



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 : Ecologie et Environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

Présentée par : **GHALEM** Sabrina

OUALI Fatiha

Thème

Impact de la pollution par le plomb sur l'orge (*Hordeum Vulgare*)

Soutenu le,

Devant le Jury :

| | | | |
|----------------|-----------|-----|-----------------|
| NAIMI Souhila | Président | MAA | Univ-Tissemsilt |
| BOUKIRAT Dyhia | Encadreur | MAB | Univ-Tissemsilt |
| ZEMOUR Kamel | Examineur | MAB | Univ-Tissemsilt |

Année universitaire : 2020-2021

Remerciements

Nous remercions avant tout DIEU, tout puissant, pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné le courage pour terminer ce travail.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à notre Encadreur Mme Boukirat Dyhia, pour avoir accepté de nous encadrer, pour sa patience, son aide, ses conseils et encouragements, pour le temps qu'elle nous a consacré pour réaliser ce travail.

Nous exprimons nos remerciements aux honorables membres du jury : Madame Naimi Souhila pour avoir accepté de présider le jury et d'évaluer notre travail.

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.

Nous tenons également à adresser nos vifs remerciements à Mr le directeur de INSFP 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 tenons également à remercier tous les responsables du laboratoire de la faculté de SNV

Nous remercions tous ceux qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail A nos chers parents, pour tous leur sacrifices, leur amour leur tendresse, leur soutien et leur prières tout au long de nos études

A nos chères sœurs

*Torkiya, Siham, Nadjet et leur enfants (Sofian, Ritadj), Nour EL houda et Nadia
Fadhila, Rabia, Fatima et leur enfants (Sarra, Rihab, Siradj aldin mohamed) Ma tante Rokaia et Laïla.*

A nos chers frères

Amir abd el kader, Djamel, Youcef, Oussama.

A nos deux familles, et a tous nos amies Manel , Hafidha, Fatiha, Ahlam, Zozo, Laïla.



Sabrina / Fatiha

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Partie I : Étude bibliographique

Chapitre 01 : Généralité sur l'orge

1.1. L'orge commune (*Hordeum vulgare*) : 3

1.2. Classification de l'orge : 3

1.3. Croissance et développement : 4

1.4. Cycle de développement : 5

1.4.1. Période végétative : 5

1.4.1.1. La levée : 5

1.4.1.2. Stade début tallage : 5

1.4.2. Période reproductive : 5

1.4.2.1. Stade plein tallage : 6

1.4.2.2. Stade épi à 1cm : 6

1.4.2.3. Stade 1 à 2 nœuds : 6

1.4.2.4. Stades méiose pollinique : 6

1.4.2.5. Stade épiaison-fécondation : 6

1.4.3. Période de maturation : 6

1.4.3.1. Gonflement du grain : 6

1.4.3.2. Maturation du grain : 6

Chapitre 02 : Le plomb et son impact sur les végétaux

| | |
|---|----|
| 1. Le plomb dans le sol : | 8 |
| 2. Contamination des végétaux par le plomb : | 9 |
| 2.1. L'absorption foliaire : | 9 |
| 2.2. Adsorption sur les racines : | 10 |
| 2.3 Les voies d'absorption racinaire du plomb : | 11 |
| 3. Impact du plomb sur les végétaux | 12 |
| 4. L'orge et les métaux lourds : | 13 |

Partie II: Partie expérimentale

Chapitre 3 : Matériels et méthode

| | |
|--|----|
| 1.1. Composants de l'expérimentation | 14 |
| 1.1. Le sol : | 14 |
| 1.2. La plante (Hordeum vulgare L) : | 14 |
| 1.3. Contamination du sol par le plomb ; | 14 |
| 2. Test de germination : | 15 |
| 3. Expérimentation sous serre : | 15 |
| 4. Paramètres étudiés : | 17 |
| 4.1. Taux de germination aux pots : | 17 |
| 4.2. Longueur feuille : | 17 |
| 4.3. Nombre de talles par plante : | 18 |
| 4.4. Hauteur de la végétation : | 18 |
| 4.5. Estimation du poids frais (PF) : | 18 |
| 4.6. Estimation du poids sec (PS) : | 18 |
| 5. Traitement statistique des données | 18 |

Chapitre 4 : Résultats et discussion

| | |
|---|----|
| 1. Résultats | 20 |
| 1.1. Effet du plomb sur le taux de germination..... | 20 |
| 1.2. Effet du plomb sur le nombre de feuille..... | 20 |
| 1.3. Effet du plomb sur la longueur de feuille..... | 21 |
| 1.4. Effet du plomb sur le nombre de talle | 22 |
| 1.5. Effet du plomb sur la taille de la plante | 23 |
| 1.6. Effet du plomb sur la Surface foliaire cm ² | 24 |
| 1.7. Effet du plomb sur la biomasse de la plante..... | 25 |
| 1.7.1. Le poids frais..... | 25 |
| 1.7.2. Le poids sec..... | 26 |
| 2. Discussion | 29 |
| Conclusion | 32 |
| Les références bibliographiques | 32 |
| Annexe | 32 |

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des abréviations

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

ppm : Partie par million

Pb : plomb

CO₂ : Dioxyde de Carbone

ETM : élément trace métallique

FAO : organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

ITGC : Institut technique des grandes cultures

Cm : Centimètre

Kg : kilogramme

PS : poids sec

PF: poids frais

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1: Architecture (l'une plantule d'orge au stade juvénile et au stade adulte..... | 5 |
| Figure 2 : Stades de croissance des céréales, adaptée du Livre blanc céréales, 2017 et Weir et al, 1984.... | 7 |
| Figure 3 : Dynamique du plomb dans le système sol-plante (adapté d'Alloway, 1995)..... | 11 |
| Figure 4 : 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)..... | 12 |
| Figure 5 : Mise a germination des grains d'orge (cliché par GHALEM, 2021)..... | 15 |
| Figure 6: La serre tunnel (cliché : Ghalem, 2021)..... | 16 |
| Figure 7: Dispositif expérimental (photo par Ghalem, 2021) | 17 |
| Figure 8 : Effet du plomb sur le taux de germination des graines d'orge | 20 |
| Figure 9: Effet du plomb sur le nombre de feuille | 21 |
| Figure 10: Effet du plomb sur la longueur de feuille | 22 |
| Figure 11: Effet du plomb sur le nombre de talle..... | 23 |
| Figure 12: Effet du plomb sur la taille de la plante | 24 |
| Figure 13 : Effet du plomb sur la Surface foliaire cm ² | 25 |
| Figure 14: Effet du plomb sur le poids frais des parties aériennes..... | 26 |
| Figure 15: Effet du plomb sur le poids frais des parties racinaires | 26 |
| Figure 16: Effet du plomb sur le poids sec des parties aériennes..... | 27 |
| Figure 17: Effet de plomb sur le poids sec des parties racinaires..... | 28 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1: Classification de l'orge..... | 4 |
| Tableau 2: Normes internationales pour la contamination des sols en éléments traces métalliques en ppm..... | 9 |
| Tableau 3: Caractéristiques physico-chimiques du sol..... | 14 |

Introduction

Introduction

Les activités anthropiques sont la source de nombreux polluants disséminés dans l'environnement. Les émissions industrielles, le trafic routier et les déchets urbains ...etc., contaminent le sol, l'eau et l'air par divers composants organiques et inorganiques (Adriano, 2001 ; Alkorta et al., 2004).

Parmi les principaux polluants du sol qui ont le plus retenu l'attention les métaux lourds, très toxique pour la santé de l'homme et des écosystèmes, certains sont essentiels pour l'organisme à l'état de traces, d'autres ne sont pas nécessaires et ne peuvent produire que des effets toxiques. A cette catégorie appartiennent différents éléments tels que le plomb, le mercure, le cadmium dont la présence est fortement aggravée par les activités humaines.

Le plomb est l'un des contaminants les plus répandus dans l'environnement, il est utilisé dans l'industrie, la métallurgie, les peintures, sa dispersion dans la région est principalement due à l'utilisation de l'essence avec plomb. Le plomb est persistant dans la nature, il n'est pas biodégradable et il s'accumule dans les sols, les plantes et les animaux, toxique à faible concentration (Jarup, 2003; Dazy, 2008). Il cause beaucoup de trouble chez l'homme et perturbe les mécanismes des plantes.

En Algérie, l'orge est classée la deuxième céréale après le blé dur où elle est destinée essentiellement à l'alimentation du bétail (Tellah, 2005). Elle est utilisée sous ses diverses formes : grain, paille et même chaume (Mossab, 2007). La superficie d'orge estimée en 2006, était de 1.117.715 ha, alors que la production était de 12.358.800 qx (Anonyme a, 2006). L'orge représente une espèce résistante et très importante qui mérite une attention toute particulière car elle est utilisée pour l'alimentation humaine et animale surtout dans les régions semi –aride. Elle contribue à la valorisation des sols marginaux et l'amélioration de la production végétale et animales.

L'orge est une espèce qui accumule les métaux lourds, elle peut accumulée jusqu'à 2% du plomb du sol sur terrain (Maatoug et al., 2013) et jusqu'à 18% sous serre (Boukirat et al., 2017) elles est une plante prometteuse pour la phytoremédiation des sols.

Objectifs du travail :

Notre travail consiste à étudier l'impact de la pollution par le plomb sur d'orge (*Hordeum vulgare*), en évaluant le comportement de l'orge vis-à-vis des doses croissantes de

plomb, dans le but de connaître son effet sur la germination, les nombres des feuilles, la hauteur de plante, la biomasse.

Le mémoire est composé de deux parties :

Une partie d'étude bibliographique composée de 02 chapitres :

- ✓ Généralité sur l'orge
- ✓ Le plomb et son impact sur les végétaux

Une deuxième partie consacrée au Matériels et Méthode qui comprend :

- ✓ Le matériel expérimental
- ✓ Mise en place du protocole expérimental (sous serre et au laboratoire)
- ✓ Résultat et discussion

En fin nous développerons une conclusion générale.

Partie I

Étude bibliographique

Chapitre 1

Généralité sur l'orge

Chapitre 01 : Généralité sur l'orge

1.1. L'orge commune (*Hordeum vulgare*) :

L'orge est une plante annuelle de la classe des monocotylédones, céréale à paille qui appartient à la famille des poaceae (graminées). Elle a été l'une des premières cultures domestiquées il y a 10 000 ans dans le croissant fertile du moyen-orient (Baik, B-K, & Ullrich, S. E. 2008).

L'orge occupe le quatrième rang dans la production céréalière mondiale après le blé, le maïs et le riz (FAO 2019) avec une production de 150 millions de tonnes. Les principaux pays producteurs sont l'Union européenne, suivie par l'Argentine, la Russie, l'Ukraine, la Canada et l'Australie (FAO 2019).

En Algérie, l'orge occupe la troisième place en importance parmi les céréales à paille, elle est une espèce rustique qui peut être cultivée dans des zones où le blé ne peut être rentable (Belaid, 1996). Cette espèce est assez intéressante, elle peut être cultivée sur des sols plus ou moins pauvres et elle est tolérante au sel et à la sécheresse. C'est une espèce adaptée aux systèmes de culture pratiqués en zones arides où elle constitue avec l'élevage ovin l'essentiel de l'activité agricole (Hakimi, 1989 in Menad, 2009).

Bien que l'orge ait des potentialités voisines de celle du blé, elle est considérée comme une céréale secondaire. (Gate et al, 1996 in Mossab, 2007). L'importance et les multiples usages de cette céréale lui confèrent une valeur stratégique dans l'alimentation animale comme plante fourragère et céréalière (Sekkate et Leghzale, 1999 in Mossab, 2007).

