

Réf :.....

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

## **MASTER**

### *Thème*

**Effets des métaux lourds sur le pouvoir  
germinatif des graines de *Parkinsonia  
aculeata L.***

Présenté par :

**Kellou Soraya**

Soutenu le : ..... **Juin 2019**

Devant le jury composé de :

Mme <i>Farhi-Bouadam B.</i>	MAA	Président
Mr <i>Benadjaoud A.</i>	MCB	Encadreur
Mlle <i>Ourari M.</i>	MCB	Examineur

**Année universitaire : 2018 / 2019**

## Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu le tout puissant, de nous avoir donné la force et la patience pour réaliser ce modeste travail.

Mes sincères remerciements et ma gratitude à **Mr Benadjaoud Ali** pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa grande disponibilité et sa bienveillance.

Je le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel et sa rigueur durant la préparation de ce mémoire.

Je remercie vivement et sincèrement :

**Mlle Ourari Malika** pour avoir accepté d'examiner mon travail.

**Mme Bouadam Baya** en étant président du jury de soutenance.

**Mr Bekdouche Farid** pour ses conseils, ses explications et ses encouragements.

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

# **Dédicace**

## ***A mes chers parents***

Grâce à leurs grands sacrifices et leurs encouragements pour créer le climat affectueux à la poursuite de mes études.

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 mon très cher mari Abdellatif***

Quand je t'ai connu, j'ai trouvé l'homme de ma vie, mon âme sœur et la lumière de ma vie.

Ton soutien moral et matériel, tes sacrifices et ta gentillesse m'ont permis de réussir dans mes études.

Que dieu réunisse nos chemins, pour un long périple commun et serein. Que ce travail soit le témoignage de ma reconnaissance et de mon amour sincères et fidèles.

## ***A mes chères beaux parents***

Pour leurs aides et encouragements pour la réalisation de ce travail.

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

## ***A mes très chères sœurs & frères***

Siham, Adel, Amirouche, Kahina et son mari Zoubir ; je vous présente mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de m'apporter.

## ***A mes grands parents maternelle*** Brahim & Khoukha

## ***A la mémoire de mes grands parents paternel*** Djida & Mehand

## ***A mes tantes, leurs filles, fils et mari surtout (doudou)***

## ***A mes oncles, leurs femmes et enfants***

## ***A mes belles sœurs wafa, imane, warda ainsi que leurs maris et enfants***

***Pour mes très chers amis*** dyhia, thiziri, luiza, thissas, fatima, linda, zahra, ouardia, lydia, nessrine, sonia, saida, cylvia, ryma, faiza, tina.

## ***A la promotion BSA 2018***

***A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réussite de ce travail, je vous remercie.***

## *Abréviations*

[ ]	Concentration
%	Pourcentage
°	Degré
°C	Degré Celsius
<b>ABA</b>	Acide abscissique
<b>ANOVA</b>	Analyse de la variance
<b>Cd</b>	Cadmium
<b>CdSO<sub>4</sub></b>	Sulfate de cadmium
<b>Cr</b>	Chrome
<b>Fig.</b>	Figure
<b>GA</b>	Acide gibbérellique
<b>IC</b>	Intervalle de confiance
<b>K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub></b>	Dichromate de potassium
<b>Ni</b>	Nickel
<b>NiSO<sub>4</sub></b>	Sulfate de nickel
<b>P</b>	Probabilité
<b>ppm</b>	Partie par million
<b>Tab.</b>	Tableau
<b>TCMG</b>	Taux cumulés moyens de germination
<b>TMG</b>	Temps moyens de germination

<b>I. Introduction</b>	<b>01</b>
<b>II. Analyse bibliographique</b>	<b>02</b>
<b>II.1. Eléments traces métalliques</b>	<b>02</b>
<b>II.1.1. Définition</b>	<b>02</b>
<b>II.1.2. Caractéristiques des métaux</b>	<b>02</b>
<b>II.1.2.1. Propriétés physico-chimiques des métaux</b>	<b>02</b>
<b>II.1.2.2. Importance physiologiques des métaux</b>	<b>02</b>
<b>II.1.2.3. Toxicité des métaux lourds</b>	<b>03</b>
<b>II.1.3. Chrome et environnement</b>	<b>03</b>
<b>II.1.3.1. Propriétés du chrome</b>	<b>03</b>
<b>II.1.3.2. Source de pollution de l'environnement</b>	<b>04</b>
<b>II.1.3.3. Effets du chrome sur la santé</b>	<b>05</b>
<b>II.1.4. Nickel et environnement</b>	<b>05</b>
<b>II.1.4.1. Propriétés du nickel</b>	<b>05</b>
<b>II.1.4.2. Source de pollution de l'environnement</b>	<b>06</b>
<b>II.1.4.3. Effets du nickel sur la santé</b>	<b>06</b>
<b>II.1.5. Cadmium et environnement</b>	<b>06</b>
<b>II.1.5.1. Propriétés du cadmium</b>	<b>07</b>
<b>II.1.5.2. Source de pollution de l'environnement</b>	<b>07</b>
<b>II.1.5.3. Effets du cadmium sur la santé</b>	<b>08</b>
<b>II.2. Généralités sur <i>Parkinsonia aculeata</i> L.</b>	<b>08</b>
<b>II.2.1. Etymologie, origine et position systématique</b>	<b>08</b>
<b>II.2.2. Description botanique</b>	<b>09</b>
<b>II.2.3. Propagation de <i>Parkinsonia aculeata</i> L.</b>	<b>10</b>
<b>II.2.4. Ecologie de l'espèce</b>	<b>11</b>
<b>II.2.5. Importance et services de <i>Parkinsonia aculeata</i> L.</b>	<b>11</b>

<b>II.3. Généralités sur la germination des semences</b>	<b>12</b>
<b>II.3.1. Définition de la germination</b>	<b>12</b>
<b>II.3.2. Différentes phases de la germination</b>	<b>12</b>
<b>II.3.3. Facteurs influençant la germination</b>	<b>13</b>
<b>II.3.4. Inhibiteurs de la germination</b>	<b>14</b>
<b>II.3.5. Levée de la dormance</b>	<b>15</b>
<b>III. Matériel &amp; Méthodes</b>	<b>16</b>
<b>III.1. Matériel végétal</b>	<b>16</b>
<b>III.1.1. Origine des graines</b>	<b>16</b>
<b>III.1.2. Traitement des graines</b>	<b>16</b>
<b>III.1.3. Imbibition des graines</b>	<b>16</b>
<b>III.1.4. Germination des graines</b>	<b>16</b>
<b>III.2. Préparation des solutions pour le traitement des graines</b>	<b>17</b>
<b>III.2.1. Dichromate de potassium</b>	<b>17</b>
<b>III.2.2. Sulfate du nickel</b>	<b>17</b>
<b>III.2.3. Sulfate de cadmium</b>	<b>17</b>
<b>III.3. Méthodes utilisées</b>	<b>18</b>
<b>III.3.1. Taux cumulés de germination</b>	<b>18</b>
<b>III.3.2. Pourcentage de réduction de la germination</b>	<b>18</b>
<b>III.3.3. Temps moyens de germination</b>	<b>19</b>
<b>III.3.4. Etude statistique</b>	<b>19</b>
<b>IV. Résultats &amp; Discussion</b>	<b>20</b>
<b>IV.1. Taux cumulés de germination des graines de <i>Parkinsonia aculeata</i> L.</b>	<b>20</b>
<b>IV.1.1. Taux cumulés des lots traités par du <math>K_2Cr_2O_7</math></b>	<b>20</b>
<b>IV.1.2. Taux cumulés des lots traités par du <math>NiSO_4</math></b>	<b>22</b>
<b>IV.1.3. Taux cumulés des lots traités par du <math>CdSO_4</math></b>	<b>26</b>

<b>IV.1.4.</b> Synthèse globale sur les taux cumulés de germination	<b>29</b>
<b>IV.1.4.1.</b> Traitement au $K_2Cr_2O_7$	<b>29</b>
<b>IV.1.4.2.</b> Traitement au $NiSO_4$	<b>30</b>
<b>IV.1.4.3.</b> Traitement au $CdSO_4$	<b>31</b>
<b>IV.2.</b> Temps moyens de germination des graines de <i>Parkinsonia aculeata</i> L.	<b>33</b>
<b>IV.2.1.</b> Temps moyens de germination des lots traités par du $K_2Cr_2O_7$	<b>33</b>
<b>IV.2.2.</b> Temps moyens de germination des lots traités par du $NiSO_4$	<b>33</b>
<b>IV.2.3.</b> Temps moyens de germination des lots traités par du $CdSO_4$	<b>34</b>
<b>IV.2.4.</b> Synthèse globale sur les temps moyens de germination	<b>35</b>
<b>IV.2.4.1.</b> Traitement au $K_2Cr_2O_7$	<b>35</b>
<b>IV.2.4.2.</b> Traitement au $NiSO_4$	<b>36</b>
<b>IV.2.4.3.</b> Traitement au $CdSO_4$	<b>36</b>
<b>IV.3.</b> Analyse statistique pour les trois traitements confondus	<b>37</b>
<b>IV.3.1.</b> Test de Newman-Keuls entre les trois études	<b>38</b>
<b>IV.3.2.</b> Test de Newman-Keuls entre les concentrations utilisées	<b>38</b>
<b>IV.3.3.</b> Test de Newman-Keuls entre les jours considérés	<b>40</b>
<b>V. Conclusion</b>	<b>42</b>
<b>VI. Références Bibliographiques</b>	<b>44</b>

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	Classification périodique des éléments.	<b>02</b>
<b>02</b>	Quelques caractéristiques et propriétés physico-chimiques de l'élément chrome.	<b>04</b>
<b>03</b>	Quelques caractéristiques et propriétés physico-chimiques de l'élément nickel.	<b>05</b>
<b>04</b>	Quelques caractéristiques et propriétés physico-chimiques de l'élément cadmium.	<b>07</b>
<b>05</b>	Classification phylogénétique de <i>Parkinsonia aculeata L.</i>	<b>08</b>
<b>06</b>	Taux cumulés de germination maximums obtenus à la fin des expérimentations et les pourcentages de réduction de la germination des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata L.</i> traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en $K_2Cr_2O_7$ comparativement au lot témoin, puis par rapport aux lots traités.	<b>21</b>
<b>07</b>	Taux cumulés de germination maximums obtenus à la fin des expérimentations et les pourcentages de réduction de la germination des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata L.</i> traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en $NiSO_4$ comparativement au lot témoin, puis par rapport aux lots traités.	<b>24</b>
<b>08</b>	Taux cumulés de germination maximums obtenus à la fin des expérimentations et les pourcentages de réduction de la germination des graines scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata L.</i> traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en $CdSO_4$ comparativement au lot témoin, puis par rapport aux lots traités.	<b>27</b>
<b>09</b>	Temps moyens de germination des graines préalablement scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata L.</i> témoins et traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en $K_2Cr_2O_7$ . Les résultats sont exprimés en jours $\pm$ intervalle de confiance.	<b>33</b>
<b>10</b>	Temps moyens de germination des graines préalablement scarifiées de <i>Parkinsonia aculeata L.</i> témoins et traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en $NiSO_4$ . Les résultats sont exprimés en jours $\pm$ intervalle de confiance.	<b>34</b>

## **Liste des tableaux**

- 11** Temps moyens de germination des graines préalablement scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en CdSO<sub>4</sub>. Les résultats sont exprimés en jours ± intervalle de confiance. **34**
- 12** Tableau de variation de l'ANOVA à 3 facteurs. Les différences statistiques sont considérées au seuil de 5%, soit une probabilité  $P > 0,95$ . **37**
- 13** Test de Newman-Keuls entre les trois études : K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (dichromate de potassium), NiSO<sub>4</sub> (sulfate de nickel) et CdSO<sub>4</sub> (sulfate de cadmium). Les différences statistiques sont considérées au seuil de 5%, soit une probabilité  $P > 0,95$ . **38**
- 14** Test de Newman-Keuls entre les sept niveaux de traitements [0, 25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm]. Les différences statistiques sont considérées au seuil de 5%, soit une probabilité  $P > 0,95$ . **39**
- 15** Test de Newman-Keuls entre les neuf niveaux de nombre de jours considérés (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 jours). Les différences statistiques sont considérées au seuil de 5%, soit une probabilité  $P > 0,95$ . **40**

## Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Différentes sources de la pollution métallique et ses impacts sur les chaînes trophiques.	03
02	Aspect général de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. avec son port, ses rameaux pendants ( <b>a</b> ) et son tronc verdâtre ( <b>b</b> ).	09
03	Feuilles ( <b>a</b> ) et fleurs dont un pétale est tacheté ( <b>b</b> ) de <i>Parkinsonia aculeata</i> L.	09
04	Aperçu sur les gousses ( <b>a</b> ) et les graines de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. ( <b>b</b> ).	10
05	Utilité de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. dans les programmes de reboisement.	11
06	Origine des différentes parties constitutives des fruits et des graines.	12
07	Courbe théorique d'imbibition d'une semence.	13
08	Différents facteurs impliqués dans la qualité germinative des semences.	14
09a	Balance acide abscissique (ABA) / acide gibbérellique (GA) et ses effets sur la dormance des semences.	15
09b	Levée de la dormance sous l'effet de l'acide gibbérellique (GA).	15
10	Aspect, fiche technique et projection du dichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ )	17
11	Aspect, fiche technique et projection du sulfate du nickel ( $NiSO_4$ )	17
12	Aspect, fiche technique et projection du sulfate de cadmium ( $CdSO_4$ )	18
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 $K_2Cr_2O_7$ en fonction du temps.	20
14	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 $NiSO_4$ en fonction du temps.	23
15	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 $CdSO_4$ en fonction du temps.	26

# ***INTRODUCTION***

### **I. Introduction**

Les éléments traces sont des constituants de la croûte terrestre, qui représentent 80 éléments chimiques. La concentration de chacun d'entre eux est inférieure à 0,1%, occupant 0,6% du total, pendant que les 12 éléments majeurs (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, H, P, Mn) représentent 99,4%. Certains éléments traces sont des métaux (Cd, Cr, Zn, Pb, Cu), d'autres sont des non-métaux (As, Se, B). Ils sont tous potentiellement polluants, en fonction de leur concentration dans le milieu et surtout de leur forme chimique. Pour certains, ils sont indispensables aux processus biologiques donc à la production végétale et animale (Zn, Cu, Cr, Mo, B), d'autres ne jouent aucun rôle utile (Cd, Pb, Hg, Sn) (**Baize, 1997 ; 2009**).

L'étude des mécanismes physiologiques assurant la survie en conditions d'excès de métaux est cruciale, c'est une urgence même. Pour les espèces végétales fixées directement aux sols, cette urgence s'impose pour connaître au mieux le comportement et les éventuelles réponses apportées, pour des exploitations futures au bénéfice de l'être vivant en général. Ainsi, dans le cycle de vie et de développement des plantes, le stade à explorer en premier est celui relatif à la germination des graines, stade critique puisque assurant la reproduction et contrôlant la dynamique des populations (**Radosovich et al. 1997**).

Peu d'études détaillent les impacts des métaux sur le métabolisme des graines, leur viabilité et germination, par rapport aux travaux menés sur les effets de ces métaux sur les tissus végétaux aériens et souterrains (**Kranner & Colville, 2011**).

Ces 2 dernières années, 3 travaux sur les impacts de métaux lourds sur la germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.* ont été réalisées. Il s'agit des effets du chrome (**Adjaoute & Bouchal, 2017**), du cadmium (**Amara & Sahki, 2017**) et du nickel (**Bekhouche & Benberkat, 2018**) sur en général la capacité germinative des graines, ainsi que sur le temps moyen mis par les graines de *Parkinsonia aculeata L.* pour germer.

Dans ces 3 études, différentes concentrations ont été utilisées, au nombre de six au total [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm]. La germination a été suivie durant 8 jours, en dénombrant chaque jour les graines germées pour chacun des traitements.

Nous avons souhaité dans ce présent travail reprendre les résultats des 3 études, d'en faire une synthèse globale, puis les confondre et tirer les conclusions les plus pertinentes. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur une étude statistique : analyse de la variance appuyée du test de Newman-Keuls.

***ANALYSE***  
***BIBLIOGRAPHIQUE***

## II.1. Eléments traces métalliques

### II.1.1. Définition

Le terme éléments traces métalliques ou métaux lourds désigne tous les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup>. Un nombre de 41 métaux correspondent à cette définition générale auxquels il faut ajouter 5 métalloïdes (**Tab.1**).

<b>Bloc S</b>												<b>Bloc p</b>					
H		■ Métaux lourds de densité > 5															He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	<b>Bloc d</b>										Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	<b>Bloc f</b>														
Lanthanides			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
Transuraniens			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Cf	Bk	Es	Fm	Md	No	Lr	

**Tableau 1** : Classification périodique des éléments ([www.institut-numerique.org/i2-definitions-et-caracteristiques-des-metaux-lourds-5306014f2e326](http://www.institut-numerique.org/i2-definitions-et-caracteristiques-des-metaux-lourds-5306014f2e326)).

### II.1.2. Caractéristiques des métaux

#### II.1.2.1. Propriétés physico-chimiques des métaux

Les métaux lourds possèdent les propriétés physiques générales des métaux : bonne conductivité thermique et électrique. Ils sont fortement électropositifs et donnent par perte d'électrons des cations métalliques de charge variable. Ces cations métalliques peuvent former avec des ligands des liaisons ioniques, covalentes ou intermédiaires (**Sparks, 1998**).

#### II.1.2.2. Importance physiologiques des métaux

Certains métaux sont nécessaires aux organismes vivants en faible quantité : Zn, Cu, Mn, Ni, Fe, B, Co et Se. Il s'agit d'oligo-éléments nécessaires à la nutrition, intervenant dans les réactions métaboliques et biochimiques. Leur absence peut entraîner des carences. L'augmentation de la concentration de ces éléments est nocive pour les organismes vivants. D'autres éléments comme le Cd, le Pb, le Hg ne sont pas essentiels pour les organismes vivants et leurs effets sont toxiques (**Sparks, 1998**).

### II.1.2.3. Toxicité des métaux lourds

La pollution métallique impacte l'eau, les terres et l'air, et sont les conséquences de multiples activités humaines, comme les rejets d'usines métallurgiques et des tanneries. C'est aussi une dérive de l'agriculture, causée par l'épandage d'oligo-éléments et de l'utilisation de certains fongicides. Ce genre de pollution peut aussi provenir de l'incinération de déchets et de la combustion de l'essence par les véhicules.

La toxicité des métaux lourds est due essentiellement à leur non dégradabilité, leur toxicité à faible concentration et leur tendance à s'accumuler dans les organismes vivants et à se concentrer le long des chaînes trophiques (Fig. 1) (Sparks, 1998).

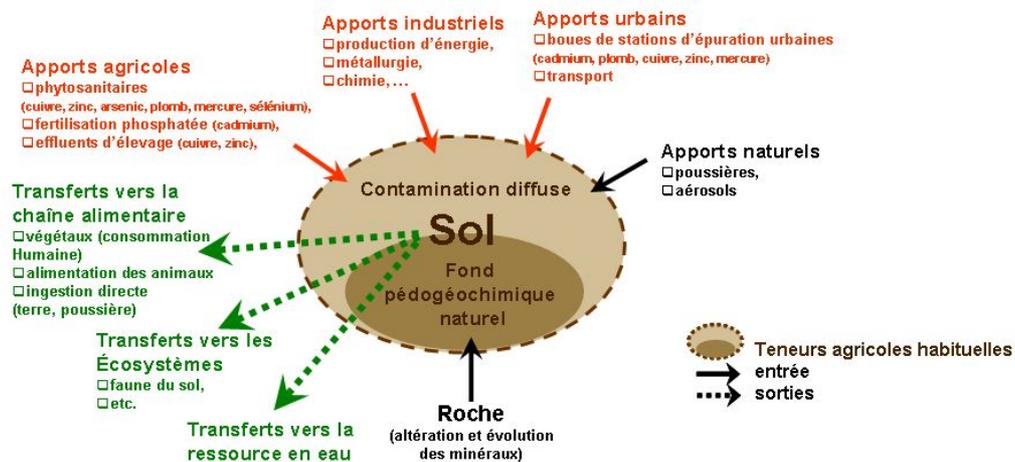


Figure 1 : Différentes sources de la pollution métallique et ses impacts sur les chaînes trophiques ([sciencepost.fr/2016/09/pollution-metallique-mal-meconnu-ronge-nos-sols/](http://sciencepost.fr/2016/09/pollution-metallique-mal-meconnu-ronge-nos-sols/)).

### II.1.3. Chrome et environnement

Le chrome existe principalement dans la nature sous la forme de dérivés. Le principal minéral est le chromate de fer ou chromite. Le chrome pur est obtenu par réaction d'aluminium et d'oxydes (III) de chrome (aluminothermie), par électrolyse ou à partir d'iodure du chrome. Les composés hexavalents (Cr VI) présentent un risque majeur (Bartlett & Kimble, 1976 ; Bartlett, 1991).

#### II.1.3.1. Propriétés du chrome

Son nom vient du grec *Khroma* signifiant couleur. Il présente les caractéristiques et les propriétés physico-chimiques suivantes (Tab. 2).

Caractéristiques et propriétés physico-chimiques du chrome	
Symbole	Cr
Forme	Dur et ductile
Couleur	Argenté
Odeur	Inodore
Numéro atomique	24
Masse atomique	51,996 g.mol <sup>-1</sup>
Electronégativité de Pauling	1,6
Masse volumique	7,19 g.cm <sup>-3</sup> à 20 °C
Température de fusion	1875 °C
Température d'ébullition	2672 °C
Densité (20°C)	7,19
Solubilité (20°C)	Insoluble dans l'eau
Rayon atomique (Van der Waals)	0,127 nm
Rayon ionique	0,061 nm (+3) ; 0,044 (+6)
Isotopes	5
Configuration électronique	[Ar] 3d <sup>4</sup> 4s <sup>2</sup>
Energie de première ionisation	651,1 Kj.mol <sup>-1</sup>
Potentiel standard	- 0,71 V (Cr <sup>3+</sup> / Cr)
Découverte	Vauquelin en 1797
Utilisation	Alliages, plaquages en chromes et céramiques

**Tableau 2** : Quelques caractéristiques et propriétés physico-chimiques de l'élément chrome. ([www.lenntech.fr/periodique/elements/cr.htm](http://www.lenntech.fr/periodique/elements/cr.htm)).

### **II.1.3.2. Source de pollution de l'environnement**

Les quantités de chrome détectées dans l'hydrosphère, la pédosphère, l'atmosphère et la biosphère sont liées pour l'essentiel à des émissions d'origine industrielle.

Les chromates ont une bonne solubilité dans l'eau, mais dans le milieu naturel, ils se transforment en présence de matières organiques oxydables, en composés de chrome (III), lesquels sont stables et de moindre hydrosolubilité. L'apport du chrome dans les sols fait suite, dans des proportions croissantes, aux applications d'engrais phosphatés (**Palmer & Wittbrodt, 1991**).

