

Réf :.....

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

## **MASTER**

### *Thème*

**Essais de germination sous une contrainte  
imposée par l'utilisation d'un métal trace**

Présenté par :

**Bekhouche Ilham & Benberkat Nessrine**

Soutenu le : **21 Juin 2018**

Devant le jury composé de :

Mlle <i>Benmouhoub H.</i>	MAA	Président
Mr <i>Benadjaoud A.</i>	MCB	Encadreur
Mr <i>Ramdani N.</i>	MAA	Examineur

**Année universitaire : 2017 / 2018**

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A mes parents :*

*Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu  
créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.*

*Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et  
mes profonds sentiments envers eux. Que dieu leur procure  
bonne santé et longue vie.*

*À mes frères et mes sœurs :*

*Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de  
reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.*

*Pour mes très chers amis :*

*À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce  
Projet soit possible, je vous dis merci.*

*Ilham*

# Remerciements

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr BENADJAOU D. Ali.**

On le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous sommes conscientes de l'honneur que nous fait

**M<sup>elle</sup> BENMOUHOUB H.** en étant présidente du jury et

**Mr RAMDANI N.** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos remerciements vont à **Mme Benadjaoud D.** pour ses conseils, explications fournies et ses encouragements.

Nos remerciements s'adressent à tous le personnel de laboratoire d'Ecopédologie.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos Professeurs pour leurs générosité et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

# Dédicace

*Avant tout c'est grâce à Allah je suis arrivé à ce Stade*

*Je dédie ce modeste travail à :*

***A mes chères parents***

*Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent  
de me combler Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

***A mes très chères sœurs et mon frère***

*Dounia Iness et Tasnime*

*Abderrahmane.*

*A mes très chères Amis Asma Nora Ilham Fouzia Marina et Sonia*

***A mes chères copines de chambre***

*Yasmina et Wanissem*

***Et à tous ceux que ma réussite leur tient à cœur***

***NESSRI***

---

---

# Sommaire

<b>I. Introduction</b>	<b>01</b>
<b>II. Analyse Bibliographique</b>	<b>02</b>
<b>II.1. Généralités sur <i>Parkinsonia aculeata</i> L.</b>	<b>02</b>
<b>II.1.1. Origine</b>	<b>02</b>
<b>II.1.2. Caractérisation botanique</b>	<b>02</b>
<b>II.1.2.1. Position systématique</b>	<b>02</b>
<b>II.1.2.2. Description morphologique</b>	<b>02</b>
<b>II.1.3. Propagation de <i>Parkinsonia aculeata</i> L.</b>	<b>04</b>
<b>II.1.4. Caractérisation écologique</b>	<b>04</b>
<b>II.1.5. Domaines d'utilisation de <i>Parkinsonia aculeata</i> L.</b>	<b>05</b>
<b>II.1.6. <i>Parkinsonia aculeata</i> L. en Algérie</b>	<b>05</b>
<b>II.2. Généralités sur la germination</b>	<b>05</b>
<b>II.2.1. Définitions</b>	<b>05</b>
<b>II.2.1.1. Définition de la graine</b>	<b>05</b>
<b>II.2.1.2. Définition du processus de la germination</b>	<b>06</b>
<b>II.2.2. Conditions de la germination</b>	<b>06</b>
<b>II.2.2.1. Conditions internes de la germination</b>	<b>06</b>
<b>II.2.2.2. Conditions externes de la germination</b>	<b>06</b>
<b>II.2.3. Différentes phases de la germination</b>	<b>07</b>
<b>II.2.3.1. Phase d'imbibition</b>	<b>07</b>
<b>II.2.3.2. Phase de germination <i>sensu stricto</i></b>	<b>07</b>
<b>II.2.3.3. Phase de croissance</b>	<b>07</b>
<b>II.2.4. Obstacles à la germination</b>	<b>08</b>
<b>II.2.4.1. Dormance embryonnaire</b>	<b>08</b>
<b>II.2.4.2. Dormance tégumentaire</b>	<b>08</b>
<b>II.2.5. Levée des dormances</b>	<b>08</b>
<b>II.2.5.1. Levées naturelles des dormances</b>	<b>08</b>

---

# Sommaire

<b>II.2.5.2.</b> Levées artificielles des dormances	<b>08</b>
<b>II.3.</b> Généralités sur les stress	<b>09</b>
<b>II.3.1.</b> Définition du stress	<b>09</b>
<b>II.3.2.</b> Catégories de stress	<b>09</b>
<b>II.3.3.</b> Stress métallique et métaux lourds	<b>10</b>
<b>II.3.3.1.</b> La pollution aux métaux lourds	<b>10</b>
<b>II.3.3.2.</b> Présentation des métaux lourds	<b>10</b>
<b>II.3.4.</b> Nickel	<b>11</b>
<b>II.3.4.1.</b> Caractéristiques chimiques	<b>11</b>
<b>II.3.4.2.</b> Caractéristiques nucléaires	<b>11</b>
<b>II.3.4.3.</b> Domaines d'utilisation	<b>11</b>
<b>II.3.4.4.</b> Effets du nickel	<b>12</b>
<b>III. Matériel &amp; Méthodes</b>	<b>13</b>
<b>III.1.</b> Matériel	<b>13</b>
<b>III.1.1.</b> Matériel végétal	<b>13</b>
<b>III.1.1.1.</b> Origine des graines	<b>13</b>
<b>III.1.1.2.</b> Traitement des graines	<b>13</b>
<b>III.1.1.3.</b> Imbibition des graines	<b>13</b>
<b>III.1.1.4.</b> Germination des graines	<b>13</b>
<b>III.1.2.</b> Préparation de la solution du sulfate de nickel	<b>14</b>
<b>III.1.2.1.</b> Sulfate de nickel	<b>14</b>
<b>III.1.2.2.</b> Préparation	<b>14</b>
<b>III.2.</b> Méthodes	<b>14</b>
<b>III.2.1.</b> Taux cumulés de germination	<b>14</b>
<b>III.2.2.</b> Pourcentage de réduction de la germination	<b>15</b>
<b>III.2.3.</b> Temps moyens de germination	<b>15</b>
<b>III.2.4.</b> Coefficient de Kotowski	<b>15</b>

---

## Sommaire

III.2.5. Indice de germination	16
III.2.6. Indice de vigueur	16
III.2.7. Etude statistique	16
<b>IV. Résultats &amp; Discussion</b>	<b>17</b>
IV.1. Résultats	17
IV.1.1. Taux cumulés de germination des graines de <i>Parkinsonia aculeata</i> L.	17
IV.1.1.1. Taux cumulés du lot témoin	17
IV.1.1.2. Taux cumulés du lot traité par une [25 ppm] en NiSO <sub>4</sub>	17
IV.1.1.3. Taux cumulés du lot traité par une [50 ppm] en NiSO <sub>4</sub>	18
IV.1.1.4. Taux cumulés du lot traité par une [150 ppm] en NiSO <sub>4</sub>	19
IV.1.1.5. Taux cumulés du lot traité par une [300 ppm] en NiSO <sub>4</sub>	20
IV.1.1.6. Taux cumulés du lot traité par une [450 ppm] en NiSO <sub>4</sub>	21
IV.1.1.7. Taux cumulés du lot traité par une [600 ppm] en NiSO <sub>4</sub>	22
IV.1.1.8. Taux cumulés de l'ensemble des lots traités par du NiSO <sub>4</sub>	23
IV.1.2. Vitesse de germination des graines de <i>Parkinsonia aculeata</i> L.	25
IV.1.2.1. Temps moyens de germination	25
IV.1.2.2. Coefficient de Kotowski	26
IV.1.3. Indice de germination	27
IV.1.4. Indice de vigueur	28
IV.2. Discussion	28
<b>V. Conclusion</b>	<b>32</b>
<b>VI. Références Bibliographiques</b>	<b>34</b>

---

## Abréviations

[ ]	Concentration
<b>CK</b>	Coefficient de Kotowski
<b>ETM</b>	Eléments traces métalliques
<b>Fig.</b>	Figure
<b>g / cm<sup>3</sup></b>	Gramme / centimètre cube
<b>g / mol</b>	Gramme / mol
<b>IC</b>	Intervalle de confiance
<b>IG</b>	Indice de germination journalier ou capacité de germination journalière
<b>IVG</b>	Indice de vigueur de germination ou pourcentage de vitalité des graines
<b>mg / L</b>	Milligramme / Litre
<b><sup>62</sup>Ni</b>	Nucléide nickel
<b>Ni<sup>2+</sup></b>	Ion nickel
<b>NiSO<sub>4</sub></b>	Sulfates de nickel
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxygène
<b>ppm</b>	Partie par million
<b>PRG</b>	Pourcentage de réduction de la germination
<b>Tab.</b>	Tableau
<b>TCG</b>	Taux cumulés moyens de germination
<b>TMG</b>	Temps moyens de germination
<b>UICPA</b>	Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée

---

## Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. et traitées par une [25 ppm] en NiSO <sub>4</sub> comparativement au lot témoin.	18
02	Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. et traitées par une [50 ppm] en NiSO <sub>4</sub> comparativement au lot témoin.	18
03	Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. et traitées par une [150 ppm] en NiSO <sub>4</sub> comparativement au lot témoin.	19
04	Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. et traitées par une [300 ppm] en NiSO <sub>4</sub> comparativement au lot témoin.	21
05	Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. et traitées par une [450 ppm] en NiSO <sub>4</sub> comparativement au lot témoin.	22
06	Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. et traitées par une [600 ppm] en NiSO <sub>4</sub> comparativement au lot témoin.	23
07	Taux cumulés moyens de germination maximums obtenus à la fin des dénombrements et le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en NiSO <sub>4</sub> comparativement au lot témoin.	25
08	Temps moyens de germination des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en NiSO <sub>4</sub> .	25
09	Coefficient de Kotowski des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en NiSO <sub>4</sub> .	26

---

## Liste des tableaux

- 10** Indice de germination journalier des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en NiSO<sub>4</sub>. **27**
- 11** Indice de vigueur de germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en NiSO<sub>4</sub>. **28**
- 12** Récapitulatif des résultats finaux obtenus pour les différents paramètres analysés en suivant les germinations des graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en NiSO<sub>4</sub>. **29**

---

## Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Aspect général présenté par <i>Parkinsonia aculeata</i> L. ( <b>a</b> ) avec son tronc verdâtre ( <b>b</b> ), ses feuilles organisées en folioles ( <b>c</b> ) et ses fleurs jaunâtres ( <b>d</b> ).	03
02	Aperçu sur les gousses ( <b>a</b> ) et graines en forme de haricot de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. ( <b>b</b> ).	04
03	Différentes phases de la germination des semences d'après Evenari (1957).	07
04	Principaux stress abiotiques.	09
05	Les différentes voies de pollution aux métaux lourds.	10
06	Fiche technique du sulfate de nickel (NiSO <sub>4</sub> ).	14
07	Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. témoins et traitées par une [25 ppm] en NiSO <sub>4</sub> en fonction du temps.	17
08	Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. témoins et traitées par une [50 ppm] en NiSO <sub>4</sub> en fonction du temps.	19
09	Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. témoins et traitées par une [150 ppm] en NiSO <sub>4</sub> en fonction du temps.	20
10	Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. témoins et traitées par une [300 ppm] en NiSO <sub>4</sub> en fonction du temps.	21
11	Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. témoins et traitées par une [450 ppm] en NiSO <sub>4</sub> en fonction du temps.	22
12	Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. témoins et traitées par une [600 ppm] en NiSO <sub>4</sub> en fonction du temps.	23
13	Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en NiSO <sub>4</sub> en fonction du temps.	24

---

## Introduction

Les métaux sont omniprésents dans les eaux de surface et les sols sous différentes formes, mais avec des concentrations généralement très faibles d'où leur dénomination de métaux traces ou éléments traces métalliques ou *ETM* (Miquel, 2001).

L'origine des *ETM* dans les sols peut être naturelle, provenant de l'altération de la roche mère. Cependant, la majorité des *ETM* retrouvées dans l'environnement est d'origine anthropique. Ces deux derniers siècles, les activités humaines ont largement contribué à l'enrichissement des sols en *ETM*. Les principales sources de contamination des sols sont l'épandage agricole, le trafic routier et surtout les activités industrielles (Muschitz, 2009).

Le nickel est parmi les principaux métaux lourds générés par les activités anthropiques. C'est un élément essentiel pour les végétaux supérieurs, mais l'excès en nickel peut induire une toxicité. Certaines espèces végétales sont capables de tolérer, s'adapter et même accumuler fortement le nickel (McGrath, 1995). Les stratégies d'adaptation sont néanmoins conditionnées par la biodisponibilité du métal, par sa concentration et par la durée de l'exposition (Godé *et al.* 2012).

Au niveau de la germination, les graines du sol peuvent être directement influencées par la présence d'un *ETM*. Ses effets sur le pouvoir germinatif des graines d'espèces diverses sont naturellement différents par rapport aux différences interspécifiques qui caractérisent la structure des semences, en particulier au niveau de l'enveloppe tégumentaire. Le pourcentage des graines capables de germer dépendra de ses différences interspécifiques et aussi du type du métal administré et de sa concentration (Mirecki *et al.* 2015).

