

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*  
*Université Abderrahmane MIRA*



*Faculté des sciences de la nature et de la vie*  
*Département de Science Biologique de l'Environnement*  
*Filière : Sciences Biologiques*

---

*Option : Environnement et sécurité alimentaire*

---

Réf : .....

**Mémoire de fin de cycle**

En vue d'obtention du diplôme

**Master**

**Thème**

**Effets des métaux lourds sur les graines de *Parkinsonia aculeata L.***

*Présenté par :*

*Melle Adjaoute Leila*

*Melle Bouchal Ouardia*

*Soutenu au mois de juin 2017*

*Devant le jury :*

*Président : Mr Benhamiche N.*

*Encadreur : Mr Benadjaoud A.*

*Examineur : Mr Hamlat M.*

Année universitaire : 2016 - 2017

## **Remerciement**

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

En effet, nous tenons à remercier les responsables du département d'exploitation et de service des stages.

Nous tenons aussi à remercier tous les techniciens du laboratoire pour nous avoir accordé leur confiance et leur accueil au sein de laboratoire.

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

Nous remercions Mme Benadjaoud pour tous ses conseils et explications, ses encouragements continus et sa disponibilité.

Nous voudrions également remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.

A tous Nos enseignants qui nous ont initié aux valeurs authentiques, en signe d'un profond respect et d'un profond amour !!!

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

### **DÉDICACES**

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde et te protège, à toi*

*Mon père Omar*

*A la lumière de mes jours la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, ma mère que j'adore Fatiha*

*A la mémoire de mon très cher oncle Amirouche que dieu te garde dans son vaste paradis*

*Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à toutes mes sœurs : Samira, Linda et Samia , mon frère Khaled*

*A mes oncles : Brahim, Karim, Madani et Kaci ainsi que leurs femmes et leurs enfants*

*A mes chères tantes : Djamilia, Nadia, Meknouta, Fadila et Salima*

*A mes chers grand mères Dhaouia et Dahbia, et grand père Makhlouf, et tous mes petits cousins et cousines*

*Je dédie, ce travail dont le grand plaisir revient en premier lieu pour leurs conseils, aides et encouragements.*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'étude et frères de cœur : Sarah , Sofiane , Damia , Soria .*

*Adjaoute Leila.*

***Je dédie ce mémoire...***

***A ma très chère mère***

*Affable, honorable, aimable, Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.*

*Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.*

***A mon Père***

*Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.*

*Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

***A mon très cher mari***

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

*Ma vie à tes côtés est remplie de belles surprises.*

*Tes sacrifices, ton soutien moral et matériel, ta gentillesse sans égal, ton profond attachement m'ont permis de réussir mes études.*

*Sans ton aide, tes conseils et tes encouragements ce travail n'aurait vu le jour.*

*Que dieu réunisse nos chemins pour un long commun serein et que ce travail soit témoignage de ma reconnaissance et de mon amour sincère et fidèle.*