### **II.1.3.3. Effets du chrome sur la santé**

Le chrome (III) est un nutriment essentiel pour l'homme et, une carence peut provoquer des problèmes au cœur, des perturbations du métabolisme et du diabète. Mais l'absorption excessive de Cr (III) peut provoquer des problèmes de santé comme les éruptions cutanées.

Le chrome (VI) est dangereux pour la santé, principalement pour les personnes travaillant dans l'industrie de l'acier et du textile et les personnes fumeurs. Il présente un risque cancérigène important pour les embryons et fœtus. Les intoxications chroniques peuvent entraîner des altérations du tube gastro-intestinal. Le composé peut s'accumuler dans le foie, les reins, la glande thyroïde et la moelle osseuse (**Sparks, 1998**).

### **II.1.4. Nickel et environnement**

Le nickel est un oligo-élément rencontré en quantités assez importantes dans la nature. Les minerais de nickel existant à l'état naturel ne présentent pas de dangers significatifs. En revanche, les produits de synthèse présentent un potentiel de risque considérable (**Golightly, 1981 ; Lin & Popp, 1984**).

#### **II.1.4.1. Propriétés du nickel**

L'étymologie du mot nickel provient de l'allemand *Kupfernickerl*. C'est un mot composé de *kupfer* : cuivre et de *Nickel* : diable ou lutin. Les mineurs allemands ayant vainement tenté de tirer du cuivre de la nickéline où ils croyaient en trouver en raison de sa couleur rouge. L'élément est présenté dans le tableau suivant (**Tab. 3**).

Caractéristiques et propriétés physico-chimiques du nickel	
Symbole	Ni
Forme	Malléable et ductile
Couleur	blanc argenté
Odeur	Inodore
Numéro atomique	28
Masse atomique	58,71 g.mol <sup>-1</sup>
Electronégativité de Pauling	1,8
Masse volumique	8,9 g.cm <sup>-3</sup> à 20 °C
Température de fusion	1455 °C
Température d'ébullition	2730 °C

Densité (20°C)	8,90
Solubilité (20°C)	Insoluble dans l'eau
Rayon atomique (Van der Waals)	0,124 nm
Rayon ionique	0,069 nm (+2) ; 0,06 (+3)
Isotopes	5
Configuration électronique	[Ar] 3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>
Energie de première ionisation	735 Kj.mol <sup>-1</sup>
Potentiel standard	- 0,25 V
Découverte	Cronstedt en 1751
Utilisation	Alliages, monnaie, plaquage métallique et catalyse

**Tableau 3** : Quelques caractéristiques et propriétés physico-chimiques de l'élément nickel. ([www.lenntech.fr/francais/data-perio/ni.htm](http://www.lenntech.fr/francais/data-perio/ni.htm)).

#### **II.1.4.2. Source de pollution de l'environnement**

Le nickel est relâché dans l'air par les centrales et les incinérateurs de déchets. Ensuite, il se dépose sur les sols ou retombe après réaction avec l'eau de pluie. Le nickel peut aussi finir dans les eaux de surfaces quand il est présent dans les eaux usées. La part la plus importante du nickel relâché dans l'environnement est adsorbée par les sédiments et les particules du sol et devient par conséquent immobile. Cependant, dans les sols acides, le nickel devient plus mobile et il peut rejoindre les eaux souterraines (**Golightly, 1981 ; Lin & Popp, 1984**).

#### **II.1.4.3. Effets du nickel sur la santé**

En petites quantités, le nickel est essentiel mais, quand l'absorption est trop importante il peut présenter un risque pour la santé : risques de développer un cancer des poumons, du larynx et de la prostate ; nausées, vomissements et vertiges ; embolies pulmonaires ; asthme et bronchites chroniques ; réactions allergiques et éruptions cutanées ; ainsi que des problèmes cardiaques (**Sparks, 1998**).

#### **II.1.5. Cadmium et environnement**

On peut trouver principalement le cadmium dans la croûte terrestre. Il est toujours présent en combinaison avec le zinc. Il est présent aussi dans l'industrie comme sous-produit inévitable de l'extraction du zinc, du plomb et du cuivre. On le trouve dans les pesticides et les engrais, il peut donc pénétrer dans l'environnement par le sol (**Baize, 1997**).

**II.1.5.1. Propriétés du cadmium**

Son nom vient de la mine de zinc de *Kadmos* près de Thèbes. Ses caractéristiques et propriétés physico-chimiques sont rapportées dans ce tableau (**Tab. 4**).

Caractéristiques et propriétés physico-chimiques du chrome	
Symbole	Cd
Forme	Lourd, mou et brillant
Couleur	Blanc argenté
Odeur	Inodore
Numéro atomique	48
Masse atomique	112,41 g.mol <sup>-1</sup>
Electronégativité de Pauling	1,7
Masse volumique	8,7 g.cm <sup>-3</sup> à 20 °C
Température de fusion	320,9 °C
Température d'ébullition	767 °C
Densité (20°C)	8,65
Solubilité (20°C)	Insoluble dans l'eau
Rayon atomique (Van der Waals)	0,154 nm
Rayon ionique	0,097 nm (+2)
Isotopes	-
Configuration électronique	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>
Energie de première ionisation	866 Kj.mol <sup>-1</sup>
Potentiel standard	- 0,402 V
Découverte	Isolé en 1817 par 4 chimistes allemands
Utilisation	Alliages, batteries rechargeables, pigments

**Tableau 4** : Quelques caractéristiques et propriétés physico-chimiques de l'élément cadmium. ([www.lenntech.fr/periodique/elements/cr.htm](http://www.lenntech.fr/periodique/elements/cr.htm)).

**II.1.5.2. Source de pollution de l'environnement**

Une grande quantité de cadmium est libérée dans les rivières lors de l'usure de la roche, dans l'air lors des feux de forêts et par les volcans. Les flux de cadmium provenant des industries finissent principalement dans les sols. Une autre source importante d'émission de

cadmium est la production de fertilisants non naturels à base de phosphate, dont une partie se retrouve dans le sol après application du fertilisant sur les terres agricoles.

Le cadmium est fortement absorbé par les matières organiques dans les sols, qui peuvent être extrêmement dangereux pour les chaînes alimentaires, des plantes aux consommateurs potentiels (Baize, 1997).

### II.1.5.3. Effets du cadmium sur la santé

Les fumeurs et les gens qui vivent près des sites de déchets dangereux ou qui travaillent dans l'industrie du raffinage des métaux sont exposés entre autres à des problèmes pulmonaires et rénaux. Le cadmium peut aussi provoquer des diarrhées, douleurs d'estomac et vomissements ; fracture des os ; infertilité ; problèmes au système nerveux central ; problèmes au niveau du système immunitaire ; désordre psychologique et altération de l'ADN ou développement de cancer (Sparks, 1998).

## II.2. Généralités sur *Parkinsonia aculeata* L.

### II.2.1. Étymologie, origine et position systématique

*Parkinsonia aculeata* L. est connue sous le nom vernaculaire de genêt épineux, épine de Jérusalem, *Palo verde* au Mexique et *Palo de rayo* en Espagne. Le nom de *Parkinsonia* lui a été attribué en l'honneur du botaniste Anglais, **John Parkinson** (1567 – 1670).

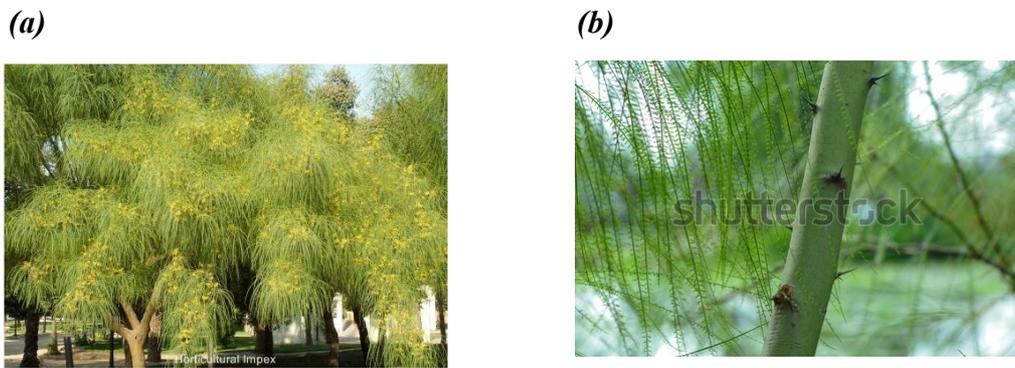
L'espèce est originaire des Amériques : sud-ouest des USA, du Mexique, des Caraïbes, d'Amérique du sud jusqu'au nord de l'Argentine. C'est une légumineuse, de la sous-famille des *Caesalpinioideae* et l'espèce *Parkinsonia aculeata* L. (Tab. 5) (Hawkins *et al.* 2007) :

Clade	Angiospermes
Clade	Dicotylédones vraies
Clade	Rosidées
Clade	Fabidées
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae
Sous-famille	Caesalpinioideae
Genre	<i>Parkinsonia</i>
Espèce	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.

**Tableau 5** : Classification phylogénétique de *Parkinsonia aculeata* L.

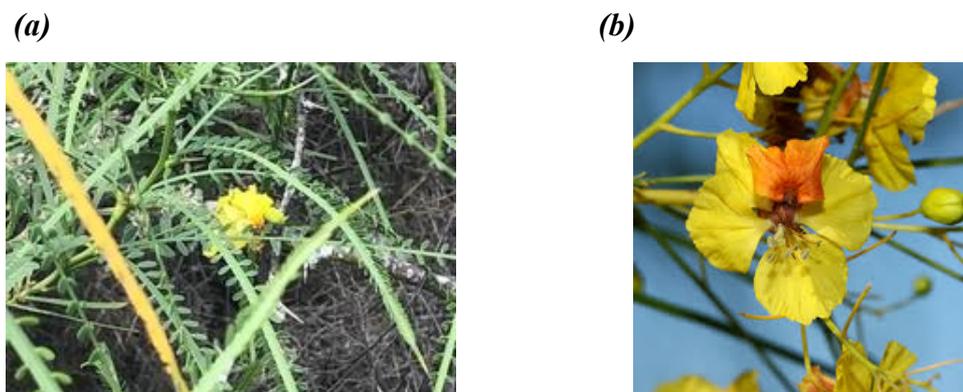
### II.2.2. Description botanique

*Parkinsonia aculeata* L. est un arbuste pérenne, épineux et verdoyant, à port étalé et tronc court, de 3 à 4 m de haut. Il peut atteindre jusqu'à 10 m de haut, avec une écorce caractéristique verdâtre et de longs rameaux fins et retombants (**Fig. 2a et b**) (Von Maydell, 1983).



**Figure 2** : Aspect général de *Parkinsonia aculeata* L. avec son port, ses rameaux pendants (a) et son tronc verdâtre (b) ([www.horticulture.com/tree-plants-seeds/ornamental-shrubs/parkinsonia-aculeata-detail.html](http://www.horticulture.com/tree-plants-seeds/ornamental-shrubs/parkinsonia-aculeata-detail.html)) et ([www.shutterstock.com/image-photo/jerusalem-thorn-scientific-name-parkinsonia-aculeata-1109409161](http://www.shutterstock.com/image-photo/jerusalem-thorn-scientific-name-parkinsonia-aculeata-1109409161)).

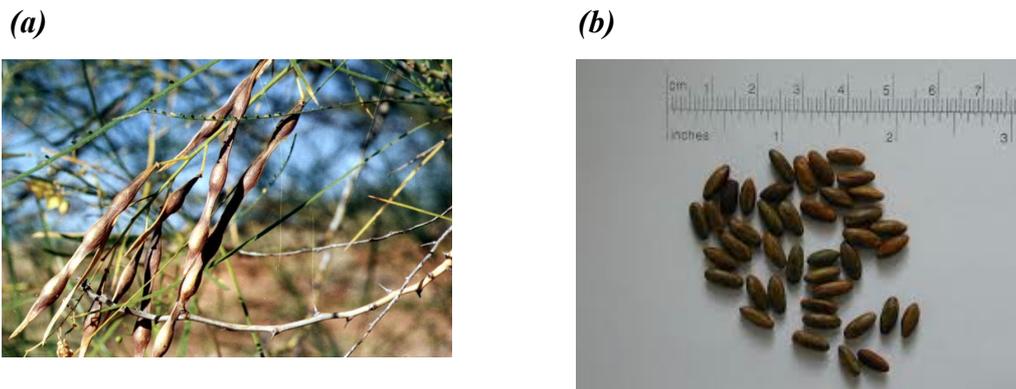
Ses feuilles sont bipennées, avec 20 à 30 paires de folioles presque opposées, longues de 3 à 10 mm. Les folioles sont obovales et glabres, avec à la base une épine vigoureuse de 15 mm de long et deux stipules non lignifiées (**Fig. 3a**) (Von Maydell, 1983).



**Figure 3** : Feuilles (a) et fleurs dont un pétale est tacheté (b) de *Parkinsonia aculeata* L. ([hasbrouck.asu.edu/neotrop/plantae/taxa/index.php?taxon=36449&clid=211](http://hasbrouck.asu.edu/neotrop/plantae/taxa/index.php?taxon=36449&clid=211)) et ([www.fireflyforest.com/flowers/1833/parkinsonia-aculeata-jerusalem-thorn/](http://www.fireflyforest.com/flowers/1833/parkinsonia-aculeata-jerusalem-thorn/)).

Les fleurs sont insipides et odorantes, d'un jaune brillant, disposées en grappes axillaires de 15 à 20 cm de long. La corolle est formée de 5 pétales obovales dont un est tacheté d'orange (**Fig. 3b**) (**Von Maydell, 1983**).

*Parkinsonia aculeata* L. qui fleurit principalement aux mois de mai et juin, développe très tardivement des gousses cylindriques de 18 cm de long, glabres, de couleur brun clair à maturité (**Fig. 4a**). Les graines au nombre de 6 ou plus par gousse, sont très coriaces. Elles sont de taille oblongue et de couleur marron (**Fig. 4b**) (**Von Maydell, 1983**).



**Figure 4** : Aperçu sur les gousses (**a**) et les graines de *Parkinsonia aculeata* L. (**b**) ([keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Parkinsonia\\_aculeata](https://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Parkinsonia_aculeata)) et ([www.univ-bejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/5126](http://www.univ-bejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/5126)).

### II.2.3. Propagation de *Parkinsonia aculeata* L.

Les enveloppes séminales des graines de *Parkinsonia aculeata* L. sont constituées d'un épiderme externe, recouvert d'une cuticule épaisse, d'un hypoderme, du mésenchyme et d'un épiderme interne. L'ensemble de ces tissus se développent à partir du tégument externe de l'ovule et se sclérifient au cours de la maturation, rendant le tégument dur et la germination des graines difficile (**Benadjaoud & Aïd, 2005**).

A l'état naturel, les graines de *Parkinsonia aculeata* L. germent après une dissémination zoochorique ou anémochorique, en présence d'une humidité suffisante et une température favorable. L'inhibition tégumentaire des graines de *Parkinsonia aculeata* L. peut être levée par une scarification mécanique au scalpel, processus qui altère le tégument, le rendant perméable à l'eau et l'air (**Benadjaoud & Aïd, 2005**).

### II.2.4. Ecologie de l'espèce

*Parkinsonia aculeata* L. nécessite des régions sèches de 350 à 400 mm de précipitation par an et tolère une légère salinité. Il résiste à la chaleur et à la sécheresse du milieu (Sheikh, 1988 ; Noguiera & Barbosa, 1998). Sa croissance est très rapide en plein soleil et pousse aussi bien, sur des sols sableux que graveleux ; il tolère des sols alcalins ou calcaires. Il est présent à une altitude qui varie de 0 à 300 m (Barbosa & Prado, 1991 ; Orwa *et al.* 2009).

### II.2.5. Importance et services de *Parkinsonia aculeata* L.

*Parkinsonia aculeata* L. est utilisé dans l'alimentation. Ses feuilles et ses graines peuvent servir de nourriture aux moutons et chèvres, surtout pendant la saison sèche en raison de la persistance de ses feuilles vertes. La pulpe fraîche de ses fruits est douce, en raison de sa richesse en sucres, jusqu'à 60%. On peut également en fabriquer une boisson avec les fruits fermentés (Von Maydell, 1983 ; Orwa *et al.* 2009).

*Parkinsonia aculeata* L. est utilisé en médecine, les infusions préparées à base des feuilles, graines, fleurs et de l'écorce sont administrées contre la fièvre intermittente. Les macérés ou décoctés des rameaux feuillés sont utilisés pour arrêter les diarrhées ; et les extraits de fleurs et de feuilles en alcool sont appliqués comme cataplasme pour le traitement du rhumatisme (Leite *et al.* 2011 ; Gupta *et al.* 2012).

L'espèce est employée dans la stabilisation des sols meubles et protège contre l'érosion. Elle est utilisée dans les régions de l'Afrique et du Pakistan pour éradiquer le désert, comme il peut enrichir les sols et terres en azote et accroître leur fertilité (Fig. 5) (Sheikh, 1988, Chauhan, 2003).

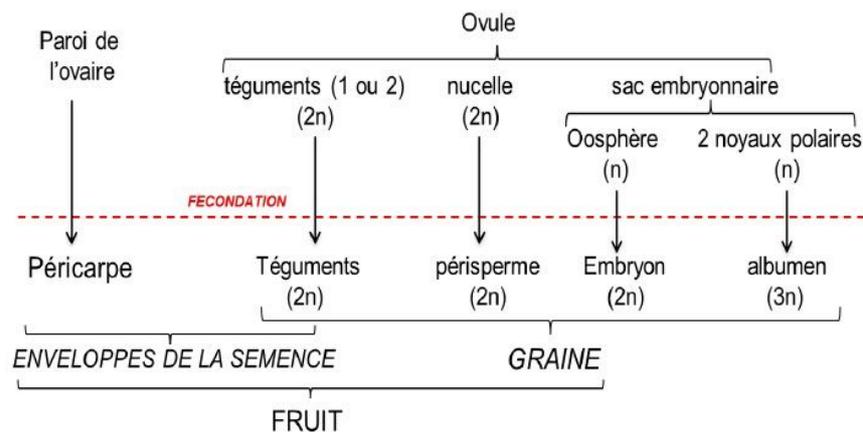


**Figure 5 :** Utilité de *Parkinsonia aculeata* L. dans les programmes de reboisement. ([keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Parkinsonia\\_aculeata](https://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Parkinsonia_aculeata)).

## II.3. Généralités sur la germination des semences

### II.3.1. Définition de la germination

La propagation de l'espèce est réalisée grâce à la graine, qui provient de la transformation de l'ovule après la fécondation (**Fig. 6**). A un stade plus ou moins précoce de son développement, l'embryon entre dans un état de vie ralentie, qui s'accompagne d'une déshydratation importante.



**Figure 6** : Origine des différentes parties constitutives des fruits et des graines (**d'après Côme, 1970**).

La germination correspond à l'étape par laquelle une semence en vie ralentie, se réveille et donne naissance à une plantule. En 1957, **Evenari** propose la définition suivante : la germination est un processus dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et le tout début de la croissance de la radicule.

### II.3.2. Différentes phases de la germination

Des mesures d'imbibition et d'activité respiratoire effectuées sur des semences en cours de germination montrent que la germination se déroule en trois phases successives : la phase d'imbibition, la phase de germination *stricto sensu* et la phase de croissance (**Fig. 7**).

La phase de germination *stricto sensu* est la phase la plus importante car elle conditionne la croissance ultérieure. C'est aussi la phase dont il est difficile de connaître à quel moment elle s'arrête. C'est pourquoi la percée des enveloppes par la radicule ou l'allongement de celle-ci sont couramment utilisés pour déterminer que la semence a germé (**Côme, 1982**).

Des auteurs considèrent, par exemple, que la semence a germé lorsque la radicule fait au moins 1 mm de long (Jordan & Haferkamp, 1989).

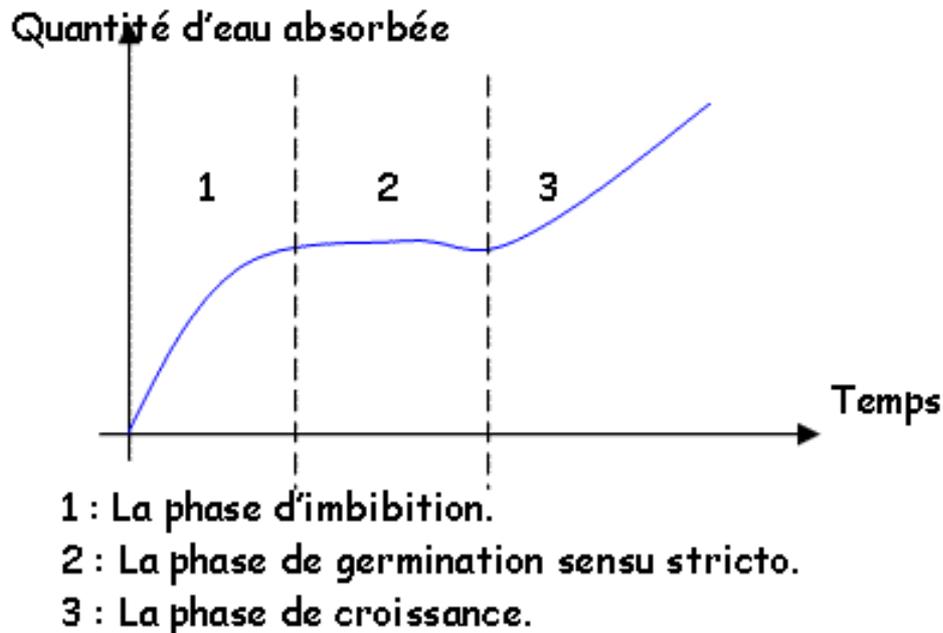


Figure 7 : Courbe théorique d'imbibition d'une semence (d'après Côme, 1982).

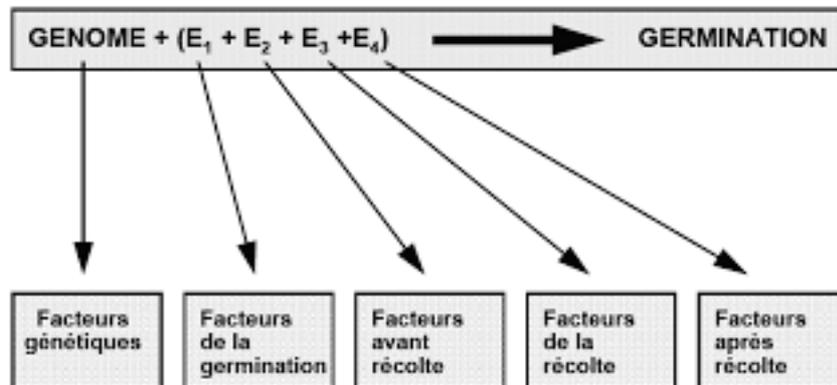
### II.3.3. Facteurs influençant la germination

La qualité germinative d'une semence est fonction de son génome mais aussi de multiples facteurs (Fig. 8) (Côme, 1993) :

- **Facteurs génétiques** : l'espèce, la variété, la taille ou le poids des semences sont quelques uns des facteurs génétiques qui peuvent avoir une influence sur la qualité germinative des semences.
- **Facteurs avant récolte** : correspondent, entre autres au climat, aux techniques culturales, à la position des semences sur la plante mère et à l'âge de la plante mère.
- **Facteurs de la récolte** : c'est le stade de maturité des semences au moment de leur récolte qui intervient principalement dans la germination.
- **Facteurs après récolte** : c'est tous les traitements auxquels les semences sont soumises après leur récolte, comme le séchage, le nettoyage et le triage.