*Parkinsonia aculeata* L. est une espèce intéressante, assez résistante aux conditions abiotiques de l'environnement tel que la salinité, l'inondation et la sécheresse (Orwa *et al.* 2009 ; Fabricante and Feitosa, 2010). Quant est-il de ses capacités de résistance aux métaux lourds ? Avant d'envisager un quelconque travail dans cette optique, on a choisi de prime abord de tester et d'évaluer l'effet d'un métal lourd, sur le pouvoir germinatif des graines de *Parkinsonia aculeata* L., un stade très important dans le cycle de vie d'une plante.

Pour ce faire, le nickel sous sa forme NiSO<sub>4</sub> a été choisi pour nos tests. Des applications de différentes concentrations ont été testées (large spectre variant de 25 à 600 ppm) sur les graines de *Parkinsonia aculeata* L. pour rendre au mieux des effets de cet *ETM* sur la germination.

## Chapitre II

### Analyse Bibliographique

#### II.1. Généralités sur *Parkinsonia aculeata* L.

##### II.1.1. Origine

Plusieurs auteurs notent qu'il est difficile de déterminer avec exactitude l'origine naturelle de *Parkinsonia aculeata* L. Néanmoins, des études montrent que l'espèce est bien établie dans tout le Mexique, les Antilles et l'Amérique du Sud (**Hawkins et al. 2007**).

##### II.1.2. Caractérisation botanique

###### II.1.2.1. Position systématique

*Parkinsonia aculeata* L. connu aussi par Epine de Jérusalem ou *Parkinsonia* épineuse appartient à la famille des *Fabaceae*. Le nom de genre *Parkinsonia* a été donné en honneur au botaniste Anglais *John Parkinson* (1667-1650), tandis que le nom de l'espèce *aculeata* fait référence à sa tige épineuse. Selon la classification de **Cronquist (1981)**, la position systématique de *Parkinsonia aculeata* L. est la suivante :

<b>Règne :</b>	Plantae
<b>Sous-règne :</b>	Tracheobionta
<b>Division :</b>	Magnoliophyta
<b>Classe :</b>	Magnoliopsida
<b>Sous-classe :</b>	Rosidae
<b>Ordre :</b>	Fabales
<b>Famille :</b>	Fabaceae
<b>Genre :</b>	<i>Parkinsonia</i>
<b>Espèce :</b>	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.

###### II.1.2.2. Description morphologique

*Parkinsonia aculeata* L. est un petit arbre de 3 à 4 m de haut pouvant atteindre 10 m en milieu humides (**Fig. 1a**). Son tronc est court de couleur verdâtre lorsqu'il est jeune devenant brun avec l'âge (**Fig. 1b**). Les rameaux sont longs, fins et glabres. Ils sont verts au jeune âge devenant gris brun par la suite.

## Chapitre II

### Analyse Bibliographique

Les épines isolées, insérées sous la base des feuilles sont de 7 à 12 mm de long, les stipules sont courtes et pointues, au nombre de deux situées à la base des feuilles (**Arbonnier, 2009**).

Les feuilles de *Parkinsonia aculeata* L. sont petites, alternes et composées de nombreuses folioles de forme ovale et d'une couleur vert foncé (**Fig. 1c**).

L'inflorescence est en grappe de huit à dix fleurs. La fleur est jaune, composée de cinq sépales et de cinq pétales. Quatre des pétales sont de forme ovale, le cinquième est allongé, avec des taches jaune rougeâtre à la base (**Fig. 1d**). Les étamines sont disposées en alternance, longues et courtes au nombre de 10 (**Lusweti, 2011**).

(a)



(b)



(c)



(d)



**Figure 1** : Aspect général présenté par *Parkinsonia aculeata* L. (a) avec son tronc verdâtre (b), ses feuilles organisées en folioles (c) et ses fleurs jaunâtres (d) (<http://www.ehorticulture.com/> ; [http://www.mi-aime-a-ou.com/parkinsonia\\_aculeata.php](http://www.mi-aime-a-ou.com/parkinsonia_aculeata.php)).

## Chapitre II

### Analyse Bibliographique

Le fruit de *Parkinsonia aculeata* L. est une gousse linéaire, striée et déhiscente (**Fig. 2a**). La gousse fait 5 à 15 cm de long et moins de 1 cm de large, renfermant 1 à 5 graines de forme oblongue et de couleur brune foncée (**Fig. 2b**) (**Wagner et al. 1999 ; Fournier, 2004**).

(a)



(b)



**Figure 2 :** Aperçu sur les gousses (a) et graines en forme de haricot de *Parkinsonia aculeata* L. (b) (<http://www.sitegrainesdumonde.com/index.php> ?).

#### II.1.3. Propagation de *Parkinsonia aculeata* L.

La multiplication de *Parkinsonia aculeata* L. s'effectue par semis (**Cochard and Jackes, 2005**) ou par bouturage de fragments juvéniles de tige (**Abedini, 2005**). On peut également régénérer des plants de *Parkinsonia in vitro*, par néoformation de bourgeons et racines sur cals (**Benadjaoud et Aïd, 1999**).

#### II.1.4. Caractérisation écologique

*Parkinsonia aculeata* L. est extrêmement rustique et prospère dans des milieux humides, comme elle pousse en régions semi-arides. Les plants peuvent survivre à des inondations saisonnières et supportent des saisons sèches de plus de 8 mois. *Parkinsonia aculeata* L. est considéré comme étant l'espèce la plus tolérante à la sécheresse parmi les plantes exotiques qui poussent au Sahel. Il peut croître sur plusieurs types de sols, comme il tolère un large éventail de sols à pH différents (**Orwa et al. 2009**).

*Parkinsonia aculeata* L. ne fixe pas l'azote et ne contracte donc aucune association avec le genre *Rhizobium* (**Sprent, 1987**).

## Chapitre II

### Analyse Bibliographique

#### II.1.5. Domaines d'utilisation de *Parkinsonia aculeata* L.

*Parkinsonia aculeata* L. est largement utilisé comme haie épineuse, comme plante de brise-vent et également comme arbre ornemental pour ses fleurs jaunâtres et son tronc verdâtre (Dimmitt, 1987).

Son bois est assez dur, utilisé comme bois de chauffage et dans la fabrication du papier (Burkill, 1995). L'espèce fournit une grande quantité de litière qui participe à l'amendement des sols après décomposition. Les feuilles et les gousses sont utilisées comme fourrage (Stewart *et al.* 1992 ; Orwa *et al.* 2009). Au plan médicinal, les fruits et la décoction de tiges sont pris par voie orale pour traiter la fièvre et le paludisme. Des extractions de fleurs et de feuilles dans l'alcool sont appliquées en cataplasme pour traiter les rhumatismes (Orwa *et al.* 2009).

#### II.1.6. *Parkinsonia aculeata* L. en Algérie

*Parkinsonia aculeata* L. a été introduit en Algérie, notamment dans la région de Tamanrasset (sud Algérien) en provenance des pays avoisinants du Sahel. Il est rencontré dans les jardins comme plante d'ornement et s'avère très résistant aux conditions de sécheresse. Des travaux ont été menés sur cette espèce pour montrer les capacités de résistance aux conditions d'un déficit hydrique (Benadjaoud *et al.* 2013).

### II.2. Généralités sur la germination

#### II.2.1. Définitions

##### II.2.1.1. Définition de la graine

Selon le Larousse, la graine est un organe dormant qui résulte de la fécondation et du développement de l'ovule chez les phanérogames, et qui est apte, après germination, à reproduire un nouvel individu. Elle comprend une enveloppe, ou tégument, et une amande. La partie essentielle de l'amande est l'embryon. Celui-ci comprend une radicule, que prolonge une tigelle portant les cotylédons (1 ou 2 respectivement pour les monocotylédones et dicotylédones). L'embryon est souvent plongé dans un tissu de réserve, l'albumen. Dans les graines sans albumen, les réserves nutritives sont accumulées dans les cotylédons.

## Chapitre II

### Analyse Bibliographique

#### II.2.1.2. Définition du processus de la germination

La germination est un processus dont les limites correspondent au temps qui s'écoule entre l'imbibition de la semence et le début de la croissance de la radicule. C'est l'ensemble des phénomènes par lesquels la plantule commence une vie active et se développe grâce aux réserves contenues en son sein, en d'autre terme c'est le passage de l'état de vie ralentie à l'état de vie active (Lafon et al. 1998).

#### II.2.2. Conditions de la germination

##### II.2.2.1. Conditions internes de la germination

Avant la germination, la graine doit répondre à de nombreuses conditions internes qui sont :

- La **maturité** : toutes les parties constitutives de la graine doivent être complètement différenciées morphologiquement (Heller et al. 2000).
- Les **nutriments** : les substances nutritives (amidon, protéines, lipides ou autres) doivent être disponibles pour l'embryon à travers l'activation des enzymes et des voies spécifiques (Miransari and Smith, 2009).
- La **longévité** : autrement dit, c'est la durée pendant laquelle les semences restent vivantes et gardent leur pouvoir germinatif. Cette dernière condition varie considérablement en fonction des espèces et des conditions environnementales (Heller et al. 2000).

##### II.2.2.2. Conditions externes de la germination

La graine exige la réunion des conditions extérieures favorables à savoir :

- L'**eau** : selon Chaussat et Le Deunff (1975), la germination exige obligatoirement de l'eau, apportée à l'état liquide. Elle pénètre par capillarité dans les enveloppes afin d'être utilisée par l'embryon, provoquant ainsi le gonflement des cellules, donc leur division.
- L'**oxygène** : selon Mazliak (1982), une faible quantité d'oxygène peut être suffisante pour permettre la germination.
- La **température** : la température est fondamentale pour la germination. Elle agit sur la vitesse de consommation d'O<sub>2</sub> par l'embryon et sur les réactions d'oxydation des composés phénoliques (Mazliak, 1982).

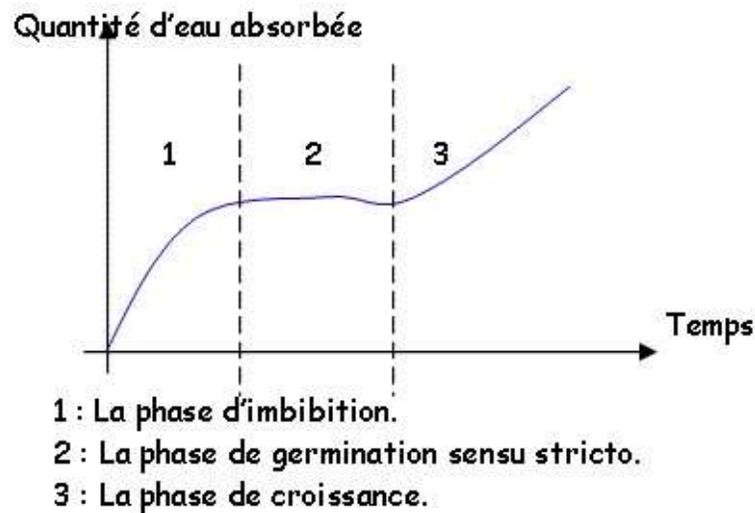
# Chapitre II

---

## Analyse Bibliographique

### II.2.3. Différentes phases de la germination

Des mesures de l'imbibition et de l'activité respiratoire des semences au cours de la germination ont permis de déceler l'existence de trois phases (**Fig. 3**) (**Evenari, 1957**).



**Figure 3** : Différentes phases de la germination des semences d'après Evenari (1957).

#### II.2.3.1. Phase d'imbibition

Pendant cette phase, la graine absorbe l'eau du milieu externe. Elle gonfle et le tégument se rompt. L'imbibition peut durer de quelques minutes à trois heures suivant la structure et la perméabilité des téguments. On assiste à la reprise des activités métaboliques, il faut donc de l'énergie. Dans ce cas, la respiration est très active.

#### II.2.3.2. Phase de germination *sensu stricto*

C'est une phase caractérisée par une stabilisation de l'hydratation et de l'activité respiratoire. Cette seconde phase se termine par la sortie de la radicule. Cette sortie marque le passage d'un état physiologique réversible à un état irréversible.

#### II.2.3.3. Phase de croissance

Durant cette phase, la graine reprend l'absorption de l'eau avec une élévation de la consommation d'oxygène. On assiste à la croissance et au développement des racines et de la tige.

## Chapitre II

### Analyse Bibliographique

#### II.2.4. Obstacles à la germination

Ce sont tous les phénomènes qui empêchent la germination de l'embryon lorsqu'il est placé en conditions convenables pour la germination (**Mazliak, 1982**).

##### II.2.4.1. Dormance embryonnaire

L'embryon peut être dormant au moment de la récolte des semences on parle de dormance primaire. Sinon, l'embryon perd l'aptitude à germer influencé par divers facteurs défavorables, on parle de dormance secondaire. Ce type de dormance est sous contrôle hormonal.

##### II.2.4.2. Dormance tégumentaire

L'inhibition tégumentaire se rencontre chez les semences dont les enveloppes sont totalement imperméables ou pas suffisamment perméables à l'eau ou à l'oxygène.

