₂ metabolism in rice leaves. Plant Growth Regul 30 : 151-15.
61. **Liu, D., Jiang, W., Liu, C., Xin, C., Hou., W.,2000.**“Uptake and accumulation of lead by roots, hypocotyls and shoots of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). Bioresource Technology 71(3): 273-277.
62. **Luan., ZQ., Cao HC., Yan BX.,2008.** Individual and combined phytotoxic effects of cadmium, lead and arsenic on soybean in Phaeozem. Plant Soil Environ. 54(9): 403-411.
63. **Makowski E., A Kita., W Galas., W Karcz and JM Kuperberg., 2002.**“Lead distribution in corn seedlings (*Zea mays* L.) and its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium.
64. **Malecka A., Jarmuszkiewicz W., Tomaszewska B., 2001.** Antioxidative defense to lead stress insubcellular compartments of pea root cells. Acta Biochimica Polonica 48: 687-698.

Références bibliographiques

65. **Malkowski E., Kita A., Galas W., Karcz W., Kuperberg JM., 2002.** Lead distribution in corn seedlings (*Zea mays* L.) and its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium. *Plant Growth Regulation* 37: 69-76.
66. **Marschner H., 2012.** Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd Ed London, Academic Press.
67. **Matthews., P., Marcellos H., 2003.** Faba bean, Agriculture factsheet. Ed. NSW Agriculture, 12p.
68. **Mazoyer M., 2002** .Larousse agricole. Montréal (Québec). Larousse. 767 p.
69. **Mckenzie.A B., 1997:** Isotope evidence of the relative retention and mobility of lead, andradiocesuim in swttish ombrophic peats. *The science of the total environment*, vol.203,2, p.115-127.
70. **Miquel.M., 2001 :** Rapport sur les effets des métaux lourds sur environnement et la santé. Office Parlementaire évaluation des choix scientifiques et technologiques. N° 2979Assemblée Nationale, N°261 Sénat.
71. **Mishra A and MA Choudhuri., 1998** ."Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants." *Biologia Plantarum* 41(3): 469-473.
72. **Mohan .D., Pittman C.U., P.H. Steele Jr., 2006.**Colloid Interface Sci. 297 489–504.
73. **Mohan .D., Singh K.P., 2002.** *Water Res.* 36 2304–2318.
74. **Morlot M., 1996.** "AGHTM Aspects analytiques du plomb dans environnement", Ed lavoisier TEC&DOC.
75. **Mroczek-Zdyrska, M., Strubińska., J., Hanaka., A., 2017.**Selenium improves physiological parameters and alleviates oxidative stress in shoots of lead-exposed *Vicia faba* L minor plants grown under phosphorus-deficient conditions. *J Plant Growth Regul.* 36:186-199.
76. **Nadgórska-Socha., A., Kafel., A., Kandziora-Ciupa., M., Gospodarek., J., ZawiszaRaszka.,A.,2013.**Accumulation of heavy metals and antioxidant responses in *Vicia faba* plants grownon monometallic contaminated soil. *Environ Sci Pollut Res.* 20:1124-1134. DOI10.1007/s11356-012-1191-7.
77. **Nadjeh., I., 2015.** Changements physiologiques chez des plantes (Blé dur *Triticum durum* Desf.) exposées à une pollution par un métal lourd (plomb). Thèse de doctorat 3emcycle.Biologie Végétale et Environnement, Université Badji Mokhtar – Annaba. P.1.

