



DEPARTEMENT DE BIOLOGIE
MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

BELAIDI Fatima Zohra

TAMERDJENT Khadidja

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN BIOLOGIE

Spécialité: Biodiversité et environnement

THÈME

**L'impact du plomb sur le taux, la vitesse de
germination et les paramètres anatomiques de
Moringa oléifera L.**

Soutenu publiquement le 23/06/2019

DEVANT LE JURY

Président :	Mme. MOSTARI. A	MAA	U. Mostaganem
Examineur :	M. MORTET.A	Doctorant	U. Mostaganem
Encadreur :	M. TAHRLM	MAA	U. Mostaganem
Co-encadreur	Mme. HAMAD. H	Doctorante	U. Mostaganem

Thème réalisé au laboratoire de biodiversité et conservation des eaux et des sols, Université de Mostaganem

Année universitaire : 2018/2019

Remerciement

Nos remerciements s'adressent en premier lieu à Dieu pour nous avoir donnés la force et le savoir pour élaborer ce modeste travail.

*Nous remercions respectueusement notre promoteur M. Tahri
Miloud, pour son précieux encadrement.*

*Nos remerciement s'adresse à notre co-encadreur melle Hamméd
Hanane pour sa patience et son soutien qui nous a été précieux afin
de mener notre travail à bon port.*

*Nous remercions Mme MOSTARI Abassia pour nous avoir honorés
en présidant notre jury.*

*Que soient remerciés M. MORTET Ahmed pour l'honneur qu'elles
nous ont fait en acceptant d'examiner et d'évaluer notre travail.*

*Nous profitons de cette occasion pour remercier l'ensemble des
Professeurs qui ont contribué a notre formation, et ainsi tous ceux
qui ont participé de près ou de loin a la réalisation de ce travail.*

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents.

A mon frère, mes sœurs et mes beaux-frères.

*À mon binôme Fatima, mes amis (es) et à tous
ceux qui me sont chers et proches.*

Merci d'être toujours là pour moi.

TAMERDJENT Khadidja

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes chères sœurs Chaïma et Haïfa pour leurs encouragements et leur soutien moral.

A mes chers frères Badreddine et Yacine pour leur appui et leur encouragement

À mon binôme Khadîdja, tous mes amis (es) et collègues Sans exception.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

BELAIDI Fatima zohra

Liste des Abréviations

ADN:	acide désoxyribonucléique
ALAD :	δ - Amino Levulinate Déshydratase
ARNm:	acide ribonucléique message
°C :	degré Celsius.
Cd:	cadmium
CO ₂ :	8Dioxyde de carbone.
Cu:	cuivre
EDDS :	Ethylenediamine- <i>N,N'</i> -disuccinic acid
EDTA :	Éthylènediaminetétraacétique
ERO :	Espèces Réactives de l'Oxygène.
ETM :	Les éléments traces métalliques
EPA	Etats-Unis. United States Environmental Protection Agency
Fe:	fer
Fig:	figure
g.M ⁻¹ :	gramme par mol
IRA:	Infections respiratoires aiguës
ITRC	Intertate Technology and Rgulatory Cooperation Work Group
mg :	milligramme.
min :	Minute.
Hg:	mercure
Ni:	Ni: nickel
Pb:	plomb
(Pb(NO ₃) ₂) :	nitrate de plomb
pH:	Potentiel d'hydrogène.
ppm:	partie par million
ROS :	Reactive oxygen species.
TG:	Le taux de germination
Zn:	zinc

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Métaux lourds dans la classification périodique.....	04
Tableau 2 :	Principales propriétés physico-chimiques du plomb.....	06
Tableau 3 :	Classification systématique de <i>Moringa oleifera</i> L.....	18
Tableau 4 :	Conditions environnementales de <i>Moringa oleifera</i> L.....	21

Liste des figures

Figure 1	Principaux méthodes de phytoremédiation.....	11
Figure 2	Processus de phytoextraction, absorption des contaminants présents dans le sol.....	12
Figure 3	Processus de la phytodégradation des contaminants au niveau du sol.....	13
Figure 4	Processus de la rhizo-dégradation des contaminants au niveau du sol.....	14
Figure 5	Processus de la phytostabilisation.....	15
Figure 6	Processus de la phyto-volatilisation.....	15
Figure 7	<i>Moringa oléifera</i> L.....	19
Figure 8	Feuilles de <i>Moringa oléifera</i> L.....	19
Figure 9	Fleurs de <i>Moringa oléifera</i> L.....	20
Figure 10	Graines de <i>Moringa oléifera</i> L.....	20
Figure 11	Courbe théorique des étapes de germination d'une semence.....	26
Figure 12	Site expérimental (laboratoire de biodiversité et conservation des eaux et des sols).....	28
Figure 14	Doses du plomb appliquées durant la germination des graines de <i>Moringa oléifera</i> L.....	29
Figure 15	Lavage de graines avec l'hypochlorite de sodium.....	30
Figure 16	Rinçage de graines avec l'eau distillé.....	30
Figure 17	Trempage de graines dans l'eau distillée.....	30
Figure 18	Germination des graines <i>Moringa oléifera</i> L.....	30
Figure 19	Produits et matériel utilisées dans la méthode de double coloration.....	32
Figure 20	Schéma de la méthode de double coloration.....	32
Figure 21	Effet du plomb sur le taux final de germination des graines de <i>Moringa oleifera</i> L.....	33
Figure 22	Effet du plomb sur la vitesse de germination des graines de <i>Moringa oleifera</i> L.....	34
Figure 23	Observation microscopique de coupes transversales des racines de <i>Moringa oléifera</i> L. à différentes concentrations de plomb.....	34
Figure 24	Observation microscopique de coupes transversales des tiges de <i>Moringa oléifera</i> L. à différentes concentrations de plomb.....	36

Résumé

La pollution par le plomb est devenue un véritable problème menaçant nos écosystèmes, avec des effets préjudiciables sur la production végétale et sur la biodiversité, sa présence à une forte dose provoque plusieurs perturbations à tous les stades de développement de la plante notamment la germination. *Moringa oleifera* L est une espèce végétale qui pousse en Asie et en Afrique, elle présente des potentialités importantes de clarification des eaux et de résistance au stress salin.

La présente étude a pour objectif d'évaluer l'effet du plomb sous forme du nitrate de plomb ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) sur le taux, la vitesse de germination, ainsi l'anatomie de la tige et de la racine des graines de *Moringa oléifera* L. Dans ce cadre les graines sont mises à germer dans des boîtes de pétrie contenant deux couches du papier filtre imbibé à des doses croissantes en Pb (0, 3, 5, 7 et 10 mM) appliquées à cinq répétition par traitement, incubées à l'obscurité dans une étuve réglée à 27°C pendant 15 jours. A la fin de l'expérimentation et au niveau du quinzième jour, on a effectué des coupes transversales au niveau des tiges et des racines de *Moringa oleifera* L.

Les résultats montrent que l'effet du plomb sur le comportement germinatif de *Moringa oleifera* L. se traduit par une diminution non significative du taux de germination des graines stressées par rapport au témoin où atteint 100% et de la vitesse de germination chez les graines stressées par rapport au témoin. La structure anatomique des racines et des tiges traitées n'a montré aucune anomalie significative par rapport au témoin.

Mots clés : Plomb, *Moringa oléifera* L., germination, taux et vitesse de germination, Stress métallique.

summary

Lead pollution has become a real problem threatening our ecosystems, with harmful effects on plant production and biodiversity, its presence at high doses causes several disruptions at all stages of plant development including germination. *Moringa oleifera* L is a plant species that grows in Asia and Africa, it has significant potential for water clarification and resistance to salt stress.

The objective of this study is to evaluate the effect of lead in the form of lead nitrate ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) on the rate, rate of germination, and anatomy of the stem and root of *Moringa oléifera* L seeds. In this context, the seeds are put to germinate in kneading boxes containing two layers of filter paper soaked in increasing doses in Pb (0, 3, 5, 7 and 10 mM) applied at five repetitions by treatment, incubated in the dark in an oven set at 27°C for 15 days. At the end of the experiment and on the fifteenth day, cross-sections were made on the stems and roots of *Moringa oleifera* L.

The results show that the effect of lead on the germination behaviour of *Moringa oleifera* L. is reflected in a non-significant decrease in the germination rate of stressed seeds compared to the control where it reaches 100% and in the germination rate in stressed seeds compared to the control. The anatomical structure of the treated roots and stems showed no significant anomalies compared to the control.

Keywords: Lead, *Moringa oléifira* L., germination, rate and germination rate, Metal stress.

ملخص

أصبح تلوث بنترات الرصاص مشكلة حقيقية تهدد النظام الإيكولوجي ، بما لها من آثار ضارة على إنتاج المحاصيل والتنوع البيولوجي ، وتسبب جرعة عالية منه العديد من الاضطرابات في جميع مراحل تطوير النبات ، بما في ذلك النباتات. *Moringa oleifera* L هو نوع نبات ينمو في آسيا وإفريقيا ولديه إمكانات كبيرة لتنقية المياه ومقاومة الإجهاد الملحي.

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم تأثير نترات الرصاص في (Pb (NO₃) على معدل وسرعة الإنبات وتشريح الساق وجذر البذور *Moringa oléifera* L. في هذا السياق ، تنبت البذور في أطباق بتري تحتوي على طبقتين من ورق الترشيح المنقوع بجرعات متزايدة من Pb (0 ، 3 ، 5 ، 7 و 10 ممول) تُطبق على خمس مرات لكل علاج. حضنت في الظلام في فرن عند 27 درجة مئوية لمدة 15 يوماً. في نهاية التجربة وفي اليوم الخامس عشر ، تم تصنيع مقاطع عرضية عند السيقان وجذور نبات *Moringa oléifera* L.

أظهرت النتائج أن تأثير الرصاص على السلوك الإنباتي لل *Moringa oleifera* L. يترجم إلى انخفاض غير مهم في معدل إنبات البذور المجهد مقارنةً بالشاهد اين يصل معدل الإنبات 100 في البذور المجهد إلى 100%. مقارنة بالشاهد. لم تظهر البنية التشريحية للجذور والسيقان المعالجة أي تشوهات كبيرة مقارنةً بالشاهد.

الكلمات المفتاحية: الرصاص ، الإنبات، معدل الانبات ،سرعة الإنبات *Moringa oleifera* L ، الإجهاد المعدني.

SOMMAIRE

Dédicace	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Résumé	
Introduction.....	01

DONNES BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : les métaux lourds

I.1 Généralités sur les métaux lourds.....	03
I.2 Définition des métaux lourds.....	03
I.3 Origine de la contamination des sols par les métaux lourds.....	04
I.3.1. Origine naturelle.....	04
I.3.2 Origine anthropique.....	05
I.4. Pollution par les métaux lourds.....	05
I.4.1. Généralité sur le plomb.....	05
I.4.2 Origines de la pollution par le plomb.....	06
I.4.3 Mobilités du plomb.....	07
I.4.4 Disponibilité du plomb dans le sol.....	07
I.4.5 Le plomb dans la plante.....	07
I.4.6 Impact du plomb sur les végétaux.....	08
I.4.7 Effets du plomb sur les plantes.....	08
I.4.7.1 Effets sur la germination et la croissance.....	08
I.4.7.2 Effet sur la Photosynthèse.....	09

Chapitre II : Phytoremédiation

II.1. Dépollution du sol.....	10
II.2. Définition de la phytoremédiation.....	10
II.3. Mécanisme de la phytoremédiation.....	10
II.3.1. Phyto-extraction (ou phyto-accumulation ou phyto-filtration).....	11
II.3.2. Phyto-transformation (ou phyto-dégradation).....	13
II.3.3. Rhizo-dégradation (ou phyto-stimulation).....	13

II.3.4. Phyto-stabilisation.....	14
II.3.5. Phyto-volatilisation	15
II.4. Avantages et limites de la technique de phytoremédiation	16
II.4.1 Avantage	16
II.4.2. Limite.....	18
Chapitre III : <i>Moringa oleifera</i> L.	
III.1. Historique et distribution du <i>Moringa oleifera</i> L.	18
III.2. Dénomination et taxonomie.....	18
III.3. Description botanique.....	18
III.4 L'aspect écologie.....	20
III.5. Intérêts de <i>Moringa oleifera</i> L.....	21
III.5.1. Intérêt nutritionnelle.....	21
III.5.2 Intérêt économique.....	21
III.5.3 Intérêt médicinale.....	22
III.5.4 Intérêt thérapeutiques.....	22
III.5.5 Autres intérêt.....	22
Chapitre IV : Germination	23
IV.1 Morphologie et physiologie de la germination.....	23
IV.1.1 Définition de la germination.....	23
IV.1.2 Types de germination.....	23
IV.1.3 Morphologie de la germination.....	23
IV.1.4 Physiologie de la germination.....	23
IV.2 Conditions de la germination.....	24
IV.2.1 Conditions internes de la germination.....	24
IV.2.2 Conditions externes de la germination.....	24
IV.3 Etapes de la germination.....	25
IV.4 Dormance des graines.....	26
IV.4.1 Définition de la dormance.....	26
IV.4.2 Type de dormance.....	26
IV.4.2. Dormance tégumentaire.....	26
IV.4.2.2 Dormance embryonnaire.....	27

ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre V : Matériel et méthodes

V.1. Objectif de l'expérimentation.....	28
V.2. Site d'étude.....	28
V.3. Choix du Matériel végétal.....	28
V.4. Préparation de la solution stressante	29
V.5. Préparation des grains de <i>Moringa oleifera</i> L pour la germination.....	30
V.6. Germination des grains de <i>Moringa oleifera</i> L.	30
V.7. Paramètres étudiés	31
V.7.1. Taux de germination.....	31
V.7.2. Vitesse de la germination	31
V.7.3. Paramètre anatomique.....	31
V.8. Analyse statistique.....	32

Chapitre VI : Résultats et discussion

VI.1. Paramètres biométriques	33
VI.1.1 Taux de germination	33
VI.1.2. Vitesse de la germination.....	33
VI.2. Paramètres anatomique	34
VI .3. Discussion générale	37
Conclusion	39
Références bibliographie	41
Annexes.....	

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. De plus ils sont continuellement rajoutés dans les sols par diverses activités : en agriculture par l'application de boues d'épuration ou dans l'industrie métallurgique. (Wang *et al.*, 2003).

