



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## **Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTE : SCIENCES**

**DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES**

### **MEMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : Lachkhem Zohra**

**DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)**

**FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES**

**OPTION : AMELIORATION DES PLANTES**

#### **Thème**

**Etude de l'indice de vigueur des graines d' *Acacia saligna* (Labill.) sous l'effet de quelques métaux lourds (Pb,Cd, Zn, Ni)**

#### **Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>qualité</b>
Mme AMEUR Djamila	MAA	Président
Mr. SARIDI Abdelkader	MAA	Examineur
Mme MALLEM Hamida	MCA	Rapporteur

**Promotion : JUILLET 2021**

## Résumé

Etude de l'indice de vigueur des graines d' *Acacia saligna* (Labill.) sous l'effet de quelques métaux lourds (Pb, Cd, Zn, Ni)

Un des problèmes majeurs de l'environnement est la contamination par des métaux lourds, souvent la phytoremédiation lui est associée comme procédé de décontamination. Ce présent travail a pour objet de connaître l'effet de quatre métaux lourds (Cd, Ni, Pb et Zn) sur la germination des graines d'*Acacia saligna*, et ce sous différentes concentrations. L'essai a été réalisé au laboratoire dans une étuve à 20°C. Les résultats obtenus indiquent que l'exposition des graines de *Acacia saligna*, à différentes doses des métaux lourds (Cd, Ni, Pb et Zn) n'a pas affecté le pouvoir germinatif des graines. Par contre la rapidité de la germination et l'indice de vigueur ont été affecté par les différents métaux lourds et ce à partir des doses suivantes : le Zn à 0,5g/l, le Pb à 0,5g/l, le Cd à 0,05g/l et le Ni à 0,1g/l. enfin nous pouvons conclure que cette espèce peut croître dans un milieu pollué en métaux lourds à la limite des doses précitées, elle peut donc être plantée dans des projets de phytoremédiation .

**Mots clés:** Germination, *Acacia saligna* , métaux lourds, phytoremédiation .

Study of the vigor index of *Acacia saligna* (Labill.) seeds under the effect of some heavy metals (Pb,Cd, Zn, Ni)

### **Abstract**

One of the major problems of the environment is the contamination by heavy metals, often the phytoremediation is associated to it as a decontamination process. This work aims to know the effect of four heavy metals (Cd, Ni, Pb and Zn) on the germination of seeds of *Acacia saligna*, and this under different concentrations. The test was carried out in the laboratory in an oven at 20°C. The results obtained indicate that the exposure of the seeds of *Acacia saligna* to different doses of heavy metals (Cd, Ni, Pb and Zn) did not affect the germinative capacity of the seeds. On the other hand the speed of germination and the index of vigor were affected by the various heavy metals and this starting from the following doses: Zn with 0,5g/l, Pb with 0,5g/l, Cd with 0,05g/l and Ni with 0,1g/l. finally we can conclude that this species can grow in a medium polluted in heavy metals has the limit of the above-mentioned doses, it can thus be planted in projects of phytoremediation.

**Key words:** Germination, *Acacia saligna* , heavy metals, phytoremediation

دراسة معامل النشاط لبذور السنط تحت تأثير بعض المعادن الثقيلة (الرصاص ، الكاديوم ، الزنك ، النيكل

### الملخص

يعد التلوث بالمعادن الثقيلة إحدى المشكلات الرئيسية للبيئة ، وغالبًا ما ترتبط المعالجة النباتية بها كعملية إزالة التلوث. يهدف هذا العمل إلى معرفة تأثير أربعة معادن ثقيلة (الكاديوم والنيكل والرصاص والزنك) على إنبات بذور نبات الأكاسيا ، وذلك بتركيزات مختلفة. تم إجراء الاختبار في المختبر في فرن عند 20 درجة مئوية. تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن تعرض بذور نبات الأكاسيا لجرعات مختلفة من المعادن الثقيلة (الكاديوم والنيكل والرصاص والزنك) لم يؤثر على القدرة الإيجابية للبذور. من ناحية أخرى تأثرت سرعة الإنبات ومؤشر القوة بالعديد من المعادن الثقيلة وهذا يبدأ من الجرعات التالية: الزنك 0,5 جم / لتر ، الرصاص 0,5 جم / لتر ، الكاديوم مع 0,05 جم / ل و ني مع 0.1 جم / لتر. أخيرًا يمكننا أن نستنتج أن هذا النوع يمكن أن ينمو في وسط ملوث بالمعادن الثقيلة له حدود الجرعات المذكورة أعلاه ، وبالتالي يمكن زراعته في مشاريع المعالجة النباتية .

**الكلمات المفتاحية:** إنبات ، أكاسيا ساليبي ، معادن ثقيلة ، معالجة نباتية

## **Remerciements**

*Tout d'abord, Louange à DIEU Tout puissant de m'avoir donnée le courage, la volonté et la patience pour terminer ce travail.*

*En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur à madame MALLEM HAMIDA docteur à l'université de Amar Telidji , pour ses appréciations, ses précieux conseils, son écoute qui ont été prépondérants pour la bonne réussite de ce travail.*

*je remercier à Mr.SARIDI .ABDELKADER et MM AMEUR .DJAMILA d'avoir accepté de juger ce travail.*

*Aussi je tiens également à exprimer mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce Modeste travail.*

## **Dédicaces**

*Je dédié ce modeste travail à mes très chers parents, à mon très chère père MUSTAPHA tout ce qu'il a fait pour moi, par son soutien moral et matériel, ces encouragements, et pour ça patience.*

*A ma très chère mère AMEL celle qui m'a transmis le courage, et l'amour pour, ça tendresse, et pour l'encouragement qu'elle a ma donnée pendant mon parcours, que dieu tout puissant garde mes parents et les protège.*

*A mon très cher frère :MOHAMED ELFATEH .*

*A mes très chères sœurs :KHEIRA ,AMIRA, RABIA ET SELMA .*

*A mon fiancé IBRAHIM.GOUHIRI*

*Spécial dédicace à ma meilleure amie et ma chère collègue KHAOULA qui m'a bien aidée le long de mon parcours universitaire.*

## Listes des figures

Figure 1:Description de l'acacia saligna ( a.l »aspect general, b) : le tronc, c) :feuilles et fleurs, d) fleurs ; e) : fruit (gousse), f) graines (wikipedia :2021).....	6
Figure 2:repartition de Acacia saligna dans le monde (CABI,2021) .....	8
Figure 3:etape de la germinatin (meyer et al,2004). .....	12
Figure 4:Origine des éléments traces métalliques dans le sol. (Robert et Just,1998). .....	18
Figure 5:Les techniques de phytoremédiation (Pilon-Smits, 2005).....	20
Figure 6:Processus de la phytoextraction des contaminants présents dans le sol (ITRC, 2001). .....	21
Figure 7:Représentation de la phytostabilisation (ITRC, 2001). .....	22
Figure 8:Mécanisme de rhizodégradation (Vila, 2006). .....	23
Figure 9:Les graines d'Acacia saligna (originale,2021). .....	27
Figure 10:: schéma du dispositif expérimental.....	29
Figure 11: photo de dispositif expérimental.....	30
Figure 12: mesure de la longueur de la racine et la longueur de la pousse après 15 jours de germination des graines (originale, 2021).....	32
Figure 13:la cinétique de germination des graines d'Acacia saligna sous l'effet de différentes concentrations du Pb .....	34
Figure 14:le taux de germination des graines d'Acacia saligna sous différentes concentrations de Pb.....	35
Figure 15:Effet des concentrations du Pb sur la durée médiane de la germination des graines d'A.saligna. ....	36
Figure 16: l'indice de vigueur de la germination des graines d'A.saligna sous différentes concentrations de Pb .....	37
Figure 17: la cinétique de germination des graines d'Acacia saligna sous l'effet de différentes .....	38
Figure 18:Le taux de germination des graines d'Acasca saligna sous différentes concentrations de Ni .....	39
Figure 19:Effet des concentrations du Ni sur la durée médiane de germination des graines d'A.saligna . ....	40
Figure 20:l'indice de vigueur de la germination des graines d'A.salina sous différentes concentration de Ni . ....	41

Figure 21: la cinétique de germination des graines d'Acacia saligna sous l'effet de différentes concentrations du Cd. ....	42
Figure 22:Le taux de germination des graines d' Acacia saligna sous différentes concentrations de Cd .....	43
Figure 23:Effet de concentration du Cd sur la durée médiane de germination des graines d'A.saligna . ....	44
Figure 24:l'indice de vigueur de la germination des graines d'A.salina sous différentes concentration du Cd. ....	45
Figure 25:Les résultats de l'effet du Zinc sur la cinétique de germination des graines d'A.saligna présentés dans la fig 24. ....	46
Figure 26:Le taux de germination des graines d'Acacia saligna sous différentes concentrations du Zn. ....	47
Figure 27:Effet de concentration du Zn sur la durée médiane de germination des graines d'A.saligna . ....	48
Figure 28:l'indice de vigueur de la germination des graines d'A.saligna sous différentes concentration de Zn .....	49

## Liste des abréviations

Abréviation	Signification
A	Acacia
Ni	Nickel
Zn	Zinc
Cd	Cadmium
Pb e	Plomb
g/l	Gramme/litre
%	Pourcentage

## Sommaire

<i>Résumé</i> .....	
<i>Remerciements</i> .....	
<i>Dédicaces</i> .....	
<i>Listes des figures</i> .....	
<i>Liste des abréviations</i> .....	
<i>Table des matières</i> .....	
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	
<i>Introduction</i> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 : Généralités sur l'acacia Saligna</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 Le genre Acacia</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2. L'espèce Acacia saligna (Labill.)</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3. Description</b> .....	<b>5</b>
<b>1.4 Utilisation</b> .....	<b>7</b>
<b>1.5 Répartition</b> .....	<b>7</b>
<b>1.6 Exigences environnementales</b> .....	<b>9</b>
<b>Chapitre 2 : la germination</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1 Définition de la germination des graines</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2 Types de germination</b> .....	<b>11</b>
<b>2.3 Les différentes phases de germination</b> .....	<b>11</b>
<b>2.4. Conditions de la germination</b> .....	<b>13</b>
2.4.1. Conditions internes .....	13
2.4.2 Conditions externes.....	13
<b>2.5 Dormances des graines</b> .....	<b>14</b>
2.5.1 Définition de la dormance.....	14
2.5.2 Types de dormance .....	14
2.5.3 La levée de la dormance et germination .....	15
<b>Chapitre 3 : Les métaux lourds et la phytoremédiation</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1 Définition des métaux lourds</b> .....	<b>17</b>
<b>3.5 Les avantages et les limites de la phytoremédiation</b> .....	<b>23</b>
3.5.2. Les limites de la phytoremédiation .....	25
<b>Chapitre 4: Matériel et méthodes</b> .....	<b>26</b>
<b>4.1 Objectif</b> .....	<b>27</b>

<b>4.2 Matériel végétal.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3 Conditions expérimentale .....</b>	<b>27</b>
4.3.1 Lieu de l'expérimentation .....	27
4.3.2 Protocole expérimentale .....	27
<b>4.4 Les paramètres mesurés dans l'essai de la germination .....</b>	<b>30</b>
<b><i>Chapitre 5 : Résultats et discussions .....</i></b>	<b>33</b>
<b>5.1 Résultats .....</b>	<b>34</b>
5 .1.1 Effet du Plomb sur les paramètres de germination des graines d' <i>Acacia saligna</i> ..	34
5 .1.2 Effet du Ni sur les paramètres de germination des graines d' <i>Acacia saligna</i> .....	38
5 .1.3 Effet du Cadmium sur les paramètres de germination des graines d' <i>Acacia saligna</i> .....	42
5 .1.4 Effet du Zinc sur les paramètres de germination des graines d' <i>Acacia saligna</i> .....	46
<b>5.2 Discussion .....</b>	<b>50</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>55</b>
<b><i>Références bibliographiques.....</i></b>	<b>57</b>
<b><i>L'ANNEX.....</i></b>	<b>68</b>

---

---

## **INTRODUCTION GENERALE**

---

---

### Introduction

L'industrialisation, l'urbanisation extensive et l'exploitation minière ont été citées parmi les principales causes de contamination des sols qui ont un impact négatif sur la qualité de l'environnement (Yaylali-Abanuz 2011). Ces dernières années, tant dans les pays développés que dans les pays en voie de développement, les problèmes de contamination des sols se sont multipliés. La contamination des sols s'est révélée être un problème environnemental important (Esmali et al. 2014). Elle est principalement liée à l'origine anthropique, les activités industrielles étant le principal générateur de polluants (Kowalska et al. 2016). Les polluants libérés par l'industrie endommagent les écosystèmes, dont les composants biotiques sont également altérés et brisés (Wu et al. 2016). Parmi les activités industrielles, les cimenteries sont considérées comme d'importants émetteurs de poussières et de métaux lourds tels que Cd, Cr, Hg, Pb et Zn (Ogunkunle et Fatoba 2014).

Les métaux lourds ont un intérêt scientifique massif en raison de leur impact direct sur l'environnement, affectant la qualité de l'air, de l'eau et du sol et par conséquent les êtres humains à travers la chaîne alimentaire (Bermudez et al. 2010 ; Qureshi et al. 2016). Bien qu'affichés à faible concentration, les métaux lourds sont persistants dans l'environnement car ils ont résisté à la dégradation environnementale par des processus chimiques, biologiques et photolytiques (Ahemad et Khan 2012).

Sinon, le sol se comporte comme un puits de métaux lourds par le dépôt de particules industrielles (Bermudez et al., 2010). Il est connu que les métaux lourds sont transférés du sol vers les autres compartiments de l'environnement. Ils apparaissent collés aux particules émises par la source de polluants dans l'air où ils peuvent être transportés par les vents. La taille des particules régit la vitesse et la distance sur laquelle les métaux seront transportés ainsi que le dépôt sec sur le sol et la couverture végétale (Martin 2012).

Les polluants peuvent également être drainés par l'eau et les retombées de pluie caractérisant le dépôt humide. Outre leur persistance, l'effet négatif des métaux lourds sur les composants de l'écosystème peut être atténué par de nombreuses techniques telles que l'immobilisation et la phytoremédiation, une technologie verte basée sur l'utilisation des propriétés des espèces végétales telles que l'absorption et l'immobilisation des métaux lourds pour nettoyer les sites contaminés (Lim et al. 2004 ; Pilon Smits 2005).

Cette technique a reçu une forte attention au cours des dernières décennies comme un outil prometteur avec respect à ses faibles coûts et des résultats précieux (Sarwar et al. 2017). La phytoremédiation implique plusieurs stratégies en fonction du mécanisme utilisé par la plante pour minimiser l'effet toxique du métal (Ali et al. 2013). Les processus impliqués dépendent des caractéristiques physiologiques et botaniques de la plante et peuvent être essentiellement résumés comme la phytoextraction, la phytodégradation, la phytovolatilisation, la phytostabilisation et la phytofiltration (Gomes et al. 2016). L'intérêt scientifique croissant pour la phytoremédiation a certainement détourné les environmentalistes pour tester et découvrir des espèces végétales phytonurses pour libérer les polluants organiques et inorganiques des sols ( Dhiman et al. 2016 ; Leyton et al. 2016).

*Acacia saligna* (Labill.) est un arbuste buissonnant, non épineux, multicaule, de 2 à 5 m de haut ; mais il peut également se présenter sous la forme d'un arbre de 8 m de haut (Nick Pasiecznik, 2019). Cet arbre souvent fixateur d'azote est appelé à jouer un rôle de premier plan en raison de son adaptation aux milieux dégradés. Il constitue aussi une source fourragère non négligeable (Dommergues *et al.*, 1999).

Abdul Qados (2015), a travaillé sur l'utilisation d'espèces d'arbres indigènes dans la phytoremédiation et la réhabilitation de sols contaminés par le Pb et le Cd. Les résultats ont suggéré que *A. saligna* était l'espèce la plus tolérante aux concentrations élevées de Pb et Cd dans le sol. Nous venons par le biais de la présente étude confirmer cette conclusion au stade germination .

Dans cette étude, nous avons étudié l'effet de quelques métaux lourds sur la germination des graines d'*Acacia saligna* et plus précisément l'indice de vigueur.

Ce mémoire est scindé en cinq chapitres répartis comme suit :

- ✓ Premier chapitre présente *l'Acacia saligna* .
  - ✓ Deuxième chapitre donne un aperçu général sur la germination
  - ✓ Troisième chapitre est consacré aux métaux lourds et la phytoremédiation
  - ✓ Quatrième chapitre : Matériel et méthodes.
  - ✓ Cinquième chapitre : Résultats et discussion.
- Enfin, nous terminerons par une conclusion générale

---

---

## **CHAPITRE 1 : Généralités sur l'acacia Saligna**

---

---

# Chapitre 1: Généralités sur l'Acacia Saligna

---

## 1.1 Le genre *Acacia*

Le genre *Acacia* fait partie des légumineuses de la famille des *Mimosacées*. Il est composé de 1200 espèces réparties dans les différentes zones tropicales et subtropicales du monde (Ndiaye *et al.*, 2002). La plupart d'entre elles se trouvent dans les zones arides et semi arides. Environ 850 sont endémique en Australie, 7 en Amérique du sud et 135 en Afrique, avec quelque espèces qui se trouvent en Asie (Maslin et Striton, 1997). En Algérie, les *Acacia* constituent une chaîne de forêts reliant les hauts plateaux et leurs steppes (Tissouras, 2004). Cet arbre souvent fixateur d'azote est appelé à jouer un rôle de premier plan en raison de son adaptation aux milieux dégradés. Il constitue aussi une source fourragère non négligeable (Dommergues *et al.*, 1999).

## 1.2. L'espèce *Acacia saligna* (Labill.)

Appelé encore *Acacia cyanophylla* (Tackhlom, 1974), un arbre originaire du sud-ouest d'Australie. Il a été introduit dans de nombreux pays hors de son aire naturelle, notamment en Afrique du nord.

La Classification botanique de l'espèce *Acacia saligna* (Tison *et al.* (2014)

**Règne** Plantae Haeckel, 1866

**Sous-Règne** Viridiaeplantae

**Classe** Equisetopsida C.Agardh, 1825

**Sous-Classe** Magnoliidae Novák ex Takht., 1967

**Super-Ordre** Rosanae Takht., 1967

**Ordre** Fabales Bromhead, 1838

**Famille** Fabaceae Lindl., 1836

**Sous-Famille** Caesalpinioideae DC., 1825

**Genre** *Acacia* Mill., 1754

**Espèce** *Acacia saligna* (Labill.) H.L.Wendl., 1820

### 1.3. Description

Selon (Crompton, 1992), *Acacia saligna* (Labill.) est un arbuste buissonnant, non épineux, multicaule, de 2 à 5 m de haut ; mais il peut également se présenter sous la forme d'un arbre de 8 m de haut avec un seul tronc d'un diamètre atteignant jusqu'à 30 cm (**Fig1.a**)

L'écorce est lisse, de couleur rouge-brun au niveau des rameaux; sur les arbres âgés l'écorce est gris-foncé et fissurée (**Fig1b.**).