Références bibliographiques

78. **Naseem.R et Tahir.S., 2001.**Removal of Pb(II) from aqueous/acidic solutions by using bentonite as an adsorbent. *Wat. Res.*, 33(11) 3982–3986.
79. **Obroucheva NV., Bystrova EI., Ivanov VB., Antipova OV., Seregin IV., 1998.** Root growth responses to lead in young maize seedlings. *Plant and Soil* 200: 55-61.
80. **Pais., I. and Benton Jones., J., 2000.** The handbook of Trace Elements. Boca Raton, FL, St. Lucie Press 223.
81. **Patra., M., Bhowmick., N., Bandopadhyay., B., Sharma., A.,2004.** Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*. 52: 199-223.
82. **Peron J-Y., 2006.** references. *Production légumières* . 2eme ED. 613 P.
83. **Piotrowska., A., Bajguz, A., Godlewska-Zylkiewicz., B., Czerpak., R., Kaminska, M.,2009.** Jasmonic acid as modulator of Pb toxicity in aquatic plant *Wolffia arrhiza* (Lemnaceae). *Environ Exp Bot.* 66(3):507-513.
84. **Potters G., Pasternak TP., Guisez Y., Palme KJ., Jansen Mak., 2007.**Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends in Plant Science* 12: 98-105
85. **Pourrut B., 2008.** Implication du stress oxydatif dans la toxicité du plomb sur une plante modèle, *Vicia faba*. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse.
86. **Prasd K., Saradhi PP and Sharmila., P., 1999.** Concerted action of antioxidant enzymes and curtailed growth under zinc toxicity in *Brassica juncea*. *Environmental and experimental Botany*, 42:1-10.
87. **Qureshi, M., Abdin, M., Qadir, S., Iqbal., M.,2007.**Lead-induced oxidative stress and metabolic alterations in *Cassia angustifolia* Vahl. *Biologia Plantarum*. 51(1): 121-12.
88. **Rashid A., Camm EL., Ekramoddoullah., KM., 1994.** Molecular mechanism of action of Pb and Zn²⁺ on water oxidizing complex of photosystem II. *FEBS Letters* 350: 296-298.
89. **Raskin I., et Ensley .,BD .,2000.**Phytoremediation of toxic metals; using plants to clean up the environment. John Wiley & Sons, New York.
90. **Reddad Z., et al.,2002** . *Environ. Sci. Technol.* 36 2067 -2073. responses to lead in young maize seedlings. *Plant and Soil* 200: 55-61.
91. **Rucińska., R., Sobkowiak., R., Gwózdź., EA.,2004.** Genotoxicity of Pb in lupin root cells as evaluated by the comet assay. *Cell Mol Biol Lett*. 9(3):519-528. 2013.

Références bibliographiques

92. **Rucińska., R., Sobkowiak., R., Gwózdź., EA.,2004.**Genotoxicity of Pb in lupin root cells as evaluated by the comet assay. *Cell Mol Biol Lett.* 9(3):519-528
93. **Santé Canada., 2009.** «Santé de l'environnement et du milieu de travail.
94. **Sengar., RS., Gautam., M., Sengar., RS., Sengar., RS., Garg., SK., Sengar., K., Chaudhary., R.2009.** Pb stress effects on physiobiochemical activities of higher plants. *Rev Environ ContamToxicol.* 196:1-21.
95. **Seregin IV., Ivaniov., VB., 1997.** Histochemical investigation of cadmium and lead distribution in plants. *Fiziol. Rast.* 44: 915-921.
96. **Seregin IV., Ivanov VB., 2001.** Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects .
97. **Seregin, IV., Shpigun, LK., Ivanov., VB., 2004.** Distribution and toxic effects of Cadmium and Lead on maize roots. *Russian Journal of Plant Physiology.* 51(4): 525-533.
98. **Shafiq M., Zafar IM., Athar M., 2008.** Effect of lead and cadmium on germination and seedling growth of *Leucaenaleucocephala*. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* Vol. 12(2): 61 66.
99. **Shahid., M., 2010.** Induction de la phytotoxicité du Plomb chez *Vicia faba L.* : rôles de l'absorption et de la spéciation. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, p300.
100. **Sharma P., Dubey RS .,2005.**Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17: 35-52.
101. **Singh., R., Tripathi, RD., Dwivedi, S., Kumar, A., Trivedi, PK., Chakrabarty, D.2010.** Pb bioaccumulation potential of an aquatic macrophyte *Najas indica* are related to antioxidant system. *Bioresour Technol.* 101:3025-3032.
102. **Sirven., J. -B., 2006.** «Détection de métaux lourds dans les sols par spectroscopie émission sur plasma induit par laser (LIBS) .
103. **Sofi, I., Rajneesh., KA., Showkat., AG., Rajendra., S., 2014.**Biochemical Response of *Glycine max (L.) Merr.* To Cobalt and Lead stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry.* 10(3):259-272.
104. **Soheir ES., Khalil MY., Naguib NY., 2002.** Investigation of the effect of some elements (B, Mo, Co, Pb) on growth, productivity and quality of *Cymbopogon citratus L.* *Ann. Agric. Sci.* 47(3), 911.
105. **Stefanov K., Seizova K., Popova I., Petkov VL., Kimenov G., Popov S., 1995.**Effects of lead ions on the phospholipid composition in leaves of *Zea mays* and *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Plant Physiology* 147: 243-246.

