



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Larbi Tébessi -Tébessa-

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Etres Vivants

MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Écophysiologie végétale

Thème

Effet de quelques métaux lourds sur la germination
et la croissance des plantules *d'Atriplex halimus L*

Présenté par :

TOUAIHIA souhaib

Devant le jury :

Dr. DEKAK Ahmed	MCA	Université de Tébessa	Président
Dr. SOUABI Hana	MCA	Université de Tébessa	Promoteur
Dr. FATMI Hindel	MCB	Université de Tébessa	Examineur

L'année universitaire : 2020/2021

Résumé

La contamination par les métaux issus des activités anthropiques a des conséquences importantes sur les écosystèmes et la santé humaine. En effet, ces éléments, par nature non biodégradables, présentent une forte écotoxicité et pourraient être impliqués dans de nombreuses pathologies. Il est donc aujourd'hui indispensable non seulement de mieux connaître les effets de ces polluants sur les organismes vivants, mais aussi de mettre en œuvre des solutions durables, visant à limiter leurs risques. Dans ce contexte, les plantes représentent un objet d'étude intéressant. En effet, celles-ci, directement confrontées aux composés toxiques du milieu, pourraient non seulement être utilisées en tant que marqueurs de la toxicité du milieu, mais aussi en tant qu'outil de stabilisation des polluants. Les semences d'*Atriplex halimus L* sont exposées à 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ppm de Pb et Zn pour étudier l'effet de ces deux métaux sur la germination et la croissance des jeunes plantules. Les résultats ont montré que le stade de la germination est plus résistant au stress métallique que le stade de la croissance. Le Pb a montré la toxicité la plus élevée entre les métaux utilisés, et parmi les paramètres physiologiques, la longueur des racines semble être le meilleur indicateur de la toxicité métallique. Pour comprendre les mécanismes de toxicité et de tolérance d'*A. halimus* au stress des métaux lourds.

Mots clés : *Atriplex halimus L*, métaux lourds, phytoremédiation, Plomb, Zinc, tolérance.

Abstract

Contamination by metals from anthropogenic activities has significant consequences for ecosystems and human health. Indeed, these elements, by nature non-biodegradable, exhibit high ecotoxicity and could be involved in much pathology. It is therefore essential today not only to better understand the effects of these pollutants on living organisms, but also to implement sustainable solutions aimed at limiting their risks. In this context, plants represent an interesting object of study. Indeed, these, directly confronted with the toxic compounds of the environment, could not only be used as markers of the toxicity of the environment, but also as a tool for stabilizing pollutants. The seeds of *Atriplex halimus* L. are exposed 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ppm of Pb and Zn to study the effect of these two metals on the germination and growth of young seedlings. The results showed that the germination stage is more resistant to metal stress than the growth stage. Pb showed the highest toxicity of the metals used, and among physiological parameters, root length appears to be the best indicator of metal toxicity. To understand the mechanisms of toxicity and tolerance of *A. halimus* to heavy metal stress.

Key words: *Atriplex halimus* L, Heavy metals, Phytoremediation, Lead, Zinc, tolerance.

ملخص

للتلوث بالمعادن من الأنشطة البشرية عواقب وخيمة على النظم الإيكولوجية وصحة الإنسان. في الواقع، هذه العناصر، بطبيعتها غير قابلة للتحلل، تظهر سمية بيئية عالية ويمكن أن تشارك في العديد من الأمراض. لذلك من الضروري اليوم ليس فقط فهم تأثيرات هذه الملوثات على الكائنات الحية بشكل أفضل، ولكن أيضًا تنفيذ حلول مستدامة تهدف إلى الحد من مخاطرها. في هذا السياق، تمثل النباتات موضوعًا مثيرًا للدراسة. في الواقع، هذه، في مواجهة مباشرة مع المركبات السامة للبيئة، لا يمكن استخدامها فقط كعلامات لسمية البيئة، ولكن أيضًا كأداة لتثبيت الملوثات. تعرضت بذور *Atriplex halimus L* إلى 0، 2000، 4000، 6000.8000 جزء في المليون من الرصاص والزنك لدراسة تأثير هذين المعدنين على إنبات ونمو الشتلات الصغيرة. أظهرت النتائج أن مرحلة الإنبات تكون أكثر مقاومة للإجهاد المعدني من مرحلة النمو. أظهر الرصاص أعلى سمية بين المعادن المستخدمة، ومن بين المعلمات الفسيولوجية، يبدو أن طول الجذر هو أفضل مؤشر على سمية المعادن. لفهم آليات السمية والتسامح لـ *Atriplex halimus L* لإجهاد المعادن الثقيلة.

الكلمات المفتاحية: *Atriplex halimus L*.؛ معادن ثقيلة؛ العلاج بالنباتات. الرصاص؛ الزنك؛ مقاومة.

Remerciement

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.

Que Mme SOUABI Hana, Docteur à l'université de Laarbi Tébessi (Tébessa) reçoit mes sincères remerciements pour avoir accepté de rapporter et de juger ce travail de Master. Merci à vous d'avoir consacré du temps à la lecture de ce travail ainsi que d'y avoir apporté des remarques et des commentaires lors de la rédaction du manuscrit. J'adresse également ma profonde gratitude aux Dr. DEKAK Ahmed et Dr. FATMI Hindel qui ont bien voulu accepter de lire et juger ce travail.

Ma pensée finale va à ma famille, je remercie leur présence à mes côtés, leur encouragement et soutien.

Je remercie également mon oncle Dr. RAIS Yassin, qui m'a aidé à tous égards.

Liste des figures

- Figure 1 :** Courbe théorique d'imbibition d'une semence-3-
- Figure 2 :** La germination épigée-6-
- Figure 3 :** Semences d'*Atriplex halimus L*-8-
- Figure 4 :** Coupe transversale de racine, avec le passage des ions selon les voies symplastiques et apoplastiques-13-
- Figure 5 :** Effets des différentes concentration en Pb (CH₃COO)₂ et Zn SO₄ sur la longueur du radicule d'*Atriplex halimus*.....-22-
- Figure 6 :** Effets des différentes concentration en Pb (CH₃COO)₂ et Zn SO₄ sur la vitesse de germination d'*Atriplex halimus*.....-24-
- Figure 7 :** Effets des différentes concentration en Pb (CH₃COO)₂ et Zn SO₄ sur le taux de germination d'*Atriplex halimus*.....-26-
- Figure 8 :** Cinétique de la germination des graines (%) d'*Atriplex halimus* sous l'effet des différentes concentration en Pb (CH₃COO)₂.....-27-
- Figure 9 :** Cinétique de la germination des graines (%) d'*Atriplex halimus* sous l'effet des différentes concentration en Zn SO₄.....-28-

Liste des tableaux

- Tableau 1** : Classification périodique des éléments-9-
- Tableau 2** : Classification de quelques métaux lourds selon leur densité et leur toxicité .-11-
- Tableau 3** : Composition de la solution nutritive de Hoagland-18-

Sommaire

Résumé

Abstract

الملخص

Remerciement

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....-1-

Première partie : Etude bibliographique

Chapitre 01 : Généralités sur la germination

1. Définition de la germination.....-2-

1.1. Physiologie de la germination.....-2-

1.2. Les paramètres de germination -3-

1.2.1 Le pouvoir de germination.....-3-

1.2.2 La capacité de germination.....-3-

1.2.3 La vitesse de germination.....-3-

1.3. Conditions de la germination.....-3-

1.3.1. Les conditions intrinsèques de la germination.....-3-

1.3.2. Les conditions extrinsèques de la germination.....-4-

1.4. Les types de germination.....-5-

1.4.1. La germination épigée.....-5-

1.4.2. La germination semi-hypogée.....-7-

1.4.3. La germination hypogée.....-7-

1.5. Germination de <i>Atriplex halimus</i>	8-
---	----

Chapitre 02 : Métaux lourds

2. Définition des « métaux lourds »	9-
2.1. Classification et types des métaux lourds.....	10-
2.1.1. Classification des métaux lourds.....	10-
2.1.2. Les différents types des métaux lourds.....	10-
2.2. Pollution par les métaux lourds : le cas du plomb.....	11-
2.2.1. Le plomb dans la plante	12-
2.2.2. Notion de phytodisponibilité	12-
2.2.3. Absorption	12-
2.3. Toxicité du plomb.....	13-
2.3.1. Action sur les activités enzymatiques	14-
2.3.2. Effets sur la nutrition minérale	14-
2.3.3. Croissance et morphogénèse	15-

Deuxième partie : partie expérimentale

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

1. Objectif de l'expérimentation.....	16-
2. Matériel végétal.....	16-
2.1. Décorticage des graines	16-
2.2. Stérilisation des graines	16-
3. Essai de germination.....	16-
4. Les paramètres germinatifs.....	17-

4.1. La précocité de la germination.....	-17-
4.2. Taux de germination.....	-18-
4.3. Vitesse de germination (VG).....	-18-
4.4. Cinétique de la germination (CG).....	-18-
5. Traitement de données et analyse statistique.....	-19-
6- Résultats.....	-19-
6.1. La longueur du radicule d' <i>Atriplex halimus</i>	-19-
6.1.1. Effets de Zn sur la longueur du radicule d' <i>Atriplex halimus</i>	-19-
6.1.2. Effets de Pb sur la longueur du radicule d' <i>Atriplex halimus</i>	-19-
6.2. La vitesse de germination d' <i>Atriplex halimus</i>	-20-
6.2.1. Effets de Zn sur la vitesse de germination d' <i>Atriplex halimus</i>	-20-
6.2.2. Effets de Pb sur la vitesse de germination d' <i>Atriplex halimus</i>	-21-
6.3. Le taux de germination.....	-22-
6.3.1. Effets de Zn sur le taux de germination d' <i>Atriplex halimus</i>	-22-
6.3.2. Effets de Pb sur le taux de germination d' <i>Atriplex halimus</i>	-22-
6.4. Cinétique de la germination des graines d' <i>Atriplex halimus</i>	-23-
6.4.1. Sous l'effet des différentes concentrations en Pb (CH ₃ COO) ₂	-23-
6.4.2. Sous l'effet des différentes concentrations en Zn SO ₄	-24-
7- Discussion.....	-26-
Conclusion.....	-28-
Références bibliographiques.....	-29-

Introduction

La région méditerranéenne présente une des flores les plus remarquables du monde. Sa grande diversité climatique, géologique et géographique a permis l'apparition de nombreuses espèces endémiques. Elle constitue une zone à une haute biodiversité végétale.