- ❖ **Feuilles** Phyllodes vert foncé à bleu-vert avec des nervures centrales très visibles, très polymorphes, longs et étroits à lancéolés, droits ou falciformes, de 8 à 25 cm de long sur 0.4-0.2 cm de large, souvent plus grands à la base de l'arbre (Fig.1c ).
- ❖ **Fleurs** Jaune vif, groupées par 25-55 (jusqu'à 78) en glomérules sphériques de 5 à 10 mm de diamètre portés par 2 à 10 pédoncules glabres, réunis en racèmes (Fig.1d ).
- ❖ **Fruits** Gousse étroites, de 4-6mm de large et 8-12cm de long, parfois légèrement arquées, légèrement contractées entre les graines (Fig.1e ).
- ❖ Graines brun foncé à noir, brillantes, 5-6 mm de long sur 3.5 mm de large (fig.1f)
- ❖ **Longévité** Elle est de 7-15 ans avec des précipitations annuelles de 150-200 mm ; elle est seulement de 5 ans si le sol est peu profond.
- ❖ **Propagation** Par graine, rejette aisément de souche et drageonne facilement, d'où son intérêt pour la fixation des dunes

# Chapitre 1: Généralités sur l'Acacia Saligna



a



b



c



d



e



f

Figure 1: Description de l'acacia saligna ( a.l »aspect general, b) : le tronc, c) :feuilles et fleurs, d) fleurs ; e) : fruit (gousse), f) graines (wikipedia :2021)

# Chapitre 1: Généralités sur l'Acacia Saligna

---

## 1.4 Utilisation

Lorsque l'écorce est blessée *Acacia saligna* exsude en abondance une gomme qui est utilisée en industrie alimentaire (Crompton, 1992). Son bois peut être utilisé comme bois de chauffage ou charbon de bois, et a même été transformé avec succès en panneaux de particules en Tunisie (El-Lakany 1987). La production annuelle de bois (écorce évaluée) varie entre 1,5 et 10 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Michaelides 1979). Selon (Fox 1995), on peut tirer une récolte de bois de chauffage de la plantation dunaire de cette espèce à 10-15 ans. Il est probable que de nombreuses autres espèces d'*Acacia* produiraient un bois de chauffage de meilleure qualité que *A. saligna*. Utilisé également pour la restauration des sols, des versants de montagnes et des collines érodées, ainsi que les terrains pour la stabilisation des sables mobiles (Crompton, 1992),

*Acacia saligna* est très variable dans sa forme de croissance et présente une large gamme de tolérance écologique. Il présente un excellent potentiel d'utilisation dans le contrôle de la salinité et de l'érosion des sols, comme brise-vent, comme écran visuel et comme ombrage et abri pour le bétail et la faune (fox 1995).

Selon (fox1995 ), Il présente un intérêt fourrager certain, Cette espèce semble avoir un assez bon potentiel en tant que plante fourragère. La teneur en protéines de ses phyllodes est élevée, variant de 14 à 19 %, mais la digestibilité est faible. Néanmoins, il est prouvé que lorsque *A. saligna* est utilisé comme aliment de bétail en combinaison avec d'autres plantes telles que le Tagasaste (*Chamaecytisus palmensis*) et/ou des graminées pérennes, la capacité de charge des terres en moutons augmente considérablement. Selon Lefroy et al. (1992), l'avantage de l'utilisation d'*A. saligna* est qu'elle est facilement établie à un coût relativement faible. , mais un inconvénient est que les plantes doivent être coupées régulièrement pour rendre le feuillage disponible pour les animaux. Outre-mer, *A. saligna* est très appréciée comme fourrage pour le bétail (El-Lakany 1987). Par exemple, plus de 200 000 ha ont été plantés en Afrique du Nord comme nourriture pour les moutons et les chèvres (Crompton 1991).

## 1.5 Répartition

C'est le seul *Acacia* avec des phyllodes présent en Algérie. Les feuilles adultes passent des feuilles composées bipennées juvéniles aux phyllodes. Cette espèce colonise tout le Nord de l'Algérie. Cet arbre tolère une grande variété de sols (même alcalins) et se comporte

## Chapitre 1: Généralités sur l'Acacia Saligna

normalement dans des sols très salins (Sebkha, chott) et des côtes. En effet, *A. saligna* peut tolérer les embruns salés, le soleil chaud des côtes, les vents extrêmes et les sols sablonneux (Mansouri, 2011). Il est utilisé pour la création de brise-vent, et c'est l'une des espèces à croissance rapide. Le meilleur exemple est le projet de revégétation de la carrière de sable en association avec les rhizobiums sélectionnés par Mansouri (2011) dans la région d'Aïn Témouchent (Nord-Ouest de l'Algérie). La zone est située à 2 mètres d'altitude et à 400 mètres de la côte de Terga. Les 1840 arbres plantés d'*A. saligna* se développent très bien aujourd'hui en protégeant une large biodiversité et en empêchant l'érosion des sols. En raison de la grande rusticité cette espèce et de sa bonne adaptation, elle est utilisée comme espèce pionnière, favorisant l'amélioration de la fertilité du sol sur de courtes périodes et favorisant un meilleur développement d'autres espèces plus productives.

En Afrique du sud, *Acacia cyanophylla* (synonyme de *A. saligna*) a été très largement plantée ( fig .2) et avec succès pour stabiliser les dunes littorales. De plus sa propriété envahissante des zones littorales est due à une excellente adaptation au climat, une fructification abondante et une grande aptitude à drageonner. Il faut noter aussi qu'il présente de très faibles exigences nutritionnelles et un bon potentiel fixateur d'azote (Witkowski, 1991a et b).

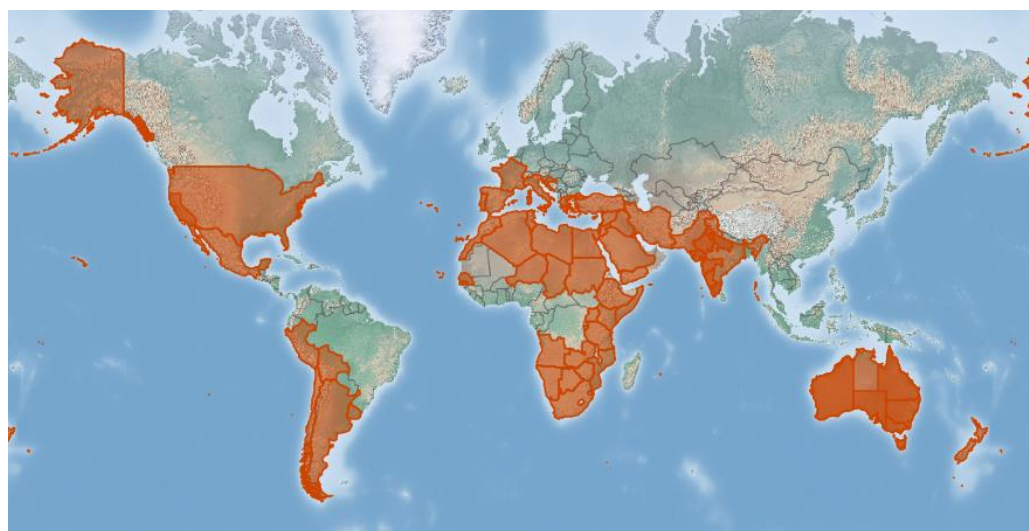


Figure 2:repartition de Acacia saligna dans le monde (CABI,2021)

## 1.6 Exigences environnementales

En Australie, *A. saligna* est principalement présent dans les zones climatiques chaudes, subhumides et humides, mais il s'étend dans les parties les plus pluvieuses de la zone semi-aride. Les températures maximales moyennes du mois le plus chaud montrent une gamme considérable d'environ 23°C sur certaines parties de la côte sud à près de 30°C à Perth, à 32-36°C pour les régions du nord et de l'intérieur des terres. Le minimum moyen du mois le plus frais montre une fourchette plus petite, se situant principalement dans les limites de 4,5 à 9°C. La plupart des situations sur la côte sont exemptes de gel, en particulier à partir de Perth vers le nord, mais à l'intérieur des terres, il y a en moyenne 1 à 6 gelées par an. Lorsqu'il est introduit, *A. saligna* présente une sensibilité au gel, et les dommages sont susceptibles d'être graves si la température tombe en dessous de  $-4^{\circ}\text{C}$ . *A. saligna* pousse généralement mal dans les zones tropicales par rapport aux autres espèces d'acacia, sauf à haute altitude (CABI,2021)

La pluviométrie annuelle moyenne pour la zone humide de l'aire de répartition naturelle est de 750-1000 mm, avec une chute abrupte pour la zone subhumide à 450-500 mm, et aussi faible que 280 mm dans la zone semi-aride (Doran et al., 1997), mais où il reçoit normalement de l'eau de ruissellement supplémentaire (Crompton, 1992). *A. saligna* est présent sur de nombreux types de sols, en particulier les sables pauvres et calcaires, mais aussi les argiles modérément lourdes et sur une gamme de podzoliques. Les arbres sont communs sur les sols sablonneux alcalins et infertiles (Simmons, 1981). Il pousse principalement sur une topographie légèrement vallonnée et des plaines sablonneuses côtières, mais s'étend à une grande variété de situations allant des sites marécageux et des berges des rivières aux petites collines rocheuses (souvent granitiques) et aux pentes des chaînes côtières (Doran et al., 1997). Il peut tolérer l'engorgement et les vents salés, et des altitudes allant du niveau de la mer à environ 325 m d'altitude dans son aire de répartition d'origine, mais beaucoup plus haut là où il est introduit.

---

---

## **Chapitre 2 : la germination**

---

---

# Chapitre 2 : La Germination

---

## 2.1 Définition de la germination

La germination est un processus qui traduit le passage de la vie ralentie d'une graine ou d'un gland sec à sa vie active dans des conditions optimales de germination, Elle est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par des conditions environnementales et en particulier par la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence du sel, (Côme, 1970).

A l'état de vie active, les réserves qui assuraient le métabolisme résiduel de l'embryon vont être activement métabolisées pour assurer la croissance de la plantule (Jean et al., 1998). Selon Guyot (1978) la germination, phase première de la vie de la plante, assure la naissance d'une jeune plantule aux dépens de la graine. Une semence a germé lorsqu'elle a donné une plantule capable de croître normalement (Côme, 1970) Cependant, la germination est aussi décrite comme l'émergence et le développement à partir de l'embryon de structures essentielles qui sont indicatrices de la capacité de la graine à produire une plante normale sous des conditions favorables (Willan, 1984).

## 2.2 Types de germination

La germination peut s'effectuer de deux manières, dans la manière la plus courante, la radicule fait émerger les cotylédons ou premières feuilles, la photosynthèse commence alors, et les véritables feuilles se forment (Boualem, 2014).

Selon, Meyer et *al.* (2004), on distingue deux types de germination au sens large

- a) **Germination épigée** : Les cotylédons sont soulevés par la croissance de la tige .
- b) **Germination hypogée** : La tigelle ne se développe pas et les cotylédons restent dans le sol.

## 2.3 Les différentes phases de germination

D'après Evenari (1957), la germination est validée par des mesures d'imbibition et d'activité respiratoire effectuée sur des semences en cours de germination. Elle est ainsi démontrée selon Binnet et Brunnel (1968) et Côme (1970), que la germination comprend trois phases successives (fig.2).

## Chapitre 2 : La Germination

- a) **La phase d'imbibition** : qui correspond à la réhydratation de la graine par une prise d'eau rapide à l'état liquide, mais l'excès d'eau peut gêner la germination .
- b) **La phase de germination au sens strict** : qui correspond à l'activation physiologique de la semence après l'imbibition et s'achève avec le début de l'allongement de la radicule. la germination au sens strict comme étant la phase de réactivation du métabolisme après réhydratation de la graine est semblable sans changement morphologique apparent (Meyer et al., 2004).
- c) **La phase de croissance** : qui est caractérisée par une reprise de l'absorption d'eau et une augmentation de la consommation d'oxygène, elle correspond à un processus de croissance de la Radicule puis la tige .

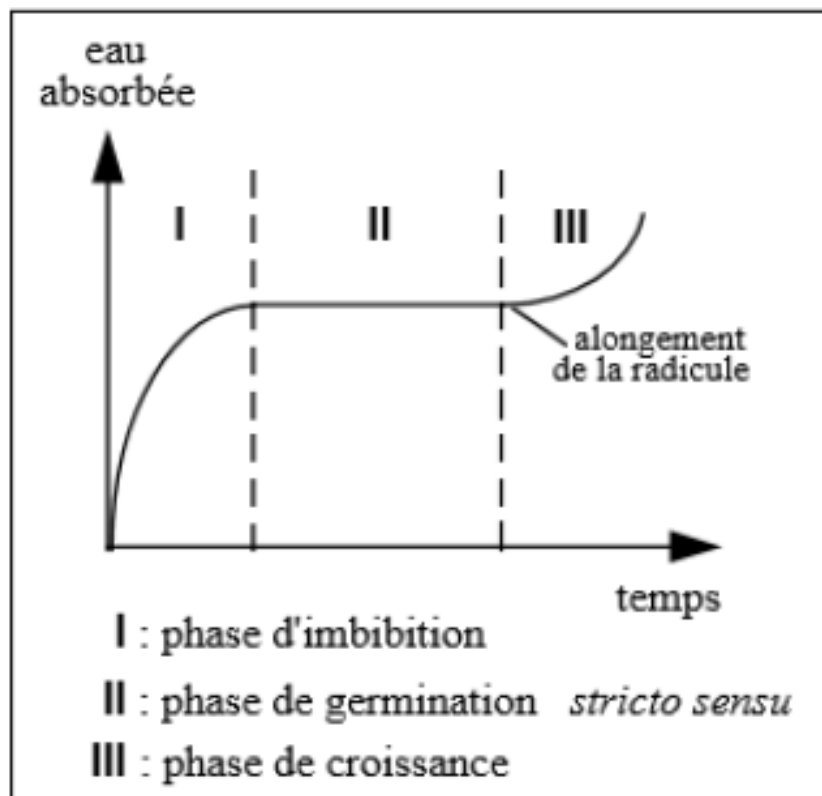


Figure 3: étape de la germination (Meyer et al., 2004).

### 2.4. Conditions de la germination

#### 2.4.1. Conditions internes

D'après Chaussant et Deunff (1975), la germination est influée par la maturité et la longévité des semences

##### 2.4.1.1 La maturité

C'est l'état complet de la morphologie et la physiologie des semences. Lorsque toutes ses parties constitutives sont différenciées, il y a des semences, bien que vivantes et morphologiquement mures ne germent pas, même en présence des conditions favorables pour la germination, parce qu'elles ne sont pas physiologiquement mures (Chaussant et Deunff, 1975).

##### 2.4.1.2 La longévité

C'est la durée dont laquelle les semences restent vivantes et capables de garder leur pouvoir germinatif. Elle varie selon l'espèce et la variété (Heller, 1990). 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 types de causes sont à envisager (Boualem, 2014).

#### 2.4.2 Conditions externes

##### 2.4.2.1 L'imbibition (l'eau)

D'après Côme (1970), l'imbibition se fait par contact avec l'eau qui est nécessaire. La germination exige obligatoirement de l'eau qui doit être apportée à l'état liquide (Chaussat et Deunff, 1975)

##### 2.4.2.2 L'oxygène

Les semences germent parfaitement dans des atmosphères appauvries en oxygène (2 à 5%) (Côme, 1970).

##### 2.4.2.3 La température

La température optimale de la germination est fonction des exigences des espèces. Son importance est telle que chez certaines d'entre elles, une variation de l'ordre de 1°C peut mettre

## Chapitre 2 : La Germination

---

la germination (Panetta, 1979). Elle est à deux actions soit directe par l'augmentation de la vitesse des réactions biochimiques (Mazliak, 1982), soit indirecte par l'effet sur la solubilité de l'oxygène dans l'embryon (Chaussat *et al.*, 1975).

### 2.4.2.4 La lumière

Elle 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).

## 2.5 Dormances des graines

### 2.5.1 Définition de la dormance

La dormance est un état provisoire dans lequel des semences viables ne peuvent pas germer même dans des conditions favorables. Selon Hilhorst (2007), la dormance est caractérisée par une absence virtuelle d'activité métabolique et par le manque virtuel de développement et de croissance.

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).

### 2.5.2 Types de dormance

#### 2.5.2.1 Inhibitions tégumentaires

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.

### 2.5.2.2 Dormances embryonnaires

Selon Baskin et 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 et 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).

### 2.5.3 La levée de la dormance et germination

Dans les conditions naturelles l'exposition au froid peut lever la dormance des graines. Artificiellement, elle peut être levée par des traitements physiques (stratification et scarification) ou hormonales (régulateurs de croissance) (Djenidi, 2011).

---

---

## **Chapitre 3 : Les métaux lourds et la phytoremédiation**

---

---

# Chapitre 3 : les métaux lourds et la phytoremédiation

---

## 3.1 Définition des métaux lourds

Les métaux lourds sont les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5g/cm<sup>3</sup> et qui possèdent un numéro atomique élevé. Ils sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles et ne sont pas biodégradables (Blum, 1990) . D'un point de vue chimique, les éléments de la classification périodique formant des cations en solution sont des métaux. D'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup> (Adriano , 2001).

Il existe des métaux lourds qui sont indispensables aux organismes vivants; d'autres, par contre, ne sont pas essentiels. La toxicité de certains des métaux non essentiels est reconnue, même à de très faibles concentrations (Cd, Pb, Hg) (Blum, 1990), alors que les métaux essentiels (calcium (Ca), zinc (Zn), cuivre (Cu)) peuvent également devenir dangereux dès que leur concentration dans l'organisme dépasse un certain seuil (Baize, 1997)

## 3.2 La contamination des sols par les métaux lourds

La pollution métallique des sols est due à des activités humaines (agricoles, domestiques et industrielles). Cependant, les métaux existent naturellement dans les sols car ils sont présents dans la roche mère qui subit notamment des phénomènes d'érosion et d'altération (fig.3). Les métaux lourds comme le plomb, le cadmium, le cuivre et le mercure ne peuvent pas être biodégradés et donc persistent pendant de longues périodes dans le sol ; ce qui constitue un sérieux problème (Robert et Juste, 1999).

# Chapitre 3 : les métaux lourds et la phytoremédiation

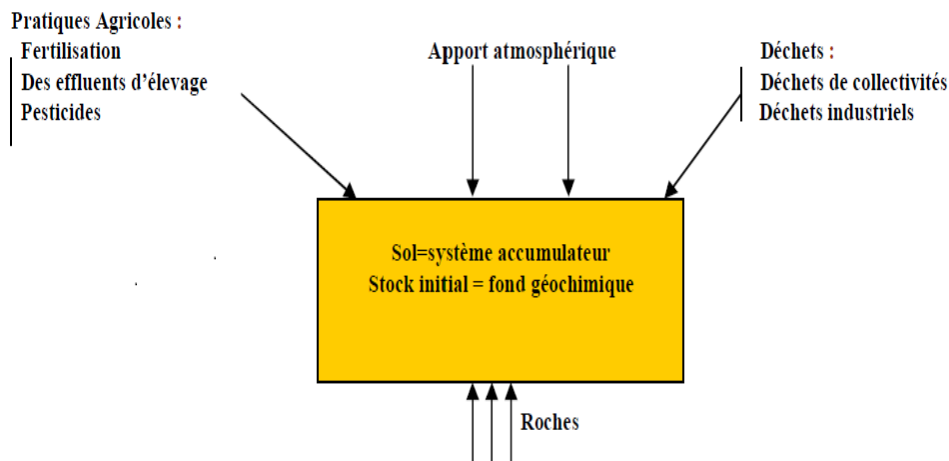


Figure 4: Origine des éléments traces métalliques dans le sol. (Robert et Just, 1999).