Le plomb est l'un des contaminants les plus répandus dans l'environnement toxique, même à faible concentration pour de nombreux organismes vivants (Jarup, 2003; Hernández-Ochoa *et al.*, 2005). Leur accumulation dans l'environnement peut se répercuter sur la santé des êtres humains et des animaux (Wang *et al.*, 2003). La contamination de l'environnement a été très peu considérée la majorité concernant des plantes cultivées en raison des risques de contamination de la chaîne trophique et de baisse de rendements observée sur les parcelles par le plomb (Singh *et al.*, 1997 ; Seregin et Ivanoc, 2001; Patra *et al.*, 2004 ; Sharma et Dubey, 2005).

Ces dernières années, le développement de techniques efficaces pour décontaminer les sites pollués est devenu indispensable. L'une d'elles, la phytoremédiation, qui consiste à utiliser des plantes et des microorganismes associés pour décontaminer l'environnement et/ou minimiser les risques dans les relations sources – exposition – récepteurs (Pilon-Smits, 2005). La phytoremédiation est de plus en plus utilisée de nos jours puisqu'elle contribue au maintien de la structure des sols étant donné qu'elle ne nécessite aucune excavation (EPA., 2012). En plus d'être reconnue comme un choix économique comparativement aux techniques de décontamination conventionnelles, de plus elle est largement acceptée par le grand public puisque peu d'impact y sont associés (Forget., 2004 ; Ghosh et Singh., 2005).

Moringa oleifera Lam arbre tropical originaire d'Asie, est aujourd'hui largement répandu sur le continent africain (Kokou *et al.*, 2001). Les nombreuses propriétés valorisables de cette plante en font un sujet d'étude très intéressant (Foidl *et al.*, 2001). Le *Moringa oleifera* L. est un arbre aux multiples vertus médicinales, nutritionnelles et industrielles. De plus les graines peuvent être utilisées pour la clarification et la purification des eaux usées (Louni, 2009).

En général, les plantes sont plus sensibles aux stades de germination et d'émergence qu'aux stades de maturité (Ashraf et Harris, 2004). La germination est définie comme la somme des événements qui conduisent la graine sèche à germer; elle commence par la prise d'eau et se termine par l'allongement de l'axe embryonnaire (Hopkins, 2003). La germination est le passage de la vie latente de la graine à la vie active, sous l'effet de facteurs favorables de l'environnement.

Dans ce travail, nous avons étudié l'effet du plomb sous forme de nitrate du plomb ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) sur taux et la vitesse de germination des graines de *Moringa oleifera* L, ainsi que l'étude anatomique des radicules et des tigelles.

A cet effet notre travail est organisé comme suit :

- Première partie : Revue bibliographique incluant quatre chapitres :
 - Premier chapitre est focalisé sur quelques notions générales sur les métaux lourds (plomb).
 - Deuxième chapitre vise à étudier la phytoremédiation et ces techniques.
 - Troisième chapitre donne un aperçu général sur *Moringa oleifera* L.
 - Alors que le quatrième chapitre renferme la germination et ses conditions.
- Deuxième partie : Etude expérimentale
 - Chapitre I comporte matériel et méthodes où il décrit le matériel biologique utilisé, le protocole expérimental et les différentes techniques d'analyse.
 - Chapitre II présente les résultats obtenus et la discussion de ces derniers.
- Dernière partie du manuscrit est la conclusion.

**Donnes
bibliographique**

I.1. Généralités sur les métaux lourds

Les éléments métalliques sont, sous différentes formes, toujours présents au sein de l'environnement. A l'état de traces, ils sont nécessaires voire indispensables aux êtres vivants (Baize, 1997). A concentration élevée, en revanche, ils présentent une toxicité plus ou moins forte (Kabata-Pendias, 2001). La présence de métaux lourds dans l'environnement résulte de causes naturelles et des activités humaines. Elle pose un problème particulier, car les métaux lourds s'accumulent et ils ne sont pas biodégradables dans l'environnement. Ces métaux lourds ne présentent pas tous les mêmes risques en raison de leurs effets sur les organismes, leurs propriétés chimiques, physico-chimiques et biologiques. Leur toxicité est très variable et leur impact sur l'environnement très différent (Kabata-Pendias, 2001).

I.2. Définition des métaux lourds

Les éléments traces métalliques (ETM) correspondent aux 68 éléments minéraux Constituants de la croûte terrestre avec des concentrations pour chacun d'entre eux inférieures à 0.1 % et représentant seulement 0,6 % du total des éléments (Baize, 1997). Les métaux lourds les plus souvent considérés comme toxique pour l'homme sont : le plomb, le mercure, l'arsenic et le cadmium... d'autres comme le cuivre, le zinc, le chrome, pourtant nécessaires à l'organisme en petites quantités, peuvent devenir toxiques à doses plus importantes. Certains ETM participent activement à certains processus biologiques en tant que cofacteur de certaines enzymes et sont nécessaires pour l'organisme, à de faibles concentrations. (Alloway, 2013).

D'un point de vue biologique, on distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : métaux essentiels et métaux toxiques. Voir tableau 1.

Tableau 1 : Métaux lourds dans la classification périodique (Chiron *et al.*, 2001).

Elément																	
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
			Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Métaux lourds
Non-métaux et métalloïdes associés

➤ **Les métaux essentiels** sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (Loué, 1993). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe) (Coïc et Coppenet, 1989).

➤ **Les métaux toxiques** ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd). Le 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, 1989).

I.3. Origine de la contamination des sols par les métaux lourds

Le problème principal avec les métaux lourds comme le plomb, le cadmium, le cuivre et le mercure est qu'ils ne peuvent pas être biodégradés, et donc persistent pendant de longues périodes dans les sols. Leur présence dans les sols peut être naturelle ou anthropogénique.

II.3.1. Origine naturelle

Les métaux lourds sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique (Bourrelie et Berthelin, 1998).

II.3.2. Origine anthropique

Les principaux types de pollutions anthropiques responsables de l'augmentation des flux de métaux, sont :

❖ **La pollution atmosphérique** : Résulte des activités industrielles (rejets d'usine) et urbaines (gaz d'échappement, etc...). Il faut distinguer les apports diffus aériens d'origine lointaine (les poussières et aérosols provenant des chauffages ainsi que des moteurs d'automobiles) des apports massifs localisés d'origine proche (résultent d'apports anthropiques accidentels liés aux activités industrielles sans protection efficace contre la dispersion dans l'environnement) (Baize, 1997).

❖ **La pollution industrielle** : provenant des usines de production de l'activité humaine telle que les matières organiques et graisses (industries agro-alimentaires), les produits chimiques divers (industries chimiques), les matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs) et la métallurgie (Godin *et al.*, 1985). Les déchets miniers et les terrils industriels sont une source particulièrement importante de pollution par le zinc, le plomb et le cadmium.

❖ **La pollution liée aux activités agricoles** : est à l'origine de l'introduction de métaux lourds dans le sol. Les produits destinés à améliorer les propriétés physico-chimiques du sol sont souvent plus riches en métaux lourds que le sol lui-même par exemple les engrais, les composts et les boues de station d'épuration (Robert et Juste, 1999).

I.4. Pollution par les métaux lourds

I.4.1. Généralité sur le plomb

Le plomb, est un métal mou et gris, sans gout ni odeur caractéristique, se trouvant habituellement en petite quantité dans la croûte terrestre. Ses principales propriétés physico-chimiques sont présentées dans le tableau 2 (Sposito *et al.*, 1982).

Tableau 2 : Principales propriétés physico-chimiques du plomb (Sposito *et al.*, 1982).

symbole	Pb
Numéro atomique	82
Masse atomique	207.2 g.M ⁻¹
Point de fusion	327°C
Point d'ébullition	1740°C
Densité	11.35

I.4.2. Origines de la pollution par le plomb

Le plomb retrouvé dans l'environnement provient à la fois de sources naturelles et anthropiques. Le métal est présent dans le sol, mais également dans tous les autres compartiments de l'environnement : eau, air et même les êtres vivants (Nriagu, 1978 ; Baize, 2002). Le plomb est naturellement présent en moyenne à 0,002% dans la croûte terrestre, généralement sous forme peu soluble. Des dérivés inorganiques sont présents dans les eaux, les sédiments, les sols, l'atmosphère et éventuellement en microtraces chez les organismes vivants, (Nriagu, 1978 ; Baize, 2002). A l'état naturel, le plomb (Pb) se retrouve dans l'environnement sous forme de galène (sulfure de plomb), de cérusite (carbonate de plomb), et d'anglésite (sulfate de plomb). La forme la plus abondante est la galène, la cérusite et l'anglésite apparaissent lors de l'oxydation de la galène (Brunet, 2008).

Dans l'aire, les émissions de plomb provenant de poussières volcaniques véhiculées par le vent sont reconnues d'importance mineure, la majorité du plomb contenue dans l'aire ambiante provient de la combustion de l'essence plombée (Pichard, 2003).

A ce jour, les principales sources de contaminations en Pb sont les rejets anthropiques. Ils proviennent principalement des industries qui extraient et purifient le Pb naturel et qui recyclent les composants contenant du Pb comme les batteries et leurs retombées atmosphériques contaminent les sols. A ceci s'ajoute les déchets industriels et détérioration des peintures extérieures à base de Pb. Des rejets provenant des industriels sidérurgiques ainsi que les réseaux de canalisations de distribution d'eau anciennes, contenant du Pb, contaminent les eaux (Pichard, 2003).

I.4.3. Mobilités du plomb

La mobilité d'un élément dans le sol est son aptitude à passer d'un compartiment où il est retenu à un compartiment où il est retenu avec une énergie moindre, la mobilité du plomb est principalement contrôlée par sa spéciation en phase aqueuse et par des processus d'adsorption/désorption ainsi que de dissolution/précipitation. Le rôle de certains paramètres tels que le pH, le potentiel redox, la composition minéralogique du sol ou du sédiment et la présence de ligands ou de colloïdes dans la phase va être déterminante. Le plomb était en général considéré comme un élément peu mobile dans les milieux naturels, il a donc tendance à s'accumuler dans les horizons superficiels des sols (Juste, 1988).

I.4.4. Disponibilité du plomb dans le sol

Etant donné que le Pb se lie facilement aux particules du sol, les quantités de Pb accumulées dans les sols diffèrent selon la composition, notamment en argile, sable et matière organiques du sol. Le pH du sol est également un facteur déterminant puisqu'une variation de pH modifie les liaisons du Pb aux différents éléments présent dans le sol. Par exemple, dans un sol où le pH est compris entre 5,5 et 7,5 la solubilité du Pb est contrôlée par les phosphates et les carbonates avec lesquels il précipite, et très peu de Pb est libre (Pb^{2+}). Plus le pH est acide moins ces liaisons se font donc plus le Pb est disponible et plus le pH est basique plus le Pb est oxydé. Par ailleurs, si le Pb est solubilisé, il peut être lessivé jusqu'à la nappe phréatique ou être absorbé par les plantes (Bliefert et Perraud, 2001).

I.4.5. 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).

I.4.6. 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 a réussi à passer à travers ces barrières de protection, il peut affecter de nombreux processus physiologiques de la plante. (Cecchi, 2008).

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, du à la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) ou « Réactive Oxygen Species » (ROS). Qui altèrent toute une série de substrats biologiques importants, et modifient les domaines fonctionnels des biomolécules pouvant conduire à la mort cellulaire (Cheng, 2003).

I.4.6.1. Effets sur la germination et la croissance

A l'échelle macroscopique, le plomb entraîne des effets néfastes sur les plantes. En premier lieu, la germination est fortement inhibée par les ions plomb (Pb^{2+}) à très faibles concentrations (Mishra *et al.*, 1998 ; Tomulescu *et al.*, 2004). De plus fortes doses conduisent à une inhibition totale de la germination chez les espèces végétales, comme le haricot (Wierzbicka *et al.*, 1998).

Le plomb réduit également fortement le développement de la plantule et des racelles (Mishra et Choudhuri, 1998). Un traitement à de faibles concentrations en plomb inhibe la croissance des racines et des parties aériennes (Makowski *et al.*, 2002 ; An, 2006). Cette inhibition est plus importante pour la racine, ce qui peut être corrélé à plus forte teneur en plomb de cette dernière. (Obroucheva *et al.*, 1998).

L'accroissement de biomasse végétale est diminué par de fortes doses de plomb (Xiong *et al.*, 2006). Sur de longues durées, les traitements au plomb, même à des doses non-létales, peuvent conduire à l'apparition de nécroses au niveau des apex racinaires et des feuilles, ainsi que des chloroses foliaires (Liu *et al.*, 2000).

I.4.6.2. Effet sur la Photosynthèse

Chez les plantes, l'exposition au Pb conduit à une forte inhibition de la photosynthèse, du rendement photosynthétique, et à une limitation du taux d'assimilation de CO₂. Le rendement photosynthétique, très sensible, peut chuter de plus de 50% (Bazzaz *et al.*, 1975; Poskuta *et al.*, 1987). Cette inhibition s'explique par la diminution des teneurs en chlorophylle et en caroténoïdes généralement constatée (Chen *et al.*, 2007 ; Gopal *et al.*, 2008).

La chlorophylle b semble plus sensible que la chlorophylle a (Wozny *et al.*, 1995 ; Vodnik *et al.*, 1999). Toutefois, ces effets varient en fonction des espèces végétales. Les mécanismes de réduction de la teneur pigmentaire sont, en partie, élucidés. Le plomb induit l'activité chlorophyllase dans les feuilles (Drazkiewicz, 1994), mais le mécanisme principal semble être l'inactivation de la synthèse de ces pigments. Le plomb interagit à ce niveau de deux façons :

- D'une façon directe, en se substituant aux ions divalents liés aux métalloenzymes. C'est notamment le cas avec l'-aminolevulinate déshydratase ou ALAD qui est à la base de la synthèse des chlorophylles et dont l'ion zinc (Zn²⁺) est remplacé par plomb (Pb²⁺) (Foy *et al.*, 1978).
- D'une façon indirecte, en induisant une carence en ces ions divalents (Foy *et al.*, 1978).

vII.1. Dépollution du sol

Nos écosystèmes sont exposés à de nombreuses sources de pollution. Les sols et les eaux, près des sites industriels, subissent une accumulation de métaux lourds, de composés organiques, ainsi que parfois de composés radioactifs. Nous n'aborderons pas les conséquences de ces pollutions sur les écosystèmes mais plutôt comment des sols peuvent être dépollués. Cette accumulation peut être très importante aux abords des sites industriels et dans ce cas, la seule solution est l'excavation et le retraitement. C'est le concept de phytoremediation ou dépollution des sols par des plantes (Dabouineau *et al.*, 2005).

II.2. Définition de la phytoremédiation

Le terme phytoremédiation vient du préfixe grec « phyto » (plante) et du mot latin *remedium* (pour corriger ou éliminer un mal) (Ghosh et sing, 2005).

