

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*  
**Université A. MIRA - Béjaia**

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département des sciences biologiques de l'environnement**  
**Spécialité : Toxicologie Industrielle et Environnementale**



**Réf :.....**

**Mémoire de Fin de Cycle**  
**En vue de l'obtention du diplôme**

**MASTER**

***Thème***

**Réponse germinative des graines de *Ballota hirsuta* soumises à  
différentes doses du nickel (Ni) et du cadmium(Cd)**

Présenté par :  
**Brahmi Sarah & Dib Hayette**  
Soutenu le : **11 juin 2023**

Devant le jury composé de :

<b>M. Benadjaoud A.</b>	<b>MCA</b>	<b>Président</b>
<b>M. Dadach M.</b>	<b>MCA</b>	<b>Encadreur</b>
<b>M. Saadali R</b>	<b>MCB</b>	<b>Examineur</b>

**Année universitaire : 2022 / 2023**

## *Remerciements*

*Nous adressons nos vifs remerciements à Mr. Dadach M, notre promoteur pour ses inestimables conseils de rédaction, d'informations et le temps qu'ils nous a consacré.*

*Enfin, nous tenons à remercier Mr. Benadjaoud A, pour avoir accepté de présider ce jury ; ainsi que Mr. Saadali R, pour sa présence expressive afin d'examiner et d'évaluer ce travail.*

## *Dédicace*

*A ceux qui sont les plus chères au monde je dédie ce modeste travail à mes parents Laarbi et Taous « Que le Dieu vous protège ».*

*A Mes sœurs Samia et Lynda, mes frères, Sofiane, Belkacem et Abdelhak et toutes ma famille.*

*A Mon fiancé Nassim*

*A mon binôme Sarah et tous mes amies surtout Asma, Ryma, Karima, Lina, Radia et Dounia, Dihia, Thinhinanne, Ouissam et Sonia*

*A Toutes mes enseignants et mes collègues de la promotion 2022/2023*

*Hayette*

## *Dédicace*

*A ceux qui sont les plus chères au monde je dédie ce modeste travail à mes parents Laarbi et Baya « Que le Dieu vous protège ».*

*A mon binôme Hayette tous mes amies surtout Manel, Dihia, Thinhinanne, Ouissem et Sonia*

*A Toutes mes enseignons et mes collègues de la promotion 2022/2023*

*Sarah*

# Tables des matières :

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Le sol :</b>	<b>3</b>
2.1	Le sol et la plante :	3
2.2	Les métaux lourds :	4
2.3	Origine anthropique des métaux lourds :	4
2.3.1	Agriculture :	4
2.3.2	Boues d'épuration :	4
2.3.3	Secteur industriel :	4
2.3.4	Secteur militaire :	5
2.4	Origine naturel des métaux lourds :	5
2.4.1	Pédologie :	5
2.4.2	Phénomène naturels :	5
2.5	Le cadmium :	5
2.6	Le nickel :	7
2.7	Facteurs influençant la mobilité des métaux lourds dans le sol :	7
2.7.1	Le pH du sol :	7
2.7.2	Le potentiel rédox (Eh) :	8
2.7.3	L'activité biologique :	8
2.7.4	Autres paramètres :	8
2.8	Phytoremédiation	9
2.8.1	Aperçu de la phytoremédiation :	9
2.8.2	Définition :	9
2.8.3	La phytoremédiation entre promesses et contraintes :	9
2.9	Plantes hyperaccumulatrices :	11
2.9.1	Définition :	11
<b>3</b>	<b>La germination :</b>	<b>12</b>
3.1	Définition de la germination des graines :	12

<b>3.2</b>	<b>Etapes de la germination :</b> _____	<b>12</b>
3.2.1	L'imbibition : _____	12
3.2.2	Activité métabolique : _____	12
3.2.3	Émergence de la racicule et l'hypocotyle : _____	12
<b>3.3</b>	<b>Graines :</b> _____	<b>12</b>
3.3.1	Structure d'une graine : _____	13
3.3.1.1	Un embryon : _____	13
3.3.1.2	Tégument : _____	13
3.3.1.3	Substances de réserves : _____	13
<b>3.4</b>	<b>La dormance :</b> _____	<b>13</b>
3.4.1	Dormance primaire : _____	14
3.4.2	Dormance secondaire : _____	14
<b>3.5</b>	<b>Facteurs conditionnant la dormance et la germination :</b> _____	<b>14</b>
3.5.1	Facteur exogènes : _____	14
3.5.1.1	Température et lumière : _____	14
3.5.1.2	L'eau : _____	15
3.5.1.3	Salinité : _____	15
3.5.2	Facteurs endogènes : _____	15
3.5.2.1	Gènes et hormones : _____	15
<b>4</b>	<b>La famille des lamiacées :</b> _____	<b>16</b>
<b>4.1</b>	<b>Les lamiacées :</b> _____	<b>16</b>
<b>4.2</b>	<b>Systematique :</b> _____	<b>16</b>
<b>4.3</b>	<b>Caractéristiques des lamiacées :</b> _____	<b>16</b>
<b>4.4</b>	<b>Principaux genres :</b> _____	<b>17</b>
4.4.1	Genre « <i>Mentha</i> » : _____	17
4.4.2	Genre « <i>Lavandula</i> » : _____	17
4.4.3	Genre « <i>Salvia</i> » : _____	18
4.4.4	Genre « <i>Thymus</i> » : _____	18
<b>4.5</b>	<b>Genre « <i>Ballota</i> » :</b> _____	<b>18</b>
4.5.1	Présentation : _____	18
4.5.2	Caractéristiques : _____	18
4.5.3	Espèces : _____	19
4.5.4	<i>Ballota nigra</i> (Lamk.) : _____	19

4.5.5	<i>Ballota hirsuta</i> (Benth) :	20
<b>5</b>	<b>Matériels et méthodes :</b>	<b>21</b>
5.1	Site d'étude :	21
5.2	Origine du matériel végétal :	21
5.3	Etude de la germination :	21
5.3.1	Matériels utilisés :	21
5.3.2	Protocole :	22
5.3.2.1	Désinfection des graines :	22
5.3.2.2	Séchage des graines :	23
5.3.2.3	Préparation des concentrations :	23
5.3.2.4	Traitement des graines :	24
5.3.2.5	Comptage des graines :	26
5.4	Extraction des protéines :	26
5.4.1	Matériels utilisés :	26
5.4.2	Protocole :	27
5.4.2.1	Le dosage :	28
5.4.2.2	La courbe d'étalonnage :	28
5.5	Taux final de germination :	29
5.6	Vitesse de germination	29
5.7	La cinétique de la germination	29
5.8	Indice de vigueur des pousses	30
5.9	Analyse statistique	30
<b>5.</b>	<b>Résultats et discussion :</b>	<b>31</b>
6.2	Résultats :	31
6.2.1	Paramètres physiologiques :	31
6.2.2	Paramètres biométriques :	34
6.2.3	Paramètre biochimique	37
6.3	Discussion :	38
<b>7</b>	<b>Conclusion :</b>	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>Références bibliographiques :</b>	<b>42</b>

- **Les annexes**
- **Résumé**

## Listes des abréviations :

**AA** : Acides Aminées

**ABA** : Acide abscissique

**As** : Arsenic

**CEC** : Capacité d'Échange Cationique

**Co** : Cobalt

**Cr** : Chrome

**Eh** : Potentiel d'oxydoréduction

**GA** : Gibbérelline

**HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

**Hg** : Mercure

**IRAC** : Agence Internationale de Recherche sur le Cancer

**IVP** : Indice de vigueur des pousses

**ML** : Métaux Lourds

**MVF** : matière végétale fraîche

**PCP** : Phencyclidine

**PFG** : Pourcentage final de germination

**pH** : Potentiel hydrogène

**Se** : Sélénium

**STEP** : Station de Traitement des Eaux Usées

**TCE** : Trichloréthylène

**TG** : Triacylglycérols

**TMG** : Temps moyenne de germination

## Listes des tableaux :

<b>Tableau 1 :</b> Effets du Cadmium sur les organismes vivants.....	6
<b>Tableau 2 :</b> Effets du Nickel sur les organismes vivants.....	7
<b>Tableau 3 :</b> Plantes hyperaccumulatrices utilisées dans les différents processus de phytoremédiation tiré de <b>Khan et al.,(2020)</b> .....	12
<b>Tableau 4:</b> Systématique des lamiacées ( <b>Khemissa,2020</b> ) .....	16
<b>Tableau 5:</b> Espèces du genre Ballota, tiré de <b>Roselli et al.(2019)</b> .....	19
<b>Tableau 6 :</b> Les concentrations des solutions de NiSO <sub>4</sub> et Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> et leurs masses en mg et μM (Les concentrations en μM sont réalisées à partir du site : ( <a href="http://www.endmemo.com/">http://www.endmemo.com/</a> ) .....	24
<b>Tableau 7 :</b> Concentrations des solutions .....	29

## Listes de figures :

<b>Figure 1 :</b> Interactions rhizosphérique tirée de : (Yee et al., 2021) .....	3
<b>Figure 2 :</b> Mobilité des métaux lourds (Badache, 2015) .....	8
<b>Figure 3 :</b> Les techniques de la phytoremédiation , tirée de Favas et al.(2014) .....	11
<b>Figure 4 :</b> Composition d'une graine , tirée du site : ( <a href="https://parlonssciences.ca/">https://parlonssciences.ca/</a> ).....	13
<b>Figure 5 :</b> <i>Mentha viridis</i> L. tirée de : (Menad et Dali, 2017) .....	17
<b>Figure 6 :</b> <i>Lavandula stoechas</i> L., tirée de Bourkache et Ramdani (2016).....	17
<b>Figure 7:</b> <i>Salvia officinalis</i> L., tirée d'Annane et Boualili (2014).....	18
<b>Figure 8:</b> <i>Ballota nigra</i> Lamk, tirée du site : ( <a href="https://planteset.com/">https://planteset.com/</a> ) .....	19
<b>Figure 9 :</b> Lieu de la récolte tiré de <b>Google Earth(2023)</b> .....	21
<b>Figure 10 :</b> Étape de désinfection des graines.....	22
<b>Figure 11 :</b> Solutions des différentes concentrations du Nickel et du Cadmium .....	23
<b>Figure 12 :</b> Étape de pesage (Ni).....	23
<b>Figure 13 :</b> Étape de traitement des graine .....	25
<b>Figure 14 :</b> Étape d'encerclement des boites avec du Parafilm .....	25
<b>Figure 15 :</b> Étape de la mise en étuve des boites .....	25
<b>Figure 16 :</b> Graine de Cd (50 ppm) germées au vingtième jour .....	26
<b>Figure 17 :</b> Étape de mesure la radicule et de l'hypocotyle sur un papier millimétrique .....	26
<b>Figure 18 :</b> Étape de broyage du matériel végétal.....	27
<b>Figure 19 :</b> L'ajout du réactif de Bradford aux surnageant .....	28
<b>Figure 20 :</b> Mesure de l'absorbance avec le spectrophotomètre .....	28
<b>Figure 21:</b> Effet du Ni et Cd sur le pourcentage final de germination des graines de <i>Ballota hirsuta</i> soumises à différentes doses métalliques. Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA II) indiquant les effets des métaux lourds (ML), des concentrations (s) et de leurs	

interactions (ML x C) sur le PFG sont également donnés. Où, les nombres indiquent les valeurs F ; \*\*\* : P < 0.001 .....31

**Figure 22 :** Effet du Ni et Cd sur le temps moyen de germination des graines de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques. Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA II) indiquant les effets des métaux lourds (ML), des concentrations (s) et de leurs interactions (ML x C) sur le PFG sont également donnés. Où, les nombres indiquent les valeurs F ; ns : non-significatif (P > 0.05). .....32

**Figure 23:** Effet du Ni et Cd sur la cinétique de la germination de des graines de *Ballota hirsuta*. .....34

**Figure 24:** Effet du Ni et Cd sur la taille de la racicule des pousses de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques. Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA II) indiquant les effets des métaux lourds (ML), des concentrations (s) et de leurs interactions (ML x C) sur le TR sont également donnés. Où, les nombres indiquent les valeurs F ; ns : différence non significative et \*\*\* : P < 0.001. .....35

**Figure 25:** Effet du Ni et Cd sur la taille de l'hypocotyle des pousses de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques. Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA II) indiquant les effets des métaux lourds (ML), des concentrations (s) et de leurs interactions (ML x C) sur le TH sont également donnés. Où, les nombres indiquent les valeurs F ; ns : différence non significative et \*\*\* : P < 0.001. .....36

**Figure 26:** Effet du Ni et Cd sur l'indice de vigueur des pousses de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques. Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA II) indiquant les effets des métaux lourds (ML), des concentrations (s) et de leurs interactions (ML x C) sur l'IVP sont également donnés. Où, les nombres indiquent les valeurs F ; ns : différence non significative et \*\*\* : P < 0.001.....37

**Figure 27:** Effet du Ni et Cd sur la synthèse des protéines solubles des pousses de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques. Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA II) indiquant les effets des métaux lourds (ML), des concentrations (s) et de leurs interactions (ML x C) sur le PS sont également donnés. Où, les nombres indiquent les valeurs F ; ns : différence non significative et \*\*\* :  $P < 0.001$ .....38

## 1 Introduction

---

La région méditerranéenne fut longtemps le refuge des végétaux durant l'époque glaciaire. Aujourd'hui elle est surtout connue pour détenir l'un des bioclimats les plus favorables permettant un développement d'une flore endémique mais aussi une acclimatation des plantes dites étrangères ce qui fait d'elle une flore riche et surtout diversifiée, adaptée aux conditions souvent rudes (faible pluviométrie). Les lamiacées sont l'une des familles les plus répandue dans cette région, on compte parmi les espèces *Lavendula stoechas* et *Rosmarinus officinalis* (Rameau et al., 2008). Cette famille est très exploitée en médecine traditionnelle et en parfumerie (Menad et Dali, 2017).

La région méditerranéenne est victime de son succès, en effet, le surpâturage, l'influence touristique, la multiplication de feux de forêt et l'industrialisation ont provoqué la désertification et la dégénérescence du couvert végétale (Rameau et al., 2008). En Algérie, plusieurs études ont signalé une importante pollution des sols particulièrement causée par l'activité minières, le trafic routier, l'élevage et l'agriculture, dont les métaux lourds sont l'un des principaux polluants (Semadi et Deruelle, 1993 ; Bettahar et al., 2009 ; Bouras et al., 2010 ; Zegaoula et Khellaf, 2014 ; Attoucheik et al., 2014).

La pollution des sols par les métaux lourds porte atteintes aux êtres vivants via la chaîne alimentaire, dont les plantes sont le principal fil conducteur, ces dernières s'exposent aux pollutions métalliques par les racines, les feuilles mais aussi par leurs accumulations dans les graines. Les variations intra-spécifiques et interspécifiques, conditionnent la résistance des végétaux face à ces contaminants, notamment dans la capacité à se germer et à se développer normalement. Plusieurs taxons font l'objet d'une grande attention du fait de leur incroyable résistance envers ces derniers (Gómez Ariza et al., 2013) faisant d'elles un moyen de lutte pour la restauration des milieux contaminés dans le cadre de la phytoremédiation (Sengupta et Dalwani, 2008)

La germination est une étape vitale permettant le maintien des espèces par un développement de nouveaux individus, ceci dit, elle est aussi la phase la plus sensible d'une vie d'une plante où l'effet de stress métallique est le plus prononcé (Márquez-García et al., 2013). Les principaux effets ressortis sont une baisse du taux de germination et une inhibition de croissance des pousses (Márquez-García et al., 2013 ; Ali et al., 2014).

Dans ce contexte, s'inscrit notre synthèse qui vise à évaluer l'influence des métaux lourds (Cd et Ni) sur les paramètres de germination et de croissance de l'espèce *Ballota hirsuta*

**Benth.** appartenant à la famille des lamiacées. Plusieurs études ont été mené sur le pouvoir résistant de cette famille au stress métallique, les travaux menés sur la ballote hirsute, se sont penchées plutôt sur l'aspect thérapeutique et biochimique. Dans notre cas on s'est intéressé à l'aspect toxicologique qui nous permettra de déterminer si cette plante peut être une éventuelle candidate pour la remédiation des milieux contaminés par le Cd et le Ni.

Notre travail est scindé en deux parties, qui sont :

Partie bibliographique incluant trois chapitres

- Un premier chapitre consacré aux métaux lourds et à la phytoremédiation.
- Un deuxième chapitre dans lequel nous avons parlé sur la germination, la dormance et paramètres qui contrôlent ces processus.
- Le troisième chapitre, nous avons pu exposé la famille des lamiacées avec l'énumération des principaux genres, ainsi qu'une présentation de l'espèce étudiée.

Partie expérimentale :

- Chapitre I : Matériel et méthodes
- Chapitre II : Résultats et discussion.

Ce mémoire se termine par une conclusion générale rappelant ainsi les objectifs de notre travaille et les principales conclusions et perspectives tirées de cette étude.