## 3.3 Transfert sol-plantes des métaux lourds.

Pour de nombreuses plantes, des concentrations excessives en métaux entraînent des désordres métaboliques comme le remplacement des ions essentiels par des ions non essentiels, la concurrence pour les emplacements entre les ions métalliques et les métabolites essentiels, des modifications de la perméabilité des cellules membranaires, etc. Les effets visibles de la toxicité varient selon les espèces, mais les symptômes les plus communs sont les points chlorotiques ou bruns sur les feuilles, les racines brunes et abimées, la nécrose et la diminution significative des rendements de récolte. D'autres effets moins visibles, comme par exemple l'inhibition racinaire, la réduction de la photosynthèse, etc. (Kabata-Pendias et Pendias, 2001).

### 3.3.1 Tolérance aux métaux lourds chez les végétaux

Certains éléments métalliques sont essentiels aux organismes vivants à de faibles concentrations. Mais, ils agissent à de fortes concentrations comme un facteur de stress qui entraîne une modification de la réaction physiologique. Le terme « **sensibilité** » décrit les effets du stress, qui peuvent aller jusqu'à la mort de la plante. Par opposition, le terme « **résistance** » fait référence à la réaction de la plante qui lui permet de survivre face au stress métallique et d'assurer sa descendance (Levitt, 1980).

## Chapitre 3 : les métaux lourds et la phytoremédiation

---

Deux stratégies principales sont impliquées dans ce phénomène de résistance :

- **La stratégie d'évitement** par laquelle les plantes se protègent du stress métallique en limitant leur absorption.
- **La stratégie de tolérance** (terme utilisé comme étant synonyme de résistance) qui fait référence aux réactions permettant de limiter les effets néfastes des métaux dans l'organisme. (LEVITT, 1980).

### 3.4 La phytoremédiation

#### 3.4.1 Définition de la phytoremédiation

Le terme phytoremédiation vient du préfixe grec « phyto » (plante) et du mot latin remedium (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) (Smits et Freeman, 2006; Lamb *et al*, 2010) pour décontaminer l'environnement et/ou minimiser les risques dans les relations sources – exposition - récepteurs. Elle est basée sur les fonctions des plantes et de leurs microorganismes qui permettent de dégrader ou séquestrer des polluants organiques et inorganiques. Elle peut être utilisée pour des substrats solides, liquides et gazeux et mise en oeuvre pour des sols et des eaux polluées (grâce aux plantes aquatiques) ou pour filtrer l'air à l'aide de plantes fixatrices (Pilon-Smits, 2005).

#### 3.4.2 Les techniques de la phytoremédiation

La phytoremédiation regroupe différentes méthodes qui se veulent toutes des techniques d'amélioration des sols et de l'eau contaminés par l'établissement d'un couvert végétal, soit la phytostabilisation, la phytodégradation, la rhizodégradation, la phytovolatilisation, la rhizofiltration et la phytoextraction (fig.4). Elles seront appliquées en fonction du type de contamination et des objectifs de remédiation à atteindre (Pivetz, 2001).

## Chapitre 3 : les métaux lourds et la phytoremédiation

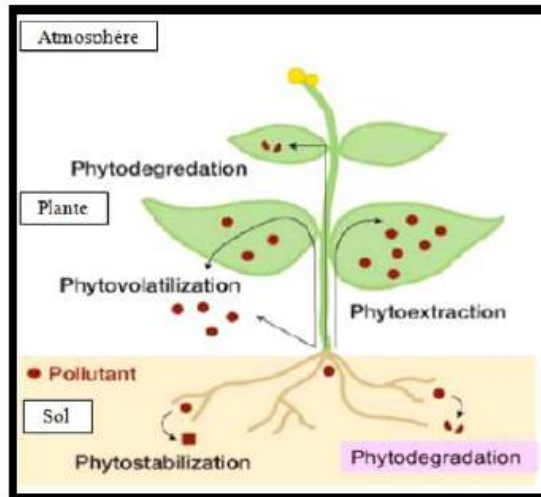


Figure 5: Les techniques de phytoremédiation (Pilon-Smits, 2005).

La phytoremédiation est l'une des méthodes uniques des espoirs correctifs pour l'environnement. La réalisation de la phytoremédiation peut dépendre de manière très précise de la sélection des plantes, des conditions agricoles, des ajustements de terrain et des mouvements de métaux lourds qui sont spécifiques au sol et au climat (Hernandez-Allica et al., 2008). Les espèces végétales cultivées dans des sols contaminés ont la capacité d'absorber les métaux lourds en ions à partir de la solution du sol et de les stocker dans différentes parties de la plante telles que les feuilles, les tiges, les fruits et les graines.

### 3.4.2.1 La phytoextraction

La phytoextraction est une technologie in situ liée aux plantes qui sont capables d'absorber les métaux lourds (Pb, Cd, Ni ; Zn,...) par leurs racines ( fig.5) et de les transporter ensuite vers les parties aériennes (Zheng *et al*, 2011). Les tiges et 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).

## Chapitre 3 : les métaux lourds et la phytoremédiation

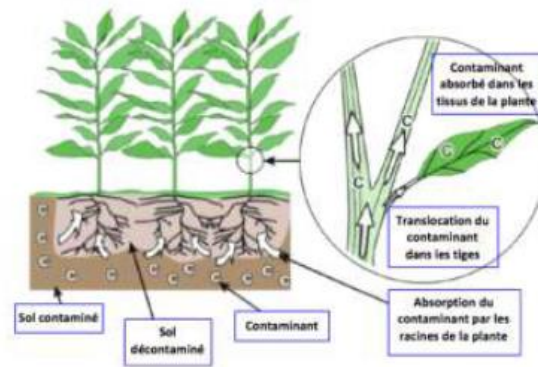


Figure 6:Processus de la phytoextraction des contaminants présents dans le sol (ITRC, 2001).

Deux stratégies sont proposées pour une phytoextraction réussie des sols contaminés par les métaux lourds et autres polluants :

- a) **Phytoextraction naturelle** (La phytoextraction continue) est basée sur les capacités génétiques et physiologiques des plantes spécialisées dans l'absorption, la translocation et la tolérance des métaux lourds. On parle de « plante hyperaccumulatrice ». Selon Baker et Brooks (1989), les plantes hyperaccumulatrices devraient avoir une valeur seuil d'accumulation de métaux lourds dans leur partie aérienne à 1% pour Zn, Mn, 0,1% pour Pb, Cu et Al, 0,01% pour Cd et Se et 0,001% pour Hg de leur matière sèche. Actuellement, environ 400 espèces hyperaccumulatrices ont été répertoriées (Baker *et al.* 1999).
- b) **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.

# Chapitre 3 : les métaux lourds et la phytoremédiation

## 3.4.2.2 La phytostabilisation

Dans la phytostabilisation, les plantes réduisent la mobilité et la biodisponibilité des contaminants dans le sol ou la rhizosphère (fig.5), par immobilisation chimique (précipitation, stabilisation, absorption ou piégeage) ou prévention des mouvements latéraux ou en profondeur via l'érosion ou le lessivage. La phytostabilisation empêche ainsi la dispersion des contaminants dans les eaux de surface et souterraines (McGrath, 1998).

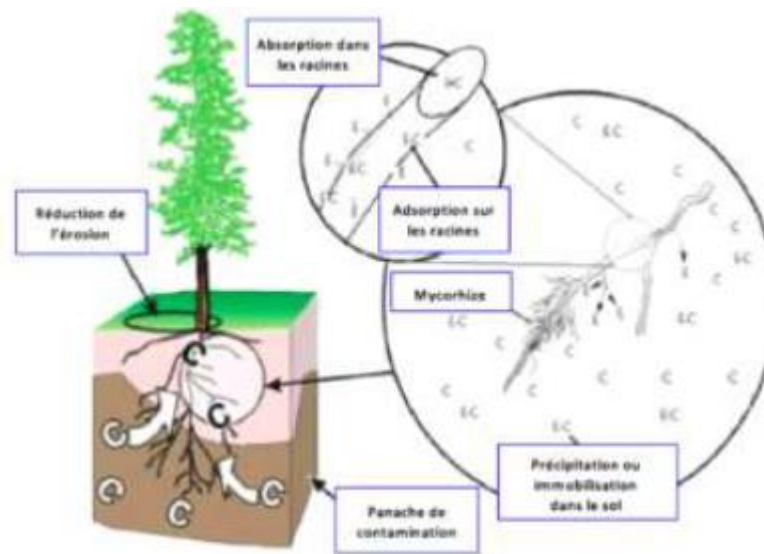


Figure 7: Représentation de la phytostabilisation (ITRC, 2001).

## 3.4.2.3 La phytodégradation

La phytodégradation ou rhizodégradation, correspond à la dégradation des polluants organiques dans la plante elle-même ou grâce aux microbes associés aux plantes dans leur rhizosphère ou dans leurs racines (mycorhizes, endophytes bactériens). Les plantes peuvent dégrader elles-mêmes des composés organiques grâce à leurs enzymes (fig.6). Elles les catabolisent en composés inorganiques ou les dégradent en des formes plus stables qu'elles pourront stocker. Les enzymes les plus fréquentes sont des déhalogénases, oxygénases, peroxydases, peroxygénases, laccases, carboxylesterases, nitrilases, phosphatases et nitroréductases. La dégradation peut avoir lieu dans les parties aériennes et les racines (Pilon-Smits, 2005; Puschenreiter et Wenzel, 2005; Remon, 2006).

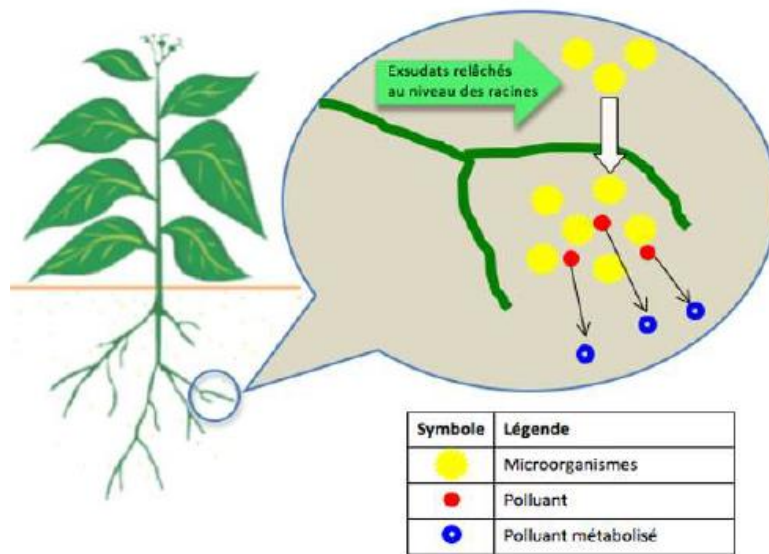


Figure 8: Mécanisme de rhizodégradation (Vila, 2006).

### 3.4.2.4 La Phytovolatilisation

La phytovolatilisation, permet la transformation des contaminants par les plantes en formes plus volatiles puis leur relargage dans l'atmosphère pour les composés organiques volatils, le trichloroethene (TCE) et le methyl *tert*-butyl ether (MTBE) , et des inorganiques comme Se ou Hg (Pilon-Smits, 2005 ; Puschenreiter et Wenzel, 2005 ; Remon, 2006).

### 3.4.2.5. La rhizofiltration

La rhizofiltration est l'utilisation des racines des plantes pour extraire les contaminants des eaux. Elle est basée sur la capacité des systèmes racinaires de certains végétaux à prélever et/ou dégrader les polluants dans un milieu liquide. Cette méthode s'applique dans les zones humides, construites ou naturelles, et pour des plantes dont les racines supportent la vie en milieu aquatique et anaérobie ( Remon, 2006).

## 3.5 Les avantages et les limites de la phytoremédiation

### 3.5.1. Les avantages

La phytoremédiation exige beaucoup moins d'investissement (Labrecque, 2014) , environ 10 fois moins que les méthodes de décontamination basées sur l'ingénierie, entre autres parce qu'elle fonctionne naturellement à l'énergie solaire (Glass, 1999) mais aussi parce que

## Chapitre 3 : les métaux lourds et la phytoremédiation

---

les travaux nécessitent moins de transport des sols excavés (Pilon-Smits, 2005) et que les coûts peuvent être amortis sur plusieurs années. La décontamination du plomb, sur un terrain de 0.4 ha peut coûter entre 50 et 65 % moins cher par phytoextraction et traitement de la biomasse (150 000-250 000\$ US ) comparativement à l'excavation et l'enfouissement (500 000\$ US) (EPA, 2000). Selon une autre étude, pour un site contaminé au plomb avec des dimensions similaires, la décontamination traditionnelle (incluant l'excavation sur 50 cm de profondeur) peut coûter entre 400 000 et 1 700 000\$ US, tandis que la phytoremédiation peut coûter entre 60 000 et 100 000\$ US en année 2004 (Khan, 2004).

La remédiation de solvants dans l'eau souterraine, sur un terrain de 1 ha pendant 3ans, peut coûter 50 % moins cher par la phytodégradation et le contrôle hydraulique effectué par des plantes qui assèchent les sols ou font baisser la nappe phréatique (200 000\$ US d'installation et de maintenance initiale) qu'un système de pompage et de traitement (700 000\$ US de coût d'opération annuels; estimé en année 2000) (EPA, 2000).

Enfin, l'enlèvement des hydrocarbures pétroliers, sur un terrain de 0.4 ha, peut coûter 80 % moins cher par la phytodégradation *in situ* (50 000-100 000\$ US 2000) que par l'excavation et l'incinération (500 000\$ US 2000) (EPA, 2000). Un des principaux avantages de la phytoremédiation est sa grande versatilité (Glass, 1999). En effet, plusieurs types de contaminants peuvent être éliminés dans divers types d'environnements, grâce à la multitude de plantes qui existent et à leurs diverses adaptations.

De plus, la phytoremédiation étant généralement pratiquée *in situ*, cela permet de conserver la structure et les propriétés des sols, de limiter l'érosion et le déplacement des polluants (Pilon-Smits, 2005) Certes, dans les projets de phytoextraction, il faut traiter les végétaux contaminés, mais comme ceux-ci concentrent les métaux, seuls de petits volumes de biomasse sont déplacés (jusqu'à 95 % moins de volume) (Ghosh, 2005), comparativement à des tonnes de sol avec les méthodes conventionnelles *in situ* (Delisle, 2011). Enfin, la phytoremédiation étant une méthode basée sur les plantes, ces dernières rendent généralement divers services éco systémiques en plus de permettre la décontamination d'un site. Elles contribuent ainsi à assainir l'air, séquestrer du dioxyde de carbone et à enrichir la biodiversité des sites dégradés (Labrecque, 2014).

## **Chapitre 3 : les métaux lourds et la phytoremédiation**

---

### **3.5.2. Les limites de la phytoremédiation**

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 présent 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).

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).

---

---

## **Chapitre 4: Matériel et méthodes**

---

---

# Chapitre 4 : Matériel et Méthodes

---

## 4.1 Objectif

Le but de notre essai a été d'étudier les effets de différents métaux lourds ( Pb, Cd, Ni, Zn) à différentes concentrations sur les paramètres de la germination des graines d'*Acacia saligna*.

## 4.2 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette expérimentation a été des graines d' *Acacia saligna* matures, à partir des arbres âgés de 7ans, plantés dans la ville de Laghouat , la récolte a été durant le mois de juin 2020 , l' aspect des graines est présenté dans la fig.7 .



Figure 9:Les graines d'*Acacia saligna* (originale,2021).

## 4.3 Conditions expérimentale

### 4.3.1 Lieu de l'expérimentation

Notre essai a été réalisé dans une étuve ( à 20°C) au niveau du laboratoire du département d'Agronomie de l'université de Laghouat

### 4.3.2 Protocole expérimentale

L'essai de la germination des graines d' *Acacia saligna* à été conduit dans des boîtes Pétri de 10 cm de diamètre, chaque boîte contient deux couches de papier absorbant humide et 10 graines testés d'*Acacia saligna*, irriguée de différentes concentrations de métaux lourds testés.

### 4.3.2.1 Préparation des solutions des métaux lourds

#### a) Les solutions de CdCl<sub>2</sub>

Nous avons préparé une solution mère de Cd, en pesant 1,25 g/l de CdCl<sub>2</sub>. Nous avons dilué cette solution à chaque fois pour obtenir les concentrations suivantes : 0,05g/l, 0,1 g/l, 0,2g/l et 0,3g/l de Cd.

#### b) Les solutions de NiSO<sub>4</sub>

Nous avons préparé une solution mère de Ni, en pesant 1,04 g/l de NiSO<sub>4</sub>. Nous avons dilué cette solution à chaque fois pour obtenir les concentrations suivantes : 0,05g/l 0,1 g/l, 0,2g/l et 0,3g/l de Ni.

#### c) Les solutions de PbCl<sub>2</sub>

Nous avons préparé une solution mère de Pb, en pesant 4,02 g/l de PbCl<sub>2</sub>. Nous avons dilué cette solution à chaque fois pour obtenir les concentrations suivantes : 1g/l 2g/l 0,5g/l et 3g/l de Pb.

#### d) les solutions de ZnCl<sub>2</sub>

Nous avons préparé une solution mère de Zn, en pesant 1,76 g/l de ZnCl<sub>2</sub>. Nous avons dilué cette solution à chaque fois pour obtenir les concentrations suivantes : 0,05g/l, 0,1 g/l, 0,3g/l et 0,5g/l de Zn.

#### e) La solution témoin

Pour la solution témoin, nous avons utilisé de l'eau distillée à chaque fois, où nous avons mentionné 0 g/l (zéro métaux lourds).

### 4.3.2.2 Scarification et germination

Nous avons utilisé 640 graines d'*Acacia saligna*. Nous avons trempé ces graines dans de l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 96%) pendant 30 minutes pour lever la dormance tégumentaires des graines selon (kheloufi et al, 2019), après la scarification les graines ont été rincées avec de l'eau distillée, ensuite désinfectées avec de l'eau de javel (20 %) pendant 15 minutes,

## Chapitre 4 : Matériel et Méthodes

ensuite nous avons fait un rinçage final avant la mise en place des graines dans les boîtes de Pétri qui contient une double couche de papier absorbant .

### 4.3.3 Dispositif expérimental de l'essai de la germination

Le dispositif expérimental adopté est une randomisation totale à 1 seul facteur étudié à 5 niveaux (5 concentrations) pour chaque élément testé. Chaque niveau est répété 4 fois (fig.9).