Les facteurs de la germination ou ceux qui interviennent au moment de la germination, sont nombreux. Les plus couramment étudiés sont la température, l'oxygène et l'eau. C'est l'influence combinée de ces différents facteurs qui rend possible ou non la germination.

Ainsi, la présence d'eau est obligatoire, mais pas suffisante car il faut aussi que la température soit convenable et que l'embryon soit correctement oxygéné.

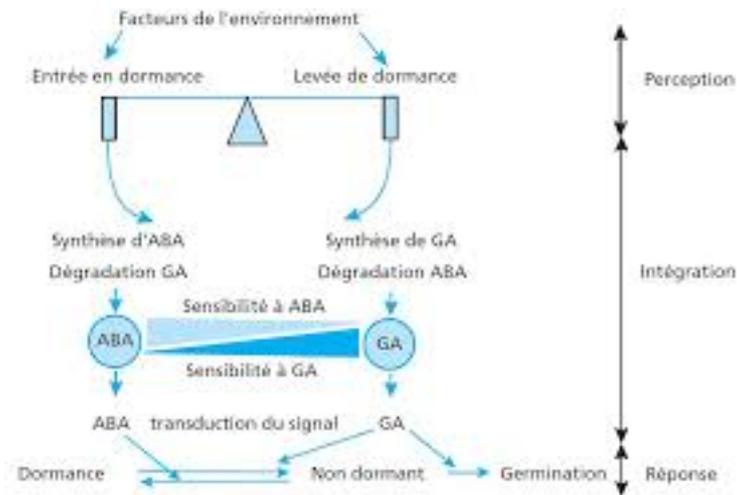


**Figure 8** : Différents facteurs impliqués dans la qualité germinative des semences (d'après Côme, 1993).

### II.3.4. Inhibiteurs de la germination

Il est fréquent que des semences, placées dans de bonnes conditions de germination, ne germent pas. On parle communément de dormance, dont on distingue (Foley, 2001 ; Baskin & Baskin, 2004) :

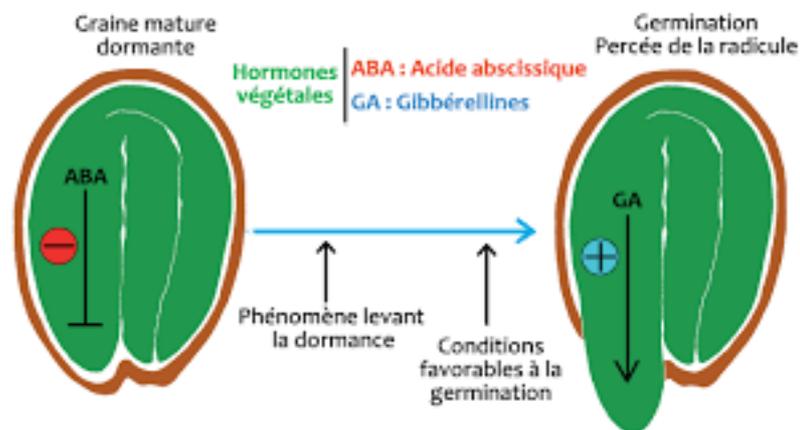
- La **dormance physiologique** : forme la plus abondante, met en cause un ou plusieurs mécanismes physiologiques qui proviennent de l'embryon et qui inhibent l'émergence de la radicule.
- La **dormance morphologique** : forme due à la présence d'un embryon sous développé en terme de taille. La germination ne peut avoir lieu tant que l'embryon n'est pas arrivé au terme de sa croissance.
- La **dormance morpho-physiologique** : forme qui combine entre la dormance morphologique et la dormance physiologique.
- La **dormance physique** : dormance liée à une imperméabilité des graines ou des fruits à l'eau, causée par la présence du péricarpe et de l'endocarpe.
- La **dormance physique-physiologique** : associe dormance tégumentaire et dormance physiologique. La germination ne peut se produire que si les deux types de dormance sont levés à la fois.
- La **dormance chimique** : dormance provoquée par la présence dans le péricarpe d'inhibiteurs de la croissance de l'embryon. Le principal inhibiteur est l'acide abscissique (Fig. 9a).



**Figure 9a** : Balance acide abscissique (ABA) / acide gibbérellique (GA) et ses effets sur la dormance des semences (d'après Peycru *et al.* 2010).

### II.3.5. Levée de la dormance

La levée des dormances est accomplie par différents mécanismes incluant les interactions entre l'environnement et les facteurs internes. Elle se caractérise par une augmentation de l'acide gibbérellique au détriment de l'acide abscissique (Fig. 9a et b).



**Figure 9b** : Levée de la dormance sous l'effet de l'acide gibbérellique (GA) (d'après O. Coen *In* [www.palais-decouverte.fr/fileadmin\\_Palais/fichiersContribs/](http://www.palais-decouverte.fr/fileadmin_Palais/fichiersContribs/)).

Plusieurs techniques dépendant des espèces et de la nature de la dormance sont proposées pour lever les dormances. Comme la stratification froide (vernalisation) ou chaude (estivation), la scarification (mécanique, chimique et physique) et de tous les procédés permettant l'élimination des substances favorisant les dormances (Bewley, 1997).

***MATÉRIEL***  
***&***  
***MÉTHODES***

### **III.1. Matériel végétal**

#### **III.1.1. Origine des graines**

Les graines utilisées dans toutes les expérimentations sont originaires de la région de Tamanrasset (sud de l'Algérie ; 23° 45' 0 N ; 4° 40' 0 E), cueillies au niveau de l'arboretum de la station régionale de l'institut national de recherche forestière.

#### **III.1.2. Traitement des graines**

Les graines sont désinfectées pendant 2 à 3 mn dans de l'hypochlorite de sodium 12°, puis sont rincées par 3 passages dans de l'eau distillée. Après un laps de temps de séchage, les graines sont scarifiées mécaniquement au scalpel. Une fente légèrement superficielle est provoquée par la lame du scalpel du côté de la face dorsale aux environs proche du micropyle. Cette fente permettra le passage de l'eau (lot témoin) ou de la solution utilisée (lot traité) et assurera l'imbibition des graines.

#### **III.1.3. Imbibition des graines**

Les graines de *Parkinsonia aculeata* L. scarifiées sont mises à imbiber dans de l'eau distillée (lot témoin) ou dans la solution de concentration connue (lot traité) pendant une durée de 3 h de temps. La solution d'imbibition est fréquemment renouvelée pour éliminer les substances phénoliques qui risquent d'être libérées depuis les téguments des graines et entraver ainsi leur germination.

#### **III.1.4. Germination des graines**

Les graines de *Parkinsonia aculeata* L. imbibées sont mises à germer en 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 utilisée et de concentration connue (lot traité). Ces boîtes ainsi préparées (25 graines/boîte) sont déposées dans une étuve pour assurer la germination des graines en conditions d'obscurité et à une température de  $27 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Chaque jour et ce pendant 8 jours, les boîtes sont retirées : les graines qui ont germées sont dénombrées, les autres sont remises dans des boîtes neuves pour germer, dans les mêmes conditions citées précédemment, en prenant soin de renouveler le papier absorbant pour éviter les contaminations. Le critère adopté pour connaître la graine qui a germé de celle qui ne l'a pas encore fait est le critère de la percée de la radicule (**Evenari, 1957**).

### III.2. Préparation des solutions pour le traitement des graines

Pour les différents traitements qui ont été appliqués pour suivre la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L., trois solutions mère différentes sont préparées. Il s'agit de :

- Solution de dichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) pour des applications du chrome.
- Solution de sulfate de nickel ( $NiSO_4$ ) pour des applications du nickel.
- Solution de sulfate de cadmium ( $CdSO_4$ ) pour des applications du cadmium.

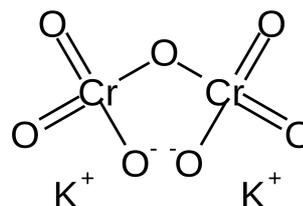
A partir de chacune de ces solutions mères, des solutions de concentrations différentes ont été préparées, il s'agit des concentrations massiques de [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm].

#### III.2.1. Dichromate de potassium

Le dichromate utilisé dans les essais de germination est un sel de potassium. Dans l'eau, il se dissocie en ions dichromate et en ions potassium. L'ion dichromate ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) est un puissant agent oxydant (**Fig. 10**).



Masse molaire : 294,18 g/mol  
 Masse volumique : 2,7 g/cm<sup>3</sup>  
 Point d'ébullition : 500°C  
 Formule brute :  $K_2Cr_2O_7$



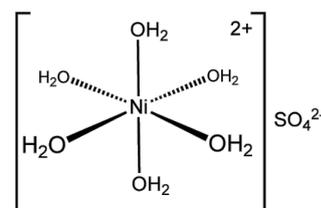
**Figure 10** : Aspect, fiche technique et projection du dichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ). ([fr.wikipedia.org/wiki/Dichromate\\_de\\_potassium](http://fr.wikipedia.org/wiki/Dichromate_de_potassium)).

#### III.2.2. Sulfate de nickel

Le sulfate de nickel utilisé est un composé inorganique sous sa forme anhydre, très soluble dans l'eau et source courante d'ions  $Ni^{2+}$  (**Fig. 11**).



Masse molaire : 154,75 g/mol  
 Masse volumique : 3,68 g/cm<sup>3</sup>  
 Point d'ébullition : 840°C  
 Formule brute :  $NiSO_4$  (anhydre)



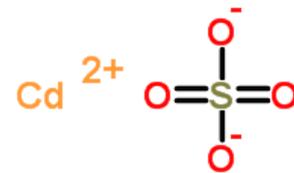
**Figure 11** : Aspect, fiche technique et projection du sulfate du nickel ( $NiSO_4$ ). ([en.wikipedia.org/wiki/Nickel\(II\)\\_sulfate](http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel(II)_sulfate)).

### **III.2.3. Sulfate de cadmium**

Le sulfate de cadmium utilisé est un composé chimique minéral, corps ionique anhydre, composé de cations divalents et d'anions sulfates. C'est une poudre cristalline, de couleur blanchâtre, constituée de cristaux incolores, très solubles dans l'eau (**Fig. 12**).



Masse molaire : 208,47 g/mol  
Masse volumique : 4,69 g/cm<sup>3</sup>  
Point d'ébullition : 1000°C  
Formule brute : CdSO<sub>4</sub>



**Figure 12** : Aspect, fiche technique et projection du sulfate de cadmium (CdSO<sub>4</sub>). ([fr.wikipedia.org/wiki/Sulfate\\_de\\_cadmium](http://fr.wikipedia.org/wiki/Sulfate_de_cadmium)).

### **III.3. Méthodes utilisées**

#### **III.3.1. Taux cumulés de germination**

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

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

#### **III.3.2. Pourcentage de réduction de la germination**

Ce paramètre calculé nous donne un aperçu sur le pourcentage de réduction des graines germées d'un lot par rapport à un autre lot. Il est calculé par la formule suivante si on considère le cas d'un lot traité par rapport à un lot témoin :

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

Où  $N_x$  est le nombre de graines germées après traitement ;  $N_0$  est le nombre de graines témoins qui ont germées.

### **III.3.3. Temps moyen de germination**

Il exprime la vitesse de germination d'un ensemble de graines mises à germer dans des conditions bien contrôlées. Ce paramètre a été déterminé par 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 qui ont germés entre le temps  $T_1$  et le temps  $T_2$ , etc.

### **III.3.4. Etude statistique**

Les résultats présentés expriment pour l'ensemble des analyses une valeur moyenne de 6 répétitions pour le lot témoin et 3 répétitions pour les lots traités par chacune des concentrations testées  $\pm$  intervalle de confiance (IC =  $\pm$  1,96 erreur standard).

L'analyse statistique des données (XLSTAT 2009.1.02) des 3 travaux est réalisée au moyen d'une analyse de la variance à trois facteurs accompagnée d'un test de comparaison multiple des moyennes (test de Newman-Keuls). Les trois facteurs considérés dans la présente analyse sont :

- (1) Trois niveaux d'études correspondant aux traitements par le  $K_2Cr_2O_7$  ;  $NiSO_4$  et  $CdSO_4$ .
- (2) Sept niveaux de concentrations différentes : [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en plus de celui du lot témoin.
- (3) Neuf niveaux de suivi journalier de la germination, s'étalant du temps 0 jours jusqu'au temps 8 jours.

Pour pouvoir réaliser cette analyse, nous avons été contraints de ne considérer que 3 répétitions pour ce qui est des témoins et des lots traités.

Pour l'ensemble des analyses, les différences statistiques sont considérées au seuil de 5%, soit une probabilité  $P > 0,95$ .

***RÉSULTATS***

***&***

***DISCUSSION***

IV.1. Taux cumulés de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L.

IV.1.1. Taux cumulés des lots traités par du  $K_2Cr_2O_7$

L'analyse de l'évolution de la courbe de germination du lot de graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et préalablement scarifiées montre une allure générale de type sigmoïde. Ainsi, ces graines germent assez rapidement ; dès le 1<sup>er</sup> jour le taux cumulé moyen atteint est de l'ordre de  $50,5 \pm 3,1\%$ . Au 2<sup>ème</sup> jour, ce taux augmente jusqu'à  $62,2 \pm 1,3\%$  puis n'évolue que peu au 3<sup>ème</sup> jour ( $67,2 \pm 2,0\%$ ). Au-delà, le taux cumulé moyen de germination atteint son maximum et se stabilise autour d'une valeur moyenne de  $70,5 \pm 2,0\%$  (Fig. 13).

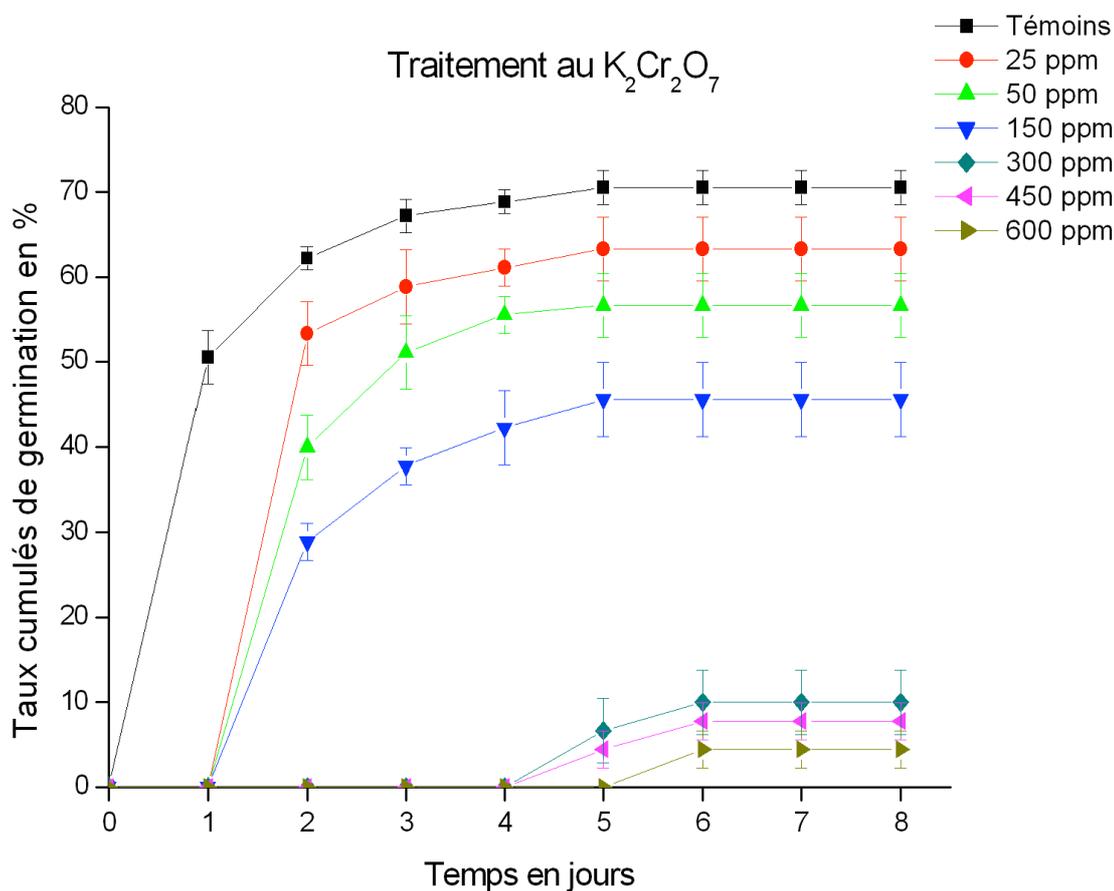


Figure 13 : Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en  $K_2Cr_2O_7$  en fonction du temps (Adjaoute & Bouchal, 2017).

## Résultats & Discussion

La courbe de germination du lot traité par une concentration de [25 ppm] en  $K_2Cr_2O_7$  montre également une allure générale de type sigmoïde comme celle des témoins. Seulement, le traitement par le chrome ne permet à aucune graine de germer le 1<sup>er</sup> jour. C'est au second jour que la majorité des graines germent ( $53,3 \pm 3,7\%$ ). Les jours suivants, le taux cumulé moyen de germination n'évolue que peu et se stabilise autour de  $63,3 \pm 3,8\%$  (**Fig. 13**). Ainsi et au final, le % de réduction de la germination de ce lot traité par une concentration de [25 ppm] se trouve affecté de 10,2% comparativement aux graines témoins (**Tab. 6**).

**Tableau 6** : Taux cumulés de germination maximums obtenus à la fin des expérimentations et les pourcentages 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  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin, puis par rapport aux lots traités (**Adjaoute & Bouchal, 2017**).

Traitement $K_2Cr_2O_7$		Pourcentage de réduction de la germination (en %)						
		T	25ppm	50ppm	150ppm	300ppm	450ppm	600ppm
Taux cumulés de germination maximums	70,5 T	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	63,3 25ppm	10,2	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	56,6 50ppm	19,6	10,5	-----	-----	-----	-----	-----
	45,5 150ppm	35,4	28,0	19,6	-----	-----	-----	-----
	9,9 300ppm	85,8	84,2	82,3	78,0	-----	-----	-----
	7,7 450ppm	88,9	87,7	86,2	82,9	22,2	-----	-----
	4,4 600ppm	93,7	92,9	92,1	90,2	55,5	42,8	-----

Le lot traité par une concentration de [50 ppm] en  $K_2Cr_2O_7$  montre également une courbe dont l'allure générale est de type sigmoïde, tout autant que celle des graines témoins. Cependant, les graines traitées ne germent qu'à partir du second jour avec un taux cumulé de germination de  $39,9 \pm 3,7\%$ . Au 3<sup>ème</sup> jour, ce taux monte à  $51,1 \pm 4,3\%$ , puis n'évolue que peu au final où il se stabilise autour de  $56,6 \pm 3,7\%$  (**Fig. 13**).

Ce taux final obtenu est moins important par rapport à ce qui a été observé chez les graines témoins, pour un pourcentage de réduction de la germination final de 19,6%. Dans un autre contexte et lorsqu'on compare ce lot traité par une concentration de [50 ppm] en  $K_2Cr_2O_7$  vis-à-vis de celui traité par une concentration de [25 ppm], le pourcentage de réduction de la germination entre les deux lots n'est que de 10,5% (**Tab. 6**).

En augmentant la concentration à [150 ppm], le traitement par le  $K_2Cr_2O_7$  retarde la germination. C'est au second jour, que le taux cumulé moyen de germination atteint  $28,8 \pm 2,1\%$ . Au 3<sup>ème</sup> jour, il augmente significativement pour atteindre un taux cumulé moyen de  $37,7 \pm 2,1\%$  puis culmine autour de  $45,5 \pm 4,3\%$  les jours suivants (**Fig. 13**). Le pourcentage de réduction de la germination des graines traitées par une telle concentration est très élevé (35,4%) comparativement au lot de graines non traitées par le  $K_2Cr_2O_7$ . Il est assez important lorsqu'on le compare aux deux autres lots traités par des concentrations de [25 ppm] et de [50 ppm], respectivement des pourcentages de réduction de la germination de 28,0 et 19,6% (**Tab. 6**).

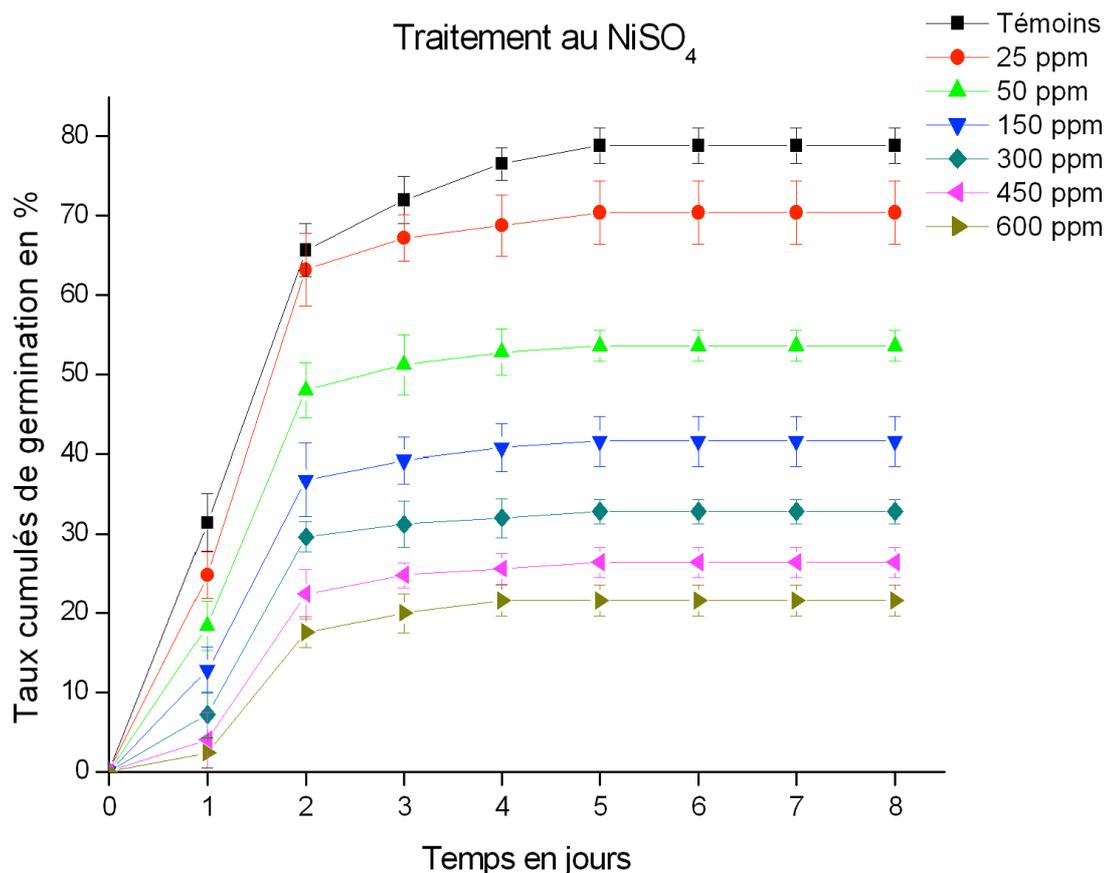
Des concentrations encore plus grandes en  $K_2Cr_2O_7$  inhibent fortement la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. En effet et que ce soit à [300 ppm], [450 ppm] ou bien [600 ppm], le temps de latence pris par les graines pour germer devient encore plus long (de 5 jusqu'à 6 jours) et les taux cumulés moyens obtenus au 8<sup>ème</sup> jour des dénombrements ne dépasse pas 10% pour les 3 concentrations testées (**Fig. 13**).