#### II.2.5. Levée des dormances

##### II.2.5.1. Levées naturelles des dormances

Par l'altération des enveloppes sous l'effet des alternances de sécheresse, d'humidité, de gel et de réchauffement (**Soltner, 2007**).

##### II.2.5.2. Levées artificielles des dormances

Par les différentes méthodes dont on pourra citer :

- **Stratification** : ce traitement consiste à placer les semences au froid dans un milieu humide (terre, sable, tourbe) en période déterminée selon l'espèce (**Lafon et al. 1998**).
- **Lixiviation** : par le trempage ou le lavage à l'eau, pour éliminer les inhibiteurs hydrosolubles (**Lafon et al. 1998**).
- **Traitements oxydants** : on préconise dans ce traitement l'emploi de l'eau oxygénée pour améliorer la germination (**Mazliak, 1982**).
- **Scarification** : il suffit souvent de blesser plus ou moins profondément les enveloppes pour faciliter la germination. On peut le faire de façon mécanique (coupe, pique, décortication, battage des enveloppes, etc.) ou par voie chimique (immersion dans de l'acide sulfurique, lyophilisation dans de l'azote liquide, etc.) (**Lafon et al. 1998**).

### II.3. Généralités sur les stress

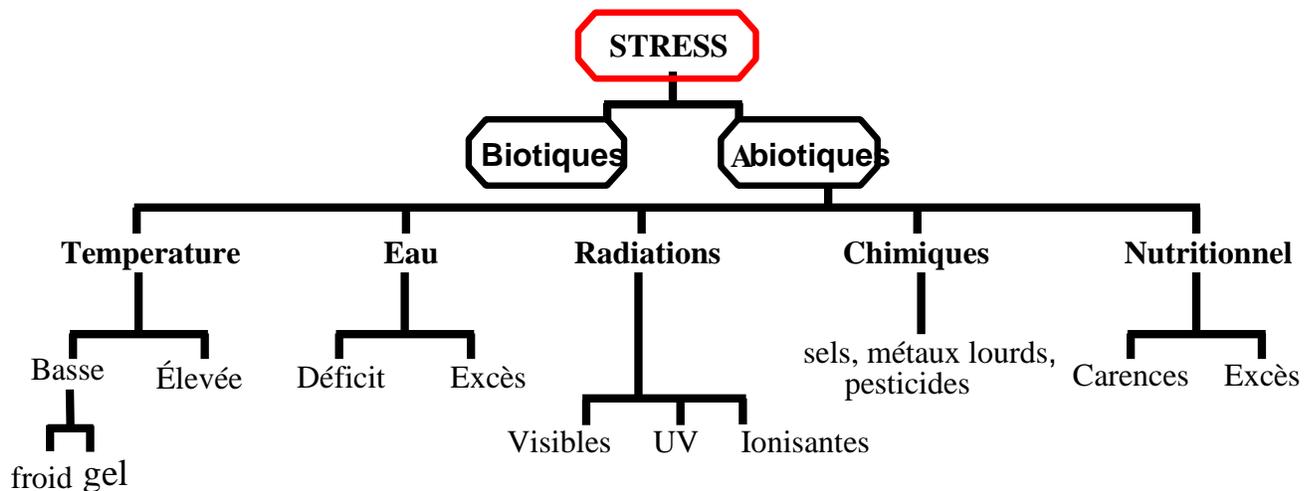
#### II.3.1. Définition du stress

Il s'agit d'une perturbation du fonctionnement de l'organisme, sous l'action des facteurs externes agressifs (pluie, chaleur, etc.) et internes (agression microbienne, etc.). D'un point de vu physique, le stress est un concept de mécanique, défini comme étant une force exercée par unité de surface d'un objet. En réponse au stress, l'objet oppose une déformation ou un changement de dimensions (Hopkins, 2003).

#### II.3.2. Catégories de stress

On distingue 2 catégories de stress :

- **Biotiques** : stress imposé par les autres organismes (insectes, herbivores, etc.).
- **Abiotiques** : stress provoqué par un déficit ou un excès de l'environnement comme c'est le cas pour l'eau (sécheresse ou inondations), les températures extrêmes (basses ou élevées). Il peut aussi être d'ordre nutritionnel (carence ou excès) ou bien d'ordre chimique imposé par les sels, les pesticides ou bien par les métaux lourds etc. (Fig. 4).



d

**Figure 4** : Principaux stress abiotiques (<http://sites.unice.fr/EB/topicS12016/BAE2015.pdf>).

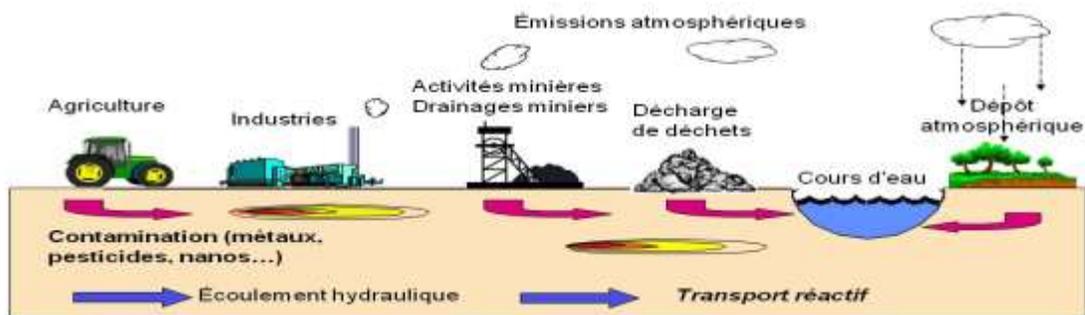
# Chapitre II

## Analyse Bibliographique

### II.3.3. Stress métallique et métaux lourds

#### II.3.3.1. La pollution aux métaux lourds

Les métaux lourds et le métalloïde sont un problème écologique croissant dans le monde entier. On les retrouve dans l'air, l'eau, les sols et par conséquent au niveau des plantes, des animaux et des poissons. Leur présence est liée essentiellement à l'activité humaine, l'industrialisation rapide, les activités anthropogènes accrues et les méthodes d'élimination des déchets (**Fig. 5**) (**Cakmak, 2000** ; **Gremion, 2003**).



**Figure 5** : Les différentes voies de pollution aux métaux lourds.

#### II.3.3.2. Présentation des métaux lourds

On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (élément qui combine certaines caractéristiques du métal comme l'arsenic par exemple) caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 grammes par  $\text{cm}^3$  (**Adriano, 2001**). A cet effet 41 métaux correspondent à cette définition générale auxquels il faut ajouter cinq métalloïdes.

Si les métaux lourds sont au nombre de 41, les éléments traces métalliques suivants sont les plus contrôlés : Arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, sélénium et zinc.

Tous les éléments traces métalliques sont présents naturellement à l'état de traces dans le sol. En effet, ils sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles. On dit que les métaux sont présents 'en traces'.

## Chapitre II

### Analyse Bibliographique

Un grand nombre de métaux lourds sont utiles pour la vie comme le fer pour le transport de l'oxygène. Cependant, ils deviennent toxiques lorsque leur concentration augmente comme l'arsenic, l'argent, l'aluminium ou le plomb. De plus, parmi les éléments traces métalliques, 4 n'ont aucun rôle profitable pour notre organisme, et peuvent tout au contraire induire des maladies graves : le mercure, le plomb, le nickel et le cadmium (**Magdelaine, 2018** – [www.notreplanete.info](http://www.notreplanete.info)).

#### II.3.4. Nickel

Le nickel a été isolé en 1751 par Axel Fredrik Cronstedt à Stockholm (Suède). Le nom de nickel vient de l'allemand kupfernickel signifiant cuivre du diable ou cuivre de Saint Nicolas.

##### II.3.4.1. Caractéristiques chimiques

Le nickel peut se présenter sous la forme d'un métal blanc-bleuâtre, brillant, malléable et facilement déformable. D'un point de vue chimique, le nickel est proche du cobalt, du fer et du cuivre. Il est peu réactif et s'oxyde facilement. Il est utilisé comme catalyseur de réactions d'hydrogénation, c'est un très bon conducteur électrique et thermique. L'ion le plus répandu est l'ion  $\text{Ni}^{2+}$  de couleur verte. Le nickel est l'un des quatre éléments qui sont ferromagnétiques au voisinage de la température ambiante (<http://national.udppc.asso.fr>).

##### II.3.4.2. Caractéristiques nucléaires

Le nickel comporte cinq isotopes stables, le  $^{62}\text{Ni}$  est le nucléide le plus stable de tous les éléments existants. Il a la plus grande énergie de liaison par nucléon. Le noyau du nucléide  $^{56}\text{Ni}$  est doublement 'magique' (28 protons, 28 neutrons). Il occupe une place importante dans les processus de fusion à partir du silicium  $^{28}\text{Si}$  (<http://national.udppc.asso.fr>).

##### II.3.4.3. Domaines d'utilisation

Le nickel trouve une large gamme d'utilisation dans le domaine industriel. Une grande partie de la consommation de Ni sert à la production d'alliages avec le cuivre, le fer, le manganèse, le zinc et le chrome. Le nickel est d'ailleurs utilisé pour la fabrication d'aciers spéciaux résistants à la corrosion et à la chaleur.

Le nickel est aussi employé dans d'autres applications comme le revêtement électrolytique, dans la préparation de catalyseurs et la production de batteries (**Nogueira and Margarido, 2012**).

## Chapitre II

---

### Analyse Bibliographique

#### II.3.4.4. Effets du nickel

- **Sur la santé** : le nickel absorbé par l'organisme par ingestion orale, se retrouve surtout dans le foie, les reins, l'aorte, le cœur, la rate et le cerveau. Le carbonyle du nickel est le seul composé reconnu pour être systématiquement toxique vis à vis de l'homme, il est cancérigène touchant principalement les voies respiratoires (poumons, cavité nasale). Les normes pour le nickel dans l'eau de consommation est fixée à 0,05 mg/L (**Bennett, 1982**).

- **Sur les végétaux** : le nickel n'a pas toujours été considéré comme un élément essentiel pour la croissance des plantes, mais des recherches ont démontré qu'il a plutôt son importance. L'intervalle normal pour le nickel dans la plupart des tissus végétaux se situe entre 0,05 – 5 ppm. Puisqu'il n'est pas requis en quantités importantes, il est suffisamment disponible en tant que contaminant dans le sol et l'eau. D'ailleurs, les carences en nickel sont rares ou souvent mal diagnostiquées (<http://books.google.dz/books>).

- **Sur la germination des graines** : les besoins en nickel des plantes pourrait être lié à la mobilisation de l'azote lors de la germination des graines. Le nickel est aussi connu pour être un constituant de deux enzymes, l'uréase et l'hydrogénase. L'uréase qui catalyse l'hydrolyse de l'urée est très répandue dans le règne végétal (**Dalton et al. 1988**).

#### III.1. Matériel

##### III.1.1. Matériel végétal

###### III.1.1.1. Origine des graines

Les graines de *Parkinsonia aculeata* L. utilisées dans notre travail proviennent du site de l'arboretum de la station régionale de l'institut national de recherche forestière situé à Tamanrasset (Sud Algérien).

###### III.1.1.2. Traitement des graines

Les graines de *Parkinsonia aculeata* L. sont tout d'abord désinfectées par un passage de 3 à 5 mn dans de l'hypochlorite de sodium concentré (12°), puis sont rincées par 3 lavages successives par de l'eau distillée. Les graines sont ensuite séchées dans du papier absorbant, puis scarifiées mécaniquement au scalpel. Maintenus par une pince, une fente légèrement superficielle est pratiquée sur la face dorsale de chacune des graines, de côté du micropyle, afin de faciliter l'imbibition et permettre l'émergence de la radicule (**Benadjaoud et Aïd, 2004**).

###### III.1.1.3. Imbibition des graines

Les graines de *Parkinsonia aculeata* L. scarifiées sont imbibées durant 3 h dans de l'eau distillée (lot témoin) ou dans une solution de concentration connue en NiSO<sub>4</sub> (lot traité). Cette solution est fréquemment renouvelée pour éliminer les substances phénoliques susceptibles d'être libérées depuis les téguments des graines et qui peuvent nuire à leur germination.

###### III.1.1.4. Germination des graines

Les graines de *Parkinsonia aculeata* L. sont mises à germer dans des boîtes en plastique de forme rectangulaire, tapissées de papier absorbant et humidifiées par 10 ml d'eau distillée (lot témoin) ou 10 ml de la solution de NiSO<sub>4</sub> de concentration connue (lot traité). Les graines ainsi préparées sont déposées (25 graines / boîte) dans une étuve à l'obscurité et à une température de  $27 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Chaque jour pendant les 8 jours de la durée des expérimentations, les graines de *Parkinsonia aculeata* L. sont retirées : les graines qui ont germées sont dénombrées, les autres sont remises de nouveau à germer dans les mêmes conditions énoncées précédemment, en prenant soin de renouveler la boîte et le papier absorbant pour éviter les contaminations.