		Les Concentrations des métaux lourds									
élément		0 g/l		0,05 g/l		0,1 g/l		0,2 g/l		0,3g/l	
<b>Ni</b>		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		0g/l		0.05g/l		0.1g/l		0.3g/l		0.5g/l	
<b>Zn</b>		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		0g/l		0.05g/l		0.1g/l		0.2g/l		0.3g/l	
<b>Cd</b>		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		0 g/l		0.5g/l		1g/l		2g/l		3g/l	
<b>Pb</b>		10	10	10	10	10	10	10	11	10	10
		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Figure 10:: schéma du dispositif expérimental adopté

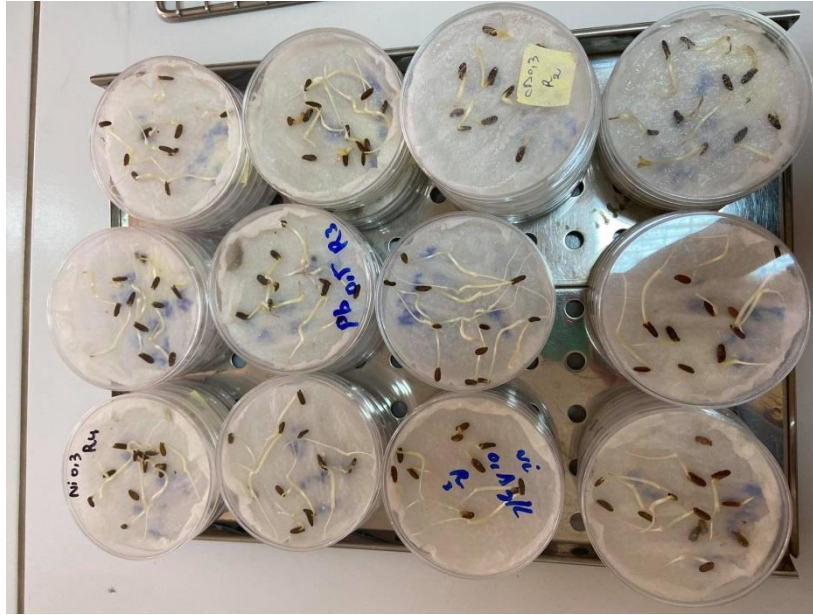


Figure 11: photo de dispositif expérimental

#### 4.4 Les paramètres mesurés dans l'essai de la germination

Les paramètres retenus pour évaluer le comportement des graines au cours de la germination ont été :

##### a) Estimation de la faculté de germination (FG)

Après 15 jours, l'expérience a été arrêtée et le pourcentage de germination des graines germées a été calculé. Le taux de germination est exprimé par le rapport nombre de graine germée sur le nombre totale de graine (Come 1970). le pourcentage de germination des graines pour chaque boîte de Pétri est déterminé selon la formule suivante :

$$\text{FG (\%)} = (\text{Nombre de graines germées} / \text{Nombre totale de graines}) * 100$$

Où :

FG : Faculté de la germination.

##### b) Cinétique de la germination

## Chapitre 4 : Matériel et Méthodes

---

Elle correspond à la courbe de l'évolution du taux quotidien cumulé de germination pendant une période de 15 jours calculé sur la base du nombre des graines nouvellement germées à chaque observation (Hajlaoui et *al.* 2007).

### c) La durée médiane de la germination

Cette durée peut être calculée par le temps moyen de germination (le temps au bout duquel on atteint 50% des graines germées) (Côme, 1970).

$$\text{Durée médiane} = T_1 + (0.5 - G_1) / (G_2 - G_1) \times (T_2 - T_1)$$

**Avec :**

**G1** = pourcentage cumulé des graines germées dont la valeur est la plus proche de 50% par valeur inférieure. T1=le nombre de jours correspondant a G1

**G2** = pourcentage cumulé des graines germées dont la valeur est la plus proche de 50% par valeur supérieure. T2=le nombre de jours correspondant a G2

### d) L'indice de vigueur de semis (SVI)

Selon Abdul-Baki (1973), l'indice de vigueur de semis est calculé par la formule suivante :

$$\text{L'indice de vigueur de semis (SVI)} = (L_r + L_s) \times GP$$

**Avec :**

**L<sub>r</sub>** : la longueur de racine (cm).

**L<sub>s</sub>** : la longueur de la pousse (cm).

**GP** : pourcentage de germination des graines.

## Chapitre 4 : Matériel et Méthodes

---

Dans la figure 9 , nous avons présenté la méthode pour mesurer la longueur des racines et des parties aériennes.

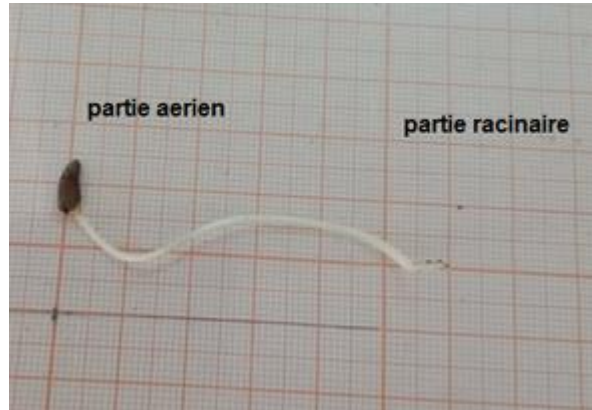


Figure 12: mesure de la longueur de la racine et la longueur de la pousse après 15 jours de germination des graines (originale, 2021)

---

---

## **Chapitre 5 : Résultats et discussions**

---

---

### 5.1 Résultats

#### 5.1.1 Effet du Plomb sur les paramètres de germination des graines d'*Acacia saligna*

##### 5.1.1.1 Effet du Plomb sur la cinétique de germination des graines

Les résultats de l'effet du plomb sur la cinétique de germination des graines d'*A.saligna* par jours sont présentés dans la fig 13.

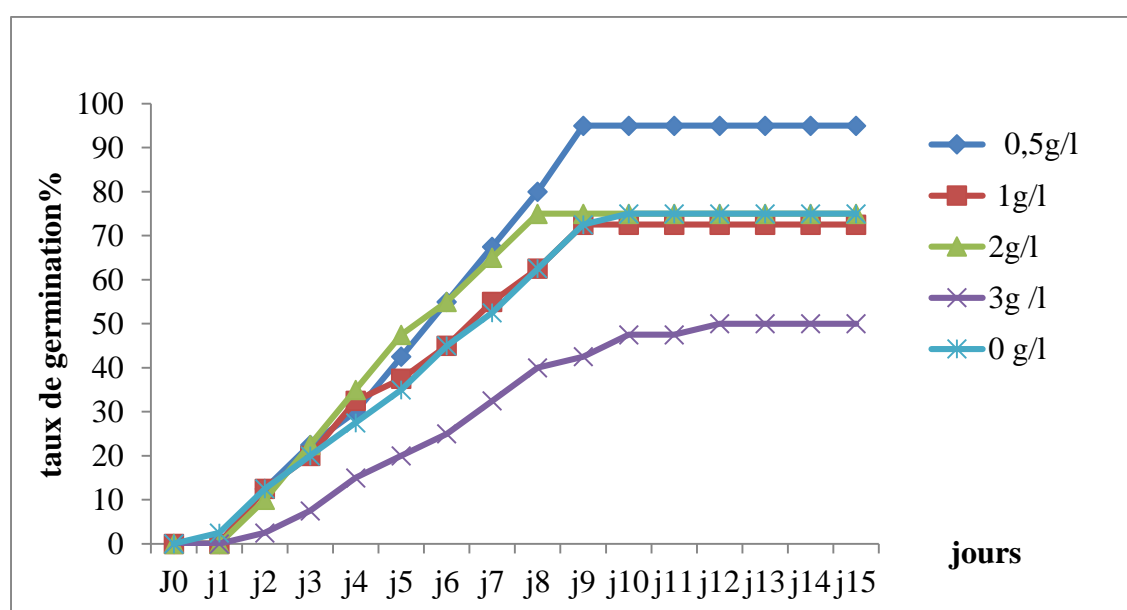


Figure 13: la cinétique de germination des graines d'*Acacia saligna* sous l'effet de différentes concentrations du Pb

Pour toutes les concentrations de Pb les graines ont atteint leur max de germination au bout de 9 jours, nous avons constaté que la cinétique de germination a été différente. La cinétique de germination des graines la plus lente a été constatée chez la concentration de (3g/l) du plomb.

Par ailleurs, la cinétique de germination la plus rapide a été observé chez la concentration (0.5g/l) et les autres concentrations (0g/l, 1g/l 2g/l) ont présentées presque la même cinétique, ils ont réagi d'une façon intermédiaires.

## Chapitre 5 : Résultats et Discussion

### 5.1.1.2 Effet du Plomb sur la faculté de germination des graines d'*Acacia saligna*

Les résultats de l'effet du plomb sur la germination des graines d'*A.saligna* sont présentés dans la fig 14.

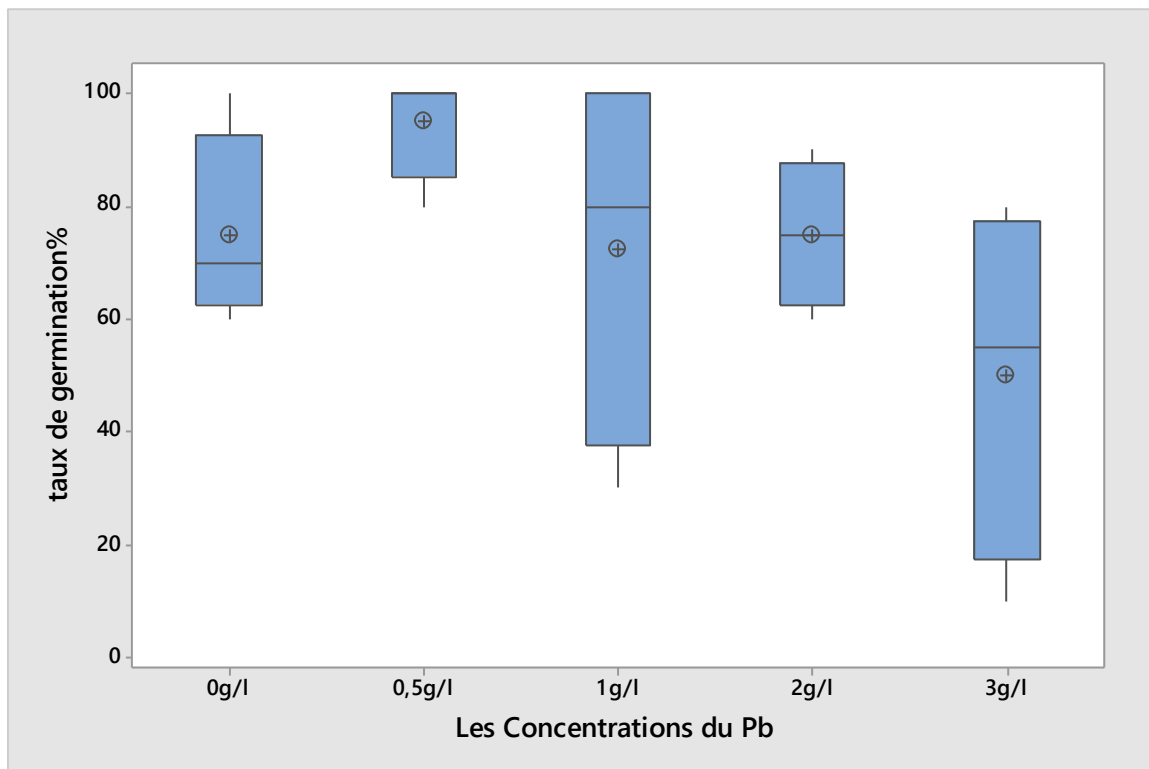


Figure 14:le taux de germination des graines d'*Acacia saligna* sous différentes concentrations de Pb

L'analyse de la variance (annexe1) a révélé une différence non significative ( $P= 0,16$ ) pour ce paramètre, la moyenne la plus faible a été observée chez la concentration (3g/l) de Pb avec une valeur de FG de % et les concentrations (0g/l, 1g/l, 2g/l) qui ont présenté des valeurs intermédiaires successivement de FG (75% 72,5% 75%) et dans le même groupe statistique (a),la valeur la plus élevée a été constatée chez la concentration de 0,5g/l avec un pourcentage de FG de 95%.

## Chapitre 5 : Résultats et Discussion

### 5.1.1.3 Effet du Plomb sur la durée médiane de la germination des graines d'*Acacia saligna*

Les résultats de l'effet du plomb sur la durée médiane de la germination des graines d'*A.saligna* sont présentés dans la fig 15.

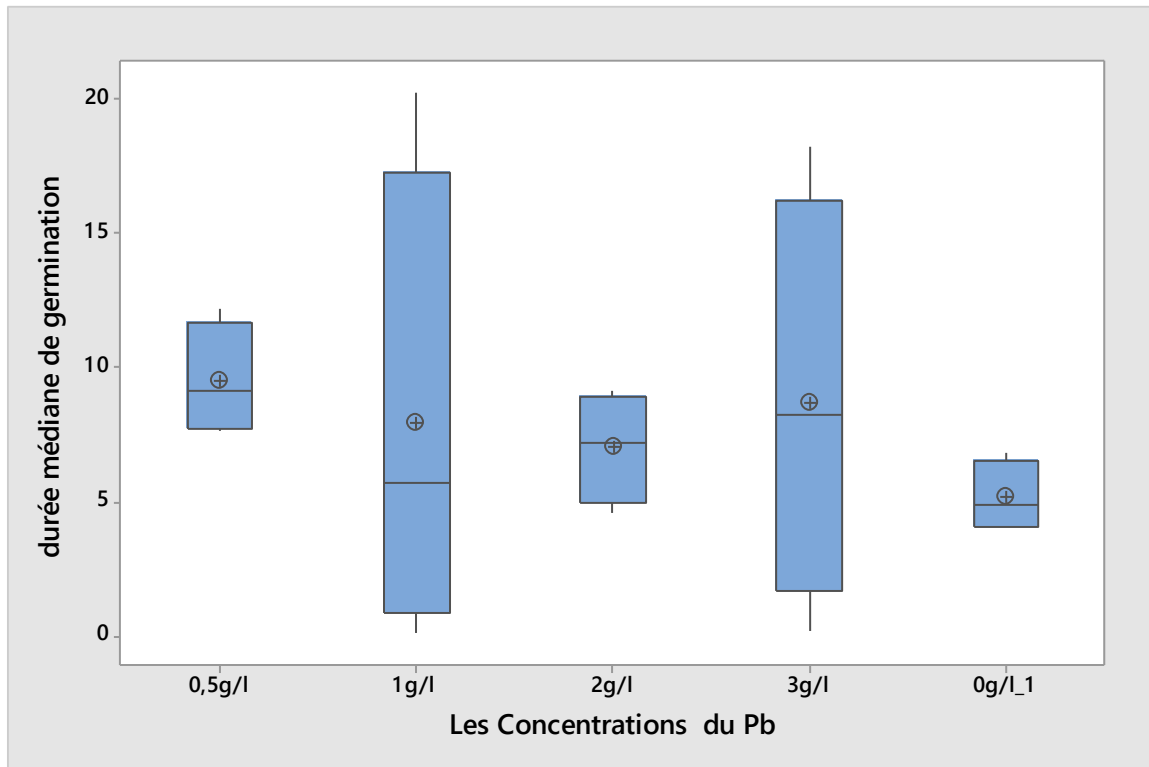


Figure 15: Effet des concentrations du Pb sur la durée médiane de la germination des graines d'*A.saligna*.

Selon la figure (15) et l'annexe 1, nous avons observé que la différence a été non significative ( $P=0.97$ ) pour la durée médiane de germination sous l'effet du plomb.

### 5.1.1.4 Effet du Plomb sur l'indice de vigueur des graines d'*Acacia saligna*

En observant la fig.16 et en consultant les résultats de l'analyse statique en annexe 1 , nous avons constaté qu'il y a eu un effet de l'application du Plomb sur l'indice de vigueur de la germination des graines d'*A. saligna* .

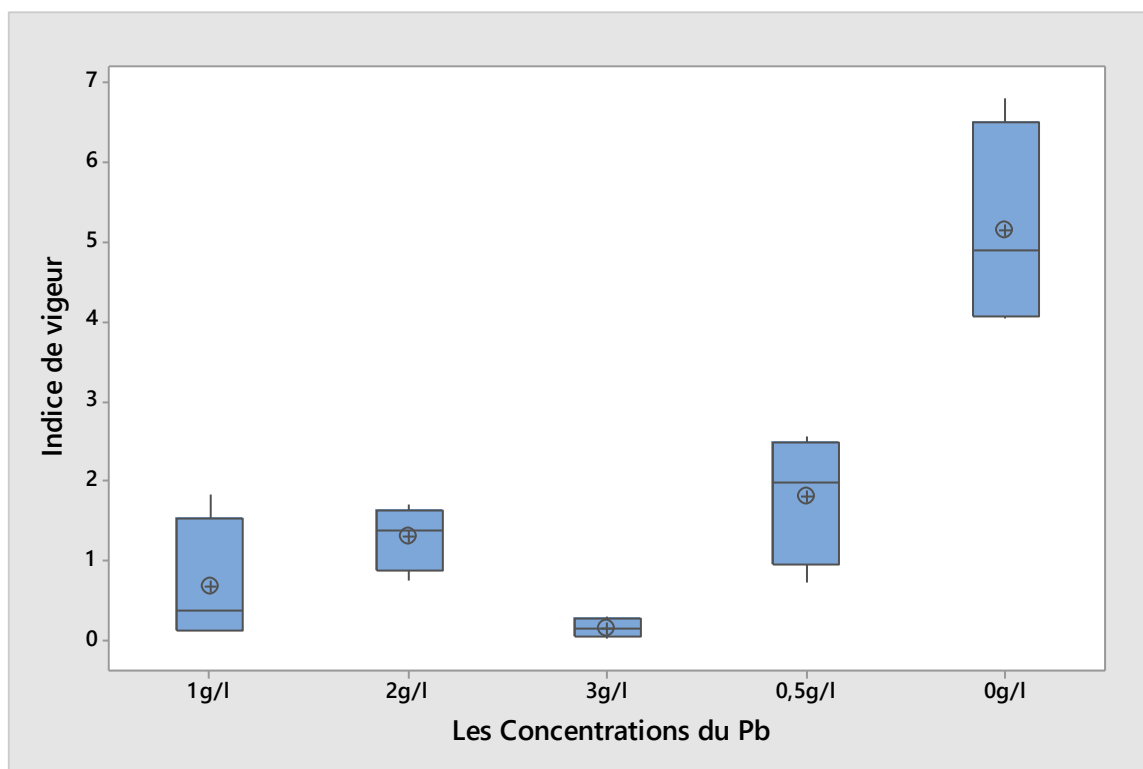


Figure 16: l'indice de vigueur de la germination des graines d'*A.saligna* sous différentes concentrations de Pb .

L'analyse de la variance en Annexe 1, a révélé une différence très hautement significative ( $P = 0,000$ ) pour ce paramètre, La valeur la plus faible a été observée chez les graines germées sous la concentration (3g/l) du plomb avec une valeur de (0,147) , la moyenne la plus élevée d'indice de vigueur a été observée chez les graines germées sous la concentration ( 0g/l) témoin avec une valeur de (5,162) formant un seul groupe statistique (a), les concentration (1g/l, 2g/l, 0,5g/l ) ont présentées des valeurs intermédiaires ( 0,675 , 1,293 , 1,805 ) formant le même groupe statistique (b) avec celui du 3g/l du Pb .

## Chapitre 5 : Résultats et Discussion

### 5.1.2 Effet du Ni sur les paramètres de germination des graines d'*Acacia saligna*

#### 5.1.2.1 Effet du nickel sur la cinétique de germination des graines d'*Acacia saligna*

Les de l'effet du Ni sur la cinétique de germination des graines d'*A. saligna* sont présentés dans résultats la fig.17.