Aussi, le pourcentage de réduction de la germination obtenu est extrêmement élevé, il dépasse les 85% pour ces trois derniers lots traités lorsqu'on les compare au lot des graines témoins. Il y a lieu de signaler que ce pourcentage de réduction de la germination est aussi élevé lorsqu'on fait une comparaison avec les lots traités par des concentrations de [25 ppm], [50 ppm] et [150 ppm] (**Tab. 6**).

### IV.1.2. Taux cumulés des lots traités par du $NiSO_4$

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. Ainsi, les graines scarifiées et traitées uniquement avec de l'eau distillée germent d'une façon rapide :  $31,4 \pm 3,6\%$  au 1<sup>er</sup> jour et  $65,7 \pm 3,3\%$  au 2<sup>ème</sup> jour. A partir du 3<sup>ème</sup> jour et au-delà, l'élévation faiblit, et le taux cumulé moyen de germination maximum est de  $78,8 \pm 2,2\%$  (**Fig. 14**).

La courbe de germination du lot traité par une [25 ppm] en NiSO<sub>4</sub> montre également une allure générale de type sigmoïde, avec des taux cumulés moyens proches de ceux des témoins (**Fig. 14**). Néanmoins, au-delà du 4<sup>ème</sup> jour une différence significative existe entre les 2 lots, témoins et traités par une [25 ppm] en NiSO<sub>4</sub>. En effet, le pourcentage de réduction de la germination obtenu au 8<sup>ème</sup> jour des dénombrements, montre que le lot traité par une [25 ppm] en NiSO<sub>4</sub> est affecté de 10,6% par rapport au lot des graines témoins (**Tab. 7**).



**Figure 14** : 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 (**Bekhouche & Benberkat, 2018**).

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. Cependant, les taux cumulés moyens enregistrés sont plus faibles que ceux des graines témoins et des graines traitées par une [25 ppm]. Le taux cumulé maximum ( $53,6 \pm 1,9\%$ ) est atteint au 4<sup>ème</sup> jour et n'évoluera plus (**Fig. 14**).

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. Il est de 31,9% vis-à-vis du lot des témoins et de 23,8% vis-à-vis du lot des graines traitées par une [25 ppm] (**Tab. 7**).

**Tableau 7** : Taux cumulés de germination maximums obtenus à la fin des expérimentations et les pourcentages 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, puis par rapport aux lots traités (**Bekhouche & Benberkat, 2018**).

Traitement NiSO <sub>4</sub>		Pourcentage de réduction de la germination (en %)							
		T	25ppm	50ppm	150ppm	300ppm	450ppm	600ppm	
Taux cumulés de germination maximums	78,8	T	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	70,4	25ppm	10,6	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	53,6	50ppm	31,9	23,8	-----	-----	-----	-----	-----
	41,6	150ppm	47,2	40,9	22,3	-----	-----	-----	-----
	32,8	300ppm	58,3	53,4	38,8	21,1	-----	-----	-----
	26,4	450ppm	66,4	62,5	50,7	36,5	19,5	-----	-----
	21,6	600ppm	72,5	69,3	59,7	48,0	34,1	18,1	-----

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. Ainsi au 1<sup>er</sup> jour, le taux cumulé moyen enregistré chez les graines traitées n'est que de 12,8 ± 2,9%. Au 2<sup>ème</sup> jour, il atteint un taux moyen de 36,8 ± 4,5%, puis n'évolue que peu les jours suivants. Au final, le taux cumulé maximum enregistré pour ce traitement est de 41,6 ± 3,1% (**Fig. 14**).

Le pourcentage de réduction de la germination des graines traitées par cette concentration est très élevé (47,2%) comparativement au lot de graines non traitées par le NiSO<sub>4</sub>. Il est assez important (40,9%) lorsqu'on le compare au lot traité par [25 ppm] et un peu moins (22,3%) lorsqu'on le compare au lot traité par [50 ppm] (**Tab. 7**).

## ***Résultats & Discussion***

Le lot traité par une [300 ppm] en NiSO<sub>4</sub> présente aussi une courbe de type sigmoïde. Par comparaison au lot témoin, l'évolution est moins rapide. Le taux cumulé moyen de germination 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 les jours suivants. Le taux cumulé maximum enregistré pour ce traitement est de  $32,8 \pm 1,5\%$  (**Fig. 14**).

Le pourcentage de réduction de la germination observé au 8<sup>ème</sup> jour au sein de ce lot traité par une [300 ppm] en NiSO<sub>4</sub> est très élevé, de 58,4% lorsqu'on le compare aux graines du lot témoin. C'est aussi presque de même ordre (53,4%) lorsqu'on le compare au lot traité par une [25 ppm], un peu moins (38,8%) comparativement au lot traité par une [50 ppm] et tombe à 21,1% comparativement au lot traité par une [150 ppm] (**Tab. 7**).

Le traitement des graines de *Parkinsonia aculeata* L. avec une [450 ppm] en NiSO<sub>4</sub> donne lieu à une courbe qui évolue encore moins rapidement que ce qui a été observé précédemment. Le taux cumulé moyen de germination obtenu au 1<sup>er</sup> jour est très faible ( $4,0 \pm 3,5\%$ ). Il atteint au 2<sup>ème</sup> jour un taux de  $22,4 \pm 3,1\%$ , puis n'évolue presque plus les jours suivants où il atteint sa valeur maximum au 5<sup>ème</sup> jour ( $26,4 \pm 1,9\%$ ) (**Fig. 14**).

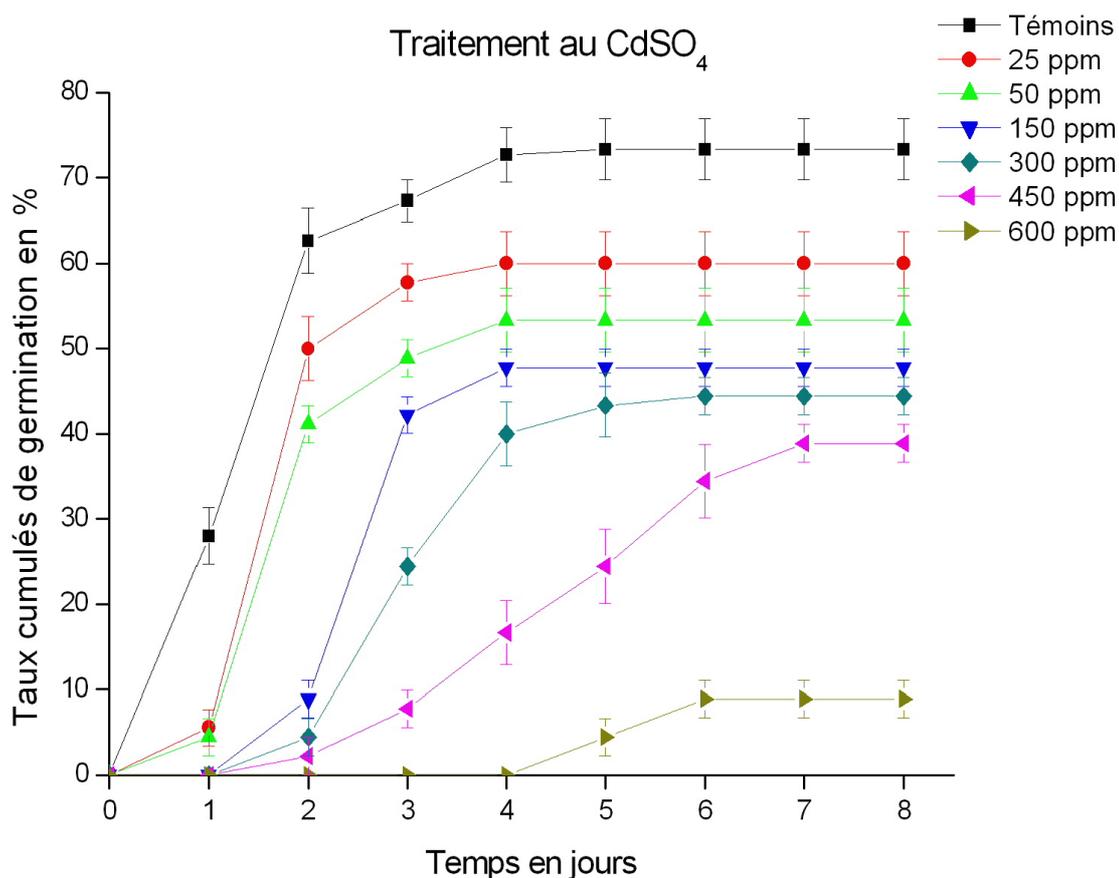
Le pourcentage de réduction de la germination calculé pour une [450 ppm] en NiSO<sub>4</sub> est très important, il est de 66,4% comparativement au lot témoin. Il est aussi important lorsqu'on fait une comparaison avec les autres lots traités par du NiSO<sub>4</sub>. Ainsi, le pourcentage de réduction est de 62,5% pour un traitement de [25 ppm] ; de 50,7% pour un traitement de [50 ppm] ; de 36,5% pour un traitement de [150 ppm] vis-à-vis des graines traitées par une [150 ppm] et de 19,5% pour un traitement de [300 ppm] (**Tab. 7**).

Les graines traitées par une [600 ppm] en NiSO<sub>4</sub> évoluent sensiblement de la même manière que les graines qui ont été traitées par une [450 ppm]. Les taux cumulés de germination enregistrés quoique plus faibles, sont plus proches de ceux enregistrés par rapport à la concentration précédente lorsqu'on tient compte des intervalles de confiance (**Fig. 14**).

Les pourcentages de réduction de la germination calculés pour cette concentration sont très importants de l'ordre de 72,5% vis-à-vis des graines témoins ; de 69,3 vis-à-vis des graines traitées par une [25 ppm] ; de 59,7% vis-à-vis des graines traitées par une [50 ppm] ; de 48,0% vis-à-vis des graines traitées par une [150 ppm] ; de 34,1% vis-à-vis des graines traitées par une [300 ppm] et de 18,1% vis-à-vis des graines traitées par une [450 ppm] (**Tab. 7**).

#### IV.1.3. Taux cumulés des lots traités par du CdSO<sub>4</sub>

L'analyse de l'évolution de la courbe de germination du lot de graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et préalablement scarifiées révèle une allure générale de type sigmoïde. Les graines scarifiées témoins germent rapidement. Ainsi et dès le 1<sup>er</sup> jour, le pourcentage cumulé moyen de graines germées est de  $27,9 \pm 3,3\%$  ; ce taux monte à  $62,6 \pm 3,8\%$  au 2<sup>ème</sup> jour, puis culmine à  $73,3 \pm 3,5\%$  à la fin des dénombrements (Fig. 15).



**Figure 15** : 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 CdSO<sub>4</sub> en fonction du temps (Amara & Sahki, 2017).

La courbe de germination du lot traité par une [25 ppm] en CdSO<sub>4</sub> montre aussi une allure générale de type sigmoïde, comme celle des graines témoins. Cependant, le traitement retarde la germination. Ainsi, au 1<sup>er</sup> jour des dénombrements, le taux cumulé atteint n'est que de  $5,5 \pm 2,1\%$ . Il augmente considérablement au 2<sup>nd</sup> jour ( $49,9 \pm 3,7\%$ ), puis atteint son taux maximum dès le 4<sup>ème</sup> jour ( $59,9 \pm 3,7\%$ ) (Fig. 15).

En analysant le pourcentage de réduction de la germination obtenu au 8<sup>ème</sup> jour des dénombrements entre le lot traité par une [25 ppm] en CdSO<sub>4</sub> avec le lot témoin, on trouve une réduction de 18,1% (**Tab. 8**).

**Tableau 8** : Taux cumulés de germination maximums obtenus à la fin des expérimentations et les pourcentages 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 CdSO<sub>4</sub> comparativement au lot témoin, puis par rapport aux lots traités (**Amara & Sahki, 2017**).

Traitement CdSO <sub>4</sub>		Pourcentage de réduction de la germination (en %)							
		T	25ppm	50ppm	150ppm	300ppm	450ppm	600ppm	
Taux cumulés de germination maximums	73,3	T	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	59,9	25ppm	18,1	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	53,3	50ppm	27,2	11,1	-----	-----	-----	-----	-----
	47,7	150ppm	34,8	20,3	10,4	-----	-----	-----	-----
	44,4	300ppm	39,3	25,9	16,6	6,9	-----	-----	-----
	38,8	450ppm	46,9	35,1	27,0	18,6	12,5	-----	-----
	8,8	600ppm	87,8	85,1	83,3	81,4	80,0	77,1	-----

La courbe de germination du lot traité par une [50 ppm] en CdSO<sub>4</sub> adopte également l’allure générale de type sigmoïde comme c’est le cas des 2 courbes précédentes. L’évolution au cours du temps de ce lot est très proche du lot des traités par une [25 ppm]. Ainsi, le taux cumulé moyen enregistré au 1<sup>er</sup> jour est très faible ( $4,4 \pm 2,1\%$ ), mais augmente fortement au 2<sup>nd</sup> jour ( $41,1 \pm 2,1\%$ ). Le taux maximum est atteint au 4<sup>ème</sup> jour ( $53,3 \pm 3,7\%$ ) et n’évoluera plus (**Fig. 15**).

Le pourcentage de réduction de la germination du lot traité par une [50 ppm] en CdSO<sub>4</sub> est de l’ordre de 27,2% vis-à-vis du lot des témoins ; cette réduction est insignifiante (11,1%) vis-à-vis du lot traité par une [25 ppm] (**Tab. 8**).

## Résultats & Discussion

Pour les graines en germination avec une [150 ppm] en CdSO<sub>4</sub>, la courbe évolue de façon sigmoïde, mais moins rapidement que ce qui a été précédemment observé. Effectivement, les graines ne germent que le 2<sup>ème</sup> jour et assez faiblement (8,8 ± 2,1%). Au 3<sup>ème</sup> jour, le taux cumulé moyen atteint est jugé appréciable (42,2 ± 2,1%) et le maximum de germination est atteint au 4<sup>ème</sup> jour (47,7 ± 2,1%) (**Fig. 15**).

Le pourcentage de réduction de la germination des graines traitées par une [150 ppm] en CdSO<sub>4</sub> est assez élevé (34,8%) comparativement au lot de graines non traitées. Il est également important (20,3%) comparativement au lot traité par une [25 ppm], mais moins important (10,4%) comparé au lot traité par une [50 ppm] (**Tab. 8**).

Le traitement des graines par une [300 ppm] en CdSO<sub>4</sub> n'empêche pas le graphique de prendre une allure de type sigmoïde. Cependant la phase de latence paraît plus allongée dans le temps et le taux cumulé moyen obtenu au 2<sup>ème</sup> jour est très faible (4,4 ± 2,1%). Il augmente à 24,4 ± 2,1% au 3<sup>ème</sup> jour, puis à 39,9 ± 3,7% au 4<sup>ème</sup> jour, avant de se stabiliser à son maximum (44,4 ± 2,1%) les jours suivants (**Fig. 15**).

Le pourcentage de réduction de la germination observé à la fin des expérimentations pour ce lot traité par une [300 ppm] en CdSO<sub>4</sub> est très élevé (39,3%) lorsqu'on le compare aux témoins. Il est assez important (25,9%) comparativement au lot traité par une [25 ppm] ; peu important (16,6%) comparativement au lot traité par une [50 ppm], très peu important (6,9%) comparativement au lot traité par une [150 ppm] (**Tab. 8**).

Le traitement des graines de *Parkinsonia aculeata* L. avec une [450 ppm] en CdSO<sub>4</sub> donne lieu à une courbe qui se distingue des lots précédents. Les taux cumulés moyens enregistrés les premiers jours sont très faibles : des taux de 2,2 ± 2,1% au 2<sup>ème</sup> jour ; de 7,7 ± 2,1% au 3<sup>ème</sup> jour ; de 16,6 ± 3,7% au 4<sup>ème</sup> jour ; de 24,4 ± 4,3% au 5<sup>ème</sup> jour et de 34,4 ± 4,3% au 6<sup>ème</sup> jour. Le taux cumulé maximum obtenu à la fin des dénombrements est de 38,8 ± 2,1% (**Fig. 15**).

Le pourcentage de réduction de la germination calculé pour une [450 ppm] en CdSO<sub>4</sub> est très important, il est de 46,9% par comparaison au témoin. Il est assez appréciable comparativement aux autres lots, que ce soit pour une [25 ppm] ou de [50 ppm], respectivement des réductions de 35,1% et 27,0%. Il descend à 18,6% lorsqu'on fait une comparaison avec le lot traité par une [150 ppm], puis à 12,5% lorsqu'on fait une comparaison avec le lot traité par une [300 ppm] (**Tab. 8**).

L'utilisation d'une concentration très élevée [600 ppm] en CdSO<sub>4</sub> affecte la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. Ainsi, le temps de latence augmente et dure dans le temps, au point que les graines ne germent qu'au 5<sup>ème</sup> jour ( $4,4 \pm 2,1\%$ ). Le taux maximum enregistré au 6<sup>ème</sup> jour est encore plus faible ( $8,8 \pm 2,1\%$ ) (**Fig. 15**).

Ceci se traduit sur les pourcentages de réduction de la germination qui sont très élevés pour cette concentration : des réductions de plus de 80% vis-à-vis des graines témoins ou des autres lots traités par les différentes concentrations en CdSO<sub>4</sub> (**Tab. 8**).

### **IV.1.4. Synthèse globale sur les taux cumulés de germination**

#### **IV.1.4.1. Traitement au K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>**

L'effet de l'élément chrome a été testé sur le pouvoir germinatif des graines de *Parkinsonia aculeata* L. Différentes concentrations ont été testées [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm], de concentrations les plus faibles aux concentrations les plus fortes (**Adjaoute & Bouchal, 2017**). Les premiers enseignements tirés de l'analyse des taux cumulés moyens de germination obtenus ainsi que du pourcentage de réduction par comparaison des différents lots des traités contre les graines témoins, puis entre eux montrent que le chrome affecte la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. De tels effets sont dépendants des concentrations utilisées, comme l'indique l'analyse du graphique N°13 (**Fig. 13**).

En effet, les taux cumulés moyens maximums enregistrés à la fin de tous les dénombrements sont moins importants que ceux obtenus chez les graines témoins. Cependant, il y a lieu de rendre compte de trois observations différentes :

- La première observation indique que pour deux concentrations au moins et les plus faibles [25 et 50 ppm], des capacités germinatives des graines traitées culminent à plus de 50% de maximum de germination, respectivement 63,3 et 56,6% contre un taux cumulé final pour les graines témoins de 70,5% (**Tab. 6**).
- La seconde observation concerne la concentration de [150 ppm], qui paraît intermédiaire, où l'effet du chrome est assez important sur la capacité de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L., mais le taux cumulé moyen obtenu au final est jugé assez bon, de l'ordre de 45,5% (**Tab. 6**).
- La troisième observation porte sur les trois concentrations les plus élevées [300, 450 et 600 ppm], qui affectent considérablement la germination des graines. Les taux cumulés moyens de germination obtenus au final sont au-dessous des 10% (**Tab. 6**).

Le pourcentage de réduction de la germination calculé pour chacun des traitements vis-à-vis des graines témoins, justifie ce qui vient d'être annoncé. Ainsi, pour les deux concentrations les plus faibles [25 et 50 ppm], on note des pourcentages de réduction faibles, respectivement de 10,2 et 19,6%. Une application d'une [150 ppm], augmente ce pourcentage de réduction à 35,4%, pendant que pour les applications les plus élevées [300, 450 et 600 ppm], les pourcentages de réduction de la germination des graines traitées dépasse les 85% (**Tab. 6**).

Entre lots traités par les deux concentrations les plus faibles [25 et 50 ppm], le pourcentage de réduction de la germination est faible (10,5%). Ce pourcentage augmente pour la concentration intermédiaire [150 ppm], de l'ordre de 28,0 et 19,6% vis-à-vis respectivement des traitements faibles, [25 ppm] et [50 ppm]. Alors que les traitements les plus forts [300, 450 et 600 ppm], montrent les pourcentages de réduction les plus élevés et se distinguent nettement (> 78%) par comparaison aux traitements les plus faibles [25 et 50 ppm] et même par rapport au traitement intermédiaire [150 ppm] (**Tab. 6**).

#### IV.1.4.2. Traitement au NiSO<sub>4</sub>

L'utilisation de l'élément nickel sur les graines de *Parkinsonia aculeata L.* et le suivi de leur pouvoir germinatif sous différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] (**Bekhouche & Benberkat, 2018**), montre que cet élément trace affecte certes la germination des graines, mais les effets sont sensiblement différents et semblent être dépendants de la concentration utilisée. Quelques enseignements se dégagent de l'analyse globale du graphique de la figure N°14 (**Fig. 14**) :

- Le 1<sup>er</sup> enseignement est que le traitement avec la concentration la plus faible [25 ppm], affecte peu la capacité germinative finale des graines de *Parkinsonia aculeata L.* La différence est certes significative entre le pouvoir germinatif des graines témoins ( $78,8 \pm 2,2\%$ ) et celui des traitées par [25 ppm], où le taux cumulé final enregistré est de l'ordre de  $70,4 \pm 3,9\%$ , mais au demeurant ce taux enregistré au final est assez appréciable (**Tab. 7**).

- Le second enseignement déduit est que plus la concentration de l'élément trace nickel augmente, plus les taux cumulés moyens de germination des graines traitées vont baisser. Ainsi, au final seulement  $53,6 \pm 1,9\%$  de graines germent pour un traitement de [50 ppm] ;  $41,6 \pm 3,1\%$  de graines germent pour un traitement de [150 ppm] ;  $32,8 \pm 1,5\%$  de graines germent pour un traitement de [300 ppm] et  $26,4 \pm 1,9\%$  de graines germent pour un traitement de [450 ppm] (**Tab. 7**).