La phytoremédiation ou la bioremédiation est une nouvelle technologie qui utilise les plantes vertes et/ou des microorganismes associés (ex. bactéries, champignons) pour le nettoyage d'un environnement pollué par les métaux lourds et les métalloïdes (Smits et Freeman, 2006 ; Lamb *et al.*, 2010).

II.3. Techniques de la phytoremédiation

L'action des plantes sur le polluant intervient à différents niveaux. Les polluants peuvent être stabilisés ou dégradés dans la rhizosphère, séquestrés ou dégradés ou encore rendus volatiles et éliminés dans l'air environnant. Divers mécanismes sont mis en œuvre en fonction de la nature du polluant et de ses caractéristiques physico-chimiques. Ces mécanismes ont été largement décrits (McCutcheon et Schnoor, 2003 ; Pilon-Smits, 2005).

la phytoremédiation regroupe différentes méthodes qui sont appliquée selon la contamination et les objectifs de remédiation (Brooks, 1998 ; Bert *et al.*, 2000) ,qui peuvent mener à la dégradation du contaminant, enlèvement (par accumulation ou dissipation), ou immobilisation (Bruce Pivetz, 2001). Actuellement, la phytoremédiation se devise en cinq domaines d'application différents : phyto-extraction, phyto-transformation, rhizo-dégradation, phyto-stabilisation et phyto-volatilisation (Pulford et Watson, 2003 ; Vavasseur *et al.*, 2003) (Figure 6).

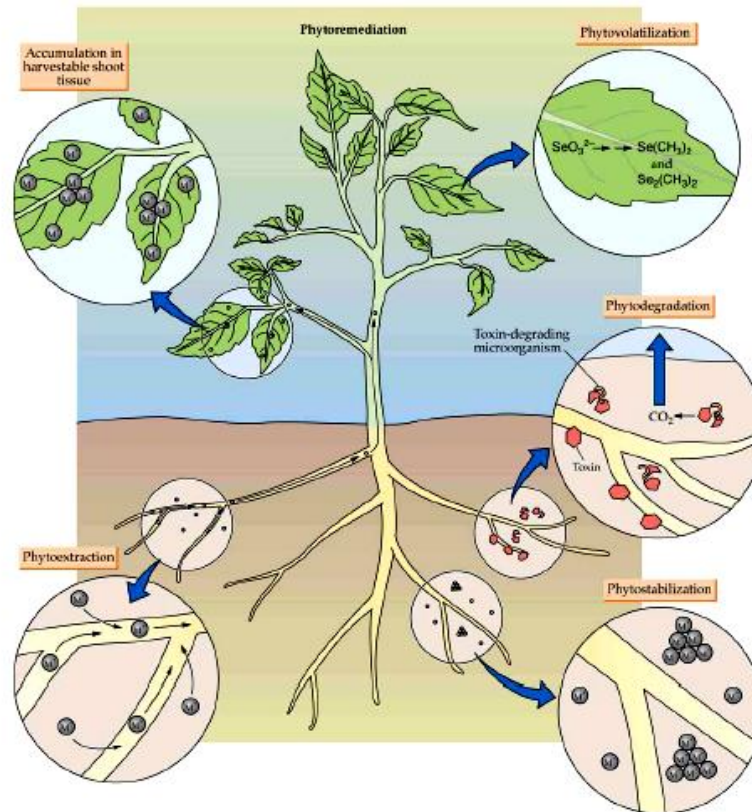


Fig.1 : Principaux méthodes de phytoremédiation (Buchanan *et al.*, 2002).

II.3.1. Phyto-extraction

La phytoextraction est une technologie in situ liée aux plantes qui sont capables d'absorber les métaux lourds (Pb, Cd, Cu, Zn ...) par leurs racines et de les transporter ensuite vers les parties aériennes (Zheng *et al.*, 2011). Les tiges et les feuilles sont alors récoltées et éliminées des sites pollués. Ceci contribue à rétablir la fertilité de larges zones agricoles, contaminées pour la plupart dans leur couche supérieure (Alkorta *et al.*, 2004) (figure7).

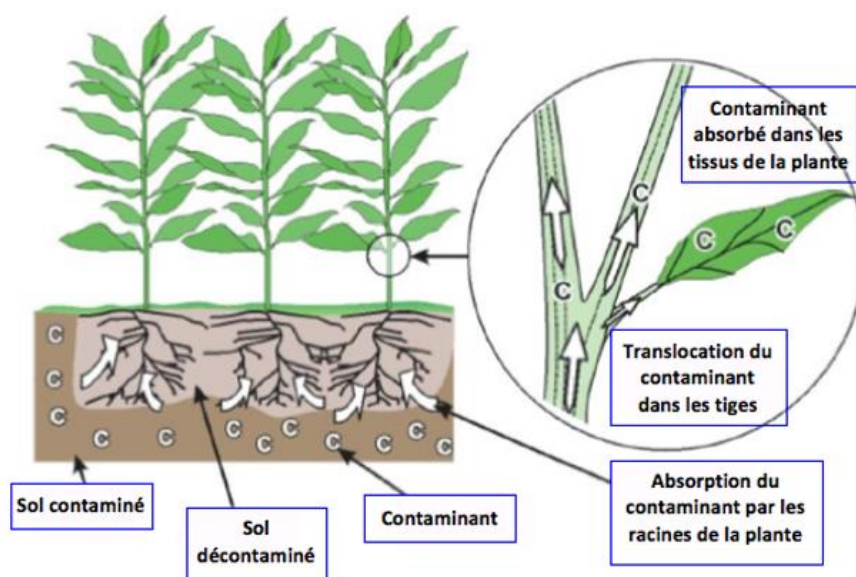


Fig .2: Processus de phytoextraction, absorption des contaminants présents dans le sol (Itrc, 2001).

Deux stratégies sont proposées pour une phytoextraction réussie des sols contaminés par les métaux lourds et autres polluants : phytoextraction continue et la phytoextraction induite ou assistée par des chélateurs.

❖ **Phytoextraction continue** : Pour qu'une plante soit adéquate pour la phytoextraction d'un polluant donné, elle doit être capable durant toute sa vie de résister à la toxicité du polluant et de l'accumuler dans ses parties aériennes. En effet, la phytoextraction naturelle utilise des plantes hyperaccumulatrices qui peuvent naturellement extraire de teneurs importantes de métaux présent sur des sols pollués sans présenter de signes de phytotoxicité (Quartacci *et al.*, 2006 ; Zheng *et al.*, 2011).

❖ **Phytoextraction induite ou assistée par des chélateurs** : Elle est basée sur l'utilisation de chélateurs permettant à des plantes non hyperaccumulatrices mais de biomasse importante d'absorber des teneurs élevées en métaux à partir d'un site pollué. La solubilité des métaux est accrue par des chélateurs tels que l'acide citrique, l'EDTA et l'EDDS. Ils sont appliqués soit directement sur le sol ou en condition hydroponiques (Saifullah *et al.*, 2009 ; Shahid *et al.*, 2011 ; Zheng *et al.*, 2011) soit en pulvérisation foliaire (Meers et Tack., 2004). C'est ainsi que l'EDTA a permis d'améliorer la mobilisation et le transport subséquent du Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn par la moutarde indienne et le tournesol (Ann-Peer *et al.*, 2003). Cependant, la haute solubilité dans l'eau de certains complexes chélateurs-toxique peut

résulter dans leur déplacement vers les couches plus profondes du sol et ceci consiste un risque potentiel important de contamination de l'eau et des estuaires (Ann-Peer *et al.*, 2003).

II.3.2. Phyto- dégradation

La phytodégradation (ou phytotransformation) consiste à convertir des polluants organiques en composés moins toxiques voire même être totalement minéralisés. Cette décomposition est réalisée grâce à des enzymes variées sécrétées par la plante (Chaudhry *et al.*, 1998) (figure 8).

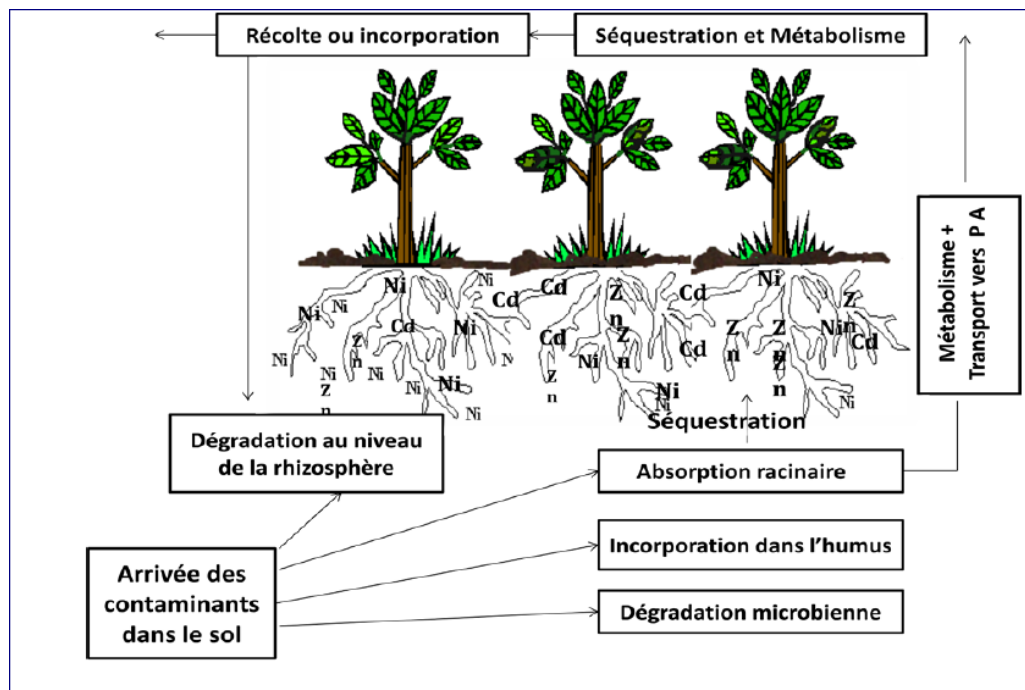


Fig .3 :Processus de la phytodégradation des contaminants au niveau du sol (Chedly, 2006).

II.3.3. Rhizo-dégradation (phyto-stimulation)

Utilise les plantes et les microorganismes associés pour transformer au niveau de la rhizosphère les polluants organiques toxiques en substances moins toxiques. La phyto-stimulation se rapproche plus de la bioremédiation assistée par les plantes puisqu'elle repose sur l'action des microorganismes rhizosphériques. Elle exploite l'effet stimulant de la rhizosphère sur la dégradation microbologique des contaminants. En effet, les plantes émettent des exsudats racinaires qui peuvent être utilisés par les communautés microbiennes et approuver leur développement et leurs activités. Cette stimulation des microorganismes rhizosphériques modifie la bioaccumulation, l'oxydation/réduction biologique et la

biométhylation des métaux lourds (McGrath, 1998 ; Tak *et al.*, 2013 ; Ahemad et Kibret, 2014) (figure 9).

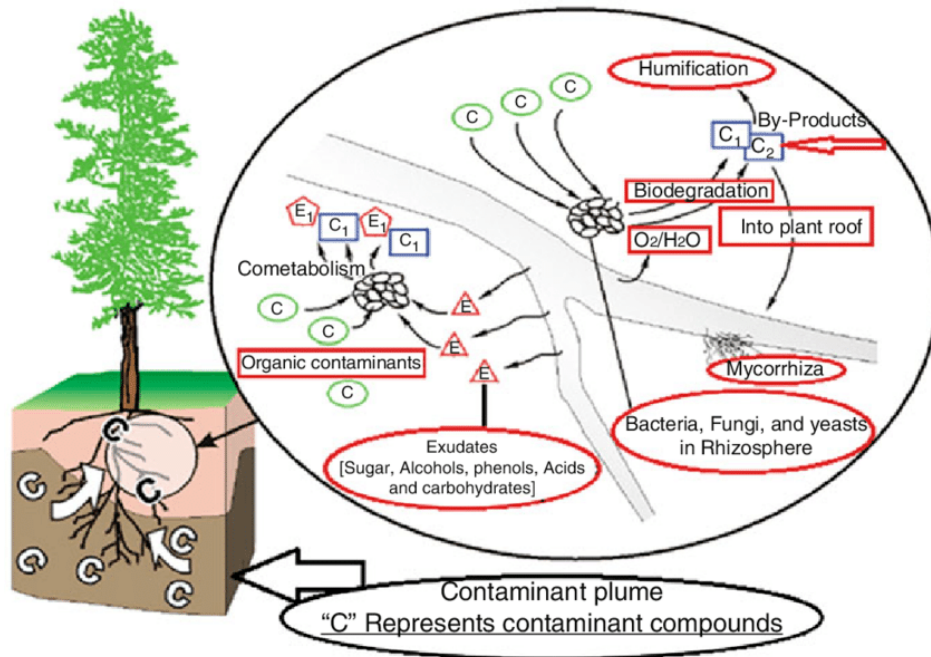


Fig .4 : Processus de la rhizo-dégradation des contaminants au niveau du sol (ITRC, 2001).

II.3.4. Phyto-stabilisation

La phytostabilisation utilise le couvert végétal pour diminuer la mobilité et labiodisponibilité des métaux présents dans le substrat et, dans l'idéal, immobiliser les métaux in situ. Les plantes utilisées en phytostabilisation sont des espèces métallo tolérante s'adoptant une stratégie d'exclusion. Les métaux sont piégés au niveau de la racine, en limitant la dispersion des contaminants vers les nappes phréatiques, l'atmosphère et les écosystèmes avoisinants. Eventuellement, des amendements réduisant la disponibilité des métaux lourds, peuvent être combinés à la plantation de végétaux (Cunningham et Berti, 1993 et ; Vangronsveld *et al.*, 2009) (figure 10).

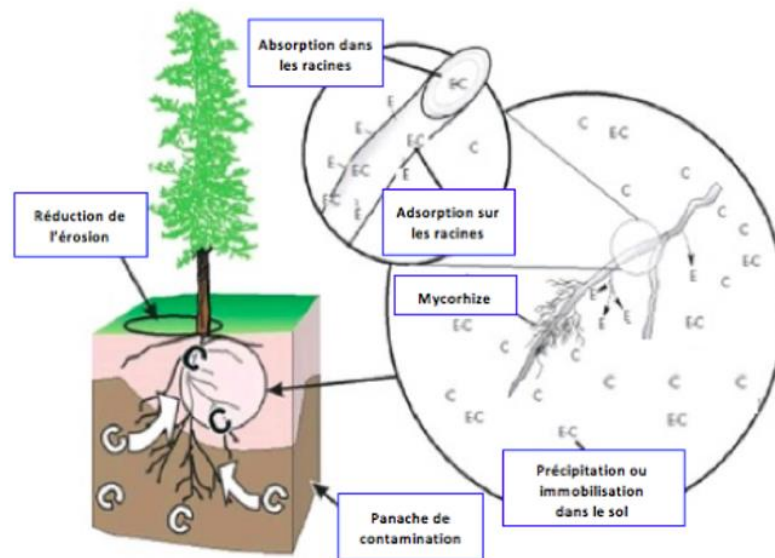


Fig. 5 : Processus de la phytostabilisation (ITRC, 2001).