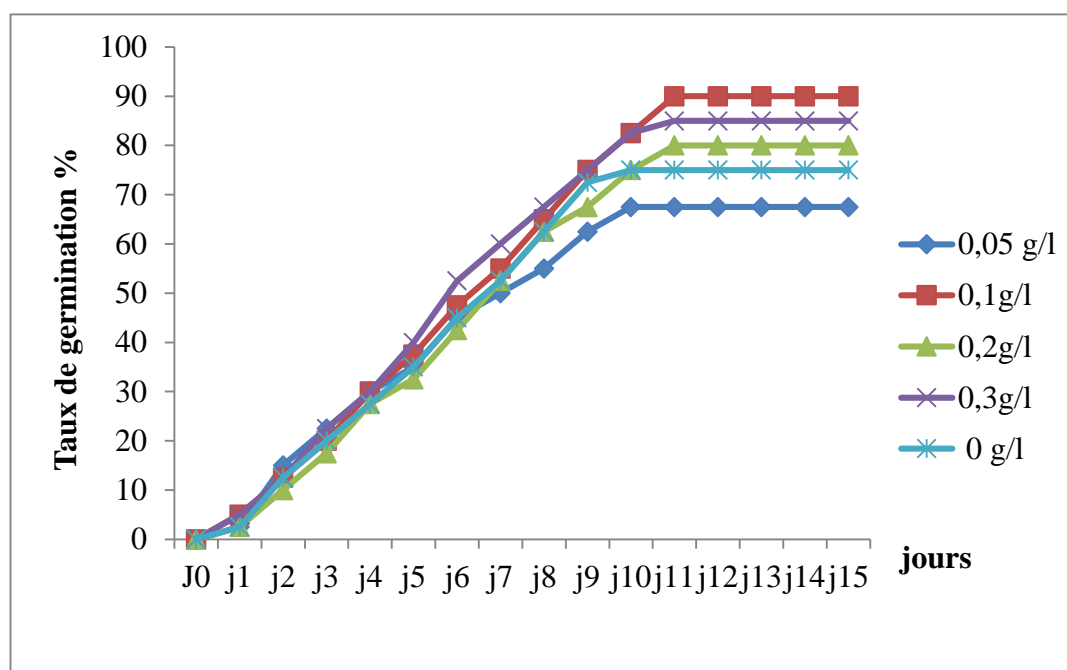


Figure 17: la cinétique de germination des graines d'*Acacia saligna* sous l'effet de différentes

D'après l'analyse des courbes de figure (17), nous avons observé que Pour toutes les concentrations de Ni les graines ont atteint leur max de germination au bout de 10 jours, nous avons constaté que la différence a été non significative .la cinétique de germination des graines la plus lente a été constaté chez la concentration de (0.05g/l) du Nickel avec une pourcentage de 67,5%

Par ailleurs, la cinétique de germination la plus rapide a été observé chez la concentration (0.1 g/l) avec une valeur de 90% et les autres concentrations (0g/l, 0.2g/l 0.3g/l ) présentés presque la même cinétique ,ils ont réagi d'une façon intermédiaires .

## Chapitre 5 : Résultats et Discussion

### 5.1.2.2 Effet du nickel sur la faculté de germination des graines d'*Acacia saligna*

Les résultats de l'effet du Ni sur la germination des graines d'*A. saligna* sont présentés dans la fig 18 .

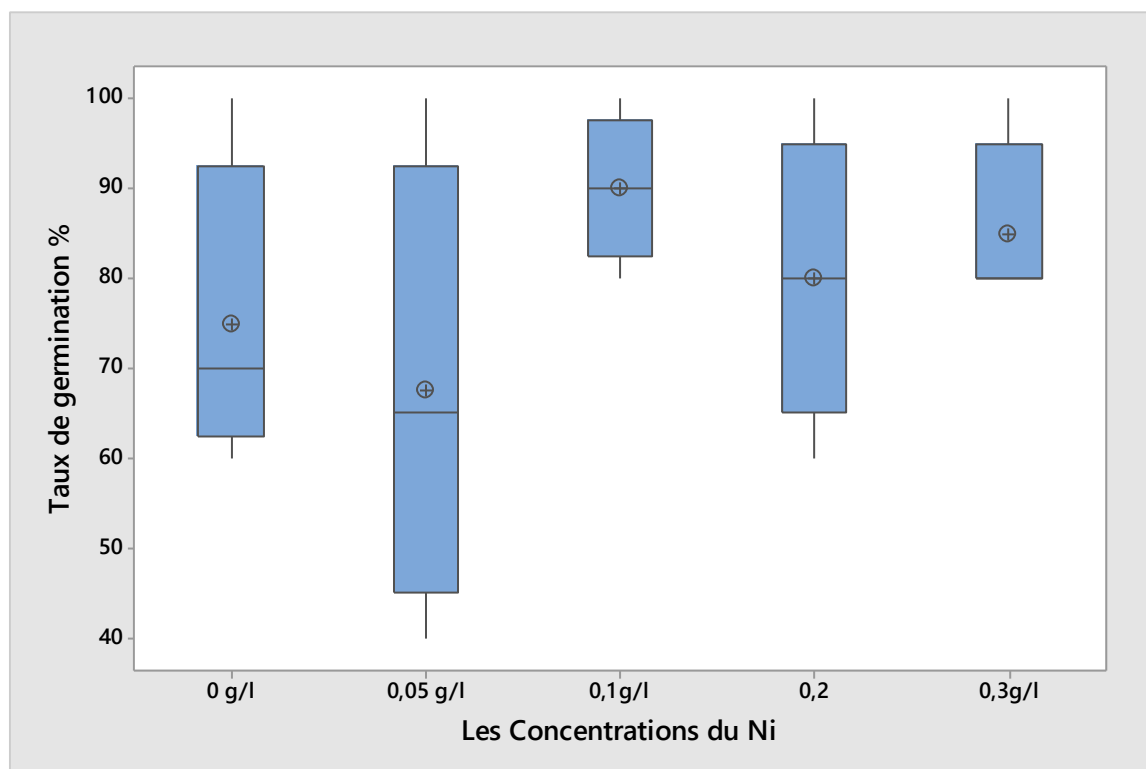


Figure 18:Le taux de germination des graines d'Acacia saligna sous différentes concentrations de Ni .

L'analyse de la variance a révélé une différence non significative ( $P= 0.38$ ) pour ce paramètre, la valeur la plus faible a été observée chez la concentration (0,05g/l) de Ni avec une valeur de FG de 67,5% , Les concentrations (0g/l, 0,2g/l, 0,3g/l) ont présentées des pourcentages intermédiaires (75% ,80% , 85%) et la valeur la plus élevée a été observée chez la concentration (0,1g /l) de Ni avec une valeur de FG de 90% .

## Chapitre 5 : Résultats et Discussion

### 5.1.2.3 Effet du Nickel sur la durée médiane de la germination des graines d'*Acacia saligna*

Les résultats de l'effet du Ni sur la durée médiane des graines d'*A.saligna* sont présentés dans la fig.19.

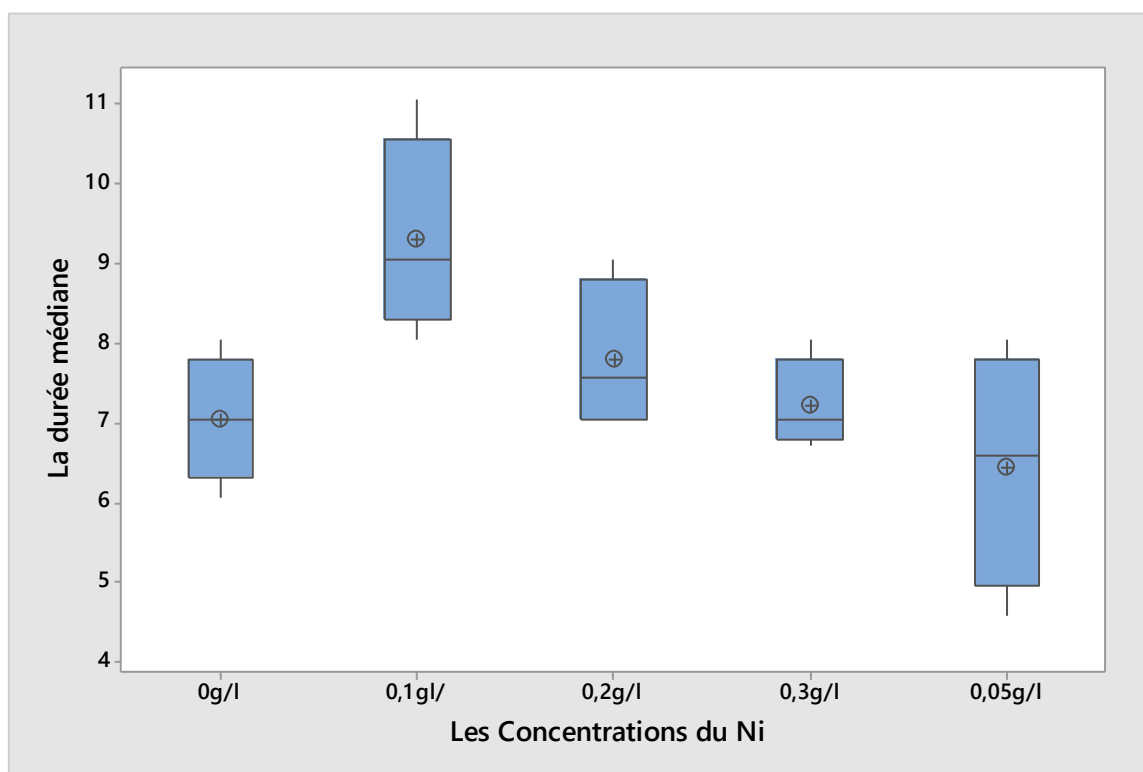


Figure 19: Effet des concentrations du Ni sur la durée médiane de germination des graines d'*A.saligna*.

Selon la figure 19 et l'annexe 1, nous avons observé que la différence a été hautement significative ( $P= 0.01$ ) pour la durée médiane de germination sous l'effet des doses de Nickel.

La durée médiane la plus courte a été observée (6.4 jours) chez les graines sous la concentration de (0.05g/l) dans le groupe statistique (b), et la durée médiane la plus longue a été observée (9.3 jours) chez les graines sous la concentration de (0.1g/l) qui a constitué le groupe (a). Les concentrations (0g/l, 0,2g/l, 0,3g/l) ont été présentées dans le même groupe statistique (ab) avec des valeurs intermédiaires (7,05, 7,80, 7,21 jours).

### 5.1.2.4 Effet du Nickel sur l'indice de vigueur des graines d'*Acacia saligna*

En observant la fig.20 et en consultant les résultats de l'analyse statique en annexe 1 , nous avons constaté qu'il y a eu un effet de l'application du Nickel sur l'indice de vigueur de la germination des graines d'*A.saligna* .

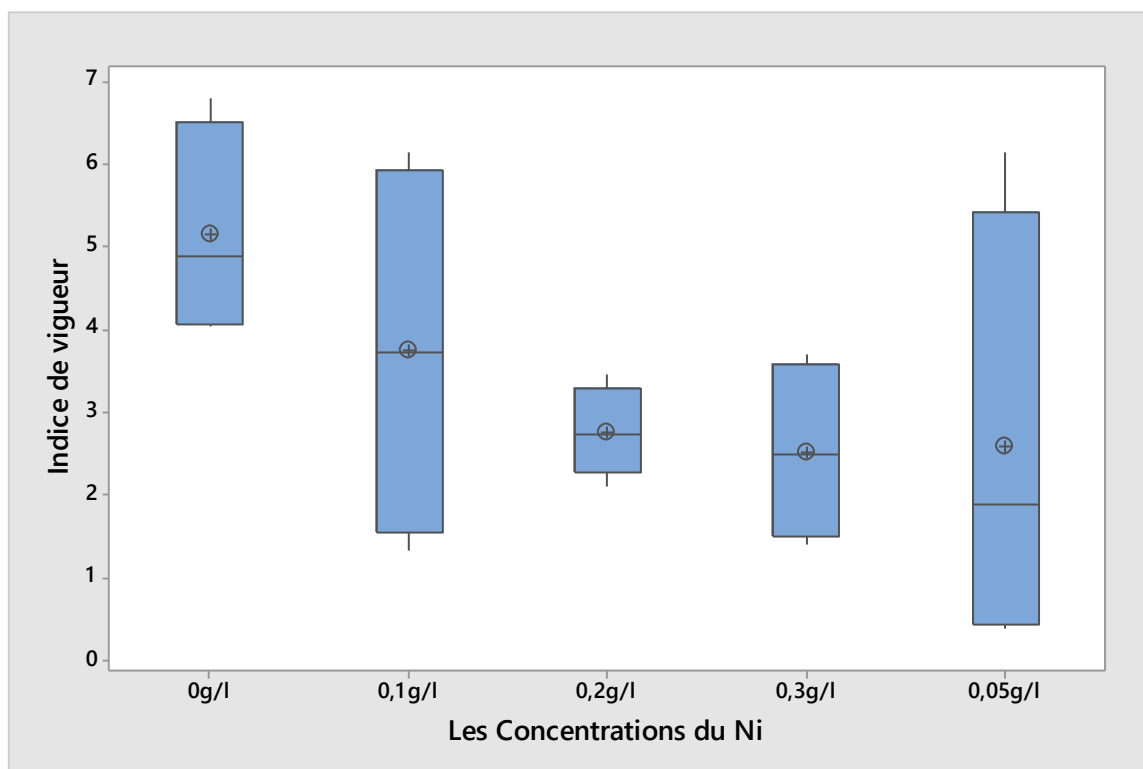


Figure 20:l'indice de vigueur de la germination des graines d'A.salina sous différentes concentration de Ni .

L'analyse de la variance a révélé une différence non significative ( $P=0.23$ ) , les graines germées sous les concentration( 0,1 g/l, 0,2g/l, 0,3 g/l et 0.05g/l ) ont présentées des moyennes de 2,51 , 2,58 , 2,75 , 3,74 d'indice de vigueur successivement qui ont présenté le même groupe statistique (a) , la valeur la plus élevée a été constatée chez la concentration 0g/l (témoin) de nickel avec une moyenne 5,16 qui est regroupé dans le même groupe statistique (a).

## Chapitre 5 : Résultats et Discussion

### 5.1.3 Effet du Cadmium sur les paramètres de germination des graines d'*Acacia saligna*

#### 5.1.3.1 Effet de Cadmium sur la cinétique de germination des graines d'*Acacia saligna*

Les résultats de l'effet de Cadmium sur la cinétique de germination des graines d'*A. saligna* sont présentés dans la fig.21.

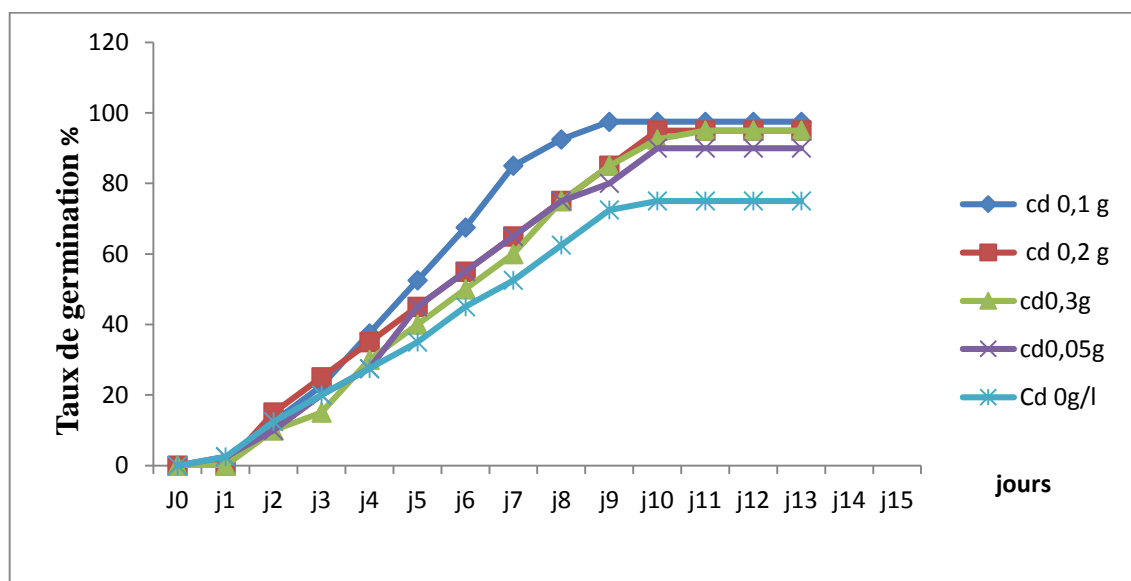


Figure 21: la cinétique de germination des graines d'*Acacia saligna* sous l'effet de différentes concentrations du Cd.

Pour toutes les concentrations de Cd les graines ont atteint leur max de germination au bout de 10 jours, nous avons constaté qu'il y a eu une différence dans la cinétique de germination des graines. La cinétique de germination des graines la plus lente a été constatée chez la concentration de (0g/l) du cadmium avec une valeur de FG de 75%,

Par ailleurs, la cinétique de germination la plus rapide a été observé chez la concentration (0.1g/l du Cd) avec une valeur de FG de 97,5% et les autres concentrations (0,2g/l, 0,3g/l 0,05g/l) ont présentés presque la même cinétique, ils ont réagi d'une façon intermédiaires avec des valeurs de FG de 95%, 95% et 90 % successivement.

## Chapitre 5 : Résultats et Discussion

### 5.1.3.2 Effet de Cadmium sur la faculté de germination des graines d'*Acacia saligna*

Les résultats de l'effet du Cadmium sur la germination des graines d'*A. saligna* sont présentés dans la fig 22.

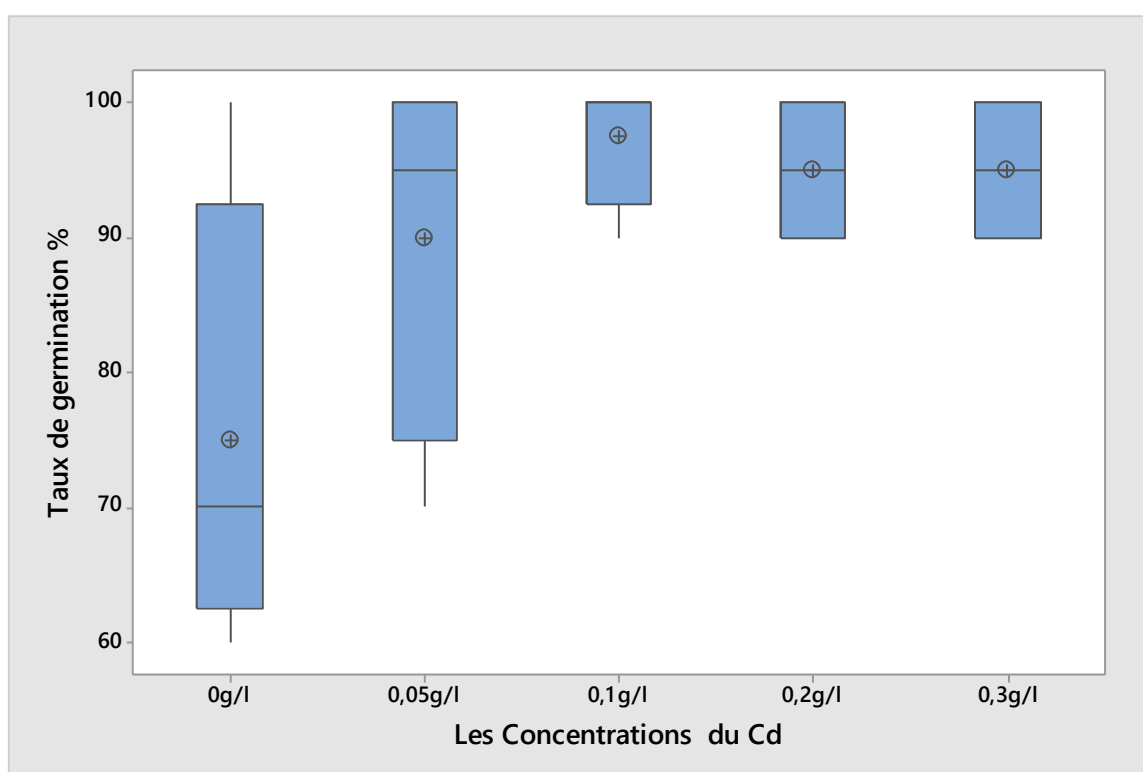


Figure 22:Le taux de germination des graines d' *Acacia saligna* sous différentes concentrations de Cd

Selon la fig.22 et l'annexe 1 , nous avons enregistré une différence non significative pour ce paramètre ( $P=0.06$ ) , la valeur la plus faible a été observée chez la concentration (0g/l) de Cd avec une valeur de FG de 75% ,

Les concentrations de 0,05g/l, 0,2g/l et 0,3g/l ont présenté des pourcentages intermédiaires de FG de 95%, 95% ,90 % . La valeur la plus élevée a été observée chez la concentration (0,1g /l) de Cd avec une moyenne de FG de 97.5%.