La culture de l'orge s'inscrit dans le cadre des systèmes extensifs de céréaliculture-élevage où elle joue un rôle important dans l'équilibre précaire de l'économie des petites exploitations des zones marginales (Bouzerzour et Monneveux, 1992). L'orge (*Hordeum vulgare* L.) couvre avec le blé dur (*Triticum durum* Desf.) plus de 80% des superficies semées annuellement en céréale (Ait Ameer, 1999).

C'est une espèce très rustique qui peut s'adapter à des conditions climatiques et édaphiques très diverses (Bonjean et Picard, 1990).

1.2. Classification de l'orge :

D'après Chadefaud et Emberger (1960), Prats (1960) et Feillet (2000), cité in Souilah 2009 l'orge cultivée appartient à la classification botanique suivante :

Tableau 1: Classification de l'orge

| | |
|----------------|--------------------------|
| Règne : | Plantae |
| Division : | Magnoliophyta |
| Classe : | Liliopsida |
| Sous classe : | Commelinidae |
| Ordre : | Poale |
| Famille : | Poaceae |
| Sous famille : | Hordeoideae |
| Tribu : | Hordeae |
| Sous tribu : | Hordeinae |
| Genre : | Hordeum |
| Espèce : | <i>Hordeum vulgare L</i> |

L'orge est aussi classée en suivant la fertilité des épillets et la densité de l'épi en deux groupes (Rasmusson 1992, Line 1755 in Souilah, 2009)

- Les orges à six rangs, dont les épillets médians et latéraux sont fertiles.
- Les orges à deux rangs, seuls les épillets médians sont fertiles.

Quant à Soltner (2005) in Souilah (2009) il classe les orges selon leur milieu de culture en 3 groupes : *Les orges d'hiver, orges de printemps et les orges alternatives*

1.3. Croissance et développement :

L'orge est généralement peu sensible à la sécheresse, les besoins en eau sont de l'ordre de 450 à 500 mm, et sont beaucoup plus importants au début de son développement (Mazoyer et al. 2002). La période entre la moitié de novembre jusqu'à la moitié de décembre est considérée comme la période idéale pour sa culture (Mazoyer et al ,2002)

La plantule lève en 5-6 jours après la germination .Des talles sont produites sur la pousse principale jusqu'à l'initiation florale. Le nombre de talles par plante est influencé par la densité de plantation, le cultivar et les facteurs du milieu : une seule plante forme généralement 1-6 tiges, mais de faibles densités peuvent multiplier plusieurs fois ce nombre.

Le moment de l'initiation florale varie selon le cultivar, mais en général l'orge fleurit plus tôt que le blé. Espèce de jours longs qui fleurit plus tôt lorsque la photopériode est plus longue; mais la sensibilité photopériodique diffère d'un cultivar à l'autre, allant de très sensible à pratiquement insensible. Les fleurs s'autofécondent largement, mais la pollinisation croisée peut atteindre les 10%.Le grain mûrit en 10 à 20 jours.

L'orge peut murir dans une courte saison de 3-4 mois, ce qui est moins long que la durée requise pour les autres céréales importantes (Belay et Brink, 2006).



Figure 1: Architecture (l'une plantule d'orge au stade juvénile et au stade adulte

1.4. Cycle de développement :

L'orge, comme toutes les autres céréales, présente deux périodes de développement la première correspond à la phase végétative et la seconde à la phase reproductive (Gautier, 1991).

1.4.1. Période végétative :

Cette période commence à la germination de la graine et s'achève à l'ébauche de l'épi, elle dure de 120 à 140 jours.

1.4.1.1. La levée :

Selon Gate (1995), la levée est définie par l'apparition de la première feuille qui traverse la coléoptile, gaine rigide et protectrice enveloppant la première feuille. La durée de la levée est le temps qui sépare la date de semis de la date de levée.

1.4.1.2. Stade début tallage :

A ce stade, la plante possède trois à quatre feuilles, une tige apparaît sur le maitre-brin à l'aisselle de la feuille la plus âgée (Gate, 1995).

1.4.2. Période reproductive :

Elle s'étend du stade de plein tallage à la fécondation.

1.4.2.1. Stade plein tallage :

Les plantes portent deux à trois talles, à ce stade, les plantes peuvent avoir un port rampant (Gate, 1995).

1.4.2.2. Stade épi à 1cm :

Le stade épi à 1cm est atteint lorsque le sommet de l'épi de la tige principale est en moyenne distant de 1cm du plateau de tallage, durant cette phase, la plante a besoin d'un apport d'engrais azoté (Gate, 1995).

1.4.2.3. Stade 1 à 2 nœuds :

Ce stade est atteint quand les premiers entre-nœuds sont visibles à la base de la tige principale (Gate, 1995).

1.4.2.4. Stades méiose pollinique :

Ce stade est atteint lorsque le sommet des barbes devient visible, cela coïncide avec le moment de la transformation de la couleur de l'anthere qui passe du blanc vers le vert.

Ce stade survient huit jours avant l'épiaison (Gate, 1995).

1.4.2.5. Stade épiaison-fécondation :

Juste après le stade méiose pollinique, la gaine de la dernière feuille s'écarte progressivement suite à l'allongement des derniers entre-nœuds de la tige : c'est le stade gaine éclatée ; après cela, le sommet de l'épi sort de la dernière gaine (GATE ,1995).

1.4.3. Période de maturation :

1.4.3.1. Gonflement du grain :

Ce stade est marqué par une photosynthèse intense pour l'élaboration des substances de réserve, l'amidon et les protéines qui migrent dans l'albumen du grain qui grossit, tandis que l'embryon se forme. Cette migration nécessite une circulation d'eau, il peut y'avoir échaudage en cas de stress hydrique (Moule, 1980)

1.4.3.2. Maturation du grain :

Pendant l'accumulation des réserves dans le grain, le poids d'eau de celui-ci est constant pendant environ une quinzaine de jours <<palier hydrique>> puis décroît quand le grain

commence à mûrir, il passe du stade pâteux (45% d'eau) au stade rayable à l'ongle (20% d'humidité dans le grain) et en fin au stade cassant (15%)

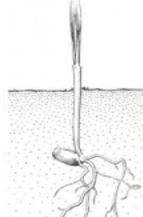
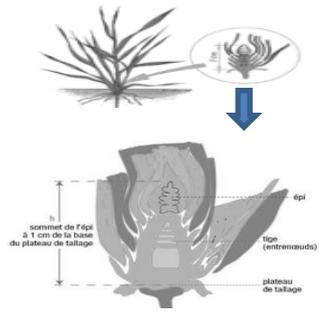
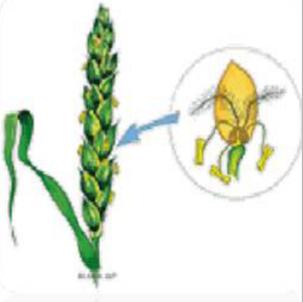
| | | | | |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| 1-Germination | 2-La levée | 3-Une feuille | 4-Trois feuilles | 5-Début tallage |
|  |  | |  |  |
| 6-Plein tallage | 7- Épi a 1 cm | | 8-Premier et deuxième nœud | 9-Apparition de la dernière feuille |
|  |  |  |  |  |
| 11- Gaine éclatée | 12- Émergence de l'épi | 13- Floraison | 14- Formation des graines | 15- Maturité et récolte. |

Figure 2 : Stades de croissance des céréales, adaptée du Livre blanc céréales, 2017 et Weir et al, 1984.

Chapitre 2

Le plomb et son impact sur les végétaux

Chapitre 02 : Le plomb et son impact sur les végétaux

1. Le plomb dans le sol :

Le plomb est un élément minéral naturellement présent dans la croûte terrestre, en général à de faibles teneurs, son origine dans les sols étant liée à sa présence dans la roche mère. On peut cependant rencontrer des teneurs sensiblement plus élevées dans certain région, mais ce sont surtout les dépôts continus de métaux et métalloïde par les activités humaines qui ont conduit à leur accumulation dans les différents compartiments de l'environnement (Raskin et Enesly ,2000. Le plomb est présent dans tous les compartiments de la biosphère. Dans l'air, les émissions de plomb provenant de poussières volcaniques véhiculées par le vent sont reconnues d'importance mineure (Pichard, 2003).

D'après Ramade (1993), les apports anthropiques de plomb sont dix fois supérieurs aux apports naturels (volcanisme, érosion, feux de végétation, embruns marins...). Une grande part des émissions atmosphériques de plomb incombe à la circulation automobile, et notamment à la combustion de l'essence, à l'usure des freins, des pneus et des carrosseries (Colandini, 1997 ; Merian, 1984).

On estime que 68% du plomb s'accumulant dans les sols proviendrait des retombées atmosphériques diffuses alors que seulement 1% du plomb proviendrait de l'utilisation d'engrais (Miquel, 2001). Dans la plupart des pays en développement, notamment les pays africains où le parc automobile connaît un essor rapide et non maîtrisé, l'essence est encore très chargée en plomb (Martin, 1997).

La pollution par le plomb est due en grande partie aux dépôts issus des activités humaines qui ont conduit à son accumulation dans différents compartiments de l'environnement. Dans le sol, le Pb peut se retrouver sous forme ionique, dissout, ou lié plus ou moins fortement aux particules (Raskin et Ensley, 2000).

Le plomb est un élément chimique toxique, cumulatif pour l'homme, la faune et la flore. Sa présence dans les eaux ou le sol ne peut être que néfaste. De plus, il est particulièrement connu pour ses capacités de bioaccumulation et de bioamplification tout au long de la chaîne alimentaire, ainsi que pour sa très forte rémanence. Le cycle du plomb est un cycle ouvert, il y a une constante accumulation (Ramade, 1993).

L'accumulation de Pb, provenant des retombées atmosphériques, ou de déchets contaminés déposés sur le sol, se fait principalement dans les horizons de surface (Sterckeman et al, 2000) et plus précisément dans les horizons riches en matières organiques. Les teneurs en Pb

diminuent, ensuite, plus en profondeur (Abreu et al, 1998). Ceci s'explique par le fait que le Pb est peu mobile. Le Pb est principalement associé aux argiles, aux oxydes, aux hydroxydes de fer et d'aluminium 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 de sorption pour le Pb (Morlot, 1996 ; Raskin et Ensley, 2000).

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 ; Maatoug et al, 2013).

Tableau 2: 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 |

2. Contamination des végétaux par le plomb :

Les végétaux 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 solubilité du métal dans la solution du sol, mais également de ses capacités de migration du sol vers la surface des racines, et de sa translocation des racines vers les feuilles. (Patra et al, 2004 ; Zheng et al, 2011).

2.1. L'absorption foliaire :

Bien qu'elle ait été peu étudiée par rapport à l'absorption racinaire, l'assimilation du plomb par les feuilles peut représenter une part importante dans le taux de contamination de la plante. Le plomb peut être apporté sur les feuilles par des retombées atmosphériques, mais également dans les champs par des apports en engrais et pesticides (plomb sous forme d'impuretés).

La majorité de ce plomb est lessivée, mais une partie va s'adsorber aux lipides épicuticulaires et être absorbée par les feuilles (Prasad et Hagemeyer, 1999; Hovmand et al ;

2009). La capacité des plantes à absorber le plomb disponible via leurs feuilles dépend à la fois de l'âge de celles-ci, mais également de leurs morphologies. Dans le cas de « légume feuilles », comme l'épinard, ou de céréales, comme le blé, exposés à de fortes retombées atmosphériques, la quantité de métal absorbée par les parties aériennes peut atteindre jusqu'à 95 % de la quantité totale absorbée (Dalenberg et Van Driel, 1990).