En Algérie, les *Atriplex* représentent près d'un million d'hectares plus ou moins ces espèces constituent l'exemple des êtres vivants résistant à une salinité très élevée, capables de rééquilibrer ces milieux dégradés (**Haddioui et Baaziz, 2006**). Plusieurs espèces d'*Atriplex* sont bien adaptées à des conditions environnementales extrêmes (**Martinez et al. 2003**). *L'Atriplex halimus* L est un arbuste natif d'Afrique du nord, il s'étend également aux zones littorales méditerranéennes. Il constitue en période de sécheresse un fourrage apprécié par les animaux et particulièrement des ovins et des caprins. Il permet une mise en valeur des terres, une lutte contre l'érosion hydrique et éolienne, procure un bois de chauffage.

La germination est une période transitoire au cours de laquelle la graine qu'était à l'état de vie latente, manifeste une reprise des phénomènes de multiplication et d'allongement cellulaire. (**Deysson, 1967**), **Selon Guyot (1978)**. La germination, phase première de la vie de la plante, assure la naissance d'une jeune plantule aux dépens de la graine **Seon Soltner (2007)**. La graine exige la réunion de conditions extérieures favorables à savoir l'eau, l'oxygène, et la température. Le problème des sols contaminés est aujourd'hui très préoccupant pour les pays émergents. Les métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le cuivre, le zinc, et le mercure ne peuvent pas être biodégradés et donc persistent dans l'environnement pendant de longues périodes.

L'accumulation des métaux lourds dans l'environnement peut se répercuter sur la germination des plantes métaux lourds influencent la phytotoxicité, et dans certains cas, la croissance des plantes peut être réduite (**Shah et al., 2007 ; Salt et al., 1998 ; Singh et al., 2003**).

Première partie : Etude bibliographique

Chapitre 01 : Généralités sur la germination

1. Définition de la germination

La germination se définit comme « le phénomène par lequel l'embryon croît en utilisant les réserves de la graine ».

La vie individualisée des graines commence dès que celle-ci est séparée de la plante qui lui a donnée naissance, et se termine par la germination (**Binnet, 1978**).

La germination est un processus dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et tout le début de la croissance de la radicule (**Evenari, 1957**).

Selon **Mazliak (1982)**. La germination d'une semence est terminée quand la radicule perce les enveloppes ou, s'il s'agit d'un embryon isolé, dès que la radicule commence à s'allonger.

1.1. Physiologie de la germination

La figure 1 montre trois étapes :

1.1.1. La Phase d'imbibition

Ou la phase 1 correspond à une forte hydratation des tissus, accompagnée d'une élévation de l'intensité respiratoire (**Heller et al., 2004**). Elle implique un mouvement d'eau dans le sens de potentiel hydrique décroissant (**Hopkins, 2003**).

1.1.2. La phase de germination

Ou la phase 2 « stricto sensu », pendant cette phase, les semences ne s'imbibent plus et ne reflètent à l'une modification morphologique (**Mazliak, 1982**). Cette phase est caractérisée par une stabilisation et de l'activité respiratoire à un niveau élevée (**Binnet, 1967**) ; elle est relativement brève (12 à 48 h) et s'achève avec l'émergence de la radicule hors de téguments séminaux (**Heller et al., 1995**).

1.1.3. La phase III

Est caractérisée par une reprise de l'absorption d'eau et une augmentation de la consommation d'oxygène, elle correspond à un processus de croissance de la radicule puis la tigelle (**Hopkins, 2003**).

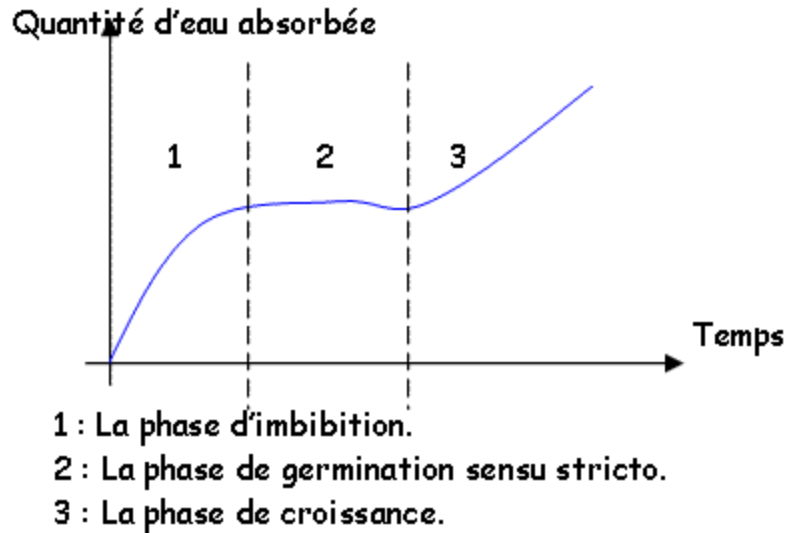


Figure 1 : Courbe théorique d'imbibition d'une semence (Come, 1975).

1.2. Les paramètres de germination

1.2.1. Le pouvoir de germination

C'est le pourcentage des semences capables de germer dans les conditions les plus favorables (Heller et al., 2004).

1.2.2. La capacité de germination

C'est le pourcentage maximal de semences germées dans des conditions données. Il est donc indispensable de préciser les conditions exactes dans lesquelles les semences sont mises à germer (Come, 1970).

1.2.3. La vitesse de germination

C'est le temps nécessaire mis par les semences germées, pour obtenir 50% de la capacité germinative (Lang, 1969) ; elle est calculée par l'indice de germination (Abbot, 1955 in Mazliak, 1982).

1.3. Conditions de la germination

La germination n'est possible que si certaines conditions sont réunies, les unes intrinsèques et liées à l'état de la semence, les autres extrinsèques et en rapport avec le milieu ambiant (Guyot, 1978).

1.3.1. Les conditions intrinsèques de la germination

1.3.1.1. La maturité de la graine

On distingue deux étapes dans la maturation de la graine :

La maturation morphologique

Elle correspond à la mise en place des éléments constitutifs de la graine. En général la graine ne peut pas encore germer après cette maturation (**Mihoub et al. 2005**).

La maturation physiologique

Elle est caractérisée par l'intervention de changements indispensables à la germination (**Mihoub et al. 2005**).

1.3.1.2. La lumière

Selon **Heller et al. (1990)**, 70 % des graines ont une photosensibilité positive, 25% sont à photosensibilité négative et 5% sont indifférentes.

1.3.1.3. La dormance

Dans ce cas les inaptitudes à la germination résident dans l'embryon et constituent les véritables dormances (**Chaussat et al, 1975**)

1.3.2. Les conditions extrinsèques de la germination

Divers facteurs du milieu tel que l'eau, la température, l'oxygène et parfois la lumière contrôlent d'une précise, la germination. L'analyse de l'un de ces facteurs ne peut pas faire abstraction des autres, car ils interfèrent tous (**Hopkins, 2003**).

1.3.2.1. L'eau

Le passage de la vie ralentie à la vie active d'une semence exige, une imbibition des tissus de ses semences. L'eau d'imbibition doit être fournie en quantité suffisante et non en excès (**Binet, 1978**).

1.3.2.2. L'oxygène

Au fur et à mesure que la teneur en eau des tissus des semences augmente l'intensité respiratoire croît, ce qui entraîne une augmentation des besoins en oxygène. Ce dernier est indispensable au déroulement des réactions de dégradations internes de l'embryon (**Binet, 1978**).

1.3.2.3. La température

D'après **Lafon et al., (1998)** la température stimule les activités enzymatiques et ainsi la vitesse de germination.

La température règle l'apport de l'oxygène à l'embryon, ainsi quand la température s'élève, le métabolisme réclame plus d'oxygène, son apport diminue rendent la germination impossible.

1.4. Les types de germination

Les plantules peuvent être regroupées en trois (3) types de germination, basés essentiellement sur la position prise par les cotylédons après la germination (**Rakouth cité par Some, 1991**).

Ce sont :

La germination épigée ou phanérocotylaire.

La germination semi-hypogée.

La germination hypogée ou cryptocotylaire.

Certains auteurs cependant, comme **De la mensbrug (1966)** distinguent deux types fondamentaux qui sont les germinations épigée et hypogée, assimilant la germination semi-hypogée à une germination épigée.