**Partie I : Partie  
Bibliographique**

**Chapitre 01 :**

**Métaux lourds**

**Et**

**phytoremédiation**

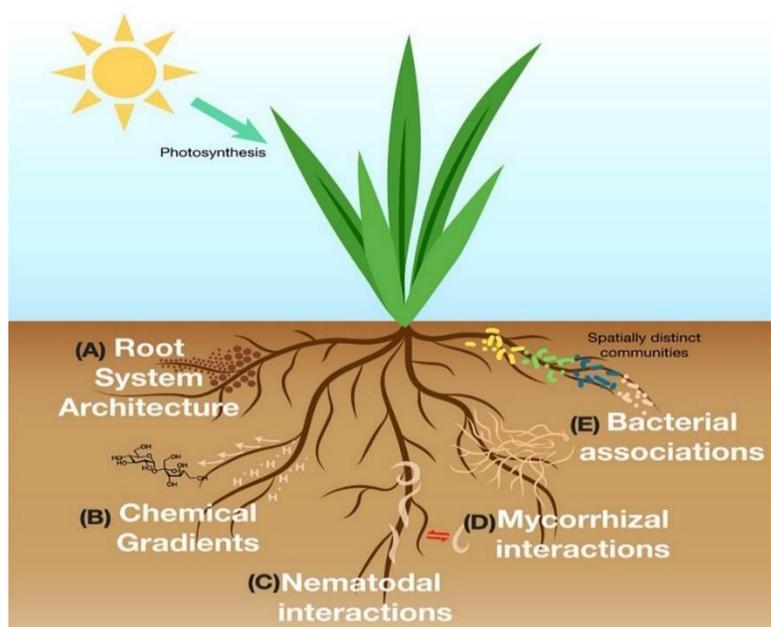
## 2 Le sol :

Le sol est l'un des constituants essentiels de la terre, il est constitué à la fois d'éléments physique (solutions, minéraux, matière organique, gaz) et biologique (plantes, micro-organismes) (Girard et al., 2011 ; Saljnikov et al., 2022). Les conditions climatiques, les facteurs géologiques ou encore biologiques façonnent la nature et la texture des sols, cette diversité permet d'attribuer différents usages aux sols. Il est à la fois une source de production agricole et d'approvisionnement en matières premières mais aussi le témoin de la vie sur terre, de son évolution et des civilisations passées. D'un point de vue environnemental ; les sols sont des bases de vie pour les entités biologiques (habitats et alimentation), mais aussi le siège des différents processus chimiques et biogéochimiques qui assurent le bon fonctionnement des écosystèmes (transfert d'énergie, cycle de l'eau et des éléments (azote et carbone), dégradation de la matière organique, purification...etc.) (Saljnikov et al., 2022).

### 2.1 Le sol et la plante :

La rhizosphère représente la surface de contact et d'échange entre la plante et le sol (Fig.1) ; en effet le développement de cette dernière et sa croissance repose sur le captage d'éléments nutritifs en solution dans le sol par leurs systèmes racinaires ; d'un côté ; et sur l'activité de la pédoflore qui procurent aux végétaux des éléments peu accessibles ou inexistant dans la forme voulue ; métabolisés lors de la photosynthèse (acides aminés, sucre ...etc.) (Girard et al., 2011). Néanmoins, le sol est sujet à de

nombreuses agressions et pollutions ce qui cause des préjudices à l'équilibre des êtres vivants (Jobin, 2015). Les métaux lourds sont l'un des problèmes majeurs, à faibles doses comme le Ni ou le Cr, ils jouent des rôles dans divers processus biologiques des végétaux : Synthèse de molécules telles la chlorophylle...etc. Suivant leur état et leur dose, ils peuvent



**Figure 1 :** Interactions rhizosphérique tirée de : (Yee et al., 2021)

manifester des effets néfastes (**Sharma et Agrawal, 2005**) et peuvent entraîner une phytotoxicité (**Girard et al., 2011**).

## **2.2 Les métaux lourds :**

Cette nomination renvoie à trois catégories d'espèces chimiques :

- 1) Ceux dont la densité est supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup> (**Agarwal, 2009**) désignant les vrais « Métaux lourds » (**Thiébaud, 1994**).
- 2) Eléments métalliques dites « non lourds » comme le Zn.
- 3) Ceux dites non métallique comme l'As.

Le terme « Métaux lourds » fait plutôt référence au pouvoir toxique des éléments qui regroupe, notamment le Cd et le Pb (toxique même à faibles doses) (**Messai, 2014**). D'autres métaux lourds sont quant à eux essentiels aux organismes vivants l'exemple du Cu, Zn, Mn ou du Fe ; requis en quantités traces (nutriments), ils rentrent dans plusieurs processus vitaux tels que la croissance ; la reproduction (**Tyler, 1981**), ainsi que le métabolisme enzymatique et hormonale (**Jyothi, 2021**).

## **2.3 Origine anthropique des métaux lourds :**

### **2.3.1 Agriculture :**

Visant à l'amélioration de la qualité des cultures et du sol par le recours aux différents procédés chimiques et organiques : fumier animal, engrais et produits phytosanitaires ; les pratiques agricoles contribuent elles aussi à l'ajout d'apports considérables de métaux lourds dans ce dernier (**Sharma et Agrawal, 2005 ; Alloway, 2013**).

### **2.3.2 Boues d'épuration :**

Les boues d'épuration sont une fraction de déchets solide extraite lors du traitement d'eaux usées au sein des STEP (eaux domestique ou /et industrielles). Ces boues sont une source importante d'éléments nutritifs mais aussi de métaux lourds, ces boues sont souvent utilisées comme amendements ce qui fait d'elles une des sources de contamination des sols (**Alloway, 2013**).

### **2.3.3 Secteur industriel :**

Les activités industrielles (incinération, fonderie, transport, ...etc.) émettent les métaux lourds par les différentes étapes, allant de la manipulation des matières premières aux produits finaux, ces activités impactent le plus souvent les sites aux alentours (milieu

urbain) à des intensités qui dépendent de la nature de ces dernières. L'activité minière constitue l'une des principales voies de pollution métallique (Alloway, 2013).

#### 2.3.4 Secteur militaire :

L'apport en « ML » générés par l'activité militaire est variable, l'armement (explosif, bombes), les véhicules ou encore les champs de combats et les zone d'entraînement sont tous des sources de pollution métallique, certains éléments comme le Pb, Cu ou le Ni persistent sur sites même après l'achèvement des opérations (Alloway, 2013).

### 2.4 Origine naturel des métaux lourds :

#### 2.4.1 Pédologique :

Les métaux lourds sont naturellement présents dans l'environnement (Wild, 1993) leur provenance est directement liée au matériel géologique. En effet, la nature du métal dépend de la nature de la roche mère et des phénomènes climatiques qui conditionnent l'altération des minerais qui composent cette dernière (Sharma et Agrawal, 2005). Les roches magmatiques comme le gabbro et les basaltes contiennent des teneurs élevées de Mn et Zn. L'Ag, Cu, Hg, Cd ou encore le Pb sont importants chez les schistes noirs et bitumineux alors que les roches ultramafiques sont riches en Cr et en Ni (Alloway, 2013).

#### 2.4.2 Phénomène naturels :

Les phénomènes naturels favorisent l'émission et la dispersion des métaux lourds dans les différents compartiments de la biosphère, on cite les fumées produites lors des éruptions volcaniques, les feux de forêts, les vents en provenance du désert, l'activité océanique et la décomposition de la matière végétale (Sharma et Agrawal, 2005).

### 2.5 Le cadmium :

Métal découvert en 1808 occupant la quarante-huitième place du tableau périodique, (Aranguren, 2008) , de couleur argentée avec une teinte bleuâtre à sa surface et d'une densité de 8,69 (g.cm<sup>-3</sup>), présent à l'état naturel en grande concentration dans le greenockite (<https://www.rsc.org/periodic-table>) mais aussi dans plusieurs minerais (Zn, Pb et Cu) (Aranguren, 2008) , il se manifeste dans tous les sols à des teneurs de l'ordre 0.1 à 1 mg/kg (Smolders et Mertens, 2013) jusqu'à 100mg/kg dans les sols pollués (Poirel et al., 2013).Le cadmium est l'un des huit métaux lourds les plus toxique (Guo et al., 2023) ; classé comme cancérigène par l'IRAC (IRAC, 2012); sans intérêt pour les

plantes (Otmani, 2018) il est tout de même prélevé par ces dernières essentiellement sous forme d'ion libre (Grant et al., 1998). Le cadmium est utilisé dans la fabrication de piles, de pigment rouge, et dans le traitement de surfaces, il est aussi employé comme anti algue et comme agent de démoulage du PVC (Thiébaud, 1994). Les effets du cadmium sur les êtres vivants sont nombreux (Tableau.1)

**Tableau 1 :** Effets du Cadmium sur les organismes vivants

Effets sur les plantes	Références
Affecte le métabolisme et la synthèse de la chlorophylle	(Jia et al., 2015)
Altération des propriétés structurales et fonctionnelles (baisse, inhibition de la germination, et croissance des racines et hypocotyles)	(Ahmad et al., 2012 ; Ali et al., 2014)
Perturbe l'absorption des nutriments	(Rizwan et al., 2016)
Favorise la peroxydation	(Gill et al., 2012)
Modification de la composition lipidique de la membrane plasmique racinaire de <i>Pisum sativum</i>	(Pál et al., 2007)
Effets sur les animaux	Références
L'anémie et l'éosinophilie; néphropathie et protéinurie	(Martelli et al., 2006)
Déformation de la colonne vertébrale (poisson) altération d'activités enzymatiques et les mécanismes de transport membranaire	(Messaoudi et al., 2009)
Affecte le système reproductif (hormones )	(Aleksandrov et al., 2021)
Effets sur l'homme	Références
Inhibition du processus de réparation de l'ADN	(Stelmashook et al., 2022)
A un impact dans la survenue des maladies cardiovasculaires induites par le tabagisme	(Li et al., 2019)
Augmente le risque de cancers gastro-intestinaux ; pancréatiques	(Lin et al., 2018 ; Djordjevic et al., 2019)

## 2.6 Le nickel :

Le nickel est le 24<sup>ème</sup> élément le plus répandu sur la croûte terrestre et occupant la deuxième place du tableau périodique avec un numéro atomique 28 (Kumar et al., 2022). C'est un métal gris-blanc, brillant, de densité de 8,8 (g.cm<sup>-3</sup>) (Lahag et Drissi, 2019) très résistant à la corrosion par l'eau, l'air ou même par les produits alcalins mais se dissout facilement dans des acides oxydants dilués. Très résistant, il est utilisé dans la fabrication d'acier inoxydable, de bijoux ou encore de monnaie (Kumar et al., 2022). Présent chez les végétaux avec un ordre de 0,05 à 0,5 mg/kg de masse sèche, il joue un rôle dans l'activation de l'enzyme (uréase) impliquée dans le métabolisme de l'azote (Kathpalia et Bhatla, 2018). Les effets toxiques du nickel sont énumérés dans le **tableau 2**.

**Tableau 2 :** Effets du Nickel sur les organismes vivants

Effets sur les plantes	Références
Réduction de la photosynthèse Baisse de l'absorption du fer	(Sharma et Agrawal, 2005)
Diminue l'activité enzymatique jouant un rôle dans le cycle de Calvin	(Chbuike et Obiora, 2014)
Réduit l'absorption des nutriments Inhibition de la croissance des racines	
Effets sur les hommes et les animaux	Référence
toxique pour l'embryon et les reins	(Sharma et Agrawal, 2005)
Cancérogène et peut provoquer des allergies (œil, peau, asthme)	

## 2.7 Facteurs influençant la mobilité des métaux lourds dans le sol :

### 2.7.1 Le pH du sol :

Le pH est le facteur qui influence le plus sur l'état des métaux lourds (Chardot, 2007). La plupart de ces éléments accroissent en mobilité dans les sols à pH acide, comme dans le cas du Cd, cela s'explique par le fait que les sites de liaisons sont occupés par les protons H<sup>+</sup>, un phénomène inverse se produit dans le cas de pH élevé (Krika, 2014).

### 2.7.2 Le potentiel rédox (Eh) :

Lui-même lié inversement aux variations du pH (Huynh, 2009), le (Eh) agit sur l'état oxydatif des métaux lourds et sur les oxydes minéraux (Rees, 2014). Les valeurs faibles de ce potentiel, permettent une solubilisation des fractions minérales contenant des métaux lourds (Chardot, 2007). En général, les conditions oxydantes aident à immobiliser les métaux dans les sols alors que les conditions réductrices favorisent leur migration accélérée (Negim, 2009).

### 2.7.3 L'activité biologique :

Les plantes (racines) associées aux micro-organismes (champignons et bactéries) agissent sur la mobilité des métaux lourds dans les sols (Fig.2), sur trois principaux axes :

- 1) **La solubilisation** : par la production de composés acidifiant les sols et augmentant ainsi la dynamique des éléments métalliques.
- 2) **L'insolubilisation** : par sécrétion d'acides organique complexant comme l'acide oxalique.
- 3) **La volatilisation** : par biométhylation de l'As, du Se (Huynh, 2009) ou encore du Hg par les microorganismes (Anger et al., 2005).

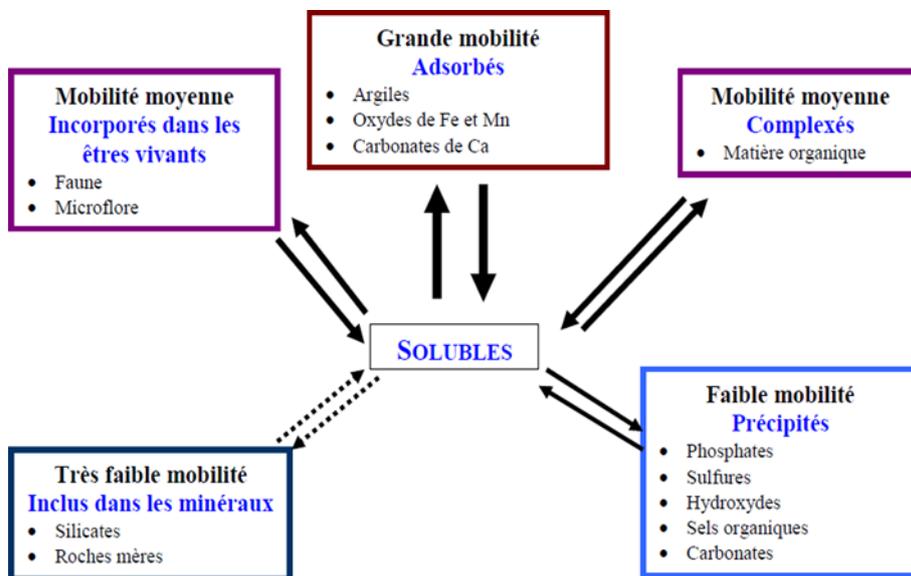


Figure 2 : Mobilité des métaux lourds (Badache, 2015)

### 2.7.4 Autres paramètres :

Un faible indice de Capacité d'Échange Cationique « CEC » augmente la solubilité des métaux lourds et ainsi leur absorption par les végétaux (Krika, 2014) alors qu'une élévation de la température du sol et la présence d'une forte humidité (eau) favorisent la

mobilité des métaux lourds (Eshghi et Malayeri, 1995). La formation de complexes entre les espèces métalliques et les ligands organique ou inorganique a une influence sur la mobilité des métaux, cette dernière dépend du type de métal, du type du ligand, et des caractéristiques du sol...etc.(Negim, 2009).

## 2.8 Phytoremédiation

### 2.8.1 Aperçu de la phytoremédiation :

Autrefois, les plantes étaient utilisées par les hommes comme remède, nourriture, ou comme matériaux de construction. Avec l'apparition et l'évolution des sciences, l'homme s'intéressa alors à la classification, à la génétique et la physiologie des végétaux permettant ainsi le développement de biotechnologies, dont la phytoremédiation (Shmaefsky, 2020) dont la véritable approche économique de celle-ci, n'est apparue qu'au début des années 2000 (Origo et al., 2012).