- Le troisième enseignement tiré des résultats obtenus est que le comportement des graines traitées par la concentration la plus élevée [600 ppm] ne diffère pas de ce qui a été observé pour un traitement de [450 ppm]. Les taux cumulés moyens de germination obtenus à la fin des dénombrements sont de  $21,6 \pm 1,9\%$  pour le traitement de [600 ppm] et de  $26,4 \pm 1,9\%$  pour le traitement de [450 ppm] (**Tab. 7**).

Toutes ces observations sont confortées par l'analyse des pourcentages de réduction de la germination calculés pour chacun des traitements vis-à-vis des graines témoins. Ainsi, si l'ordre de réduction est faible (10,6%) pour une [25 ppm], il augmente au fur et à mesure de l'élévation de la concentration du traitement : 31,9% pour une [50 ppm] ; 47,2% pour une [150 ppm] ; 58,3% pour une [300 ppm] ; 66,4% pour une [450 ppm] et 72,5% pour une [600 ppm] (**Tab. 7**).

Entre lots traités, la concentration la plus faible [25 ppm], se distingue évidemment des autres traitements, où les pourcentages de réduction de la germination ne font qu'augmenter : 23,8% pour le traitement de [50 ppm] ; 40,9% pour le traitement de [150 ppm] ; 53,4% pour le traitement de [300 ppm] ; 62,5% pour le traitement de [450 ppm] et 69,3% pour le traitement de [600 ppm] (**Tab. 7**).

C'est également le même ordre de grandeur et la même évolution lorsqu'on compare respectivement les pourcentages de réduction obtenus pour les traitements de [50 ppm] ; [150 ppm] ; [300 ppm] et [450 ppm] vis-à-vis du reste des lots traités par le nickel. A signaler, que comme les taux cumulés moyens de germination obtenus à la fin des dénombrements sont presque équivalents entre le traitement de [450 ppm] et le traitement de [600 ppm], de même le pourcentage de réduction entre ces deux lots n'est que de 18,1% (**Tab. 7**).

#### IV.1.4.3. Traitement au CdSO<sub>4</sub>

L'effet de l'élément cadmium a été évalué sur les graines de *Parkinsonia aculeata L.* en étudiant le processus de la germination. Différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] ont été utilisées pour rendre au mieux la capacité de germination des graines comparativement aux graines témoins non traitées (**Amara & Sahki, 2017**). Comme dans les deux cas précédents, la sensibilité des graines de *Parkinsonia aculeata L.* vis-à-vis du cadmium est certes évidente, mais aussi dépendante de la concentration utilisée. Les évidences qui semblent se dégager de l'analyse globale du graphique de la figure N°15 (**Fig. 15**) se résument ainsi :

## Résultats & Discussion

- La première évidence est que les différents traitements [25, 50, 150, 300 et même 450 ppm], conduisent presque tous à la même capacité germinative des graines de *Parkinsonia aculeata* L. lorsqu'on tient compte bien évidemment de l'intervalle de confiance de chacun des traitements. Ainsi, le taux cumulé final obtenu est de  $59,9 \pm 3,7\%$  pour le traitement de [25 ppm] ; de  $53,3 \pm 3,7\%$  pour le traitement de [50 ppm] ; de  $47,7 \pm 2,1\%$  pour le traitement de [150 ppm] ; de  $44,4 \pm 2,1\%$  pour le traitement de [300 ppm] et de  $38,8 \pm 2,1\%$  pour le traitement de [450 ppm] (**Tab. 8**).

- La seconde évidence est que malgré ces résultats qui se confondent, il y a lieu de remarquer que les temps de latence enregistrés sont de plus en plus longs pour déclencher la germination. Une fois le processus de la germination enclenché, les taux cumulés moyens augmentent significativement (**Tab. 8**).

- La troisième évidence est que la concentration la plus élevée [600 ppm] entrave le processus de la germination des graines, et le taux cumulé final obtenu est en dessous de ce qui a été observé précédemment, de l'ordre de  $8,8 \pm 2,1\%$  (**Tab. 8**).

Pour rendre compte de toutes ces observations, on a analysé les pourcentages de réduction de la germination calculés pour chacun des traitements comparativement aux graines témoins : 18,1% pour une [25 ppm] ; 27,2% pour une [50 ppm] ; 34,8% pour une [150 ppm] ; 39,3% pour une [300 ppm] et 46,9% pour une [450 ppm] (**Tab. 8**). De ces chiffres, on trouve certes que le pourcentage de réduction augmente tant que la concentration du traitement augmente, mais cette élévation n'obéit pas à une progression plus poussée entre ces différents traitements. A signaler que le dernier traitement le plus élevé [600 ppm], montre un pourcentage de réduction de la germination très important (87,8%) comparativement aux graines témoins (**Tab. 8**).

Pour se rendre au mieux que les différences entre les lots traités ne sont pas aussi évidentes, les pourcentages de réduction calculés entre les différents lots traités par le cadmium ne sont pas trop élevés. Ainsi, pour le traitement de [25 ppm] on note un pourcentage de réduction de 11,1% vis-à-vis de traitement de [50 ppm] ; 20,3% pour le traitement de [150 ppm] ; 25,9% pour le traitement de [300 ppm] et 35,1% pour le traitement de [450 ppm]. Celui de [600 ppm] est très élevé comme signalé précédemment, il culmine à 87,8% (**Tab. 8**).

C'est également les mêmes ordres de grandeur et la même évolution lorsqu'on compare respectivement les pourcentages de réduction obtenus pour les traitements de [50 ppm] ; [150 ppm] ; [300 ppm] et [450 ppm] vis-à-vis du reste des lots traités par le cadmium, avec au final des pourcentages de réduction très élevés pour le traitement de [600 ppm] (**Tab. 8**).

**IV.2. Temps moyens de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L.**

**IV.2.1. Temps moyens de germination des lots traités par du  $K_2Cr_2O_7$**

Pour caractériser la vitesse de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par l'élément chrome, les temps moyens de germination ont été déterminés. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant (**Tab. 9**).

**Tableau 9** : Temps moyens de germination des graines préalablement scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en  $K_2Cr_2O_7$ . Les résultats sont exprimés en jours  $\pm$  intervalle de confiance (**Adjaoute & Bouchal, 2017**).

Traitement $K_2Cr_2O_7$	Temps moyens de germination (en jours)						
	T	25 ppm	50 ppm	150 ppm	300 ppm	450 ppm	600 ppm
	1,47 $\pm$ 0,07	2,26 $\pm$ 0,11	2,41 $\pm$ 0,12	2,60 $\pm$ 0,12	5,36 $\pm$ 0,14	5,44 $\pm$ 0,11	6,00 $\pm$ 0,00

Le temps moyen de germination des graines non traitées est de 1,47 jours, celui de graines traitées dépasse les 2 jours pour les faibles concentrations en chrome appliquées. Ainsi, le temps moyen de germination des graines traitées par une [25 ppm] est de 2,26 jours ; ce temps augmente à 2,41 jours pour une [50 ppm] et nécessite 2,60 jours pour que les graines germent à une concentration de [150 ppm] (**Tab. 9**).

Plus la concentration est élevée et plus les temps moyens de germination sont plus longs. Ainsi, le temps moyen de germination sera de 5,36 jours pour une [300 ppm] ; de 5,44 jours pour une [450 ppm] et de 6,00 jours pour une [600 ppm] (**Tab. 9**).

**IV.2.2. Temps moyens de germination des lots traités par du  $NiSO_4$**

Afin de connaître la vitesse de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par l'élément nickel, le temps moyen de germination de chacun des lots a été déterminé (**Tab. 10**).

Le temps moyen de germination des graines témoins est de 1,88 jours, celui de graines traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450, 600 ppm] se situe à deux niveaux différents (**Tab. 10**) :

## Résultats & Discussion

• Le premier niveau concerne trois des concentrations [25, 50 et 150 ppm], où les temps moyens de germination sont un peu plus faibles que ce qui a été observé chez les graines témoins, respectivement de 1,81 ; 1,82 et 1,84 jours.

• Le deuxième niveau concerne les trois autres concentrations [300, 450 et 600 ppm], où les temps moyens de germination sont un peu plus élevés que ce qui a été observé chez les graines témoins, respectivement de 1,95 ; 2,08 et 2,18 jours.

Ce qu'il y a lieu de noter, c'est que si on tient compte des intervalles de confiance, il n'y a pas de différence entre le temps moyen de germination des graines témoins et des graines traitées par l'élément nickel.

**Tableau 10** : Temps moyens de germination des graines préalablement scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en NiSO<sub>4</sub>. Les résultats sont exprimés en jours ± intervalle de confiance (Bekhouche & Benberkat, 2018).

Traitement NiSO <sub>4</sub>	Temps moyens de germination (en jours)						
	T	25 ppm	50 ppm	150 ppm	300 ppm	450 ppm	600 ppm
	1,88 ± 0,12	1,81 ± 0,07	1,82 ± 0,13	1,84 ± 0,27	1,95 ± 0,17	2,08 ± 0,32	2,18 ± 0,21

### IV.2.3. Temps moyens de germination des lots traités par du CdSO<sub>4</sub>

Pour caractériser la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par l'élément cadmium, leur temps moyen de germination ont été déterminés (Tab. 11).

**Tableau 11** : Temps moyens de germination des graines préalablement scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en CdSO<sub>4</sub>. Les résultats sont exprimés en jours ± intervalle de confiance (Amara & Sahki, 2017).

Traitement CdSO <sub>4</sub>	Temps moyens de germination (en jours)						
	T	25 ppm	50 ppm	150 ppm	300 ppm	450 ppm	600 ppm
	1,85 ± 0,04	2,19 ± 0,17	2,22 ± 0,06	2,92 ± 0,08	3,47 ± 0,09	4,80 ± 0,19	5,50 ± 0,19

Le temps moyen de germination des graines témoins est de 1,85 jours, celui de graines traitées dépasse les 2 jours. Ainsi, le temps moyen de germination est de 2,19 jours pour une application en cadmium de [25 ppm] ; il est presque de même ordre (2,22 jours) pour une application en cadmium de [50 ppm] et nécessite 2,92 jours pour une application en cadmium de [150 ppm] (**Tab. 11**).

Plus la concentration en cadmium augmente et plus les temps moyens de germination s'allongent encore plus. Ainsi, les graines traitées par une [300 ppm] présentent un temps moyen de germination de 3,47 jours ; les graines traitées par une [450 ppm] présentent un temps moyen de germination de 4,80 jours et les graines traitées par une [600 ppm] présentent un temps moyen de germination de 5,50 jours (**Tab. 11**).

### IV.2.4. Synthèse globale sur les temps moyens de germination

#### IV.2.4.1. Traitement au $K_2Cr_2O_7$

Le temps moyen de germination mis par les graines de *Parkinsonia aculeata L.* non traitées n'est que de 1,47 jours. Celui des graines traitées par l'élément chrome est plus élevé que celui exprimé par les graines témoins et se situe à deux niveaux différents (**Tab. 9**) :

- Le premier niveau s'applique aux trois applications en chrome les plus faibles [25, 50 et 150 ppm] qui expriment un temps moyen de germination qui tourne autour d'une moyenne de 2,42 jours.
- Le second niveau s'applique aux trois applications en chrome les plus élevées [300, 450 et 600 ppm] qui expriment un temps moyen de germination qui tourne autour d'une moyenne de 5,60 jours.

Ces observations sont corrélées au pouvoir germinatif exprimé par les graines traitées par les différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en chrome, où nous avons remarqué que (**Tab. 6**) :

- Pour deux concentrations les plus faibles [25 et 50 ppm], des capacités germinatives des graines traitées culminent à plus de 50% de maximum de germination.
- Pour la concentration intermédiaire de [150 ppm], l'effet du chrome réduit certes la capacité de germination des graines, mais le taux cumulé moyen obtenu au final avoisine 45,5%.
- Pour trois concentrations les plus élevées [300, 450 et 600 ppm], les taux cumulés moyens de germination obtenus au final sont au-dessous des 10%.

### IV.2.4.2. Traitement au NiSO<sub>4</sub>

Si le temps moyen de germination des graines témoins est de 1,88 jours, celui de graines traitées par différentes concentrations se scinde en deux situations différentes (**Tab. 10**) :

- La première situation concerne trois concentrations [25, 50 et 150 ppm], qui expriment des temps moyens de germination équivalents entre eux et aussi proches de celui des témoins lorsqu'on considère les intervalles de confiance.
- La deuxième situation concerne les trois autres concentrations [300, 450 et 600 ppm], qui expriment des temps moyens de germination un peu plus élevés que ce qui a été observé chez les graines témoins, mais aussi proches entre eux et vis-à-vis même des témoins en considérant également les intervalles de confiance.

Au final, les temps moyens de germination sont équivalents entre les différents lots : témoins et traités par le nickel. Autrement, le déclenchement du processus de la germination n'est pas entravé par des applications de l'élément nickel, son influence réside sur la capacité germinative finale. En effet, l'analyse des pourcentages de réduction de la germination calculés pour chacun des traitements montre une réduction dépendante des traitements appliqués. Plus la concentration de l'élément appliqué est forte, plus le pourcentage de réduction de la germination est grand (**Tab. 7**).

### IV.2.4.3. Traitement au CdSO<sub>4</sub>

Le temps moyen de germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.* témoins est de 1,85 jours. Celui des graines traitées par l'élément cadmium est plus élevé que celui exprimé par les graines témoins et se situe à deux niveaux (**Tab. 11**) :

- Le premier niveau s'applique aux deux applications en cadmium les plus faibles [25 et 50 ppm] qui expriment un temps moyen de germination équivalent (2,20 jours).
- Le second niveau s'applique aux quatre autres applications en chrome [150, 300, 450 et 600 ppm] qui expriment des temps moyen de germination élevés et qui ne font qu'augmenter au fur et à mesure que la concentration en cadmium augmente. Les temps moyens de germination obtenus sont respectivement de 2,92 ; 3,47 ; 4,80 et 5,50 jours.

Ces observations ne sont pas corrélées au pouvoir germinatif exprimé par les graines traitées par les différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en cadmium, où nous avons remarqué que (**Tab. 8**) :

- Les différents traitements [25, 50, 150, 300 et même 450 ppm], conduisent presque tous à la même capacité germinative des graines de *Parkinsonia aculeata* L. lorsqu'on tient compte bien évidemment de l'intervalle de confiance de chacun des traitements.

- La concentration la plus élevée [600 ppm] réduit énormément le processus de la germination des graines. Le taux cumulé final obtenu est en dessous des 10%.

Au final, l'effet du cadmium se répercute beaucoup plus sur le déclenchement du processus de la germination. Le temps de latence pris par les graines pour germer sont de plus en plus longs et retardent la germination. Mais une fois que le processus de la germination enclenché, les taux cumulés moyens augmentent significativement, hormis bien évidemment pour la concentration la plus élevée [600 ppm].

### IV.3. Analyse statistique pour les trois traitements confondus

Pour les trois traitements expérimentés ( $K_2Cr_2O_7$  ;  $NiSO_4$  et  $CdSO_4$ ), une analyse statistique des données a été réalisée par XLSTAT 2009.1.02. Il s'agit d'une analyse de la variance à trois facteurs, où sont considérés (**Tab. 12**) :

- **Facteur 1/ Etude** : les 3 niveaux d'étude avec les traitements au  $K_2Cr_2O_7$  ; au  $NiSO_4$  et au  $CdSO_4$  (effectif de 189 pour chaque niveau d'étude / total = 567).

- **Facteur 2 / Traitement** : est relatif aux sept niveaux de traitements : [0, 25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] (effectif de 81 pour chaque niveau de traitement / total = 567).

- **Facteur 3 / Jours** : porte sur les neuf niveaux de suivi journalier de la germination : (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 jours) (effectif de 63 pour chaque niveau relatif au jour / total = 567).

**Tableau 12** : Tableau de variation de l'ANOVA à 3 facteurs. Les différences statistiques sont considérées au seuil de 5%, soit une probabilité  $P > 0,95$ .

**Tableau de variation de l'ANOVA à 3 facteurs**

Source de variation	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
<b>Etude</b>	2	12,427	6,213	1,233	0,292
<b>Concentration</b>	6	263,820	43,970	8,723	< 0,0001
<b>Jours</b>	8	1902,776	237,847	47,184	< 0,0001

**IV.3.1. Test de Newman-Keuls entre les trois études**

Pour les trois différentes études menées sur la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées tout à tour par l'élément chrome ( $K_2Cr_2O_7$ ), l'élément nickel ( $NiSO_4$ ) ou bien l'élément cadmium ( $CdSO_4$ ), un test de comparaison multiple des moyennes a été établi (test de Newman-Keuls). Les conclusions sont rapportées ci-dessous (**Tab. 13**).

**Tableau 13** : Test de Newman-Keuls entre les trois études :  $K_2Cr_2O_7$  (dichromate de potassium),  $NiSO_4$  (sulfate de nickel) et  $CdSO_4$  (sulfate de cadmium). Les différences statistiques sont considérées au seuil de 5%, soit une probabilité  $P > 0,95$ .

Test de Newman-Keuls entre 3 études ( $P > 0,95$ )

Modalité	Moyenne estimée	Groupes homogènes
$K_2Cr_2O_7$	1,233	A
$NiSO_4$	1,323	A
$CdSO_4$	1,582	A

L'ANOVA ne montre aucune différence significative entre les résultats des trois études ( $P > 0,95$ ). Le modèle de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. adopté dans les 3 expérimentations est équivalent d'une étude à une autre (**Tab. 12 & 13**).

Les trois traitements appliqués en utilisant que ce soit le chrome, le nickel ou bien le cadmium suivent le même protocole expérimental. Ils ont été paramétrés de la même façon et menés dans les mêmes conditions expérimentales.

**IV.3.2. Test de Newman-Keuls entre les concentrations utilisées**

Pour les sept niveaux de traitements [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] appliquées aux graines de *Parkinsonia aculeata* L. y compris le traitement considéré comme témoin [0 ppm], le test de comparaison multiple des moyennes établi (test de Newman-Keuls), venu appuyer les résultats de l'analyse de l'ANOVA (**Tab. 12**) donne les groupes suivants (**Tab. 14**).

**Tableau 14** : Test de Newman-Keuls entre les sept niveaux de traitements [0, 25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm]. Les différences statistiques sont considérées au seuil de 5%, soit une probabilité  $P > 0,95$ .

Test de Newman-Keuls entre les sept niveaux de traitements ( $P > 0,95$ )

Modalité	Moyenne estimée	Groupes homogènes			
600 ppm	0,346	A			
450 ppm	0,778	A	B		
300 ppm	0,926	A	B		
150 ppm	1,407		B	C	
50 ppm	1,753			C	D
25 ppm	2,049			C	D
Témoin	2,395				D

L'analyse de l'ANOVA appuyée par le test de Newman-Keuls ( $P > 0,95$ ) reflète de la meilleure des façons le comportement des graines de *Parkinsonia aculeata* L. vis-à-vis de la concentration adoptée. En effet, quatre groupes distincts émergent de cette analyse (**Tab. 12 & 14**) :

- Le 1<sup>er</sup> groupe est relatif à celui des témoins, qui se distingue par des nombres de graines qui germent maximum.
- Le 2<sup>nd</sup> groupe compte deux des concentrations les plus faibles [25 et 50 ppm], qui engendrent un nombre de graines qui germent très appréciable, plutôt proche de celui observé chez les graines témoins.
- Le 3<sup>ème</sup> groupe est relatif à celui de deux concentrations assez fortes [300 et 450 ppm], qui donne un nombre de graines qui germent assez faible, très loin de ceux observés dans les deux premiers groupes cités.
- Le 4<sup>ème</sup> groupe spécifie la concentration la plus forte [600 ppm], qui engendre le plus faible nombre de graines qui germent.

A noter que la concentration de [150 ppm], se distingue par des nombres de graines germées intermédiaire qui se placent entre le 2<sup>nd</sup> et le 3<sup>ème</sup> groupe, relatif respectivement aux deux concentrations les plus faibles [25 et 50 ppm] et les deux concentrations assez fortes [300 et 450 ppm].

**IV.3.3. Test de Newman-Keuls entre les jours considérés**

Les dénombrements des graines germées a été suivi chaque jour, du temps 0 jours correspondant au début de l'imbibition des graines jusqu'au temps 8<sup>ème</sup> jour, fin des expérimentations. Le test de comparaison multiple des moyennes (test de Newman-Keuls) établi sur la base des résultats de l'ANOVA (**Tab. 12**) donne les groupes suivants (**Tab. 15**).

**Tableau 15** : Test de Newman-Keuls entre les neuf niveaux de nombre de jours considérés (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 jours). Les différences statistiques sont considérées au seuil de 5%, soit une probabilité  $P > 0,95$ .

Test de Newman-Keuls entre les neuf jours de dénombrements ( $P > 0,95$ )

Modalité	Moyenne estimée	Groupes homogènes		
0	0,000	A		
8	0,000	A		
7	0,063	A		
6	0,381	A		
5	0,635	A		
4	0,952	A		
3	1,825		B	
1	2,556		B	
2	6,000			C

L'analyse de l'ANOVA et le test de Newman-Keuls ( $P > 0,95$ ) donnent un aperçu sur le déroulement de la germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.* au cours du temps (**Tab. 12 & 15**). De ces analyses, deux groupes homogènes aux données suivantes se distinguent :

## ***Résultats & Discussion***

- Le 1<sup>er</sup> groupe est relatif au groupe homogène A, qui indique bien évidemment qu'aucune graine ne germe au temps 0, au moment du début des manipulations, mais surtout indique également, que rares sont les graines qui germent au delà du 4<sup>ème</sup> jour. Ceci nous renseigne clairement, que la germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.* se déroule surtout pendant les 3 premiers jours de la mise à germination

- Le 2<sup>nd</sup> groupe relatif aux jours 1 et 3 indépendamment du jour 2, donne un aperçu sur le nombre de graines qui germent, qui semble être le même pour ces deux journées, en tenant compte bien évidemment de la concentration utilisée pour le traitement administré. Autrement dit, les graines de *Parkinsonia aculeata L.* germent à la même cadence soit le premier jour, soit le 3<sup>ème</sup> jour marquant un temps de latence suite au traitement appliqué.

Un groupe distinctif émerge à la seconde journée du suivi des dénombrements concernant les graines de *Parkinsonia aculeata L.* qui germent. Ces analyses rendent compte que le nombre maximum de graines qui germent est enregistré pendant ce second jour.

IV.1. Taux cumulés de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L.