1.4.1. La germination épigée

Dans ce type de germination comme illustré la figure2 les cotylédons émergent de terre. La partie aérienne de la plantule se compose alors d'un axe, dit hypocotyle, porteur à son extrémité de deux (2) cotylédons. Les premières feuilles, émises au-dessus du point d'attache des cotylédons, prennent naissance sur la portion de tige appelée épicotyle **Some (1989)**.

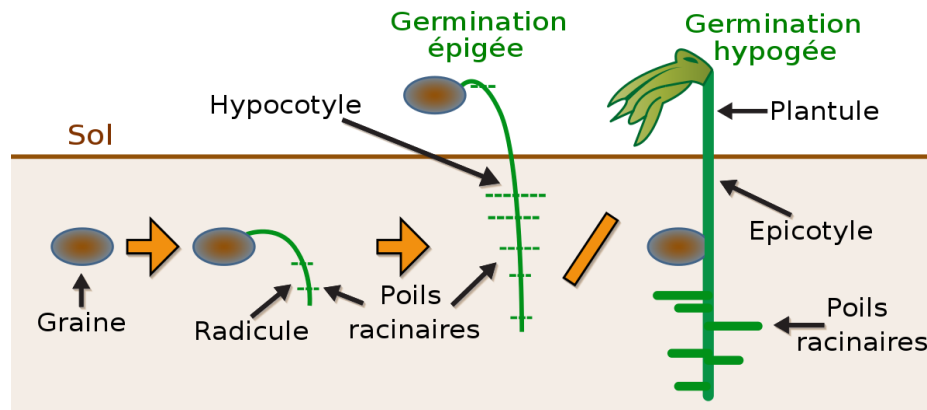


Figure 2 : La germination épigée (kumar, 2015).

En fonction de l'aspect des cotylédons, les plantules à germination épigée peuvent être subdivisées en trois (3) groupes. En effet, **Some (1989)** distingue :

1.4.1.1. Les espèces à feuilles cotylédonnaires foliacées

Les cotylédons se présentent sous une forme foliacée avec apparition nette de la nervation. Cette structure foliacée selon **De la mensbrug (1966)** ne permet pas de nourrir l'embryon toujours enfermé souvent dans le tégument de la graine. C'est l'importante masse d'albumen (toujours présente dans ce type de graine) qui assure son alimentation. Il faut que cette source d'alimentation s'épuise pour voir les cotylédons, qui sont épanouis et étalés à l'air en ce moment, contribuer à l'alimentation du jeune plant et cela pendant plusieurs mois parfois. L'apparition des premières feuilles peut être ainsi retardée.

1.4.1.2. Les espèces à feuilles cotylédonnaires légèrement épaisses

Ici les cotylédons sont en général verts et ont une structure légèrement charnue. Ils sont intermédiaires entre les cotylédons foliacés et les cotylédons charnus. Après leur épanouissement, leur persistance sur la plantule est limitée **De la mensbrug (1966)**.

1.4.1.3. Les espèces à cotylédons charnus

Les cotylédons charnus sont gonflés de matières de réserves. Leurs dimensions varient très peu durant leur existence, et leur persistance sur la plantule est l'imitée. Les premières

feuilles apparaissent rapidement ; cela pourrait être lié au fait que les cotylédons sont en général caducs **De la mensbrug (1966)**.

1.4.2. La germination semi-hypogée

Dans ce type de germination les cotylédons restent à ras de terre mais sont visibles et s'ouvrent pour libérer la gemmule. Ce type de germination a été observé chez *Parkia biglobosa* (**Some, 1991**). Les cotylédons sont généralement plus ou moins charnus et caducs.

1.4.3. La germination hypogée

Dans ce type de germination l'hypocotyle ne se développe pas et les cotylédons restent dans le sol. L'élongation se fait alors dans la gemmule. Les cotylédons gardent leur attache avec la partie inférieure de la tigelle. Ils alimentent ainsi pendant quelques temps (plusieurs semaines souvent) la plantule, mais après l'épuisement des matières de réserves, ils se dessèchent et disparaissent (**Some, 1991**).

1.5. Germination de *Atriplex halimus*

La phase de la germination ou à celle du développement. La germination devient un facteur déterminant pour la réussite de la croissance des plantes dans les milieux salés. Bien que les halophytes possèdent une teneur très élevée en sel dans leurs tissus au stade adulte, leurs graines ne sont pas aussi tolérantes au sel au stade germination (**Belkhodja & Bidai, 2004**).

Selon (**Belkhodja & Bidai, 2004**) que les graines de *Atriplex halimus* germe le mieux en l'absence ou la présence de Na Cl dans le milieu additionné de faible concentration (100 meq) et dès que la concentration en sel augmente, un taux de réduction des graines germées Concentration (350 meq de Na Cl), suivie de l'inhibition de germination des graines exposées à une salinité élevée (600 meq de Na Cl).

La figure 3 nous montre les semences d'*Atriplex halimus* L.



Figure 3 : Semences d'*Atriplex halimus L* (Belkhodja & Bidai, 2004).

Chapitre 02 : Métaux lourds

2. Définition des « métaux lourds »

Les éléments de la classification périodique formant des cations en solution sont des métaux.

D'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g.cm³ (Adriano, 2001) (Tableau 1).

Le terme métaux lourds, « heavy metal », implique aussi une notion de toxicité. Le terme « éléments traces métalliques » est aussi utilisé pour décrire ces mêmes éléments, car ils se retrouvent souvent en très faible quantité dans l'environnement (Baker et Walker, 1990).

Tableau 1 : Classification périodique des éléments métalliques

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

<http://www.periodni.com/fr/>

ÉTAT PHYSIQUE (25 °C; 101 kPa)

- Ne - gaz
- Fe - solide
- Hg - liquide
- ☾ - synthétique

Classification des éléments

- Métaux (bleu)
- Métalloïdes (orange)
- Non-métaux (vert)
- Métaux alcalins (bleu clair)
- Métaux alcalino-terreux (bleu foncé)
- Métaux de transition (bleu gris)
- Chalcogènes (vert clair)
- Halogènes (vert foncé)
- Gaz nobles (vert très foncé)
- Lanthanides (rose)
- Actinides (rouge)

LANTHANIDES																		
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71				
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
LANTHANE																		
CÉRIUM																		
PRASÉODYME																		
NÉODYME																		
PROMÉTHIUM																		
SAMARIUM																		
EUROPIUM																		
GADOLINIUM																		
TERBIUM																		
DYSPROSIUM																		
HOLMIUM																		
ERBIUM																		
THULIUM																		
YTTÉRIUM																		
LUTÉTIUM																		
ACTINIDES																		
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103				
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				
ACTINIUM																		
THORIUM																		
PROTACTINIUM																		
URANIUM																		
NEPTUNIUM																		
PLUTONIUM																		
AMÉRICIUM																		
CURIUM																		
BERKÉLIUM																		
CALIFORNIUM																		
EINSTEINIUM																		
FERMIUM																		
MENDELÉVIUM																		
NOBELIUM																		
LAWRENCIUM																		

Copyright © 2012 Eri Generalic

(1) Pure Appl. Chem., 81, No. 11, 2131-2156 (2009)
La masse atomique relative est donnée avec cinq chiffres significatifs. Pour les éléments qui n'ont pas de nucléides stables, la valeur entre parenthèses indique le nombre de masse de l'isotope de l'élément ayant la durée de vie la plus grande. Toutefois, pour les trois éléments (Th, Pa et U) qui ont une composition isotopique terrestre connue, une masse atomique est indiquée.

2.1. Classification et types des métaux lourds

2.1.1. Classification des métaux lourds

Les métaux lourds peuvent être classés en se basant sur leur densité :

- Les métaux lourds sont dits lourds si leur densité dépasse 5.
- Les métaux lourds sont dits légers si leur densité est inférieure à 5.

Ces métaux lourds sont dangereux pour la santé humaine à très faible concentration selon « the states environmental protection Agency » cependant, le cadmium, le plomb, le chrome, le zinc et d'autres sont considérés (à moins forte dose pour certains) comme étant dangereux pour la santé humaine et dont la présence dans l'environnement doit être surveillée (**Diffus, 1980**).

Les métaux peuvent également être classés en se basant sur leurs effets biologiques (**Catsiki et Catsielleri, 1980**).

- Les oligo-éléments essentiels pour un fonctionnement normal des paramètres biochimiques à des Concentrations non excessives, notamment : Fe, Mg, Zn....
- Métaux sans fonction biologique établie tels que : Cd, Hg, Pb.....

2.1.2. Les différents types des métaux lourds

D'un point de vue biologique, on distingue deux types en fonction de leurs effets physiologique et toxique : métaux essentiels et métaux toxiques (**Huynh, 2009**).

2.1.2.1. Les métaux toxiques

Tout élément est toxique quand il est absorbé en excès par rapport à la capacité d'assimilation de l'organisme. La toxicité des métaux lourds pour les micro-organismes du sol est principalement due à leur capacité à établir des complexes stables avec les protéines ce qui peut altérer les sites actifs ou déplacer des cofacteurs métalliques essentiels (**Baath, 1992**).

Les différents types d'effets possibles de six métaux lourds sur les plantes et les animaux sont présentés dans le tableau 2.

La toxicité des métaux lourds pour un même organisme dépend du type de sol, de sa disponibilité des chaque métaux dans ce sol, de l'état physiologique du micro-organisme (**Baath, 1992**).

Tableau 2 : Classification de quelques métaux lourds selon leur densité et leur toxicité
(**Adriano, 2001**).