### 2.8.2 Définition :

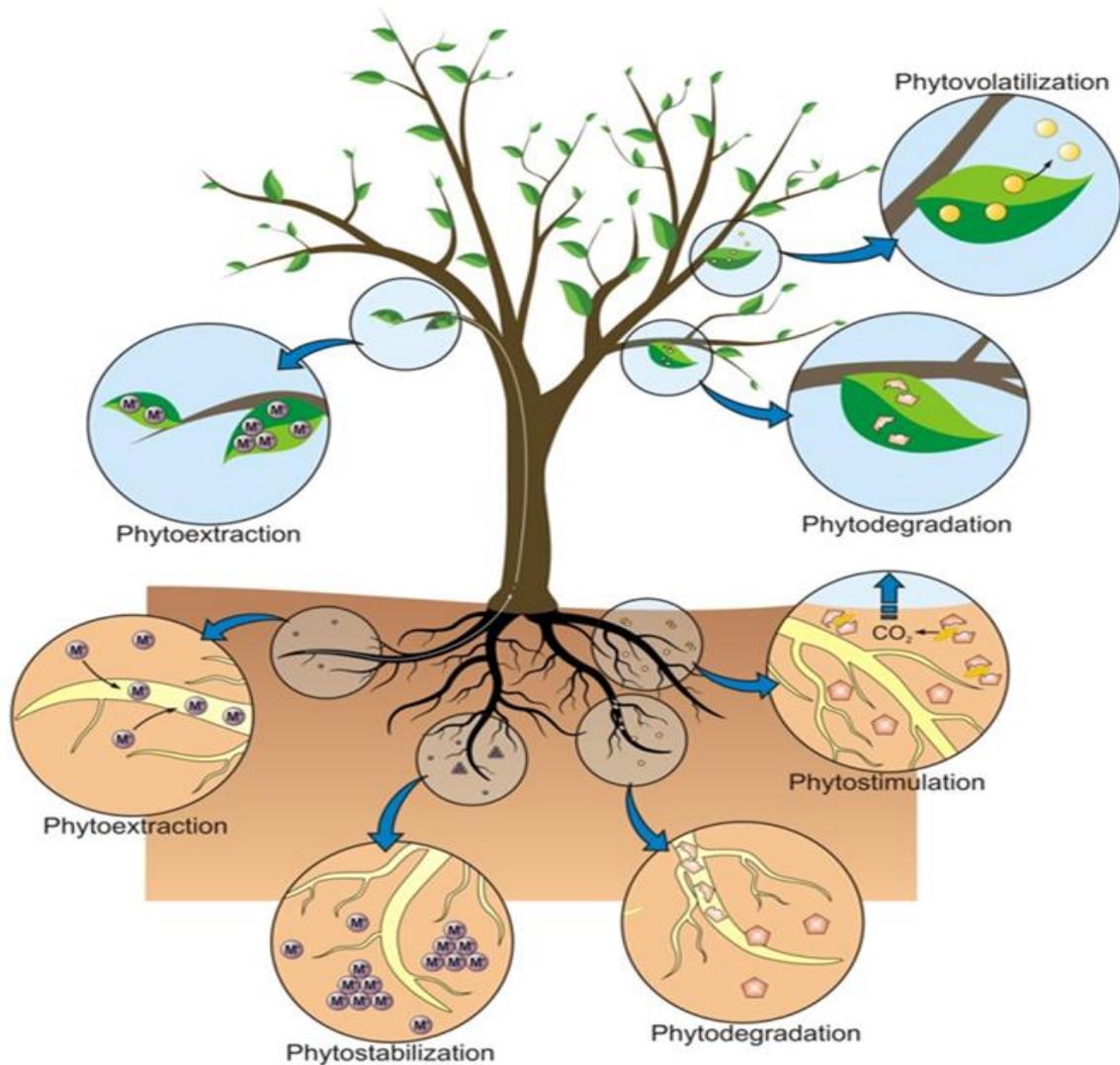
La phytoremédiation est un aspect de la bioremédiation qui désigne l'ensemble de procédés qui s'appuient sur l'utilisation soit : de l'association plantes- microorganismes ou de plantes (originelles ou génétiquement modifiées) à caractéristiques écologiques (grande biomasse), anatomiques (système racinaire développé et dense) et physiologiques (tolérantes ou hyperaccumulatrices) distinctes pour des fins d'immobilisation (phytostabilisation), d'extraction (phytoextraction) ou de dégradation (phytodégradation, et rhizodégradation) des polluants (Fig. 3) présent dans les différents compartiments de la biosphère (sol, eau) (Majeti et Freitas, 2003; Girard et al., 2011; Shmaefsky, 2020). Cette technique permet « une atténuation naturelle orientée, c'est-à-dire de façon à réduire la toxicité et les risques de transfert des polluants vers les cibles environnementales » (Girard et al., 2011).

### 2.8.3 La phytoremédiation entre promesses et contraintes :

La phytoremédiation est une technique des plus prometteuse, à la fois efficace et économique (100 à 10 000 fois moins chère que les méthodes artisanales) et non énergivore (repose sur le solaire) (Origo et al., 2012); elle permet un recyclage des végétaux comme denrées alimentaires (humaine ou animale) ou leur incinération pour l'exploitation des contaminants (Shmaefsky, 2020).

Applicable même sur site et surtout respectueuse de l'environnement, son large éventail d'utilisation (dégradation et stabilisation) et le nombre de contaminants (métaux lourds, HAP, explosifs, pesticides...etc.) et type de sites ciblés (sol, eau, zones d'entreposage de déchets dangereux...etc.) permet de l'associer à d'anciennes méthodes pour augmenter la performance de restauration des milieux dégradés (**Dietz et Schnoor, 2001; Origo et al., 2012; Shmaefsky, 2020**). La dépollution des milieux par l'instauration de couvert végétal procure aussi un aspect esthétique (**Dietz et Schnoor, 2001**) et un bien-être du comportement humain en réduisant le stress et en solidifiant les liens sociaux (**Origo et al., 2012**).

Néanmoins, la phytoremédiation ne donne pas des résultats à court terme, la période d'adaptation, le cycle de développement des plantes, leur degré de résistance, la concentration des contaminants, leur état, leur localisation, leur pouvoir phytotoxique et la nature des substrats et du climat sont tout autant de contraintes qui ralentissent le processus de dépollution (**Dietz et Schnoor, 2001 ; Origo et al., 2012 ; Shmaefsky, 2020**).



**Figure 3** : Les techniques de la phytoremédiation , tirée de **Favas et al.(2014)**

## 2.9 Plantes hyperaccumulatrices :

### 2.9.1 Définition :

Sont des plantes terrestres ou aquatiques (**Jost et Jost-Tse, 2018**), capables de stocker et d'accumuler des métaux lourds et métalloïdes dans leur organismes (**Tableau 3**) à des teneurs de cents à milles fois plus élevées que celles des plantes ordinaires (**Reeves et al., 2017**), avec au moins  $100 \text{ mg.g}^{-1}$  (0.01% de la masse sèche) de Cd, As et d'autres éléments traces métalliques;  $1000 \text{ mg.g}^{-1}$  (0.1% de la masse sèche) de Cr, Co, Cu et Pb et  $10.000 \text{ mg.g}^{-1}$  (1 % masse sèche) de Mn et Ni (**Majeti et Freitas, 2003**). On compte 721 espèces hyper accumulatrices qui appartiennent à différentes familles, les brassicacées étant les plus représentées, les plantes hyperaccumulatrices de Ni sont les plus dominantes avec 523 espèces (**Reeves et al., 2017**).

**Tableau 3 :** Plantes hyperaccumulatrices utilisées dans les différents processus de phytoremédiation tiré de **Khan et al.,(2020)**

Technique	Plante	Métaux lourds
Phytoextraction	<i>Noccaea caerulescens</i>	Zn, Cd
	<i>Brassica juncea</i>	Zn, Cd,Pb,Ni,Cu,Cr
Phytostabilisation	<i>Agrostis stolonifer</i>	Cd, Pb, Zn, As, Cu
	<i>Lolium perenne</i>	Cd,Pb,Zn
Rhizofiltration	<i>Azolla pinnata</i>	Cu
	<i>Pistia stratiotes</i>	Ag,Cu,Cr,Cd,Hg,Zn,Pb
Phytovolatilisation	<i>Brassica juncea</i>	Se
	<i>Nicotiana tabacum</i>	Hg

# **Chapitre 02 :**

# **La germination**

### **3 La germination :**

---

#### **3.1 Définition de la germination des graines :**

Est un ensemble d'évènements qui se déclenchent suite à la présence d'eau (imbibition) et se finalise par l'apparition et l'élongation de la radicule (**Ruiz et al., 2013**) ce processus physiologique permet un développement de l'embryon végétal contenu dans les graines (**Bewley et al., 2013**).

#### **3.2 Etapes de la germination :**

##### **3.2.1 L'imbibition :**

C'est la toute première étape du processus de germination qui consiste en une absorption de l'eau par les graines, elle est visuellement observable par le gonflement de celle-ci (**Bewley et al., 2013**). Sa durée dépend des facteurs environnementaux mais aussi des caractéristiques morphologiques et physiologiques de la graine comme la taille et le génotype (**Naim, 2018**). Étape cruciale, car sans elle, la germination ne peut avoir lieu, l'imbibition permet une mobilisation des différentes réserves de la graine et l'activation des réactions métaboliques (**Ruiz et al., 2013**).

##### **3.2.2 Activité métabolique :**

L'humidification de la graine déclenche dès les premières minutes une activation du métabolisme (**Naim, 2018**) où les réserves de la graine seront ainsi mobilisées pour permettre le passage de l'état graine à l'état végétatif (**Bewley et al., 2013**). Elle s'initie par une augmentation de la respiration et une synthèse de protéines dont plusieurs enzymes accompagnées par une synthèse d'ARN et d'ADN (**Naim, 2018**).

##### **3.2.3 Émergence de la radicule et l'hypocotyle :**

L'émergence de la radicule et de l'hypocotyle annonce la fin de la germination et de la phase d'hétérotrophie et le début d'une vie végétative autotrophe.

#### **3.3 Graines :**

Représente la structure ou l'enveloppe qui protège l'embryon, diffère d'une espèce à une autre selon la forme, la couleur, la taille et le poids. Les graines peuvent aller de quelques millièmes de gramme à plusieurs kilogrammes (25 kg pour la graine du cocotier de mer) (**Bewley et al., 2013**).

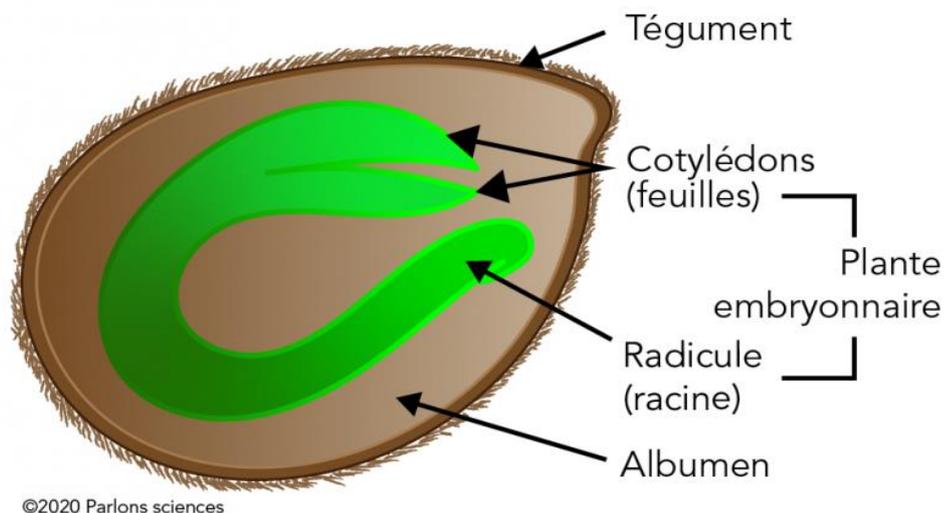
### 3.3.1 Structure d'une graine :

#### 3.3.1.1 Un embryon :

Représente la future génération d'une plante. Il est composé d'un axe embryonnaire représenté par la radicule et de feuilles primaires (cotylédons) qui permettront à la future plantule d'être en autotrophie (**Bewley et al., 2013**).

#### 3.3.1.2 Tégument :

C'est l'enveloppe qui protège les substances de réserve et l'embryon des agressions externes (**Fig.4**). Il est constitué de deux couches de cuticule, une interne et l'autre externe (**Bewley et al., 2013**).



**Figure 4 :** Composition d'une graine , tirée du site : ( <https://parlonssciences.ca/> )

#### 3.3.1.3 Substances de réserves :

En plus de jouer un rôle protecteur la graine représente aussi une source nutritive pour assurer le développement de l'embryon aux premières phases de germination (hétérotrophie). Les glucides, lipides (TG, phospholipide, etc.) et protéines constituent les éléments majeurs. D'autres constituants dits secondaires tels que les alcaloïdes, ne représentent aucuns rôles durant la germination et le développement de la plantule (**Bewley et al., 2013**).

### 3.4 La dormance :

Phase de repos de la graine lui permettant de survivre lorsque les conditions externes ne sont pas propices à la germination. Cette phase peut différer entre les graines d'une même espèce,

d'une saison à une autre et selon le lieu de présence de la graine. Elle est conditionnée par la présence de sources nutritives (eau), par l'activité hormonale mais surtout étroitement liée aux variations environnementales (température et humidité), qui contrôlent les mécanismes physiologiques de la graine (Ruiz et al., 2013). Cette stratégie adaptative, réversible et temporaire commune à plusieurs taxons (plante, animaux et micro-organisme) définie en anglais par le terme « bet-hedging » qui veut dire « stratégie de minimisation des risques » se manifeste par une activité métabolique au ralenti. La dormance se fait par production de graines chez les plantes (Lennon et Jones, 2011) ou encore d'œufs chez les animaux (Cáceres et Tessier, 2003).

### 3.4.1 Dormance primaire :

Appelée aussi dormance innée, à période variable d'une espèce à une autre et même au sein des graines d'un même individu, elle se manifeste par un arrêt de la croissance embryonnaire au cours du développement de la graine, encore présente dans la plante. Quant aux causes de cette dormance, plusieurs voies sont suggérées comme une présence d'inhibiteurs de germination ou suite à un embryon immature (Ruiz et al., 2013).

### 3.4.2 Dormance secondaire :

C'est une dormance induite qui se manifeste lorsque la graine apte à germer mais ne l'est pas du fait des conditions environnementales non en sa faveur (température trop élevée ou un apport de gaz carbonique élevé) (Ruiz et al., 2013).

## 3.5 Facteurs conditionnant la dormance et la germination :

### 3.5.1 Facteur exogènes :

#### 3.5.1.1 Température et lumière :

Les écarts de température journaliers ou saisonniers conditionnent le processus de germination ; certaines graines ne germent que suite à ces fluctuations thermiques. Une forte température due à une exposition prolongée aux rayons de soleil ou aux feux favorise la germination de certaines espèces de graines initiée par un changement structural du tégument (dans le cas des *Ericaceae*) ou par le déchirement de ce dernier.

Certains spectres lumineux ont une influence directe sur la germination, comme le rouge et le bleu. Les graines des plantes héliophiles se trouvant dans un endroit dont la végétation est

dense ne laissant pas une pénétration optimale de la lumière reste en dormance (**Ruiz et al., 2013**).

### **3.5.1.2 L'eau :**

L'eau est l'un des facteurs les plus importants dans le cycle de la graine et dans le déclenchement de la germination, une teneur en eau dans le sol au-dessous des seuils tolérables pour la germination annulerait cette dernière, cette valeur varie selon la composition des graines, des tissus de réserves et de la proportion des axes embryonnaires. En effet, l'élongation de la radicule dépend de la présence d'une source hydrique suffisante, n'en reste tout de même qu'une saturation des sols en eau est vecteur d'une carence en oxygène qui causerait pour nombre de graines non adaptées une baisse de production de l'énergie et donc un arrêt complet de la germination (**Ruiz et al., 2013**).

### **3.5.1.3 Salinité :**

La salinité des substrats influence plus au moins la capacité germinative des graines, il dépend surtout de l'adaptation des graines aux conditions salines, les espèces halophytes s'épanouissent sur des milieux salins et germent normalement, à l'opposé des plantes « glycophytes » (**Ruiz et al., 2013**).

## **3.5.2 Facteurs endogènes :**

### **3.5.2.1 Gènes et hormones :**

Jouent un rôle important dans la régulation de la dormance et du processus de germination. Le ABA et GA sont les principaux régulateurs de ces mécanismes ; le premier agit en faveur d'une entrée en dormance tandis que l'autre en un déclenchement et stimulation de la germination. Les gènes codant pour ces hormones sont directement liés aux fluctuations environnementales, des conditions propices à la germination déclencheront une synthèse de GA et la dégradation de ABA (**Naim, 2018**).

# **Chapitre 03 :**

## **La famille lamiacées**

## 4 La famille des lamiacées :

### 4.1 Les lamiacées :

Appelée aussi « *Labiatae* » et connue sous le nom « famille de menthe » (Raja, 2012), à distribution géographique cosmopolite (Coste et Flahault, 1937) mais activement présente dans la zone s'étendant du bassin méditerranéen à l'Asie centrale (Eldjoudi, 2019). Elle est représentée par 236 genres et plus de 6000 espèces (entre 6900 et 7200 espèces), dominée par le genre *Salvia* (900 espèces) (Raja, 2012).

En Algérie, elle est représentée par 29 genres et 149 espèces (Khemissa, 2020). Ce sont des plantes à fleurs majoritairement aromatique connues pour leurs diverses utilisations que ce soit en parfumerie ou en cuisine : la menthe, le basilic et la lavande ou comme ornement dans les jardins (le genre *Cloeus*). Plantes à composés actif variés : huile essentiel (*Tulsi*), Méthanol (*Mentha*), Thymol (*Thymus*), Forskoline (*Coleus forskohlii*) ...etc. Particulièrement utilisées en médecine pour soigner : les allergies, la bronchite, les irritations de la peau, les problèmes cardiaques, maux de tête, la perte d'appétit ...etc. (Raja, 2012).

### 4.2 Systématique :

Tableau 4: Systématique des lamiacées (Khemissa,2020)

Domaine	Eucaryote
Règne	Plante
Embranchement	Spermaphyte
Sous embranchement	Angiosperme
Classe	Dicotylédone
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiacées

### 4.3 Caractéristiques des lamiacées :

**Types :** Plantes herbacées ou arbustes, et quelques arbres (Raja, 2012) majoritairement aromatiques : glandes sous-épidermiques dans la totalité de leurs parties (Coste et Flahault, 1937) feuille, tige et fleurs (Bourkache et Ramdani, 2016) contenant une huile essentielle à propriétés excitantes, toniques, stomachiques et sudorifiques (Coste et Flahault, 1937).

**Feuille** : Généralement simples, opposées-décussées, verticillées (pour certaines plantes) (Coste et Flahault, 1937 ; Raja, 2012 ; Aouina et Lakhdari, 2019).