***A mes frères***

***A la mémoire de ma grand-mère maternelle, la grande dame qui a tant sacrifié pour nous.***

***A mon très cher oncle sa femme et ses deux fils***

***A toutes mes tantes, leurs filles et fils***

***A la mémoire de mon beau père***

***A ma chère belle mère***

***A mes beaux-frères et mes belles sœurs***

**Bouchal Ourdia**

# Sommaire

|  |          |
|--|----------|
| <b>Introduction.....</b>   | <b>1</b> |
| <br><b>Synthèse bibliographique</b>  |          |
| I. Aperçu général sur la famille des <i>Fabaceae</i> .....                         | 2        |
| I.1. Etymologie et classification.....   | 2        |
| I.2. Importance économique.....  | 2        |
| I.3. Intérêt environnemental.....  | 3        |
| II. Présentation de <i>Parkinsoniaaculeata L.</i> .....                            | 3        |
| II.1. Origine, étymologie et systématique.....                                     | 3        |
| II.2. Description .....  | 3        |
| II.3. Utilisation de <i>Parkinsoniaaculeata L.</i> en médecine traditionnelle..... | 5        |
| III. Notions sur la germination des semences.....                                  | 5        |
| III.1. Conditions requises pour la germination des semences.....                   | 5        |
| III.2. Phases de la germination.....   | 6        |
| III.3. Dormance des semences.....  | 7        |
| III.4. Levée des dormances.....  | 7        |
| IV. Notions sur les éléments - traces métalliques (ETM.....                        | 8        |
| IV..1. Définition.....   | 8        |
| IV..2. Présence et utilisation des ETM.....  | 9        |
| IV.3. Impacts toxicologiques.....  | 10       |
| IV..4. Impacts écotoxicologiques.....  | 11       |
| IV.5. Impacts sur les végétaux, phytotoxicité ou stress métallique.....            | 11       |

|  |    |
|--|----|
| IV.6. Tolérance et phytoremédiation..... | 12 |
| IV.6.1. Tolérance.....                   | 13 |
| IV.6.2. Phytoremédiation.....            | 13 |

## **Matériel et Méthodes**

|  |    |
|--|----|
| I. Matériel végétal.....   | 14 |
| I.1. Origine des graines.....                                    | 14 |
| I.2. Traitement des graines.....                                 | 14 |
| I.3. Imbibition des graines.....                                 | 14 |
| I.4. Germination des graines.....                                | 14 |
| II. Préparation de la solution de dichromate de potassium.....   | 15 |
| II.1. Dichromate de potassium.....                               | 15 |
| II.2. Préparation de la solution de dichromate de potassium..... | 16 |
| III. Méthodes utilisées.....                                     | 16 |
| III.1. Taux cumulés de germination.....                          | 16 |
| III.2. Pourcentage de réduction de la germination.....           | 16 |
| III.3. Temps moyen de germination (TMG).....                     | 17 |
| III.4. Vitesse de germination ou coefficient de vélocité.....    | 17 |
| III.5. Indice de germination .....                               | 17 |
| III.6. Etude statistique .....                                   | 18 |

## **Résultats et Discussion**

|   |    |
|---|----|
| I. Taux cumulés de germination des graines de <i>Parkinsoniaaculeata L.</i> sous stress métallique..... | 19 |
| I.1. Taux cumulés de germination des graines du lot témoin.....   | 19 |

|   |           |
|---|-----------|
| I.2. Taux cumulés de germination des graines du lot traité par une concentration de 25 ppm en $K_2Cr_2O_7$ .....  | 20        |
| I.3. Taux cumulés de germination des graines du lot traité par une concentration de 50 ppm en $K_2Cr_2O_7$ .....  | 21        |
| I.4. Taux cumulés de germination des graines du lot traité par une concentration de 150 ppm en $K_2Cr_2O_7$ ..... | 22        |
| I.5. Taux cumulés de germination des graines du lot traité par une concentration de 300 ppm en $K_2Cr_2O_7$ ..... | 24        |
| I.6. Taux cumulés de germination des graines du lot traité par une concentration de 450 ppm en $K_2Cr_2O_7$ ..... | 26        |
| I.7. Taux cumulés de germination des graines du lot traité par une concentration de 600 ppm en $K_2Cr_2O_7$ ..... | 27        |
| I.8. Taux cumulés de germination des graines de l'ensemble des lots traités par du $K_2Cr_2O_7$ .....             | 29        |
| II. Vitesse de germination des graines de <i>Parkinsonsoniaaculeata L.</i> .....                                  | 32        |
| II.1. Temps moyen de germination.....   | 32        |
| II.2. Coefficient de Kotowski.....  | 33        |
| III. Indice de germination des graines.....   | 33        |
| <b>Conclusion</b> .....   | <b>39</b> |

## Liste des abréviations :

**ETM** : élément trace métallique

**TMG** : Temps moyen de germination

**IG** : Indice de germination

**PPM** : parties par million

**Cr** : Chrome

**IC** : Intervalle de confiance

**mM** : milli mole



## Liste des tableaux

**Tableau 1 :** présence et usages des ETM.

**Tableau 2:** Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une concentration de 25 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin.