II.3.5. Phyto-volatilisation

Dans ce procédé, les contaminants solubles sont absorbés par les racines, transportés vers les feuilles et volatilisés dans l'atmosphère par les stomates sous formes moins toxiques ou après une modification métabolique. Ainsi, le sélénium peut être relâché dans l'atmosphère sous forme de diméthyle sélénite ou de diméthyle disélénite (Zayed *et al.*, 1998) (figure 11).

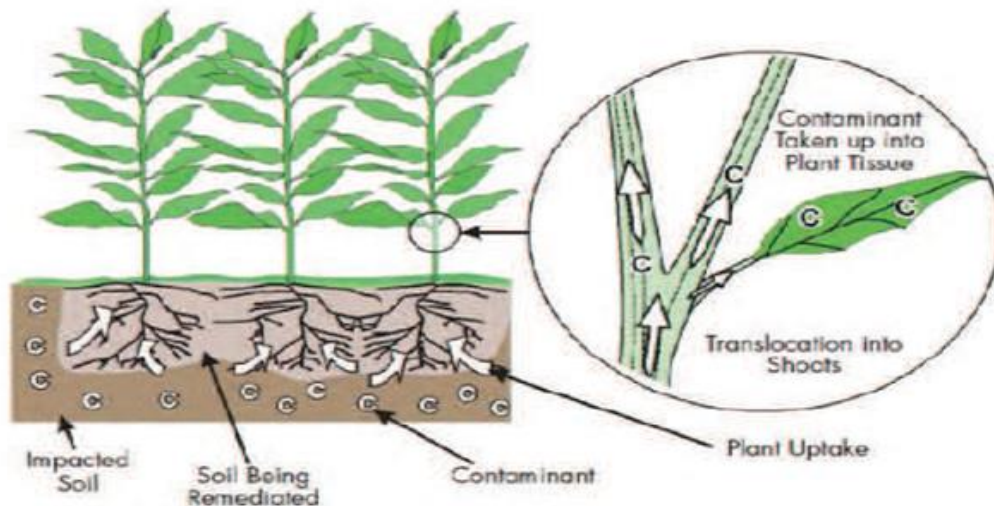


Fig.6 : Processus de la phyto-volatilisation (ITRC, 2001).

II.4. Avantages et limites de la phytoremédiation

II.4.1. Avantages

La phytoremédiation est de plus en plus utilisée de nos jours puisqu'elle contribue au maintien de la structure des sols étant donné qu'elle ne nécessite aucune excavation (EPA., 2012). En plus d'être reconnue comme un choix économique comparativement aux techniques de décontamination conventionnelles, la phytoremédiation est largement acceptée par le grand public puisque peu d'impact y sont associés. Plusieurs d'autres avantages sont attribués à cette technique de décontamination, dont la quantité de résidus générés par la phytoremédiation. Cela dit, lorsque l'on a recours à des technologies classiques, le volume de matière à enfouir ou à incinérer est plus élevé si l'on utilise la phytoremédiation (réduction de plus de 95%) (Forget., 2004 ; Ghosh et Singh., 2005). De plus, l'utilisation de ces phytotechnologies est applicable à une grande variété de sites contaminés. Que ce soit pour une contamination organique ou inorganique, une contamination au niveau des sols ou encore dans les eaux souterraines, la phytoremédiation est maintenant une option à considérer. Sans oublier que la présence de végétation sur un site contribue à réduire ou prévenir l'érosion et procure un avantage visuel au paysage (Vishnoi et Srivastava., 2008). L'énergie utilisée pour décontaminer les sites où des techniques de phytoremédiation ont lieu est le soleil, ce qui est avantageux pour l'environnement puisque les techniques traditionnelles vont plutôt opter pour une énergie sale. Par exemple pour l'excavation, c'est l'essence qui fait rouler la machinerie et qui malheureusement pollue énormément et crée des dérangements sonores. En plus de n'utiliser aucune énergie fossile lors de la décontamination, la phytoremédiation a en général un impact positif sur l'environnement. En effet, les végétaux sont reconnus pour améliorer la qualité de l'air et leur capacité de séquestrer les gaz à effet de serre (ITRC., 2009).

II.4.2. Limites

Comme Forget (2004) l'a si bien dit dans un de ses articles : « comme toute technique de décontamination des sols, la phytoremédiation comporte certaines limites avec lesquelles il faut composer ». Une des premières limitations est le contact entre rhizosphère et les contaminants présents dans le milieu à décontaminer (EPA., 2000). La capacité des plantes à atteindre une profondeur de par leurs racines dépend de l'espèce végétale et des conditions géomorphologiques et climatiques (EPA., 2000). Par exemple certaines espèces d'arbres comme le peuplier ont des racines qui potentiellement peuvent atteindre une profondeur de 15 pieds

dans les sols tandis que celles des arbustes vont être Revue bibliographique 11 plus superficielles (EPA., 2000). Enfin, la phytoremédiation doit se restreindre aux sites présentant une contamination peu profonde et dont les concentrations sont relativement faibles pour que les plantes soient en mesure de croître de façon convenable afin de capter tous les contaminants (Ghosh et Singh., 2005). Ces contaminants absorbés par les végétaux peuvent aussi présenter un risque potentiel pour l'environnement puisqu'ils peuvent se retrouver dans la chaîne alimentaire si les animaux ingèrent des plantes contaminées (Gouvernement de Canada., 2008). D'ailleurs, plusieurs études ont démontré que certains animaux et insectes ne consommaient pas les plantes contaminées puisqu'elles avaient un mauvais goût (Chaney *et al.*, 2000). Le taux de croissance des végétaux va aussi influencer la phytoremédiation puisque plusieurs années peuvent être nécessaires afin d'atteindre un niveau de décontamination acceptable. Finalement, bien que certaines plantes soient reconnues pour accumuler des quantités élevées de contaminants, le choix des plantes en phytoremédiation doit être réfléchi. Cela dit, il est préférable de ne pas opter pour des plantes qui ne sont pas natives au site où la décontamination in situ a lieu et d'éviter celles qui sont envahissantes. Ces précautions vont contribuer au maintien de la biodiversité déjà en place (Ghosh et Singh., 2005).

III.1. Historique et distribution du *Moringa oleifera* L.

Moringa oleifera Lam. est une espèce originaire des régions d'Agra et d'Oudh, au Nord-est de l'Inde, au sud de la chaîne de montagne de l'Himalaya. Elle appartient à une famille monogénérique d'arbres et arbustes, les Moringaceae. Elle est cultivée aujourd'hui dans toutes les régions tropicales et sub-tropicales du monde ((Rajangam *et al.*, 2002). Son introduction en Afrique de l'Est a eu lieu au début du 20^{ème} siècle par le biais du commerce et des échanges maritimes durant cette période (Foidl *et al.*, 2001).

III.2. Dénomination et taxonomie

Laleye *et al.*, 2015 rappellent que la *Moringa oleifera* L. appartient à la classification suivante présentée dans le tableau.

Tableau 3 : Classification systématique de *Moringa oleifera* (Laleye *et al.*, 2015)

Règne	Végétal
Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Angiosperme
Classe	Dicotylédones
Sous classe	Dillenidae
Ordre	Capparidales
Famille	Moringaceae
Genre	<i>Moringa</i>
Espèce	<i>oleifera</i> Lamarck

III.3. Description botanique

Moringa oleifera L. est une plante qui a l'aspect d'un arbuste dont la hauteur peut atteindre 4 à 5 m (Rajangam *et al.*, 2002). Le diamètre du tronc varie entre 20 et 40 cm (Foidl *et al.*, 2001). Son tronc effilé porte parfois des ramifications dès la base, mais en général, le tronc atteint 1,5 à 2 mètres de haut avant de se ramifier ; plusieurs branches partent de celles-ci formant une couronne dense en forme de parasol. Le diamètre d'un fût de 1,30 m de longueur mesure entre 9 à 20 cm. L'écorce est de couleur brun-pâle et lisse parfois tachetée de marron. Son bois tendre et mou ne supporte pas les vents agressifs (Foidl *et al.*, 2001). (Figure 7).



Fig. 7: *Moringa oleifera* L. (Sivanesan *et al*, 2010)

❖ Les feuilles se développent principalement dans la partie terminale des branches. Elles mesurent 20 à 70 cm de long avec un long pétiole et 8 à 10 paires de pennes composées chacune de deux paires de folioles opposées, plus une terminale; les folioles sont ovales et longues de 1 à 2 cm (Morton, 1991), (figure 8).



Fig. 8: Feuilles de *Moringa oleifera* L. (Sivanesan *et al*, 2010)

❖ Les fruits sont en forme de gousses à trois valves allongées, déhiscentes et mesurant 20 à 60 cm de long (Figure 03). Les gousses sont situées au sommet des branches et renferment chacune environ 12 à 35 graines (Foidl *et al.*, 2001).



Fig. 9: fleurs de *Moringa oleifera* L. (Sivanesan *et al.*, 2010)

❖ Les graines sont arrondies, ailées, avec une coque marron semi-perméable. Le poids moyen d'une graine est de 0,3g dont 25% sont représentés par la coque. La production annuelle par arbre est de 15 000 à 25 000 graines (Makkar et Becker, 1997). Voir figure 10.



Fig. 10: Les graines de *Moringa oleifera* L. (Sivanesan *et al.* 2010).

III.4. Aspect écologique

Moringa oleifera L. est une plante qui s'adapte à des milieux différents. Cependant, certaines conditions du milieu favorisent son épanouissement. Voir tableau 4.

Tableau 4: Conditions environnementales de *Moringa oleifera* L. (Saint Sauveur et Broin, 2010).

Paramètres	Valeur /Fourchette
Climat	Tropical ou subtropical
Altitude	0-2000 m
Température	25-35°C
Pluviométrie	250mm-2000mm Irrigation nécessaire pour la production des feuilles si pluviométrie < 500mm
Type de sol	Limoneux, sableux ou sablo-limoneux
pH de sol	5 - 9

III.5. Intérêts de *Moringa oleifera* L.

Moringa oleifera L. est un arbre aux multiples vertus médicinales, nutritionnelles et industrielles. De plus les graines peuvent être utilisées pour la clarification et la purification des eaux usées (Louni, 2009).

III.5.1. Intérêt nutritionnelle

Moringa oleifera L. est riche en composés contenant un sucre simple. Les fleurs renferment neuf acides aminés, le saccharose, le D-glucose, des traces d'alcaloïdes, de cire et de quercétine (Laleye *et al.* 2015). La teneur en calcium de *Moringa oleifera* L. est plus que cela dans le lait et a également plus de potassium que la banane, plus de fer que les épinards et la qualité protéique de feuilles de *Moringa oleifera* L. rivalise avec celle du lait et des œufs (Moyo *et al.* 2011).

III.5.2 Intérêt économique

L'arbre de *Moringa oleifera* L. ouvre une nouvelle dimension dans le domaine de l'agroforesterie en raison de son port facile à établir, à croissance rapide courte rotation, diversifier la nature de ses produits, avantages multiples pour les gens et leur bétail et plusieurs autres avantages directs et indirects. Ces caractéristiques extraordinaires d'un arbre ouvrent une nouvelle dimension dans le domaine de l'agroforesterie. Cependant, il existe plusieurs contraintes qui entravent l'économie réelle de ces arbres miraculeux comme, le manque de marchés, le manque de connaissances appropriées sur les pratiques culturelles, le manque de matériel végétal et la concurrence pour la terre avec d'autres cultures vivrières. Pour surmonter ces contraintes et pour stimuler l'arbre parmi les

producteurs, de nombreuses activités de recherche et de vulgarisation sont nécessaires. La valeur ajoutée des produits bruts de *Moringa oleifera* L. a accru son économie et son utilité parmi les gens qui attirent le plus de producteurs à travers le monde. Les activités de vulgarisation favorisent la consommation de l'arbre pour améliorer les fonctions nutritionnelles et médicinales, ainsi que pour atténuer les changements climatiques (Yogesh *et al.*, 2017).

III.5.3 Intérêt médicinale

En plus de ses propriétés nutritionnelles *Moringa oleifera* L. possède un intérêt médical car il peut être utilisé dans le traitement de nombreuses maladies (Goyal *et al.*, 2007). Toutes les parties (feuilles, fleurs, fruits, écorces et racines) de *Moringa oleifera* L. ont de vertus médicinales confirmées par des travaux et des études expérimentales dans les différents pays africains, asiatiques et panaméricains (Kooltheat *et al.*, 2014).

III.5.4 Intérêt thérapeutiques

Selon Saint Sauveur et Broin (2006), les feuilles de *Moringa oleifera* L. sont maintenant utilisées dans certains programmes de lutte contre la malnutrition en particulier au Sénégal, en Inde, au Bénin et au Zimbabwe. De ce fait, les populations incluent les feuilles de *Moringa oleifera* L. dans la formulation de la poudre infantile à base de ces feuilles comme complément alimentaire des nourrissons (Madi *et al.*, 2012). Au Sénégal, Mansaly (2001) a confirmé une amélioration nette de la santé des enfants atteints d'infections respiratoires aiguës (IRA), de rougeole, de paludisme ou de diarrhée et mis sous régime de *Moringa oleifera* L.

L'extrait des feuilles de *Moringa oleifera* L. possède une activité antioxydant due à la présence des différentes variétés d'antioxydants comme l'Acide Ascorbique, les flavonoïdes, les composées phénoliques et caroténoïdes (Laleye *et al.*, 2015).

III.5.5 Autres intérêts

Selon Foidl *et al.* (2001), la poudre des graines de *Moringa oleifera* L. constitue un flocculant naturel qui peut clarifier les eaux troubles, dissipant de ce fait 99% des matières colloïdales. Il a démontré également que ce mélange de graines constituent un coagulant de premier ordre pour le traitement de l'eau des rivières possédant un haut niveau de matériel solide en suspension. En outre, un extrait de feuilles de *Moringa oleifera* L. préparé avec de l'éthanol à 80% contient des facteurs de croissance comme les hormones du type cytokinine. Ces hormones de croissance augmentent la robustesse des plantes et leur résistance aux maladies (Foidl *et al.*, 2001).