**Fleurs** : Toutes les couleurs, presque toujours disposées en faux verticilles (Coste et Flahault, 1937).

**Calice** : Le calice est persistant, tubuleux voir en cloche, à 5 dents, plus rarement de 4 à 12 dents.

**Tige** : Quadrangulaire, poilue (Coste et Flahault, 1937 ; Raja, 2012).

**Racine** : Pivotante (Raja, 2012).

#### 4.4 Principaux genres :

##### 4.4.1 Genre « *Mentha* » :

Plante particulièrement aromatique (Fig.5) ; la corolle prend la forme d'entonnoir ; à 4 étamines presque égales, écartées, droites, incluses ou saillantes. Feuilles dentées ou crénelées ; petites fleurs roses, lilas ou blanches (Coste et Flahault, 1937). Parmi les espèces, on cite *Mentha spicata* L. et *Mentha longifolia* L. (Brussell, 2004).



Figure 5 : *Mentha viridis* L. tirée de : (Menad et Dali, 2017)

##### 4.4.2 Genre « *Lavandula* » :

Fleurs de couleur bleue ou pourpre ; un calice à 13-15 nervures à 5 dents non égales, la supérieure en capuchon, familial à la région méditerranéenne avec l'espèce *Lavandula stoechas* L. (Fig.6) (Coste et Flahault, 1937).



Figure 6 : *Lavandula stoechas* L., tirée de Bourkache et Ramdani (2016)

#### 4.4.3 Genre « *Salvia* » :

Représenté par des herbes et des sous-arbustes (Fig.7) ; à 2 étamines et à fleurs verticillées souvent grandes de couleur bleue, violacée, jaunâtre ou blanche, feuilles grandes à forme dentée ou crénelée ou pennatifide (Coste et Flahault, 1937). Parmi les espèces appartenant à ce genre, on cite *Salvia horminum* L., *Salvia verticillata* L. et *Salvia officinalis* L. (Coste et Flahault, 1937 ; Brussell, 2004).



Figure 7: *Salvia officinalis* L., tirée d'Annane et Boualili (2014)

#### 4.4.4 Genre « *Thymus* » :

A petites feuilles et à fleurs pourpres rosées ou blanches (Coste et Flahault, 1937), plantes aromatiques fréquentes à la méditerranée (Grèce, Italie), mais qui sont aussi cultivées dans d'autres régions. Reconnues pour leurs vertus antiseptique et antifongique et antiparasitaire, elles utilisées ainsi pour l'hygiène buccale, le nettoyage de la peau et l'éradication des poux et aussi pour soigner les maladies gastro-intestinales, les diarrhées mais aussi pour les troubles d'appétit (Raja, 2012).

#### 4.5 Genre « *Ballota* » :

##### 4.5.1 Présentation :

Mot tiré du grec « ballo » qui signifie je rejette, car les plantes dégagent une odeur désagréable. Ce sont des plantes vivaces présentes en Europe en Asie tempérée et en Afrique boréale et australe (Coste et Flahault, 1937). En Algérie, il n'est représenté que par deux espèces (*B. nigra* Lamk. et *B. hirsuta* Benth.). Il est surtout connu pour être utilisé à des fins de médecine traditionnelle ; soigner les maux de tête les nausées, les blessures, l'asthme ou encore la malaria (Khemissa, 2020).

##### 4.5.2 Caractéristiques :

Calice en forme d'entonnoir, à 10 nervures et à 5 dents, pliées en long, mucorinées ; à 4 étamines parallèles ; à fleurs verticillées pourpres ou blanches et à feuilles contenant des pétioles ; une tige rameuse velue et feuillée (Coste et Flahault, 1937). C'est un genre très riche en composés chimiques : les flavonoïdes, diterpènes, huiles essentielles, phytostérols, ...etc. (Khemissa, 2020).

#### 4.5.3 Espèces :

Le genre *Ballota* regroupe 31 espèces (Tableau5) :

**Tableau 5:** Espèces du genre *Ballota*, tiré de Roselli et al.(2019)

<i>B.andreuziana</i>	<i>B. somala</i>	<i>B.undulata</i>	<i>B. platyloma</i>	<i>B.damascena</i>
<i>B.hildebrandtii,</i>	<i>B. hirsuta</i>	<i>B. bullata</i>	<i>B.africana</i>	<i>B.macrodonta</i>
<i>B.rotundifolia</i>	<i>B. rupestris,</i>	<i>B.macedonica</i>	<i>B. aucheri,</i>	<i>B.integrifolia</i>
<i>B.antilibanotica</i>	<i>B. royleoides</i>	<i>B. saxatilis</i>	<i>B. philistea</i>	
<i>B.pseudodictamnus</i>	<i>B. kaiseri</i>	<i>B. semanica</i>	<i>B. cristata</i>	
<i>B. stachyiformis</i>	<i>B. frutescens</i>	<i>B. larendana</i>	<i>B.acetabulosa</i>	
<i>B.labillardieri</i>	<i>B.wettsteinii</i>	<i>B. nigra</i>	<i>B. fruticosa</i>	

#### 4.5.4 *Ballota nigra* (Lamk.) :

Connue sous le nom de « marrube noir » ou « ballote noir », est une plante herbacée vivace de la famille des lamiacées (**Fig.8**) de 40 à 80 cm (jusqu'à 1 m) de hauteur, qui pousse sur les terrains incultes dans les haies, chemins, et bordure de route. Présente en Europe (France et en Corse), en Asie occidentale, en Afrique septentrionale et en Amérique du nord (Coste et Flahault, 1937 ; Larousse, 2001). La période de floraison s'étend de Mai à Septembre. Plante à tige Quadrangulaire, rameuse et poilue, à feuilles ovales ou arrondies, crénelées nervées-réticulées de couleur vert sombre ; fleurs verticillées (verticilles compacts et écartés) pourpres (quelque fois blanches). Les bractéoles sont



**Figure 8:** *Ballota nigra* Lamk, tirée du site : (<https://planteset.com/>)

abondantes (Coste et Flahault, 1937) et le calice est tubuleux, prenant forme d'un entonnoir, à 10 nervures et 5 dents (Enderlin, 1996). La corolle est en forme de tube dont la lèvre supérieure est couverte en dehors de poils blancs (Coste et Flahault, 1937). Les feuilles de la ballote noire étaient au paravent utilisées par les grecs pour soigner les morsures de chien, ou comme antiseptique (plaie et ulcères). Plante sédative et antispasmodique, elle peut être indiquée pour soigner la goutte et l'arthrite (Larousse, 2001).

#### 4.5.5 *Ballota hirsuta* (Benth) :

Appelée aussi *Ballota hispanica*, est une plante vivace atteignant 60 à 80 cm de hauteur ligneuse à la base ; à tige velue de poils glandulaires, feuilles de 3 à 6 cm de long sur 3 à 5 cm de largeur présentes au bas et au milieu de la tige ; sont ovales suborbiculaires, crènelées et cordées ou tronquées à la base. Le calice campanulé de 10 à 12 mm et les fleurs en verticilles. Les bractéoles de 3 à 8 mm, linéaires-subulées et membraneuses. La corolle violette ou blanche, de 14 à 16 mm (Enderlin, 1996). Plante dont l'huile essentielle est dotée d'une importante activité antimicrobienne (Kechar et al., 2015), essentiellement utilisée par les populations de la région du Maghreb (ouest algérien, les Haut Atlas et le Maroc) (Khemissa, 2020). Employée soit en poudre ou en pâte pour soigner les blessures et calmer les troubles liés aux rhumatismes, ceux dit gynécologique (stimulation de la grossesse ou atténuation de la nervosité liée à la ménopause) (Kechar et al., 2016) ou encore les troubles gastro-intestinaux (Khemissa, 2020).

**Partie II :**  
**Partie expérimentale**

**Chapitre 1 :**

**Matériels**  
**Et Méthodes**

## 5 Matériels et méthodes :

### 5.1 Site d'étude :

L'expérimentation a été réalisée au niveau du « Laboratoire de Recherche en Écologie et Environnement » au sein de l'Université A. MIRA de Bejaia (Targa Ouzemour) dans le but d'étudier l'effet du nickel (Ni) et du cadmium (Cd) sur la germination des graines du *Ballota hirsuta* Benth.

### 5.2 Origine du matériel végétal :

Les graines utilisées dans cette expérimentation sont des semences de *Ballota hirsuta* B. d'origine de la wilaya de Sidi Bel Abbès (Fig.9) qui étaient récoltées en mois d'Aout 2022.

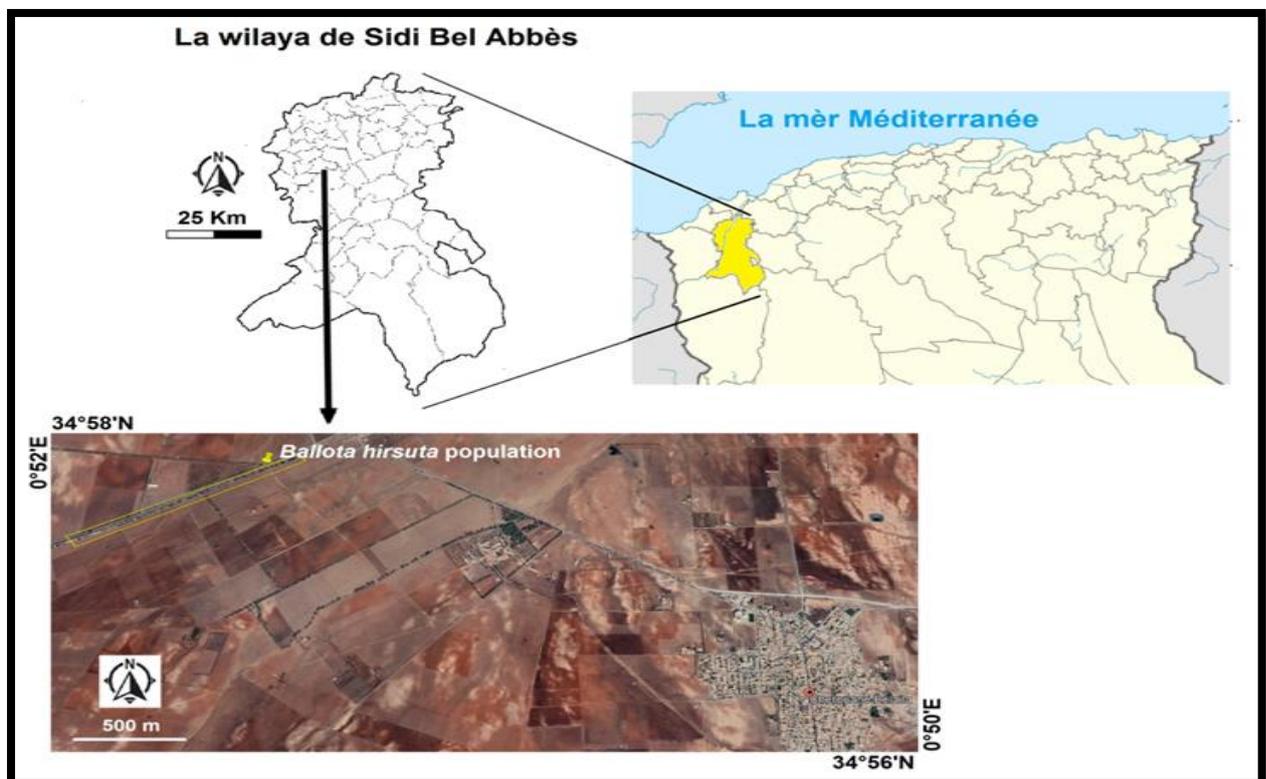


Figure 9 : Lieu de la récolte tiré de Google Earth(2023)

### 5.3 Etude de la germination :

#### 5.3.1 Matériels utilisés :

- Graines de *Ballota hirsuta* L.
- Balance analytique
- 27 Boites de pétries

- Ciseaux
- Une pince
- Papier absorbant
- Etuve
- 08 bouteilles en plastique 0,5 L
- Pipette graduée de 10 ml
- Becher de 50 ml
- Crayon
- Parafilm
- Micro spatule

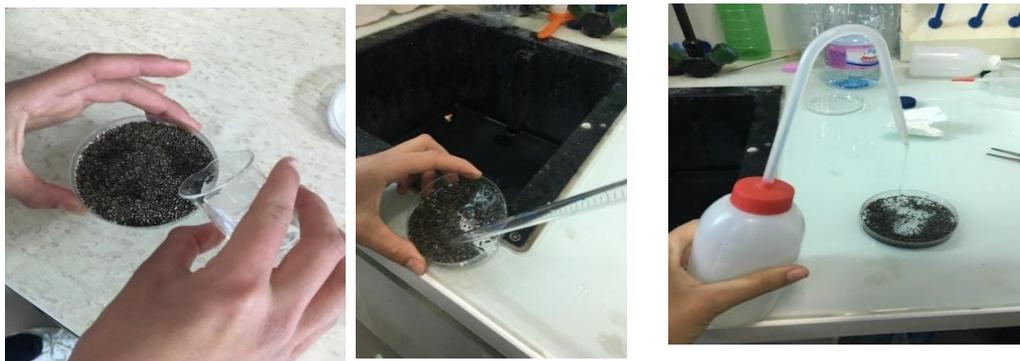
#### Les réactifs :

- Eau distillée
- Eau de Javel (NaClO)
- Sulfate de Cadmium ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ )
- Sulfate de Nickel ( $\text{NiSO}_4$ )

#### 5.3.2 Protocole :

##### 5.3.2.1 Désinfection des graines :

- Dans un bécher, nous avons versé 45 ml d'eau distillée à l'aide d'une pipette et nous avons ajouté 5 ml d'eau de javel.
- Nous avons désinfecté les graines avant de les disposer dans des boîtes pétries avec la solution précédente (eau de javel diluée à 10%) en prenant soins que toutes les graines soient submergées pendant 8 minutes.
- Une fois cette étape achevée, nous avons soustrait l'eau de javel avec une pipette.
- Nous avons ensuite rincé les graines avec de l'eau distillée, en répétant l'opération cinq fois pour une élimination totale de chlore (**Fig.10**).



**Figure 10** :Étape de désinfection des graines

### 5.3.2.2 Séchage des graines :

Sur un papier absorbant, nous avons disposé les graines d'une façon dispersée pour accélérer le séchage.

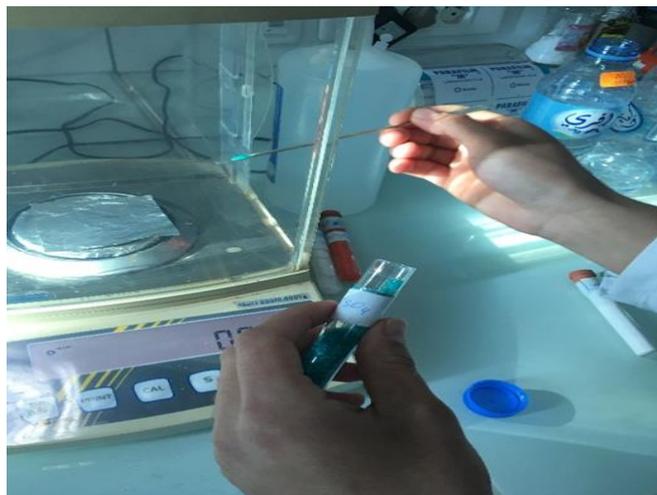
### 5.3.2.3 Préparation des concentrations :

Nous voulons préparer un volume de 100 ml pour chaque concentration, pour se faire 100 ml d'eau désillée a été versée dans chaque bouteille. Après, chaque bouteille a été étiquetée par le nom du métal qu'il convient ainsi que sa concentration correspondante (**Fig.11**).



**Figure 11** :Solutions des différentes concentrations du Nickel et du Cadmium

- Nous avons pesé ensuite avec une balance analytique la masse nécessaire du métal pour chaque concentration (**Fig.12**).



**Figure 12** : Étape de pesage (Ni)

- Vu que nous voulons préparer des concentrations de l'ordre de 50,100,150 et 200 ppm pour un volume de 100 ml.

**On Donne l'exemple de 100 ppm de Ni :**

On sait que 100 ppm  $\longrightarrow$  100mg/L

- Puisque notre volume est de 100 ml donc

100mg  $\longrightarrow$  1000 ml

**Donc :** 10 mg  $\longrightarrow$  100ml

Il nous faudra 10 mg de Nickel pour une concertation de 100 mg/l

- Apres calcul, les masses correspondantes pour chaque concentration sont énumérer dans le **tableau 6**.