ETM	Plantes	Animaux	Densité
Cd	T	T	8.65
Cr	-	E	7.20
Cu	E	E	8.92
Ni	E	E	8.90
Pb	T	T	11.34
Zn	E	E	7.14

2.1.2.2. Les métaux essentiels ou oligoéléments

Sont des éléments indispensables à l'état de traces pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (**Loué ; 1993**). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre, du nickel, du zinc, du Fer. Par exemple le Zinc à la concentration du milli molaire est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques (déshydrogénase, protéinase, peptidase) et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides (**Kabata et Pendais, 2001**).

2.2. Pollution par les métaux lourds

2.2.1. Le cas du plomb

Le plomb (tableau 1, page 6), élément du groupe IV-A du tableau périodique, de masse atomique 207,2 g/mol, possède une densité élevée de 11,3 g.cm⁻³. Le plomb possède un point de fusion de 327°C et sa température d'ébullition est d'environ 1700°C. Il est difficilement détruit,

Et non dégradable (**Morlot, 1996**). Dans le sol, le Pb peut se retrouver sous forme ionique, dissoute, ou liée plus ou moins fortement aux particules (**Raskin et Ensley, 2000**). L'accumulation de Pb, provenant des retombées atmosphériques, ou de déchets contaminés déposés sur le sol, se fait principalement dans les horizons de surface (**Steckeman et al., 2000**) et plus précisément dans les horizons riches en matière organique. Les teneurs en Pb diminuent, ensuite, plus en profondeur (**de Abreu et al., 1998**). Ceci s'explique par le fait que le Pb est peu mobile. Etant principalement associé aux argiles, aux oxydes, aux hydroxydes de fer et à la matière organique, il n'est mobile que lorsqu'il forme des complexes organiques solubles et/ou que le sol a dépassé sa capacité d'absorption pour le Pb (**Morlot, 1996 ; Raskin et Ensley, 2000**). Les principales sources de contamination en Pb sont les rejets anthropiques. Ils proviennent principalement des industriels qui extraient et purifient le Pb naturel et qui recyclent les composants contenant du Pb comme les batteries.

2.2.2. 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**).

2.2.3. Notion de phytodisponibilité

La notion de phyto-disponibilité découle de la biodisponibilité, qui peut être définie comme l'aptitude d'un élément à être transféré d'un compartiment du sol vers un organisme vivant. Lorsque l'organisme vivant est une plante, on parle de phytodisponibilité (**Baize, 1997**).

2.2.4. Absorption

Au départ, le Pb^{2+} présent dans la solution du sol se lie aux groupements carboxyle de l'acide uronique composant le mucilage autour des racines (**Sharma et Dubey, 2005**). Constitue ainsi une protection du système racinaire. Une fois adsorbé à la surface des racines, la voie

apoplastique pourrait être une voie importante pour le plomb qui peut être immobilisé par les charges négatives des parois cellulaires. Il aurait donc tendance à s'accumuler dans l'espace libre, étant fortement lié aux groupements carboxyliques des composés pectocellulosiques des parois. Des études ont montré que le plomb était majoritairement présent dans l'apoplaste et que seule une faible proportion pénétrait dans l'endoderme (**Tung et Temple, 1996**).

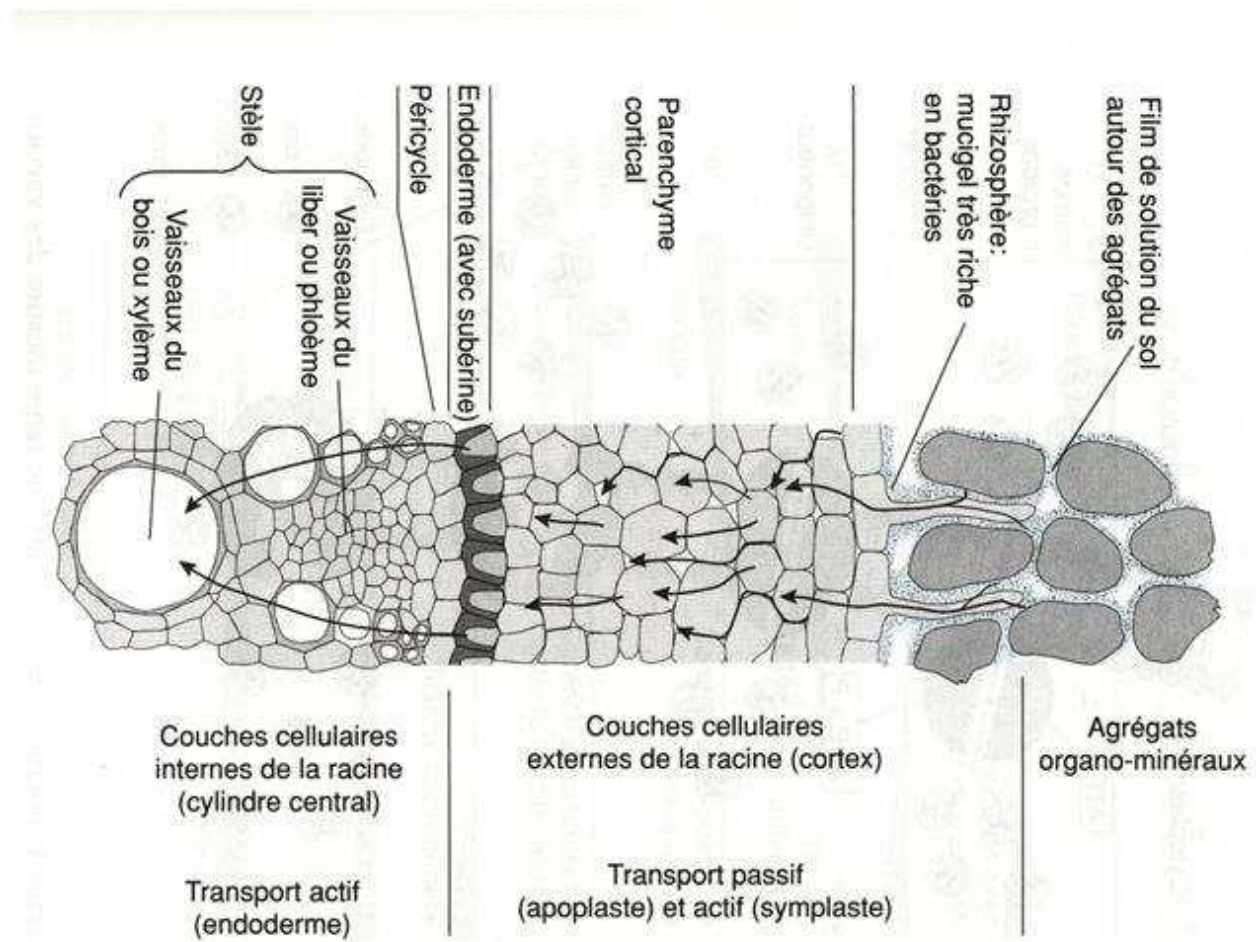


Figure 4 : Coupe transversale de racine, avec le passage des ions selon les voies symplastiques et apoplastiques (**Gobat et al., 1998**).

2.3. Toxicité du plomb

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. Tout d'abord le mucilage sécrété au niveau de la coiffe, qui a la capacité de lier le plomb et donc de gêner son adsorption aux parois cellulaires. Mais pour pouvoir pénétrer dans la racine jusqu'au cylindre central, il doit également passer à travers la paroi cellulaire et la membrane plasmique qui possèdent de nombreux sites de fixation pour le plomb. Quand le plomb a réussi à passer à travers ces barrières de protection, il peut affecter de nombreux processus physiologiques de la plante. Les premiers effets ne provoquent pas de symptômes visibles, ceux-ci ne se manifestant qu'en cas de toxicité avancée (Seregin et al, 2004 ; Sharma et Dubey, 2005).

2.3.1. Action sur les activités enzymatiques

Le plomb peut inhiber l'action de certaines enzymes, notamment celles qui possèdent un groupement -SH, ce dernier présentant une forte affinité pour le plomb. Dans la plupart des cas, l'inhibition se fait par interaction du plomb avec ce groupement qui est indispensable pour l'activité et le bon fonctionnement des enzymes. Le plomb affecte donc la conformation de nombreuses enzymes, les empêchant de fonctionner convenablement. Parmi les enzymes fondamentales qui peuvent être inhibées par le plomb, se trouvent des enzymes impliquées dans la biosynthèse de la chlorophylle ou bien la RUBISCO qui permet la fixation du CO₂. L'inhibition de ce type d'enzymes entraîne une forte perturbation de la photosynthèse. Ceci entraîne une réduction de la teneur en chlorophylle ainsi que celle de tous les pigments photosynthétiques, et également une croissance réduite des feuilles. Une concentration plus élevée en plomb provoque une substitution de l'atome de magnésium au centre de la molécule de chlorophylle par un atome de plomb, provoquant un arrêt de la photosynthèse. La photosynthèse reste de ce fait un des mécanismes les plus affectés par la présence du plomb. (Adriano, 1986).

2.3.2. Effets sur la nutrition minérale

Le plomb affecte également la nutrition minérale, en perturbant le prélèvement et le transport des nutriments par la plante, tels que Ca, Fe, Mg, Mn, P et Zn en bloquant leur entrée ou en se liant à eux, les rendant indisponibles pour les plantes. A montré que la présence de plombs entraînait une diminution du contenu en potassium dans tous les tissus du concombre, ainsi qu'une diminution du calcium dans les cotylédons et l'hypocotyle, mais aussi du fer dans

les racines. Le plomb affecte aussi le métabolisme azoté en diminuant le prélèvement de nitrate et en perturbant le fonctionnement du nitrate réductase (**Seregin et Ivanov, 2001**).