# Chapitre III

## Matériel & Méthodes

Le critère adopté pour connaître les graines qui ont germées est le critère de la percée de la radicule (Evenari, 1957). Dès que la radicule sort hors du tégument, la graine est comptabilisée comme une graine germée. Ces dénombrements sont répétés chaque jour pendant les 8 jours de la durée des expérimentations.

### III.1.2. Préparation de la solution du sulfate de nickel

#### III.1.2.1. Sulfate de nickel

Le sulfate de nickel utilisé dans les essais de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. est un composé inorganique de formule chimique  $\text{NiSO}_4$  sous forme anhydre, très soluble dans l'eau et source courante d'ions nickel  $\text{Ni}^{2+}$  (Fig. 6).



Masse molaire : 154,75 g/mol  
Masse volumique : 3,68 g/cm<sup>3</sup>  
Point d'ébullition : 840°C  
Formule brute :  $\text{NiSO}_4$  (anhydre)  
Nom UICPA : sulfate de nickel (II)

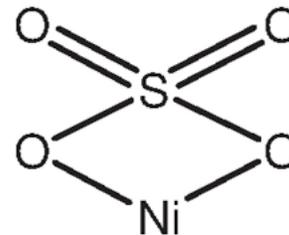


Figure 6 : Fiche technique du sulfate de nickel ( $\text{NiSO}_4$ ).

#### III.1.2.2. Préparation

Une solution mère de sulfate de nickel à 3000 ppm est préparée d'avance. A partir de cette solution, 6 concentrations massiques différentes ont été obtenues : [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm]. Ces solutions sont stockées dans des flacons étiquetés, conservés à l'abri de la lumière et à la température ambiante du laboratoire.

### III.2. Méthodes

#### III.2.1. Taux cumulés de germination

Les graines germées sont dénombrées chaque jour pendant la huitaine de jours de la durée des expérimentations. Les taux cumulés moyens de germination sont exprimés par le rapport du nombre cumulé de graines germées au jour  $j$  sur le nombre total de graines rapporté à 100.

# Chapitre III

---

## Matériel & Méthodes

$$\text{Taux cumulés (en \%)} = \frac{\text{Nombre cumulé de graines germées}}{\text{Nombre total de graines}} \times 100$$

### III.2.2. Pourcentage de réduction de la germination

Ce paramètre nous donne un aperçu sur le pourcentage de réduction des graines germées du lot traité par rapport au lot témoin. Il est déterminé par la formule suivante :

$$\text{Pourcentage de réduction de la germination (en \%)} = 100 \times [1 - (N_x / N_0)]$$

Où  $N_x$  est le nombre de graines germées après traitement par le  $\text{NiSO}_4$  ;  $N_0$  est le nombre de graines témoins qui ont germées.

### III.2.3. Temps moyens de germination

Le temps moyen de germination est déterminé d'après la formule suivante :

$$\text{Temps moyen de germination (en jours)} = \frac{N_1T_1 + N_2T_2 + N_3T_3 + \dots + N_8T_8}{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_8}$$

Où  $N_1$  est le nombre de graines germées au temps  $T_1$  ;  $N_2$  est le nombre de graines germées entre le temps  $T_1$  et le temps  $T_2$ , etc.

### III.2.4. Coefficient de Kotowski

Le coefficient de **Kotowski (1926)** donne un aperçu sur la vitesse de germination des graines. Il est déterminé par la formule suivante :

$$\text{Coefficient de Kotowski} = 100 \times \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_8}{N_1T_1 + N_2T_2 + N_3T_3 + \dots + N_8T_8}$$

Où  $N$  est le nombre de graines germées chaque jour (le 1<sup>er</sup>, le 2<sup>nd</sup> jusqu'au 8<sup>ème</sup> jour) ;  $T$  durée en jours correspondant à  $N$ .

## Chapitre III

### Matériel & Méthodes

#### III.2.5. Indice de germination

**Abbott (1955)** propose d'exprimer la faculté de germination des embryons du Pommier en affectant du coefficient 1 les embryons qui germent au 1<sup>er</sup> jour, du coefficient 1/2 ceux qui germent entre le 2<sup>ème</sup> et le 3<sup>ème</sup> jour, etc.

La somme des valeurs obtenues donne ce que **Visser (1956)** appelle l'indice de germination :

$$\text{Indice de germination} = N_1 \times 1 + (N_2 - N_1) \times 1/2 + (N_3 - N_2) \times 1/3 + \dots + (N_n - N_{n-1}) \times 1/n$$

Où  $N_1, N_2, N_3, \dots, N_{n-1}, N_n$  sont respectivement les nombres de graines qui ont germés les 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup>, ..., (n-1)<sup>ème</sup>, n<sup>ème</sup> jour. L'indice obtenu sera compris entre 0 (si aucune graine ne germe) et 100 (si toutes les graines germent le 1<sup>er</sup> jour), en supposant que les essais de germination portent sur 100 graines (**Côme, 1968**).

#### III.2.6. Indice de vigueur

Cet indice permet de calculer le pourcentage de vitalité des graines mises à germer. Il a été déterminé par la formule suivante (**Jain and Saha, 1971**) :

$$\text{Indice de vigueur} = [a/1 + b/2 + \dots + z/n] \times 100/S$$

Où  $a$  est le nombre de graines germées au 1<sup>er</sup> jour ;  $b$  est le nombre de graines germées au 2<sup>ème</sup> jour ;  $z$  est le nombre de graines germées au 8<sup>ème</sup> et dernier jour ;  $n$  est le nombre total de jours ;  $S$  est le nombre total de graines.

#### III.2.7. Etude statistique

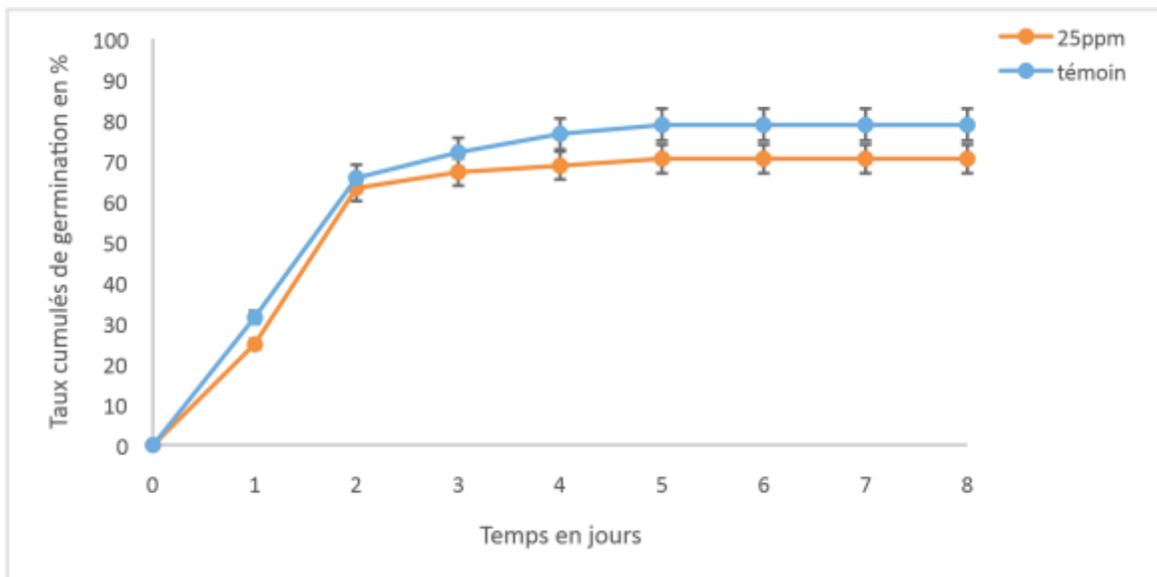
Les résultats présentés expriment pour l'ensemble des analyses une valeur moyenne de 7 répétitions pour le lot témoin et 5 répétitions pour le lot traité  $\pm$  intervalle de confiance (IC =  $\pm$  1,96 erreur standard).

### IV.1. Résultats

#### IV.1.1. Taux cumulés de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L.

##### IV.1.1.1. Taux cumulés du lot témoin

L'analyse de l'évolution de la courbe de germination du lot de graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins montre une allure générale de type sigmoïde (**Fig. 7**). Ainsi, les graines scarifiées et traitées uniquement avec de l'eau distillée germent d'une façon rapide ; dès le 1<sup>er</sup> jour le taux cumulé moyen atteint est de  $31,4 \pm 3,6\%$ . Au 2<sup>ème</sup> jour, ce pourcentage augmente encore jusqu'à  $65,7 \pm 3,3\%$ . A partir du 3<sup>ème</sup> jour, l'augmentation faiblit. En effet, nous avons enregistré une valeur de  $72,0 \pm 2,9\%$  au 3<sup>ème</sup> jour et seulement  $76,5 \pm 2,1\%$  au 4<sup>ème</sup> jour. Au-delà, le taux cumulé moyen de germination atteint son maximum et se stabilise autour d'une valeur moyenne de  $78,8 \pm 2,2\%$  et qui va jusqu'au dernier jour de dénombrement (8<sup>ème</sup> jour).



**Figure 7** : Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par une [25 ppm] en  $\text{NiSO}_4$  en fonction du temps.

##### IV.1.1.2. Taux cumulés du lot traité par une [25 ppm] en $\text{NiSO}_4$

La courbe de germination du lot traité par une [25 ppm] en  $\text{NiSO}_4$  montre également une allure générale de type sigmoïde, avec des taux cumulés moyens proches de ceux enregistrés chez le lot

## Chapitre IV

### Résultats & Discussion

témoin (**Fig. 7**). Les taux cumulés moyens enregistrés pour ce lot traité sont de  $24,8 \pm 2,9\%$  au 1<sup>er</sup> jour ; de  $63,2 \pm 4,5\%$  au 2<sup>nd</sup> jour ; de  $67,2 \pm 2,9\%$  au 3<sup>ème</sup> jour ; de  $68,8 \pm 3,8\%$  au 4<sup>ème</sup> jour et de  $70,4 \pm 3,9\%$  pour ce qui reste des jours de dénombrement.

En comparant entre le lot témoin et le lot traité par une [25 ppm] en NiSO<sub>4</sub>, on constate qu'une différence significative existe entre les 2 lots. En effet, le pourcentage de réduction de la germination obtenu au 8<sup>ème</sup> et dernier jour des manipulations, montre que le lot traité par une [25 ppm] en NiSO<sub>4</sub> est affecté de 10,7% par rapport au lot des graines témoins (**Tab. 1**).

**Tableau 1** : Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une [25 ppm] en NiSO<sub>4</sub> comparativement au lot témoin.

	Témoin	NiSO <sub>4</sub> [25 ppm]
Taux cumulés de germination maximum	$78,8 \pm 2,2\%$	$70,4 \pm 3,9\%$
% de réduction de la germination	-----	10,7%

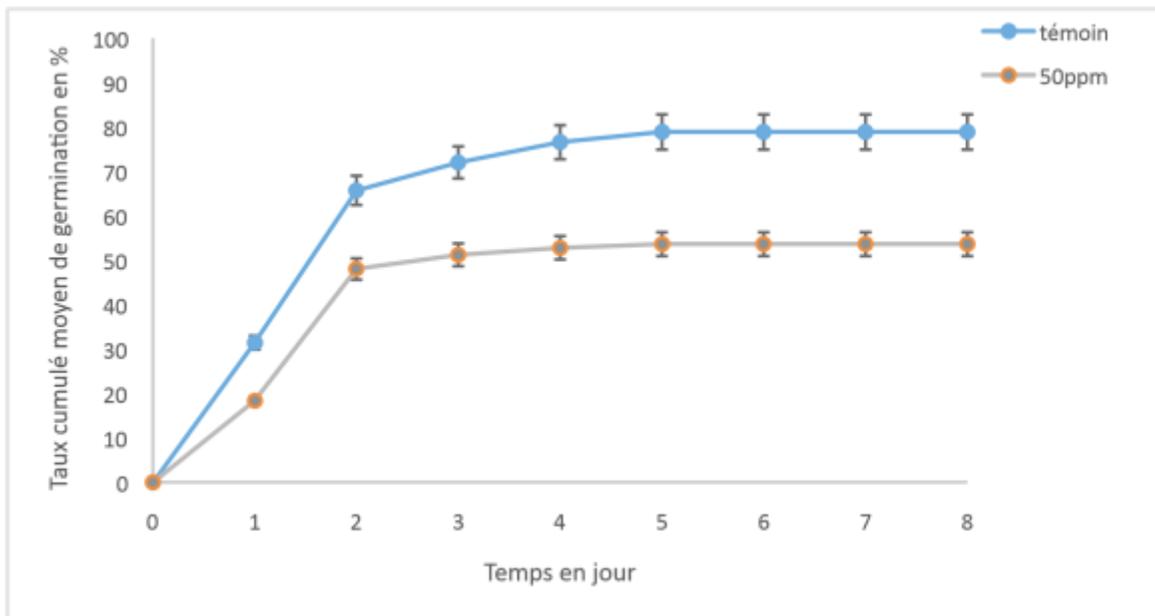
#### IV.1.1.3. Taux cumulés du lot traité par une [50 ppm] en NiSO<sub>4</sub>

La courbe de germination du lot traité par une [50 ppm] en NiSO<sub>4</sub> montre aussi une allure générale de type sigmoïde à l'instar des 2 courbes précédentes (**Fig. 8**). Cependant, les taux cumulés moyens enregistrés sont plus faibles que ceux des graines témoins. Ainsi, au 1<sup>er</sup> jour le taux cumulé moyen obtenu pour le lot traité n'est que de  $18,4 \pm 3,1\%$ . Au 2<sup>ème</sup> jour, il évolue d'une façon remarquable ( $48,0 \pm 3,5\%$ ), puis augmente peu au 3<sup>ème</sup> jour ( $52,8 \pm 2,9\%$ ). Le taux cumulé maximum ( $53,6 \pm 2,1\%$ ) est atteint au 4<sup>ème</sup> jour et n'évoluera plus.