IV.1 Généralité sur la germination

IV.1.1 Définition

La germination est définie comme la somme des événements qui conduisent la graine sèche à germer; elle commence par la prise d'eau et se termine par l'allongement de l'axe embryonnaire (Hopkins, 2003). La germination est le passage de la vie latente de la graine à la vie active, sous l'effet de facteurs favorables. Selon Mazliak (1982), c'est un processus physiologique dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et le tout début de la croissance de la radicule. Une semence a germé, lorsque la radicule a percé les enveloppes ou elle est visiblement allongée (Bewley, 1997).

IV.1.2 Types de germination

On distingue deux types de germination :

- La germination épigée, caractérisée par un soulèvement des cotylédons hors du sol car il y a un accroissement rapide de la tigelle. Le premier entre-noeud donne l'épicotyle, et les premières feuilles, au dessus des cotylédons sont les feuilles primordiales (Ammari, 2011).
- Tandis que chez les plantes à germination hypogée, les cotylédons restent dans le sol (Ammari, 2011).

IV.1.3 Morphologie de la germination

Pour une germination il faut que la graine s'imbibe d'eau et se gonfle, le tégument se fend et la radicule émerge et s'oriente vers le milieu (sol) selon un géotropisme positif. Ensuite, la tigelle émerge et s'allonge vers le haut (le ciel). Les téguments de la graine se dessèchent et tombent (Meyer *et al.*, 2004).

IV.1.4 Physiologie de la germination

La graine se réhydrate et consomme de l'oxygène pour oxyder ses réserves en vue d'acquiescer l'énergie nécessaire. Selon Michel (1997), la perméabilité du tégument et le contact avec les particules du sol conditionnent l'imbibition et la pénétration de l'oxygène. Les réserves de toute nature sont digérées.

IV.2 Conditions de la germination

IV.2.1 Conditions internes de la germination

Lorsque des graines arrivées à maturité sont placées dans des conditions optimales de température, d'humidité et d'oxygénation pour leur croissance et qu'elles ne germent pas, plusieurs causes sont à envisager : la dormance de l'embryon ou les inhibitions de germination. Les conditions internes de la germination concernent la graine elle-même; elle doit être vivante, mûre, apte à germer (non dormante) et saine (Jeam *et al.*, 1998).

IV.2.2 Conditions externes de la germination

La graine exige la réunion de conditions extérieures favorables à savoir l'eau, l'oxygène, la température et la lumière (Soltner, 2007).

➤ **L'eau** : Selon Chaussat et Ledeuuff (1975), la germination exige obligatoirement de l'eau, celle-ci doit être apportée à l'état liquide. Elle pénètre par capillarité dans les enveloppes. Elle est remise en solution dans les réserves de la graine, pour être utilisée par l'embryon, et provoque le gonflement de leurs cellules, donc leur division.

➤ **L'oxygène** : La germination exige obligatoirement de l'oxygène (Soltner, 2007). Selon Mazliak (1982), une faible quantité d'oxygène peut être suffisante pour permettre la germination. D'après Meyer *et al.*, (2004), l'oxygène est contrôlé par les enveloppes qui constituent une barrière, mais en même temps une réserve.

➤ **La température** : La température a deux actions : Soit directe par l'augmentation de la vitesse des réactions biochimiques, c'est la raison pour la quelle il suffit d'élever la température de quelques degrés pour stimuler la germination (Mazliak, 1982), soit indirecte par l'effet sur la solubilité de l'oxygène dans l'embryon (Chaussat *et al.*, 1975).

➤ **La lumière** : La lumière agit de manière différente sur les espèces. Elle inhibe la germination des graines à photosensibilité négative et stimule celles à photosensibilité positive (Anzala, 2006). Les espèces indifférentes à la photosensibilité sont rares (Heller *et al.*, 1990)

IV.3 Etapes de la germination

D'après, Hopkins, (2003) et Heller *et al.*, (2004), la cinétique de prise d'eau permet de caractériser la germination en trois phases :

❖ **Phase d'imbibition** : correspondant à une forte hydratation des tissus, accompagnée d'une élévation de l'intensité respiratoire (Heller et al., 2000). Elle implique un mouvement d'eau dans le sens de potentiel hydrique décroissant (Hopkins, 2003). Cette entrée d'eau est accompagnée d'une augmentation de la consommation d'oxygène attribuée à l'activation des enzymes mitochondriales (Anzala, 2006)

❖ **Phase de germination au sens strict** : elle est caractérisée par une diminution de l'entrée d'eau ; l'hydratation des tissus et des enzymes est totale. La consommation en oxygène est stable. De plus, les synthèses protéiques sont facilitées car la graine renferme toute la machinerie nécessaire, en particulier des ARNm y sont accumulés (Rajjou *et al.*, 2004). Durant cette phase, il y a reprise de la respiration et des activités métaboliques. La présence d'eau et d'oxygène permet l'activation des processus respiratoires et mitotiques. L'eau rend mobiles et actives les phytohormones hydrosolubles en stock dans la graine. C'est le cas des gibbérellines qui sont véhiculées vers la couche à aleurones où elles vont activer la synthèse d'hydrolases (telles que les amylases, les nucléases ou les protéinases) nécessaires à la dégradation des réserves, à la division et l'élongation cellulaire. Les amylases hydrolysent l'amidon stocké dans l'albumen et libèrent des molécules de glucose, substrat du métabolisme respiratoire. La phase de germination au sens strict se termine avec la percée du tégument par la radicule, rendue possible grâce à l'allongement des cellules (Heller *et al.*, 2004).

❖ **Phase de croissance post-germinative** est caractérisée à nouveau par une entrée d'eau et une augmentation importante de la respiration. La consommation de l'oxygène serait due aux enzymes néosynthétisées (Anzala, 2006), puis très rapidement, on assiste à une reprise des divisions et grandissement cellulaires (Hopkins, 2003) Voir figure 11.

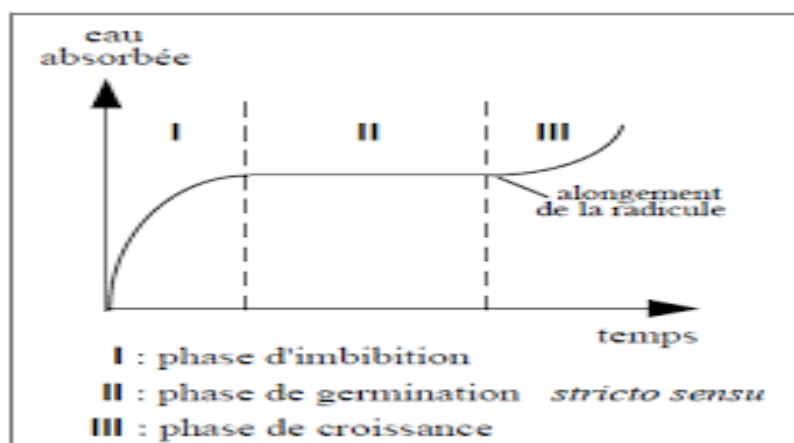


Fig. 11 : Courbe théorique des étapes de germination d'une semence (Côme, 1982)

IV.4. Dormances des graines

IV.4.1. Définition de la dormance

La dormance est un état physiologique durant lequel les fonctions biologique d'une plante sont stoppées. C'est un repos apparent de l'activité de croissance d'un organisme ou d'une partie d'un organisme. Le processus est régulé par les hormones végétales et en particulier par l'acide abscissique. La dormance peut concerner la graine ou les bourgeons (Hilhorst 2007).

IV.4.2. Type de dormance

Les semences qui ne germent pas dans les différentes conditions de milieu, sont des semences dites «dormantes», et leur dormance peut concerner soit les téguments (inhibition tégumentaire), soit l'embryon (dormance au sens strict), soit les deux à la fois (Soltner, 2001).

IV.4.2. Dormance tégumentaire

L'imperméabilité à l'eau ou à l'oxygène cause des dormances tégumentaires, c'est le cas des graines dures (Soltner, 2001). D'après Mazliak (1982), les inhibitions tégumentaires peuvent être facilement définies par : les semences ont des enveloppes ; totalement imperméable à l'eau, les enveloppes séminales ne sont pas suffisamment perméables à l'oxygène.

IV.4.2.2. Dormance embryonnaire

Selon Baskin (1998), la dormance embryonnaire est due à la présence d'un embryon « *sous-développé* » au moment de la dissémination des graines.

Il existe deux types de dormance embryonnaire :

- ❖ la dormance primaire où l'embryon peut être dormant au moment de la récolte des semences (Chaussat *et al.*, 1975).

- ❖ la dormance secondaire dont laquelle l'embryon est capable de germer mais il perd cette aptitude sous l'influence des facteurs défavorables à la germination (Chaussat *et al.*, 1975).

Etude expérimentale

V.1. Objectif de l'expérimentation

Ce travail consiste à étudier l'effet du plomb sous forme de nitrate du plomb ($Pb(NO_3)_2$) sur le taux et la vitesse de germination des graines de *Moringa oleifera* L, ainsi que l'étude anatomique des radicules et des tigelles.

V.2. Site d'étude

L'expérimentation a été réalisée au niveau de laboratoire de biodiversité et conservation des eaux et des sols de l'université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem.



Fig. 12: Site expérimental (laboratoire de biodiversité et conservation des eaux et des sols).

V.3. Choix du Matériel végétal

Les graines utilisées dans cette étude sont d'origine algérienne, de wilaya de Ghardaïa, Algérie. La plante a été choisie en raison de son meilleur taux de germination, sa croissance rapide et sa biomasse importante. Voir figure 13.



Fig. 13: Graines de *Moringa oléifira* L.

V.4. Préparation de la solution stressante

Le plomb utilisé dans cet essai est sous forme de nitrate de plomb ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) qui est mise en solution dans l'eau distillée à quatre doses (3, 5, 7 et 10 mM) et un témoin à base de l'eau distillée (0 mM).

Le tableau ci-dessous montre les cinq doses du plomb appliquées durant la germination des graines de *Moringa oleifera* L.

$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	0 mM	3 mM	5 mM	7 mM	10 mM
ppm	0	993.6	1656	2318	3312
g/l	0	~1	1.7	2.3	3.3

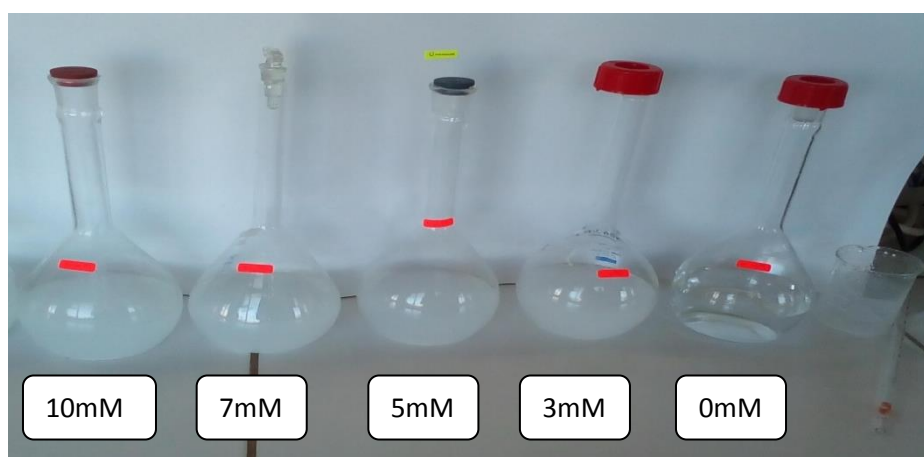


Fig. 14: Doses du plomb appliquées durant la germination des graines de *Moringa oleifera* L.

V.5. Préparation des grains de *Moringa oleifera* L pour la germination.

Les graines de *Moringa oleifera* L. sont lavées avec l'hypochlorite de sodium de 8°, pendant cinq minutes pour éliminer toute contamination fongique. Elles sont ensuite rincées trois fois à l'eau distillée pour supprimer toutes traces de l'hypochlorite de sodium, et à fin de faciliter et homogénéiser leurs germination, Les graines sont trempées dans de l'eau distillée tiède pendant 48 h.

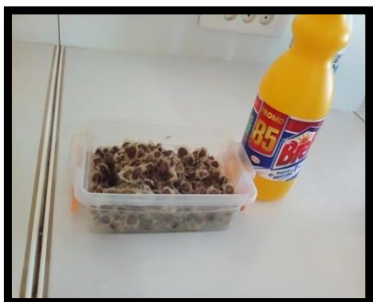


Fig. 15: Lavage de graines avec l'hypochlorite de sodium



Fig. 16: Rinçage de graines avec l'eau distillée.



Fig. 17: Trempage de graines dans l'eau distillée.

V.6. Germination des grains de *Moringa oleifera* L.

Les graines de *Moringa Oleifera* L ont mises à germer dans des boîtes de pétri en plastique stériles de 9 cm de diamètre et de 1 cm d'épaisseur, tapissées avec deux couches de papier filtre, à raison de 10 graines par boîtes Pétri et de 5 répétitions par traitement (50 graines par traitement). Chaque boîte de Pétri est imbibé avec 10 ml de l'eau distillée stérile additionnés de différentes concentrations en plomb (0, 3, 5, 7 et 10 mM). Ensuite, les boîtes de Pétri ont été incubées à l'obscurité dans une étuve à une température de $27\pm 1^{\circ}\text{C}$, et suivi tous les 24h pendant 15 jours.

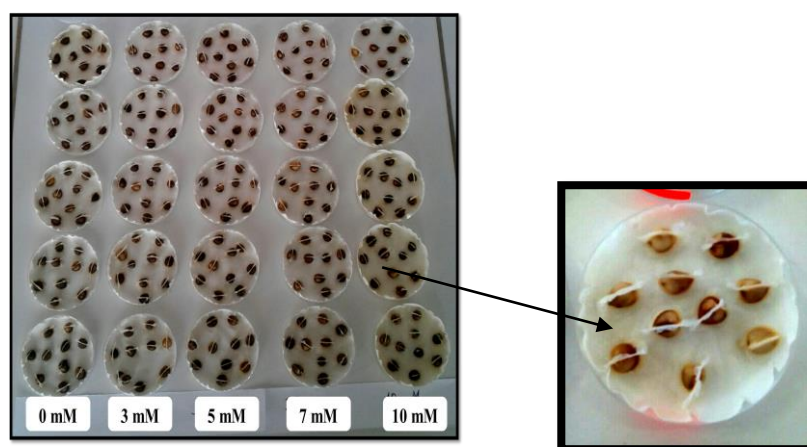


Fig.18 : Germination des graines *Moringa Oléifira* L.