2.3.3. Croissance et morphogénèse

Globalement, 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. Ceci avait déjà été mis en évidence il y a près de 80 ans par (**Hammett, 1929**) qui avait montré une diminution de l'index mitotique dans les racines de maïs et d'oignon, provoquée par la présence de Pb (NO₃), et qu'il avait expliqué par la fixation du plomb sur les groupements -SH des protéines.

Deuxième partie : partie expérimentale

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

1. Objectif de l'expérimentation

Notre expérimentation est basée sur la mise en germination des grains d'*Atriplex*; une espèce locale *Atriplex halimus L* sous effets des métaux lourds afin d'évaluer sa tolérance à certains stress, au stade de germination en Tébessa. Dans le but de valoriser ces espèces en découvrant la capacité de résistance de ces plantes aux conditions agressives extérieures liées aux régions de leur répartition et à la lutte contre différentes problématiques de l'environnement.

2. Matériel végétal

2.1. Décorticage des graines

Dès la récolte, les graines des quatre provenances ont été soigneusement dépoussiérées, puis séchées dans l'étuve pendant 24 heures à 45°C pour faciliter leur décorticage manuel, L'enlèvement des valves fructifères semble éliminer les inhibiteurs chimiques qui restreignent la germination (Osman et Ghassali, 1997).

2.2. Stérilisation des graines (Fatarna, 2007)

Les graines débarrassées de leurs valves fructifères ont subi le protocole de stérilisation suivant :

- 1) Trempage dans un bain d'éthanol à 95% pendant quelques secondes ;
- 2) Trempage dans un bain d'eau de Javel à 50% pendant 15 minutes ;
- 3) Trois passages successifs dans des bains d'eau distillée stérile de 10 minutes chacun.

3. Essai de germination

L'essai de germination s'est déroulé selon une expérience complètement aléatoire et randomisée, avec cinq répétitions (R1, R2, R3, R4 et R5) et cinq traitements : C0, C1, C2, C3 et C4. Les semences désinfectées préalablement sont placées sur des rondelles de papier filtre

tapissant les boîtes de pétries. Les traitements par les concentrations préparées (0, 2000, 4000, 6000 et 8000 ppm) sont faits à partir des métaux Zn et Pb. Les graines sont imbibées à raison de 25ml de solution chaque 48 heures. L'eau d'irrigation est substituée par une solution nutritive (Tableau 3). Les variétés sont cultivées sous les conditions du laboratoire.

Tableau 3 : Composition de la solution nutritive de Hoagland (**Hoagland and Arnon, 1950**)

Eléments minéraux	Concentration mg/L
(NH ₄) ₂ HPO ₄	115,3
de B(OH) ₃	2,86
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	656,4
CuSO ₄ .5 H ₂ O	0,08
Fe(C ₄ H ₄ O ₆) ₃ .2 H ₂ O	5,32
MgSO ₄ .7 H ₂ O	240,76
MnCl ₂ .4H ₂ O	1,81
MoO ₃	0,016
KNO ₃	606,6
ZnSO ₄ .7 H ₂ O	0,22

4. Les paramètres germinatifs

4.1. La précocité de la germination

En générale chaque espèce dispose d'une précocité de germination signifie à sa nature, car même placée dans les mêmes conditions expérimentales, le début d'apparition de la racicule à travers la membrane n'aura pas lieu en même temps chez toutes les graines (**Ranard, 1997**). Ce paramètre déterminé lorsque nous observons les premières graines germées, il est exprimé par le taux des premières graines germées (**Belkhodja, 1996**).

4.2. Taux de germination

La germination est notée par comptage effectué toutes les 24 heures, jusqu'au 10^{ième} jour. Le pourcentage de graines germées est déterminé par le rapport entre le nombre des plantules normales développées sur le nombre total de graines incubées (**Ista, 2003**), d'où :

$$G (\%) = 100 \left(\frac{NGG}{NTG} \right)$$

G (%) : est le pourcentage de germination.

NGG : est le nombre des graines germées.

NTG : est le nombre total des graines incubées.

Toute plantule dont la longueur de la radicule est égale ou supérieure à 2 mm est considérée comme normale (**Ista, 2003**).

4.3. Vitesse de germination (VG)

La vitesse de germination est définie selon **Côme (1970)** comme étant le temps mis par les semences pour germer ; elle peut s'exprimer par un pourcentage, un temps ou un coefficient. Nous l'avons exprimée en taux selon la relation de Kotowski (1926) :

$$VG = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n}{N_1T_1 + N_2T_2 + N_3T_3 + \dots + N_nT_n}$$

N₁ : nombre de graines germées au temps T₁

N₂ : nombre de graines germées entre T₁ et T₂

4.4. Cinétique de la germination (CG)

Elle correspond à la courbe de l'évolution du taux quotidien cumulé de germination pendant une période de 7 jour calculée sur la base du nombre de graines nouvellement germées à chaque observation (**Hajlaoui et al., 2007**).

5. Traitement de données et analyse statistique.

L'analyse statistique des données obtenues a été réalisée en utilisant le logiciel STATISTICA. La méthode utilisée est ANOVA factoriel.

6. Resultats

6.1. La longueur de la racine d'*Atriplex halimus*

Dans ce cas, nous étudions les effets de différentes concentrations de Pb (CH₃COO)₂ et Zn SO₄ sur la longueur du radicule d'*Atriplex halimus* (Figure 01).

Où nous remarquons dans le cas du témoin une longueur de racine normale allant jusqu'à 5cm.

6.1.1. Effets de concentration en Zn sur la longueur du radicule d'*Atriplex halimus*

Selon notre étude de l'effet des métaux lourds sur la plante *Atriplex halimus* L, il s'avère que le Zn affecte négativement la croissance des plantes comme le montrent les résultats.

Où nous remarquons qu'à 0 concentration de Zn la longueur du radicule d'*Atriplex halimus* est 5.100 cm et lorsque la concentration de Zn commence à augmenter, la longueur du radicule d'*Atriplex halimus* à diminuer.

Lorsque Zn est présent à une concentration de 2000 ppm, on enregistre une légère diminution de la longueur de la racine d'*Atriplex halimus* jusqu'à 4.400 cm et à chaque fois que la concentration de Zn augmente, on enregistre une diminution significative du radicule d'*Atriplex halimus* jusqu'à 2.367 cm en 4000 ppm et 2.333 cm en 6000 ppm et 2.400 cm en 8000 ppm.

Ici, il devient clair que le Zn est l'un des obstacles auxquels la plante *Atriplex* en général et la plante *Atriplex halimus* L en particulier sont exposés au cours de son cycle de vie.

6.1.2. Effets de concentration en Pb sur la longueur de la racine d'*Atriplex halimus*

Aussi, l'étude de l'effet du plomb métal sur la plante *Atriplex* a montré que le plomb a le même effet que le zinc, mais plus fortement, comme le montrent les résultats suivants

Lorsque Pb est présent à une concentration de 2000 ppm, on enregistre une légère diminution de la longueur du radicule d'*Atriplex halimus*, jusqu'à 3 cm, tandis qu'à une concentration 6000

ppm de Pb, on enregistre également une diminution de la longueur du radicule *d'Atriplex halimus*, mais inférieure à la concentration 4000 ppm de Pb, qui atteint 2,833 cm dans la concentration 6000 ppm de Pb et 2 cm, dans concentration 4000 ppm et à une concentration 8000 ppm de Pb, on remarque une forte rétraction, où la longueur de la racine atteint 1,267 cm. Et à partir de là, nous concluons que le plomb a un effet très sévère sur la croissance de cette plante.

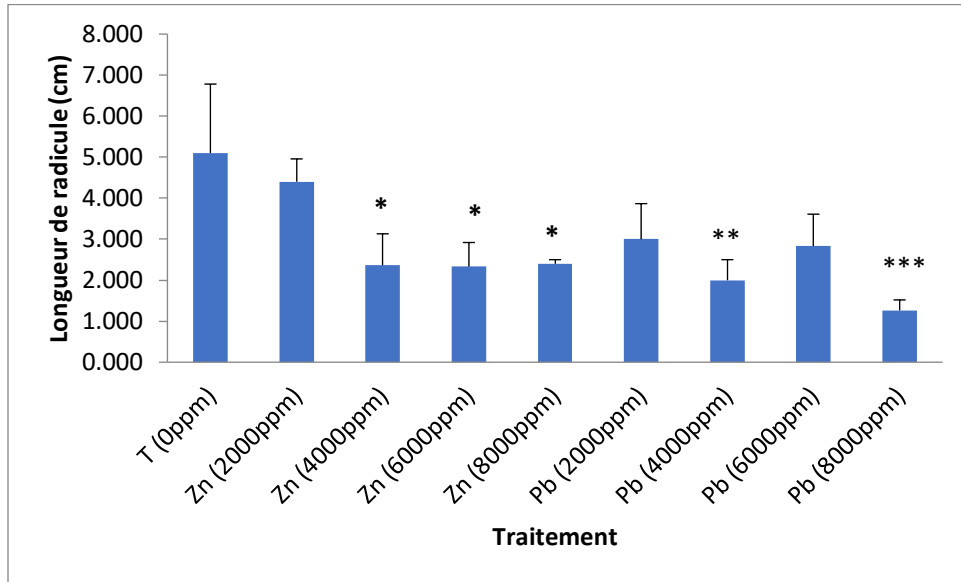


Figure 05. Effets des différentes concentration en Pb (CH₃COO)₂ et Zn SO₄ sur la longueur du radicule *d'Atriplex halimus*.