IV.1.1. Taux cumulés des lots traités par du  $K_2Cr_2O_7$

L'analyse de l'évolution de la courbe de germination du lot de graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et préalablement scarifiées montre une allure générale de type sigmoïde. Ainsi, ces graines germent assez rapidement ; dès le 1<sup>er</sup> jour le taux cumulé moyen atteint est de l'ordre de  $50,5 \pm 3,1\%$ . Au 2<sup>ème</sup> jour, ce taux augmente jusqu'à  $62,2 \pm 1,3\%$  puis n'évolue que peu au 3<sup>ème</sup> jour ( $67,2 \pm 2,0\%$ ). Au-delà, le taux cumulé moyen de germination atteint son maximum et se stabilise autour d'une valeur moyenne de  $70,5 \pm 2,0\%$  (Fig. 13).

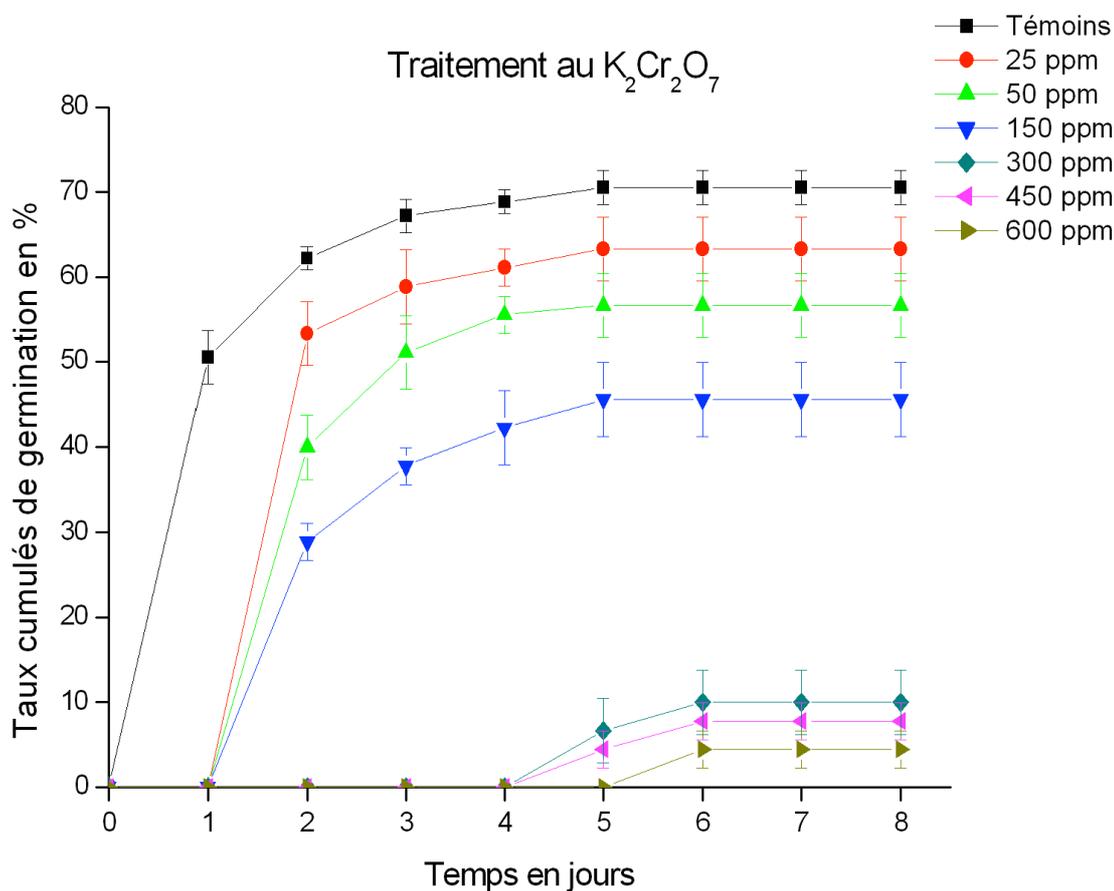


Figure 13 : Evolution des pourcentages de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en  $K_2Cr_2O_7$  en fonction du temps (Adjaoute & Bouchal, 2017).

## Résultats & Discussion

La courbe de germination du lot traité par une concentration de [25 ppm] en  $K_2Cr_2O_7$  montre également une allure générale de type sigmoïde comme celle des témoins. Seulement, le traitement par le chrome ne permet à aucune graine de germer le 1<sup>er</sup> jour. C'est au second jour que la majorité des graines germent ( $53,3 \pm 3,7\%$ ). Les jours suivants, le taux cumulé moyen de germination n'évolue que peu et se stabilise autour de  $63,3 \pm 3,8\%$  (**Fig. 13**). Ainsi et au final, le % de réduction de la germination de ce lot traité par une concentration de [25 ppm] se trouve affecté de 10,2% comparativement aux graines témoins (**Tab. 6**).

**Tableau 6** : Taux cumulés de germination maximums obtenus à la fin des expérimentations et les pourcentages 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  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin, puis par rapport aux lots traités (**Adjaoute & Bouchal, 2017**).

Traitement $K_2Cr_2O_7$		Pourcentage de réduction de la germination (en %)							
		T	25ppm	50ppm	150ppm	300ppm	450ppm	600ppm	
Taux cumulés de germination maximums	70,5	T	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	63,3	25ppm	10,2	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	56,6	50ppm	19,6	10,5	-----	-----	-----	-----	-----
	45,5	150ppm	35,4	28,0	19,6	-----	-----	-----	-----
	9,9	300ppm	85,8	84,2	82,3	78,0	-----	-----	-----
	7,7	450ppm	88,9	87,7	86,2	82,9	22,2	-----	-----
	4,4	600ppm	93,7	92,9	92,1	90,2	55,5	42,8	-----

Le lot traité par une concentration de [50 ppm] en  $K_2Cr_2O_7$  montre également une courbe dont l'allure générale est de type sigmoïde, tout autant que celle des graines témoins. Cependant, les graines traitées ne germent qu'à partir du second jour avec un taux cumulé de germination de  $39,9 \pm 3,7\%$ . Au 3<sup>ème</sup> jour, ce taux monte à  $51,1 \pm 4,3\%$ , puis n'évolue que peu au final où il se stabilise autour de  $56,6 \pm 3,7\%$  (**Fig. 13**).

Ce taux final obtenu est moins important par rapport à ce qui a été observé chez les graines témoins, pour un pourcentage de réduction de la germination final de 19,6%. Dans un autre contexte et lorsqu'on compare ce lot traité par une concentration de [50 ppm] en  $K_2Cr_2O_7$  vis-à-vis de celui traité par une concentration de [25 ppm], le pourcentage de réduction de la germination entre les deux lots n'est que de 10,5% (**Tab. 6**).

En augmentant la concentration à [150 ppm], le traitement par le  $K_2Cr_2O_7$  retarde la germination. C'est au second jour, que le taux cumulé moyen de germination atteint  $28,8 \pm 2,1\%$ . Au 3<sup>ème</sup> jour, il augmente significativement pour atteindre un taux cumulé moyen de  $37,7 \pm 2,1\%$  puis culmine autour de  $45,5 \pm 4,3\%$  les jours suivants (**Fig. 13**). Le pourcentage de réduction de la germination des graines traitées par une telle concentration est très élevé (35,4%) comparativement au lot de graines non traitées par le  $K_2Cr_2O_7$ . Il est assez important lorsqu'on le compare aux deux autres lots traités par des concentrations de [25 ppm] et de [50 ppm], respectivement des pourcentages de réduction de la germination de 28,0 et 19,6% (**Tab. 6**).

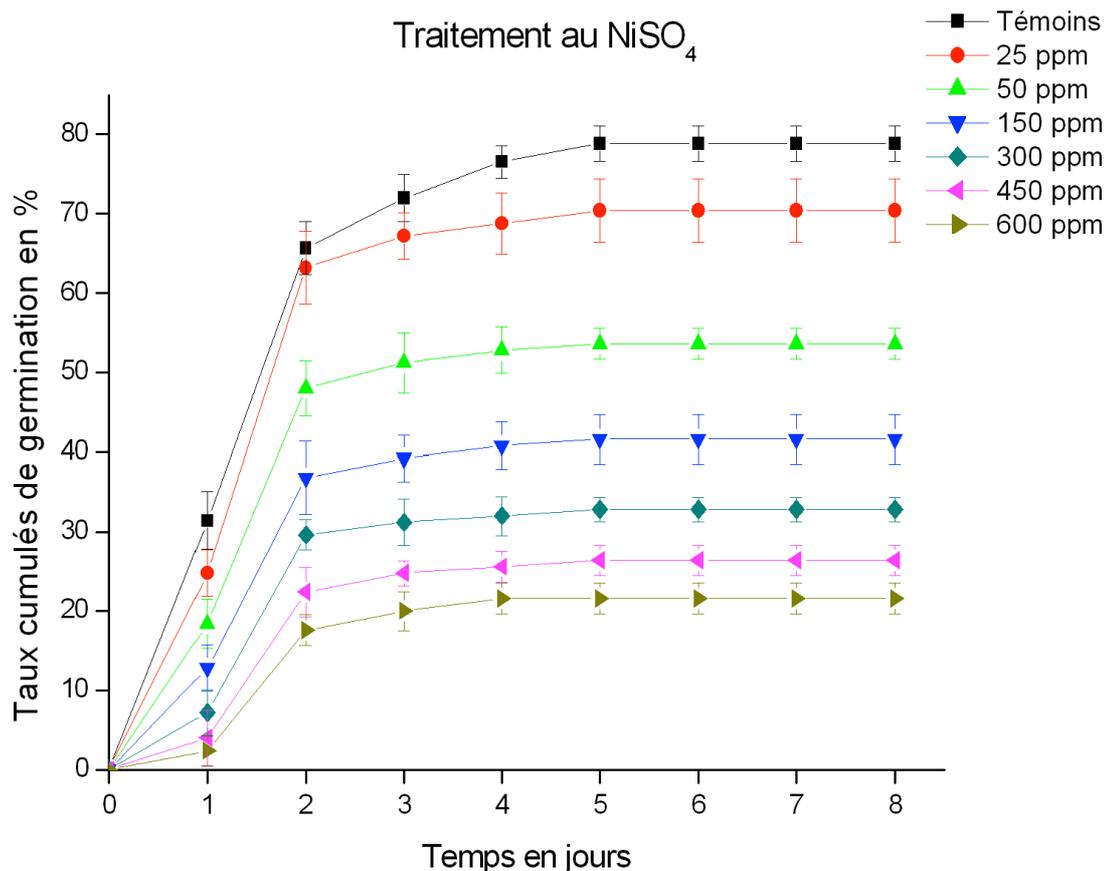
Des concentrations encore plus grandes en  $K_2Cr_2O_7$  inhibent fortement la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. En effet et que ce soit à [300 ppm], [450 ppm] ou bien [600 ppm], le temps de latence pris par les graines pour germer devient encore plus long (de 5 jusqu'à 6 jours) et les taux cumulés moyens obtenus au 8<sup>ème</sup> jour des dénombrements ne dépasse pas 10% pour les 3 concentrations testées (**Fig. 13**).

Aussi, le pourcentage de réduction de la germination obtenu est extrêmement élevé, il dépasse les 85% pour ces trois derniers lots traités lorsqu'on les compare au lot des graines témoins. Il y a lieu de signaler que ce pourcentage de réduction de la germination est aussi élevé lorsqu'on fait une comparaison avec les lots traités par des concentrations de [25 ppm], [50 ppm] et [150 ppm] (**Tab. 6**).

### IV.1.2. Taux cumulés des lots traités par du $NiSO_4$

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. Ainsi, les graines scarifiées et traitées uniquement avec de l'eau distillée germent d'une façon rapide :  $31,4 \pm 3,6\%$  au 1<sup>er</sup> jour et  $65,7 \pm 3,3\%$  au 2<sup>ème</sup> jour. A partir du 3<sup>ème</sup> jour et au-delà, l'élévation faiblit, et le taux cumulé moyen de germination maximum est de  $78,8 \pm 2,2\%$  (**Fig. 14**).

La courbe de germination du lot traité par une [25 ppm] en NiSO<sub>4</sub> montre également une allure générale de type sigmoïde, avec des taux cumulés moyens proches de ceux des témoins (**Fig. 14**). Néanmoins, au-delà du 4<sup>ème</sup> jour une différence significative existe entre les 2 lots, témoins et traités par une [25 ppm] en NiSO<sub>4</sub>. En effet, le pourcentage de réduction de la germination obtenu au 8<sup>ème</sup> jour des dénombrements, montre que le lot traité par une [25 ppm] en NiSO<sub>4</sub> est affecté de 10,6% par rapport au lot des graines témoins (**Tab. 7**).



**Figure 14** : 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 (**Bekhouche & Benberkat, 2018**).

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. Cependant, les taux cumulés moyens enregistrés sont plus faibles que ceux des graines témoins et des graines traitées par une [25 ppm]. Le taux cumulé maximum ( $53,6 \pm 1,9\%$ ) est atteint au 4<sup>ème</sup> jour et n'évoluera plus (**Fig. 14**).

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. Il est de 31,9% vis-à-vis du lot des témoins et de 23,8% vis-à-vis du lot des graines traitées par une [25 ppm] (**Tab. 7**).

**Tableau 7** : Taux cumulés de germination maximums obtenus à la fin des expérimentations et les pourcentages 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, puis par rapport aux lots traités (**Bekhouche & Benberkat, 2018**).

Traitement NiSO <sub>4</sub>		Pourcentage de réduction de la germination (en %)							
		T	25ppm	50ppm	150ppm	300ppm	450ppm	600ppm	
Taux cumulés de germination maximums	78,8	T	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	70,4	25ppm	10,6	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	53,6	50ppm	31,9	23,8	-----	-----	-----	-----	-----
	41,6	150ppm	47,2	40,9	22,3	-----	-----	-----	-----
	32,8	300ppm	58,3	53,4	38,8	21,1	-----	-----	-----
	26,4	450ppm	66,4	62,5	50,7	36,5	19,5	-----	-----
	21,6	600ppm	72,5	69,3	59,7	48,0	34,1	18,1	-----

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. Ainsi au 1<sup>er</sup> jour, le taux cumulé moyen enregistré chez les graines traitées n'est que de 12,8 ± 2,9%. Au 2<sup>ème</sup> jour, il atteint un taux moyen de 36,8 ± 4,5%, puis n'évolue que peu les jours suivants. Au final, le taux cumulé maximum enregistré pour ce traitement est de 41,6 ± 3,1% (**Fig. 14**).

Le pourcentage de réduction de la germination des graines traitées par cette concentration est très élevé (47,2%) comparativement au lot de graines non traitées par le NiSO<sub>4</sub>. Il est assez important (40,9%) lorsqu'on le compare au lot traité par [25 ppm] et un peu moins (22,3%) lorsqu'on le compare au lot traité par [50 ppm] (**Tab. 7**).

## ***Résultats & Discussion***

Le lot traité par une [300 ppm] en NiSO<sub>4</sub> présente aussi une courbe de type sigmoïde. Par comparaison au lot témoin, l'évolution est moins rapide. Le taux cumulé moyen de germination 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 les jours suivants. Le taux cumulé maximum enregistré pour ce traitement est de  $32,8 \pm 1,5\%$  (**Fig. 14**).

Le pourcentage de réduction de la germination observé au 8<sup>ème</sup> jour au sein de ce lot traité par une [300 ppm] en NiSO<sub>4</sub> est très élevé, de 58,4% lorsqu'on le compare aux graines du lot témoin. C'est aussi presque de même ordre (53,4%) lorsqu'on le compare au lot traité par une [25 ppm], un peu moins (38,8%) comparativement au lot traité par une [50 ppm] et tombe à 21,1% comparativement au lot traité par une [150 ppm] (**Tab. 7**).

Le traitement des graines de *Parkinsonia aculeata* L. avec une [450 ppm] en NiSO<sub>4</sub> donne lieu à une courbe qui évolue encore moins rapidement que ce qui a été observé précédemment. Le taux cumulé moyen de germination obtenu au 1<sup>er</sup> jour est très faible ( $4,0 \pm 3,5\%$ ). Il atteint au 2<sup>ème</sup> jour un taux de  $22,4 \pm 3,1\%$ , puis n'évolue presque plus les jours suivants où il atteint sa valeur maximum au 5<sup>ème</sup> jour ( $26,4 \pm 1,9\%$ ) (**Fig. 14**).

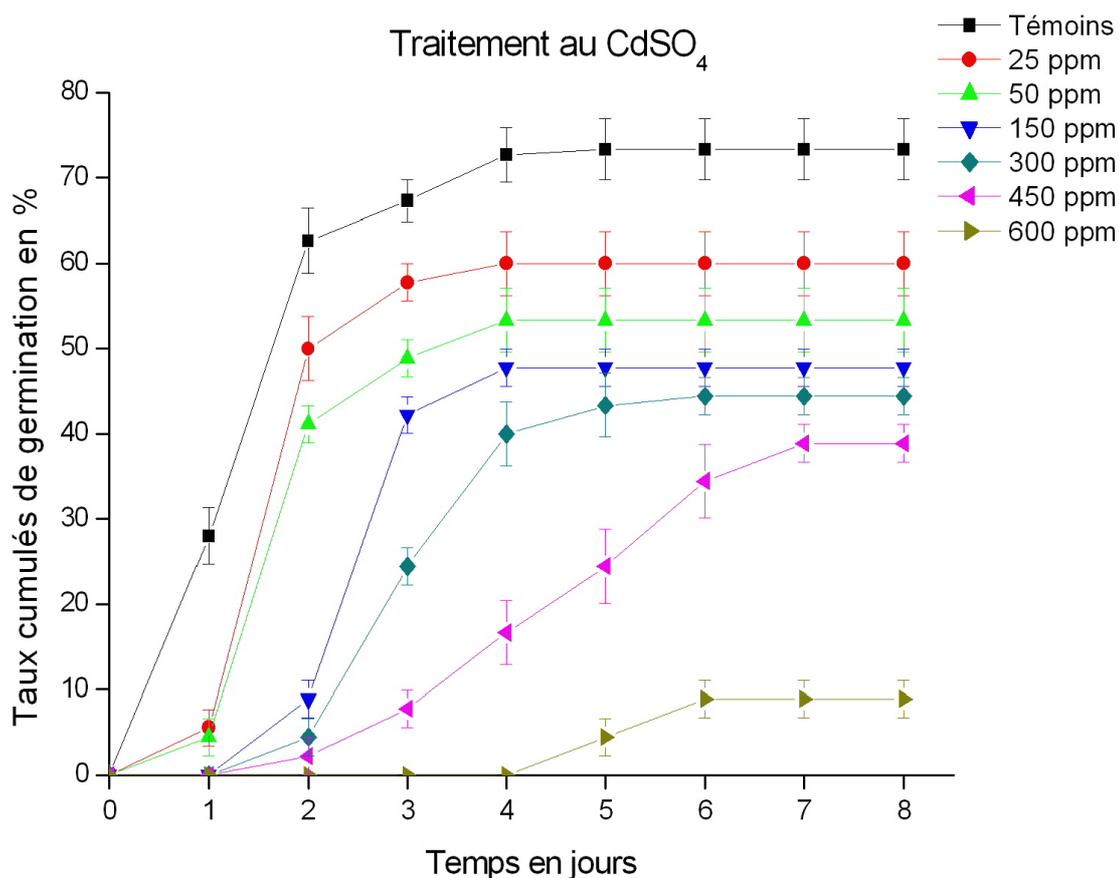
Le pourcentage de réduction de la germination calculé pour une [450 ppm] en NiSO<sub>4</sub> est très important, il est de 66,4% comparativement au lot témoin. Il est aussi important lorsqu'on fait une comparaison avec les autres lots traités par du NiSO<sub>4</sub>. Ainsi, le pourcentage de réduction est de 62,5% pour un traitement de [25 ppm] ; de 50,7% pour un traitement de [50 ppm] ; de 36,5% pour un traitement de [150 ppm] vis-à-vis des graines traitées par une [150 ppm] et de 19,5% pour un traitement de [300 ppm] (**Tab. 7**).

Les graines traitées par une [600 ppm] en NiSO<sub>4</sub> évoluent sensiblement de la même manière que les graines qui ont été traitées par une [450 ppm]. Les taux cumulés de germination enregistrés quoique plus faibles, sont plus proches de ceux enregistrés par rapport à la concentration précédente lorsqu'on tient compte des intervalles de confiance (**Fig. 14**).

Les pourcentages de réduction de la germination calculés pour cette concentration sont très importants de l'ordre de 72,5% vis-à-vis des graines témoins ; de 69,3 vis-à-vis des graines traitées par une [25 ppm] ; de 59,7% vis-à-vis des graines traitées par une [50 ppm] ; de 48,0% vis-à-vis des graines traitées par une [150 ppm] ; de 34,1% vis-à-vis des graines traitées par une [300 ppm] et de 18,1% vis-à-vis des graines traitées par une [450 ppm] (**Tab. 7**).

#### IV.1.3. Taux cumulés des lots traités par du CdSO<sub>4</sub>

L'analyse de l'évolution de la courbe de germination du lot de graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et préalablement scarifiées révèle une allure générale de type sigmoïde. Les graines scarifiées témoins germent rapidement. Ainsi et dès le 1<sup>er</sup> jour, le pourcentage cumulé moyen de graines germées est de  $27,9 \pm 3,3\%$  ; ce taux monte à  $62,6 \pm 3,8\%$  au 2<sup>ème</sup> jour, puis culmine à  $73,3 \pm 3,5\%$  à la fin des dénombrements (Fig. 15).



**Figure 15** : 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 CdSO<sub>4</sub> en fonction du temps (Amara & Sahki, 2017).

La courbe de germination du lot traité par une [25 ppm] en CdSO<sub>4</sub> montre aussi une allure générale de type sigmoïde, comme celle des graines témoins. Cependant, le traitement retarde la germination. Ainsi, au 1<sup>er</sup> jour des dénombrements, le taux cumulé atteint n'est que de  $5,5 \pm 2,1\%$ . Il augmente considérablement au 2<sup>nd</sup> jour ( $49,9 \pm 3,7\%$ ), puis atteint son taux maximum dès le 4<sup>ème</sup> jour ( $59,9 \pm 3,7\%$ ) (Fig. 15).

En analysant le pourcentage de réduction de la germination obtenu au 8<sup>ème</sup> jour des dénombrements entre le lot traité par une [25 ppm] en CdSO<sub>4</sub> avec le lot témoin, on trouve une réduction de 18,1% (**Tab. 8**).

**Tableau 8** : Taux cumulés de germination maximums obtenus à la fin des expérimentations et les pourcentages 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 CdSO<sub>4</sub> comparativement au lot témoin, puis par rapport aux lots traités (**Amara & Sahki, 2017**).