V.7. Paramètres étudiés

Durant cette expérimentation, plusieurs paramètres ont été étudiés et qui sont:

V.7.1. Le taux de germination

Une graine a été considérée germée lorsqu'il y a eu émergence de la radicule. En effet, le taux de germination est calculé par la formule suivante :

$$TG (\%) = \frac{Gx}{Gt} * 100$$

Où TG : Taux de germination final, Gx : nombre des graines germés, Gt : nombre total des graines mises à germer.

V.7.2. Vitesse de la germination

La vitesse de germination permet d'exprimer l'énergie de germination responsable de l'épuisement des réserves de la graine. C'est la variation dans le temps des taux de germination dès l'apparition de la première pointe de la radicule d'une ou des graines jusqu'à la stabilité de la germination, s'exprimant par le taux de germination obtenu à un moment donné.

$$\text{Vitesse de la germination} = \frac{(N1 + N2 + N3 + \dots + Nn)}{(N1T1 + N2T2 + N3T3 + \dots + NnTn)} \times 100$$

Où, N1 = nombre de graines germées au temps T1, N2 = nombre de graines germées entre le temps T1 et T2, N3, Nn = graines germées au temps T3... jusqu'au temps Tn.

V.7.3. Paramètre anatomique

Cette étude permet d'étudier les changements au niveau des parois cellulaires cellulosiques et lignifiées des tiges et des racines de *Moringa oleifera* L., lors du stress de Pb.

A la fin de l'expérimentation et au niveau du quinzième jour, nous avons effectué des coupes transversales des tiges et des racines de *Moringa oleifera* L. stressée avec les cinq doses du plomb (0,3 ,5 ,7 et 10 mM) à la main levée à l'aide d'une lame de rasoir, et les coupes réalisées sont colorées selon la méthode de double coloration, vert de méthyle et rouge congo.



Fig. 19 : Produits et matériel utilisées dans la méthode de double coloration.

Le principe de coloration des coupes levées repose sur les étapes suivantes:



Fig. 20: Schéma de la méthode de double coloration.

V.8. Analyse statistique

Tous les résultats obtenus ont été soumis à une analyse de logiciel R version 3.5.2 (2018-12-20).

IV.1. paramètres germination

IV.1.1. Taux de germination

Les résultats obtenus montrent que le taux de germination de graines *Moringa oleifera* L. diminue en fonction des doses croissantes du plomb par rapport au témoin, où on a enregistré un taux de germination de 98% pour les graines traitées par les trois doses (3,5 et 10 mM) et un taux de 96% chez les graines traitées par 7 mM comparativement au témoin où le taux de germination est de 100% (Figure 21).

L'analyse statistique montre une diminution non significative du taux de germination dont la probabilité qui égale 0.592 ($P > 0.05$).

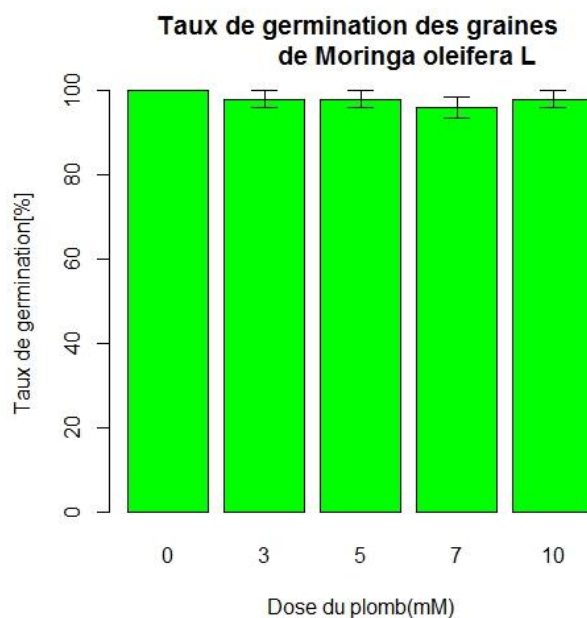
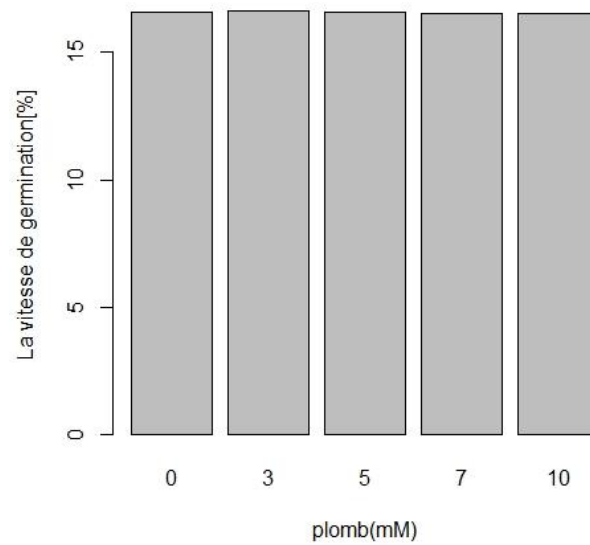


Fig. 21 : Effet du plomb sur le taux final de germination des graines de *Moringa oleifera* L.

IV.1.2. Vitesse de la germination

Les résultats obtenus montrent que la vitesse de germination des graines *Moringa oleifera* L. varié en fonction du plomb a enregistré un effet non significative dont la probabilité qui égale 0.393 avec les valeurs 16.57, 16.59, 16.54 et 16.50 % respectivement avec les doses 0, 5, 7 et 10 mM du Pb comparativement au dose 3mM où la vitesse de germination est de 16.62% (figure 22).

a vitesse de germination des graines de moringa oleif

Fig. 22 : Effet du plomb sur la vitesse de germination des graines de *Moringa oleifera* L.

IV.2. paramètres anatomique

Les résultats de l'observation microscopique des coupes transversales montrent la structure tissulaire suivante de la tige et la racine sont représentés dans les figures ci-dessous.

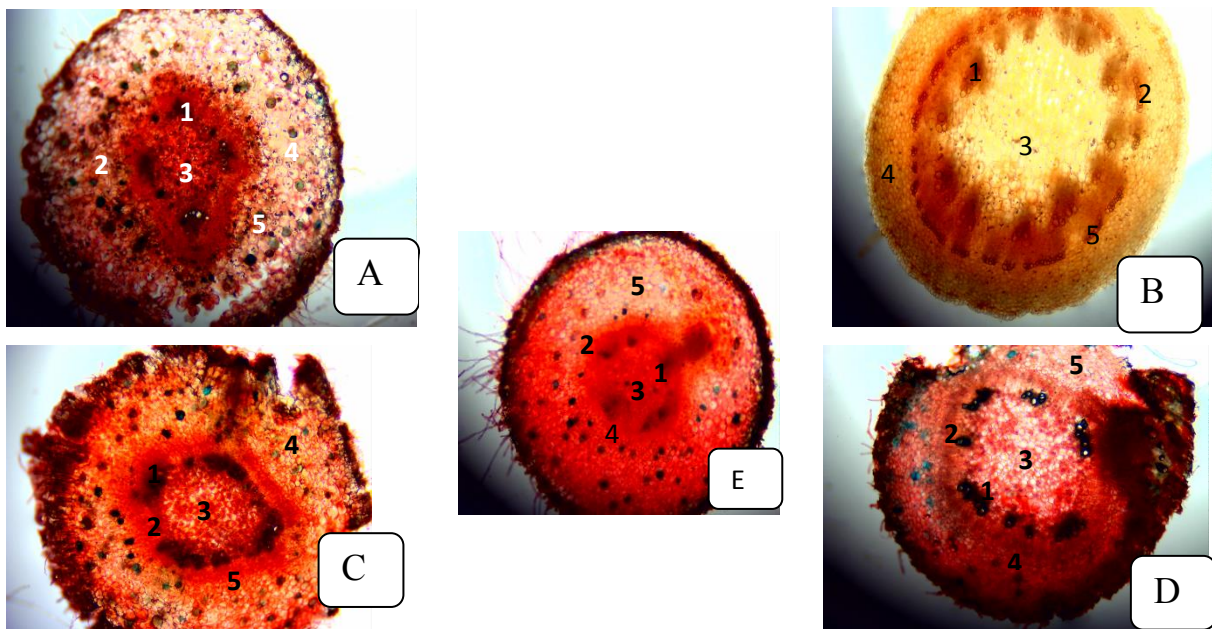


Fig.23 : Observation microscopique de coupes transversales des racines de *moringa oléifira* L. à différentes concentrations de plomb Gr : X40. (Après 15journes de croissance)

Avec

1 : Phloème 2 : Xylème 3 : Parenchyme médullaire 4 : Parenchyme cortical

5 : Endoderme

A : 0 Mm (témoin) ; B : 3Mm ; C : 5mM ; D : 7mM ; E:10mM

Sur une jeune racine en coupe transversale de la racine, on distingue deux zones :

- **Ecorce ou cortex** : Les tissus observés de l'extérieur vers l'intérieur sont
 - ✓ Assise pilifère : Elle est formée de cellules à parois pectocellulosiques dont certaines émettent des prolongements : les poils absorbants.
 - Assise subéreuse : Elle est formée d'une seule assise de cellules dont les parois sont subérifiées (Fig.23)
 - ✓ Parenchyme cortical: Les cellules sont plus ou moins arrondies à méats. Les parois sont cellulosiques et minces. En général, c'est un parenchyme de réserve.
 - ✓ Endoderme : Il s'agit d'un endoderme à cadre. Les parois latérales de chaque cellule présente un épaissement de lignine et de subérine correspondant aux sections d'un cadre ligno-subérifié
- **Cylindre central ou stèle** : Les tissus observés de l'extérieur vers le centre sont
 - ✓ • Péricycle
 - ✓ • Tissus conducteurs primaires : Le xylème et le phloème sont alternes. Le xylème est à différenciation centripète. Les faisceaux de xylème et de phloème sont peu nombreux
 - ✓ • Moelle : La moelle est constituée d'un parenchyme médullaire qui a tendance à disparaître au cours de l'installation de la structure secondaire (Figure.24)

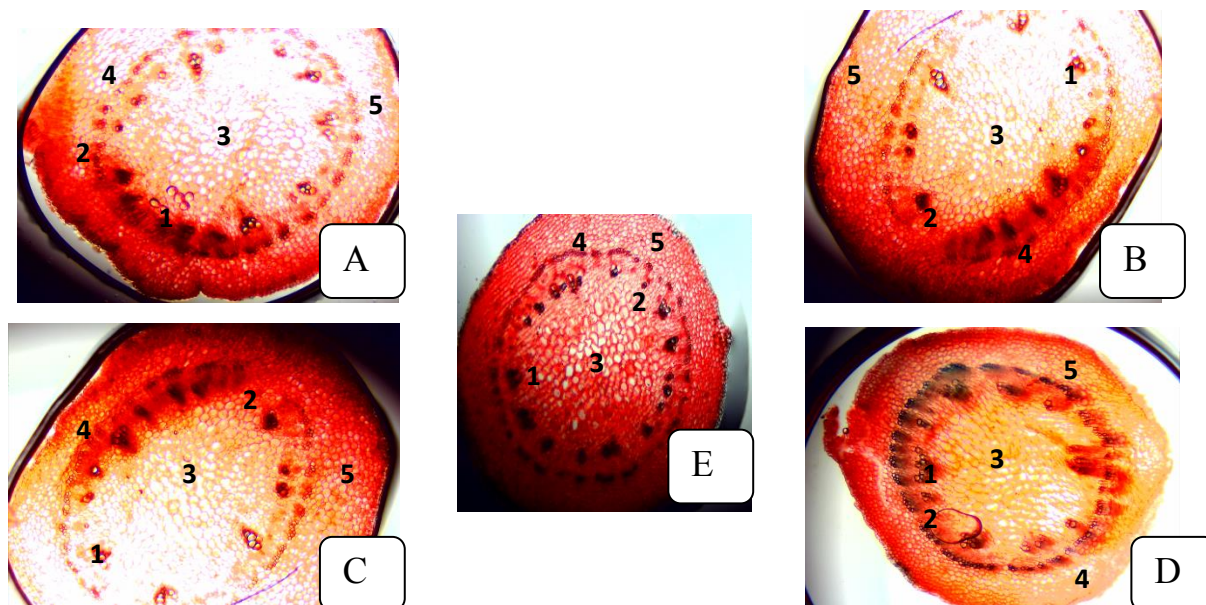


Fig.24 : Observation microscopique de coupes transversales des tiges de *moringa oléifira* L. à différentes concentrations de plomb Gr : X40. (Après 15journées de croissance)

Avec

1 : Phloème 2 : Xylème 3 : Parenchyme médullaire 4 : Parenchyme cortical

5 : Endoderme

A : 0 Mm (témoin) ; B : 3Mm ; C : 5mM ; D : 7mM ; E:10mM

En coupe anatomique, la tige de *Moringa Oléifira* L se distingue par deux parties:

- **Ecorce ou cortex** : Les tissus observés de l'extérieur vers l'intérieur de l'écorce sont
 - ✓ Epiderme : C'est un épiderme cutinisé à stomates, pouvant présenter des poils épidermiques.
 - ✓ Parenchyme cortical : C'est un parenchyme chlorophyllien occupant une zone très étroite. Dans cette zone, on peut trouver des tissus de soutien (Fig.24).
- **Cylindre central ou stèle** : Les tissus observés de l'extérieur du cylindre central vers le centre sont
 - ✓ Tissus conducteurs primaires : Le xylème et le phloème sont superposés constituant des faisceaux criblo-vasculaires disposés sur un ou deux cercles. Le xylème est à différenciation centrifuge. Le phloème est souvent surmonté de fibres périphloémiennes.

- ✓ Moelle : C'est un parenchyme médullaire à méats, à grandes cellules contenant des réserves. La moelle a tendance à disparaître au cours de la formation de la structure secondaire (Fig.24).

L'examen microscopique des coupes transversales réalisées dans la région médiane des racines, et des tiges de *Moringa Oléifira* L après coloration (Vert de méthyle/rouge Congo, montre que les modifications structurales des vaisseaux du xylème reste homogène par rapport au témoin ce ci ne donne une idée que l'effet de stress métallique sur les plantules de *Moringa Oléifira* L ne donne aucun effet surtout à la phase germinative après 15 jours de traitement.

IV.3. Discussion générale

La diminution du pourcentage et le temps moyen de la germination est due à l'effet inhibiteur du plomb. Ce métal présente une affinité vis-à-vis les protéines cellulaires, notamment les enzymes qui contrôlent le processus de la germination (Shalini, 2003). L'effet inhibiteur du nitrate de plomb sur la germination a été souligné par plusieurs auteurs (Rouibi, 1992 ; Xiong, 1997).