6.2. La vitesse de germination *d'Atriplex halimus*

Dans ce cas, nous étudions les effets de différentes concentrations en Pb (CH₃COO)₂ et Zn SO₄ sur la vitesse de germination *d'Atriplex halimus* (Figure 02). Où nous remarquons dans le cas du témoin la vitesse de germination *d'Atriplex halimus* allant jusqu'à 35 %.

6.2.1. Effets de concentration en Zn sur la vitesse de germination *d'Atriplex halimus*

Selon notre étude de l'effet des métaux lourds sur la plante *Atriplex halimus L*, il a été démontré que le Zn ralentit la vitesse de germination *d'Atriplex halimus*

Où nous remarquons qu'à 0 concentration de Zn la vitesse de germination d'*Atriplex halimus* est 35.393 %.

Lorsqu'il y a du Zn à une concentration de 2000ppm, il y a une légère diminution de la vitesse de germination, atteignant 27.613% , et 26.223 % en 4000ppm de Zn et 25.150 % en 6000ppm de Zn plus la concentration de Zn est élevée, plus la diminution de la vitesse à 22.797 % à la concentration de 8000ppm de Zn.

6.2.2. Effets de concentration en Pb sur la vitesse de germination d'*Atriplex halimus*

Lorsque le Pb est présent à des concentrations de 2000 ppm, une légère diminution du vitesse de germination de 21.843% et à 4000 ppm et en 6000 ppm indique une diminution significative de 16.430% et 18.127%, respectivement la hauteur revient aussi à la concentration 8000 ppm à la valeur 21.210%.

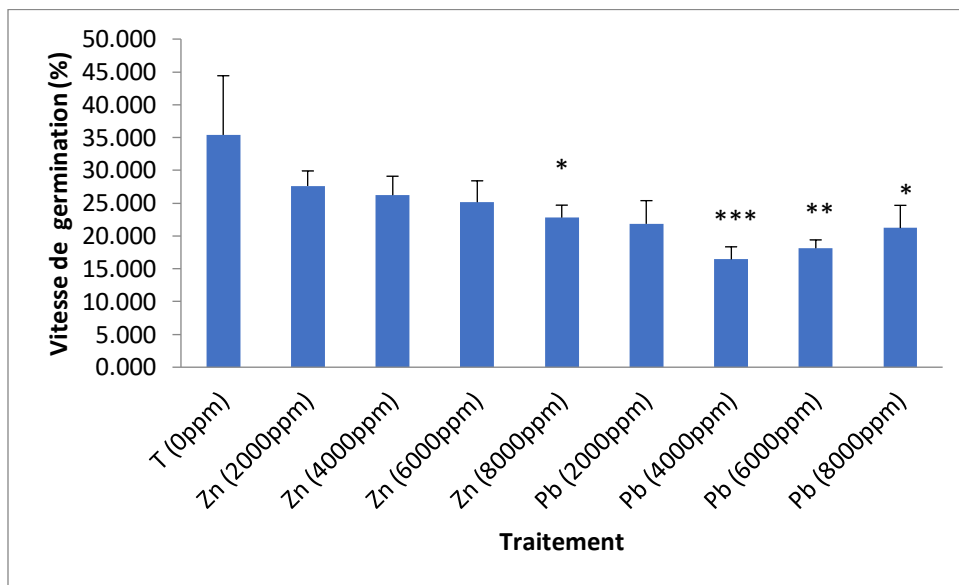


Figure 06. Effets des différentes concentration en Pb (CH₃COO)₂ et Zn SO₄ sur la vitesse de germination d'*Atriplex halimus*.

6.3. Le taux de germination

Dans ce cas, nous étudions les effets de différentes concentrations en Pb (CH₃COO)₂ et Zn SO₄ sur le taux de germination d'*Atriplex halimus* (Figure 03).

Où nous remarquons dans le cas du témoin le taux de germination d'*Atriplex halimus* allant jusqu'à 46 %.

6.3.1. Effets de concentration en Zn sur le taux de germination d'*Atriplex halimus*

Où nous remarquons qu'à 0 concentration de Zn le taux de germination d'*Atriplex halimus* est 46.667 et lorsque la concentration de Zn commence à augmenter, le taux de germination d'*Atriplex halimus* à augmenter.

Lorsque Zn est présent à une concentration de 2000 ppm, on enregistre une légère augmentation de le taux de germination d'*Atriplex halimus* jusqu'à 50% et à chaque fois que la concentration de Zn augmente, on enregistre une augmentation significative le taux de germination d'*Atriplex halimus* jusqu'à 65% en 4000 ppm et 71.667% en 6000 ppm et 78.333% en 8000 ppm.

Et ici, nous concluons que le Zn augmente le taux de germination d'*Atriplex halimus*.

6.3.2. Effets de concentration en Pb sur le taux de germination d'*Atriplex halimus*

Quant à l'effet du plomb sur le taux de germination, il diminue le taux de germination, et cela est montré par les résultats suivants

Lorsque Pb est présent à une concentration de 2000 ppm, on enregistre une légère diminution de le taux de germination d'*Atriplex halimus* jusqu'à 45% et à une concentration de 4000 ppm, il revient à la même valeur que la condition témoin 46.667 % et en 6000 ppm et 8000 ppm jusqu'à 40% et 35% on order.

Et ici, nous concluons que le Pb diminuer le taux de germination d'*Atriplex halimus*.

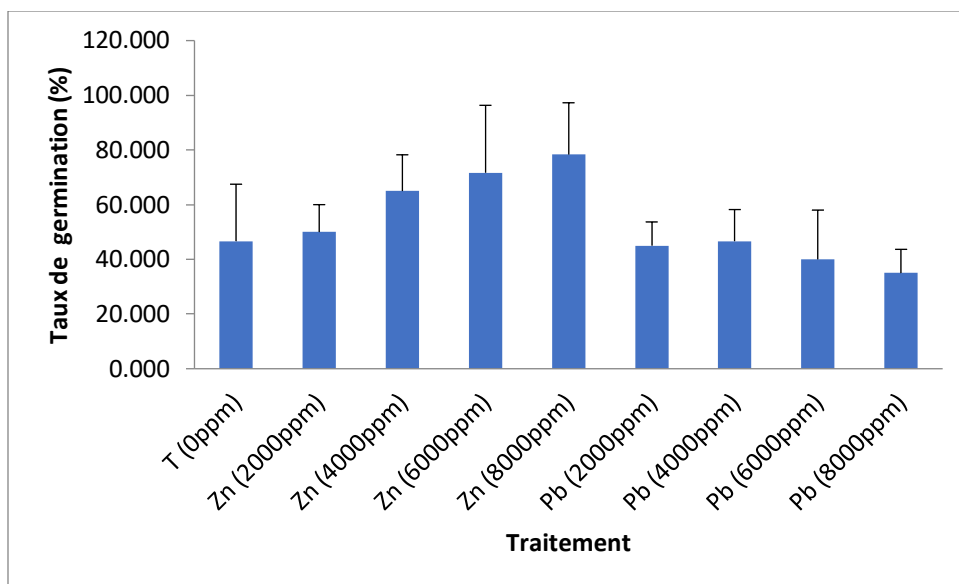


Figure 07. Effets des différentes concentration en Pb (CH₃COO)₂ et Zn SO₄ sur le taux de germination d'*Atriplex halimus*.

6.4. Cinétique de la germination des graines d'*Atriplex halimus*

Dans ce cas, nous étudions la cinétique de la germination des graines (%) d'*Atriplex halimus* sous l'effet des différentes concentrations en Pb (CH₃COO)₂.

6.4.1. Sous l'effet des différentes concentrations en Pb (CH₃COO)₂

L'étude de la cinétique de germination illustre combien la germination s'amplifie dans l'ensemble des lots. La courbe montre les variations des cinétiques de germination en fonction des traitements métalliques (Pb). Les résultats montrent que, dans toutes les concentrations de Pb et après 3, 5 et 7 jours de mise en germination, a enregistré des taux d'imbibition significativement plus élevés (30 %, 31 %, 43 % et 46 %).

Les traitements métalliques induisent des modifications significatives de la cinétique de germination et ce par augmentation des taux de Pb.

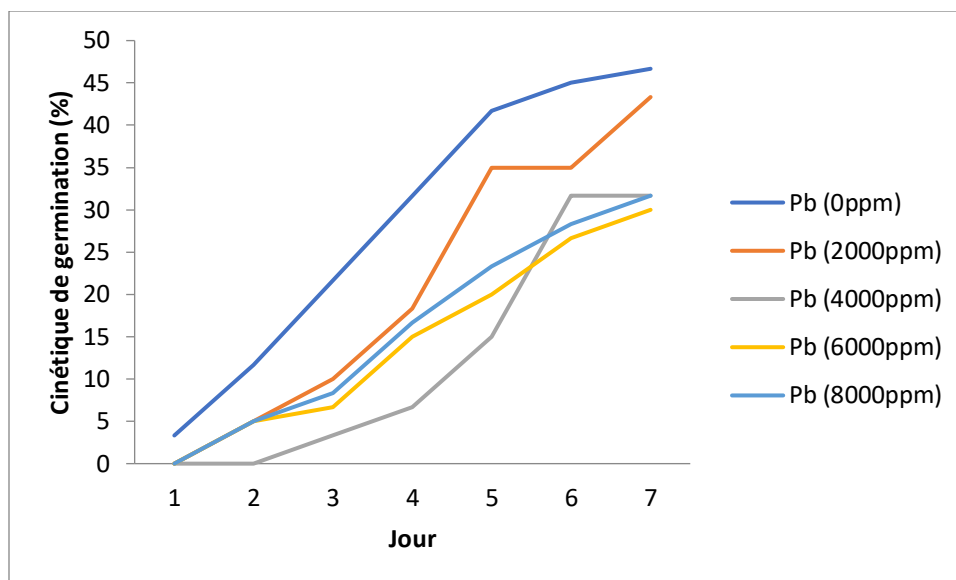


Figure 08. Cinétique de la germination des graines (%) d'*Atriplex halimus* sous l'effet des différentes concentration en Pb (CH₃COO)₂.