2.2. Adsorption sur les racines :

En dehors de certaines zones où la teneur atmosphérique en plomb est importante, ce dernier pénètre majoritairement dans la plante via les racines. Les couches supérieures du cortex racinaire (rhizoderme et collenchyme/parenchyme) constituent une barrière physique contre la pénétration du plomb dans la racine. Les mécanismes par lesquels ce métal arrive à pénétrer dans les racines ne sont pas encore élucidés. Toujours est-il que dans un premier temps le plomb présent dans la solution du sol s'adsorbe à la surface de cet organe. Il peut se lier aux groupements carboxyles des acides uroniques composant le mucilage racinaire (Glinski et Lipiec, 1990) ou directement aux polysaccharides présents à la surface des cellules rhizodermiques. Cette fixation en surface permet de restreindre le passage du plomb à l'intérieur de la racine.

La contamination par le sol résulte de la présence des polluants qui ont été dispersés et qui se sont déposés sur le sol. Si les polluants se trouvent sous une forme utilisable par la plante, ils seront absorbés par les racines de la même façon que les plantes puisent leurs substances nutritives dans le sol. Une fois absorbés par les racines, ils pourront être transmis aux parties aériennes.

Pour l'ensemble des métaux, les formes chimiques les plus toxiques, sont les formes solubles car elles sont plus biodisponibles et pénètrent mieux dans les organismes vivants.

KOEPPE, (1970) montre que si les racines en contact avec des sols fortement contaminés accumulent de grandes quantités de plomb, la majorité du plomb est liée à la surface des racines et que si le plomb est assimilé, la plus grande partie est immobilisée dans les racines sous forme de complexe « plomb-phosphate » ou par la liaison aux parois cellulaires.

En règle générale, on peut indiquer que vis-à-vis de la pollution autoroutière, le sol et les racines jouent un rôle de filtre efficace et que la contamination des végétaux provient avant tout des parties aériennes, qui constituent souvent le début des chaînes alimentaires avec tous les problèmes que cela peut entraîner, en particulier au niveau de la santé humaine. Les facteurs favorisant l'absorption du plomb sont souvent le pH du sol, généralement le plomb est plus

mobile dans les sols acide (LAGERWERFF, 1971). Les sols pauvres en phosphate (ALLCAWAY, 1968) et en calcaire.

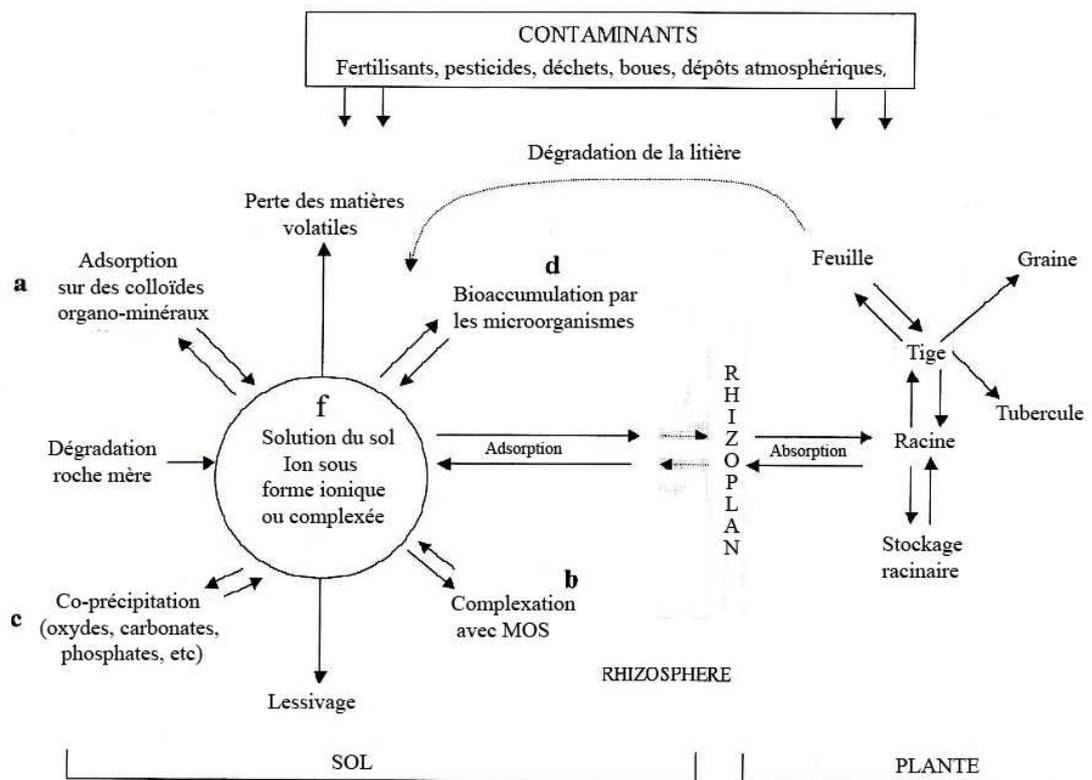


Figure 3 : Dynamique du plomb dans le système sol-plante (adapté d'Alloway, 1995).

Dans le sol, le plomb peut être adsorbé aux oxydes de Fer, Aluminium, Manganèse ; ou bien adsorbé à la matière organique ou dans la solution du sol, associé à des colloïdes ou complexé par des molécules organiques ou sous forme libre. Seul le plomb qui se trouve dans la solution du sol est absorbé par les racines des plantes (Bourrelier and Berthelin, 1998), les principales formes qu'on y trouve sont le Pb^{2+} , et $PbCO_3$ (BRGM, 2004).

2.3 Les voies d'absorption racinaire du plomb :

L'absorption du plomb et des éléments trace métalliques d'une façon générale peut se faire de plusieurs manières, soit grâce à un transport actif interne par le **symplaste** (cytoplasmes des cellules reliés entre eux par les plasmodesmes), ou bien par voie passive ou **apoplastique**, c'est-à-dire par un transport dans les espaces intercellulaires (ou espaces libres apparents) (figure 04)

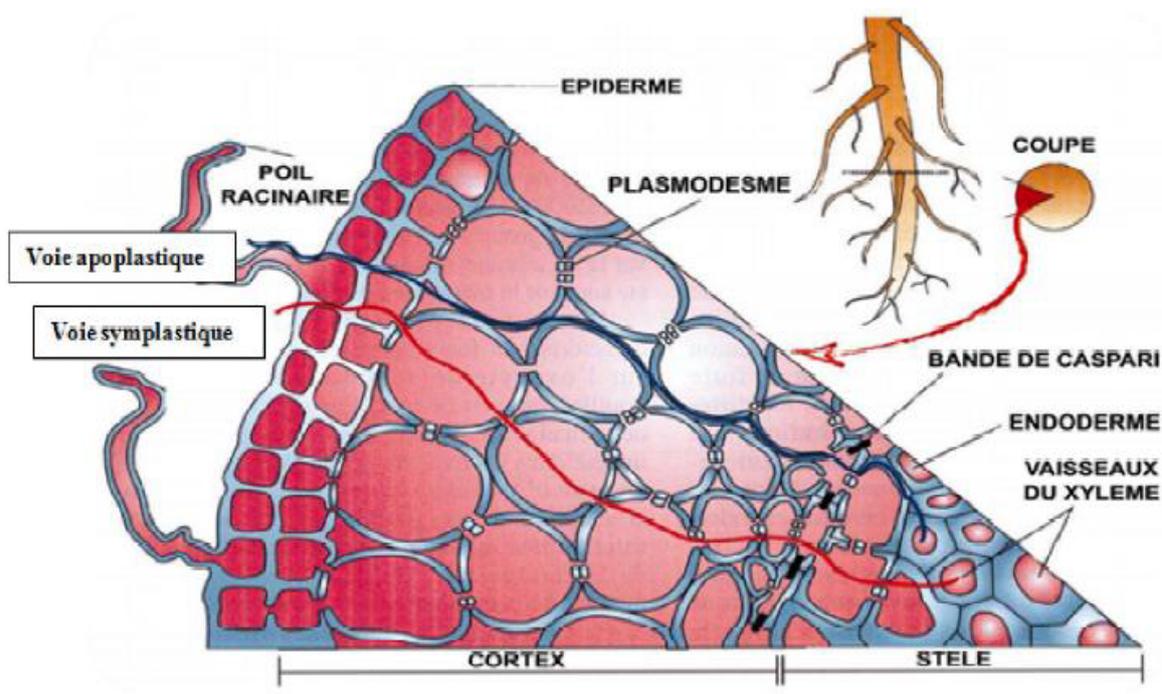


Figure 4 : Trajet des éléments métalliques de la surface des racines jusqu' au cylindre central par voie apoplastique (en bleu) et voie symplastique (en rouge) (Kirpichtchikova, 2009)

3. Impact du plomb sur les végétaux

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. Les plantes mettent en place diverses barrières physiques pour se protéger, quand le plomb réussit à passer à travers ces barrières de protection, il peut affecter de nombreux processus physiologiques de la plante.

Le plomb affecte la croissance et la morphogénèse des plantes, en perturbant de très nombreux mécanismes physiologiques. Il inhibe fortement la germination et la croissance des plantes, entraînant la formation de plantes de taille réduite. Le plomb affecte considérablement la morphologie des racines, en diminuant la taille des racines primaires ainsi qu'en réduisant le nombre de racines secondaires. L'inhibition de la division et de l'élongation cellulaire sont les phénomènes les plus souvent reportés pour expliquer ces effets du plomb sur les racines (Seregin et Ivanov, 2001 ; Malkowski et al, 2002 ; Patra et al, 2004 ; Kopittke et al, 2007).

Les concentrations en plomb toxiques pour les végétaux varient considérablement selon les études. Cette toxicité dépend fortement des interactions du plomb avec les espèces végétales considérées, mais également du mode de culture et des facteurs environnementaux. Les travaux de Rooney et al.(1999) ont montré que pour des concentrations extractibles à l'EDTA (Acide Ethylène Diamine Tétracétique) dans un sol atteignant 800 mg.kg⁻¹, la croissance du Raygrass

n'était pas affectée. Päivöke (2002), quant à lui a montré que la toxicité du plomb vis-à-vis du pois dépendait fortement de l'âge de la plante en plus de la concentration en plomb dans le sol. Cependant, il reporte des effets néfastes sur la croissance des plantes pour des concentrations en plomb inférieures à 500 mg.kg⁻¹. Liu et al. (2003) ont démontré que la sensibilité ou la tolérance des plantes au plomb était cultivar dépendante ; la toxicité du plomb dépend fortement du comportement des plantes vis-à-vis de ce métal.

Le premier effet des métaux lourds observable chez les végétaux est une inhibition de la croissance. Celle-ci s'accompagne très souvent de nombreux autres indices de dysfonctionnement : chlorose foliaire, importantes lésions nécrotiques, jaunissement progressif, repliement ou dessèchement du feuillage, les bases moléculaires de ces perturbations sont encore mal connues, mais on admet généralement qu'elles résultent d'un stress oxydatif, dû à la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) ou « Réactive Oxygen Species » Qui altèrent toute une série de substrats biologique importants, et modifient les domines fonctionnelles des biomolécules pouvant conduire à la morte cellulaire (Devi et PRASAD.1999 , Cheng ,2003)

L'exposition au Pb peut conduire aussi à une forte inhibition de la photosynthèse et à une limitation du taux d'assimilation de CO₂. (Bazzaz et al, 1975 ; Poskuta et al. 1987).

La présence de plomb dans le milieu extérieur induit une compétition avec les ions minéraux et entraîne une carence en éléments nutritifs dans les plantes (Hausling et al, 1988 ; Marschner, 1995). Le plomb peut aussi avoir des effets néfastes sur la germination (Mishra et al, 1998 ; Tomulescu et al, 2004).