**Tableau 6 :** Les concentrations des solutions de NiSO<sub>4</sub> et Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> et leurs masses en mg et  $\mu$ M (Les concentrations en  $\mu$ M sont réalisées à partir du site : (<http://www.endmemo.com/>) )

Concentration en ppm	50 ppm	100 ppm	150 ppm	200 ppm
Masse en mg	<b>05</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>
Masse en g	<b>0.05</b>	<b>0.1</b>	<b>0.15</b>	<b>0.2</b>
Concentration en $\mu$ M de Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	<b>211.48</b>	<b>422.97</b>	<b>634.46</b>	<b>845.94</b>
Concentration en $\mu$ M de NiSO <sub>4</sub>	<b>323.08</b>	<b>646.17</b>	<b>969.26</b>	<b>1292.35</b>

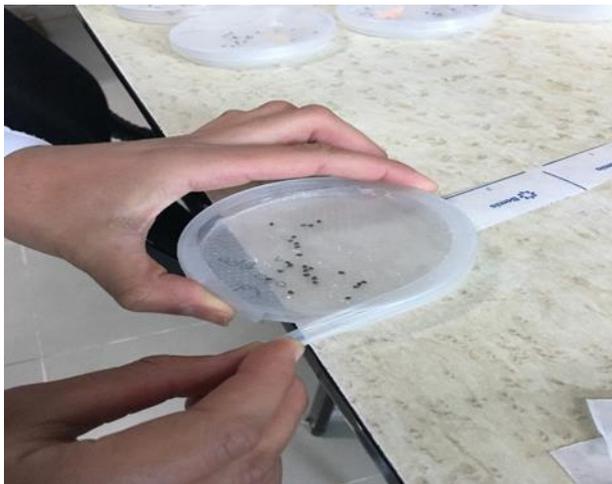
#### 5.3.2.4 Traitement des graines :

- Nous avons déposé avec une pince 25 graines dans chaque boite.
- Pour chaque boite nous avons ajouté 7 ml de la solution du métal adéquate (en prenant soins de disperser les graines dans les boites avec la pince pour faciliter l'observation de la germination (**Fig.13**))



**Figure 13 :** Étape de traitement des graines

- Les boîtes de Pétri ont été fermées hermétiquement avec du parafilm pour garder l'humidité (**Fig.14**).



**Figure 14 :** Étape d'encerclement des boîtes avec du Parafilm

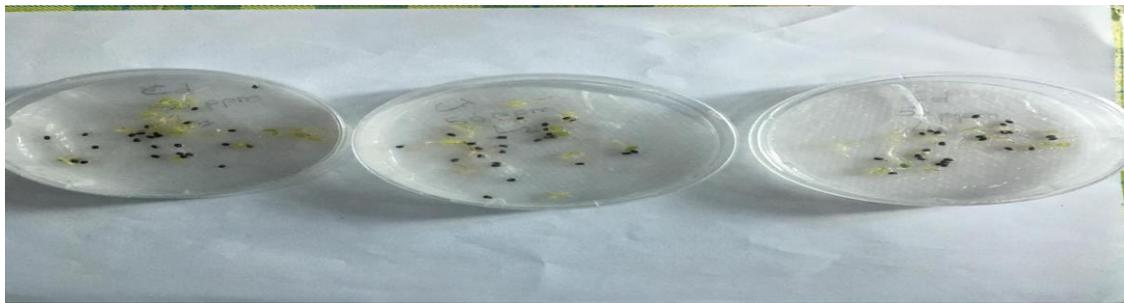
- Enfin, nous avons placé les boîtes dans une étuve à une température de 22C° pendant 20 jours (le temps de germination) (**Fig.15**).



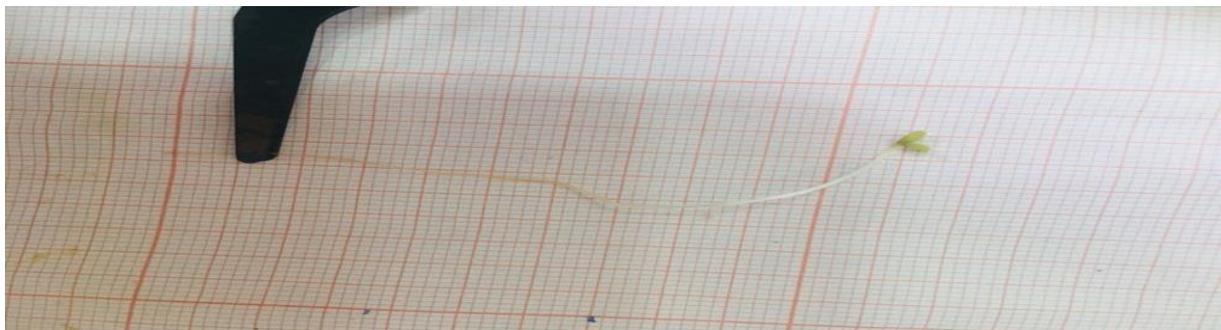
**Figure 15 :** Étape de la mise en étuve des boîtes

### 5.3.2.5 Comptage des graines :

- Nous avons procédé au comptage des graines germées tous les 48 heures pendant 20 jours
- Au bout du 20<sup>ème</sup> jour, les boîtes ont été ouvertes pour mesurer les parties radiculaires et hypocotylaires (**Fig.16**). La mesure a été faite avec du papier millimétrique (**Fig.17**).
- Pour chaque lot, 03 échantillons ont été pris (grande, moyenne, petite pousse)



**Figure 16 :** Graine de Cd (50 ppm) germées au vingtième jour



**Figure 17 :** Étape de mesure la racicule et de l'hypocotyle sur un papier millimétrique

## 5.4 Extraction des protéines :

Cette opération est faite au 20<sup>ème</sup> jour de la germination dans le but de lire les absorbances à une longueur d'onde de 595 nm.

### 5.4.1 Matériels utilisés :

- Mortier
- Balance analytique

- Tubes (de la centrifugeuse)
- Tubes à essai
- Spectrophotomètre
- Centrifugeuse
- Vortex
- Spatule
- Pipette graduée de 10 ml
- Micro pipette

#### Les réactifs :

- Tris-HCl à pH 8.1
- Réactif de Bradford

#### 5.4.2 Protocole :

- Les protéines ont été extraites et dosées selon la méthode de Bradford. On prend 20 mg (à approximatif) de matière végétale pour chaque boîte qui sera broyée à froid dans un mortier avec 2 ml de tampon Tris-HCl ph 8.1. (**Fig.18**)

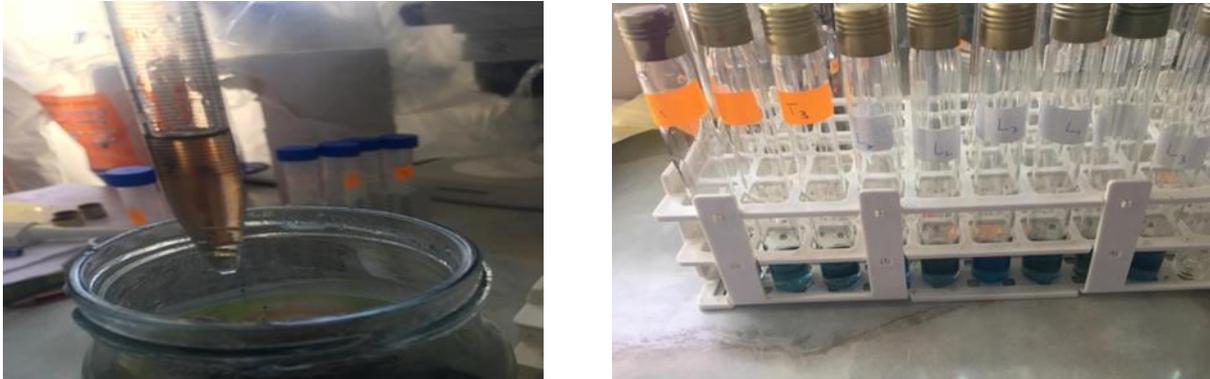


**Figure 18** :Étape de broyage du matériel végétal

- Le broyat a été centrifugé à 1300 tr/min pendant 10 min.

#### 5.4.2.1 Le dosage :

- A l'aide d'une micro pipette, nous prélevons 500  $\mu$ l du surnageant qu'on place dans un tube. On rajoute 3 ml de réactif de Bradford. (**Fig.19**).



**Figure 19** :L'ajout du réactif de Bradford aux surnageant

- On homogénéise l'ensemble avec le vortex, puis on les incube pendant 24 h. La lecture des absorbances est effectuée avec le spectrophotomètre à une longueur d'onde de 595 nm. (**Fig.20**).
- L'étalonnage est réalisé sur un blanc constitué de 100 $\mu$ l d'eau distillée et de 3 ml de réactif de Bradford.



**Figure 20** : Mesure de l'absorbance avec le spectrophotomètre

#### 5.4.2.2 La courbe d'étalonnage :

La gamme d'étalon est réalisée à partir d'une solution mère de sérum albumine de bœuf (BSA) 2 mg/ml. Une gamme des solutions filles à des concentrations croissantes est préparée.

La courbe d'étalon tracée servira à déterminer la quantité de protéines solubles dans l'extrait végétal (Tableau7).

**Tableau 7 :**Concentrations des solutions

Concentration	50	100	150	200	250
BSA	20	50	75	100	125

### 5.5 Taux final de germination :

La germination est notée par comptage effectué toutes les deux jours, jusqu'au 20<sup>ième</sup> jour. Le pourcentage de graines germées est déterminé par le rapport entre le nombre des graines qui ont émergé une radicule d'une taille d'environ 2 mm sur le nombre total de graines incubées (Allen et Alvarez, 2019).

D'où :

G (%) : est le pourcentage de germination.

NGG : est le nombre des graines germées

NTG : est le nombre total des graines incubées.

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

### 5.6 Vitesse de germination

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

$$TMG = \frac{N1T1 + N2T2 + N3T3 \dots NnTn}{N1 + N2 + N3 + \dots Nn}$$

### 5.7 La cinétique de la germination

La cinétique de germination est une courbe de germination qui décrit le déroulement de la germination du lot de semences considéré placé dans des conditions bien précises. Elle représente le plus souvent l'évolution des pourcentages de germination cumulés en fonction du temps. Cette cinétique est établie à partir des taux cumulés de graines germées c'est-à-dire la variation des taux de germination en fonction du temps exprimé en jour.

### 5.8 Indice de vigueur des pousses

L'indice de vigueur des pousses (IVP) a été calculé selon la méthode donnée par **Abdel-Baki et Anderson (1973)** :

$$\text{IVP} = (\text{taille moyenne de l'hypocotyle} + \text{taille moyenne de la racicule}) \times \text{PFG}$$

### 5.9 Analyse statistique

Pour chacun des essais appliqués, les résultats obtenus sur trois répétitions à raison de vingt graines par boîte de Pétri sont statistiquement analysés par le logiciel SPSS pour Windows, version 22. Une analyse de la variance à deux facteurs (**ANOVA II**) a été effectuée pour la comparaison de plusieurs moyennes.

**Chapitre 2 :**

**Résultats**

**Et discussion**

## 5. Résultats et discussion :

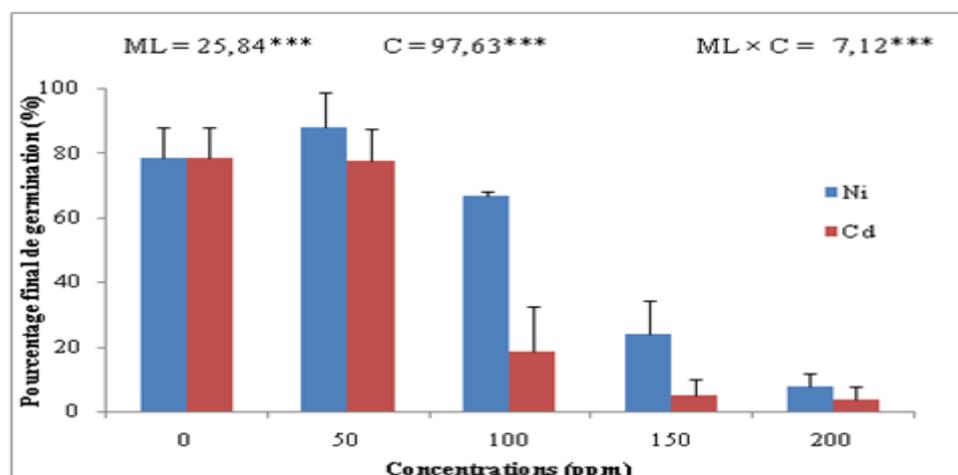
### 6.2 Résultats :

#### 6.2.1 Paramètres physiologiques :

##### A/ Pourcentage final de germination :

La **figure 21** représente les résultats des pourcentages finaux de germination, D'après les résultats obtenus on constate que :

- L'analyse de la variance affiche une différence hautement significative de l'effet des deux métaux lourds, de leurs concentrations et de l'interaction de ces deux facteurs sur les pourcentages finaux de germination (**P < 0,001 ; Annexe 1**).
- Le PFG le plus important a été enregistré chez les graines soumises à la concentration de 50 ppm de Ni avec un taux de 90 %, suivis d'un PFG de 79 % pour les graines témoins et 78% chez la graine traitée par 50 ppm de Cd
- Plus les graines sont stressées avec des concentrations élevées de Ni et Cd plus le nombre final de graines germées (exprimé en PFG) baisse, ce phénomène est plus marqué chez les graines soumises au stress du Cd (le PFG va de 79% à 50 ppm jusqu'à atteindre seulement 3% à 200 ppm) par rapport aux graines traitées par le Ni où le PFG était de 88% dans la concentration la plus faible (50 ppm) jusqu'à arriver à 8% chez la dose métallique la plus importante (200 ppm).



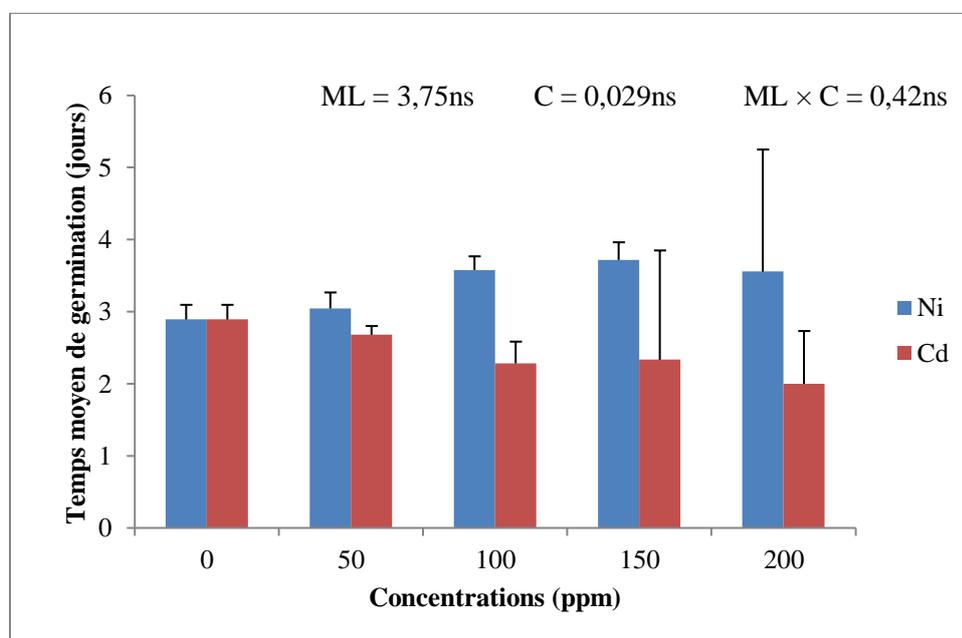
**Figure 21:** Effet du Ni et Cd sur le pourcentage final de germination des graines de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques. Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA II) indiquent les effets des métaux lourds (ML), des concentrations (s) et de leurs

interactions (ML x C) sur le PFG sont également donnés. Où, les nombres indiquent les valeurs F ; \*\*\* :  $P < 0.001$

**B/ Temps Moyen de Germination (TMG) :**

La **Figure 22** illustre l’effet du Ni et Cd sur le temps moyen de germination des graines de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques :

- Malgré la fluctuation dans les valeurs du TMG, les effets individuelle et interactive des deux variantes (ML et C) n’affichent aucune signification sur les valeurs de TMG ( $P > 0.05$  ; **Annexe II**).
- On note que les graines témoins ont un TMG de 2,9 jours.
- Pour les concentrations de 50,100 et 150 ppm de Ni, le TMG devient de plus en plus important (les graines stressées avec 50 ppm ont un TMG de 3jours, et de 3,7 jours pour 150 ppm).
- Un phénomène inverse était noté dans le cas des graines soumises au Cd, nous avons remarqué que plus les graines sont stressées avec des concentrations croissantes de ce dernier, plus le TMG se raccourcit, sachant que pour les deux concentrations intermédiaires de Cd (100 et 150 ppm) le TMG est un peu près égale ( $\approx 2,28$  jrs pour 100 ppm et 2.33 jrs pour 150 ppm)



**Figure 22 :** Effet du Ni et Cd sur le temps moyen de germination des graines de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques. Les résultats de l’analyse de variance (ANOVA II) indiquant les effets des métaux lourds (ML), des concentrations (s) et de leurs interactions (ML x C) sur le PFG sont également donnés. Où, les nombres indiquent les valeurs F ; ns : non-significatif ( $P > 0.05$ ).