6.4.2. Sous l'effet des différentes concentration en Zn SO₄

L'étude de la cinétique de germination illustre combien germination s'amplifie dans l'ensemble des lots. La courbe montre les variations des cinétiques de germination en fonction des traitements métalliques (Zn). Les résultats montrent que, dans toutes les concentrations de Zn et après 3, 5 et 7 jours de mise en germination, a enregistré des taux d'imbibition significativement plus élevés (46 %, 61 % 70 % et 73 %).

Les traitements métalliques induisent des modifications significatives la cinétique de germination et ce par augmentation des taux Zn.

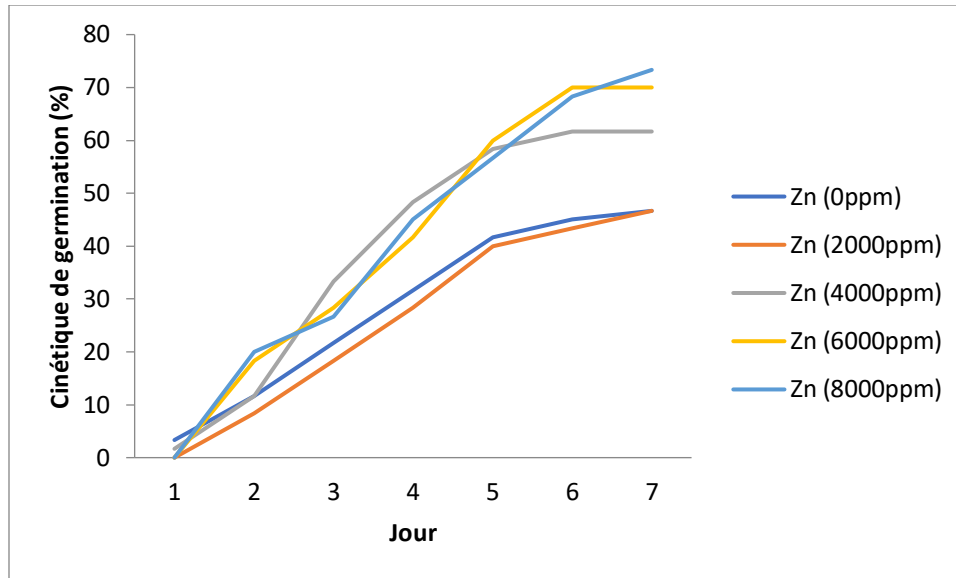


Figure 09. Cinétique de la germination des graines (%) d'*Atriplex halimus* sous l'effet des différentes concentration en Zn SO₄.

7- Discussion

Dans cette étude, la germination des graines *d'A. halimus* a été étudiée en réponse à des stress métalliques. Les résultats montrent que le taux de germination des graines est supérieur sous l'effet de Zn par rapport le Pb, il existe des variations inter- et intraspécifiques des germinations des graines soumises à un stress métallique. Chez plusieurs espèces végétales, le tégument assure une très haute protection contre les stress abiotiques, et les fortes variations interspécifiques des morphologies de ces téguments peuvent affecter leur perméabilité aux métaux (**Moise et al., 2005**). Dans cette recherche, les métaux zinc et plomb sont testés pour expliquer une part de la tolérance des graines *d'A. halimus* aux métaux lourds. Parmi ces métaux, le plomb de 68 caractérise par une solubilité limitée. Selon **Huang et al. (1997)**, pour la plupart des sols contaminés par le plomb, le taux du Pb dissout dans la solution du sol est moins de 0,1 % du Pb total, ainsi la disponibilité du plomb aux plantes reste limitée. Les chercheurs ont démontré que le plomb est rapidement accumulé dans les racines s'il est biodisponible dans la rhizosphère. Cependant, seule une proportion minime du métal absorbé est acheminée vers la végétation aérienne (**Kumar et al., 1995**).

Pratiquement, la bibliographie abordant l'intérêt de la chélation lors des études de la tolérance des graines au plomb, est rare. Nos résultats montrent que les graines ont réagi différemment aux traitements au plomb durant les phases de germination étudiées. Les graines *d'A. halimus* ont montré des cinétiques d'imbibition différentes en relation avec le métal en question. Le plomb et le zinc ont permis d'obtenir des taux d'imbibition plus élevés que ceux des témoins imbibés par de l'eau distillée. Ces résultats montrent que, même à des concentrations extrêmement élevées (jusqu'à 8 000 ppm) pour ces métaux, les taux d'imbibition demeurent importants et favorables à une réhydratation optimale des téguments. **Almansouri et al., (2001)** expliquent que l'imbibition ne se réalise que si les forces de l'eau au niveau du milieu de germination sont plus faibles que celles d'appel exercées par les tissus de la graine ; en d'autres termes, le potentiel hydrique de la graine doit être inférieur à celui du milieu de germination. L'augmentation des taux d'imbibition par le Pb et le Zn pourrait être expliquée par leur adsorption sur les cellules du tégument. Ces résultats corroborent ceux trouvés par **Di Salvatore et al. (2008)** qui ont montré que le tégument constitue une barrière entre l'embryon et son environnement immédiat pour l'adsorption des

métaux. **Lefèvre et al. (2009)** ont expliqué l'effet inhibiteur de fortes concentrations de Zn sur la germination, et non pas sur l'imbibition, par le fait que ce métal induit ses effets après imbibition, C'est-à-dire une fois en contact avec les cellules de l'embryon et des tissus qui l'entourent. Plusieurs auteurs ont évoqué le phénomène d'adsorption d'eau en analysant l'impact des métaux sur la germination des graines (**Souahi et al., 2017 ; Souahi et al., 2021 ; Arauj 2005**).

Au terme de ce travail, il est possible de retenir les éléments suivants :

Les métaux lourds sont des polluants nocifs pour l'environnement, et il y a un intérêt considérable dans l'utilisation des plantes accumulatrices de métaux pour leur phytoextraction à partir des terres contaminées (**Steven et al., 2001**). Plusieurs espèces appartenant au genre *Atriplex* sont bien adaptées à des conditions expérimentales extrêmes et peuvent présenter des propriétés intéressantes à cet égard (**Martinez et al., 2003**).

Selon nos observations, les plantes de *Atriplex halimus L* semblent présenter une tolérance au plomb car elles survivent à la présence de fortes concentrations de ce métal dans le milieu de culture pendant 14 jours en restant vertes

Le pouvoir phytoaccumulateur en plomb de *Atriplex halimus L* est évalué dans nos conditions à travers les taux d'accumulations positivement corrélés aux concentrations de plomb fournies.

Le plomb est majoritairement retenu par les racines, mais en présence du chélateur, il est efficacement transporté vers le système foliaire où il est accumulé.

Par ailleurs et la salinité diminue l'absorption de plomb par les racines et sa translocation vers les parties aériennes des plantes *Atriplex halimus L*.

Ces résultats contribuant à mettre en évidence les potentialités de *Atriplex halimus L*, ne peuvent être qu'une initiation à une recherche multidisciplinaire devant être poursuivie pour comprendre les mécanismes d'ordres divers, mis au point par les plantes face à la présence de plomb, certainement plus complexes.

Conclusion

Plusieurs recherches ont mis la lumière sur les mécanismes physiologiques et biochimiques qui, ensemble avec les caractéristiques morphologiques et anatomiques d'*Atriplex halimus* L, contribuent à sa remarquable tolérance aux stress abiotiques, en l'occurrence la salinité, la sécheresse, les températures extrêmes et la contamination des sols par les éléments traces métalliques. Les études de la tolérance à la salinité des graines d'*A. halimus* démontrent que, comme la plupart des halophytes, cette espèce est très sensible à la salinité au stade de la germination. En outre, les fortes concentrations de sel inhibent sa germination, mais ne tuent pas la graine. Les graines des halophytes tolèrent la salinité durant leur séjour dans le sol et germent quand le niveau de salinité est réduit. Cette stratégie est un critère de tolérance au stress salin qui les distingue des glycophytes. En analysant les mécanismes d'action du sel sur les graines suggèrent que l'influence du NaCl est une combinaison d'effets osmotiques et d'effets toxiques dus à l'action spécifique de l'ion. Les résultats dégagés dans notre étude montrent qu'*A. halimus* peut germer dans des milieux fortement pollués par les métaux zinc, plomb. De ce fait, la culture de cette espèce souvent recommandée pour la phytostabilisation des sites pollués par les métaux, pourrait être établie par semis. La cinétique d'imbibition, le taux de germination et la cinétique de croissance racinaire constitueraient des marqueurs intéressants pour le criblage d'écotypes tolérants aux métaux au cours de leur germination. La germination dans les concentrations proposées dans notre approche (jusqu'à 8 000 ppm) montre les fortes potentialités d'*A. halimus* qui pourrait présenter les caractéristiques d'une plante modèle pour élucider les stratégies biochimiques et moléculaires impliquées dans le phénomène de tolérance des graines aux métaux.