Le pourcentage de réduction de la germination au dernier jour des dénombrements du lot traité par une [50 ppm] en NiSO<sub>4</sub>, est assez élevé (32%) par comparaison au lot des témoins (**Tab. 2**).

**Tableau 2** : Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une [50 ppm] en NiSO<sub>4</sub> comparativement au lot témoin.

	Témoin	NiSO <sub>4</sub> [50 ppm]
Taux cumulés de germination maximum	$78,8 \pm 2,2\%$	$53,6 \pm 2,1\%$
% de réduction de la germination	-----	32,0%



**Figure 8** : Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par une [50 ppm] en NiSO<sub>4</sub> en fonction du temps.

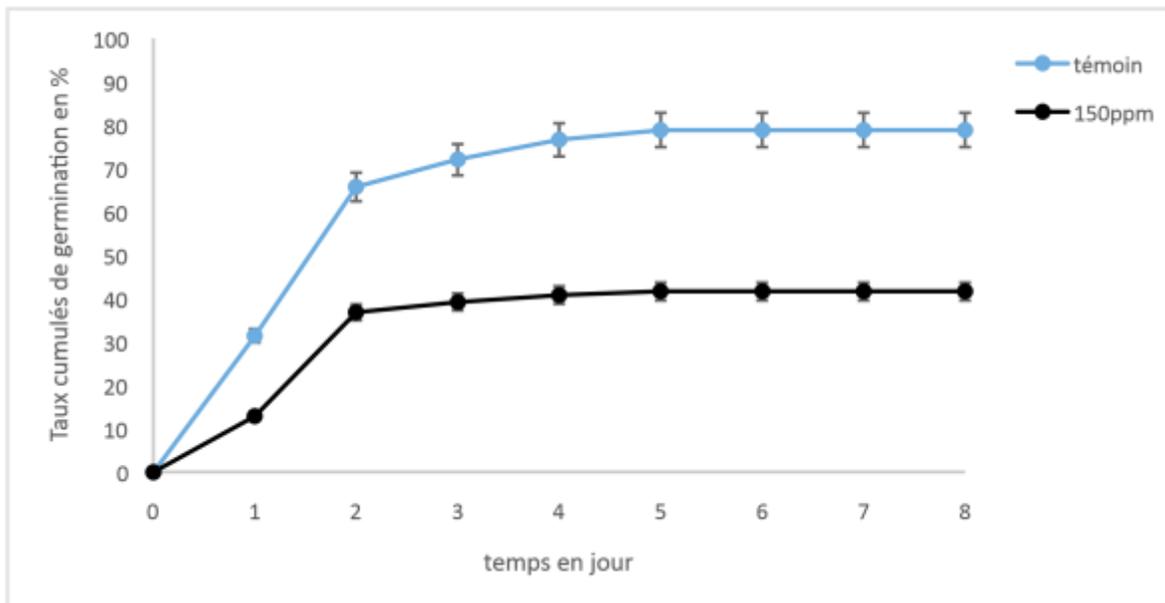
#### IV.1.1.4. Taux cumulés du lot traité par une [150 ppm] en NiSO<sub>4</sub>

Pour les graines traitées par une [150 ppm] en NiSO<sub>4</sub>, la courbe évolue de façon sigmoïde, mais moins rapidement que ce qui est observé chez les graines témoins (**Fig. 9**). Lors du 1<sup>er</sup> jour, le taux cumulé moyen enregistré chez les graines traitées est de seulement  $12,8 \pm 2,9$  %. Au 2<sup>ème</sup> jour, il atteint une valeur moyenne de  $36,8 \pm 4,5$ %. Au delà, l'évolution est peu importante :  $39,2 \pm 2,9$ % au 3<sup>ème</sup> jour ;  $40,8 \pm 2,9$ % au 4<sup>ème</sup> jour et  $41,6 \pm 3,1$ % au 5<sup>ème</sup> jour, qui est d'ailleurs le taux cumulé maximum enregistré pour ce traitement.

**Tableau 3** : Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une [150 ppm] en NiSO<sub>4</sub> comparativement au lot témoin.

	Témoin	NiSO <sub>4</sub> [150 ppm]
Taux cumulés de germination maximum	$78,8 \pm 2,2$ %	$41,6 \pm 3,1$ %
% de réduction de la germination	-----	47,3%

L'analyse du tableau 3 montre si bien le faible pourcentage de germination obtenu avec l'application d'une contrainte de [150 ppm] en NiSO<sub>4</sub>. A cet effet, le pourcentage de réduction au final des manipulations, se trouve réduit de 47,3% par comparaison au lot des graines témoins (Tab. 3).

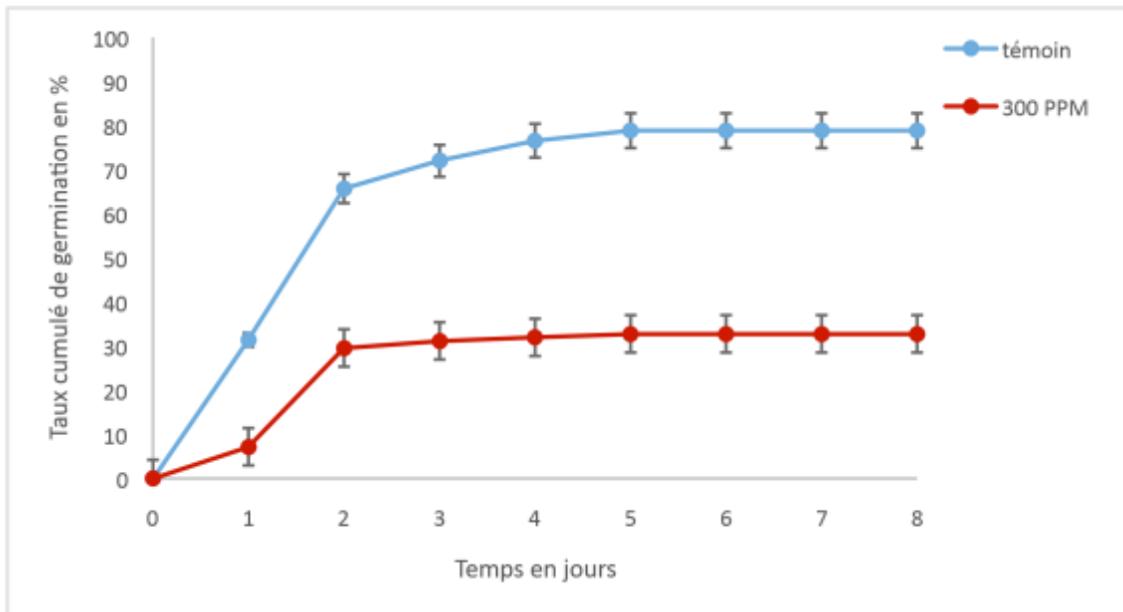


**Figure 9** : Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par une [150 ppm] en NiSO<sub>4</sub> en fonction du temps.

#### IV.1.1.5. Taux cumulés du lot traité par une [300 ppm] en NiSO<sub>4</sub>

L'aspect général de la courbe de germination du lot traité par une [300 ppm] en NiSO<sub>4</sub> est sigmoïde. Comparativement au lot témoin, elle évolue moins rapidement (Fig. 10). Le taux cumulé moyen de germination au sein de ce lot est très faible au 1<sup>er</sup> jour ( $7,2 \pm 2,9\%$ ). Il progresse pour atteindre au 2<sup>nd</sup> jour ( $29,6 \pm 1,9\%$ ), puis n'évolue presque plus au 3<sup>ème</sup> ( $31,2 \pm 2,9\%$ ) et au 4<sup>ème</sup> ( $32,0 \pm 2,4\%$ ) jour. Le taux cumulé maximum enregistré pour ce traitement est de  $32,8 \pm 1,5\%$  obtenu au 5<sup>ème</sup> jour.

Le pourcentage de réduction de la germination observé au 8<sup>ème</sup> jour chez le lot traité par une [300 ppm] en NiSO<sub>4</sub> est très élevé. Il atteint 58,4% lorsqu'on le compare aux graines du lot témoin (**Tab. 4**).



**Figure 10** : Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par une [300 ppm] en NiSO<sub>4</sub> en fonction du temps.

**Tableau 4** : Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une [300 ppm] en NiSO<sub>4</sub> comparativement au lot témoin.

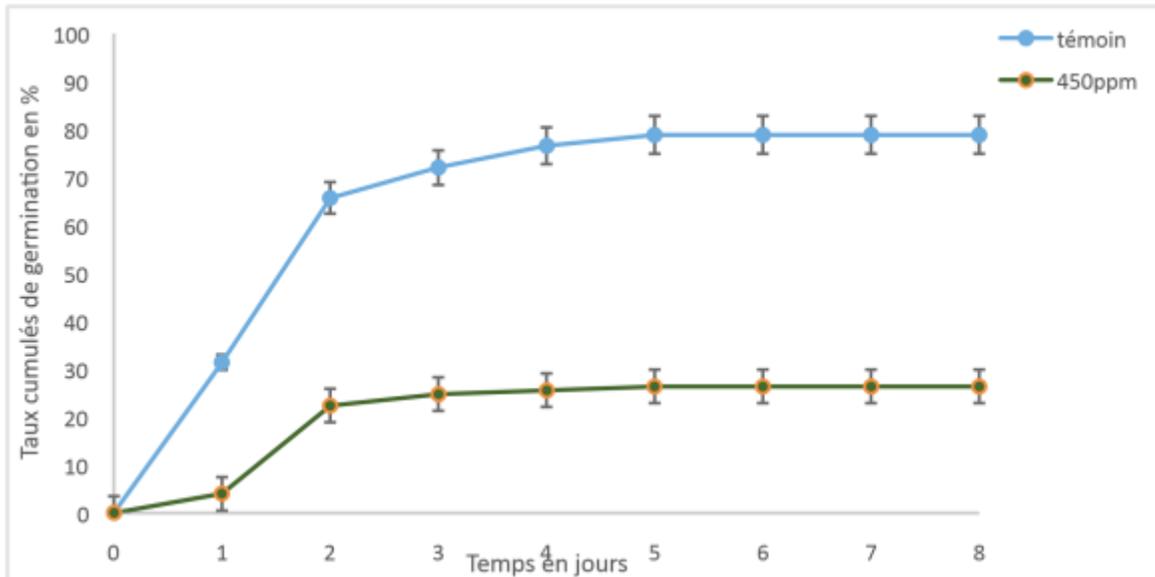
	Témoin	NiSO <sub>4</sub> [300 ppm]
Taux cumulés de germination maximum	78,8 ± 2,2%	32,8 ± 1,5%
% de réduction de la germination	-----	58,4%

### IV.1.1.6. Taux cumulés du lot traité par une [450 ppm] en NiSO<sub>4</sub>

Le traitement des graines de *Parkinsonia aculeata* L. avec une [450 ppm] en NiSO<sub>4</sub> donne lieu à une courbe d'allure générale plus ou moins sigmoïde, mais qui évolue encore moins rapidement que ce qui a été observé précédemment (**Fig. 11**). Le taux cumulé moyen de germination obtenu

## Résultats & Discussion

au 1<sup>er</sup> jour est très faible ( $4,0 \pm 3,5\%$ ). Il atteint au 2<sup>nd</sup> jour un taux de  $22,4 \pm 3,1\%$ , puis n'évolue presque plus au 3<sup>ème</sup> ( $24,8 \pm 3,1\%$ ), 4<sup>ème</sup> ( $25,6 \pm 1,9\%$ ) et 5<sup>ème</sup> ( $26,4 \pm 1,9\%$ ) jour où il atteint sa valeur maximum.



**Figure 11** : Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par une [450 ppm] en NiSO<sub>4</sub> en fonction du temps.