4. L'orge et les métaux lourds :

L'orge est considérée comme une plante bioaccumulatrice des métaux lourds elle a fait l'objet de plusieurs études pour la phytoremédiation des sols contaminés par les métaux lourds notamment par le plomb, le zinc et le cuivre issus du trafic routier. L'orge peut accumuler jusqu'à 2% de plomb dans des sols dont la concentration varie entre 845,6 – 2712 µg/g (Maatoug et al, 2013) et 19% de cuivre et du zinc dans des sols 3,18 ± 2,54 ppm et 4114,35 ± 2352,13 ppm respectivement

Partie II

Partie expérimentale

Chapitre 3

Matériels et méthode

Chapitre 3 : Matériels et méthode

1.1. Composants de l'expérimentation

1.1. Le sol :

Le sol utilisé dans l'expérimentation est un sol agricole de texture franche (tableau...) provenant d'une parcelle éloignée de toutes sources de pollution par le plomb (routes et autoroutes...) et non traité avec des produits phytosanitaires. Le sol est prélevé à une profondeur ne dépassant pas les 30 cm.

Tableau 3: Caractéristiques physico-chimiques du sol

| | |
|-------------------|--------------|
| Paramètres | |
| Argile | 16% |
| Limon | 8% |
| Sable | 76% |
| MO | 1.36% |
| pH _{eau} | 7.88 |
| CEC | 8.8 (mS/cm) |
| CE | 1.28 (mS/cm) |

1.2. La plante (*Hordeum vulgare L.*) :

L'orge (*Hordeum vulgare L.*) est une plante annuelle de la famille des Poaceae, très semblable au blé. Elle fait partie des plus anciennes céréales cultivées et elle présente des capacités d'hyper accumulation vis-à-vis les métaux lourds. Elle peut accumulée jusqu'à 2% du plomb du sol (Maatoug et al., 2013). La variété utilisée dans cette expérimentation est la variété SAIDA fourni par l'ITGC de Tissemsilt.

1.3. Contamination du sol par le plomb ;

Le sol a été contaminé artificiellement avec quatre concentrations de plomb (C1 :500 ug/g, C2 :1000 ug/g, C3 : 1500 ug/g et C4 : 2000 ug/g) en utilisant une poudre d'acétate de plomb (Pb CH₃COO⁻) qui est mise en solution dans de l'eau distillée, en plus d'un sol Témoin non contaminé (T).

2. Test de germination :

Le but de ce test est d'estimer l'effet du plomb sur la capacité de germination des grains d'orge. Ce test a été effectué au laboratoire de l'université de Tissemsilt suivant un dispositif aléatoire randomisé.

Dix grains d'orge en bon état sont sélectionnées pour chaque concentration de plomb avec trois répétitions (**Figure 05**). Les grains ont été désinfectés avec de l'eau de javel diluée pendant 5 min et rincé plusieurs fois avec de l'eau distillée et sont ensuite mises à germer dans des boites de pétri tapissées de papier absorbant imbibé de 10 ml de solution chaque 2 jours. La germination est réalisée à l'obscurité dans une étuve à température moyenne de $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

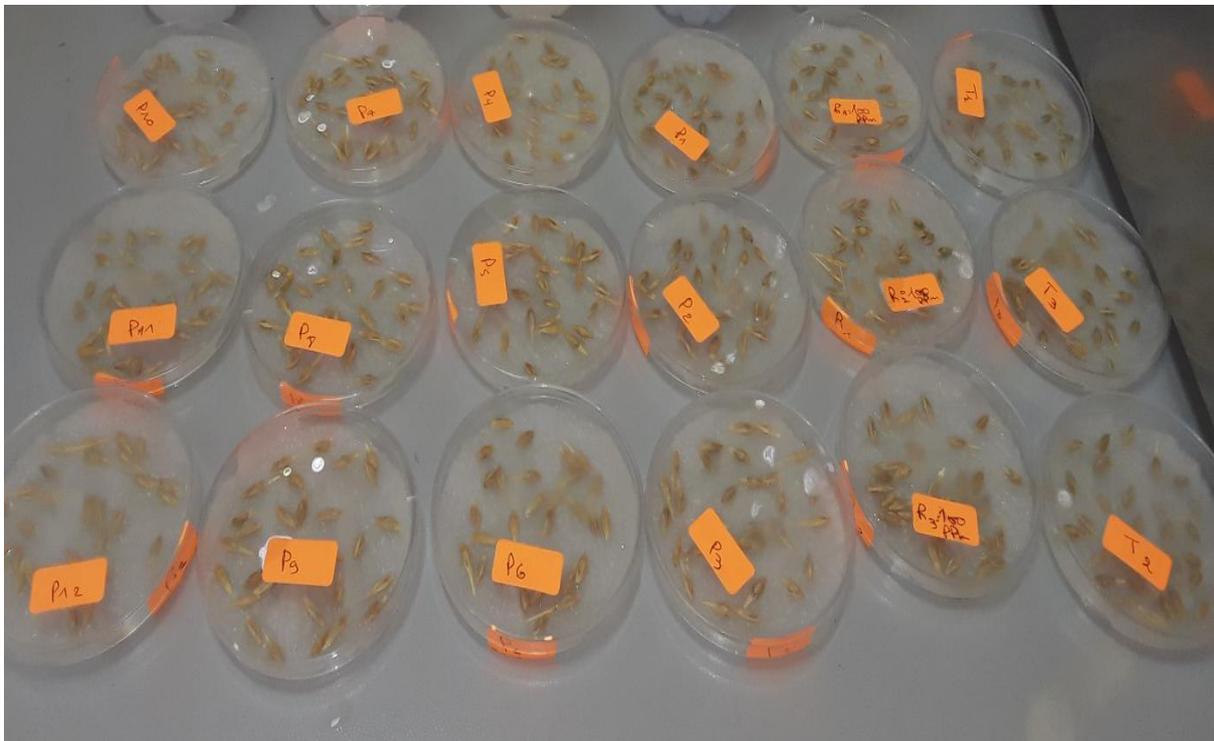


Figure 5 : Mise a germination des grains d'orge (cliché par GHALEM, 2021)

3. Expérimentation sous serre :

L'expérimentation s'est déroulée sous serre au début du mois d'Avril à L'institut National de Formation Professionnelle de Tissemsilt.

L'expérimentation en pot a suivi un dispositif aléatoire randomisé (Figure...). Les gaines ont fait l'objet d'une prégermination avant d'être mises dans des pots de 20 cm de diamètre contenant 3 Kg de sol.

Le sol a été contaminé avec la solution d'acétate de plomb avant que les plantules n'y soient repiquées, à raison d'une plante par pot avec trois répétitions. Les pots sont arrosés quotidiennement avec de l'eau pour les maintenir à leur capacité au champ, une solution nutritive est appliquée chaque 15 jours.

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



Figure 6: La serre tunnel (cliché : Ghalem, 2021)



Figure 7: Dispositif expérimental (photo par Ghalem, 2021)

4. Paramètres étudiés :

4.1. Taux de germination aux pots :

Il est exprimé par le rapport du nombre de grains germés dans la dernière journée (08jours) sur le Nombre total de grains. Sur l'essai de germination ont été déterminé le pourcentage définitif de germination (G%)

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

XT est le nombre total de grains germées

N le nombre total de grains mises à germer.

4.2. Longueur feuille :

Elle est mesurée à partir du limbe jusqu'à l'extrémité de la feuille étendard selon l'axe Central de la feuille, elle est exprimée en « cm ».

4.3. Nombre de talles par plante :

On compte à la main le nombre de talles émises par une plante.

4.4. Hauteur de la végétation :

Elle est mesurée du ras du sol jusqu'au sommet de la plante à l'aide d'un ruban mètre.

4.5. Estimation du poids frais (PF) :

L'estimation du poids frais a été effectuée comme suivant :

- Après l'enlèvement de la plante du pot, et à l'aide d'un ciseau, nous avons coupés au collet pour séparer la partie aérienne et la partie souterraine.
- Peser à l'aide d'une balance de précision, chaque partie à part pour déterminer le poids frais (PFt et PFr).
- Peser la plante entière.
- Mettre chaque partie à part dans des sachets de papier

4.6. Estimation du poids sec (PS) :

Les sachets en papiers, contenant des parties séchées de la plante, ont été pesés à nouveau pour déterminer le poids sec de la partie aérienne et de la partie racinaire. Le poids sec de la plante a été déduit par l'addition des deux poids.

5. Traitement statistique des données

Les résultats présentés correspondent à la moyenne \pm l'écart type des trois répétitions pour chaque concentration de plomb. 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 estimer l'effet des concentrations appliquées sur les différents paramètres. 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).

Chapitre 4

Résultats et discussion

Chapitre 4 : Résultats et discussion

1. Résultats

1.1. Effet du plomb sur le taux de germination.

Les résultats obtenus suite à l'exposition des graines de l'orge à différentes doses de plomb sont illustrés dans la figure 09

On observe que les graines utilisées ont une bonne faculté germinative dans les conditions normales (Témoin) au alentour de $96,67 \pm 5,77$.

En ce qui concerne l'effet du plomb sur la faculté de germination, aucun effet n'a été observé pour les concentrations $500 \mu\text{g/g}$, $1000 \mu\text{g/g}$ et $1500 \mu\text{g/g}$, mise a part une diminution significative ($p < 0.001$) du taux de germination lors de l'exposition à la dose de $2000 \mu\text{g/g}$ de l'ordre de $93,33 \pm 11,55$.

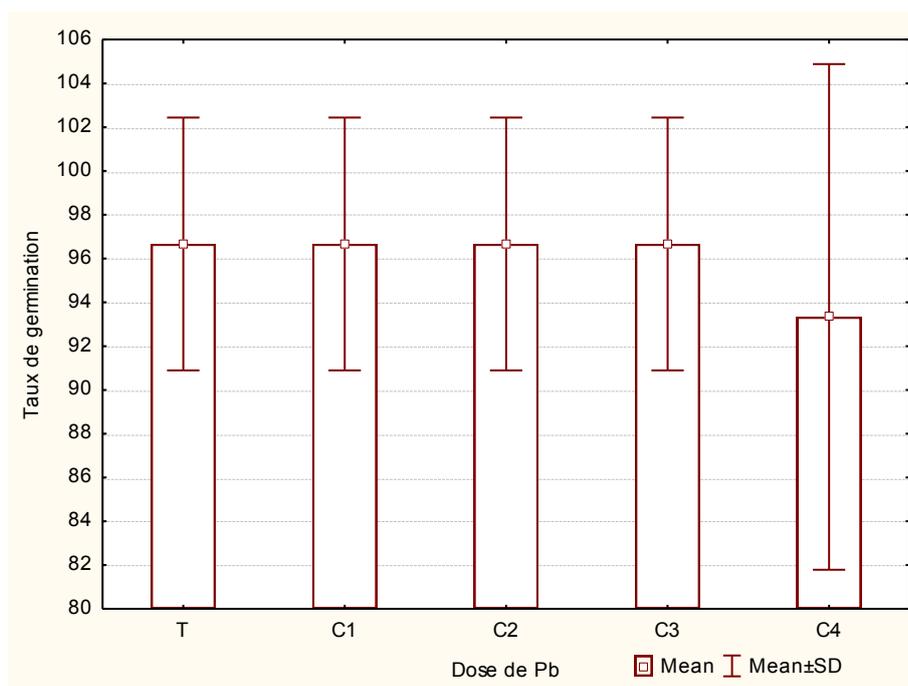


Figure 8 : Effet du plomb sur le taux de germination des graines d'orge

1.2. Effet du plomb sur le nombre de feuille

La figure n°09 représente le nombre de feuille finale suivant les concentrations de plomb appliquées. Le nombre de feuille dans des plantes témoins varie entre 11 et 13. Pour les autres concertations ($500 \mu\text{g/g}$, $1000 \mu\text{g/g}$ et $1500 \mu\text{g/g}$) le nombre est supérieur comparé au témoin

avec la valeur la plus importante ($15,70 \pm 0,53$) observé dans les plantes traitées avec la concentration 1000 $\mu\text{g/g}$ de Pb.