Références bibliographiques

106. **Tomulescu., I., Radoviciu, E., Merca, V., Tuduce., A.,2004.**Effect of copper, zinc and lead and their combinations on the germination capacity of two cereals. Journal of agricultural sciences. 15:39-42.
107. **Tremel-Schaub A., Feix I., 2005.**Contamination des sols. EDP Sciences & ADEME Edition,413p.
108. **Vallee BL., Ulmer., DD., 1972** Biochemical effects of mercury, cadmium and lead. 41: 91-128.
109. **Van Assche F., Clijsters .,H., 1990.**Effects of metal on enzyme activity in plants. Plant, Cell & Environment 13: 195-206.
110. **Wang., J., Li, W., Zhang, C., Ke., S., 2010.** Physiological responses and detoxific mechanisms to Pb, Zn, Cu and Cd in young seedlings of Paulownia fortunei. Journal of Environmental Sciences. 22(12):1916-1922.
111. **Wierzbicka., M .,1989.**Disturbances in cytokinesis caused by inorganic lead. Environmental and Experimental Botany 29: 123-133.
112. **Wierzbicka .,M .,1999.**"Comparison of lead tolerance in Allium cepa with other plant species."
113. **Wierzbicka., M., Obidzinska., J.,1998.** The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. Plant Science. 137(2):155-171.
114. **Wozny A., Jerczynska E .,1991.**The effect of Lead on early stages of Phaseolus vulgaris L.growth in vitro conditions. Biologia Plantarum 33: 32-39.
115. **Xiong Z., F Zhao and M Li .,2006.** "Lead toxicity in Brassica pekinensis Rupr.: Effect on nitrate assimilation and growth.
116. **Yan., ZZ., Ke., L., Tam., NFY.,2010.** Pb stress in seedlings of Avicennia marina, acommon mangrove species in South China, with and without cotyledons. Aquat Bot. 92(2):112- 118.
117. **Yang., Y., Wei, X., Lu, J., You, J., Wang, W., Shi, R.,2010.** Lead-induced phytotoxicity mechanism involved in seed germination and seedlig growth of wheat (Triticum aestivum L.). Ecotox Environ Safet. 73:1982-1987.
118. **Yruela I., 2009.** Copper in plants: acquisition, transport and interactions. Functional Plant Biology 36: 409-430.
119. **Zembala,M., Filet,M., Kornas,A., Miszalski Z., Walas S., Mrowiec,H., Hartikainen,H.,2009.** Effect of selenium on macro and microelement distribution and

Références bibliographiques

physiological parameters of rape and wheat seedling exposed to cadmium stress. *Plant Soil*, 329, 457-468.

120. **Zheljazkov VD., LE Craker and B Xing., 2006.** "Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil.