### 5.1.3.3 Effet du Cadmium sur la durée médiane de la germination des graines d'*Acacia saligna*

Les résultats de l'effet du Cadmium sur la durée médiane de la germination des graines d'*A.saligna* sont présentés dans la fig 23.

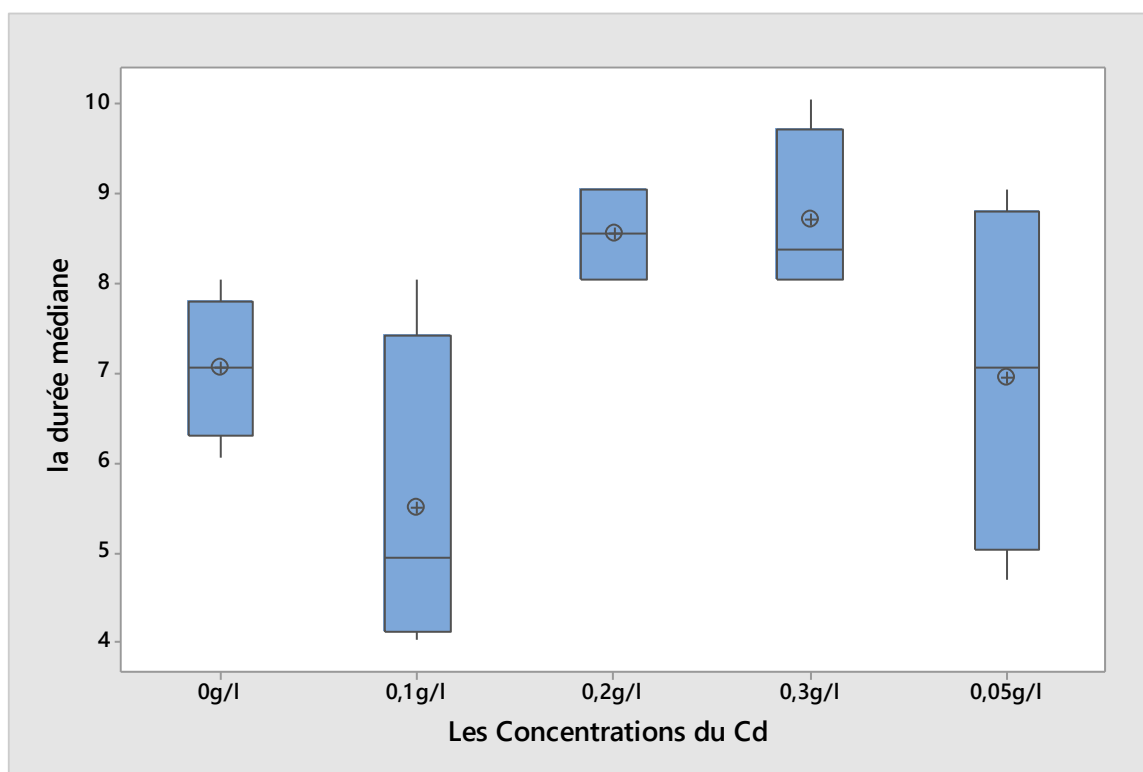


Figure 23: Effet de concentration du Cd sur la durée médiane de germination des graines d'*A.saligna* .

les résultats obtenus dans le tableau du cd de l'annexe 1 et la figure (23) ont montré qu'il y a une différence significative ( $P=0.02$ ) pour ce paramètre, La durée médiane la plus courte a été observée (5.4 jours) chez les graines germées sous la concentration de (0.1g/l) du Cadmium qui ont présenté le groupe statistique (b), et la durée médiane la plus longue a été observée (8.7 jours) chez les graines germées sous la concentration de (0.3g/l) qui constitué le groupe a et ab avec ceux des autres concentrations.

### 5.1.3.4 Effet de Cadmium sur l'indice de vigueur des graines d'*Acacia saligna*

En observant la fig. 24 et en consultant les résultats de l'analyse statique en annexe 1 , nous avons constaté qu'il y a eu un effet de l'application du Cadmium sur l'indice de vigueur de la germination des graines d'*A.saligna* .

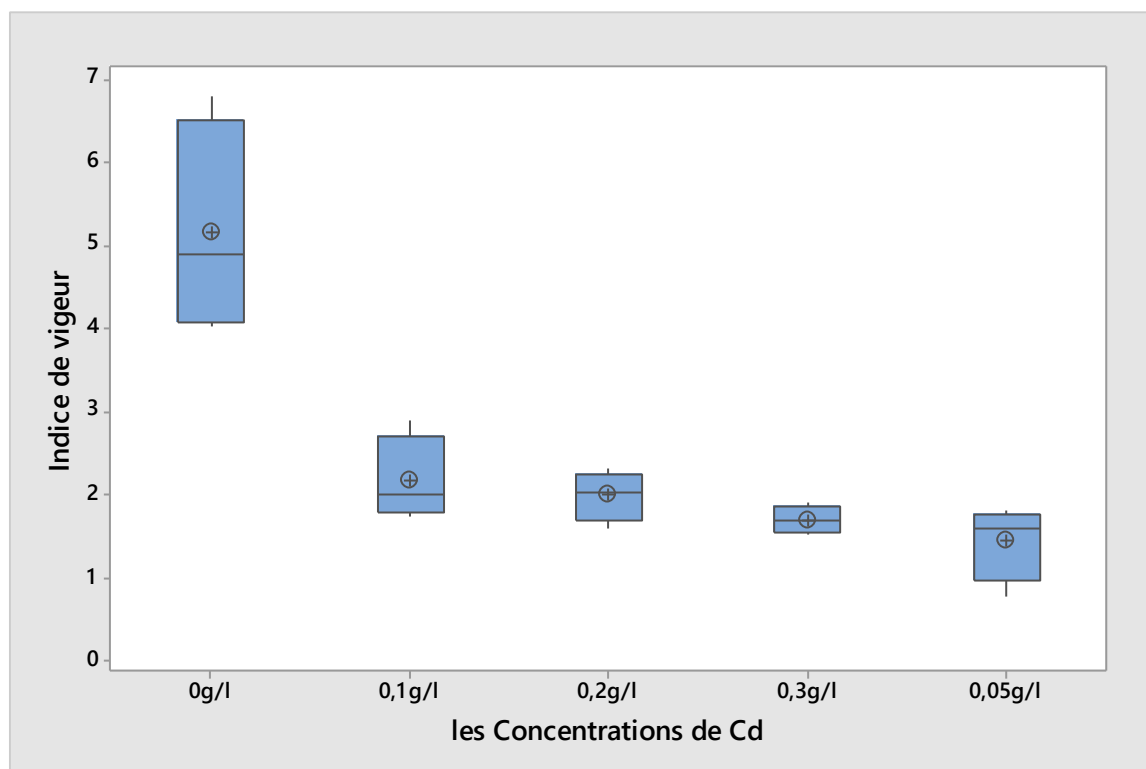


Figure 24:l'indice de vigueur de la germination des graines d'A.salina sous différentes concentration du Cd.

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ( $P = 0,000$ ), Les valeurs les plus faibles ont été observées chez les graines germées sous les concentrations de 0,3 g/ 0,05g/l ,0,2g/l et 0,1g/l , avec des moyennes de 1,43 , 1,70 , 1,99 , 2,16 successivement et qui ont présenté le même groupe statistique (b) , la moyenne la plus élevée a été constatée chez les concentration 0g/l (témoin) de Cadmium avec une valeur de 5.16 qui est regroupé dans le groupe statistique(a) .

## Chapitre 5 : Résultats et Discussion

### 5.1.4 Effet du Zinc sur les paramètres de germination des graines d'*Acacia saligna*

#### 5.1.4.1 Effet de Zinc sur la cinétique de germination des graines d'*Acacia saligna*

Les résultats de l'effet du Zinc sur la cinétique de germination des graines d'*A.saligna* présentés dans la fig.25

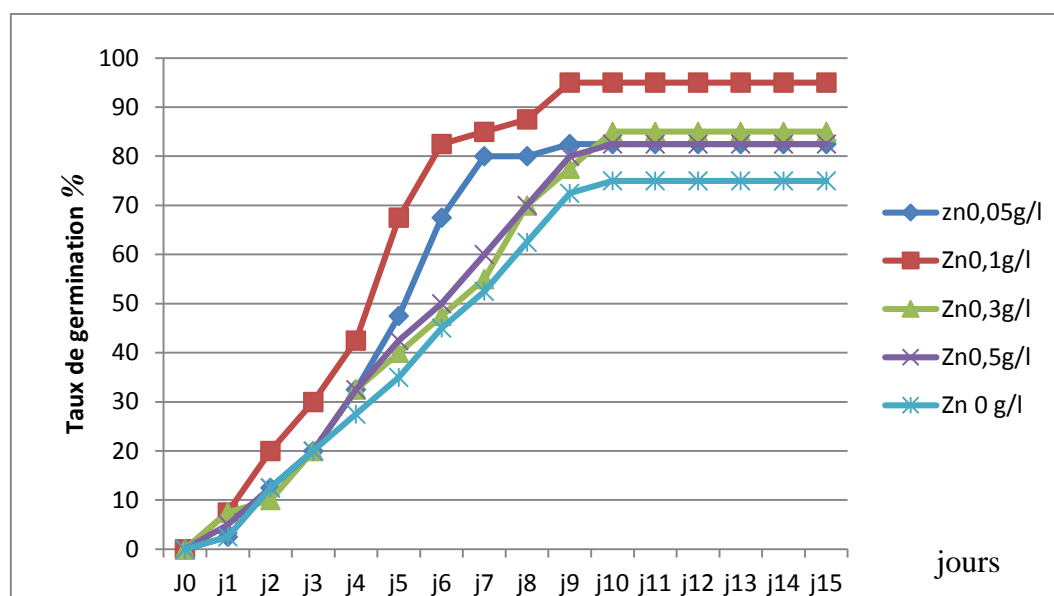


Figure 25: Les résultats de l'effet du Zinc sur la cinétique de germination des graines d'*A.saligna* présentés dans la fig 24.

Pour toutes les concentrations du Zn les graines ont atteint leur max de germination au bout de 9 jours, nous avons constaté qu'il y a eu une différence pour ce paramètre. La cinétique de germination des graines germées la plus lente a été constatée chez la concentration de (0g/l) du Zinc avec une valeur de FG 75%,

Par ailleurs, la cinétique de germination la plus rapide a été observée chez la concentration (0.1g/l) avec une valeur de FG 95%, par ailleurs les concentrations 0,3g/l, 0.5g/l et 0,05g/l) ont été présentés presque la même cinétique, ils ont réagi d'une façon intermédiaires avec des valeurs de FG de 82.5%, 82.5%, 85% successivement.

## Chapitre 5 : Résultats et Discussion

### 5.1.4.2 Effet du Zinc sur la faculté de germination des graines d'*Acacia saligna*

Les résultats de l'effet du zinc sur la germination des graines d'*A. saligna* sont présentés dans la fig 26.

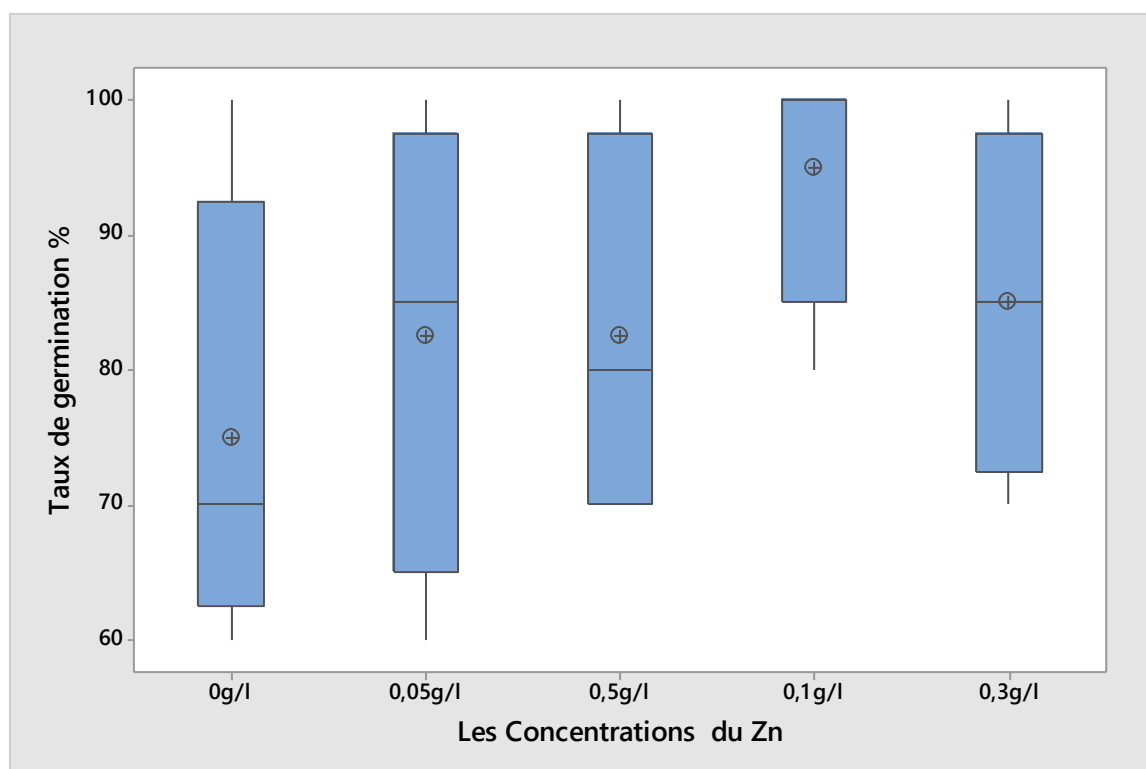


Figure 26:Le taux de germination des graines d'*Acacia saligna* sous différentes concentrations du Zn.

Selon la fig. 26 et l'annexe 1, L'ANOVA a révélé une différence non significative pour ce paramètre ( $P=0.45$ ), la valeur la plus faible a été observée chez la concentration (0 g/l) de Zn avec une valeur de FG de 75 %. Les concentrations 0.3g/l, 0,5 g/l et 0,05 g/l ont présenté des pourcentages intermédiaires de FG : 85 %, 82,5% et 82,5% . La valeur la plus élevée a été observée chez la concentration (0,1g /l) de Zn avec une moyenne de FG de 95%

### 5.1.4.2 Effet du Zinc sur la durée médiane de germination des graines d'*Acacia saligna*

Les résultats de l'effet du Zinc sur la durée médiane de la germination des graines d'*A.saligna* sont présentés dans la fig 27.

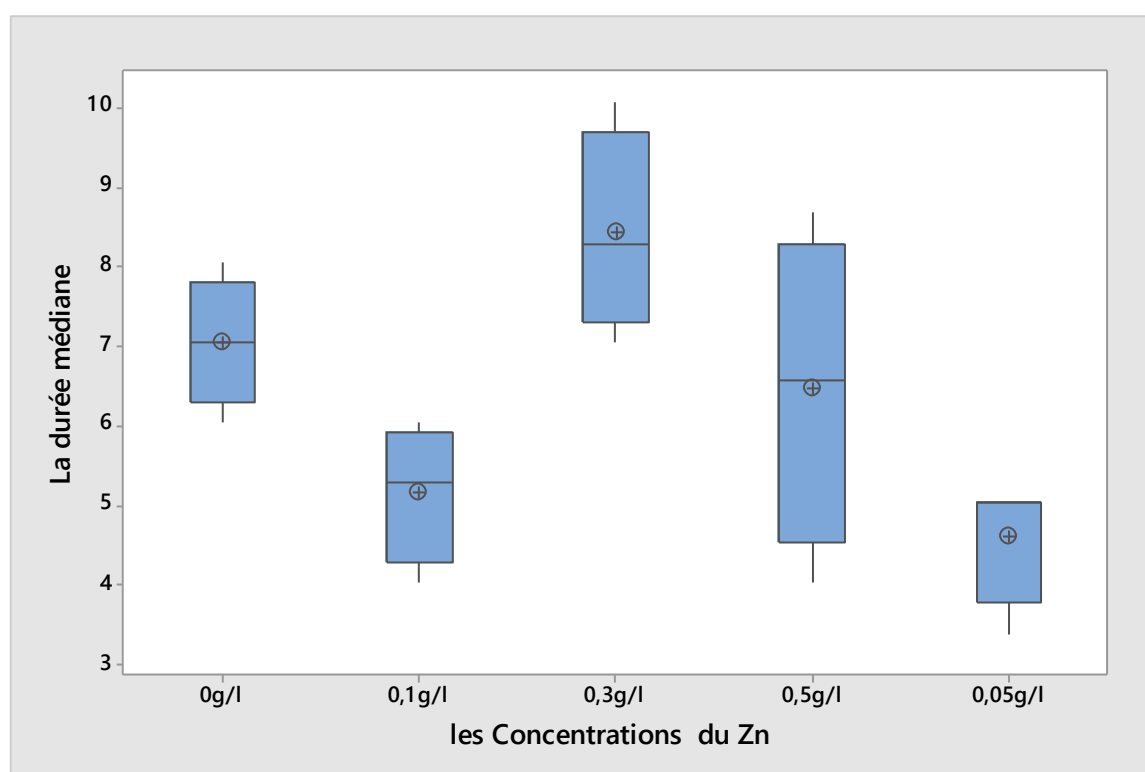


Figure 27: Effet de concentration du Zn sur la durée médiane de germination des graines d'*A.saligna* .

Selon la figure (27) et l'annexe 1, nous avons observé que la différence a été hautement ( $P=0.004$ ) pour la durée médiane de germination sous l'effet des doses de Zn .

La durée médiane la plus courte a été observée (4.6 jours) chez les graines germées sous la concentration de (0.05g/l) du Zn , et la durée médiane la plus longue a été observée (8.4 jours) chez les graines germées sous la concentration de (0.3g/l) .le reste des concentrations ont présenté des moyennes intermédiaires .