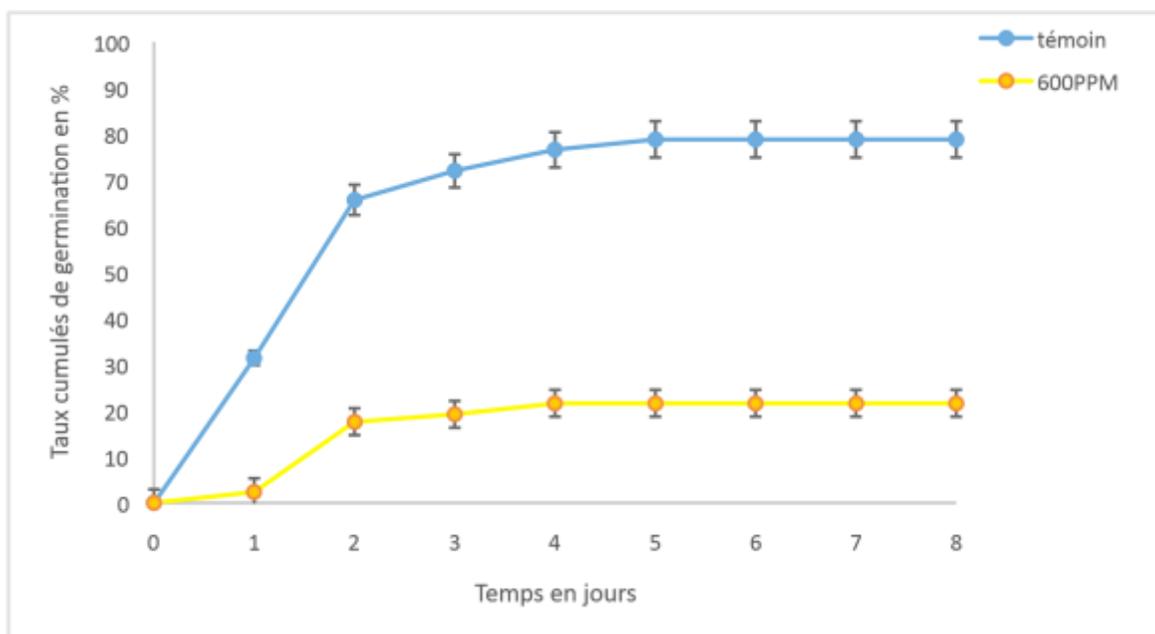
Le pourcentage de réduction de la germination calculé pour une [450 ppm] en NiSO<sub>4</sub> est très important, il avoisine les 67% comparativement au lot témoin (**Tab. 5**).

**Tableau 5** : Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une [450 ppm] en NiSO<sub>4</sub> comparativement au lot témoin.

	Témoin	NiSO <sub>4</sub> [450 ppm]
Taux cumulés de germination maximum	$78,8 \pm 2,2\%$	$26,4 \pm 1,9\%$
% de réduction de la germination	-----	66,6%

### IV.1.1.7. Taux cumulés du lot traité par une [600 ppm] en NiSO<sub>4</sub>

Les graines traitées par une [600 ppm] en NiSO<sub>4</sub> affecte sensiblement la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. Ainsi, seulement  $2,4 \pm 1,9\%$  de graines germent au 1<sup>er</sup> jour. Il augmente certes au 2<sup>nd</sup> jour ( $17,6 \pm 1,9\%$ ), mais ne dépasse pas  $21,6 \pm 1,9\%$  les jours suivants (**Fig. 12**).



**Figure 12** : Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par une [600 ppm] en NiSO<sub>4</sub> en fonction du temps.

L'analyse du tableau 6 donne un aperçu sur le pourcentage de réduction de la germination des graines traitées par une [600 ppm] en NiSO<sub>4</sub> par rapport au lot de graines non traité. Le résultat obtenu montre une diminution significative de l'ordre de 72,7% (**Tab. 6**).

**Tableau 6** : Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une [600 ppm] en NiSO<sub>4</sub> comparativement au lot témoin.

	Témoin	NiSO <sub>4</sub> [600 ppm]
Taux cumulés de germination maximum	$78,8 \pm 2,2\%$	$21,6 \pm 1,9\%$
% de réduction de la germination	-----	72,7%

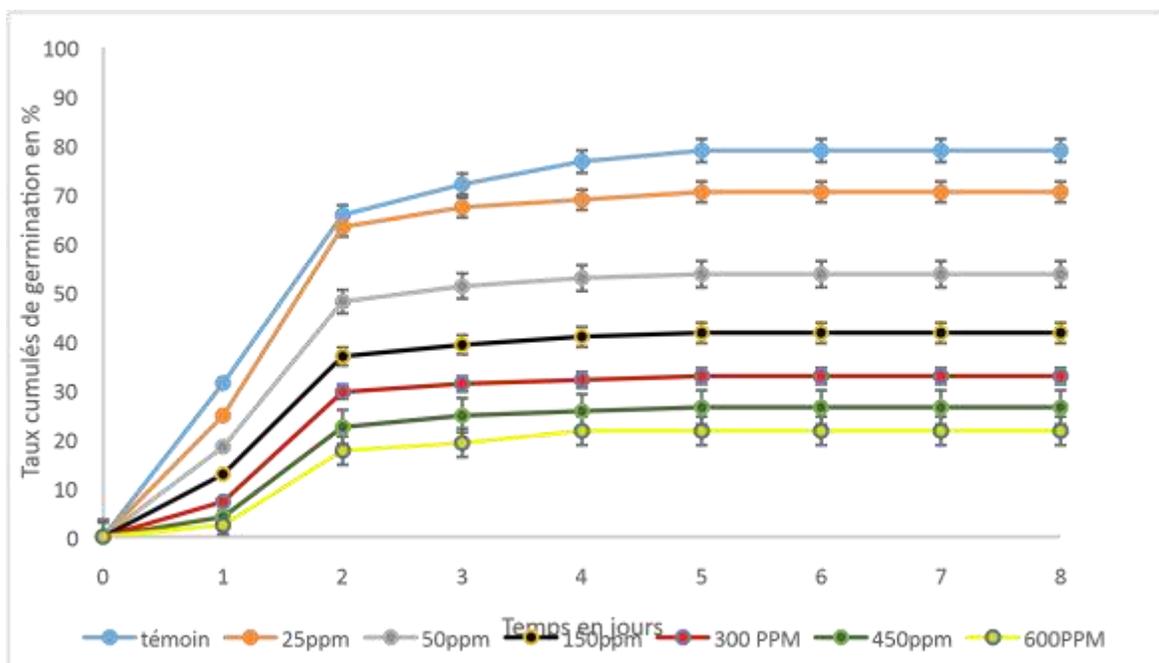
# Chapitre IV

## Résultats & Discussion

### IV.1.1.8. Taux cumulés de l'ensemble des lots traités par du NiSO<sub>4</sub>

Le processus de germination est suivi chez les graines de *Parkinsonia aculeata* L. préalablement scarifiées et traitées par un élément trace, le nickel. Différentes concentrations sont testées, en allant d'un spectre de concentration qui varie de faibles concentrations (25 et 50 ppm) à des concentrations élevées (300, 450 et 600 ppm), tout en passant par une concentration intermédiaire (150 ppm).

Les résultats globaux obtenus consignés dans **la figure 13** montrent que la germination des graines est affectée par l'utilisation du nickel. Les effets sont à des degrés dépendants de la concentration utilisée. Ainsi, plus la concentration de l'agent stressant usité est grande, plus l'effet sur les taux cumulés moyens de germination va baisser (**Fig. 13**).



**Figure 13** : Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en NiSO<sub>4</sub> en fonction du temps.

Ces observations sont relatées dans le **tableau 7** par la double analyse :

## Chapitre IV

### Résultats & Discussion

- (1) des taux maximums de germinations obtenus pour chacun des cas traités, ainsi que
- (2) les pourcentages de réduction de la germination de chacun des cas traités comparativement aux graines témoins.

Les résultats indiquent que les taux maximums enregistrés à la fin des expérimentations sont moins importants que ceux obtenus dans le cas des graines témoins, pendant que les pourcentage de réduction de la germination des graines traitées augmentent au fur et à mesure que la concentration du métal trace administré augmente (**Tab. 7**).

**Tableau 7** : Taux cumulés moyens de germination maximums obtenus à la fin des dénombrements et le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en NiSO<sub>4</sub> comparativement au lot témoin.

Taux cumulés moyens de germination / capacité maximum de germination (en %)						
Témoin	[25 ppm]	[50 ppm]	[150 ppm]	[300 ppm]	[450 ppm]	[600 ppm]
78,8 ±2,2	70,4 ±3,9	53,6 ±1,9	41,6 ±3,1	32,8 ±1,5	26,4 ±1,9	21,6 ±1,9
Pourcentages de réduction de la germination / Témoin						
Témoin	[25 ppm]	[50 ppm]	[150 ppm]	[300 ppm]	[450 ppm]	[600 ppm]
-----	10,7	32	47,3	58,4	66,6	72,7

#### IV.1.2. Vitesse de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L.

##### IV.1.2.1. Temps moyens de germination

Pour caractériser la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par le nickel, nous avons calculés les temps moyens pris par chacun des lots afin de germer. Les résultats obtenus sont consignés dans le **tableau 8**.

**Tableau 8** : Temps moyens de germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en NiSO<sub>4</sub>.

## Chapitre IV

### Résultats & Discussion

Temps moyens de germination exprimés en jours  $\pm$  intervalle de confiance à 95%

Témoin	[25 ppm]	[50 ppm]	[150 ppm]	[300 ppm]	[450 ppm]	[600 ppm]
1,88 $\pm$ 0,12	1,81 $\pm$ 0,07	1,82 $\pm$ 0,13	1,84 $\pm$ 0,27	1,95 $\pm$ 0,17	2,08 $\pm$ 0,32	2,18 $\pm$ 0,21

Le temps moyens de germination du lot des graines témoins est de 1,88 jours. Celui des graines traitées par différentes concentrations en NiSO<sub>4</sub> se situe à deux niveaux :

- Pour 3 concentrations (25, 50 et 150 ppm), le temps moyen pris par chacun des lots pour germer (respectivement 1,81 ; 1,82 et 1,84) est légèrement plus faible que celui des graines témoins.
- Pour les 3 autres concentrations (300, 450 et 600 ppm), le temps moyen pris par chacun des lots pour germer (respectivement 1,95 ; 2,08 et 2,18) est sensiblement plus supérieur à celui des graines témoins.

Il paraît dès lors que, le traitement appliqué par l'utilisation de faibles concentrations en NiSO<sub>4</sub> (25, 50 et 150 ppm) n'influence pas le temps de latence pris par les graines traitées pour germer. Au contraire, le traitement appliqué par l'utilisation des concentrations les plus fortes (300, 450 et 600 ppm) retarde la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. en prolongeant les temps de latence.

#### IV.1.2.2. Coefficient de Kotowski

Le temps moyen de germination qui a été calculé précédemment correspond à l'inverse fois 100 du coefficient de Kotowski, qui donne aussi un aperçu sur la vitesse de germination des graines. Sa détermination pour chacun des lots testés donne les résultats suivants (**Tab. 9**) :

**Tableau 9** : Coefficient de Kotowski des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en NiSO<sub>4</sub>.

Coefficient de Kotowski						
Témoin	[25 ppm]	[50 ppm]	[150 ppm]	[300 ppm]	[450 ppm]	[600 ppm]
53,19	55,24	54,44	54,34	51,28	48,07	45,87

Ces calculs ont permis de faire 3 constats différents :

## Chapitre IV

### Résultats & Discussion

- Pour 3 concentrations (25, 50 et 150 ppm), la vitesse de germination prise par chacun des lots pour germer est proche de celle des graines témoins.
- Pour les 3 autres concentrations (300, 450 et 600 ppm), la vitesse de germination s'affaiblit par comparaison au lot de graines témoins.
- Pour l'ensemble des traitements, on constate que la vitesse de germination ne fait que baisser au fur et à mesure que la concentration en NiSO<sub>4</sub> augmente.

#### IV.1.3. Indice de germination

L'indice de germination exprime l'aptitude de germination journalière des graines dans un milieu donné. Cet indice déterminé pour les graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins est de 0,98 au 1<sup>er</sup> jour. Il évolue au 2<sup>ème</sup> (2,05), 3<sup>ème</sup> (2,25) et 4<sup>ème</sup> (2,39) jour des dénombrements, puis tend à se stabiliser les jours suivants autour d'un indice de 2,46 (**Tab. 10**).

**Tableau 10** : Indice de germination journalier des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en NiSO<sub>4</sub>.

Indice de germination journalier ou capacité journalière de germination							
Jour	Témoin	[25ppm]	[50ppm]	[150ppm]	[300ppm]	[450ppm]	[600ppm]
1 <sup>er</sup>	0,98	0,77	0,57	0,40	0,22	0,12	0,07
2 <sup>ème</sup>	2,05	1,97	1,50	1,15	0,92	0,70	0,55
3 <sup>ème</sup>	2,25	2,10	1,60	1,22	0,97	0,77	0,62
4 <sup>ème</sup>	2,39	2,15	1,65	1,27	1,00	0,80	0,67
5 <sup>ème</sup>	2,46	2,20	1,67	1,30	1,02	0,82	0,67
6 <sup>ème</sup>	2,46	2,20	1,67	1,30	1,02	0,82	0,67
7 <sup>ème</sup>	2,46	2,20	1,67	1,30	1,02	0,82	0,67
8 <sup>ème</sup>	2,46	2,20	1,67	1,30	1,02	0,82	0,67

## Chapitre IV

### Résultats & Discussion

C'est aussi le cas pour les graines traitées par le nickel. Seulement, l'indice de germination est moins élevé que celui calculé pour les graines témoins. De plus, au fur et à mesure que l'on augmente la concentration du NiSO<sub>4</sub>, on note une tendance vers une diminution de l'indice de germination qui reflète la capacité de germination journalière des graines.