Une diminution significative du nombre de feuille est observée pour la dose de 2000 $\mu\text{g/g}$. L'ANOVA montre un effet très hautement significatif des doses du plomb ($p < 0,05$) sur ce paramètre.

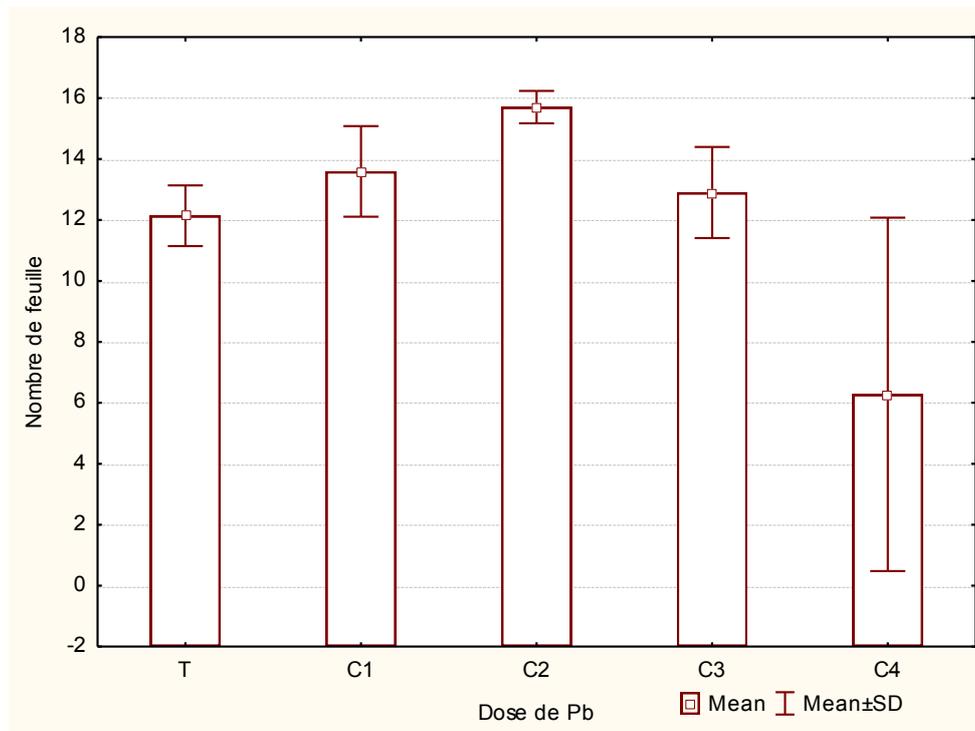


Figure 9: Effet du plomb sur le nombre de feuille

1.3. Effet du plomb sur la longueur de feuille

Selon la figure n°10, on observe que la longueur des feuilles dans les traitements 500 $\mu\text{g/g}$, 1000 $\mu\text{g/g}$ et 1500 $\mu\text{g/g}$ est supérieure à celle observée dans les plantes témoins, tout comme pour le nombre de feuille là aussi la valeur la plus élevée est observée à la concentration 1000 $\mu\text{g/g}$ et la plus faible à la concentration 2000 $\mu\text{g/g}$.

L'ANOVA montre un effet très hautement significatif des concentrations du plomb ($p < 0,001$) sur la longueur des feuilles de l'orge.

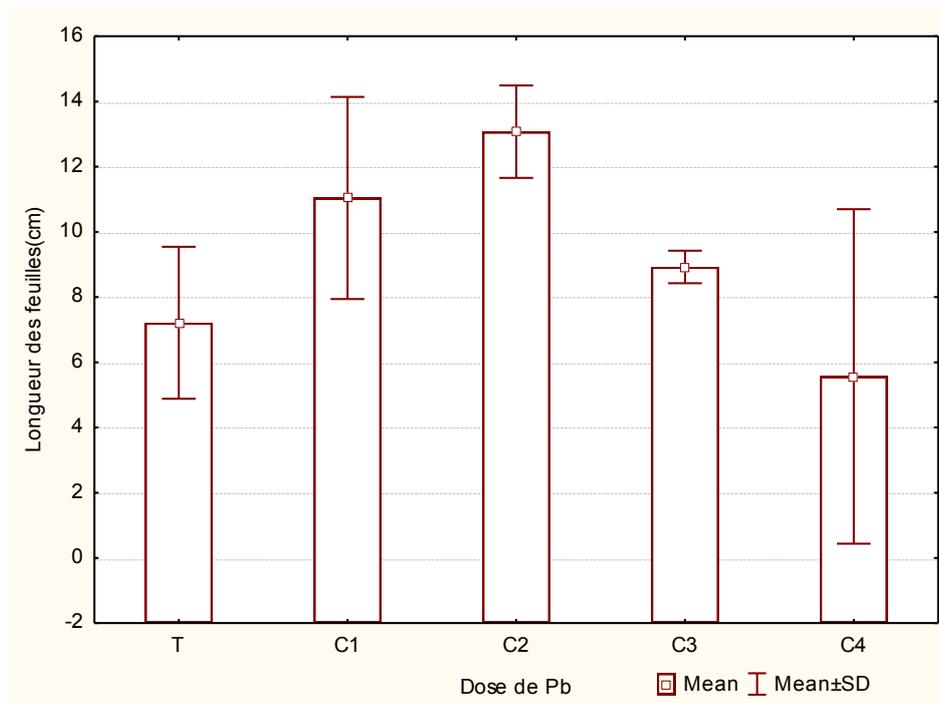


Figure 10: Effet du plomb sur la longueur de feuille

1.4. Effet du plomb sur le nombre de talle

Dans la figure n°11, on observe que le nombre de talle dans les concentrations 1000 $\mu\text{g/g}$, 1500 $\mu\text{g/g}$ et 2000 $\mu\text{g/g}$ est inférieur au témoin, le nombre de talle le plus faible est enregistrée pour la dose la plus forte.

Pour la concertation (500 $\mu\text{g/g}$) le nombre est supérieur comparé au témoin avec une valeur de $(6,67 \pm 1,15)$

L'ANOVA montre un effet très hautement significatif entre les concentrations du plomb ($p < 0.001$) pour ce paramètre.

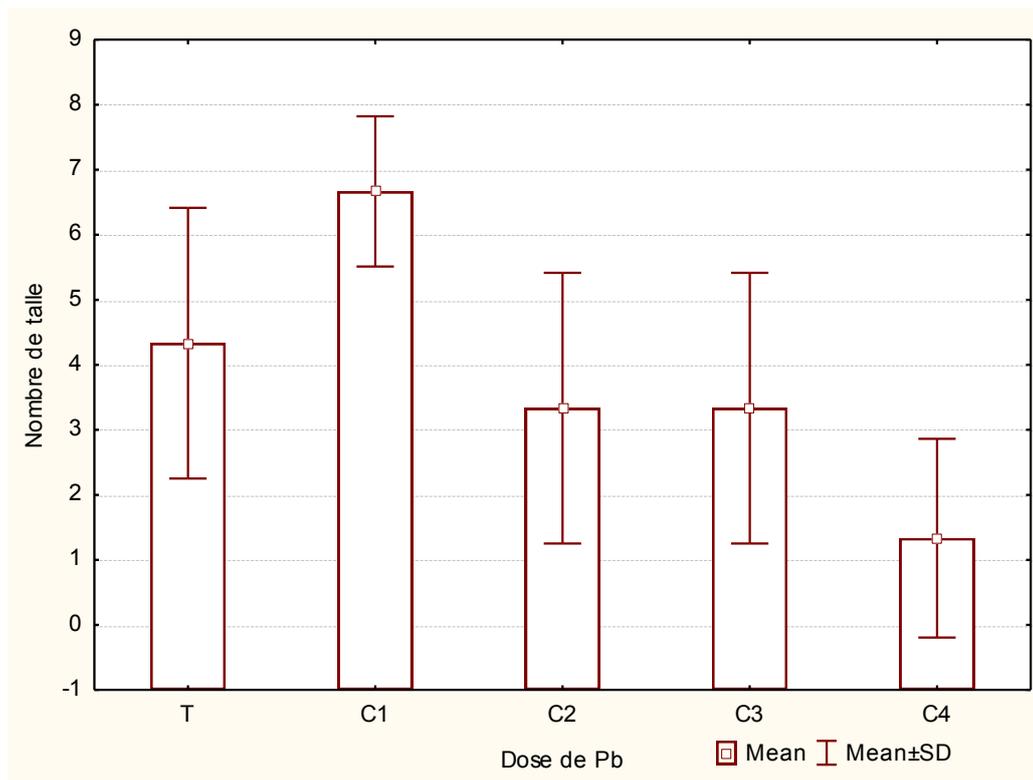


Figure 11: Effet du plomb sur le nombre de talle

1.5 .Effet du plomb sur la taille de la plante

Dans la figure n° 12, on observe que la taille de la plant dans les concentrations 500 $\mu\text{g/g}$, 1500 $\mu\text{g/g}$ et 2000 $\mu\text{g/g}$ est inferieur au témoin, la dose la plus forte semble avoir l'effet le plus important

Pour la concertation (1000 $\mu\text{g/g}$) la taille de la plant est supérieur au témoin et aux autres concentrations avec une valeur de $(38,88 \pm 4,98 \text{ cm})$

L'ANOVA montre un effet très hautement significatif des concentrations du plomb ($p < 0.001$) pour ce paramètre.

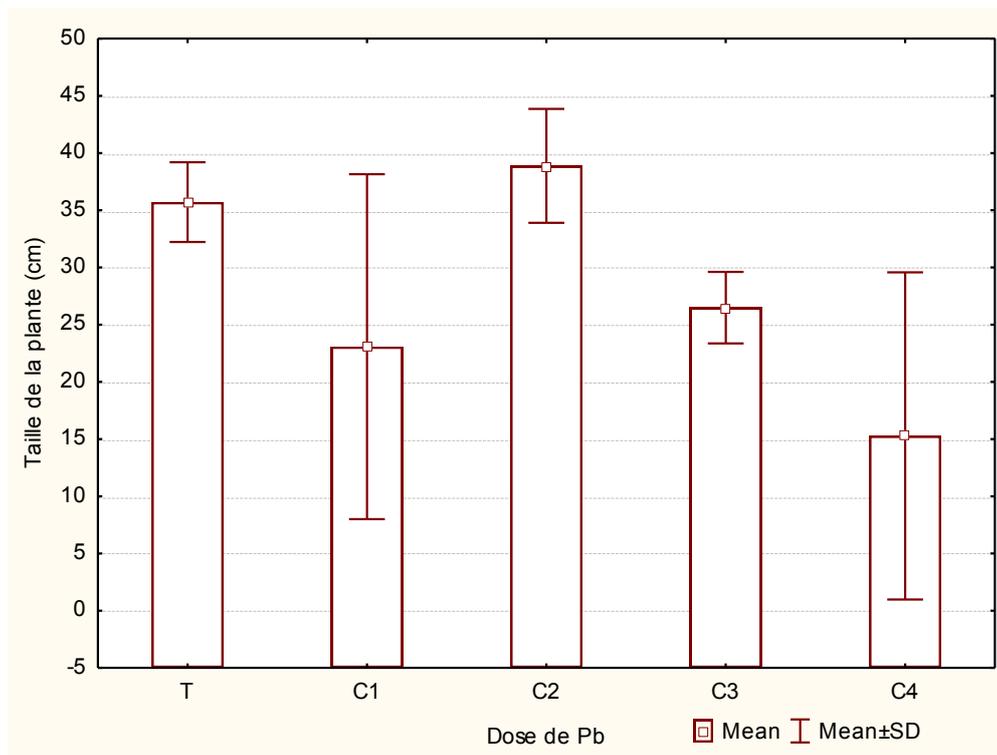


Figure 12: Effet du plomb sur la taille de la plante

1.6. Effet du plomb sur la Surface foliaire cm^2

La figure n°13 représente la surface foliaire calculée pour les différentes doses de plomb, on observe que la surface foliaire des feuilles dans tous les traitements est supérieure à celle du témoin sauf pour la dose la plus forte.