**Tableau 3 :** Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une concentration de 50 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin.

**Tableau 4 :** Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une concentration de 150 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin.

**Tableau 5:** Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une concentration de 300 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin.

**Tableau 6 :** Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une concentration de 450 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin.

**Tableau 7 :** Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une concentration de 600 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin.

**Tableau 8 :** Taux cumulés de germination maximums obtenus à la fin des expérimentations et le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin.

**Tableau 9 :** Temps moyens de germination et coefficient de Kotowski des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en  $K_2Cr_2O_7$ .

**Tableau 10 :** Indice de germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en  $K_2Cr_2O_7$ .

**Tableau 11 :** Les résultats finaux obtenus pour les différents paramètres testés en suivant les germinations des graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450, 600) en  $K_2Cr_2O_7$ .

## Liste des figures

**Figure 1 :** Vue générale de l'arbre, fleur et gousse de *Parkinsonia aculeata* L.

**Figure 2 :** Aperçu sur les graines de *Parkinsonia aculeata* L.

**Figure 3 :** Courbe théorique d'imbibition des semences

**Figure 4 :** L'origine des éléments traces métallique des sols

**Figure 5 :** Tableau périodique des éléments chimiques

**Figure 6 :** Impacts toxicologiques des éléments traces métallique sur la santé a.

**Figure 7 :** Les graines de *parkinsonia aculeata* L en phase de germination

**Figure 8 :** Bichromate de potassium

**Figure 09 :** Evolution des pourcentages (%) de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par une concentration de 25 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  en fonction du temps.

**Figure 10 :** Evolution des pourcentages (%) de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par une concentration de 50 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  en fonction du temps

**Figure 11 :** Evolution des pourcentages (%) de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par une concentration de 150 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  en fonction du temps

**Figure 12:** Evolution des pourcentages (%) de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par une concentration de 300 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  en fonction du temps

**Figure 13 :** Evolution des pourcentages (%) de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par une concentration de 450 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  en fonction du temps

**Figure 14 :** Evolution des pourcentages (%) de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata L.* témoins et traitées par une concentration de 600 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  en fonction du temps

**Figure 15 :** Evolution des pourcentages (%) de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata L.* témoins et traitées par des concentration de 25 ppm, 50 ppm , 150 ppm, 300 ppm, 450 ppm et 600 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  en fonction du temps .

## Introduction

Les métaux lourds sont des polluants engendrés par l'activité humaine qui ont un fort impact toxicologique. Ils ont des effets néfastes sur les végétaux, les denrées alimentaires et sur la santé humaine (Di Benedetto, 1997). Ces dernières années, la contamination de l'environnement par le chrome est devenue un problème majeur. Sous sa forme hexavalente (Cr IV), il est hautement toxique pour les animaux et les végétaux (Gaste et al, 2005).

La capacité d'une plante à résister ou à tolérer la toxicité aux métaux lourds dépend de son aptitude à maintenir la germination dans un environnement pollué. Compte tenu de l'importance de la phase germinative dans le déroulement des stades ultérieurs du développement de toute espèce végétale, il s'avère indispensable d'étudier le comportement germinatif et d'évaluer la tolérance vis à vis d'un stress métallique (Peralta et al, 2001).

La famille des Légumineuses ou *Fabacées* est une des plus importantes du monde végétal, puisqu'elle comprend trois Sous-familles, 428 genres et 10,000 espèces environ, répandues sur toute la surface de la terre (FOURY, 1954).

*Parkinsonia aculeata* L. appartient à la famille Fabaceae selon la classification phylogénétique, *Parkinsonia aculeata* L. est fréquente dans les plantations de brise-vent ou d'ornement et convient pour la réhabilitation des sols. Elle résiste à la chaleur et à la sécheresse du milieu et sa croissance est rapide en plein soleil. Il pousse aussi bien sur des sols sableux ou graveleux et tolère des sols calcaires ou alcalins (Von Maydell H. J, 1983). Ces plantes échappent aux conditions adverses du milieu notamment au stress hydrique, en développant des mécanismes d'adaptation (Benadjaoud A, 2002)

Dans la perspective de voir si cette plante tolère ou pas un stress imposé par des métaux lourds ? Nous avons choisi de mener des expérimentations en premier lieu sur des graines de *Parkinsonia aculeata* L. afin de connaître les effets d'un élément trace métallique sur le pouvoir germinatif des graines de cette espèce. Ces expérimentations sont avant tout un préalable avant d'envisager toute étude sur la plante entière.