La concentration 10^{-2} M inhibe la germination des graines du *Triticum durum* et de *Phaseolus vulgaris* et déshydrate les tissus (Rouibi, 1992). La concentration $1000\mu\text{g/ml}$ réduit à 43,33% le pourcentage de la germination de *Brassica pekinensis* Cette même concentration inhibe l'élongation racinaire et réduit la biomasse (Xiong, 1997).

De nombreux travaux font état d'une inhibition de la croissance et réduction d'élongation foliaire et racinaire, et les masses de matière fraîche et sèche, après exposition par le plomb des plantes variées telles que les petits pois (Kopittke *et al.*, 2007), le radis (Gopal et Rizvi, 2008), le maïs (Ekmekçi *et al.*, 2009), l'ail (Liu *et al.*, 2009), *Arabidopsis thaliana* (Phang *et al.*, 2011), et *Glomus etunicatum* et *Calopogonium mucunoides* (Souza *et al.*, 2012). Wierzbicka et Obidzinska, 1998, qui ont été montré que les solutions contaminées par le plomb qui ont été absorbées par les graines lors de la phase d'imbibition et qui ont pénétré dans l'embryon ont réduit la germination de blé. Mesmar et Jaber, 1991, qui ont été montré que les fortes concentrations en Pb provoquent une réduction de la germination et la croissance des jeunes plantules *Lens culinaris* (lentille) et *triticum aestivum* (blé tendre). Ces résultats sont en parfait accord avec d'autres travaux qui ont observé le même effet avec des concentrations élevées de plomb sur des graines de riz (Chatterjee *et al.*, 2004).

Les résultats des coupes histologiques des racines et tiges de *Moringa oleifera* L. traités par le plomb représentés dans les figures (23 et 24). Nous n'avons pas pu remarquer des changements au niveau de ces coupes longitudinales, à cause peut être de la courte durée de l'expérimentation. Car les premiers effets ne provoquent pas de symptômes visibles, ceux-ci ne se manifestant qu'en cas de toxicité avancée (Cecchi, 2008).

Mais il reste à préciser qu'une fois le plomb 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 (espace libre de Donnan). 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 ; Seregin *et al.*, 1998 ; Patra *et al.*, 2004). Les éléments prélevés dans le sol par les racines doivent être transportés dans le cortex puis déversés dans les vaisseaux du xylème (par circulation de la sève brute).

Ce flux d'ions métalliques dans le xylème nécessite leur chélation à des acides organiques (tels que le citrate) ou à des acides aminés (comme l'histidine). Pour la plupart des espèces, la majorité du plomb absorbé par les plantes réside dans les racines, et seulement une faible proportion est transloquée vers les parties aériennes (Briat et Lebrun, 1999).

Conclusion

Le plomb est l'un des contaminants les plus répandus dans la nature et qui se pose un problème majeur en environnement. Il est toxique ou nocif, même à faible concentration et il n'est pas biodégradable, il persiste et s'accumule dans les sols. Quand il a réussi de pénétrer dans la plante, il peut affecter plusieurs processus physiologiques de celle-ci et provoquer la mort cellulaire à plus fortes.

En général, les plantes sont plus sensibles aux stades de germination et d'émergence qu'aux stades de maturité. La germination des graines est un ensemble de processus métaboliques aboutissant à l'émergence de la radicule. Ce stade de développement est considéré comme une étape critique dans l'établissement des semis et ainsi la détermination d'une production agricole réussie.

Ce travail portait sur l'étude des effets du plomb à différentes doses (0, 3, 5, 7 et 10 mM) pendant quinze jours, sur les paramètres de germination (taux et la vitesse de germination) et l'anatomie des tiges et des racines du *Moringa oleifera* L.

Les concentrations élevées du plomb agissent négativement sur tous les paramètres germinatifs de *Moringa oleifera* L, entraînant une diminution non significative du taux final de germination des graines qui ont été traitées à différentes concentrations de plomb (3, 5, 7 et 10 mM) où le taux de germination le plus élevé est enregistré en absence de plomb (100%), et une diminution non significative de la vitesse de germination chez les graines stressées par rapport au témoin.

Les résultats des coupes histologiques des racines et des tiges n'a montré aucun changement au niveau des plantes traités à différentes doses de plomb par rapport au témoin, à cause de la courte durée de l'expérimentation.

La germination aux doses appliquées (0, 3, 5, 7 et 10 mM) montre les fortes potentialités de *Moringa oleifera* L. qui pourrait présenter les caractéristiques d'une plante modèle pour expliquer les stratégies biochimiques et moléculaires impliquées dans le phénomène de tolérance des graines au plomb.

A

- **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: biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. 2nd Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg. 223-232.
- **Alkorta I., Hernandez-Allica J., Becerril J.M., Amezaga I., Albizu I et Garbisu C (2004).** Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead and arsenic. *Environ Sci Biotechnol*.3 : 73-90.
- **Alloway B.J (1995).** Heavy metals in soils. Blackie Academic & Professional, London, 2nd Edition, 368 p.
- **Ammari S., (2011)** - Contribution à l'étude de germination des graines des plantes sahariennes broutées par le dromadaire. Mémoire d'ingénieur, 46p.
- **Ann-Peer W., Baxter I.R., Richards E.L., Freeman J.L et Murphy A.S. (2003).** Phytoremediation and hyperaccumulator plants. *Int J Phytorem.*5 : 89-103.
- **An Y J (2006).** "Assessment of comparative toxicities of lead and copper using plant assay." *Chemosphere* **62** : 1359-1365.
- **Anuradha S et Rao SSR (2007).** The effect of brassinosteroids on radish (*Raphanus sativus* L.) seedlings growing under cadmium stress. *Plant Soil Environ.* 53: 465-472.
- **Ashraf M et Harris P.J.C. 2004.** Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sci.*, 166: 3-16.
- **Ashraf M.Y., Azar N., Ashraf M., Hussain M., Arshad M., (2011).** Influence of lead on growth and nutrient accumulation in Canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *J. Environ. Biol.*, 32, 659- 666.

B

- Baker, A.J.M., Walker, P.L. (1989).** Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. In: Heavy metal tolerance in plants -Evolutionary aspects. Shaw, A. (Eds). CRC Press, 155-177p
- Baize D (1997).** "Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). "INRA Editions, Paris, 408 pp.

Référence et bibliographique

- **Baize, D., Tercé, M.(2002).** Les éléments traces métalliques dans les sols. Approches fonctionnelles et spatiales. INRA Editions, Paris
- **Baskin C.C et Baskin J.M., (1998)** - Seeds: Ecology.biogeography and evolution of dormancy and germination .Academic Press, San Dieg .C A.
- **Bazzaz FA, Carlson RW, Rolfe GL (1975).** "Inhibition of Corn and Sunflower Photosynthesis by Lead." *Physiologia Plantarum* **34** : 326-329.
- **Briefert, C., Perraud, R.(2003).** Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets. De Boeck. Paris,12p
- **Broin, M. (2005).** Composition nutritionnelle des feuilles de *Moringa oleifera*. In): *Moringanews*.
- **Brunet J, Reppelin A, Varralult G, Terryn N et Zuily-Fodil Y (2008).**"Lead accumulation in the roots of grass pea (*Lathyrus sativus L.*)". *C.R.Biologies* **331** : 859-864.
- **Bourelhier, P.H., Berthelin, J.(1998).** Contamination des sols par les éléments traces: les risques et leur gestion. Rapport n°42. Ed. Technique et documentation. Paris ,13p
- **Buchanan B., Gruissem W., et Ones R.L. (2002).** *Biochemistry & molecular and Biology of plants* American society of plant physiologists (distribution through Wiley et sons). Monona Drive, Rockville, USA.P 224.
- **Bussler., B. (1981).** Physiological functions and utilization

C

- **Calgaroto NS, Castro GY, Cargnelutti D, Pereira LB, Gonçalves JF, Rossato LV, Antes FG, Dressler VL Flores EMM, Schetinger MRC et Nicoloso FT (2010).** Antioxidant system activation by mercury in *Pfaffia glomerata* plantlets. *Biometals*. 23: 295- 305.
- **Cecchi M (2008).** "Devenir du plomb dans le système Sol-Plante : Cas d'un sol contaminé par une usine de recyclage du plomb et de deux plantes potagères (Fève et Tomate)." Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse.226P.
- **Chaney R.L., Brown S.L., Yin-Ming L., Angle J.S., Stuczynski T.I., Daniel W.L., Henry C.L., Siebielec G., Malik M., Ryan J.A and Crompton H. (2000).** Progress in risk assessment for soil METals, and in-situ Remediation and phytoextraction of metals from hazardous contaminated soils. *In* US-EPA's conference phytoremediation : state of the science conference, boston, MA, May 1-2 2000.

Référence et bibliographique

- **Chatterjee C., Dube B.K., Sinha P., Srivastava P., (2004).** Detrimental effects of lead phytotoxicity on growth yield and metabolism of rice. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 35, 255- 265
- **Chaudhry T.M., Hayes W.J., Khan A.G et Khoo C.S. (1998).** Phytoremediation focusing on accumulator plants that remediate metal-contaminated soils. *Aust J Ecotoxicol.* 4 : 37-51.
- **Chaussant R, Le Deunff Y., (1975)a** - La germination des semences .Ed. Bordars, Paris, 232p.
- **Chaussat R, Le Deunff Y., (1975)b** -Microflora and seed deterioration in viability of seed.éd.Chapman and Hall Londres, 59-93.
- **Chen J, Zhu C, Li LP, Sun ZY et Pan XB (2007).** "Effects of exogenous salicylic acid on growth and H₂O₂-metabolizing enzymes in rice seedlings under lead stress." *Journal of Environmental Sciences* 19 : 44-49.
- **Cheng C, Motohashi R, Tsuchimoto S, Fukuta Y, Ohtsubo H, Ohtsubo E .(2003).** Polyphyletic origin of cultivated rice : based on the interspersed pattern of SINES. *Mol Biol Evol* 20 :67-75.
- **Choudhury B, Mitra S et Biswas AK .(2010).** Regulation of sugar metabolism in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings under arsenate toxicity and its improvement by phosphate. *Physio Mol Bio Plants.* 16 (1): 59-68.
- **Chuang MC., Shu GY., Liu JC., (1996).** Solubility of heavy metal in a contaminated soil : effects of redox potential and pH. *Water, Air and Soil Pollution* 34 : 543-556.
- **Coïc, Y., Coppenet, M. (1989).** Oligo-éléments en agriculture et élevage. INRA. Paris. 11p, 20p
- **Côme D., (1970)** - Les obstacles à la germination (monographie et physiologie végétale). Ed. Masson et Cie (Paris), 162p.
- **Côme D., (1982)** - Influence de la réfrigération et de la congélation sur la qualité et l'aptitude.

D

- **Drazkiewicz M (1994).** "Chlorophyll-occurrence, functions, mechanism of action, effects of internal and external factors." *Photosynthetica* 30: 321-331.
- **Dumat C, Chiquet A, Goody D, Aubry E, Morin G, Juillot F, Benedetti M .(2001).** Metal ion geochemistry in smelter impacted soils and soil solutions. *Bulletin de la Société Géologique de France* 172: 539-548.

E

- **Ekmekçi Y, Tanyolaç D et Ayhan B (2009).** A crop tolerating oxidative stress induced by excess lead in maize. *Acta Physio Plant.* 31: 319-330.
- **Etats-Unis. United States Environmental Protection Agency (EPA). (2000).** Introduction to phytoremediation. Cincinnati, OH, 104 p.(EPA/600/R-99/107).
- **Etats-Unis. United States Environmental Protection Agency (EPA) (2012).** A Citizen's to Phytoremediation. 2p (EPA 542-F-12-016).
- **Ernet WHO (1996).** Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils by plants. *Applied Geochemistry* **11**: 163-167.

F

- **Ferrand E, Dumat C, Leclerc-Cessac E et Benedetti M (2006).** Phytoavailability of zirconium in relation to its initial added form and soil characteristics. *Plant Soil* **287**: 313-325.
- **Foidl, N., Makkar, H., & Becker, K. (2001).** Potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie. Potentiel de développement des produits de *Moringa*. Dar es- Salaam, Tanzanie, du 29 octobre au 2 Novembre 2001.
- **Forget D. (2004).** Réhabilitation des sols. In ETS. Ecole de technologie supérieure (ETS). https://cours.etsmtl.ca/ctn626/innov_fiche_cemrs_200409_fr.pdf(page consultée le 20 février 2013).
- **Foy CD, Chaney RL et White MC (1978).** "The Physiology of Metal Toxicity in Plants." *Annual Review of Plant Physiology* **29**: 511-566.
- **Fuglie, L. (2001).** Combating malnutrition with *Moringa*. The miracle tree: the multiple attributes of *Moringa*. CTA Publication, Wageningen, the Netherlands, 117-136.

G

- **Ghosh M et Sing S.P. (2005).**A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by products. *App Eco Environ Res.* 3 : 1-18.
- **Godin, P. M ., Feinberg, M.H., Ducauze, C.J.(1985).** Modelling of soil contamination by airborne lead and cadmium around several emission sources. *Environ. Pollut*,13p.
- **Gopal R et Rizvi AH (2008).** "Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish." *Chemosphere* **70** : 1539-1544.

Référence et bibliographique

- **Gouvernement de Canada. (2008).** Phytoremediation. In gouvernement du Canada. BioBasics. [http : //www.biobasics.gc.ca/english/View.asp ?x=742](http://www.biobasics.gc.ca/english/View.asp?x=742) (Page consultée le 10 mars 2013).

H

- **Heller R., (1990)** - Physiologie végétale. Tome 2: Développement. 4ème édition. Paris, Masson, 266p.
- **Hilhorst, H.W. (2007).** Definitions and hypotheses of seed dormancy. In Seed development, dormancy and germination, K.Bradford and H.Nonogaki, Eds (Oxford, UK: Blackwell Publishing), 50-67
- **Hinsinger P et Gilkes RJ (1996).** Mobilisation of phosphates rock and alumina-sorbed phosphate by roots of ryegrass and clover as related to rhizosphere pH. European Journal of Soil Science **47**: 53-544.

I

- **Intertate Technology & Regulatory Cooperation Work Group (ITRC). (2009).** phytotechnology technical and regulatory and decision trees, revised. washington d.c., itrc and phytotechnologies teams, 187 p. phyto-3.
- **Islam E, Yang X, Li T, Liu D, Jin X et Meng F (2007).** "Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*." Journal of Hazardous Materials **147**: 806-816.