### 5.1.4.4 Effet du Zinc sur l'indice de vigueur des graines d'*Acacia saligna*

En observant la fig (28) et en consultant les résultats de l'analyse statique en annexe 1, nous avons constaté qu'il y a eu un effet de l'application du Zinc sur l'indice de vigueur de la germination des graines d'*A. saligna*.

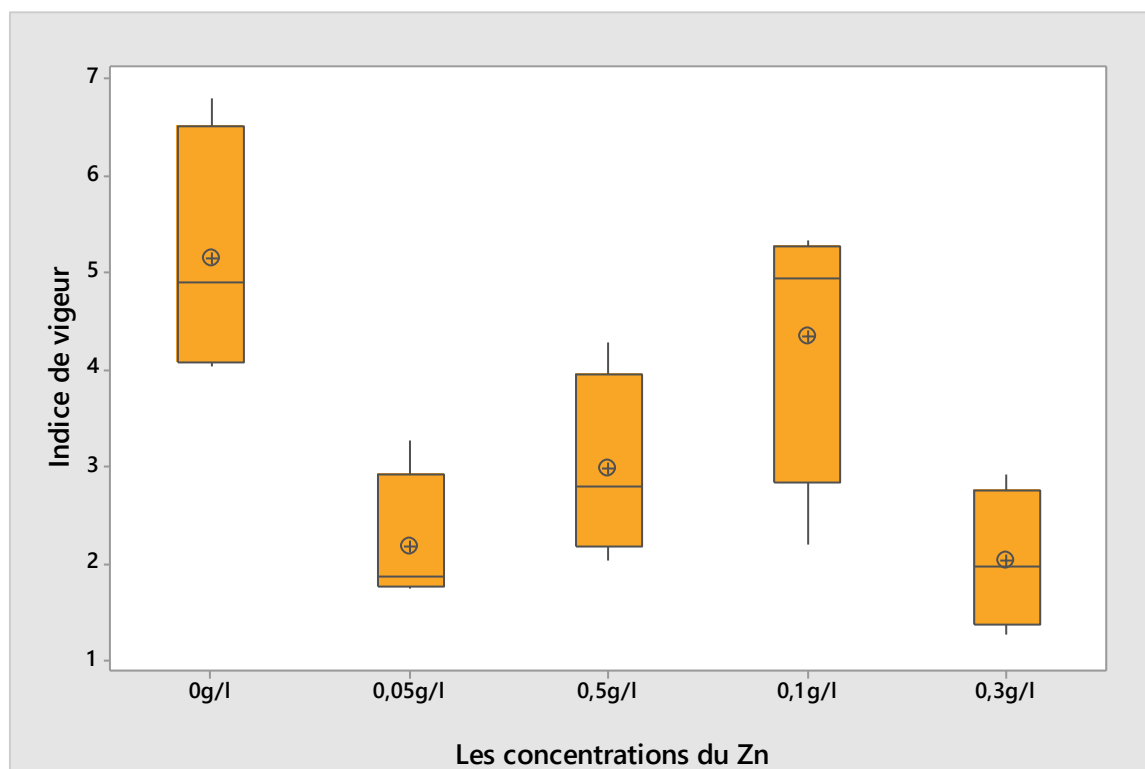


Figure 28:l'indice de vigueur de la germination des graines d'A.saligna sous différentes concentration de Zn

L'analyse de la variance a révélé une différence significative ( $P = 0,03$ ), les valeurs les plus faibles ont été observées chez les graines germées sous les concentration (0,3 g/ et 0,05g/l , avec des moyennes de 2,02 , 2,18 successivement , et qui ont présenté le même groupe statistique (b) , la valeur la plus élevée a été constatée chez les concentration 0g/l (témoin) de Zinc avec une moyenne de 5.161, qui a été regroupée dans le groupe statistique(a) . Les concentrations 0,5g/l et 0.1g/l ont été présentées dans le même groupe statistique (ab) avec des valeurs intermédiaires ( 2,97 et 4,34) .

## Chapitre 5 : Résultats et Discussion

---

### 5.2 Discussion

Selon les résultats trouvés, nous avons constaté que le taux de germination des graines d'*Acacia saligna* n'a pas été affectée par les métaux lourds testés suivants : Zn , Pb et Ni , et ce, quel que soit la concentration testée, cependant le Cd a affecté la faculté germinative des graines d'*Acacia* à partir de la dose de 0,05 g/l . De nombreux chercheurs testant l'impact de différentes concentrations de métaux sur différentes plantes, leurs résultats ont été résumés par Kranner & Colville (2011) qui affirment qu'à de fortes concentrations les métaux entraînent un déclin des taux de germination, mais cette dernière n'est jamais complètement inhibée.

En analysant l'impact des métaux lourds sur de nombreuses fonctions physiologiques vitales de la plante, Ernst (1998) a admis que la germination, qui est un processus certes vulnérable au stress métallique, serait un mécanisme des plus résistants parmi les autres phases du développement de la plante.

Les effets inhibiteurs des fortes concentrations pourraient être, en grande partie, expliqués par une action inhibitrice des métaux sur les enzymes chargées de la reprise de vie et sur l'édification d'une nouvelle plante, et/ou sur une inhibition des activités hydrolytiques au cours de la germination des graines exposées aux métaux lourds ( Bansal et al., 2001). L'inhibition de la germination semble dépendre du métal, de sa concentration, de la durée d'exposition des graines, de l'espèce végétale, voire même de la variété et de la graine, notamment la nature de ses téguments (Carlson et al., 1991 ; Munzuroglu & Geckil, 2002) et a été le plus souvent imputée à des perturbations dans le métabolisme respiratoire (Bansal & Sharma, 2000, 2002).

Les plantes sont généralement très tolérantes aux métaux car elles possèdent des mécanismes de protection qui empêchent le métal d'affecter le métabolisme de la plante. Elle capterait et séquestrerait aussi les métaux dans les cellules à l'intérieur de vacuoles ou par des métallothionéines, Les valeurs critiques des métaux dans les plantes sont comprises, pour le zinc, entre 100 et 400 ppm, pour le plomb sont de l'ordre de 30 à 300 ppm et de 5 à 30 ppm pour le cadmium (Ramadan, 2003), la concentration du Cd critique pour nos résultats a été de 50 ppm.

Pour la durée médiane, indiquant la vitesse de germination et la vigueur des graines sous l'effet des métaux lourds testés nous avons constaté l'effet marquant à été de :

## Chapitre 5 : Résultats et Discussion

---

Zn à 0,5g/l, Pb à 0,5g/l, Cd à 0,05g/l, Ni à 0,1g/l ces concentrations ont retardé la germination dans notre essai.

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

Seregin & Kozhevnikova (2005) ont trouvé que le Cd et le Pb sont adsorbés par les téguments des graines de *Zea mays* ; cependant, dans le cas du Ni, celui-ci traverse les téguments et rejoint les cellules de l'endosperme et du scutellum. Selon Kranner & Colville (2011), la perméabilité des téguments des graines dépend des propriétés physiques et chimiques des différents métaux.

L'analyse de variance de l'indice de vigueur des graines d'*A. saligna* sous l'effet de différentes concentrations du Pb ont révélé des variations très hautement significatives, Les longueurs maximales sont relevées en présence d'eau distillée. Les métaux réduisent significativement la croissance des racicules. Cette réduction est d'autant plus prononcée que les concentrations sont élevées.

Les résultats dégagés de la présente étude sont cohérents avec ceux cités par Kranner & Colville (2011), confirmant l'inhibition de la croissance racinaire chez plus de 15 espèces végétales en présence de concentrations croissantes de métaux (Cr, Cd, Cu, Zn, Pb, Ni et Hg). L'analyse de l'action spécifique des métaux sur la cinétique de croissance racinaire montre que, pendant la phase d'élongation, le cadmium inhibe significativement la croissance. Cette inhibition est d'autant plus importante que les concentrations en Cd sont en augmentation.

L'indice de vigueur des graines est un indicateur de la germination rapide et de la vitesse de la croissance (Buriro et al,2011). Les résultats de l'analyse de variance montrent que le Ni avec leurs différentes concentrations n'a pas présenté une différence significative sur ce paramètre, par ailleurs nous avons constaté que les longueurs de la racine et des pousses ont significativement diminué avec les traitements de Cd, Pb et Zn par rapport au témoin. En particulier, les inhibitions étaient clairement détectables au-dessus de certaines concentrations critiques (par exemple, 0.05g /l du Cd et Zn , le Pb à 0.5g/l).

## Chapitre 5 : Résultats et Discussion

---

Le Cd étant un contaminant hautement toxique qui affecte de nombreux processus métaboliques des plantes ( Li *et al*, 2012) , Il est toutefois important de noter que le cadmium n'affecte pas la croissance de toutes les plantes avec la même sévérité. En effet, sur des sites très contaminés en métaux lourds, et en particulier en cadmium, certaines espèces végétales telles que *Arabidopsis halleri* et *Thlaspi caerulescens* sont capables de croître, se développer, et se reproduire (Dahmani-Müller *et al.*, 2001 ; Wojcik *et al.*, 2005). Ces espèces végétales hypertolérantes sont aussi hyperaccumulatrices de cadmium. Bien que l'hyperaccumulation nécessite la tolérance, une relation simple entre la tolérance et l'hyperaccumulation n'apparaît pas évidente.

Les traitements à 0.05g/l (50 ppm) du cadmium ont produit des effets significatifs ( $P < 0,05$ ) sur la croissance des racines par rapport à ceux de 50 mg/l pour Zn, Pb à 0.5g/l et le Ni n'a pas un effet significative sur ce paramètre. Toutes les élongations des racines dans les traitements au Cd à différentes concentrations étaient plus courtes que celles des traitements au Ni, Pb et Zn. Considérant que les racines d' *Acacia saligna* peuvent accumuler des quantités significatives de ces métaux lourds, les élongations plus courtes des racines dans les traitements de Cd indiquent que les racines d' *A. saligna* ont accumulé le Cd à un degré plus élevé que les autres métaux lourds. .

Abdul Qados (2015), a travaillé sur l'utilisation d'espèces d'arbres indigènes dans la phytoremédiation et la réhabilitation de sols contaminés par le Pb et le Cd. Les résultats ont suggéré que *A. saligna* était l'espèce la plus tolérante aux concentrations élevées de Pb et Cd dans le sol. Nous venons par le biais de nos résultats confirmer cette conclusion.

Par ailleurs,( Masvodza *et al* 2013) ont affirmé que *A. saligna* a montré des signes d'accumulation de nickel, de cuivre et de fer et ont conclu que cette espèce peut donc être utilisée à des fins de phytoremédiation et de restauration des barrages de boue minière.

Pour la phytotoxicité des métaux lourds, l'élongation des racines était plus sensible que celle des pousses car les métaux lourds s'accumulent davantage dans les racines que dans les pousses. Par exemple, le Zn était principalement limité à la radicule alors que le Cd avait une distribution égale entre la radicule et les pousses (Lefèvre *et al*,2009) . Les résultats obtenus montrent une diminution importante de la longueur des tiges et la longueur des racines des graines stressées par le plomb à différentes concentrations (0.5g/l 1g/l , 2g/l et 3g/l ) par rapport aux graines du témoin (0g/l). Ces résultats sont concordants avec ceux de Brunet (2008), qui

## Chapitre 5 : Résultats et Discussion

---

présentent chez les plantes contaminées par le plomb, un ralentissement de leur développement et une inhibition de la croissance des racines et des parties aériennes. Le ralentissement du développement racinaire est la première réponse des plantes cultivées dans un milieu contaminé par le Pb (Potters et al., 2007).

Nos résultats viennent confirmer les conclusions de (Abd El-Aziz et al 1999), dans le stade germination et l'indice de vigueur.

En générale les racines sont les plus sensibles aux métaux lourds par rapport à d'autres organes végétaux, parce qu'elles sont les premières cibles de passage et d'accumulation de ces métaux (Seregin et Ivanov, 2000), particulièrement, les racines primaires qui sont plus sensibles que les racines latérales (Obrouscheva et al., 1998). Ceci est due probablement à l'inhibition de la division des cellules racinaires (Eun et al., 2000), et de l'élongation des (Seregin et Ivanov, 1997 ; Obrouscheva et al., 1998 ; Malkowski et al., 2002) comme il a été montré chez *Lemna minor* (Samardakiewicz et Wozny, 2005). Chez plusieurs espèces, comme *Triticum sativum* (Dey et al., 2007 ; Kaur et al., 2013), *Zeemays L.* (Kozhevnikova et al., 2009), *Pisum sativum* (Malecka et al., 2009) et *Sedum alfredii* (Gupta et al., 2010). Le Pb a également inhibé l'allongement des racines et des tiges et l'expansion des feuilles chez l'ail, l'orge et le radis noir (Nagajyoti et al., 2010).

---

---

**Conclusion générale**

---

---

### Conclusion

Notre synthèse relative à l'étude de l'effet de Plomb, Nickel, Cadmium et le Zinc sur les paramètres de germination de *Acacia saligna*, et à l'étude de la capacité de croître dans des milieux pollués avec les métaux lourds, cette expérimentation nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

Les essais de germination en laboratoire des graines de *A. saligna* nous ont permis de déterminer le seuil de tolérance en zinc de l'*A. saligna*. Nous avons trouvé que l'*A. saligna* peut tolérer une concentration en zinc jusqu'à 0.3g/l pour germer, mais pour croître un seuil de 0.05g/l (50 ppm) suffit pour être néfaste à la croissance des racines et des pousses de cette espèce.

Les résultats obtenus indiquent que l'exposition des graines de *Acacia saligna*, à différentes doses du plomb n'a pas affecté à lui aussi le pouvoir germinatif, mais il a affecté l'indice de vigueur et ce à partir de la dose de 0.5 g/l (500 ppm) de Pb.

Pour le Ni, les résultats obtenus indiquent que l'exposition des graines de *Acacia saligna*, à différentes doses du Ni n'a pas affecté à lui aussi le pouvoir germinatif et l'indice de vigueur et ce quel que soit la dose testée de 0.05g/l à 0.3 g/l (50ppm- 300ppm) il semble que cette espèce peut croître dans un milieu pollué en Ni sous les doses précitées.

Les résultats obtenus indiquent que l'exposition des graines de *Acacia saligna*, à différentes doses du Cd n'a pas affecté à lui aussi le pouvoir germinatif, mais il a affecté l'indice de vigueur et c'est à partir de la dose de 0.05 g/l de Cd soit 50 ppm.

Enfin nos résultats ont été conformes à ceux des autres chercheurs, l'indice de vigueur a été utilisé pour avoir une idée sur le seuil de tolérance de *Acacia saligna* aux différents métaux lourds, mais il serait souhaitable de refaire l'essai et analyser les teneurs de différents métaux dans les pousses et les racines pour comprendre la manière de l'accumulation de ces métaux lourds afin de prévoir une plantation de cette plante dans les zones polluées.

. En effet, la connaissance des teneurs totales en métaux lourds dans les organes de la plante est nécessaire mais elle n'est cependant pas suffisante pour évaluer leur mobilité et les

risques environnementaux qui en découlent. La prévision de ces risques est étroitement liée aux formes physico-chimiques sous lesquelles les métaux sont présents .

Les résultats dégagés dans notre étude montrent qu'*A. saligna* peut germer dans des milieux fortement pollués par les métaux zinc, Nickel, plomb et cadmium. De ce fait, la culture de cette espèce souvent recommandée pour la phytostabilisation des sites pollués par les métaux, pourrait être établie par semis. La cinétique d'imbibition, le taux de germination et la cinétique de croissance racinaire constitueraient des marqueurs intéressants pour le criblage d'écotypes tolérants aux métaux au cours de leur germination.

---

---

## Références bibliographiques

---

---

## Références Bibliographiques

---

**Abd El-Azim , M. Ahmed A. A. El-Settawy et Tarek M. El-kiey Wenzel, W.W., D. C. Adriano, D. Salt et R. Smith (1999).** Phytoremediation : a plant-microbe-based remediation system. In : Agronomy Monograph no. 37. Madison, WI, USA, pp. 456-508.

**Abdul Qados. Amira M. S (2015),** Phytoremediation of Pb and Cd by native tree species AGRICULTURE AND BIOLOGY JOURNAL OF NORTHAMERICA ISSN Print: 2151-7517, ISSN Online: 2151-7525, doi:10.5251/abjna.2015.6.1.8.21 © 2015, ScienceHuB, <http://www.scihub.org/ABJNA> (consulté 1 juillet 2021).

**ACADEMIE DES SCIENCES ,1998.** Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leurs gestion ; Rapport n°42 Août

**ADRIANO D.C., 2001.** Trace elements in terrestrial environments: Biochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, New York

**Ahemad M, Khan MS (2012).** Effet des fongicides sur les activités de promulgation de la croissance des plantes de *Pseudomonas putida* solubilisant le phosphate et isolé de la rhizosphère de la moutarde (*Brassica campestris*). Chemosphere 86:945-950

**Ali H, Khan E, Sajad MA (2013).** Phytoremediation of heavy metals- concepts and applications. Chemosphere 91:869-881

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

**Anzala F.J., (2006).** Control de la vitesse de germination chez le maïs (*Zea mays*) : étude de la voie de biosynthèse des acides aminés issus de l'aspartate et recherche de QTLs. Thèse de Doctorat Université d'Angers. 148p.

**Baize D. 1997.** Un point sur les teneurs totales en éléments-traces métalliques dans les sols. INRA Éditions, Paris. France. Pp. 408

## Références Bibliographiques

**Baker A.J.M. and Brooks R.R. (1989).** Terrestrial higher plants which hyper accumulate Metallic elements – Review of their distribution, ecology, and photochemistry. *Biorecovery* 1: 81-126

**Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Reeves, R.D., Smith, J.A.C., (1999).** Metal hyperaccumulator plants: a review of ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal polluted soils. Ed. Terry N and Banuelos G. Lewis Publishers Boca Raton, London, New York, Washington, 85-107

**BANSAL, P., SHARMA, P. & DHINDSA, K. (2001).** Impact of Pb<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> on activities of hydrolytic enzymes in germinating pea seeds. *Ann. Agri- Bio. Res.*, 6: 113-122. (Carlson et al., 1991 ; Munzuroglu & Geckil, 2002

**BANSAL, P., SHARMA, P. & GOYAL, V. (2002).** Impact of lead and cadmium on enzyme of citric acid cycle in germinating pea seeds. *Biol. Plant*, 45:125-127

**Baskin C.C et Baskin J.M., (1998).** Seeds: Ecology.biogeography and evolution of dormancy and germination .Academic Press, San Dieg .C A.

**Bermudez GMA, Moreno M, Invernizzi R, Plà R, Pignata ML (2010).** Heavy metal pollution in topsoils near a cement plant : the role of organic matter and distance to the source to predict total and HCl- extracted heavy metal concentrations. *Chemosphere* 78:375-381

**Binnet J. et Brunel P., 1968.** Physiologie végétale, Tome I, Dion (Ed.) Paris.

**Blum WE. 1990.** Pollution des sols par métaux lourds. Sixième conférence ministérielle européenne sur l'environnement. Bruxelles .

**Boualem S., 2014-** Contribution à l'amélioration des techniques de stratification et de greffage de quelques espèces du genre *Pistacia*. Thèse de Doctorat en Sciences. Faculté S.N.V, Université de Mascara, 130p.

**Brunet J, Reppelin A, Varralult G, Terry N et Zuily-Fodil Y., (2008).** "Lead accumulation in the roots of grass pea ( *Lathyrus sativus* L.)". *C.R.Biologies* 331 : 859-864.