Annexe

Annexes



Balance

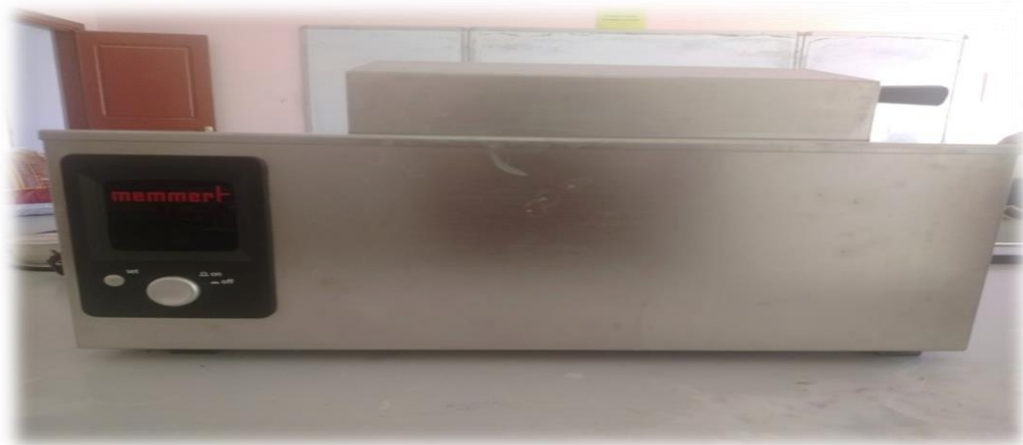


Annexes

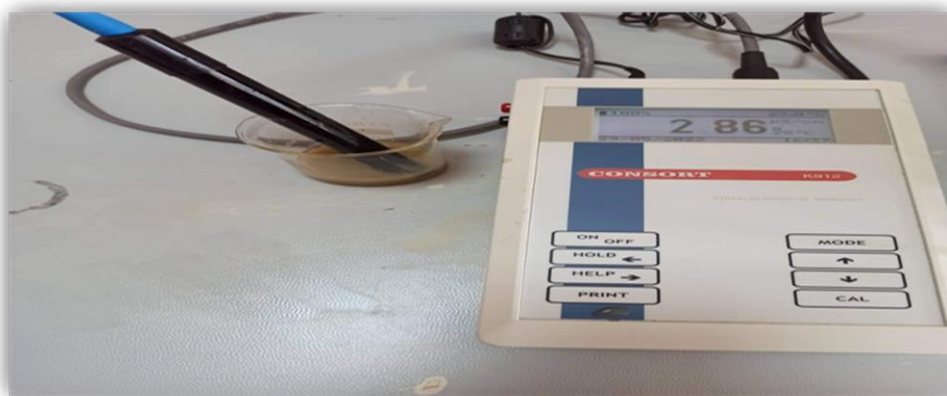
Étuve



PH Mètre



Bain marin



Conductimètre

Annexes





Tableau 01. Classification des sols en fonctions de la CE. Diehel, (1975)

classe	Désignation	Conductivité électrique (mmhos/cm)
0	Non salé	<2,5
1	Faiblement salé	2,5-5
2	Moyennement salé	5-10
3	Salé	10-15
4	Fortement salé	15-20
5	Très fortement salé	20-27,5
6	Hyper salé	>40

Tableau 02. Classification de la matière organique selon BAIZE, (1988).

Matière organique (%)	Type du sol
0.5	Très pauvre
0.5 - 1.5	Pauvre
1.5 - 2.5	Moyennement pauvre
2.5 - 6	Riche
6 - 15	Très riche

Annexes

doses	Répétitions
T	 Three young faba bean plants in red plastic pots, each labeled 'TEMOIN' (control). The plants are healthy and show similar growth.
D1	 Three young faba bean plants in red plastic pots, each labeled 'D1 : 100ppm pb'. The plants appear slightly less vigorous than the control.
D2	 Three young faba bean plants in red plastic pots, each labeled 'D2 : 500ppm pb'. The plants show more pronounced stunting and leaf discoloration compared to the control.
D3	 Three young faba bean plants in red plastic pots, each labeled 'D3 : 1000ppm pb'. The plants exhibit significant growth inhibition, with very short stems and sparse, discolored leaves.