La valeur la plus élevée ($8,09 \pm 3,1 \text{ cm}^2$) est observée à la concentration $1000 \mu\text{g/g}$. L'ANOVA montre un effet très hautement significatif des concentrations du plomb ($p < 0.001$) sur la surface foliaire de l'orge.

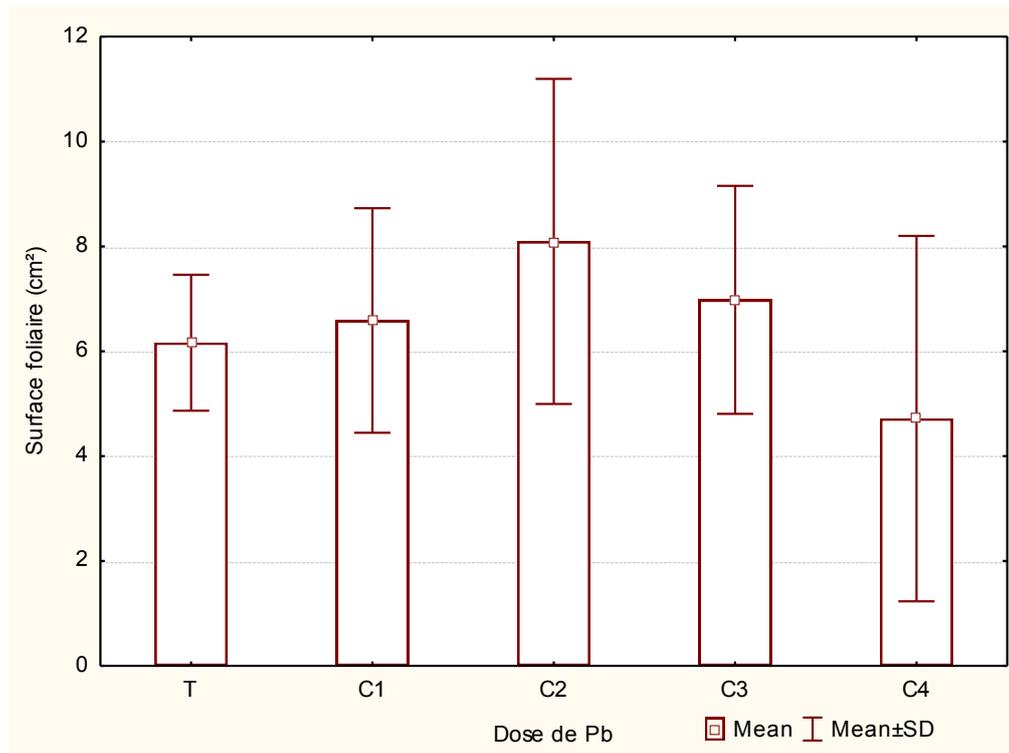


Figure 13 : Effet du plomb sur la Surface foliaire cm²

1.7. Effet du plomb sur la biomasse de la plante

1.7.1. Le poids frais

Selon la figure n° 14 on observe une augmentation significative ($p < 0.001$) du poids frais des parties aériennes de la plante pour la dose 500 $\mu\text{g/g}$ par rapport au témoin et une forte diminution ($p < 0.001$) pour la dose 2000 $\mu\text{g/g}$ par rapport aux autres concentrations.

Pour le poids frais des parties racinaires une diminution significative ($p < 0.001$) est observée pour toutes les doses de plomb par rapport au témoin, là aussi la dose la plus forte a eu l'effet le plus important.

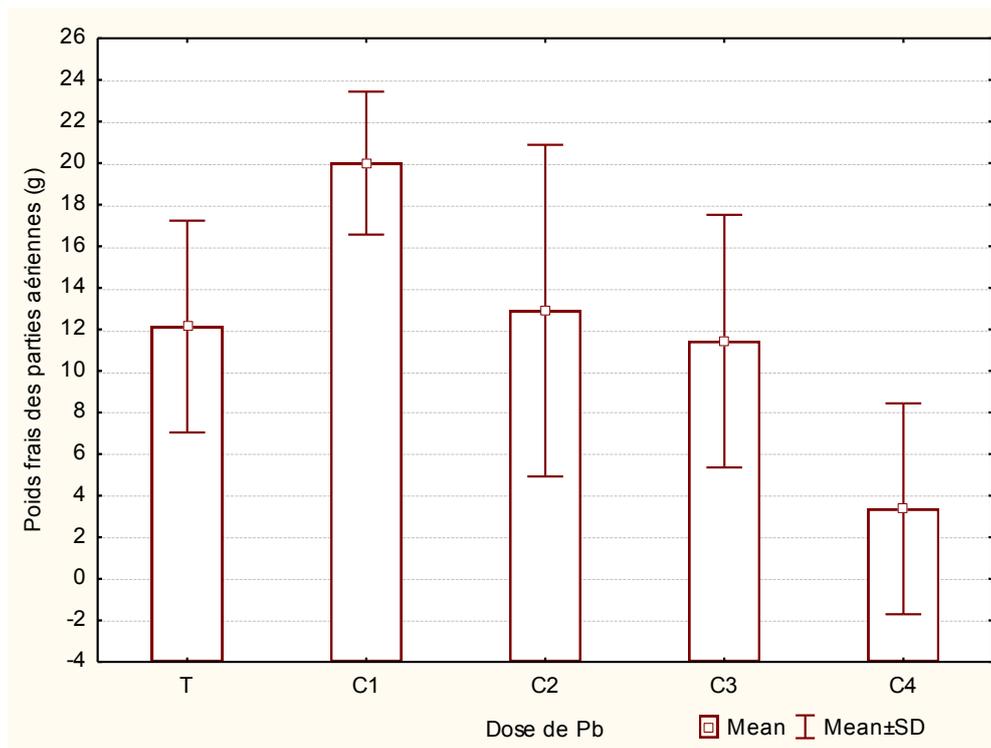


Figure 14: Effet du plomb sur le poids frais des parties aériennes

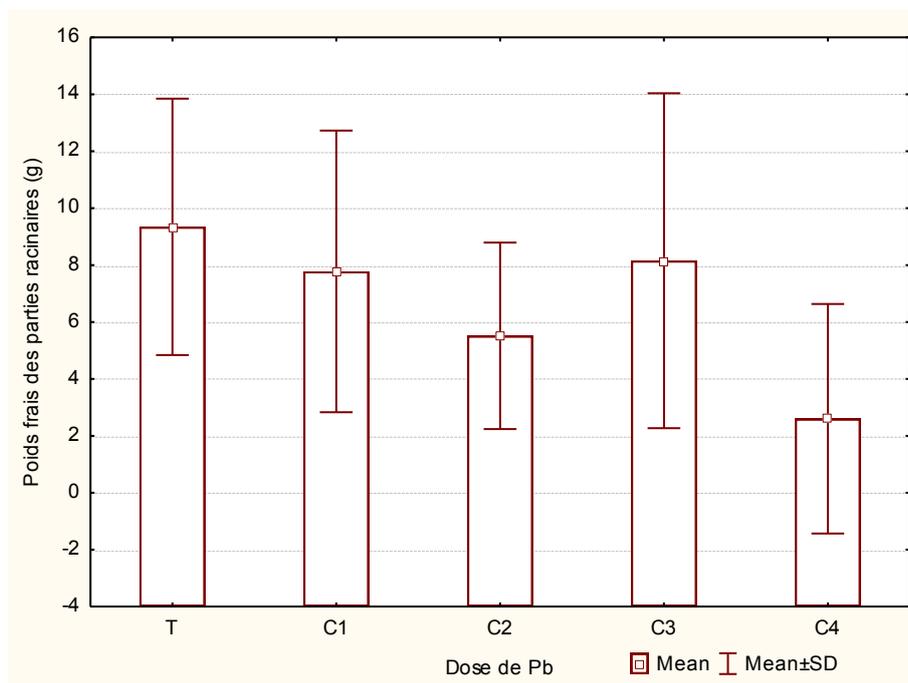


Figure 15: Effet du plomb sur le poids frais des parties racinaires

1.7.2. Le poids sec

Pour le poids sec des parties aériennes le plomb a eu un effet très significatif ($p < 0.001$) dans les parties aériennes avec une augmentation pour les doses 500 $\mu\text{g/g}$, 1000 $\mu\text{g/g}$ et 1500

$\mu\text{g/g}$ comparée au témoin et au contraire une forte diminution par rapport au témoin à la dose 2000 $\mu\text{g/g}$

Pour le poids sec des parties racinaires on a observé des effets contrastés, une augmentation significative ($p < 0.05$) par rapport au témoin à la dose 500 $\mu\text{g/g}$ et 1500 $\mu\text{g/g}$ et une diminution à la dose 1000 $\mu\text{g/g}$ et 2000 $\mu\text{g/g}$.