**Buriri,M.C.Oad,M ,I. Keerio,S.Tunio,A.W.Gandahi,S.W.U.Hassan and S.M.Oad .,2011** :Wheatseed germination under the influence of temperatureregimes .*Sarhad J.Agric.*27,4 :539-543.

## Références Bibliographiques

**CABI (2021):** *Acacia saligna* in invasive species compendium Wallingford, UK: CAB international, [https:// www cabi.org /isc](https://www.cabi.org/isc). (consulté le 1 juillet2021)

**Chaussant R, Le Deunff Y., (1975).** La germination des semences .Ed. Bordars, Paris,232 p

**CHUGH, L.K. & SAWHNEY, S.K. (1999).** Effect of cadmium on germination, amylases and rate of respiration of germinating pea seeds. *Environ. Pollut.*, 92: 1-5.

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

**Côme D., 1982 -** Germination (Chapitre 2), dans Croissance et développement - Physiologie Végétale II, Collection des Méthodes, Herman, Paris, pp : 129-225.

**Crompton H. (1992)** *Acacia saligna* for dryland fodder and soil stabilization. *NFT Highlights NFTA* 92 (3): 1-2 pp.

**Dahmani-muller, H., Van Oort, F., Gelie, B., Balabane, M., 1999.** Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter. *Environmental Pollution* 109, 1-8.

**Dewald U, Achternbosch M, (2016).** Pourquoi les ciments plus durables ont-ils échoué jusqu'à présent.Les innovations disruptives et leurs obstacles dans une industrie de base. *Environ Innovat Soci trans* (19)15-30

**Dey S. K., Dey J., Patra S., Pothal D., (2007).** Changes in the antioxidative enzyme activities and lipid peroxidation in wheat seedlings exposed to cadmium and lead stress.*Braz. Journal of Plant Physiology.*19, 53–60

**Dhiman S, Selvaraj C, Li J, Singh R, Zhao X, Kim D, Kim J Y, Kang Y C, Lee J K, (2016).** Phytoremédiation des sols contaminés par des métaux par l'hyperaccumulateur canola (*Brassica napus* L. ) et l'utilisation de sa biomasse pour la production d'éthanol. *Fuel* (183)107-114

**Djenidi H., 2011-** Etude du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.): Essais de germination, extraction des polyphénols et activité antimicrobienne. Thèse de Magister En Biologie. Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie. Université Mohamed Kheider. Biskra, 52p.

## Références Bibliographiques

**Domergues Y. et Mangenot B. (1970).** Ecologie microbienne du sol : (Ed). Masson et Cie Paris, 796 p

**Doran JC, Turnbull, JW, Martensz, PN, Thomson, LAJ & Hall, N. (1997).** Acacia auriculiformis , dans JCDoran & JWTurnbull (eds), Australian Trees and Shrubs: Species for Land Rehabilitation and Farm Planting in the Tropics , pp.112-115. Monographie ACIAR n° 24. Centre australien pour la recherche agricole internationale, Canberra.

**El-Lakany, M.H. (1987).** Utilisation des acacias australiens en Afrique du Nord. In : Turnbull, J.W.(ed) Australian Acacias in Developing Countries, pp. 116-117. (ACIAR Proceedings No. 16 : Canberra.)

**Esmaeli A, Moore F, Keshavarzi B, Jaafarzadeh N, Kermani M (2014)** Une étude géochimique des métaux lourds dans les sols agricoles et de fond de la zone industrielle d'Isfahan, Iran. Catena 121:88-98

**Etats-Unis. United States Environmental Protection Agency (EPA).** Introduction to phyteremediation. Cincinnati, OH, 104 p.(EPA/600/R-99/107)

**Eun SO, Shik Youn H, Lee Y., (2000).** "Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of Zea mays." Physiologia Plantarum 110: 357-365.

**Evenari M. ,1957-** Les problèmes physiologiques de la germination. Soc. France,Physiologie végétale. (3), 2451-2494.

**Fox, J.E.D. (1995).** A review of the ecological characteristics of Acacia saligna (Labill.) H. Wendl. Mulga Research Centre Journal 12: 39-56.

**Ghosh, M.; Singh, S., (2005).** A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. Asian J Energy Environ, 6, (4), 18

**Glass,D.J.(1999).U.S.and International markets for phytoremediation,1999,2000. D.(Glass),Associates,Inc.(<http://www.dglassassociates.com/INFO/phy99exc.htm> (consultée le 1 juillet 2021).**

**Gupta D, Huang H, Yang X, Razafindrabe B, Inouhe M., (2010).**The detoxification of lead in Sedum alfredii H. is not related to phytochelatin but the glutathione. Journal of Hazardous Materials. 177(1–3), 437-444.

## Références Bibliographiques

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

**Heller R., (1990).** - Physiologie végétale. Tome 2: Développement. 4ème édition. Paris, Masson, 266p.

**Hernandez-Ochao, I., Garcia- Vargas, G., Lopez- Carrillo L., Rubio-Andrade M.,**

**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.

**Jean P., Catrine T. et Giues L., 1998-** Biologie des plantes cultivées. Ed. L'Arpers, Paris, 150p.

**Kaur G, Singh HP, Batish D R, Kohli R K., (2013).** Lead (Pb)-induced biochemical and ultrastructural changes in wheat (*Triticum aestivum*) roots. *Protoplasma*. 1, 53-62.

**Khan M.A, 2002,** Halophyte seed germination: Success and Pitfalls. In: Hegazi A.M., ElShaer H.M., El-Demerdashe S., Guirgis R.A., Abdel Salam Metwally A., Hassan F.A., Khashaba H.E. (Eds.) Optimum resource utilization in salt affected ecosystems in arid and semi-arid regions. International symposium, Desert Research Center, Cairo, Egypt pp. 346358.

**Khan, F.I., Hasain, T. and Hejazi, R. (2004).** An overview and analysis of site remediation Technologies. *Journal of Environmental Management*, vol. 71, p. 95-122.

**Kozhevnikova A D, Seregin I V, Bystrova E I, Belyaeva A I, Kataeva M N, Ivanov VB., (2009).** The effects of lead, nickel, and strontium nitrates on cell division and elongation in maize roots. *Russian Journal Plant Physiology*. 56, 242-250

**KRANNER, I. & COLVILLE, L. (2011).**— Metals and seeds: Biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. *Environ. & Exper. Bot.*, 72: 93-105

**Lefèvre I, Marchal G, Corréal E, Zanuzzi A, Lutts S (2009).** Variation in response to heavy metals during vegetative growth in *Dorycnium pentaphyllum* Scop. *Plant Growth Regulation* 59 :1-11.

**Lefroy, E. C., Dann, P. R., Wildin, J. H., Wesley-Smith, R. N., & McGowan, A. A. (1992).** Trees and shrubs as sources of fodder in Australia. *Agroforestry systems*, 20(1-2), 117-139.

## Références Bibliographiques

---

**LEVITT J., 1980.** Responses of plants to environmental stresses. Volume II: Water, radiation, salt, and other stresses. Academic Press, New York.

**Li, X., Zhao, M., Guo, L. et Huang, L., 2012.** Effect of cadmium on photosynthetic pigments, lipid peroxidation, antioxidants, and artemisinin in hydroponically grown *Artemisia annua*. J. Environ. Sci. (China), Vol. 24: 1511–8. doi:10. 1016/S1001-0742(11)60920-0.

**Lim J M, Salido A L, Butcher D J, (2004).** Phytoremédiation du plomb à l'aide de la moutarde indienne (*Brassica Juncea*) avec EDTA et électrodes. J. Microchem (76) 39

**Mansouri, L.M. (2011).** Production d'inoculum de *Rhizobium* associés à *Acacia saligna* pour revégétaliser la carrière de Terga (Aïn Temouchent). Mémoire de magistère, Université d'Oran Es-sénia, Oran, Algérie, 116 pp

**Martin MH (2012)** Biologie de la pollution par les métaux lourds : terre et air. Editions Applied Sciences Publishers, Bristol 391p

**Maslin B. R. et Striton C. H. (1997).** Generic and infra generic classification in *Acacia* (Leguminosae Mimosoideae) : a list of critical species on which to build a comparative data set. Bulletin of the international group for the study of Mimosoideae. 20: 22-44 pp

**Maslin, B, R, 2001 :** WATTLE : *Acacia* of australia CD ROM. Australian biological resource study : Canberra and Department of conservation and Land Management : como, western Australia .

**Mazliak P., (1982).** – Croissance et développement. Physiologie végétale II. Hermann Ed, Paris, Collection Méthodes, 465p.

**McGrath, S., (1998).** Phytoextraction for soil remediation. In Plants that hyperaccumulate heavy metals: their role in phytoremediation, microbiology archaeology, mineral exploration and phytomining, Brooks, R., Ed. CAB International: New York,; pp 261-288.

**Meers E et Tack F., (2004).** The potential of foliar treatments for enhanced phytoextraction of heavy metals contaminated soil. Remed J. 14 : 111-123

**Meyer S, Reeb C, Bosdeveix R., (2004).** Botanique, biologie et physiologie végétale. Ed. Moline, Paris, 461p.

## Références Bibliographiques

**Michaelides, E.D. (1979).** Mini-monographie sur *Acacia cyanophylla*. Communication invitée à la consultation technique sur les feuillus de plantation à croissance rapide pour les zones méditerranéennes et tempérées, tenue à Lisbonne, Portugal, du 16 au 20 octobre. FO : FGB-79-6/1. (FAO : Rome.)

**Moran- Martinez J., Cebrian M.E., Quintanilla- Vege B., (2005).** Low lead environmental exposure alters semen quality and sperm chromatin condensation in

**Ndiaye A. A., Sylla S.N., Gueye M., de Lajudie P. et Ndoy I. (2002)** Utilisation de la technique d'électrophorèse des protéines totales sur gel de polyacrylamide-SDS (PAGE-SDS) pour l'étude de la diversité des rhizobiums d'*Acacia tortilis* (FORSK) Hayne subsp *Raddiana* (SAVI) Brenan. *A. J. S. T.* 3: 33-43 pp.

**Northern Mexico.** *Reproductive Toxicology.* 20 (2): 221-228.

**Obroucheva NV, Bystrova EI, Ivanov VB, Antipova OV, Seregin IV., (1998).** "Root growth responses to lead in young maize seedling. " *plant and soil* 200 :55-61.

**Ogundiran M B et Osibango O, (2008).** Concentrations de métaux lourds dans les sols et accumulation dans les plantes poussant dans une décharge de scories déserte au Nigeria. *J. Afr Biotechno* (17) 3053-3060

**Ogunkunle C O, Fatoba P O, (2014).** Contamination et distribution spatiale des métaux lourds dans les sols superficiels entourant une méga cimenterie. *Atm. Pol. Res* (5) 270-282

**Panetta A., (1979).** Germination and seed survival in the woody weed, groundsel bush (*Baccharis halimifolia*L) *Aust. J. Agric. Res.*, 30(60) :1067-1077.

**Pilon-Smits E., (2005).** Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology* 56, 15- 39.

**Pivetz, B.E., (2001).** Phytoremediation of Contaminated Soil and groundwater at hazardous waste sites. *Ground Water Issue*, United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development and Office of Soil Waste and Emergency Response, EPA/540/S-01/500, 36 p. [En ligne] [http://clu.in.org/download/remed/epa\\_540\\_s01\\_500.pdf](http://clu.in.org/download/remed/epa_540_s01_500.pdf) (Page consultée le 16 janvier 2004).

**Potters G, De Gara L, Asard H et Horemans N., (2007).** "Ascorbate and glutathione: guardians of the cell cycle, partners in crime?" *Plant Physiology and Biochemistry* 40: 537-548.

## Références Bibliographiques

---

**Puschenreiter M, et WW Wenzel., (2005).** Rhizosphere processes involved in phytoremediation of contaminated soils. in H.-K. Galazka, editor. Current developments in remediation of contaminated lands, Pulawy, Poland

**Qureshi AS, Hussain MI, Ismail S, Khan QM (2016)** Évaluation de l'accumulation des métaux lourds et des risques potentiels pour la santé dans les légumes irrigués avec des eaux usées traitées. Chemosphere 163:54-61

**Remon E., (2006).** Tolérance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée des friches métallurgiques : vers de nouvelles méthodes de bio-dépollution. Université Jean Monnet, Saint Etienne.

**Robert M. et Juste C., (1999).** Dynamiques des éléments traces de l'écosystème sol. Dans: Association ECRIN éd., Spéciation des Métaux dans le Sol, Les cahiers des clubs CRIN, Club CRIN Environnement et Ministère de l'Environnement, Paris. 15-37.

**Saifullah E., Meers Qadir M., Caritat P., Tack F.M.G., Du Laing G. et Zia M.H., (2009).** EDTA- assisted Pb phytoextraction. Chemosphere. 74 : 1279-1291.

**Samardakiewicz S, Wozny A., (2005).** Cell division in Lemna minor roots treated with lead. Aquatic Botany. 83, 289-295.

**SEREGIN, I.V. & KOZHEVNIKOVA, A.D. (2005).**— Distribution of cadmium, lead, nickel, and strontium in imbibing maize caryopses. Russ. J. Plant Physiol., 52: 565-569

**Sereguine I et Ivanov V., (1998).** "Histochemical Investigation of Cadmium and Lead Distribution in Plants." Russian Journal of Plant Physiology 44 : 791-796.

**Simmons MH, 1981.** Acacias d'Australie. 325 p. Melbourne, Australie : Nelson

**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.

**Soltner D., (2001).** Les bases de la production végétale. Tome III la plante et son amélioration, 3ème édition Paris, 189p.

**Tackhlom V. (1974)** Students Flora of Egypt. Publ. Cairo Univ. 2nd edition, 114-118 pp.

## Références Bibliographiques

**Tison, J. M. Foucault, B. 2014.** Flora Gallica. Flore de France. Biotope Éditions, Mèze. 1196 pp.

**Tissouras F. (2004)** .Caractérisation biométrique des gousses et des graines : extraction et identification des polysaccharides pariétaux et des huiles de deux légumineuses ligneuses *Acacia arabica* et *Acacia raddiana* des zones arides Algériennes. Thèse de Magister. Oran : Université d'USTO.

**Trasande L, Digangi J, Evers D C, Petrlik J, Buck D G, Samanek J, Beeler B, Turnquist M A, Regan K, (2016).** Implications économiques de l'exposition au mercure dans le contexte du traité mondial sur le mercure : niveaux de mercure dans les cheveux et estimation de la perte de productivité économique dans certains pays en développement. *J. Environ Manage* (183) 229-235

**Vila, M., (2006).** Utilisation de plantes agronomiques et lacustres dans la dépollution des sols contaminés par le RDS et le TNT : approches en laboratoire. Docteur, Institut national polytechnique de Toulouse, Toulouse.

### **Wikipedia2021**

<https://www.google.com/search?q=acacia+saligna&oq=acacia+saligna&aqs=chrome..69i57j46j0j0i22i30l7.5833j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8#> (consulté le 1 juillet 2021)

**Willan R.L., 1984** .A guide to Forest seed Handling with spécial référence to the tropics. DANIDA Forest seed Centre, DK-3050 Humlebaek, Denmark, 394p.

**Witkowski E. T. F. (1991b)** Growth and competition between seedlings of *Protea repens* (L.) and the alien invasive, *Acacia saligna* (Labill). Wendl. In relation to nutrient availability. *Functional Ecology* 5: 101-110 pp.

**Wojcik, M., Vangronsveld, J., Tukiendorf, A., 2005.** Cadmium tolerance in *Thlaspi caerulescens* I. Growth parameters, metal accumulation and phytochelatin synthesis in response to cadmium. *Environmental and Experimental Botany* 53, 151-161.

**Wu Z, Zhang X, Wu M, 2016.** Atténuation de la pollution par les poussières de construction : état de l'art et voie à suivre. *J. Clean. Prod.* (112) 1658-1666

## Références Bibliographiques

---

**Yaylali-Abanuz G (2011).** Heavy metal accumulation of surface soil around Gebze industrial area, Turkey. *Microchem J* (99):82-92

**Zheng LJ, Liu XM, Lutz U et Peer T., (2011).** Effects of lead and EDTA-assisted lead on biomass, lead uptake and mineral nutrients in *Lespedeza chinensis* and

---

---

**L'ANNEX**

---

---

## L'Annexe

L'annexe 1 Résumé de l'Analyse de variance des paramètres de germination des graines de l'*Acacia saligna*

Facteur	N	Concentration (Zn)					P <0.05
		0g/l	0.05g/l	0.5g/l	0.1g/l	0.3g/l	
Paramètres Etudié							
FG%	4	75±17.32 (a)	82.50±17,08 (a)	82.50±15.00 (a)	95.00±10.00 (a)	85.00±12.91 (a)	0,459
Indice de vigueur	4	5,16± 1.31 (a)	2,18±0,72 (b)	2,97±0,95 (ab)	4,34± 1.46 (ab)	2,02±0,72 (b)	0.003
Durée Médiane	4	7.50 ± 0.81 (ab)	4.61 ±0.82 (b)	6.46±1.95 (ab)	5.15 ± 0.85 (b)	8.42± 1.26 (a)	0,004

Facteur	N	Concentration (Pb)					P<0.05
		0g/l	0.5g/l	1g/l	2g/l	3g/l	
Paramètres Etudié	4						
FG%	4	75,00±17,32 (a)	95,00±10,00 (a)	72,5±34,0 (a)	75,00± 12,91 (a)	50,0 ± 31,6 (a)	0.16
Indice de vigueur	4	5,16 ± 1,32 (a)	1,80± 0,81 (b)	0,67± 0,80 (b)	1,29± 0,403 (b)	0,14± 0,11 (b)	0,000
Durée médiane	4	7,05± 0,81 (a)	6,65 ± 0,48 (a)	6,58 ±3,08 (a)	6,03± 1,48 (a)	6,56 ± 2,88 (a)	0,971

## L'Annexe

Facteur	N	Concentration(Cd)					P<00 5
		0g/l	0.05 g/l	0.1g/l	0.2g/l	0.3g/l	
Paramètres Etudié							
FG%	4	75,00±17,32 (a)	90,00±14, (a)	97,50±5,00 (a)	95,00 ± 5,77 (a)	95,00 ±5,77 (a)	0,065
Indice de vigueur	4	5,16± 1,31 (a)	1,43 ± 0,45 (b)	2,16 ± 0,51 (b)	1,99 ± 0,30 (b)	1,70 ±0,16 (b)	0,000
Durée Médiane	4	7,05 ±0,81 (ab)	6,95 ± 1,96 ab)	5,49 ±1,82 (b)	8,55 ± 0,57 (a)	8,71 ± 0,94 (a)	0,024

Facteur	N	Concentration (Ni)					P<0 ,05
		0 g/l	0,05 g/l	0.1g/l	0.2g/l	0.3g/l	
Paramètres Etudié							
FG%	4	75,00±17,3 2 (a)	67,50±25,00 (a)	90,00 ±8,16 (a)	80,00±16,33 (a)	85,00±10,0 0 (a)	0,383
Indice de vigueur	4	5,16±1,31 (a)	2,58 ±2,71 (a)	3,74 ±2,34 (a)	2,75 ±0,55 (a)	2,51±1,12 (a)	0,233
Durée Médiane	4	7,05±0,81 (ab)	6,44 ±1,47 (b)	9,30±1,27 (a)	7,80 ±0,96 (ab)	7,21 ±0,58 (ab)	0,019