#### IV.1.4. Indice de vigueur

Il exprime la vigueur d'un lot de graines et donne une indication sur sa qualité (Czabator, 1962). La vigueur se définit comme l'ensemble des propriétés qui peuvent caractériser l'uniformité et la rapidité de l'émergence, au même titre que le potentiel de développement d'un semis, en présence d'une grande variabilité des conditions de l'environnement (Aosa, 1983).

Le calcul de cet indice pour les graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins, indique que près de la moitié (51,61%) sont assez vigoureuses et aptes à germer dans nos conditions de travail (Tab. 11).

**Tableau 11** : Indice de vigueur de germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en NiSO<sub>4</sub>.

#### Indice de vigueur de germination ou pourcentage de vitalité des graines

Témoin	[25 ppm]	[50 ppm]	[150 ppm]	[300 ppm]	[450 ppm]	[600 ppm]
51,61%	46,08%	34,82%	24,95%	19,28%	14,11%	11,19%

Le traitement des graines de *Parkinsonia aculeata* L. par une [25 ppm] en NiSO<sub>4</sub> ne réduit que peu le pourcentage de vitalité des graines (46,08%). Par contre, les autres applications ont tendance à diminuer l'indice de vigueur, laquelle est encore plus drastique lorsqu'on applique des concentrations encore plus fortes en NiSO<sub>4</sub> (Tab. 11). **IV.2. Discussion**

La germination est une étape cruciale dans le cycle de développement des végétaux. La tolérance d'un métal trace comme le nickel est évalué en premier lieu au stade de la germination sur des graines de *Parkinsonia aculeata* L. traitées par un large spectre de concentrations, variant de la plus faible (25 et 50 pm) à la plus forte (300, 450 et 600 ppm), en passant par une concentration intermédiaire (150 ppm).

## Chapitre IV

### Résultats & Discussion

Un ensemble de paramètres ont été choisis pour suivre au mieux l'incidence du nickel sur la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. Ils ont été rapportés dans le **tableau 12** avec les différents résultats obtenus par référence à ce qui a été obtenu au sein des graines témoins :

**Tableau 12** : Récapitulatif des résultats finaux obtenus pour les différents paramètres analysés en suivant les germinations des graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en NiSO<sub>4</sub>.

	Témoin	[25ppm]	[50ppm]	[150ppm]	[300ppm]	[450ppm]	[600ppm]
<b>TCG</b>	<b>78,8%</b>	<b>70,4%</b>	<b>53,6%</b>	<b>41,6%</b>	<b>32,8%</b>	<b>26,4%</b>	<b>21,6%</b>
<b>PRG</b>	-----	<b>10,7%</b>	<b>32,0%</b>	<b>47,3%</b>	<b>58,4%</b>	<b>66,6%</b>	<b>72,7%</b>
<b>TMG</b>	<b>1,88</b>	<b>1,81</b>	<b>1,82</b>	<b>1,84</b>	<b>1,95</b>	<b>2,08</b>	<b>2,18</b>
<b>CK</b>	<b>53,19</b>	<b>55,24</b>	<b>54,44</b>	<b>54,34</b>	<b>51,28</b>	<b>48,07</b>	<b>45,87</b>
<b>IG</b>	<b>2,46</b>	<b>2,20</b>	<b>1,67</b>	<b>1,30</b>	<b>1,02</b>	<b>0,82</b>	<b>0,67</b>
<b>IVG</b>	<b>51,61%</b>	<b>46,08%</b>	<b>34,82%</b>	<b>24,95%</b>	<b>19,28%</b>	<b>14,11%</b>	<b>11,19%</b>

(**TCG** = Taux Cumulés moyens de Germination obtenus au 8<sup>ème</sup> jour des dénombrements ; **PRG** = Pourcentage de Réduction de la Germination ; **TMG** = Temps moyens de germination exprimés en jours ; **CK** = Coefficient de Kotowski ; **IG** = Indice de Germination journalier ou capacité de germination journalière obtenus au 8<sup>ème</sup> jour des dénombrements ; **IVG** = Indice de Vigueur de Germination ou pourcentage de vitalité des graines).

Le premier paramètre analysé concerne les taux cumulés moyens de germination au bout de huit jours de suivi. La capacité maximum de germination des graines non traitées avoisine les 80%. Celle des graines traitées par le nickel marque une diminution, laquelle est dépendante de la concentration appliquée. En effet, plus la concentration en NiSO<sub>4</sub> est grande, moins est la capacité de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. Ainsi, au final les taux cumulés moyens de germination obtenus au dernier jour des dénombrements sont de 70,4% pour une [25 ppm] ; 53,6% pour une [50 ppm] ; 41,6% pour une [150 ppm] ; 32,8% pour une [300 ppm] ; 26,4% pour une [450 ppm] et 21,6% pour une [600 ppm] (**Tab. 12**).

Ces résultats coïncident avec ce qui a été observé sur la germination des graines de *Macrotyloma uniflorum*, traitées par le nickel. Selon **Arzoo et al (2014)** La capacité de germination des graines

## Chapitre IV

### Résultats & Discussion

témoins est de 99% pendant que celle des graines traitées diminue. Les auteurs des essais obtiennent 95% de graines qui germent avec une [20 ppm] ; 64% de graines qui germent avec une [40 ppm] ; 55% de graines qui germent avec une [60 ppm] ; 35% de graines qui germent avec une [80 ppm] et 30% de graines qui germent avec une [100 ppm]

Le pourcentage de réduction de la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. traitées par différentes concentrations en NiSO<sub>4</sub> ne fait qu'augmenter. Hormis pour la plus faible concentration (25 ppm) où la réduction n'est que de 10,7% par comparaison aux témoins ; il y a lieu de noter qu'elle augmente de 3 fois pour une [50 ppm] ; d'un peu plus de 4 fois pour une [150 ppm] ; d'un peu plus de 5 fois pour une [300 ppm] ; de près de 6 fois pour une [450 ppm] et de 7 fois pour une [600 ppm] (**Tab. 12**).

Chez les graines de carotte, du chou de Bruxelles et de radis traitées par un autre métal trace (l'acétate de plomb), on enregistre une réduction respectivement de 26 ; 17 et 7%. Un arrêt total de la germination est même obtenu chez ces graines (**Mirecki et al. 2015**).

Le temps moyen de germination qui exprime la vitesse de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. est paradoxalement un peu moins important que celui exprimé par les graines témoins, du moins pour les 3 premières concentrations expérimentées (25, 50 et 150 ppm). Dans ce cas précis, c'est la capacité germinative exprimée par les graines de *Parkinsonia aculeata* L. qui l'emporte sur celle de ces 3 premiers lots. Au delà, les temps moyens de germination des graines s'allongent de plus en plus que la concentration de l'agent stressant appliqué augmente. Autrement dit, les temps de latence pris par les graines pour germer augmentent avec l'élévation des concentrations en nickel appliquées (**Tab. 12**).

Le coefficient de Kotowski qui permet également d'apprécier la vitesse de germination des graines ne commence à diminuer assez significativement que pour les concentrations les plus fortes appliquées (300, 450 et 600 ppm). En effet, si ce coefficient calculé chez les graines témoins est de 53,2 ; chez les graines traitées par les 3 premières concentrations, il n'évolue que peu : 55,2 pour [25 ppm] et autour de 54,4 pour [50 et 150 ppm]. Aux fortes concentrations, il descend jusqu'à 51,3 pour [300 ppm] ; 48,1 pour [450 ppm] et 45,9 pour [600 ppm] (**Tab. 12**).

L'autre paramètre testé et qui permet de rendre au mieux et d'apprécier la capacité de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. en présence du NiSO<sub>4</sub> est l'indice de germination journalier.

## Chapitre IV

### Résultats & Discussion

Rien que pour le 8<sup>ème</sup> jour des dénombrements, cet indice calculé tend à diminuer, amplifiée par l'augmentation de la concentration de l'élément utilisé, entravant la germination des graines. En effet, les graines témoins qui présentent un indice de germination journalier de 2,4 calculé au 8<sup>ème</sup> jour des expérimentations, se distinguent des graines traitées dont l'indice ne fait que diminuer. Cette diminution est tout d'abord faible (2,2) pour [25 ppm], puis s'amplifie régulièrement pour le reste des concentrations (50, 150, 300, 450 et 600 ppm). Les indices déterminés sont respectivement 1,6 ; 1,3 ; 1,0 ; 0,8 et 0,6 (**Tab. 12**).

Dans nos conditions de travail et avec le lot de graines dont nous disposons, le pourcentage de vitalité exprimé par les graines témoins de *Parkinsonia aculeata* L. est de 51,6%. Lorsqu'on expérimente la germination en ajoutant dans le milieu du NiSO<sub>4</sub>, on note que l'indice de vigueur des graines diminue. Cette diminution est moins importante dans le cas d'une concentration de (25 ppm) puis s'amplifie considérablement au fur et à mesure que la concentration de l'élément appliqué augmente (**Tab. 12**).

C'est ce qui se passe pour les graines de *Macrotyloma uniflorum* en présence du nickel. L'indice de vigueur a été estimé aux environs de 438,9 pour une application de [20 ppm] ; à 133,7 pour une application de [40 ppm] ; à 68,2 pour une application de [60 ppm] ; à 17,5 pour une application de [80 ppm] ; pendant que pour les graines traitées par une application en nickel de [100 ppm], l'indice de vigueur descend jusqu'à 8,4. Il y a lieu de signaler que cet indice déterminé chez les graines témoins tourne autour de 618,7 (**Arzoo et al. 2014**).

Le nickel est considéré comme un oligo-élément qui peut caractériser une plante dans son développement et/ou son fonctionnement (**Brown et al. 1987 ; Asher, 1991 ; Welch, 1995**). Il peut aussi avoir des effets bénéfiques sur la germination des graines à très faibles concentrations (**Rout et al. 2000 ; Peralta et al. 2001**). Dans ce contexte, des applications de nickel à de faibles concentrations améliorent la germination des graines de tournesol. Les concentrations les plus élevées entravent cette germination au motif que l'absorption d'autres nutriments (potassium et magnésium) se trouve inhibée par la présence du nickel (**Rao et Sresty, 2000**).

---

## Conclusion

La pollution de l'environnement par les métaux lourds est devenue chose particulièrement préoccupante avec le développement industriel, d'où la nécessité de trouver des solutions permettant de préserver la biodiversité et les ressources naturelles des dangers de ces polluants. Les êtres vivants sont tous touchés et de près par cette pollution métallique. Les plantes sont particulièrement plus affectées que les autres, de fait de leur immobilité. En conséquence, elles ne peuvent pas y échapper sinon en développant des stratégies d'adaptation qui leurs assurent de se maintenir dans un tel environnement. Il en existe même un certain nombre de plantes, capables de participer à la dépollution des sols contaminés sur lesquelles elles poussent, on parle de *phytorémédiation*.

Pour y parvenir, elles mettent en œuvre des stratégies différentes. Il peut s'agir de la *phytoextraction*, leurs racines extraient les polluants des sols, qui sont ensuite stockés dans les tiges et les feuilles. D'autres sont des *phytostabilisateurs*, qui font intervenir leurs racines et agissent en séquestrant les polluants dans le sol, préservant ainsi la chaîne alimentaire et les nappes phréatiques. D'autres ont tendance à accélérer la dégradation des composés grâce à des enzymes spécifiques ou à des microorganismes vivants dans l'environnement de ses racines, on parle de *phytodégradation*. Enfin, dans le cas de la *phytovolatilisation*, les polluants devenant moins nocifs après passage par les racines et les feuilles, sont libérés dans l'atmosphère.

*Parkinsonia aculeata* L. est une espèce qui se révèle intéressante pour la décontamination des sols (**Iqbal et al. 2016**). Au niveau de la germination de ses graines, des tests ont été déjà menés sur les effets du cadmium (**Amara et Sahki, 2017**) et le chrome (**Adjaoute et Bouchal, 2017**) sur le pouvoir germinatif de ses graines.

Dans la présente étude, c'est au tour du nickel, qui a été utilisé sous forme du sulfate de nickel ( $\text{NiSO}_4$ ) pour apprécier le pouvoir germinatif des graines de *Parkinsonia aculeata* L. Ces tests ont été menés sur des graines préalablement scarifiées puis traitées en utilisant un large spectre variable de concentrations, des plus faibles [25 et 50 ppm] aux plus fortes [300, 450 et 600 ppm] en passant par une concentration intermédiaire [150 ppm].

De cette étude, les résultats obtenus montrent que le nickel administré en fortes concentrations [300, 450 et 600 ppm] perturbe le processus de germination des graines. Cette perturbation se traduit par une diminution au final de la capacité germinative des graines, une faible vitesse de germination et un prolongement des temps de latence pris par les graines traitées afin de germer.