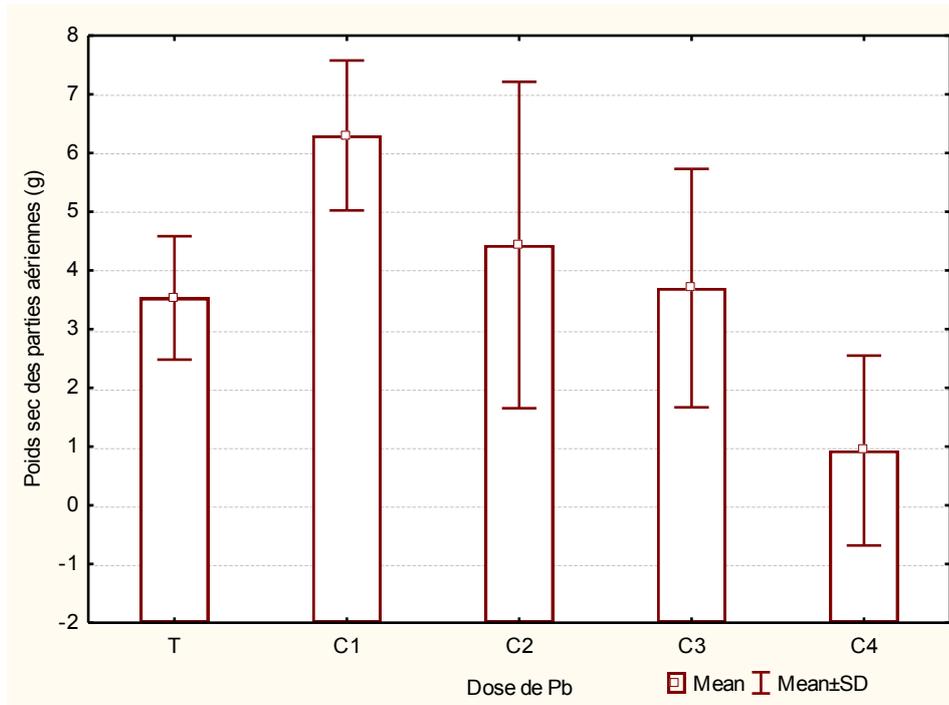


Figure 16: Effet du plomb sur le poids sec des parties aériennes

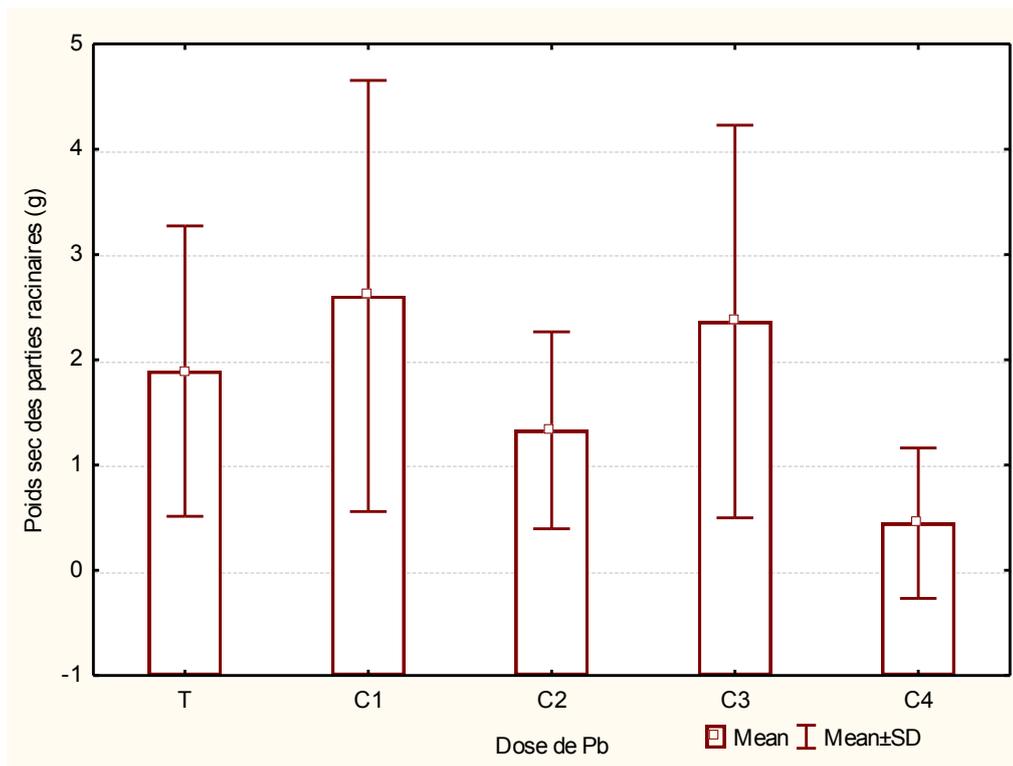


Figure 17: Effet de plomb sur le poids sec des parties racinaires

2. Discussion

L'orge est une plante bio accumulatrice de plomb, son potentiel de phytoremédiation a été étudié et prouvé par plusieurs travaux. Dans cette étude nous nous sommes penchés sur la réponse de l'orge vis-à-vis des doses croissantes de plomb (500 µg/g, 1000µg/g, 1500 µg/g et 2000µg/g), en étudiant quelques paramètres de croissance (morpho métrique).

La pollution des sols de la région par le plomb est largement répandue, issu principalement du trafic routier la cause étant l'utilisation de l'essence à base de plomb. Les concentrations choisies reflètent les niveaux de ce métal trouvés dans les sols à proximité des routes.

La germination est la première phase dans la vie d'une plante, c'est un processus complexe qui marque le passage de l'embryon de l'état de dormance à l'état active (Théron, 1964 ; Meyer et al., 2004) . Le taux de germination peut refléter la qualité de l'environnement des plantes (Azizi, 2017)

La plus part des métaux lourds inhibent la germination (Dazy et al., 2008). Le plomb est connu pour avoir un effet négatif sur les paramètres germinatifs (Nedjah, 2015 ; Seregin et Kozidzinska, 2005) il exerce une inhibition de la germination voir même l'arrêt sur les graines de blé, haricot, fève et concombre (Pourrut *et al.*, 2008 ; Wixrbicka et Obidzinska, 1998 ; Seregin et Kozidzinska, 2005).

Dans cette étude nous avons observé que la germination des graines d'orge n'est pas affectée par le plomb, seule la dose la plus forte qui est de 2000 ppm, a diminuée le taux de germination à 93.33%.

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 affecter la croissance et la morphogénèse des plantes, en perturbant de très nombreux mécanismes physiologiques. Zembala *et al.*, (2009) et Nedjah, (2015) ont observés une diminution dans la croissance du blé tendre exposé au plomb. Aoumeur, (2012) a rapporté le même résultat pour le radis *Raphanus sativus* .L. Abdul Latief A. Al-Ghzawi et al., (2019) ont observés que l'application de plomb a un effet toxique sur le développement global de l'orge.

Chez le radis, les métaux lourds induisent une diminution des paramètres biométriques (Anuradha et Rao, 2007 ; Gopal et Rizvi, 2008 ; Biteur et al., 2011 ; Dan wang et al., 2012 ; Ait

Hamadouche et al., 2012). L'exposition au plomb cause un nanisme des plantes, chez l'orge une réduction de l'allongement des parties aériennes et racinaires a été rapporté par Abdul Latief A. Al-Ghzawi et al., (2019). 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).

D'une façon générale des concentrations élevées de plomb affecté la croissance de l'orge, on a peut observer une diminution de tous les paramètres étudiés (germination, nombre de feuille et de talle, longueur de feuille et de la plante, surface foliaire, biomasse...) à la dose 2000 µg/g par rapport au témoin. Le même effet toxique du plomb sur la germination des graines, les racines et les systèmes foliaire de neuf génotypes d'orge testés a été rapporté par Abdul Latief A. Al-Ghzawi et al., 2019, et sur le nombre de feuille et la taille du radis par Aoumeur, (2012).

Le plomb induit la réduction de l'allongement des parties aériennes et racinaires de l'orge (Abdul Latief A. Al-Ghzawi et al., 2019). Les racines sont plus sensibles aux métaux lourds, parce qu'elles sont les premiers organes touchés par la contamination (Seregin et Ivanov, 2001 ; Kopittke *et al.*, 2007), viennent ensuite, les feuilles et les coléoptiles (Kopittke *et al.*, 2007).

La feuille est 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).

L'exposition au Pb et au Cd réduit la surface foliaire (Patra *et al.*, 2004 ; Seregin et Ivanov, 2001) se qui affecte la photosynthèse. (Patra *et al.*, 2004). Des études réalisées par Barcelo *et al.*, (1988) et Krupa et Moniak, (1998) rapportent que l'effet du Pb sur les feuilles semblent dépendre de leur âge, les feuilles mûres étant plus sensibles.

La modification de potentiel hydrique cellulaire pose des problèmes de régulation d'ouverture et de fermeture des stomates (Qureshi *et al.*, 2007), ce qui engendre une perturbation du statut hydrique entraînant un déficit hydrique (Patra *et al.*, 2004) ce déficit hydrique modifie ainsi, l'état globale de l'hydratation des cellules des plantes (Cecchi, 2008). Le plomb peut induire un stress hydrique qui s'exprime par une réduction de la surface des organes sièges de la transpiration, principalement les feuilles. Il entraîne ainsi une réduction globale du contenu en

eau de la plante (Iqbal et Mushtaq, 1987 ; Sharma et Dubey, 2005 ; Weryszko-Chmielewska et Chwil, 2005) et chez l'orge (Cheikh M'hamed et al., 2008)

Nos résultats confirment que le poids sec et le poids frais de l'orge sont corrélés négativement avec les doses de plomb.

Le Pb réduit fortement le développement de la plantule et des racelles (Mishra et Choudhuri, 1999). De faible concentration de Pb inhibe la croissance des racines et des parties aériennes (makowski et al., 2002 ; An, 2006). l'effet étant plus important sur les racines (Obroucheva et al., 1998). Plusieurs études ont montré qu'au-delà d'un certain seuil le cadmium induit l'apparition de symptômes d'intoxication, accompagnées d'une inhibition de la croissance pondérale des plantes (Djebali *et al.*, 2002; Ghnaya *et al.*, 2005; Zorrig *et al.*, 2010; Abdel Latef, 2013; Ahmad *et al.*, 2015; Asgher *et al.*, 2015 ; Azizi, 2017). Les doses élevées de Pb réduisent la biomasse des plantes (xiong et al., 2006). Chez le radis, le plomb réduit le poids frais Aoumeur, (2012).

En se basant sur ces résultats on peut dire que l'orge est peu sensible à la pollution du sol par de faible dose de plomb, mais pour les doses élevées tous les paramètres semblent être inhibés.

Conclusion

Conclusion

Le plomb pose actuellement des problèmes importants en matière de contamination de l'environnement. Les plantes, du fait de leur immobilité, sont particulièrement vulnérables à l'effet délétère de ce contaminant.

Ces dernières années, le développement de techniques efficaces pour décontaminer les sites pollués est devenu indispensable. L'une d'elle, la phytoremédiation qui exploite les propriétés des certaines plante à tolérer et accumuler de grands quantité de métaux lourds.

Ce travail portait sur l'étude des effets de la pollution par le plomb avec différentes concentrations sur les paramètres de croissance (morpho métriques) de l'orge (*Hordeum vulgare*)

Les résultats obtenus indiquent que l'exposition de l'orge à de faible concentration de plomb n'affecte pas sa croissance, parmi les paramètres les moins affecté on cite le taux de germination, le nombre de feuille et leur longueur ainsi que la surface foliaire, en revanche, son exposition à des concentrations élevées (2000 µg /g) induit la diminution de tous les paramètres étudié (germination, nombre de feuilles et talles, longueur de feuilles et de la plante, surface foliaires, la biomasse).

Les références
bibliographiques

Les références bibliographiques

- **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
- **Adriano D.C. (2001)**. Trace elements in terrestrial environments: Biochemistry,
- **Adriano D.C. (2001)**. Trace elements in terrestrial environments: Biochemistry,
- **ADRIANO D.C.; 2001**: - Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of metals. Springer-verlag, New York, USA. 867p
- **ALLCAOWAY B.; 1968**: - Anomalous cereals of lead trace metals in welsh soil. Duvids. Ed.87p
- **ALLCAOWAY B.; 1968**: - Anomalous cereals of lead trace metals in welsh soil. Duvids. Ed.87p
- **Baize D (1997)**. "Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France)."INRA Editions, Paris, 408 pp.
- **Baize D. (1997)**, Teneurs totales en ETM dans les sols (France), Paris, INRA.
- **Bazzaz FA, Carlson RW, Rolfe GL (1975)**. "Inhibition of Corn and SunflowerPhotosynthesis by Lead." *Physiologia Plantarum* **34** : 326-329.
- **Brunet J. (2008)**. Adaptation aux métaux lourds d'une Fabacée (légumineuse) : Réponses phénologique et moléculaire au plomb du Lathyrus sativus L. thèse de doctorat. Université Paris Est 246 p.
- **Brunet J. (2008)**. Adaptation aux métaux lourds d'une Fabacée (légumineuse) : Réponses phénologique et moléculaire au plomb du Lathyrus sativus L. thèse de doctorat. Université Paris Est 246 p.
- **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 pota gères (Fève et Tomate)." Thèse

Les références bibliographiques

- de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulou.**KOEPPE D.E. & MILLER R.J.; 1970:** - Lead effects on corn mitochondrial respiration. Science, 167: 1376-1378.
- **Colandini V.** 1997. Effets des structures réservoirs à revêtement poreux sur les eaux pluviales : qualité des eaux et devenir des métaux lourds. Th. Univ. de Pau et des Pays de l'Adour, 254p
 - **Colandini V., (1997).** Effets des structures réservoirs à revêtement poreux sur les eaux pluviales : qualité des eaux et devenir des métaux lourds., Thèse doctorat., Université de Pau et des pays de l'Adour., p.162.
 - Devi and Prasad 1999; Cheng 2003; Mishra et al. 2006; Samardakiewicz et al. 2015; Küpper 2017) Edisa, p.114 -115
 - FAO(2019)
<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://www.fao.org/publications/oecd-fao-agricultural-outlook/20192028>
 - **Haussling M,** Jorns CA, Lehmbecker G, Hecht-Buchholz C et Marschner H (1988). Ion and water uptake in relation to root development of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). Journal of Plant Physiology 133: 486-491.
 - **Bourelrier P et Berthelin J** (1998). "Contamination des sols par les éléments traces : les risques et leur gestion." Rapport de l'Académie des sciences Ed. Lavoisier, Paris. 42 pp
 - **Kirpichtchikova, T. (2009).** Phytoremediation par Jardins Filtrants d'un sol pollué par des métaux lourds.pp. 23-24.
 - **Kopittke P.M., Asher C.J., Blamey F.P.C. et Menzies N.W., 2007a.** Toxic effects of Pb²⁺ on the growth and mineral nutrition of signal grass (*Brachiaria decumbens*) and Rhodes grass (*Chloris gayana*). Plant Soil, 300: 127-136
 - **LAGERWERFF J.V.; 1971:** - Uptake of cadmium, lead and zinc by radish from soil and air. Soil, Science, 111 (2) : 129-133