Comme peu d'études ont porté jusqu'à présent sur l'évaluation de la tolérance de cette espèce au chrome (Cr). Nous avons préféré travailler avec cet élément trace, utilisé sous sa forme  $K_2Cr_2O_7$  (bichromate de potassium). Un large spectre de concentration a été choisi pour

mener nos différentes expérimentations il s'agit des concentrations 25, 50, 150, 300, 450, 600 ppm

## Partie bibliographique

### I. Aperçu général sur la famille des *Fabaceae*

La famille des *Fabaceae*, couramment appelée *Leguminosae* (plantes dont le fruit est une gousse) ou *Papilionaceae* (fleurs irrégulières comportant cinq pétales) est représentée par des plantes herbacées, des arbustes, des arbres ou des lianes. C'est une famille cosmopolite, qui se démarque par sa forte capacité à contracter des symbioses avec des bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium*). (Letouzey, 1982 ; Natier, 2004).

#### I.1. Etymologie et classification

Le nom de cette famille est issu depuis le nom du genre *Faba* (du latin *fabā*, fève). Ce genre a été renommé *Vicia*.

Selon les classifications, la composition de cette famille varie

- Le nom Fabacées, au sens limité, est adopté en classification classique de *Cronquist* (1981). Ce groupe est nommé *Fabaceae (stricto sensu)* ou *Papilionaceae*. Cette famille comprend 12000 espèces réparties en plus de 400 genres.
- Le nom Fabacées, au sens large, est adopté en classification phylogénétique APG II (2003). Ce groupe est nommé *Fabaceae (lato sensu)* ou *Leguminosae*. Cette famille comprend 18000 espèces réparties dans 3 sous-familles.

Les 3 sous-familles sont :

- Sous-famille des *Faboideae* ou *Papilionoideae* avec une fleur typique en papillon
- Sous-famille des *Mimosoideae* avec une fleur régulière
- Sous-famille des *Caesalpinioideae* avec une fleur pseudo-papilionacée

#### I.2. Importance économique

Comme les céréales, certains fruits et les légumes de plusieurs espèces appartenant à la famille des *fabaceae* sont des aliments de base et une source de protéines végétales ou de matière grasses pour les humains et les animaux, notamment ce qui est représenté par les plantes cultivées connues comme : le soja, les haricots, les pois, le pois chiche, l'arachide, la lentille cultivée, la luzerne cultivée, les différents trèfles, les fèves, le caroubier et la réglisse. A titre indicatif, la production mondiale des légumineuses cultivées pour leurs graines dépasse les 300 millions de tonnes annuelles, dont les 2/3 pour le seul soja (Dimitri, 1987).

### II.3. Intérêt environnemental

Les légumineuses sont des plantes pionnières et jouent un rôle important dans la végétation *de novo* des sols. Leur capacité à fixer l'azote atmosphérique leur permet de se développer les premières dans des sols pauvres (Harborne, 1994).

Elles permettent par la suite aux autres espèces de se développer. Beaucoup d'espèces de cette famille sont utiles pour les pollinisateurs.

## II. Présentation de *Parkinsoniaaculeata* L.

*Parkinsoniaaculeata* L. dont les graines sont l'objet de notre travail, est une plante de la sous-famille des *Caesalpinioideae*, une parmi les 3 sous-familles des *Fabaceae*.

### II.1. Origine, étymologie et systématique

*Parkinsoniaaculeata* L. ou Epine de Jérusalem est originaire des Amériques (sud-ouest des USA, du Mexique, des Caraïbes, d'Amérique du sud jusqu'au nord de l'Argentine et des îles Galápagos (Anonyme, 1998).