### C/ Cinétique de la germination :

La **figure23** présente l'effet du Ni et Cd sur la cinétique de la germination en fonction du temps pour l'ensemble des deux métaux étudiés. Les courbes de germination permettent de distinguer 3 phases :

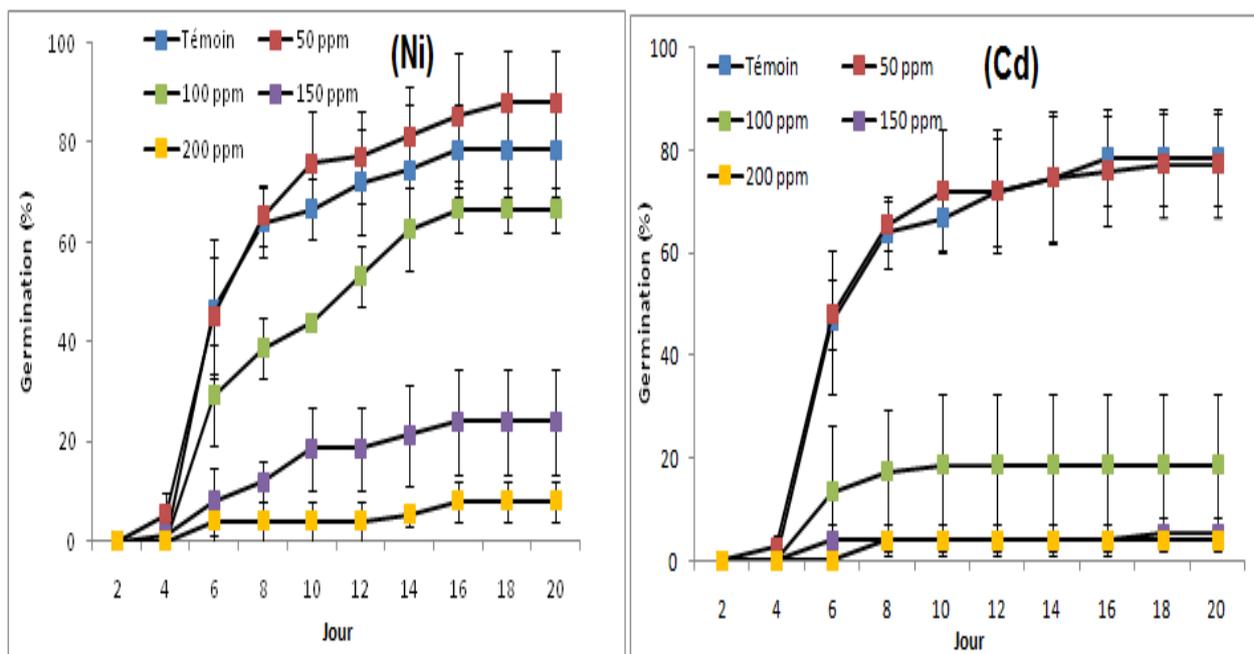
- Une phase sensiblement linéaire représentant la période de latence (la période d'imbibition de l'eau).
- Une phase intermédiaire, représentant une évolution exponentielle du pourcentage de germination.
- Une troisième phase correspondant à un palier représentant une stabilisation de la germination.

#### Pour le Ni :

- On note que le temps de latence est identique chez les graines témoins et celles stressées (l'émergence de la racicule commence au 6<sup>ième</sup> jour).
- Le taux maximal des graines germées est atteint au 16<sup>ième</sup> jour pour les graines témoins et celles soumises à 100, 150 et 200. Pour les graines soumises à 50 ppm la germination n'est achevée qu'au bout du 18<sup>ième</sup> jour.

#### Pour le Cd :

- D'après la **figure 23**, on remarque que le temps de latence est comparativement similaire à celui des graines stressées au Ni, sauf pour 200 ppm où les graines ont mis un peu plus de temps pour germer (qu'après le du 8<sup>ième</sup> jour).
- Contrairement au graines traitées par le Ni, la stabilisation de la germination était hautement hétérogène pour les graines stressées par le Cd. Elle était constatée le 6<sup>ième</sup> jour pour les graines soumises à 150 ppm, 8<sup>ième</sup> jour pour 200 ppm, 10<sup>ième</sup> jour pour 100 ppm, 16<sup>ième</sup> pour les graines témoins et jusqu'au bout du 18<sup>ième</sup> jour pour 50 ppm.



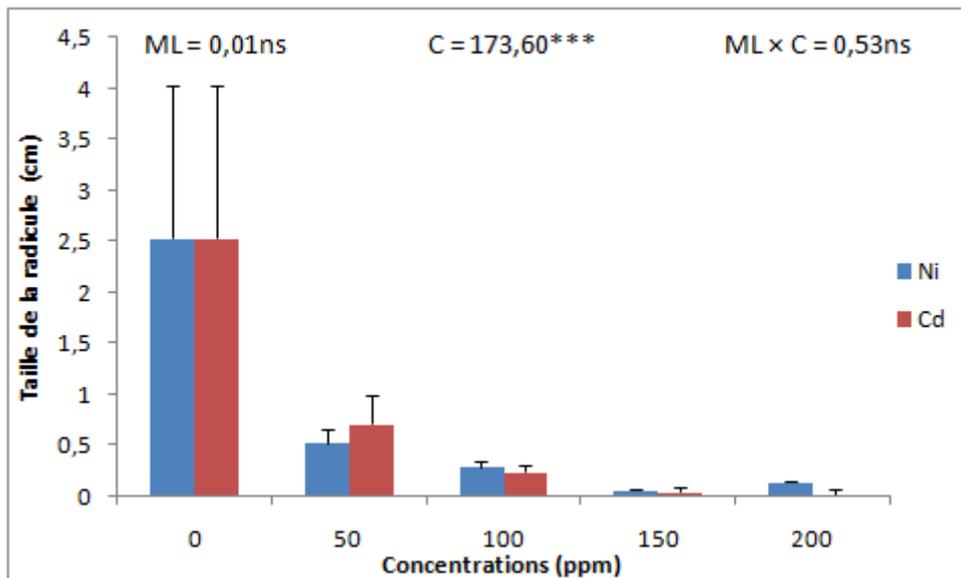
**Figure 23:** Effet du Ni et Cd sur la cinétique de la germination de des graines de *Ballota hirsuta*.

## 6.2.2 Paramètres biométriques :

### A/ L'effet du Ni et Cd sur la taille de la racicule :

La **figure 24** présente la variation de la taille de la racicule chez les graines stressées par différentes concentrations de Ni et Cd, on constate :

- Une différence statistique hautement significative ( $P < 0.001$ ) induite par les concentrations utilisées sur la taille de la racicule alors que ni le type du métal ni l'interaction  $ML \times C$  avaient un impact significatif ( $P > 0.05$  ; **Annexe III**) sur ce paramètre étudié.
- La taille de la racicule chez les graines témoins est de 2,5 cm ; pour les graines soumises aux deux métaux, nous avons enregistré un développement très minime de la racicule, dont la taille diminue au fur et à mesure que les concentrations augmente : la plus grande taille que nous avons notée pour les graines stressées était de 0,6cm pour le cas de 50ppm de Cd
- La taille de la racicule était plus impactée par le Ni que par le Cd dans les concentrations de 50, mais ce constat s'inverse avec les concentrations de 100 ppm et plus.

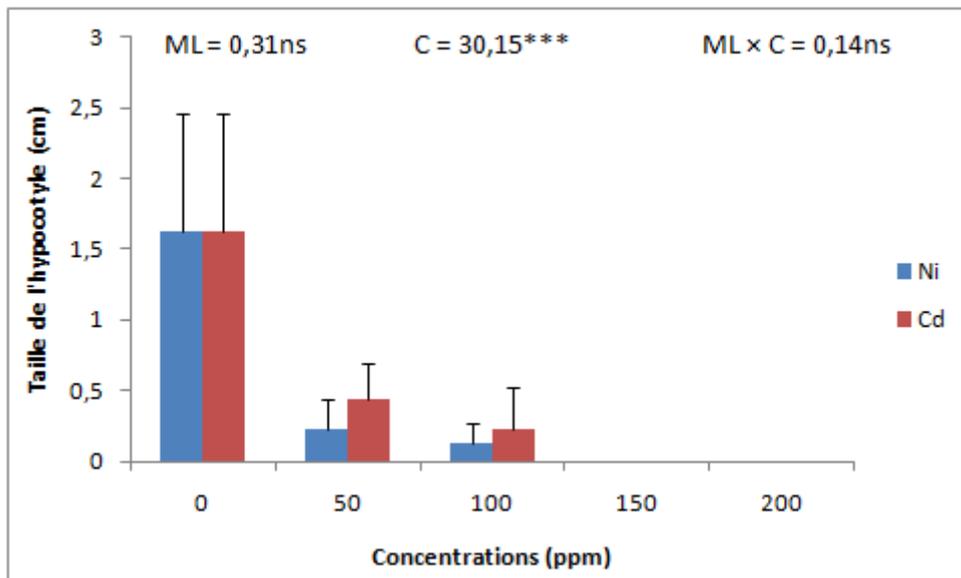


**Figure 24:** Effet du Ni et Cd sur la taille de la racine des pousses de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques. Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA II) indiquant les effets des métaux lourds (ML), des concentrations (s) et de leurs interactions (ML x C) sur le TR sont également donnés. Où, les nombres indiquent les valeurs F ; ns : différence non significative et \*\*\* :  $P < 0.001$ .

**B/ L'effet du Ni et Cd sur la taille de l'hypocotyle :**

La **figure 25** représente l'effet du Ni et Cd sur la taille de l'hypocotyle des pousses de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques :

- L'analyse de la variance a révélé une différence non significative enregistrée pour le type des métaux ainsi que l'effet interactive entre métaux lourds et leurs concentrations, alors que cette dernière source de variation seule a un effet significatif sur la taille de l'hypocotyle ( **$P < 0.001$  ; Annexe IV**).
- On remarque que la taille de l'hypocotyle chez les témoins était d'environ 1,6 cm, alors que celles des graines soumises au Ni et Cd diminuent d'une concentration à une autre (50 et 100 ppm), sachant qu'on n'a pas eu un développement de l'hypocotyle chez les graines stressées avec 150 et 200 ppm. Néanmoins, nous pouvons conclure que la taille de l'hypocotyle est plus impactée par le Ni (à 50 ppm la taille est de 0,4 cm pour le Ni, et de 0,3 cm pour le Cd).

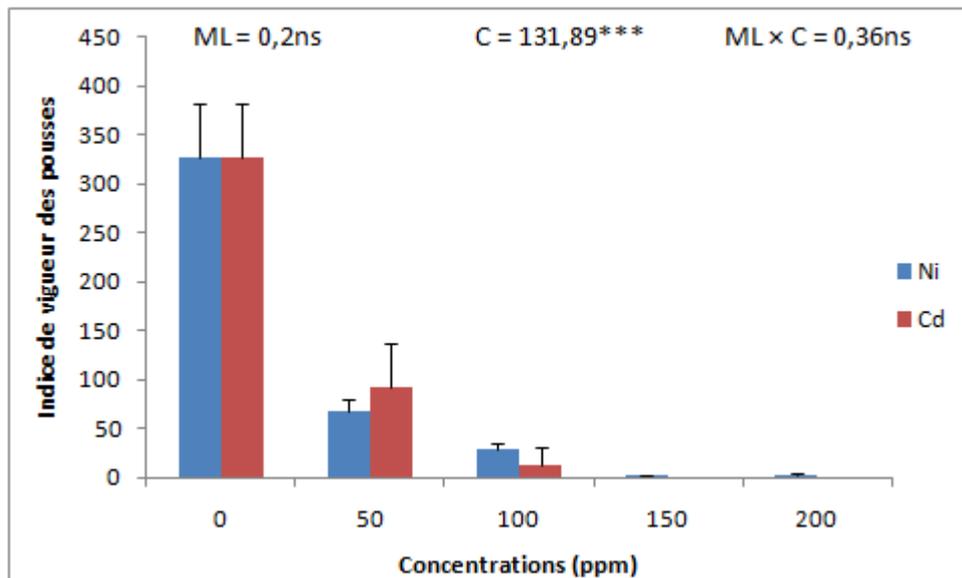


**Figure 25:** Effet du Ni et Cd sur la taille de l’hypocotyle des pousses de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques. Les résultats de l’analyse de variance (ANOVA II) indiquant les effets des métaux lourds (ML), des concentrations (s) et de leurs interactions (ML x C) sur le TH sont également donnés. Où, les nombres indiquent les valeurs F ; ns : différence non significative et \*\*\* :  $P < 0.001$ .

**C/ Indice de vigueur des pousses :**

La **figure 26** représente l’effet du Ni et Cd sur l’indice de vigueur (**Iv**) des pousses de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques.

- L’indice de vigueur des pousses est statistiquement significativement influencé exclusivement par les doses métalliques utilisées (**Annexe V**).
- Ici, on constate que l’indice de vigueur est plus important chez les pousses témoins avec Iv d’environ 327, alors que pour les échantillons stressés la plus grande valeur est de 91,5 pour 50 ppm de Cd.
- Au niveau métallique les plus élevés (150 et 200 ppm), cet indice devient nul.



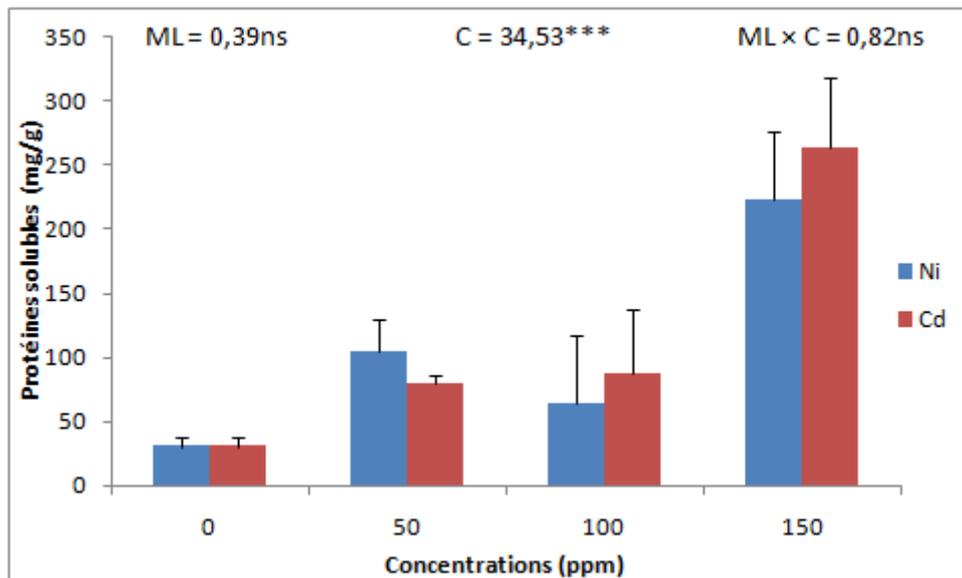
**Figure 26:** Effet du Ni et Cd sur l'indice de vigueur des pousses de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques. Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA II) indiquant les effets des métaux lourds (ML), des concentrations (s) et de leurs interactions (ML x C) sur l'IVP sont également donnés. Où, les nombres indiquent les valeurs F ; ns : différence non significative et \*\*\* :  $P < 0.001$ .

### 6.2.3 Paramètre biochimique

#### Protéines Solubles :

La **figure 27** représente l'effet du Ni et Cd sur la teneur des protéines solubles des pousses de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques.

- L'ANOVA II indique que seulement les concentrations utilisées ont un impact significatif sur la teneur des protéines solubles ( $P < 0.001$  ; **Annexe VI**)
- On remarque que la plus grande quantité des protéines solubles a été trouvée à 150ppm pour les deux métaux (Cd = 263,87 mg/g ; Ni = 223,36 mg/g) suivie par 50ppm de Ni (104,60 mg/g) et 100ppm de Cd (84,33 mg/g).
- Notant que la plus faible quantité de protéines solubles est marquée chez les témoins avec pas plus 31 mg/g MVF.



**Figure 27:** Effet du Ni et Cd sur la synthèse des protéines solubles des pousses de *Ballota hirsuta* soumises à différentes doses métalliques. Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA II) indiquant les effets des métaux lourds (ML), des concentrations (s) et de leurs interactions (ML x C) sur le PS sont également donnés. Où, les nombres indiquent les valeurs F ; ns : différence non significative et \*\*\* :  $P < 0.001$ .

### 6.3 Discussion :

Dans cette étude, la germination des graines de *B. hirsuta* Benth. a été étudiée en réponse à des stress métalliques (c.-à-d. Ni et Cd). Les résultats ont montré que le pourcentage de germination des graines de cette espèce a été affecté aux concentrations de 150 et 200 ppm des deux métaux. Les résultats ont montré également un retard du déclenchement de la germination chez les graines stressées avec 200 ppm de Cd ; le taux final de germination est quant à lui plus impacté par le Cd (max. 78% à 50 ppm) que par le Ni (max. 90% à 50 ppm).

Nous avons étudié comment le traitement des graines par le Ni et Cd affecte le pouvoir germinatif et le début de croissance des plantules. Nous avons noté une baisse graduelle des paramètres de croissance et de germination avec l'augmentation du stress métallique, ceci est en conformité avec les résultats des travaux de **Aydinalp et Marinova (2009)** qui ont travaillé sur l'effet des ions métalliques de Cd, Ni, Cr, Cu et Zn sur *Medicago sativa* (Alfalfa). **Shafiq et al. (2008)** par exemple, ont noté un effet toxique du cadmium et de plomb par une réduction de la germination des graines et la croissance des semis (racine) chez l'espèce *Leucaena leucocephala* traitée avec 25, 50, 75 et 100 ppm-Cd et de Pb. Pour le nickel, nos résultats vont au sens des travaux menés par **Visioli et al. (2014)** que ce métal n'est toxique seulement lorsqu'il est présent en grande concentration, (3.1 ppm et 6.3

ppm) cela peut s'expliquer par le fait que le Ni est considéré comme un micronutriment stimulant le processus de germination et la croissance des plantules (**Brown et al.,1987**).