Le développement de la fève (*vicia faba*) exposé à différentes doses de plomb

Résumé

Le plomb est l'élément toxique le plus important dans l'environnement qui affecte la vie des organismes vivants. Chez les plantes le plomb ne joue aucun rôle physiologique, sa présence est source de multiples perturbations même à de faibles concentrations. L'objectif de ce travail de recherche est l'étude de la toxicité du plomb sur le comportement et le développement de la plantes. Afin d'atteindre cet objectif, l'expérimentation est réalisée sur des plantes de la fève, qui est une plante sentinelle tolérante et qui représente des caractéristiques remarquables dans les études d'écotoxicologie, la fève est exposée à différentes doses de plomb (0, 100, 500 et 1000ppm) sous forme d'acétate de plomb $Pb(C_2H_3O_2)_2$ ajoutées au substrat de culture. L'estimation des réponses des plantes au stress appliqué est mesurée par l'ensemble des paramètres d'ordre morphologiques et biochimique.

Les résultats obtenus montrent que d'une manière générale l'exposition de la fève à des concentrations élevées de plomb affecte tous les paramètres de croissance, il réduit le taux de germination, le nombre des folioles, la hauteur de la tige ainsi que, le nombre des nodules, le volume racinaire et la biomasse. Cependant à de faibles doses de plomb, les résultats ont montré que la fève était peu affectée.

Mots clés : fève, plomb , stress, pollution , croissance , biomasse.

Abstract

Lead is the most important toxic element in the environment that affects the life of living organisms. In plants, lead plays no physiological role, its presence is a source of multiple disturbances even at low concentrations. The objective of this research work is to study the toxicity of lead on the behaviour and development of plants. In order to achieve this objective, the experiment is carried out on broad bean plants, which is a tolerant sentinel plant and which represents remarkable characteristics in ecotoxicology studies, so a variety of broad bean is exposed to different doses. Of lead (0, 100, 500 and 1000ppm) in the form of lead acetate $Pb(C_2H_3O_2)_2$ added to the growing medium. The estimation of plant responses to applied stress is measured by all morphological and biochemical parameters.

The results obtained show that, in general, the exposure of the bean to high concentrations of lead affects all the growth parameters, it reduces the rate of germination, the number of leaflets, the height of the stem as well as the number of nodules, root volume and biomass. However, at low doses of lead, the results showed that the bean was little affected.

Keywords: faba-bean, lead, stress, pollution, growth, biomass..

ملخص

يعد الرصاص من أهم العناصر السامة في البيئة و الذي يؤثر على حياة الكائنات الحية. الرصاص من المعادن التي لا تلعب أي دور من الناحية الفسيولوجية و وجوده هو مصدر اضطرابات متعددة حتى عند التراكيز المنخفضة. الهدف من هذا البحث هو دراسة سمية الرصاص على سلوك النباتات . و لتحقيق هذا الهدف وجب علينا إجراء التجربة على نباتات الفول و هو الذي يعتبر من النباتات المحذرة لوجود السموم و التي تملك خصائص مميزة تفيد في مجال دراسات السموم البيئية و ذلك بتعريض صنف من هذا النبات لجرعات مختلفة من الرصاص (0, 100, 500, 1000 جزء في المليون) على شكل اسيتات الرصاصو تمت إضافة هذه الجرعات إلى وسط النمو. تم قياس و تقدير إستجابات النبات للإجهاد المطبق من خلال جميع التجارب على المستوى المورفولوجي و البيوكيميائي

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها، بشكل عام، أن تعرض ضاحبة لتركيز اتعالية من الرصاص يؤثر على جميع معايير النمو، فهو يقلل من معدل الإنبات، و عدد الأوراق، و ارتفاع الساق و كذلك عدد العقيدات، حجم الجذر و الكتلة الحيوية. و مع ذلك، فيالجرعات المنخفضة من الرصاص، أظهرت النتائج أن الفول كان يتأثر قليلاً.

الكلمات المفتاحية: النمو الإجهاد التلوث الرصاص الفول الكتلة الحيوية