De mon point de vue personnel, cette plante peut être une raison pour la croissance d'autres plantes à côté d'elle en raison de sa tolérance aux fortes concentrations des métaux lourds, ce qui réduit son effet sur les plantes de son environnement.

Références bibliographiques

Addioui, A. & Baaziz, M. 2006. Effect of salinity on seed germination and early growth of five natural populations of *Atriplex halimus L.* In Morocco; *Physiol. Mol. Biol. Plants* 12, 247-251.

Adriano D.C. (1986). Trace elements in the terrestrial environment. 219-262.

Adriano, D.C., 2001. Trace elements in terrestrial environments; Biochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg.

Agric., Vol. 33: 149- 156.

Arduini I, Masoni A, Mariotti M, Ercoli L. 2004. Low cadmium application increase miscanthus growth and cadmium translocation. *Environmental Experimental Botany.* 52, 89- 100

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

Baker, A.J.M. et Walker, P.L., 1990. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. In: Heavy metal tolerance in plants-Evolutionary aspects. Shaw, A. (Eds). CRC Press, 155-177.

Belkhouja M. (1996). Action de la salinité sur le comportement physiologique métabolique chez la fève (*Vicia faba L.*). Thèse de doctorat. Université d'Oran. 255 p

Belkhouja, M. et Bidai, Y., 2004. Réponse des graines d'*Atriplex halimus L.* à la salinité au stade de la germination. *Laboratoire de physiologie végétale, Université Senia Oran Algérie Sécheresse* 2004, Vol. 15 (4): 331-5.

BINET (P.), 1967. - Culture sans sol de *Cochlearia arzgliea L.* *Rev. gén. Bol.*, 74, 135-156

Chaoui A, El Ferjani E. 2004. Impact of cadmium and copper excess on cell wall peroxidases in Pea stems. *Pakistan Journal of Biological Sciences.*7, 902-904.

Chaussat, R et Ledeneuf, Y. (1975). La germination des semences. Ed.Bordas. Paris. BRUXELLES MONTREAL.

Clemens S. (2006) Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of

tolerance in plants. *Biochimie*. 88: 1707-1719

Côme D., 1970- Les obstacles à la germination (monographie et physiologie végétale). Masson et Cie (Ed.) Paris, 162p.

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

Dahmani-Müller H, van Oort F, Balabane M. 2001. Metal extraction by *Arabidopsis halleri* grown on an unpolluted soil amended with various metal-bearing solids: a pot experiment. *Environmental Pollution*. 114, 77-84.

Das P, Samantaray S, Rout GR. 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. *Environmental Pollution*. 98, 29-36.

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

De la Rosa, G., Peralta-Videa, J.R., Montes, M., Parsons, J.G., Cano-Aguilera, I., Gardea-Torresdey, J.L., 2004. Cadmium uptake and translocation in tumbleweed (*Salsola kali*), a potential Cd-hyperaccumulator desert plant species: ICP/OES and XAS studies. *Chemosphere* 55, 1159-1168. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.01.028

Deysson G., 1967- Physiologie et biologie des plantes vasculaires, croissance, production, écologie, physiologie. Ed Société d'édition déneigement supérieur. Paris, 335p.

Ebbs S, Uchil S. 2008. Cadmium and zinc induced chlorosis in Indian mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern] involves preferential loss of chlorophyll b. *Photosynthetica*. 46, 49-55.

Evenari M., 1957. Les problèmes physiologiques de la germination. *Bull. Soc. Fr. Physiol. Vég.*, 3, 105-124

Fatarna, L., 2007. Culture in vitro d'*Atriplex halimus* L. et étude de l'impact des

éléments traces métalliques (plomb, zinc et cuivre) sur la germination et la croissance.
Thèse de Magister en Biotechnologie végétale. Université de Mostaganem, 86-52.

fruiting bracts on the germination of *Atriplex halimus* and *Salsola vermiculata*. Expl.

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

Gobat J.M., Aragno M. et Matthey W. (1998). Le sol vivant – Base de pédologie – Biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes. Collection gérer

Guyot L., 1978- La biologie végétale. 4ème édition. Collection "que sais-je ". Presses Universitaires de France, 127p

Haguenoer JM, Dubois G, Frimat P, Cantineau A, Lefrançois H, Furon D. 1981. Mortality due to broncho-pulmonary cancer in a factory producing pigments based on lead and zinc chromates. In: Prevention of occupational cancer - International symposium, occupational safety and health, Geneva, Switzerland, Eds. 168-176.

Hajlaoui H., Denden M., et Bouslama M., 2007- Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade de germination. *Tropicultura*, Vol 25(3), p. 168-173.

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

Hasenstein KH, Evans ML, Stinemetz CL, Moore R, Fondren WM, Koon EC, Higby MA, Smucker AJ. 1988. Comparative effectiveness of metal ions in inducing curvature of primary roots of *Zea mays*. *Plant Physiology*. 86, 885-889.

Heller, W., Etienne, M.A., & Miller, G.A. (1995). Patterns of perceptual asymmetry in depression and anxiety: Implications for neuropsychological models of emotion and

psychopathology. Journal of Abnormal Psychology, 104, 327±333

Hoagland, D.R. et Arnon, D.I., 1950. The Water Culture Method for Growing Plants Without Soil. California Agricultural Experiment Station, Berkeley. Circular, Vol. 347 : 1-32.

Hopkins, G.W., 2003. Physiologie végétale. 1^{ère} Ed. Ed. De Boeck, 514 p.

Huynh (2009). Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante / ver de terre / microflore tellurique ; Thèse de Doctorat. Université Paris Est 169 p.

ISTA (2003) ISTA handbook on seedling evaluation. 3rd ed. International Seed Testing Association.

Kabata-Pendias, A. et Pendias, H., 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press, London l'environnement, p 14.

Lafon, J. P. Tharaud-Prayer, C. et Levy, G. 1996. Biologie des plantes cultivées. Ed. Lavoisier Tec & Doc, Paris.233p.

Lange, O. L., Koch, W., Schulze, E.-D.: CO₂-Gaswechsel und Wasserhaushalt von Pflanzen in der Negev-Wüste am Ende der Trockenzeit. Ber. dtsh. Bot. Ges. (1969)

Loué A. (1993). Oligo-éléments en agriculture. Ed. Nathan (ed), 45-177.

Martinez, JP 2003: Effect of water stress on growth, Na + and K + accumulation and water use efficiency in relation to osmotic adjustment in two populations of *Atriplex halimus L.*

Mazliak, P., 1982. Physiologie végétale « Croissance et développement ». Vol. 2. Ed. Herman, 461 p.

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

Morlot M. (1996). Aspects analytiques du plomb dans l'environnement, Ed Lavoisier

TEC&DOC.

Osman, A.E. et Ghassali, F., 1997. Effect of storage conditions and presence of

Patra, M., Bhowmik, N., Bandopadhyay, B. et Sharma, A., 2004. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environ Exp Bot.*, Vol. 52 : 199-223.

Raskin I. and Ensley B.D. (2000). Phytoremediation of toxic metals; using plants to clean up the environment. John Wiley and Sons, New York.

Salt, D.E., Smith, R.D. et Raskin, I., 1998. Les mécanismes de la phytoaccumulation cellulaire. La phytotolérance chez les plantes hyperaccumulatrices. I. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant. Physiol.*, Vol. 49: 643-668.

Seregin I.V. and Ivaniov V.B. (2001). Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Russian Journal of Plant Physiology* 48: 606-630.

Seregin I.V., Shpigun L.K. and Ivanov V.B. (2004). Distribution and toxic effects of Cadmium and Lead on maize roots. *Russian Journal of Plant Physiology* 51 (4): 525-533.

Sharma P. and Dubey R.S. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17 (1): 35-52.

Singh M., Kumar J., Singh S., Singh V.P. et Prasad S.M., 2015- Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review *Rev. Environ Sci Biotechnol* September, Volume 14, Issue 3, pp 407-426.

Singh, A.L., Basu, M.S. et Singh, N.B., 2004. Mineral Disorders of Groundnut. National Research Center for Groundnut (ICAR), Junagadh, India, 85 p.

Soltner D., 2007- Les bases de la production végétale tome III, la plante. Ed. Collection sciences et technique agricole Paris, 304p.

Souahi H., Gassarellil Z., Gharbi A., Meksem Amara L. (2021) Comparative Growth of Cereal Species Under Lead Stress. In: Ksibi M. et al. (eds) *Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions (2nd Edition)*. EMCEI 2019. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham.

Souahi Hana, Ahlem Gharbi, Zina Gassarellil, 2017. Growth and physiological responses of cereals species under lead stress. *International Journal of Biosciences* 11(1): 266-273.

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

Tang YT, Qiu RL, Zeng XW, Ying RR, Yu FM, Zhou XY. 2009. Lead, zinc, cadmium hyperaccumulation and growth stimulation in *Arabis paniculata* Franch. *Environmental and Experimental Botany*. 66, 126-134.

Tung G. and Temple P.J. (1996). Uptake and localization of lead in corn (*Zea mays* L.) seedlings, a study by histochemical and electron microscopy. *The Science of the Total Environment* 188: 71-85.

Wojcik M, Vangronsveld J, D'Haen J, Tukiendorf A. 2005. Cadmium tolerance in *Thlaspi caerulescens*. II. Localization of cadmium in *Thlaspi caerulescens*. *Environmental and Experimental Botany*. 53,163-171.

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