Notre étude a souligné une diminution de la longueur de la racicule et de l'hypocotyle, voir une inhibition totale de ce dernier dans les fortes concentrations de métaux lourds. De même, **Fatarna et al. (2017)** et **Touaihia (2021)** ont abouti au constat similaire sur d'autres espèces végétales soumises à d'autres métaux. L'étude de **Márquez-García et al. (2013)** sur le stress métallique (Ni, Mn, Cu et Zn) mené sur deux espèces *Atriplex halimus* et *Salicornia ramosissima* a montré une baisse de la longueur de l'hypocotyle dans les concentrations supérieures à 250  $\mu\text{M}$  et celle de la racicule à partir de 100  $\mu\text{M}$  de Ni pour la première espèce. Chez la seconde ; le Ni avait plutôt un effet positif sur la croissance de la racicule à 10  $\mu\text{M}$ . L'étude de **Liu et al. (2012)** entrepris sur l'effet du Cd sur *Suaeda salsa* a démontré aussi que ce métal exerce un effet négatif sur la germination, et la taille de l'hypocotyle et de la racicule à des concentrations très minimes (0.1 ppm à 6 ppm). Selon cette même étude le cadmium semble empêcher l'absorption et le mouvement de l'eau dans les axes embryonnaires ce qui rend les graines moins développées. Un arrêt de la division cellulaire et l'altération de l'activité PSII peuvent être à l'origine d'inhibition de plusieurs processus vitaux tels que la respiration ou encore la photosynthèse qui inhibent à leur tour l'activité cellulaire et son élongation, ce qui explique le faible développement de racines et de l'hypocotyle. Le retard du déclenchement de la germination observée dans notre étude peut être dû à plusieurs troubles dans la chaîne événementielle du métabolisme germinatif.

Selon **Shafiq (2008)** la baisse de la germination peut être due à une mobilisation accélérée des substances de réserves ou encore une détérioration des propriétés de la perméabilité sélective des membranes cellulaire sous stress métallique. Les métaux lourds affectent les enzymes hydrolytiques tel que les amylases jouant un rôle dans le métabolisme de substances (protéine et sucre) ce qui empêche aux sources nutritives de parvenir jusqu'à la racicule et l'hypocotyle, ce qui réduit les cellules méristématiques et freine ainsi l'élongation de ces dernières. Nous avons aussi noté une synthèse d'une grande quantité de protéines solubles dans les deux dernières doses de Ni et Cd, nous suggérons que la plante acquière une adaptation au stress métallique par une production d'enzymes antioxydants ou d'acides aminés comme l'ascorbate ou la proline ou encore des phytochélatines (**Messaoud et Akrouf, 2019**).

Les effets du Cd et du Ni sur les plantes est variables, ils dépendent à la fois du métal en question, de sa concentration, de l'espèce végétale mais aussi des variations physiologiques intra spécifiques. Le cadmium n'est considéré comme un micronutriment, de ce fait, même à des concentrations traces, il impacte la croissance des plantes et diminue le poids sec et la synthèse de la chlorophylle et provoque une carence en Fer inhibant le processus de photosynthèse. Le Cd provoque un stress oxydatif par diminution des enzymes et des métabolites antioxydant ou à travers une production de radicaux libres ce qui porte préjudice aux membranes (**Hasan et al., 2009**). Le nickel induit des changements morphologiques et provoque un arrêt de synthèse des chloroplastes, et déclenche des changements structuraux de ces dernières, il provoque aussi un blocage de transfert d'électron qui s'accompagne par une inhibition de la photosynthèse. Le Ni module notamment l'activité enzymatique et la perméabilité membranaire des cellules ce qui provoque des fluctuations dans les teneurs des organes de la plante en nutriments (**Bhalerao et al., 2015**).

## 7 Conclusion :

---

Les métaux lourds sont naturellement présents sur terre mais les différentes activités humaines ont contribué à l'amplification et à l'ajout d'énormes quantités. Ces derniers sont aujourd'hui répandus dans l'ensemble de la biosphère, leur caractère persistant et non biodégradables fait de ces éléments un vrai défi environnemental qui menace l'équilibre des écosystèmes.

Les plantes sont la base biologique la plus impactée par la pollution métallique mais aussi une des solutions les plus prometteuse en terme de décontamination des milieux impactés que ça soit le sol, l'eau ou même l'air.

L'objectif de notre étude a été de mettre en évidence l'effet du Ni et de Cd sur deux stades cruciales dans la vie d'une plante, la germination et le début de croissance, pour évaluer le degré de tolérance de *Ballota hirsuta*. Nous avons pris comme spécimen cette espèce car c'est une plante abondante dans la région méditerranéenne mais aussi du fait de son utilité anthropogénique (plantes aromatique, employé en parfumerie et en phytothérapie) et écologique. Notre étude a démontré que le Ni et le Cd avaient pour l'ensemble des paramètres étudiés un effet non significatif. Nous avons aussi souligné une meilleure tolérance germinative vis-à-vis du nickel par rapport au Cd (50 et 100 ppm).

La suite possible de ce travail consisterait à confirmer la tolérance de cette plante au nickel, et d'orienter les recherches vers d'études biochimique, physiologique qui permettront de savoir si cette espèce peut être exploitée dans la décontamination.

# **Références bibliographiques**

## 8 Références bibliographiques :

---

Abdel-Baki A A et Anderson J D. (1973). Viability and leaching of sugars from germinating barley. *Crop Science*, Vol.10(1),31–34.

Agarwal, S. K. (2009). Heavy Metal Pollution. A. *Publishing*, New Delhi, Vol.4,270p.

Ahmad I, Akhtar M J, Zahir Z et Jamil A. (2012). Effect of cadmium on seed germination and seedling growth of four wheat *Triticum aestivum* L. cultivars. *Pakistan Journal of Botany*. Vol. 44(5), 1569-1574.

Aleksandrov A P, Mirkov I, Tucovic D, Kulas J, Zeljkovic M, Popovic D, Ninkov M, Jankovic, S et Kataranovski M. (2021). Immunomodulation by heavy metals as a contributing factor to inflammatory diseases and autoimmune reactions: Cadmium as an example. *Immunology Letters*. Vol. 240, 106–122. <https://doi.org/10.1016/j.imlet.2021.10.003>

Ali B, Qian P, Jin R, Ali S, Khan M, Aziz R, Tian T et Zhou W. (2014). Physiological and ultra-structural changes in *Brassica napus* seedlings induced by cadmium stress. *Biologia Plantarum*. Vol. 58(1), 131-138. <https://doi.org/10.1007/s10535-013-0358-5>

Allen E. et Alvarez S. (2019). International Rules for Seed Testing.

Alloway B J. (2013). Sources of heavy metals and metalloids in soils. Dans: Alloway B J. (Éd.), Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Springer, Dordrecht, éd. 3, Vol. 22, pp. 11-50. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_2)

Annane A et Boualili M. (2014). Evaluation in vitro de l'action antibactérienne d'huile essentielle de sauge officinale. L. (*Salvia officinalis*) de la région Nord-ouest de Tizi-Ouzou. Mémoire de master. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou,52p.

Aouina M et Lakhdari S. (2019). Biologie des huiles essentielles de la famille des Lamiaceae. Mémoire de master. Université Mohamed Boudiaf, M'sila,34p.

Aranguren M M. (2008). Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers : Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique. Thèse de doctorat. Université Paul Sabatier Toulouse 3, Toulouse,379p.

Attoucheik L, Bayou B et Abdelhak B. (2014). Contribution des méthodes magnétiques à l'étude de la pollution métallique des sols de la région de Boucaid (Tissemsilt), Algérie. *Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement SIHE 2013 Ouargla*. Université Kasdi Merbah, Ouargla, 4p.

Aydinalp C et Marinova S. (2009). The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*medicago sativa*). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. Vol. 15,4, 347-350. <https://www.agrojournal.org/15/04-11-09.pdf>

Badache H. (2015). Modifications physiologiques et biochimiques observées chez les plantes en C4 soumises à un stress métallique (Cd). Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar, Annaba, 139p.

Bes C. (2008). Phytoremédiation des sols d'un site de traitement du bois contaminés par le cuivre. Thèse de doctorat. Université Bordeaux 1, Bordeaux, 299p.

Bettahar N, Benamara A A, Kettab A et Douaoui A. (2009). Risque de pollution nitraté des zones semi-arides : cas de la vallée du moyen Cheliff occidental (Nord Algérien). *Revue des sciences de l'eau*, Vol. 22,1, 69–78. <https://doi.org/10.7202/019824ar>

Bewley J D, Bradford K J, Hilhorst H W et Nonogaki H. (2013). Mobilization of stored reserves. Dans: Bewley J D, Bradford K J, Hilhorst H W et Nonogaki H.(Éds.), *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. Springer, New York, éd. 3, pp. 183–246. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4_5)

Bewley J D, Bradford K J, Hilhorst H W M et Nonogaki H. (2013). Germination. Dans Bewley J D, Bradford K J, Hilhorst H W M et Nonogaki H.(Éds.), *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. Springer, New York, éd. 3, pp. 133–181. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4_4)

Bewley J D, Bradford K J, Hilhorst H W M et Nonogaki H. (2013). Structure and composition. Dans: Bewley J D, Bradford K J, Hilhorst H W M et Nonogaki H.(Éds.), *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. Springer, New York, éd. 3, pp. 1–25. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4_1)

Bhalerao S A, Sharma A S et Poojari A C. (2015). Toxicity of Nickel in plants. *International journal of pure & applied bioscience*, Vol.3 (2), 345-355

[.http://www.ijpab.com/form/2015%20Volume%203,%20issue%202/IJPAB-2015-3-2-345-355.pdf](http://www.ijpab.com/form/2015%20Volume%203,%20issue%202/IJPAB-2015-3-2-345-355.pdf)

Bouras S, Maatoug M, Hellal B et Ayad N. (2010). Quantification de la pollution des sols par le plomb et le zinc émis par le trafic routier (Cas de la ville de Sidi Bel Abbes, Algérie occidentale). *Les technologies de laboratoire*, Vol.5, 20,11-17. <https://revues.imist.ma/index.php/technolab/article/view/384/353>

Bourkache K et Ramdani S. (2016). Evaluation de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle et des tannis extraits *Lavandula stoechas*. Mémoire de master. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou,47p.

Brown P H, Welch R M et Cary E E. (1987). Nickel: A micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiol*, Vol.85, 801-803. <https://academic.oup.com/plphys/article/85/3/801/6082592>

Brussell D E. (2004). Medicinal plants of Mt. Pelion, Greece. *Economic Botany*.Vol.58, 174-202. <https://www.jstor.org/stable/4256917>

Cáceres C E et Tessier A J. (2003). How long to rest: The ecology of optimal dormancy and environmental constraint. *Ecology*. Vol. 84(5), 1189 –1198. <https://www.jstor.org/stable/3107928>

Chardot V. (2007). Réponse de brassicacées hyperaccumulatrices à la disponibilité du nickel des sols ultramafiqes. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine, Lorraine,216p.

Chibuike G U et Obiora S C. (2014). Heavy metal polluted soils: Effect on plants and bioremediation methods. *Applied and Environmental Soil Science*. Vol. 2014, 752708. <https://doi.org/10.1155/2014/752708>

Coste H et Flahault C. (1937). Flore descriptive et illustrée de la France de la Corse et des contrées limitrophes. Klincksieck, Paris, Vol.3, 832p.

Dietz A C et Schnoor J L. (2001). Advances in phytoremediation. *Environmental Health Perspectives*.Vol.109, 163–168. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109s1163>

Djordjevic V R, Wallace D R, Schweitzer A, Boricic N, Knezevic D, Matic S, Grubor N, Kerkez M, Radenkovic D, Bulat Z, Antonijevic B, Matovic V, Buha, A. (2019). Environmental cadmium exposure and pancreatic cancer: Evidence from case control, animal and in vitro studies. *Environment International*, Vol. 128, 353–361. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.04.048>

Eldjoudi L. (2019). Diversité des champignons mycorhyziens arbusculaires associés au thym *Thymus ciliatus* (Desf) Benth. et à la ballote noire *Ballota nigra* L. du Parc National de Chréa. Mémoire de master. Université Saad Dahleb, Blida, 59p.

Enderlin A -L. (1996). À propos de la ballote : *Ballota nigra* L. Thèse de doctorat. Université Joseph Fourier, Grenoble, 153p.

Eshghi Malayeri B. (1995). Décontamination des sols contenant des métaux lourds à l'aide de plantes et de microorganismes. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré, Nancy1, Nancy, 99p.

Fatarna L, Boutekrabi A, Arabi Y, Adda A. (2017). Impact du cadmium, du zinc et du plomb sur la germination des grains d'*Atriplex halimus* L. (*Amaranthaceae*). *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, Vol. 72, 1, 61-72. <https://hal.science/hal-03532573>

Favas P J, Pratas J, Varun M, D'Souza R et Paul M S. (2014). Phytoremediation of soils contaminated with metals and metalloids at mining areas: Potential of native flora. Dans: Hernandez Soriano M C. (Éd.), *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*. InTech, pp. 486-517. <http://dx.doi.org/10.5772/57469>

Gill S, Khan N A et Tuteja N. (2012). Cadmium at high dose perturbs growth, photosynthesis and nitrogen metabolism while at low dose it up regulates sulfur assimilation and antioxidant machinery in garden cress (*Lepidium sativum* L.). *Plant Science*. Vol. 182, 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.04.018>

Girard M -C, Walter C, Rémy J -C, Berthelin J et Morel J -L. (2011). *Sols et Environnement*. Dunod, éd.2, 896p.

Gómez Ariza J G, García-Barrera T, García-Sevillano M A, González-Fernández M et Gómez-Jacinto V. (2013). Metallomics and metabolomics of plants under environmental stress caused by metals. Dans: Gupta D K, Corpas F J et Palma J. (Éds.), *Heavy metal stress in plants*. Springer, Heidelberg, pp. 173–201. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-38469-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-38469-1_10)

Grant C A, Buckley W T, Bailey L D et Selles F. (1998). Cadmium accumulation in crops. *Canadian Journal of Plant Science*. Vol.78 (1), 1-17. <https://doi.org/10.4141/P96-100>

Guittonny-Philippe A. (2014). Phytoépuration de mélanges de polluants organiques et métalliques pour la préservation des zones humides méditerranéennes. Thèse de doctorat. Université d'Aix-Marseille, Marseille, 314p.

Guo H, Yang H, Guo W, Li X et Chen B. (2023). Defense response of pumpkin rootstock to cadmium. *Scientia Horticulturae*. Vol. 308, 111548. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111548>

Hasan S A, Fariduddin Q, Ali B, Hayat Set Ahmad A. (2009). Cadmium: Toxicity and tolerance in plants. *Journal of Environmental Biology*, Vol.30,2, 165-174. [http://www.jeb.co.in./journal\\_issues/200903\\_mar09/paper\\_01.pdf](http://www.jeb.co.in./journal_issues/200903_mar09/paper_01.pdf)

Huynh, T. (2009). Impact des métaux lourds sur l'interaction plante /ver de terre /microflore tellurique. Thèse de doctorat. Université Paris-Est, Paris, 151p.

IRAC. (2012). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Arsenic, metals, fibers and dusts, A review of human carcinogens, *World Health Organisation*, 100C, 501p.

Jia L, Liu Z, Chen W, Ye Y, Yu S et He X. (2015). Hormesis effects induced by cadmium on growth and photosynthetic performance in a hyperaccumulator, *Lonicera japonica* Thunb. *Journal of Plant Growth Regulation*. Vol. 34, 13–21. <https://doi.org/10.1007/s00344-014-9433-1>

Jlassi A, Zorrig W, El Khouini A, Lakhdar A, Smaoui A, Abdelly C et Rabhi M. (2013). Phytodesalination of a moderately-salt-affected soil by *Sulla carnosa*. *International Journal of Phytoremediation*. Vol.15(4), 398–404. <http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2012.716104>

Jobin P. (2015). Traitement des sols pollués par les cendres d'incinération de déchets municipaux. Thèse de doctorat. Université de Québec, Québec, 134p.

Jost J –P et Jost-Tse Y -C. (2018). Les plantes hyperaccumulatrices de métaux lourds. Dans : Jost J –P et Jost-Tse Y-C, Les plantes hyperaccumulatrices de métaux lourds : une solution à la pollution des sols et de l'eau ? Publibook, Saint-Denis, pp. 23-34.

- Jyothi N R. (2021). Heavy metal sources and their effects on human health. Dans: Nazal M et Zhao H (Éds.), *Heavy Metals - Their Environmental Impacts and Mitigation*. IntechOpen, 12p.
- Kathpalia R et Bhatla S C. (2018). Plant mineral nutrition. Dans: Bhatla S C et M. A. Lal M A. *Plant Physiology Development and Metabolism*. Springer, Singapore, pp. 37–81. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_2)
- Kechar K, Hellal B, Ayad N et Benahmed-Djilali A. (2016). Enquête ethnobotanique sur la *Ballota hirsuta* Benth à Sidi Bel Abbas (Algérie). *Phytothérapie*. Vol.14, 343-348. <https://doi.org/10.1007/s10298-015-0972-9>
- Kechar K, Latreche A et Mahroug S. (2015). Production et caractérisation de l'huile essentielle de *Ballota hirsuta* Benth. en provenance du Mont de Tessala (Algérie occidentale). *Les Technologies de Laboratoire*. Vol. 9(38), 28-33. <https://revues.imist.ma/index.php/technolab/article/view/3041/2198>
- Khan M I, Cheema S A, Anum S, Niazi N K, Azam M., Bashir S, Ashraf I et Qadri R. (2020). Phytoremediation of agricultural pollutants. Dans: Shmaefsky B R. (Éd.), *Phytoremediation: In-situ Applications*. Springer, Cham pp. 27–81. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8_2)
- Khan M, Shaheen S, Ali S, Yi Z, Cheng L, Samrana, Khan M D, Azam M, Rizwan M, Afzal M, Irum G, Khan M J et Shuijin Z. (2020) In Situ Phytoremediation of Metals. Dans: Shmaefsky, B. (ed.), *Phytoremediation: In-situ Applications*. Springer, Cham, pp 103–121. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8_4)
- Khemissa H. (2020). Bibliographic review of the *Ballota* genus and evaluation of the DPPH free radical scavenging capacity of *Ballota hirsuta*'s methanolic and aqueous extracts. Mémoire de master. Université de M'sila, M'sila, 28p.
- Kotowski F. (1926). Temperature relations to germination of vegetable seed. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, Vol. 23, 176-184
- Krika A. (2014). Etude de la distribution des métaux lourds dans les ripisylves de l'oued Rhumel. Thèse de doctorat. Université de Constantine 1, Constantine, 184p.