J

- **Jeannot R., Lemièrre B., Chiron S., Augustin F. et Darmendrail D. (2001).** Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués. BRGM Editions, Orléans, France.
- **Jongrungruangchok, S., Bunrathep, S., & Songsak, T. (2010).** Nutrients and minerals content of eleven different samples of *Moringa oleifera* cultivated in Thailand. J Health Res, 24(3), 123-127.

K

- **Kabata-Pendias A et Pendias H (2001).** "Trace elements in soils and plants." CRC Press, Boca Raton, Florida, 2nd Edition, 209 p.
- **Kopittke PM, Asher CJ, Blamey FPC et Menzies NW (2007).** 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.

L

- **Laleye, O. A. F., Ahissou, H., Olounlade, A. P., Azando, E. V. B., & Laleye, A. (2015).** Etude bibliographique de trois plantes antidiabétiques de la flore béninoise: *Khaya senegalensis* (Desr) A. Juss (Meliaceae), *Momordica charantia* Linn (Cucurbitaceae) et *Moringa oleifera* Lam (Moringaceae). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(5), 2682-2700.
- **Lamb D.T., Ming H., Megharaj M et Naidu R. (2010).** Phytoextraction and accumulation of lead in Australian native vegetation *Arch Environ Contamin Toxicol*. 58 (3) : 613-621.
- **Liu X, Zhang S, Shan XQ et Christie P (2007).** Combined toxicity of cadmium and arsenate to wheat seedlings and plant uptake and antioxidative enzyme responses to cadmium and arsenate co-contamination. *Ecotoxicol Environ*. 68: 305-313.
- **Liu D, Jiang W, Liu C, Xin C, Hou W (2000).** "Uptake and accumulation of lead by roots, hypocotyls and shoots of Indian mustard [*Brassica juncea* (L.).]" *Bioresource Technology* 71 : 273-277.
- **Liu D, Zou J, Meng Q, Zou J et Jiang W (2009).** Uptake and accumulation and oxidative stress in garlic (*Allium sativum* L.) under lead phytotoxicity. *Ecotoxicol*. 18: 134- 143.
- **Loué A. (1993).** Oligo-éléments en agriculture. Ed. Nathan (ed), 45-177. L'origine de la salinité des masses d'eau, BRGM, Orléans, 123p.
- **Louni S. 2009.** Extraction et caractérisation physicochimique de l'huile de graines de *Moringa oleifera*. Mémoire de Magister, Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach, Algérie 13, 14p.

M

- **Makkar, H., & Becker, K. (1997).** Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree. *The Journal of Agricultural Science*, 128(03), 311-322.
- **Makowski E, Kita A, Galas W, Karcz W, Kuperberg JM (2002).** "Lead distribution in corn seedlings (*Zea mays* L.) And its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium." *Plant Growth Regulation* 37: 69-76.
- **Mazliak P., 1982** – Croissance et développement. *Physiologie végétale II*. Hermann Ed, Paris, Collection Méthodes, 465p
- **Mesmar M.N., Jaber K., (1991).** The toxic effect of lead on seed germination, growth, chlorophyll and protein contents of wheat and lens. *Acta Biol. Hung.*, 42, 331-344.

Référence et bibliographique

- **Meyer S, Reeb C, Bosdeveix R., (2004)** - Botanique, biologie et physiologie végétale. Ed. Moline, Paris, 461p.
- **Michel V., (1997)**- La production végétale, les composantes de la production. Paris, Ed. Danger, 478p.
- **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.
- **Morton, J. F. (1991)**. The horseradish tree, *Moringa pterygosperma* (Moringaceae) a boon to arid lands? *Economic botany*, 45(3), 318-333.

N

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

O

- **Obroucheva NV, Bystrova EI, Ivanov VB, Antipova OV, Seregin IV (1998)**. "Root growth responses to lead in young maize seedlings." *Plant and Soil* 200: 55-61. p.
- **Ogunsina, B. S., Radha, C., & Govardhan Singh, R. S. (2010)**. Physicochemical and functional properties of full - fat and defatted *Moringa oleifera* kernel flour. *International journal of food science & technology*, 45(11), 2433-2439.

P

- **Parys E, Romanowska E, Siedlecka M et Poskuta J (1998)**. "The effect of lead on photosynthesis and respiration in detached leaves and in mesophyll protoplasts of *Pisum sativum*." *Acta Physiologiae Plantarum* 20 : 313-322.
- **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.
- **Pereira LB, Mazzanti CMA, Gonçalves JF, Cargnelutti D, Tabaldi LA, Becker AG, Calgaroto NS, Farias JG, Battisti V, Bohrer D, Nicoloso FT, Morsch VM et Schetinger MRC (2010)**. Aluminum-induced oxidative stress in cucumber. *Plant Physio Biochem*. 1-7.

Référence et bibliographique

- **Phang IC, Leung DWM, Taylor HH et Burritt DJ (2011).** Correlation of growth inhibition with accumulation of Pb in cell wall and changes in response to oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Plant Growth Regul.* 64: 17-25.
- **Pichard A (2003).** Plomb et ses dérivés. Institut national de l'environnement. 90p.
- **Poskuta JW, Parys E et Romanowska E (1987).** The effects of lead on the gaseous exchange and photosynthetic carbon metabolism of pea seedlings. *Acta Soc. Bot. Pol* 56 : 127-137.

R

- **Rajangam, J., Azahakia Manavalan, R., Thangaraj, T., Vijayakumar, A., & Muthukrishnan, N. (2002).** Production et utilisation du Moringa en Inde du sud: la situation actuelle.
- **Raskin I et Ensley BD (2000).** Phytoremediation of toxic metals ; using plants to clean up the environment. John Wiley & Sons, New York.
- **Robert, M., Juste, C.(1999).** Dynamique des éléments traces de l'écosystème sol. In Club CRIN Environnement et Ministère de l'environnement. Spéciation des métaux dans le sol. Paris: CRIN,13p
- **Rouibi, A., 1992.** Etude des effets du nitrate de plomb sur la germination et la productivité primaire nette chez *Phaseolus vulgaris*. Thème de Magister en Ecotoxicologie Université d'Annaba Algérie.

S

- **Saint Sauveur, A. d., & Broin, M. (2010).** Produire et transformer les feuilles de moringa.
- **Seregin I.V., Ivanov V.B., (2001).** Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Russ. J. Plant Physiol.*, 48, 523-544.
- **Shalini, R.S. (2003).** Lead toxicity induces lipid peroxidation and the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science*, 645-655.
- **Sharma P., Dubey R.S.,(2005).** Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant. Physiol.*, 17, 35-52.
- **Singh,O.V., Labana, S., Pandey, G., Budhiraja, R., and Jain, R.K. (2003).** Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Appl. Microbiol. Biotechnol*,12p
- **Smits E.A.H.P et Freeman J.L. (2006).** Environnemental cleanup using plants biotechnological advances and ecological consideration. *Front Eco Environ.* 4 : 203-210.
- **Sotner D., (2001) -** Les bases de la production végétale. Tome III la plante et son amélioration, 3ème édition Paris, 189p.

Référence et bibliographique

- **Sposito G, Lund LJ et Chang AC (1982).** Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge : In Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. *Soil Sci Soci Ame J.* 46 (2) : 260-264.
- **Sposito G, Prost R, Gaultier JP (1983).** Infrared spectroscopic study of adsorbed water on reduced-charge Na/Li montmorillonites. *Clays and clay minerals* **31**: 9-16.
- **Stefanov K, Pandev S, Seizova K, Tyankova L et Popov S (1995a).** Effect of lead on the lipid metabolism in spinach leaves and thylakoid membranes. *Bio Plant.* 37 (2): 251- 256.
- **Sterckeman T, Douay F, Proix N et Fourrier H (2000).** Vertical distribution of Cd, Pb, and Zn in soils near smelters in the North of France. *Environmental Pollution* **107** : 377-389. *Stratégies de prévention et réhabilitation*, 12p.
- **Sun BY, Kan SH, Zhang YZ, Deng SH, Wu J, Yuan H, Qi H, Yang G, Li L, Zhang XH, Xiao H, Wang YJ, Peng H et Li YW (2010).** Certain antioxidant enzymes and lipid peroxidation of radish (*Raphanus sativus* L.) as early warning biomarkers of soil copper exposure. *J Haz Mat.* 183: 833-838.
- **Swaine DJ (1986).** Lead. In DC Adriano (éd), *Trace elements in the terrestrial environment.* Springer Verlag, New York.

T

- **Tabaldi LA, Nicoloso FT, Castro GY, Cargnelutti D, Gonçalves JF, Rauber R, Skrebsky EC, Schetinger MRC, Morsch VM et Bisognin DA (2007).** Physiological and oxidative stress responses of four potato clones to aluminum in nutrient solution. *Braz J Plant Physio.* 19 (3): 211-222.
- **Tahri M, (2017).** Search for physiological and anatomical parameters of salt tolerance in beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Department of Agronomy Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem Algérie <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/11.4.184-197> Article published on october 27, 2017.
- **Tahri M, (2018).** Recherche de paramètres liés à la tolérance au sel chez l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) thèse doctorat en sciences agronomiques Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem Algérie 28-06-2018p58-59.
- **Tomulescu I, Radoviciu E, Merca V et Tuduce A (2004).** "Effect of Copper, Zinc and Lead and Their Combinations on the Germination Capacity of Two Cereals." *Journal of agricultural sciences* 15: 39-42.

V

Référence et bibliographique

- **Veeresh H, Tripathy S, Chaudhuri D, Hart BR et (2003).** Sorption and distribution of adsorbed metals in three soils of India. *Applied Geochemistry* 18 (11) : 1723-1731.
- **Vishnoi S.R et Srivastava P.N.(2008).** Phytoremediation : green environmental clean. In *Proceeding of taal 2007: the 12th World Lake Conference*, (p.1016-1021), Jaipur, 2008.
- **Vodnik D, Jentschke G, Fritz E, Gogala N et Godbold DL (1999).** "Root-applied cytokinin reduces lead uptake and affects its distribution in norway spruce seedlings." *Physiologia Plantarum* 106: 75-81.

W

- **Weryszko-Chmielewska E et Chwil M (2005).** "Lead-Induced Histological and Ultrastructural Changes in the Leaves of Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.)." *Soil Science and Plant Nutrition* 51: 203-212.
- **Wierzbicka M et Obidzinska J (1998).** "The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species." *Plant Science* 137 : 155-171.
- **Wozny A, Schneider J et Gwozdz EA (1995).** "The effects of lead and kinetin on greening barley leaves." *Biologia Plantarum* 37: 541-552.

X

- **Xiong. Z. T., (1997).** Lead uptake and effects on seed germination and plant growth in a P b h y p e r a c c u m u l a t o r B r a s s i c a p e k i n e n s i s R u p r. Department of Environmental Science, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072. People's Republic of China. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* (1998) 60 :285-291.
- **Xiong Z, Zhao F et Li M (2006).** "Lead toxicity in *Brassica pekinensis* Rupr : Effect on nitrate assimilation and growth." *Environmental Toxicology* 21: 147-153.

Z

- **Zayed A., Lytle C.M et Terry N. (1998).** Accumulation and volatilization of different chemical species of selenium by plants. *Plant*. 206 : 284-292.
- **Zheng L.J, Liu X.M, Lutz-Meindl U. et peer T. (2011).** Effects of lead and EDTA-assisted lead on biomass, lead uptake and mineral nutrients in *lespedeza chimensis* and *lespedeza davidii*. *Water Air Soil Poll.* 220 (1-4) : 57-68.

Annexes

Tableau 5: analyse de variance de taux germination de *Moringa oléifira* L.

	Df	Sum Sq	Mean Sq F	Value	Pr(>F)
pb\$Plomb	5	106.7	21.33	0.753	0.592
Residuals	24	680.0	28.33		

Tableau 6 : Comparaison entre les moyennes de taux germination de *Moringa oléifira* L.
de différentes doses.

	diff	lwr	upr	P adj
dose 2-dose 1	-2	-12.408991	8.408991	0.9904649
dose 3-dose 1	-2	-12.408991	8.408991	0.9904649
dose 4-dose 1	-4	-14.408991	6.408991	0.8380781
dose 5-dose 1	-2	-12.408991	8.408991	0.9904649
dose 6-dose 1	-6	-16.408991	4.408991	0.4948978
dose 3-dose 2	0	-10.408991	10.408991	1.0000000
dose 4-dose 2	-2	-12.408991	8.408991	0.9904649
dose 5-dose 2	0	-10.408991	10.408991	1.0000000
dose 6-dose 2	-4	-14.408991	6.408991	0.8380781
dose 4-dose 3	-2	-12.408991	8.408991	0.9904649
dose 5-dose 3	0	-10.408991	10.408991	1.0000000
dose 6-dose 3	-4	-14.408991	6.408991	0.8380781
dose 5-dose 4	2	-8.408991	12.408991	0.9904649
dose 6-dose 4	-2	-12.408991	8.408991	0.9904649
dose 6-dose 5	-4	-14.408991	6.408991	0.8380781

Tableau: analyse de variance de la vitesse de germination de *Moringa oléifira* L.

	Df	Sum Sq	Mean Sq F	Value	Pr(>F)
pb\$Plomb	5	0.6017	0.01203	1.087	0.393
Residuals	24	0.26566	0.01107		

Tableau : Comparaison entre les moyennes de la vitesse de germination de *Moringa oléifira* L. de différentes doses.

	diff	lwr	upr	P adj
dose 2-dose 1	0.04935465	-0.1563862	0.25509548	0.9744653
dose 3-dose 1	0.02494772	-0.1807931	0.23068854	0.9989044
dose 4-dose 1	-0.02244673	-0.2281876	0.18329410	0.9993424
dose 5-dose 1	-0.02244673	-0.2712551	0.14022657	0.9184169
dose 6-dose 1	-0.07387034	-0.2796112	0.13187048	0.8724009
dose 3-dose 2	-0.02440693	-0.2301478	0.18133389	0.9990142
dose 4-dose 2	-0.07180138	-0.2775422	0.13393944	0.8848830
dose 5-dose 2	-0.11486890	-0.3206097	0.09087192	0.5287455
dose 6-dose 2	-0.12322499	-0.3289658	0.08251583	0.4537738
dose 4-dose 3	-0.04739445	-0.2531353	0.15834638	0.9785827
dose 5-dose 3	-0.09046197	-0.2962028	0.11527885	0.7496499
dose 6-dose 3	-0.09881806	-0.3045589	0.10692276	0.6765060
dose 5-dose 4	-0.04306752	-0.2488083	0.16267330	0.9859685
dose 6-dose 4	-0.05142361	-0.2571644	0.15431721	0.9695503
dose 6-dose 5	-0.00835609	-0.2140969	0.19738473	0.9999950