Traitement CdSO <sub>4</sub>		Pourcentage de réduction de la germination (en %)						
		T	25ppm	50ppm	150ppm	300ppm	450ppm	600ppm
Taux cumulés de germination maximums	73,3 T	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	59,9 25ppm	18,1	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	53,3 50ppm	27,2	11,1	-----	-----	-----	-----	-----
	47,7 150ppm	34,8	20,3	10,4	-----	-----	-----	-----
	44,4 300ppm	39,3	25,9	16,6	6,9	-----	-----	-----
	38,8 450ppm	46,9	35,1	27,0	18,6	12,5	-----	-----
	8,8 600ppm	87,8	85,1	83,3	81,4	80,0	77,1	-----

La courbe de germination du lot traité par une [50 ppm] en CdSO<sub>4</sub> adopte également l’allure générale de type sigmoïde comme c’est le cas des 2 courbes précédentes. L’évolution au cours du temps de ce lot est très proche du lot des traités par une [25 ppm]. Ainsi, le taux cumulé moyen enregistré au 1<sup>er</sup> jour est très faible ( $4,4 \pm 2,1\%$ ), mais augmente fortement au 2<sup>nd</sup> jour ( $41,1 \pm 2,1\%$ ). Le taux maximum est atteint au 4<sup>ème</sup> jour ( $53,3 \pm 3,7\%$ ) et n’évoluera plus (**Fig. 15**).

Le pourcentage de réduction de la germination du lot traité par une [50 ppm] en CdSO<sub>4</sub> est de l’ordre de 27,2% vis-à-vis du lot des témoins ; cette réduction est insignifiante (11,1%) vis-à-vis du lot traité par une [25 ppm] (**Tab. 8**).

## Résultats & Discussion

Pour les graines en germination avec une [150 ppm] en CdSO<sub>4</sub>, la courbe évolue de façon sigmoïde, mais moins rapidement que ce qui a été précédemment observé. Effectivement, les graines ne germent que le 2<sup>ème</sup> jour et assez faiblement ( $8,8 \pm 2,1\%$ ). Au 3<sup>ème</sup> jour, le taux cumulé moyen atteint est jugé appréciable ( $42,2 \pm 2,1\%$ ) et le maximum de germination est atteint au 4<sup>ème</sup> jour ( $47,7 \pm 2,1\%$ ) (**Fig. 15**).

Le pourcentage de réduction de la germination des graines traitées par une [150 ppm] en CdSO<sub>4</sub> est assez élevé (34,8%) comparativement au lot de graines non traitées. Il est également important (20,3%) comparativement au lot traité par une [25 ppm], mais moins important (10,4%) comparé au lot traité par une [50 ppm] (**Tab. 8**).

Le traitement des graines par une [300 ppm] en CdSO<sub>4</sub> n'empêche pas le graphique de prendre une allure de type sigmoïde. Cependant la phase de latence paraît plus allongée dans le temps et le taux cumulé moyen obtenu au 2<sup>ème</sup> jour est très faible ( $4,4 \pm 2,1\%$ ). Il augmente à  $24,4 \pm 2,1\%$  au 3<sup>ème</sup> jour, puis à  $39,9 \pm 3,7\%$  au 4<sup>ème</sup> jour, avant de se stabiliser à son maximum ( $44,4 \pm 2,1\%$ ) les jours suivants (**Fig. 15**).

Le pourcentage de réduction de la germination observé à la fin des expérimentations pour ce lot traité par une [300 ppm] en CdSO<sub>4</sub> est très élevé (39,3%) lorsqu'on le compare aux témoins. Il est assez important (25,9%) comparativement au lot traité par une [25 ppm] ; peu important (16,6%) comparativement au lot traité par une [50 ppm], très peu important (6,9%) comparativement au lot traité par une [150 ppm] (**Tab. 8**).

Le traitement des graines de *Parkinsonia aculeata* L. avec une [450 ppm] en CdSO<sub>4</sub> donne lieu à une courbe qui se distingue des lots précédents. Les taux cumulés moyens enregistrés les premiers jours sont très faibles : des taux de  $2,2 \pm 2,1\%$  au 2<sup>ème</sup> jour ; de  $7,7 \pm 2,1\%$  au 3<sup>ème</sup> jour ; de  $16,6 \pm 3,7\%$  au 4<sup>ème</sup> jour ; de  $24,4 \pm 4,3\%$  au 5<sup>ème</sup> jour et de  $34,4 \pm 4,3\%$  au 6<sup>ème</sup> jour. Le taux cumulé maximum obtenu à la fin des dénombrements est de  $38,8 \pm 2,1\%$  (**Fig. 15**).

Le pourcentage de réduction de la germination calculé pour une [450 ppm] en CdSO<sub>4</sub> est très important, il est de 46,9% par comparaison au témoin. Il est assez appréciable comparativement aux autres lots, que ce soit pour une [25 ppm] ou de [50 ppm], respectivement des réductions de 35,1% et 27,0%. Il descend à 18,6% lorsqu'on fait une comparaison avec le lot traité par une [150 ppm], puis à 12,5% lorsqu'on fait une comparaison avec le lot traité par une [300 ppm] (**Tab. 8**).

L'utilisation d'une concentration très élevée [600 ppm] en CdSO<sub>4</sub> affecte la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. Ainsi, le temps de latence augmente et dure dans le temps, au point que les graines ne germent qu'au 5<sup>ème</sup> jour ( $4,4 \pm 2,1\%$ ). Le taux maximum enregistré au 6<sup>ème</sup> jour est encore plus faible ( $8,8 \pm 2,1\%$ ) (**Fig. 15**).

Ceci se traduit sur les pourcentages de réduction de la germination qui sont très élevés pour cette concentration : des réductions de plus de 80% vis-à-vis des graines témoins ou des autres lots traités par les différentes concentrations en CdSO<sub>4</sub> (**Tab. 8**).

### **IV.1.4. Synthèse globale sur les taux cumulés de germination**

#### **IV.1.4.1. Traitement au K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>**

L'effet de l'élément chrome a été testé sur le pouvoir germinatif des graines de *Parkinsonia aculeata* L. Différentes concentrations ont été testées [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm], de concentrations les plus faibles aux concentrations les plus fortes (**Adjaoute & Bouchal, 2017**). Les premiers enseignements tirés de l'analyse des taux cumulés moyens de germination obtenus ainsi que du pourcentage de réduction par comparaison des différents lots des traités contre les graines témoins, puis entre eux montrent que le chrome affecte la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. De tels effets sont dépendants des concentrations utilisées, comme l'indique l'analyse du graphique N°13 (**Fig. 13**).

En effet, les taux cumulés moyens maximums enregistrés à la fin de tous les dénombrements sont moins importants que ceux obtenus chez les graines témoins. Cependant, il y a lieu de rendre compte de trois observations différentes :

- La première observation indique que pour deux concentrations au moins et les plus faibles [25 et 50 ppm], des capacités germinatives des graines traitées culminent à plus de 50% de maximum de germination, respectivement 63,3 et 56,6% contre un taux cumulé final pour les graines témoins de 70,5% (**Tab. 6**).
- La seconde observation concerne la concentration de [150 ppm], qui paraît intermédiaire, où l'effet du chrome est assez important sur la capacité de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L., mais le taux cumulé moyen obtenu au final est jugé assez bon, de l'ordre de 45,5% (**Tab. 6**).
- La troisième observation porte sur les trois concentrations les plus élevées [300, 450 et 600 ppm], qui affectent considérablement la germination des graines. Les taux cumulés moyens de germination obtenus au final sont au-dessous des 10% (**Tab. 6**).

Le pourcentage de réduction de la germination calculé pour chacun des traitements vis-à-vis des graines témoins, justifie ce qui vient d'être annoncé. Ainsi, pour les deux concentrations les plus faibles [25 et 50 ppm], on note des pourcentages de réduction faibles, respectivement de 10,2 et 19,6%. Une application d'une [150 ppm], augmente ce pourcentage de réduction à 35,4%, pendant que pour les applications les plus élevées [300, 450 et 600 ppm], les pourcentages de réduction de la germination des graines traitées dépasse les 85% (**Tab. 6**).

Entre lots traités par les deux concentrations les plus faibles [25 et 50 ppm], le pourcentage de réduction de la germination est faible (10,5%). Ce pourcentage augmente pour la concentration intermédiaire [150 ppm], de l'ordre de 28,0 et 19,6% vis-à-vis respectivement des traitements faibles, [25 ppm] et [50 ppm]. Alors que les traitements les plus forts [300, 450 et 600 ppm], montrent les pourcentages de réduction les plus élevés et se distinguent nettement (> 78%) par comparaison aux traitements les plus faibles [25 et 50 ppm] et même par rapport au traitement intermédiaire [150 ppm] (**Tab. 6**).

#### IV.1.4.2. Traitement au NiSO<sub>4</sub>

L'utilisation de l'élément nickel sur les graines de *Parkinsonia aculeata L.* et le suivi de leur pouvoir germinatif sous différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] (**Bekhouche & Benberkat, 2018**), montre que cet élément trace affecte certes la germination des graines, mais les effets sont sensiblement différents et semblent être dépendants de la concentration utilisée. Quelques enseignements se dégagent de l'analyse globale du graphique de la figure N°14 (**Fig. 14**) :

- Le 1<sup>er</sup> enseignement est que le traitement avec la concentration la plus faible [25 ppm], affecte peu la capacité germinative finale des graines de *Parkinsonia aculeata L.* La différence est certes significative entre le pouvoir germinatif des graines témoins ( $78,8 \pm 2,2\%$ ) et celui des traitées par [25 ppm], où le taux cumulé final enregistré est de l'ordre de  $70,4 \pm 3,9\%$ , mais au demeurant ce taux enregistré au final est assez appréciable (**Tab. 7**).

- Le second enseignement déduit est que plus la concentration de l'élément trace nickel augmente, plus les taux cumulés moyens de germination des graines traitées vont baisser. Ainsi, au final seulement  $53,6 \pm 1,9\%$  de graines germent pour un traitement de [50 ppm] ;  $41,6 \pm 3,1\%$  de graines germent pour un traitement de [150 ppm] ;  $32,8 \pm 1,5\%$  de graines germent pour un traitement de [300 ppm] et  $26,4 \pm 1,9\%$  de graines germent pour un traitement de [450 ppm] (**Tab. 7**).

- Le troisième enseignement tiré des résultats obtenus est que le comportement des graines traitées par la concentration la plus élevée [600 ppm] ne diffère pas de ce qui a été observé pour un traitement de [450 ppm]. Les taux cumulés moyens de germination obtenus à la fin des dénombrements sont de  $21,6 \pm 1,9\%$  pour le traitement de [600 ppm] et de  $26,4 \pm 1,9\%$  pour le traitement de [450 ppm] (**Tab. 7**).

Toutes ces observations sont confortées par l'analyse des pourcentages de réduction de la germination calculés pour chacun des traitements vis-à-vis des graines témoins. Ainsi, si l'ordre de réduction est faible (10,6%) pour une [25 ppm], il augmente au fur et à mesure de l'élévation de la concentration du traitement : 31,9% pour une [50 ppm] ; 47,2% pour une [150 ppm] ; 58,3% pour une [300 ppm] ; 66,4% pour une [450 ppm] et 72,5% pour une [600 ppm] (**Tab. 7**).

Entre lots traités, la concentration la plus faible [25 ppm], se distingue évidemment des autres traitements, où les pourcentages de réduction de la germination ne font qu'augmenter : 23,8% pour le traitement de [50 ppm] ; 40,9% pour le traitement de [150 ppm] ; 53,4% pour le traitement de [300 ppm] ; 62,5% pour le traitement de [450 ppm] et 69,3% pour le traitement de [600 ppm] (**Tab. 7**).

C'est également le même ordre de grandeur et la même évolution lorsqu'on compare respectivement les pourcentages de réduction obtenus pour les traitements de [50 ppm] ; [150 ppm] ; [300 ppm] et [450 ppm] vis-à-vis du reste des lots traités par le nickel. A signaler, que comme les taux cumulés moyens de germination obtenus à la fin des dénombrements sont presque équivalents entre le traitement de [450 ppm] et le traitement de [600 ppm], de même le pourcentage de réduction entre ces deux lots n'est que de 18,1% (**Tab. 7**).

#### IV.1.4.3. Traitement au CdSO<sub>4</sub>

L'effet de l'élément cadmium a été évalué sur les graines de *Parkinsonia aculeata L.* en étudiant le processus de la germination. Différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] ont été utilisées pour rendre au mieux la capacité de germination des graines comparativement aux graines témoins non traitées (**Amara & Sahki, 2017**). Comme dans les deux cas précédents, la sensibilité des graines de *Parkinsonia aculeata L.* vis-à-vis du cadmium est certes évidente, mais aussi dépendante de la concentration utilisée. Les évidences qui semblent se dégager de l'analyse globale du graphique de la figure N°15 (**Fig. 15**) se résument ainsi :

## Résultats & Discussion

- La première évidence est que les différents traitements [25, 50, 150, 300 et même 450 ppm], conduisent presque tous à la même capacité germinative des graines de *Parkinsonia aculeata* L. lorsqu'on tient compte bien évidemment de l'intervalle de confiance de chacun des traitements. Ainsi, le taux cumulé final obtenu est de  $59,9 \pm 3,7\%$  pour le traitement de [25 ppm] ; de  $53,3 \pm 3,7\%$  pour le traitement de [50 ppm] ; de  $47,7 \pm 2,1\%$  pour le traitement de [150 ppm] ; de  $44,4 \pm 2,1\%$  pour le traitement de [300 ppm] et de  $38,8 \pm 2,1\%$  pour le traitement de [450 ppm] (**Tab. 8**).

- La seconde évidence est que malgré ces résultats qui se confondent, il y a lieu de remarquer que les temps de latence enregistrés sont de plus en plus longs pour déclencher la germination. Une fois le processus de la germination enclenché, les taux cumulés moyens augmentent significativement (**Tab. 8**).

- La troisième évidence est que la concentration la plus élevée [600 ppm] entrave le processus de la germination des graines, et le taux cumulé final obtenu est en dessous de ce qui a été observé précédemment, de l'ordre de  $8,8 \pm 2,1\%$  (**Tab. 8**).

Pour rendre compte de toutes ces observations, on a analysé les pourcentages de réduction de la germination calculés pour chacun des traitements comparativement aux graines témoins : 18,1% pour une [25 ppm] ; 27,2% pour une [50 ppm] ; 34,8% pour une [150 ppm] ; 39,3% pour une [300 ppm] et 46,9% pour une [450 ppm] (**Tab. 8**). De ces chiffres, on trouve certes que le pourcentage de réduction augmente tant que la concentration du traitement augmente, mais cette élévation n'obéit pas à une progression plus poussée entre ces différents traitements. A signaler que le dernier traitement le plus élevé [600 ppm], montre un pourcentage de réduction de la germination très important (87,8%) comparativement aux graines témoins (**Tab. 8**).

Pour se rendre au mieux que les différences entre les lots traités ne sont pas aussi évidentes, les pourcentages de réduction calculés entre les différents lots traités par le cadmium ne sont pas trop élevés. Ainsi, pour le traitement de [25 ppm] on note un pourcentage de réduction de 11,1% vis-à-vis de traitement de [50 ppm] ; 20,3% pour le traitement de [150 ppm] ; 25,9% pour le traitement de [300 ppm] et 35,1% pour le traitement de [450 ppm]. Celui de [600 ppm] est très élevé comme signalé précédemment, il culmine à 87,8% (**Tab. 8**).

C'est également les mêmes ordres de grandeur et la même évolution lorsqu'on compare respectivement les pourcentages de réduction obtenus pour les traitements de [50 ppm] ; [150 ppm] ; [300 ppm] et [450 ppm] vis-à-vis du reste des lots traités par le cadmium, avec au final des pourcentages de réduction très élevés pour le traitement de [600 ppm] (**Tab. 8**).

**IV.2. Temps moyens de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L.**

**IV.2.1. Temps moyens de germination des lots traités par du  $K_2Cr_2O_7$**

Pour caractériser la vitesse de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par l'élément chrome, les temps moyens de germination ont été déterminés. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant (**Tab. 9**).

**Tableau 9** : Temps moyens de germination des graines préalablement scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en  $K_2Cr_2O_7$ . Les résultats sont exprimés en jours  $\pm$  intervalle de confiance (**Adjaoute & Bouchal, 2017**).

Traitement $K_2Cr_2O_7$	Temps moyens de germination (en jours)						
	T	25 ppm	50 ppm	150 ppm	300 ppm	450 ppm	600 ppm
	1,47 $\pm$ 0,07	2,26 $\pm$ 0,11	2,41 $\pm$ 0,12	2,60 $\pm$ 0,12	5,36 $\pm$ 0,14	5,44 $\pm$ 0,11	6,00 $\pm$ 0,00

Le temps moyen de germination des graines non traitées est de 1,47 jours, celui de graines traitées dépasse les 2 jours pour les faibles concentrations en chrome appliquées. Ainsi, le temps moyen de germination des graines traitées par une [25 ppm] est de 2,26 jours ; ce temps augmente à 2,41 jours pour une [50 ppm] et nécessite 2,60 jours pour que les graines germent à une concentration de [150 ppm] (**Tab. 9**).

Plus la concentration est élevée et plus les temps moyens de germination sont plus longs. Ainsi, le temps moyen de germination sera de 5,36 jours pour une [300 ppm] ; de 5,44 jours pour une [450 ppm] et de 6,00 jours pour une [600 ppm] (**Tab. 9**).

**IV.2.2. Temps moyens de germination des lots traités par du  $NiSO_4$**

Afin de connaître la vitesse de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par l'élément nickel, le temps moyen de germination de chacun des lots a été déterminé (**Tab. 10**).

Le temps moyen de germination des graines témoins est de 1,88 jours, celui de graines traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450, 600 ppm] se situe à deux niveaux différents (**Tab. 10**) :

## Résultats & Discussion

• Le premier niveau concerne trois des concentrations [25, 50 et 150 ppm], où les temps moyens de germination sont un peu plus faibles que ce qui a été observé chez les graines témoins, respectivement de 1,81 ; 1,82 et 1,84 jours.

• Le deuxième niveau concerne les trois autres concentrations [300, 450 et 600 ppm], où les temps moyens de germination sont un peu plus élevés que ce qui a été observé chez les graines témoins, respectivement de 1,95 ; 2,08 et 2,18 jours.

Ce qu'il y a lieu de noter, c'est que si on tient compte des intervalles de confiance, il n'y a pas de différence entre le temps moyen de germination des graines témoins et des graines traitées par l'élément nickel.

**Tableau 10** : Temps moyens de germination des graines préalablement scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en NiSO<sub>4</sub>. Les résultats sont exprimés en jours ± intervalle de confiance (Bekhouche & Benberkat, 2018).

Traitement NiSO <sub>4</sub>	Temps moyens de germination (en jours)						
	T	25 ppm	50 ppm	150 ppm	300 ppm	450 ppm	600 ppm
	1,88 ± 0,12	1,81 ± 0,07	1,82 ± 0,13	1,84 ± 0,27	1,95 ± 0,17	2,08 ± 0,32	2,18 ± 0,21

### IV.2.3. Temps moyens de germination des lots traités par du CdSO<sub>4</sub>

Pour caractériser la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par l'élément cadmium, leur temps moyen de germination ont été déterminés (Tab. 11).

**Tableau 11** : Temps moyens de germination des graines préalablement scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en CdSO<sub>4</sub>. Les résultats sont exprimés en jours ± intervalle de confiance (Amara & Sahki, 2017).

Traitement CdSO <sub>4</sub>	Temps moyens de germination (en jours)						
	T	25 ppm	50 ppm	150 ppm	300 ppm	450 ppm	600 ppm
	1,85 ± 0,04	2,19 ± 0,17	2,22 ± 0,06	2,92 ± 0,08	3,47 ± 0,09	4,80 ± 0,19	5,50 ± 0,19

Le temps moyen de germination des graines témoins est de 1,85 jours, celui de graines traitées dépasse les 2 jours. Ainsi, le temps moyen de germination est de 2,19 jours pour une application en cadmium de [25 ppm] ; il est presque de même ordre (2,22 jours) pour une application en cadmium de [50 ppm] et nécessite 2,92 jours pour une application en cadmium de [150 ppm] (**Tab. 11**).

Plus la concentration en cadmium augmente et plus les temps moyens de germination s'allongent encore plus. Ainsi, les graines traitées par une [300 ppm] présentent un temps moyen de germination de 3,47 jours ; les graines traitées par une [450 ppm] présentent un temps moyen de germination de 4,80 jours et les graines traitées par une [600 ppm] présentent un temps moyen de germination de 5,50 jours (**Tab. 11**).

### IV.2.4. Synthèse globale sur les temps moyens de germination

#### IV.2.4.1. Traitement au $K_2Cr_2O_7$

Le temps moyen de germination mis par les graines de *Parkinsonia aculeata L.* non traitées n'est que de 1,47 jours. Celui des graines traitées par l'élément chrome est plus élevé que celui exprimé par les graines témoins et se situe à deux niveaux différents (**Tab. 9**) :

- Le premier niveau s'applique aux trois applications en chrome les plus faibles [25, 50 et 150 ppm] qui expriment un temps moyen de germination qui tourne autour d'une moyenne de 2,42 jours.
- Le second niveau s'applique aux trois applications en chrome les plus élevées [300, 450 et 600 ppm] qui expriment un temps moyen de germination qui tourne autour d'une moyenne de 5,60 jours.

Ces observations sont corrélées au pouvoir germinatif exprimé par les graines traitées par les différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en chrome, où nous avons remarqué que (**Tab. 6**) :

- Pour deux concentrations les plus faibles [25 et 50 ppm], des capacités germinatives des graines traitées culminent à plus de 50% de maximum de germination.
- Pour la concentration intermédiaire de [150 ppm], l'effet du chrome réduit certes la capacité de germination des graines, mais le taux cumulé moyen obtenu au final avoisine 45,5%.
- Pour trois concentrations les plus élevées [300, 450 et 600 ppm], les taux cumulés moyens de germination obtenus au final sont au-dessous des 10%.

### IV.2.4.2. Traitement au NiSO<sub>4</sub>

Si le temps moyen de germination des graines témoins est de 1,88 jours, celui de graines traitées par différentes concentrations se scinde en deux situations différentes (**Tab. 10**) :

- La première situation concerne trois concentrations [25, 50 et 150 ppm], qui expriment des temps moyens de germination équivalents entre eux et aussi proches de celui des témoins lorsqu'on considère les intervalles de confiance.
- La deuxième situation concerne les trois autres concentrations [300, 450 et 600 ppm], qui expriment des temps moyens de germination un peu plus élevés que ce qui a été observé chez les graines témoins, mais aussi proches entre eux et vis-à-vis même des témoins en considérant également les intervalles de confiance.

Au final, les temps moyens de germination sont équivalents entre les différents lots : témoins et traités par le nickel. Autrement, le déclenchement du processus de la germination n'est pas entravé par des applications de l'élément nickel, son influence réside sur la capacité germinative finale. En effet, l'analyse des pourcentages de réduction de la germination calculés pour chacun des traitements montre une réduction dépendante des traitements appliqués. Plus la concentration de l'élément appliqué est forte, plus le pourcentage de réduction de la germination est grand (**Tab. 7**).