- Kristanti R A, Ngu W J, Yuniarto A et Hadibarata T. (2021). Rhizofiltration for removal of inorganic and organic pollutants in groundwater: A review. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. Vol.11(4), 12326-12347. <https://doi.org/10.33263/BRIAC114.1232612347>
- Kumar P, Goud E L, Devi P, Dey S R et Dwivedi P. (2022). Heavy metals: Transport in plants and their physiological and toxicological effects. Dans: Kumar K et Srivastava S. (Éds.), *Plant Metal and Metalloid Transporters*. Springer, Singapore, pp. 23–54. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-6103-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-19-6103-8_2)
- Lahag L et Drissi W. (2019). Etude phytochimique du *Daphne gnidium* L. et son effet sur l'électrodéposition du nickel. Mémoire de master. Université de Guelma, Guelma, 69p.
- Larousse. (2001). Autres plantes médicinales. Dans : Larousse (Éd.), *Encyclopédie des plantes médicinales : Identification, préparations, soins*. Editions Larousse, Paris, pp. 154-281.
- Lefebvre R. (2007). Réhabilitation d'un site contaminé de la ville de Montréal par des approches de phytoremédiation. Mémoire de master. Université de Montréal, Montréal, 93p.
- Lennon J T et Jones S E. (2011). Microbial seed banks: The ecological and evolutionary implications of dormancy. *Nature Reviews Microbiology*. Vol. 9, pp. 119-130. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2504>
- Li H, Fagerberg B, Sallsten G, Borné Y, Hedblad B, Engström G, Barregard L et Andersson E M. (2019). Smoking-induced risk of future cardiovascular disease is partly mediated by cadmium in tobacco: Malmö Diet and Cancer Cohort Study. *Environmental Health*. Vol.18, 56. <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0495-1>
- Lin X, Peng L, Xu X, Chen Y, Zhang, Y et Huo X. (2018). Connecting gastrointestinal cancer risk to cadmium and lead exposure in the Chaoshan population of Southeast China. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol.25,3, 17611–17619. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1914-5>
- Liu S, Yang C, Xie W, Xia C et Fan P. (2012). The effects of cadmium on germination and seedling growth of *Suaeda salsa*. *Procedia Environmental Sciences* , Vol.16 293 – 298. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.10.041>
- Majeti P et Freitas H. (2003). Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*. Vol.6(3), 286-321.

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-34582003000300012&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-34582003000300012&lng=en&nrm=iso)

Márquez-García B, Márquez C, SanjoséI, Nieva F J J, Rodríguez-Rubio P, et Muñoz-Rodríguez A F. (2013). The effects of heavy metals on germination and seedling characteristics in two halophyte species in Mediterranean marshes. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 70 (1–2), 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.02.019>

Menad B et Dali S. (2017). Extraction et caractérisation des principaux constituants chimiques des trois plantes aromatiques de la Famille des Lamiacées : *Mentha viridis*, *Rosmarinus officinalis* et *Salvia officinalis*. Mémoire de mémoire. Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem,64p.

Messai K. (2014). Etude de la pollution maritime par les métaux lourds (Pb, Zn) dans la cote de Jijel. Mémoire de master. Université de Constantine 1, Constantine,53p.

Messaoud N et Akrouit K. (2019). Etude de l'effet du plomb sur quelques paramètres biochimiques chez les céréales. Mémoire de master. Université de Larbi Tébessi, Tébessa,46p.

Naim E. (2018). The oxidative modifications in the macromolecules of sunflower seed during germination. Thèse de doctorat. Université de Sorbonne, Paris,122p.

Negim O. (2009). New technique for soil reclamation and conservation: In situ stabilization of trace elements in contaminated soils. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux 1, Bordeaux,174p.

Origo N, Wicherek S et Hotyat M. (2012). Réhabilitation des sites pollués par phytoremédiation. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*. Vol.12,2.<https://doi.org/10.4000/vertigo.12633>

Otmani H. (2018). Evaluation de la toxicité de quelques métaux lourds sur le comportement d'un modèle animal du groupe des coelomates. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar, Annaba,116p.

Pál M., Leskó K, Janda T, Páldi E et Szalai G. (2007). Cadmium-induced changes in the membrane lipid composition of maize plants. *Cereal Research Communications*, 35,4, 1631-1642. <http://www.jstor.org/stable/23789918>

- Poirel J, Joulian C, Leyval C et Billard P. (2013). Arsenite-induced changes in abundance and expression of arsenite transporter and arsenite oxidase genes of a soil microbial community. *Research in Microbiology*. Vol.164(5), 457-465. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2013.01.012>
- Raja R R. (2012). Medicinally potential plants of *labiatae (lamiaceae)* family: An overview. *Research Journal of Medicinal Plants*. Vol.6 (3), 203-213. <https://scialert.net/abstract/?doi=rjmp.2012.203.213>
- Rameau J-C, Mansion D, Dumé G et Gauberville C. (2008). Flore forestière française tome 3, région méditerranéenne : Guide écologique illustré. Institut pour le développement forestier, Paris , 2432p
- Reeves R D, Baker A J, Jaffré T, Erskine P D, Echevarria G et Van der Ent A. (2017). A global database for plants that hyperaccumulate metal and metalloid trace elements. *New Phytologist*. Vol.218, 407–411. <https://doi.org/10.1111/nph.14907>
- Rizwan M, Ali S, Abbas T, Zia-ur-Rehman M, Hannan F, Keller C, Al-Wabel M I et Ok, Y. (2016). Cadmium minimization in wheat: A critical review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.130, 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.04.001>
- Rosselli S, Fontana G et Bruno M. (2019). Review of the phytochemistry, traditional uses, and biological activities of the genus *Ballota* and *Otostegia*. *Planta Medica*. Vol.85(11/12), 869-910. <https://doi.org/10.1055/a-0953-6165>
- Ruiz M, Golberg A et Molas M L. (2013). From seed to seedling: An ecophysiological point of view. Dans: Busso C. (Éd.), From seed germination to young plants: Ecology, growth and environmental influences. Nova Science Publishers, New York, pp. 3-26.
- Saljnikov E, Eulenstein F, Lavrishchev A, Mirschel W, Blum W, McKenzie B, Lilburne, L, Römbke J, Wilke B –M, Schindler U et Mueller, L. (2022). Understanding soils: Their functions, use and degradation. Dans: Saljnikov E, Mueller L, Lavrishchev A, et Eulenstein F.(Éds.), Advancing in Understanding Soil Degradation. Springer, Cham, pp. 1–42. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_1)
- Semadi A et Deruelle S. (1993). Détection de la pollution plombique à l'aide de transplants lichéniques dans la région de Annaba (Algérie). *Pollution atmosphérique*,140,86-102. [https://www.appa.asso.fr/wp-content/uploads/2020/03/Semadi\\_Deruelle\\_1993.pdf](https://www.appa.asso.fr/wp-content/uploads/2020/03/Semadi_Deruelle_1993.pdf)

Sengupta M et Dalwani R. (2008). Phytoremediation—green for environmental Clean. *Proceedings of Taal 2007: The 12 th World Lake Conference*,1016-1021.

Shafiq M, Iqbal M Z et Mohammad M. (2008). Effect of lead and cadmium on germination and seedling growth of *Leucaena leucocephala*. *Applied Science*, Vol. 12,2,61 – 66.<http://dx.doi.org/10.4314/jasem.v12i3.55497>

Sharma R K et Agrawal M. (2005). Biological effects of heavy metals: An overview. *Journal of Environmental Biology*.Vol.26, 301-313.

Shmaefsky B R. (2020). Principles of phytoremediation. Dans: Shmaefsky B R (Éd.), *Phytoremediation: In-situ Applications*. Springer, Cham, pp. 1–26. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8_1)

Smolders E et Mertens J. (2013). Cadmium. Dans: Alloway B J. (Éd.), *Heavy Metals in Soils*. Springer, Dordrecht, Vol. 22, pp. 283–311. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_10)

Stelmashook E V, Alexandrova O P, Genrikhs E E, Novikova S V, Salmina A. B et Isaev N K. (2020). Effect of zinc and copper ions on cadmium-induced toxicity in rat cultured cortical neurons. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*.Vol.73, 127012. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2022.127012>

Thiébaud L. (1994). Sols agricoles et environnement : Une rencontre à ménager. *Natures Sciences Sociétés*. Vol. 2,2, 129-142.<https://doi.org/10.1051/nss/19940202129>

Touaihia S. (2021). Effet de quelques métaux lourds sur la germination et la croissance des plantules d'*Atriplex halimus* L. Mémoire de master. Université de Laarbi Tébéssi, Tébéssa,34p

Tyler, G. (1981). heavy metals in soil biology and biochemistry. Dans : Paul E A et Ladd J N. (Éds.), *Soil Biochemistry*. Marcel Dekker, New York, Vol.5, pp. 371-414.

Visioli G, Conti F D, Gardi C et Menta C. (2014). Germination and root elongation bioassays in six different plant species for testing Ni contamination in soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol.92, 490–496. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1166-5>

Wild A. (1993). Heavy metals and radionuclides in soil. Dans: Wild A, *Soil and the Environment: An Introduction*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 189-210.

Wood J L, Zhang C, Mathews E R, Tang C et Franks A E. (2016). Microbial community dynamics in the rhizosphere of a cadmium hyper-accumulator. *Scientific Reports*, Vol.6,36067. <https://doi.org/10.1038/srep36067>

Yee M O, Kim P, Li Y, Singh A K, Northen T R et Chakraborty R. (2021). Specialized plant growth chamber designs to study complex rhizosphere interactions. *Frontiers in Microbiology*. Vol.12,625752. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.625752>

Zegaoula W et Khellaf N. (2014). Evaluation du degré de pollution des rejets liquides et atmosphériques du complexe fertial Annaba (Algérie), *Larhyss Journal*,18, pp. 77-91.

Zouainia S. (2017). Evaluation de la toxicité de deux métaux lourds (Cadmium et Zinc) sur le métabolisme énergétique (Respiratoire et Photosynthétique) d'une plante aquatique « *Elodea canadensis* ». Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar, Annaba,100p.

### Liens web :

Webmaster 1 : <https://www.rsc.org/periodic-table>

Webmaster 2 : <http://www.endmemo.com/chem/mmass.php>

Webmaster 3: <https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/les-graines-et-la-germination>

Webmaster 4: <https://planteset.com/ballota-nigra/>

# **Les Annexes**

## Annexe I

### Tests des effets intersujets

Variable dépendante: PFG

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Modèle corrigé	34165,867 <sup>a</sup>	9	3796,207	49,430	,000
Constante	60570,133	1	60570,133	788,674	,000
Cncentration	29992,533	4	7498,133	97,632	,000
ML	1984,533	1	1984,533	25,840	,000
Cncentration * ML	2188,800	4	547,200	7,125	,001
Erreur	1536,000	20	76,800		
Total	96272,000	30			
Total corrigé	35701,867	29			

a. R-deux = ,957 (R-deux ajusté = ,938)

## Annexe II

### Tests des effets intersujets

Variable dépendante: TMG

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Modèle corrigé	9,426 <sup>a</sup>	9	1,047	,619	,767
Constante	251,946	1	251,946	148,849	,000
Cncentration	,199	4	,050	,029	,998
ML	6,354	1	6,354	3,754	,067
Cncentration * ML	2,872	4	,718	,424	,789
Erreur	33,853	20	1,693		
Total	295,225	30			
Total corrigé	43,279	29			

a. R-deux = ,218 (R-deux ajusté = -,134)

### Annexe III

#### Tests des effets intersujets

Variable dépendante: TR

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Modèle corrigé	26,184 <sup>a</sup>	9	2,909	77,392	,000
Constante	15,170	1	15,170	403,547	,000
Con	26,105	4	6,526	173,603	,000
ML	,000	1	,000	,000	1,000
Con * ML	,080	4	,020	,530	,715
Erreur	,752	20	,038		
Total	42,107	30			
Total corrigé	26,936	29			

a. R-deux = ,972 (R-deux ajusté = ,960)

## Annexe IV

### Tests des effets intersujets

Variable dépendante: TH

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Modèle corrigé	11,244 <sup>a</sup>	9	1,249	13,498	,000
Constante	5,518	1	5,518	59,622	,000
Con	11,162	4	2,790	30,149	,000
ML	,029	1	,029	,314	,582
Con * ML	,053	4	,013	,143	,964
Erreur	1,851	20	,093		
Total	18,613	30			
Total corrigé	13,095	29			

a. R-deux = ,859 (R-deux ajusté = ,795)

## Annexe V

### Tests des effets intersujets

Variable dépendante: IVP

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Modèle corrigé	463612,655 <sup>a</sup>	9	51512,517	58,778	,000
Constante	220917,845	1	220917,845	252,075	,000
Con	462348,258	4	115587,065	131,889	,000
ML	14,054	1	14,054	,016	,900
Con * ML	1250,343	4	312,586	,357	,836
Erreur	17527,953	20	876,398		
Total	702058,453	30			
Total corrigé	481140,608	29			

a. R-deux = ,964 (R-deux ajusté = ,947)

## Annexe VI

### Tests des effets intersujets

Variable dépendante: PS

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Modèle corrigé	158386,869 <sup>a</sup>	7	22626,696	15,206	,000
Constante	292633,756	1	292633,756	196,662	,000
Con	154144,119	3	51381,373	34,530	,000
ML	586,875	1	586,875	,394	,539
Con * ML	3655,875	3	1218,625	,819	,502
Erreur	23808,092	16	1488,006		
Total	474828,718	24			
Total corrigé	182194,962	23			

a. R-deux = ,869 (R-deux ajusté = ,812)

## Résumé

La pollution par les métaux lourds est devenue un véritable problème menaçant notre écosystème, avec des effets nuisibles sur la production végétale et sur la biodiversité. L'objectif de notre travail est d'étudier séparément l'influence du cadmium et du nickel, sous forme de  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  et  $\text{NiSO}_4$ , respectivement, à des différentes doses de 0, 50, 100, 150 et 200 ppm, sur le taux et la vitesse de germination ainsi que sur le début de croissance des graines *Ballota hirsuta* Benth. sous conditions contrôlées (température fixée à 22°C et dans obscurité pendant 20 jours). Les résultats obtenus montrent que les deux métaux lourds affectent de manière non significative le taux final de germination, soulignant que le Ni à 50 ppm avait un effet stimulant sur le PFG. Le Cd augmente la vitesse de germination alors que le Ni ralentissait le déclenchement de la germination. Ces deux métaux influencent sévèrement et de manière identique la croissance de la radicule et de l'hypocotyle surtout au concentrations de 150 et 200 ppm. Notre espèce avait une tolérance germinative intéressante vis-à-vis du Ni à 50 et 100 ppm, cependant, l'augmentation du taux des protéines solubles proportionnellement aux concentrations métalliques suggère que cette espèce acquière un mécanisme adaptatif probablement par une synthèse d'enzymes antioxydants et d'autres molécules telles que la proline. Cela stipule que cette plante peut être une potentielle candidate pour la restauration des milieux contaminés par le nickel.

**Mots-clés:** *Ballota hirsuta*;  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{NiSO}_4$ ; Germination; phytoremédiation; protéines solubles.

## Abstract

Heavy metal pollution has become a real problem threatening our ecosystem, with adverse effects on crop production and biodiversity. The objective of this investigation is to evaluate separately the influence of cadmium as  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  and nickel as  $(\text{NiSO}_4)$  with different doses of 0, 50, 100, 150 and 200 ppm on the percentage and speed of germination as well as on the early seedling growth of *Ballota hirsuta* Benth. under controlled conditions (cardinal temperature of 22°C and in darkness during 20 days). The results obtained showed that the two heavy metals affect the final germination percentage in a non-significant manner, highlighting that Ni at 50 ppm had stimulated the PFG. The germination rate has been increased by the application of Cd, while Ni postponed the onset of germination. These two metals have a relatively severe and similar impact on the growth of the radicle and the hypocotyls length, especially at concentrations of 150 and 200 ppm. *Ballota hirsuta* had an interesting germinative tolerance towards Ni at 50 and 100 ppm. The increase in the level of soluble proteins biosynthesis concomitantly with the metallic concentrations suggests that this species acquires an adaptive biochemical mechanism probably through a synthesis of antioxidant enzymes and other molecules such as proline. This stipulates that this plant can be a potential candidate for the restoration of soils contaminated by nickel under semi-arid Mediterranean bioclimate.

**Key words:** *Ballota hirsuta*;  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{NiSO}_4$ ; Germination; phytoremédiation; soluble proteins.