Les références bibliographiques

- **Lin CC et Kao CH (2000)**. Effect of NaCl stress on H₂O₂ metabolism in rice leaves. *Plant Growth Regul* 30 : 151-15
- **Maatoug et al.,(2013)**. *Obesity Research & Clinical Practice* 7 (5), e407-e413, 2013.
- **Marschner H (1995)**. Mineral nutrition of higher plants. Academic Presse, London, 2nd Edition, 889 p
- **Marschner H., (1995)**. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second edition. Academic
- **Miquel G. (2001)**. Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Pp 365. Sénat.
- **Mishra A et Choudhuri MA (1998)**. "Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants." *Biologia Plantarum* 41: 469-473.
- **Morlot M (1996)**. "AGHTM Aspects analytiques du plomb dans l'environnement", Ed lavoisier TEC&DOC.
- **Morlot M. (1996)**. Aspects analytiques du plomb dans l'environnement, Ed Lavoisier
- **Morlot M. (1996)**. Aspects analytiques du plomb dans l'environnement, Ed Lavoisier
- **Obroucheva NV, Bystrova EI, Ivanov VB, Antipova OV, Seregin IV (1998)**. "Rootgrowth responses to lead in young maize seedlings." *Plant and Soil* 200: 55-61.
- **Glinski J et Lipiec J (1990)**. **Soil physical conditions and plant roots. Boca Raton (FL), CRC Press.**
- **Päivöke AEA., (2002)**. Soil lead alters phytase activity and mineral nutrient balance of *Pisumsativum*. *Environmental and Experimental Botany* 48:pp 61-73.
- **Patra M, Bhowmik N, Bandopadhyay B, Sharma A (2004)**. "Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance." *Environmental and Experimental Botany* 52 : 199-223.
- **Patra M, N Bhowmik, B Bandopadhyay and A Sharma (20 04)**. "Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance." *Environmental and Experimental Botany* 5 2(3): 199-223.

Les références bibliographiques

- **Pichard A. (2003)**. Plomb et ses dérivés, institut national de l'environnement. 90 p, P7
- **Pichard A. (2003)**. Plomb et ses dérivés, institut national de l'environnement. 90 p, P7
- **Poskuta J, E Parys and E Romanowska (1987)**. "The effects of lead on the gaseous exchange and photosynthetic carbon metabolism of pea seedlings." *Acta societatis botanicorum Poloniae* 56: 127-137.
- **Prasad MNV and F Hagemeyer (1999)**. Heavy Metal Stress in Plants: From Molecules to Ecosystems. Berlin, Springer-Verlag.
- **Pourrut B, G Perchet, J Silvestre, M Cecchi, M Guir esse and E Pinelli (2008)**. "Potential role of NADPH-oxidase in early steps of lead-induced oxidative burst in *Vicia faba* roots." *Journal of Plant Physiology* 165(6): 571-579.
- **Prasad MNV et Hagemeyer F (1999)**. Heavy Metal Stress in Plants: From Molecules to Ecosystems. Berlin, Springer-Verlag.
- press, London.
- **RAMADE F.; 1995:-** Elément d'écologie, écologie appliquée, action de l'homme sur la
- **RAMADE F.; 1995:-** Elément d'écologie, écologie appliquée, action de l'homme sur la
- **Raskin I et Ensley BD (2000)**. Phytoremediation of toxic metals; using plants to clean up the environment. John Wiley & Sons, New York.
- **Raskin I et Ensley BD (2000)**. Phytoremediation of toxic metals; using plants to clean up the environment. John Wiley & Sons, New York.
- **Rasmusson DC., 1992:** Barley breeding at present and in the future. In Munck L (ed.): *Barley Genetics VI, vol. II.* Munksgaard Int. Publ. Ltd., Copenhagen. 865-877.
- **MOULE,(1995)**, Bulletin de la Société nationale des Antiquaires de France 1980 (1), 274-285, 1982.
- **Seregin IV., Ivanov VB., (2001)**. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Russian Journal of Plant Physiology* 48 (4): pp.523-544

Les références bibliographiques

- **Soltner D.**, 2005: Les grandes productions végétales. Céréales. Collection sciences et techniques agricoles. 20^e édition. Paris. France, pp
- **Souilah N.**, 2009- Diversité de 13 géotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) et de 13 géotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.): Etude des caractères de production et d'adaptation .Mem de Magister .Univ de MENTOURI de CONSTANTINE.p146
- **SOUILAH; 2009** Diversité de 13 géotype d'orge (*Hourdeum vulgare* L)et 13 géotypes de bli (*Triticum aestivum* L): étude des caractère de production et d'aptation thes Magister, université constantine.165.P
- **Sterckeman T, Douay F, Proix N et Fourier H (2000)**. Vertical distribution of Cd, Pb, and Zn in soils near smelters in the North of France. *Environmental Pollution* **107** : 377-389.
- **Tomulescu I, Radoviciu E, Merca V et Tuduce A (2004)**. "Effect of Copper, Zinc and Leadand Their Combinations on the Germination Capacity of Two Cereals." *Journal of agricultural sciences* 15: 39-42.

Annexe

Univariate Tests of Significance for Taux de germination (Spreadsheet1_(Recovered).sta) Over-parameterized model Type III decomposition

| | SS | Degr. of - Freedom | MS | F | p |
|-------------------|----------|--------------------|----------|----------|----------|
| Dose de Pb | 138266,7 | 5 | 27653,33 | 518,5000 | 0,000000 |
| Error | 533,3 | 10 | 53,33 | | |

Univariate Tests of Significance for Longueur végétation (Spreadsheet18.sta) Over-parameterized model Type III decomposition

| | SS | Degr. of - Freedom | MS | F | p |
|-------------------|----------|--------------------|----------|----------|----------|
| Dose de Pb | 12762,92 | 5 | 2552,585 | 26,68388 | 0,000018 |
| Error | 956,60 | 10 | 95,660 | | |

Univariate Tests of Significance for Nbr talle (Spreadsheet18.sta) Over-parameterized model Type III decomposition

| | SS | Degr. of - Freedom | MS | F | p |
|-------------------|----------|--------------------|----------|----------|----------|
| Dose de Pb | 261,6667 | 5 | 52,33333 | 15,70000 | 0,000186 |
| Error | 33,3333 | 10 | 3,33333 | | |

Univariate Tests of Significance for Longueur des feuilles (Spreadsheet18.sta) Over-parameterized model Type III decomposition

| | SS | Degr. of - Freedom | MS | F | p |
|-------------------|----------|--------------------|----------|----------|----------|
| Dose de Pb | 1366,405 | 5 | 273,2811 | 31,33319 | 0,000008 |
| Error | 87,218 | 10 | 8,7218 | | |

Univariate Tests of Significance for Nbr de feuilles (Spreadsheet18.sta) Over-parameterized model Type III decomposition

| | SS | Degr. of - Freedom | MS | F | p |
|-------------------|----------|--------------------|----------|----------|----------|
| Dose de Pb | 2353,679 | 5 | 470,7357 | 59,85410 | 0,000000 |
| Error | 78,647 | 10 | 7,8647 | | |

Univariate Tests of Significance for poids frais aérienne (Spreadsheet1_(Recovered)) Over-parameterized model Type III decomposition

| | SS | Degr. of - Freedom | MS | F | p |
|-------------------|----------|--------------------|----------|----------|----------|
| Dose de Pb | 2567,050 | 5 | 513,4100 | 15,64893 | 0,000189 |
| Error | 328,080 | 10 | 32,8080 | | |

Univariate Tests of Significance for poids sec aérienne (Spreadsheet1_(Recovered)) Over-parameterized model Type III decomposition

| | SS | Degr. of - Freedom | MS | F | p |
|-------------------|-----------|---------------------------|-----------|----------|----------|
| Dose de Pb | 259,1700 | 5 | 51,83400 | 15,07679 | 0,000222 |
| Error | 34,3800 | 10 | 3,43800 | | |

Univariate Tests of Significance for poids frais racinaire (Spreadsheet1_(Recovered)) Over-parameterized model Type III decomposition

| | SS | Degr. of - Freedom | MS | F | p |
|-------------------|-----------|---------------------------|-----------|----------|----------|
| Dose de Pb | 754,2410 | 5 | 150,8482 | 7,090285 | 0,004465 |
| Error | 212,7534 | 10 | 21,2753 | | |

Univariate Tests of Significance for poids sec racinaire (Spreadsheet1_(Recovered)) Over-parameterized model Type III decomposition

| | SS | Degr. of - Freedom | MS | F | p |
|-------------------|-----------|---------------------------|-----------|----------|----------|
| Dose de Pb | 53,77706 | 5 | 10,75541 | 4,905040 | 0,015818 |
| Error | 21,92727 | 10 | 2,19273 | | |

Résumé

Ce présent travail a pour but d'évaluer l'effet de la contamination par le plomb sur l'orge, exposée aux concentrations suivantes: 500 µg/g ; 1000 µg/g ; 1500 µg/g et 2000µg/g., pour cela nous avons mesuré les paramètres de croissance (taux de germination, nombre de feuille et de talle, longueur des feuilles et des plantes...).

Les résultats obtenus montrent que d'une manière générale l'exposition de l'orge à des concentrations élevées de plomb affecte tous les paramètres de croissance, il induit la diminution du taux de germination à 93.33%, réduit le nombre de feuille et de talle ainsi que la longueur des feuilles, et la biomasse. Cependant à de faibles doses de plomb, les résultats ont montré que l'orge était peu affectée.

Mots clés : plomb, orge, facteurs biométriques, sol pollué, biomasse, croissance.

Abstract

This present work aims to evaluate the effect of lead contamination on barley, exposed to the following concentrations: 500 µg / g; 1000 µg / g; 1500 µg / g and 2000 µg / g., For this we measured the growth parameters (germination rate, number of leaves and tillers, length of leaves and plants, etc.).

The results obtained show that in general the exposure of barley to high concentrations of lead affects all the growth parameters; it induces the reduction of the germination rate to 93.33%, reduces the number of leaves and tillers, as well as leaf length, and biomass. However at low doses of lead, the results showed that barley was not affected.

Key words: lead, barley, biometric factors, contaminated soil, biomass, growth.

ملخص

يهدف هذا العمل الحالي إلى تقييم تأثير التلوث على الشعير المعرض للتركيزات التالية 500 ميكروغرام / غرام ؛ 1000 ميكروغرام / غرام ؛ 1500 ميكروغرام / غرام و 2000 ميكروغرام / غرام ، لهذا قمنا بقياس معاملات النمو) معدل الإنبات ، عدد الأوراق والارتفاع ، طول الأوراق والنباتات ، إلخ).

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن تعرض الشعير لتركيزات عالية من الرصاص بشكل عام يؤثر على جميع معايير النمو ، ويؤدي إلى تقليل معدل الإنبات إلى 33.33٪ ، وإعادة البني وتقليل وكذلك ضعف الأوراق ، والكتلة الحيوية . ومع ذلك ، في الجرعات المنخفضة من الرصاص ، أظهرت النتائج أن الشعير يتأثر قليلاً.

الكلمات المفتاحية: الرصاص ، الشعير ، العوامل البيومترية ، التربة الملوثة ، الكتلة الحيوية ، النمو.