---

## Conclusion

A la plus faible concentration usitée [25 ppm], les effets sur le pouvoir germinatif des graines, la vitesse de germination et le temps de latence ne changent pas ou que peu comparativement aux témoins non traités. C'est en augmentant la concentration [50 et 150 ppm], que l'influence du nickel sur tous les paramètres énumérés précédemment, que des différences assez significatives commencent à être constatées.

On pourrait donc déduire que le nickel n'a aucun effet à faible concentration, mais que les fortes concentrations ont un effet toxique sur la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L.

En perspective, Il est souhaitable de reprendre cette étude en travaillant sur le modèle d'une plante entière. Il y a lieu de regarder l'influence des différentes concentrations de nickel sur le développement des paramètres '*morphométriques*' des plants (mesures des paramètres de développement des parties aérienne souterraine). D'essayer de voir, les mécanismes de l'absorption et d'accumulation s'ils ont lieu et éventuellement les moyens de détoxification utilisés par cette espèce pour y remédier aux effets de cet élément trace métallique.

---

## Références Bibliographiques

**Abbott D.L. (1955).** Temperature and the dormancy of apple seeds. *Report of the International Horticultural Congress 1*, 746-753.

**Abedini W. (2005).** Vegetative propagation of *Parkinsonia aculeata* L. by cuttings. *Quebracho* 12, 23-33.

**Adjaoute L., Bouchal O. (2017).** Effets des métaux lourds sur les graines de *Parkinsonia aculeata* L. *Mémoire de Fin de Cycle Master* - Faculté des Sciences Biologiques – Université de Béjaia, 45 pp.

**Adriano D.C. (2001).** Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of Metals, *second ed. Springer-Verlag, New-York.* 867p

**Amara S., Sahki S. (2017).** Influence de quelques sels de métaux lourds sur le pouvoir germinatif des graines de *Parkinsonia aculeata* L. *Mémoire de Fin de Cycle Master* - Faculté des Sciences Biologiques – Université de Béjaia, 44 pp.

**Aosa (1983).** Seed vigor testing handbook. *East Lansing.*

**Arbonnier M. (2009).** Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'ouest. *Quae, MNHN, eds. ISBN Quae 978-2-7592-0313-0. ISBN MNHN 978-2-85653-626-1.* 577 p.

**Arzoo A., Nayak S.K., Mohapatra A., Satapathy K.B. (2014).** Impact of nickel on germination, seedling growth and biochemical changes of *Macrotyloma uniflorum* (Lam) verdc. *International Journal of Biosciences* 5 (9), 321-331.

**Asher C.J. (1991).** Beneficial elements, functional nutrients, and possible new essential elements. *In Micronutrients in Agriculture* Second Edition. Published by: Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA 1991. pp 703-719.

**Benadjaoud A., Aïd F. (1999).** Biotechnologies et améliorations végétales. *Séminaire Continental de biotechnologies, Agence Africaine de Biotechnologies, Alger !-10 septembre 1999.*

---

## Références Bibliographiques

**Benadjaoud A., Aïd F. (2004).** Effets de quelques traitements physico-chimiques et de la température sur la faculté germinative des graines de *Parkinsonia aculeata* L. *Annales de l'Institut National de Recherche Agronomique*. 25, 19-30.

**Benadjaoud A., Benhassaine-Kesri G., Zachowski A., Aïd F. (2013).** Effect of dehydration and rehydration on the leaf lipids and lipid metabolism in *Parkinsonia aculeata* L. (Caesalpinaceae). *Botany* 91 (8), 505-513.

**Bennett B.G. (1982).** Exposure of man to environmental nickel – An exposure commitment assessment. *Science of the Total Environment* 22 (3), 203-212.

**Brown P.H., Welch R.M., Cary E.E. (1987).** Nickel: a micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiol.* 85, 801-803.

**Burkill H.M. (1995).** The useful plants of west tropical African. *Vol. 3, Families J-L, Royal Botanic Gardens, Kew.*

**Cakmak I. (2000).** Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytol.* 146, 185-205.

**Chaussat R., Le Deunff Y. (1975).** La prédétermination physiologique des semences. In *La germination des semences. Gauthier-Villars, Paris.* 220-232.

**Cochard R., Jackes B.R. (2005).** Seed ecology of the invasive tropical tree *Parkinsonia aculeata* L. *Plant Ecology* 180, 13-31.

**Côme D. (1968).** Problèmes de terminologie posés par la germination et ses obstacles. *Bull. Soc. Fr. Physiolo. Vég.* 14 (1), 3-9.

**Cronquist A. (1981).** An integrated system of classification of flowering plants. *New York: Columbia University Press.* ISBN 9780231038805.

**Czabator F.J. (1962).** Germination value: An index combining speed and completeness of Pine seed germination. *Forest Science* 8, 386-396.

---

## Références Bibliographiques

**Dalton D.A., Russell S.A., Evans H.J. (1988).** Nickel as a micronutrient for plants. *BioFactors* 1, 11-16.

**Dimmitt M.A. (1987).** The hybrid palo verde 'Desert Museum': a new, superior tree for desert landscapes. *Desert plants* 8, 99-103.

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

**Fabricante J.R., Feitosa S.S. (2010).** *Parkinsonia aculeata* L. *Agropecuaria Cientifica no Semi-Arido.* 6 (2), 1-13.

**Fournier L.A. (2004).** *Parkinsonia aculeata* L; tropical tree seed. *Manual-part-2 species descriptions*, 597-598. <http://www.rngr.net/publications/ttsm/species/PDF.2004-03-15.5909>.

**Godé C., Decombeix I., Kostecka A., Wasowicz P., Pauwels M., Courseaux A., Saumitou-Laprade P. (2012).** Nuclear microsatellite loci for *Arabidopsis halleri* (*Brassicaceae*), a model species to study plant adaptation to heavy metals. *American Journal of Botany* 99 (2), 49-52.

**Gremion F. (2003).** Analysis of microbial community structures and functions in heavy metal-contaminated soils using molecular methods. *Thèse de Doctorat. Lausanne: Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne*, 122p.

**Hawkins J.A., Boutaoui N., Cheung K.Y., van Klinken R.D., Hughes C.E. (2007).** Intercontinental dispersal prior to human translocation revealed in a cryptogenic invasive tree. *New Phytologist* 175, 575-587.

**Heller R., Esnault R., Lance C. (2000).** *Physiologie végétale, volume 2, Développement.* Paris Dunod, ISBN : 2100044974, 9782100044979, 366p.

**Hopkins W.G. (2003).** *Physiologie végétale.* Traduit par Serge Rambour, Charles-Marie Evrard De Boeck Supérieur. ISBN : 2744500895, 9782744500893, 532p.

**Iqbal M.Z., Khursheed S., Shafiq M. (2016).** Effects of motor oil pollution on soil and seedling growth of *Parkinsonia aculeata* L. *Scientia Agriculturae* 13 (3), 130-136.

---

## Références Bibliographiques

**Jain N.K., Saha J.R. (1971).** Effect of storage length on seed germination in jute. *Agron. J.* 63, 636-638.

**Kotowski F. (1926).** Temperature relations to germination of vegetable seed. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 23, 176-184.

**Lafon J.P., Tharaud-Prayer C., Lévy G. (1998).** Biologie des plantes cultivées Tome 2, Physiologie du développement, génétique et amélioration. *Paris : Tec & Doc-Lavoisier*, ISBN 10 : 274300259x, ISBN 13 : 9782743002596, 150p.

**Lusweti M.A. (2011).** Trade notes. *Institute of Economic Affairs*, 32, 1-8.

**Mazliak P. (1982).** Physiologie végétale II. Croissance et développement. *Paris Hermann, collection Méthodes*. ISBN/ISSN/EAN : 978-2-7056-5943-1, 465p.

**McGrath S.P. (1995).** Nickel. In: *Alloway, B.J. (ed.) Heavy metals in soils Blackie Academic & Professional, London*, 152-174.

**Miquel G. (2001).** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. *Rapport N°261 – Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques*.

**Miransari M., Smith D. (2009).** Rhizobial lipo-chitoooligosaccharides and gibberellins enhance barley (*Hordeum vulgare* L.) seed germination. *Biotechnology* 8 (2), 270-275.

**Mirecki N., Agic R., Sunic L., Milenkovic L., Ilic Z.S. (2015).** Transfer factor as indicator of heavy metals content in plants. *Fresenius Environmental Bulletin* 24, 4212-4219.

**Muschitz A. (2009).** Réponses physiologiques des végétaux supérieurs aux stress métalliques. Caractérisation et rôle des parois cellulaires dans les stratégies défensives des cellules de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) face aux éléments traces métalliques. *Thèse de doctorat de l'Université d'Artois*, 189 p.

**Nogueira C.A., Margarido F. (2012).** Nickel-cadmium batteries: effects of electrode phase composition on acid leaching process. *Environ. Technol.* 33 (1-3), 359-366.

---

## Références Bibliographiques

**Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R., Anthony S. (2009).** Agroforestry database: a tree reference and selection guide version 4.0 World Agroforestry Centre, Kenya. <http://worldagroforestry.org/resources/databases/agroforestry>.

**Peralta J.R., Torresdey J.L., Tiemann K.J., Gomez E., Arteaga S., Rascon E. (2001).** Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in alfalfa (*Medicago sativa* L). *B. Environ. Contam. Toxicol.* 66, 727-734.

**Rao K.M., Sresty T.V. (2000).** Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. *Plant Science* 157, 113-128.

**Rout G.R., Sanghamitra S., Das P. (2000).** Effects of chromium and nickel on germination and growth in tolerant and non-tolerant populations of *Echinochloa colona* L. *Chemosphere* 40, 855-859.

**Soltner D. (2007).** Les bases de la production végétale. Le climat : climatologie, pédologie, conservation des sols, phytotechnie générale. *Collection Sciences et techniques agricoles*, 328p.

**Sprent J.I. (1987).** Potentials for nitrogen fixing legume trees in the tropics. *International Tree Crops Journal* 4 (1), 49-55.

**Stewart J.L., Dundson A.J., Hellin J.J., Hughes C.E. (1992).** Wood biomass estimation of Central American dry zones species. *Tropical forestry papers N°26*, Oxford Forestry Institute, University of Oxford, UK. ISBN 085074 124 6, 83pp.

**Visser T. (1956).** Chilling and apple seed dormancy. *Proc. K. Ned. Akad. Wet. C.* 59, 314-324.

**Wagner W.L., Herbst D.R., Sohmer S.H. (1999).** Manual of the flowering plants of Hawaii. Vol.2, Bishop Museum Press, University of Hawaii, Honolulu, HI., USA.

**Welch R.M. (1995).** Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 14 (1), 49-82.

# INTRODUCTION

Analyse  
Bibliographique

# Matériel & Méthodes

# Résultats & Discussion

# Conclusion

# Références Bibliographiques

---

## Résumé / Abstract

### ***Résumé***

On a testé les effets d'un élément trace métallique sur le pouvoir germinatif des graines de *Parkinsonia aculeata* L. (Caesalpinaceae). Une espèce susceptible de jouer un rôle important dans la dépollution des sols et/ou la phytoremédiation.

Les graines sont mises à germer en présence de différentes concentrations en NiSO<sub>4</sub> (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) dans des conditions contrôlées de laboratoire (température et obscurité). Les résultats obtenus montrent qu'il n'y a pas une grande différence dans le pouvoir germinatif des graines traitées par la plus faible des concentrations (25 ppm) par rapport à ce qui est observé chez les témoins non traités. La différence est constatée lorsque la concentration de l'élément trace utilisée augmente. En effet, les effets du nickel sur le pouvoir germinatif, la vitesse de germination, l'indice de germination et le pourcentage de vitalité des graines de *Parkinsonia aculeata* L. s'en trouvent réduits. Ces réductions sont plus importantes d'autant que la concentration en NiSO<sub>4</sub> augmente.

**Mots clés :** *Parkinsonia aculeata* L., NiSO<sub>4</sub>, capacité de germination, vitesse de germination, indice de germination, indice de vigueur.

---

### ***Abstract***

The effects of a metallic trace element on the germination of the seeds of *Parkinsonia aculeata* L. (Caesalpinaceae) were tested. A species which are able to play an important role in soil remediation and / or phytoremediation.

The seeds are germinated in different concentrations of NiSO<sub>4</sub> (25, 50, 150, 300, 450 and 600 ppm) under controlled laboratory conditions (temperature and darkness). The results obtained show that there is not a big difference in the germination of seeds capacity treated with the lowest concentration (25 ppm) compared to the untreated one. The difference is noted when the concentration of the trace element used increases. Indeed, the effects of nickel on the germination power, the speed of germination, the germination index and the percentage of seeds vitality of *Parkinsonia aculeata* L. are reduced. These reductions are greater as the concentration of NiSO<sub>4</sub> increases.

**Keywords:** *Parkinsonia aculeata* L., NiSO<sub>4</sub>, germination capacity, germination rate, germination index, vigor index.