### IV.2.4.3. Traitement au CdSO<sub>4</sub>

Le temps moyen de germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.* témoins est de 1,85 jours. Celui des graines traitées par l'élément cadmium est plus élevé que celui exprimé par les graines témoins et se situe à deux niveaux (**Tab. 11**) :

- Le premier niveau s'applique aux deux applications en cadmium les plus faibles [25 et 50 ppm] qui expriment un temps moyen de germination équivalent (2,20 jours).
- Le second niveau s'applique aux quatre autres applications en chrome [150, 300, 450 et 600 ppm] qui expriment des temps moyen de germination élevés et qui ne font qu'augmenter au fur et à mesure que la concentration en cadmium augmente. Les temps moyens de germination obtenus sont respectivement de 2,92 ; 3,47 ; 4,80 et 5,50 jours.

Ces observations ne sont pas corrélées au pouvoir germinatif exprimé par les graines traitées par les différentes concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en cadmium, où nous avons remarqué que (**Tab. 8**) :

- Les différents traitements [25, 50, 150, 300 et même 450 ppm], conduisent presque tous à la même capacité germinative des graines de *Parkinsonia aculeata* L. lorsqu'on tient compte bien évidemment de l'intervalle de confiance de chacun des traitements.

- La concentration la plus élevée [600 ppm] réduit énormément le processus de la germination des graines. Le taux cumulé final obtenu est en dessous des 10%.

Au final, l'effet du cadmium se répercute beaucoup plus sur le déclenchement du processus de la germination. Le temps de latence pris par les graines pour germer sont de plus en plus longs et retardent la germination. Mais une fois que le processus de la germination enclenché, les taux cumulés moyens augmentent significativement, hormis bien évidemment pour la concentration la plus élevée [600 ppm].

### IV.3. Analyse statistique pour les trois traitements confondus

Pour les trois traitements expérimentés ( $K_2Cr_2O_7$  ;  $NiSO_4$  et  $CdSO_4$ ), une analyse statistique des données a été réalisée par XLSTAT 2009.1.02. Il s'agit d'une analyse de la variance à trois facteurs, où sont considérés (**Tab. 12**) :

- **Facteur 1/ Etude** : les 3 niveaux d'étude avec les traitements au  $K_2Cr_2O_7$  ; au  $NiSO_4$  et au  $CdSO_4$  (effectif de 189 pour chaque niveau d'étude / total = 567).

- **Facteur 2 / Traitement** : est relatif aux sept niveaux de traitements : [0, 25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] (effectif de 81 pour chaque niveau de traitement / total = 567).

- **Facteur 3 / Jours** : porte sur les neuf niveaux de suivi journalier de la germination : (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 jours) (effectif de 63 pour chaque niveau relatif au jour / total = 567).

**Tableau 12** : Tableau de variation de l'ANOVA à 3 facteurs. Les différences statistiques sont considérées au seuil de 5%, soit une probabilité  $P > 0,95$ .

**Tableau de variation de l'ANOVA à 3 facteurs**

Source de variation	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
<b>Etude</b>	2	12,427	6,213	1,233	0,292
<b>Concentration</b>	6	263,820	43,970	8,723	< 0,0001
<b>Jours</b>	8	1902,776	237,847	47,184	< 0,0001

**IV.3.1. Test de Newman-Keuls entre les trois études**

Pour les trois différentes études menées sur la germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.* témoins et traitées tout à tour par l'élément chrome ( $K_2Cr_2O_7$ ), l'élément nickel ( $NiSO_4$ ) ou bien l'élément cadmium ( $CdSO_4$ ), un test de comparaison multiple des moyennes a été établi (test de Newman-Keuls). Les conclusions sont rapportées ci-dessous (**Tab. 13**).

**Tableau 13** : Test de Newman-Keuls entre les trois études :  $K_2Cr_2O_7$  (dichromate de potassium),  $NiSO_4$  (sulfate de nickel) et  $CdSO_4$  (sulfate de cadmium). Les différences statistiques sont considérées au seuil de 5%, soit une probabilité  $P > 0,95$ .

Test de Newman-Keuls entre 3 études ( $P > 0,95$ )

Modalité	Moyenne estimée	Groupes homogènes
$K_2Cr_2O_7$	1,233	A
$NiSO_4$	1,323	A
$CdSO_4$	1,582	A

L'ANOVA ne montre aucune différence significative entre les résultats des trois études ( $P > 0,95$ ). Le modèle de germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.* adopté dans les 3 expérimentations est équivalent d'une étude à une autre (**Tab. 12 & 13**).

Les trois traitements appliqués en utilisant que ce soit le chrome, le nickel ou bien le cadmium suivent le même protocole expérimental. Ils ont été paramétrés de la même façon et menés dans les mêmes conditions expérimentales.

**IV.3.2. Test de Newman-Keuls entre les concentrations utilisées**

Pour les sept niveaux de traitements [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] appliquées aux graines de *Parkinsonia aculeata L.* y compris le traitement considéré comme témoin [0 ppm], le test de comparaison multiple des moyennes établi (test de Newman-Keuls), venu appuyer les résultats de l'analyse de l'ANOVA (**Tab. 12**) donne les groupes suivants (**Tab. 14**).

**Tableau 14** : Test de Newman-Keuls entre les sept niveaux de traitements [0, 25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm]. Les différences statistiques sont considérées au seuil de 5%, soit une probabilité  $P > 0,95$ .

Test de Newman-Keuls entre les sept niveaux de traitements ( $P > 0,95$ )

Modalité	Moyenne estimée	Groupes homogènes			
600 ppm	0,346	A			
450 ppm	0,778	A	B		
300 ppm	0,926	A	B		
150 ppm	1,407		B	C	
50 ppm	1,753			C	D
25 ppm	2,049			C	D
Témoin	2,395				D

L'analyse de l'ANOVA appuyée par le test de Newman-Keuls ( $P > 0,95$ ) reflète de la meilleure des façons le comportement des graines de *Parkinsonia aculeata* L. vis-à-vis de la concentration adoptée. En effet, quatre groupes distincts émergent de cette analyse (**Tab. 12 & 14**) :

- Le 1<sup>er</sup> groupe est relatif à celui des témoins, qui se distingue par des nombres de graines qui germent maximum.
- Le 2<sup>nd</sup> groupe compte deux des concentrations les plus faibles [25 et 50 ppm], qui engendrent un nombre de graines qui germent très appréciable, plutôt proche de celui observé chez les graines témoins.
- Le 3<sup>ème</sup> groupe est relatif à celui de deux concentrations assez fortes [300 et 450 ppm], qui donne un nombre de graines qui germent assez faible, très loin de ceux observés dans les deux premiers groupes cités.
- Le 4<sup>ème</sup> groupe spécifie la concentration la plus forte [600 ppm], qui engendre le plus faible nombre de graines qui germent.

A noter que la concentration de [150 ppm], se distingue par des nombres de graines germées intermédiaire qui se placent entre le 2<sup>nd</sup> et le 3<sup>ème</sup> groupe, relatif respectivement aux deux concentrations les plus faibles [25 et 50 ppm] et les deux concentrations assez fortes [300 et 450 ppm].

**IV.3.3. Test de Newman-Keuls entre les jours considérés**

Les dénombrements des graines germées a été suivi chaque jour, du temps 0 jours correspondant au début de l'imbibition des graines jusqu'au temps 8<sup>ème</sup> jour, fin des expérimentations. Le test de comparaison multiple des moyennes (test de Newman-Keuls) établi sur la base des résultats de l'ANOVA (**Tab. 12**) donne les groupes suivants (**Tab. 15**).

**Tableau 15** : Test de Newman-Keuls entre les neuf niveaux de nombre de jours considérés (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 jours). Les différences statistiques sont considérées au seuil de 5%, soit une probabilité  $P > 0,95$ .

Test de Newman-Keuls entre les neuf jours de dénombrements ( $P > 0,95$ )

Modalité	Moyenne estimée	Groupes homogènes		
0	0,000	A		
8	0,000	A		
7	0,063	A		
6	0,381	A		
5	0,635	A		
4	0,952	A		
3	1,825		B	
1	2,556		B	
2	6,000			C

L'analyse de l'ANOVA et le test de Newman-Keuls ( $P > 0,95$ ) donnent un aperçu sur le déroulement de la germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.* au cours du temps (**Tab. 12 & 15**). De ces analyses, deux groupes homogènes aux données suivantes se distinguent :

## ***Résultats & Discussion***

- Le 1<sup>er</sup> groupe est relatif au groupe homogène A, qui indique bien évidemment qu'aucune graine ne germe au temps 0, au moment du début des manipulations, mais surtout indique également, que rares sont les graines qui germent au delà du 4<sup>ème</sup> jour. Ceci nous renseigne clairement, que la germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.* se déroule surtout pendant les 3 premiers jours de la mise à germination

- Le 2<sup>nd</sup> groupe relatif aux jours 1 et 3 indépendamment du jour 2, donne un aperçu sur le nombre de graines qui germent, qui semble être le même pour ces deux journées, en tenant compte bien évidemment de la concentration utilisée pour le traitement administré. Autrement dit, les graines de *Parkinsonia aculeata L.* germent à la même cadence soit le premier jour, soit le 3<sup>ème</sup> jour marquant un temps de latence suite au traitement appliqué.

Un groupe distinctif émerge à la seconde journée du suivi des dénombrements concernant les graines de *Parkinsonia aculeata L.* qui germent. Ces analyses rendent compte que le nombre maximum de graines qui germent est enregistré pendant ce second jour.

# ***CONCLUSION***

### V. Conclusion

Les sols sont pourvus d'éléments traces métalliques, ils sont générés par l'activité anthropogénique et sont tous potentiellement polluants, en fonction de leur concentration dans le milieu et de leur forme chimique (Walker & Lutts, 2014). Leurs effets sont diversement appréciés, certains sont essentiels à très faible concentration pour le métabolisme en général et la production végétale en particulier (Zinc, Cuivre, Chrome, Molybdène et Bore), d'autres (Cadmium, Plomb, Mercure et Etain) y sont toxiques pour les organismes vivants (Ernst, 1998).

Trois parmi ces éléments : le chrome, le cadmium et le nickel ont été considérés et étudiés, sur des graines de *Parkinsonia aculeata* L. par rapport à leur pouvoir germinatif et le temps moyen pris par ces graines pour germer (Adjaoute & Bouchal, 2017 ; Amara & Sahki, 2017 ; Bekhouche & Benberkat, 2018). Cette espèce s'est révélée très utile dans les programmes de détoxification et de réhabilitation des sols en zones impactées notamment par le chrome (Zhao *et al.* 2011).

Dans cette optique, il nous a paru intéressant de reprendre les trois premiers travaux cités, et d'en faire une synthèse globale confortée par une étude statistique globale, une analyse de l'ANOVA. Ce qui ressort de ces trois études confondues sont les points suivants :

- Les trois métaux expérimentés (chrome, cadmium et nickel), du moins le large spectre de concentration utilisé [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm], n'entrave pas complètement le pouvoir germinatif des graines. Les graines de *Parkinsonia aculeata* L. ont la faculté de germer, sauf que les répercussions sont plutôt apparentes sur deux des paramètres les plus importants :

- La capacité germinative finale est fort dépendante de la concentration de l'élément trace métallique utilisé.

- Le temps moyen de germination qui s'allonge au fur et à mesure qu'augmente la concentration de l'élément trace métallique expérimenté. Les temps de latence pris par les graines pour germer sont encore plus longs.

Ainsi, les graines traitées par les deux faibles concentrations [25 et 50 ppm], montrent au final des taux cumulés moyens de germination ( $64,5\% \leq \text{TCMG} \leq 54,5\%$ ) très appréciables, comparativement à ceux des graines non traitées ( $\approx 74,2\%$ ).

## Conclusion

Les graines traitées par une concentration de [150 ppm], sont affectées au final de point de vue capacité de germination ( $\approx 44,9\%$ ), mais pas autant que les graines traitées par les deux concentrations [300 et 450 ppm], qui inhibent considérablement le pouvoir germinatif final des graines de *Parkinsonia aculeata L.* ( $29,0\% \leq \text{TCMG} \leq 24,3\%$ ).

La concentration de [600 ppm] se révèle inhibitrice de la germination, affectant considérablement les taux cumulés moyens obtenus à la fin des expérimentations ( $\leq 11,6\%$ ).

Ces résultats relatifs aux effets évoqués de la concentration des trois éléments traces métalliques sur le pouvoir germinatif des graines, sont confortés par l'analyse de la variance et par le test de Newman-Keuls ( $P > 0,95$ ), qui fait la part entre les effets moindres des deux faibles concentrations [25 et 50 ppm] ; les effets intermédiaires impliquant la concentration de [150 ppm] ; les effets inhibant des deux concentrations considérées comme assez fortes [300 et 450 ppm] et enfin la concentration la plus forte [600 ppm], qui est très préjudiciable à la germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.*

D'une autre part, ces résultats sont également corrélés aux temps moyens pris par les graines pour germer. En effet, aux deux faibles concentrations [25 et 50 ppm], la germination est retardée, preuve en est que les temps moyens de germination obtenus sont compris entre ( $2,1 \text{ jours} \leq \text{TMG} \leq 2,0 \text{ jours}$ ). Au sein des graines témoins, le temps moyen de germination observé est d'environ ( $\approx 1,7 \text{ jours}$ ).

Celui relatif à la concentration intermédiaire de [150 ppm] est un peu plus long ( $\approx 2,4 \text{ jours}$ ). Il est aussi moins marqué que celui enregistré chez les graines traitées par les deux concentrations [300 et 450 ppm], où les temps moyens de germination se prolongent dans la durée ( $4,1 \text{ jours} \leq \text{TMG} \leq 3,5 \text{ jours}$ ).

La concentration de [600 ppm] marque les temps moyens de germination les plus longs avec des temps de latence très marqués ( $\approx 4,5 \text{ jours}$ ).

En s'intéressant aux résultats de l'analyse de l'ANOVA et le test de Newman-Keuls ( $P > 0,95$ ) relatif aux jours du déroulement des expérimentations, on observe 2 faits importants :

- La germination des graines traitées de *Parkinsonia aculeata L.* se déroule surtout pendant les trois premiers jours de la mise à germination.
- Les graines traitées germent à la même cadence, soit le premier jour si le traitement est faible, soit le 3<sup>ème</sup> jour si le traitement est marqué.

***RÉFÉRENCES***  
***BIBLIOGRAPHIQUES***

## **Références bibliographiques**

**Adjaoute L. & Bouchal O.** (2017). Effets des métaux lourds sur les graines de *Parkinsonia aculeata L.* *Mémoire de Master. Université A. Mira de Bejaia.* 45 pp.

**Amara S. & Sahki S.** (2017). Influence de quelques sels de métaux lourds sur le pouvoir germinatif des graines de *Parkinsonia aculeata L.* *Mémoire de Master. Université A. Mira de Bejaia.* 43 pp.

**Baize D.** (1997). Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols. (France). *Eds. INRA.* 408 pp.

**Baize D.** (2009). Eléments traces dans les sols : fonds géochimiques, fonds pédogéochimiques naturels et teneurs agricoles habituelles : définition et utilités. *Courrier de l'Environnement de l'INRA* 57, 63-72.

**Barbosa D.A. & Prado M.D.** (1991). Quantitative analysis of the growth of *Parkinsonia aculeata L.* in a greenhouse. *Phyton* 52, 17-26.

**Bartlett R.J. & Kimble J.M.** (1976). Behavior of chromium in soils: II. Hexavalent forms. *J. Environ. Qual.* 5, 383-386.

**Bartlett R.J.** (1991). Chromium cycling in soils and water: links, gaps, and methods. *Environ. Health Perspectives* 92, 17-24.

**Baskin J.M. & Baskin C.C.** (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research* 14, 1-16.

**Bekhouche I. & Benbarkat N.** (2018). Essais de germination sous une contrainte imposée par l'utilisation d'un métal trace. *Mémoire de Master. Université A. Mira de Bejaia.* 38 pp.

**Benadjaoud A. & Aïd F.** (2005). Impacts de la déshydratation et de la réhydratation sur le métabolisme cellulaire des plants de *Parkinsonia aculeata L.* *Annales de l'Institut National Agronomique El Harrach* 26, 1-14.

**Bewley J.D.** (1997). Seed germination and dormancy. *The Plant Cell* 9, 1055-1066.

**Chauhan S.S.** (2003). Desertification control and management of land degradation in the desert of India. *The Environmentalist* 23, 219-227.

## Références bibliographiques

**Côme D.** (1970). Les obstacles à la germination. *Publications de la Société Linnéenne de Lyon*, 40-47.

**Côme D.** (1982). Facteurs généraux de la germination. In Croissance et développement. *Mazliak P, ed. Hermann, Paris*, 159-184.

**Côme D.** (1993). Apports de la recherche à l'amélioration de la qualité germinative des semences. *Acad. Agric. Fr.* 79, 35-46.

**Ernst W.H.** (1998). Effects of heavy metal in plants at the cellular and organismic level ecotoxicology. In *S. Gerrit & M. Bernd (eds.)*. Bioaccumulation and biological effects of chemicals. III. *John Wiley & Sons and Spektrum Akademischer Verlag*. 587-620.

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

**Foley M.E.** (2001). Review article seed dormancy: an update on terminology, physiological genetics, and quantitative trait loci regulating germinability. *Weed Science* 49, 305-317.

**Golightly J.P.** (1981). Nickeliferous laterite deposits. *Economic Geology* 75<sup>th</sup> Anniversary Volume, 710-735.

**Gupta M.K., Mruthunjaya K., Garg S.K., Yadav M., Dhaiya R. & Kumawat R.S.** (2012). Evaluation of analgesic, anti-inflammatory and antipyretic potential of *Parkinsonia aculeata* Linn bark. *Asian Journal of Biochemical and Pharmaceutical Research* 2, 400-409.

**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.

**Jordan G.L. & Haferkamp M.R.** (1989). Temperature responses and calculate heat units for germination of several range grasses and shrubs. *J. of Range Management* 42(1), 41-45.

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

## Références bibliographiques

**Leite A.C., Araujo T.G., Carvalho B.M., Maia M.B. & Lima V.L.** (2011). Characterization of the antidiabetic role of *Parkinsonia aculeata* (Caesalpinaceae). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* ID 692378, 9 pp. doi:10.1155/2011/692378.

**Lin S. & Popp R.K.** (1984). Solubility and complexing of Ni in the system NiO-H<sub>2</sub>O-HCl. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 2713-2722.

**Nogueira R.J. & Barbosa D.A.** (1998). Gas exchange and hydric relations in juvenile plants of three shrub species of caatinga under water stress. *Phyton* 62, 37-46.

**Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R. & Simons A.** (2009). *Parkinsonia aculeata* L. (Fabaceae - Caesalpinioideae). *Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0* (<http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/>).

**Palmer C.D. & Wittbrodt P.R.** (1991). Processes affecting the remediation of chromium-contaminated sites. *Environ. Health Perspectives* 92, 25-40.

**Peycru P., Baehr J.C., Cariou F., Grandperrin D., Perrier C., Fogelgesang J.F. & Dupin J.M.** (2010). *Biologie tout-en-un BCPST 2<sup>e</sup> année*. Dunod, Paris, 2<sup>e</sup> édition.

**Radosovich S., Holt J. & Ghera C.** (1997). Weed ecology: implications for vegetation management. 2 ed. New York, Wiley & Sons.

**Sheikh M.I.** (1988). New species for afforestation in semi-arid lands. *Pakistan Journal of Forestry* 38, 249-254.

**Sparks D.L.** (1998). Environmental soil chemistry. *Academic Press*, 267 pp.

**Von Maydell H.J.** (1983). Arbres et arbustes du Sahel : leurs caractéristiques et leurs utilisations. *GTZ ISBN : 3-88085-195-6*. 531 pp.

**Walker D.J. & Lutts S.** (2014). The tolerance of *Atriplex halimus* L. to environmental stresses. *Emir. J. Food Agric.* 26, 1081-1090.

**Zhao Y., Peralta-Videa J.R., Lopez-Moreno M.L., Saupe G.B. & Gardea-Torresdey J.L.** (2011). Use of plasma-based spectroscopy and infrared microspectroscopy techniques to determine the uptake and effects of chromium (III) and chromium (VI) on *Parkinsonia aculeata*. *Int. J. Phytoremediation* 13 (1), 17-33.

## **Résumé**

Trois des éléments traces métalliques : le chrome, le nickel et le cadmium ont été testés sur la capacité et la vitesse de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. ; une espèce capable de jouer un rôle dans la dépollution et la réhabilitation des sols contaminés. A cet effet, les graines ont été mises à germer en présence d'un large spectre de concentrations [25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm] en  $K_2Cr_2O_7$ ,  $NiSO_4$  et  $CdSO_4$  ; dans des conditions contrôlées (température de  $27 \pm 1^\circ C$  et en obscurité). Les résultats obtenus montrent que les trois sels de métaux lourds ont un effet identique. Les deux concentrations les plus faibles [25 et 50 ppm] ont des effets moindres sur le pouvoir germinatif des graines, contrairement aux deux concentrations les plus fortes [300 et 450 ppm], qui réduisent sensiblement la germination. L'effet de la concentration de [150 ppm] est intermédiaire entre les gammes de concentrations faibles [25 et 50 ppm] et fortes [300 et 450 ppm] ; pendant que la concentration la plus forte [600 ppm] est très préjudiciable à la germination des graines. En parallèle, le temps moyen de germination s'allonge au fur et à mesure que la concentration de l'élément trace métallique augmente. Un nombre important de graines germe : soit le 1<sup>er</sup> jour si le traitement est faible, soit le 3<sup>ème</sup> jour si le traitement est marqué. Rares sont les graines qui germent au-delà du 4<sup>ème</sup> jour.

**Mots clés :** *Parkinsonia aculeata* L. ; chrome ; nickel ; cadmium ; taux cumulés moyens de germination ; temps moyens de germination.

## **Abstract**

Three of the metallic trace elements: chromium, nickel and cadmium were tested on the capacity and rate of germination of *Parkinsonia aculeata* L. seeds; a species capable of playing a role in the cleanup and rehabilitation of contaminated soils. For this purpose, the seeds were germinated in the presence of a wide range of concentrations [25, 50, 150, 300, 450 and 600 ppm] in  $K_2Cr_2O_7$ ,  $NiSO_4$  and  $CdSO_4$ ; under controlled conditions (temperature  $27 \pm 1^\circ C$  and in darkness). The results obtained show that the three heavy metal salts have an identical effect. The two lowest concentrations [25 and 50 ppm] have less effect on the germination of the seeds, unlike the two highest concentrations [300 and 450 ppm], which significantly reduce germination. The effect of the [150 ppm] concentration is intermediate between the low [25 and 50 ppm] and high [300 and 450 ppm] concentration ranges; while the highest concentration [600 ppm] is very detrimental to seed germination. In parallel, the average germination time increases as the concentration of the metal trace element increases. A large number of seeds sprouts: either on the first day if the treatment is weak, or on the third day if the treatment is marked. Few seeds germinate beyond day 4.

**Keywords:** *Parkinsonia aculeata* L. ; chromium; nickel; cadmium; cumulative mean germination rates; average germination times.