Le nom du genre *Parkinsonia* lui a été attribué en l'honneur du botaniste Anglais *John Parkinson* (1567-1650), tandis que le nom de l'espèce latine, *aculeata*, se réfère à sa tige épineuse.

Sa position systématique selon la classification de *Cronquist* (1981) est la suivante :

**Règne :** *Plantae*

**Sous-règne :** *Tracheobionta*

**Division :** *Magnoliophyta*

**Classe :** *Magnoliopsida*

**Sous-classe :** *Rosidae*

**Ordre :** *Fabales*

**Famille :** *Fabaceae*

**Genre :** *Parkinsonia*

**Nom binominal :** *Parkinsonia aculeata* L.

### II.2. Description

*Parkinsoniaaculeata*L. est un arbuste ou un arbre qui peut atteindre 8 m de haut. Les feuilles et les tiges sont glabres. Le pétiole aplati est bordé par deux rangées de 25 à 30 folioles ovales minuscules; les folioles sont rapidement caduques par temps sec, laissant les pétioles verts et les branches pour la photosynthèse. Les branches possèdent des épines de 7 à 12 mm de long à chaque nœud (Gilman and waston, 1994 ; DNR, 2001 ; Starr et al., 2003).

Les fleurs de *Parkinsoniaaculeata* L. sont jaunes et odorantes, de 20 mm de diamètre, groupées par huit à dix au bout d'une longue tige élancée. Le fruit est une gousse coriace, de couleur brun clair à maturité. (**Figure 01**)



**Fig 1 :** Vue générale de l'arbre, fleur et gousse de *Parkinsoniaaculeata* L. (Source : <https://www.murcia.es/medioambiente/parquesy jardines/img/parkinsonia%20aculeata.jpg>).

Les graines de *Parkinsoniaaculeata* L. présentent une enveloppe très épaisse et se propagent mieux une fois imbibées d'eau. Cette enveloppe très dure permet néanmoins aux graines, de rester viables pendant plusieurs années et de germer lorsque les conditions sont bonnes (DNR, 2001) (**Figure 2**)





**Fg2** : Aperçu sur les graines de *Parkinsoniaaculeata* L. (Source : <http://dico-sciences-animales.cirad.fr/photos/bota/ParkinsoniaAculeataGrainCMey033a.JPG>).

### 2.3. Utilisation de *Parkinsoniaaculeata*L.en médecine traditionnelle

*Parkinsoniaaculeata* L. est utilisée en médecine, les infusions des feuilles, graines, fleurs et de l'écorce sont administrés en boisson ou utilisés en bain contre la fièvre intermittente ; les macérés ou décoctés des rameaux feuillés sont utilisés pour arrêter les diarrhées banales ; et les extractions des fleurs et des feuilles en alcool, sont appliquées comme cataplasme pour le traitement de rhumatisme (Katende, 1959 ; Bein, 1996)

## III. Notions sur la germination des semences

La germination est le passage d'une semence de sa vie latente à une vie active sous l'effet de facteurs favorables. C'est un processus physiologique dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et le tout début de la croissance de la radicule (Mazliak, 1982). Une semence a germé, lorsque la radicule a percé les enveloppes ou elle est visiblement allongée (Bewley, 1997).

### III.1. Conditions requises pour la germination des semences

Pour germer une semence exige la réunion de conditions favorables :

- **L'eau** : la germination exige obligatoirement de l'eau, celle-ci doit être apportée à l'état liquide. Elle pénètre par capillarité dans les enveloppes. Elle est remise en solution dans les réserves de la graine, pour être utilisée par l'embryon, et provoque le gonflement de leurs cellules, donc leur division (Chaussat et Ledeff, 1975).
- **L'oxygène** : comme pour l'eau, la germination exige obligatoirement de l'O<sub>2</sub>. Une faible quantité d'oxygène serait suffisante pour permettre la germination. Selon Meyer *et*

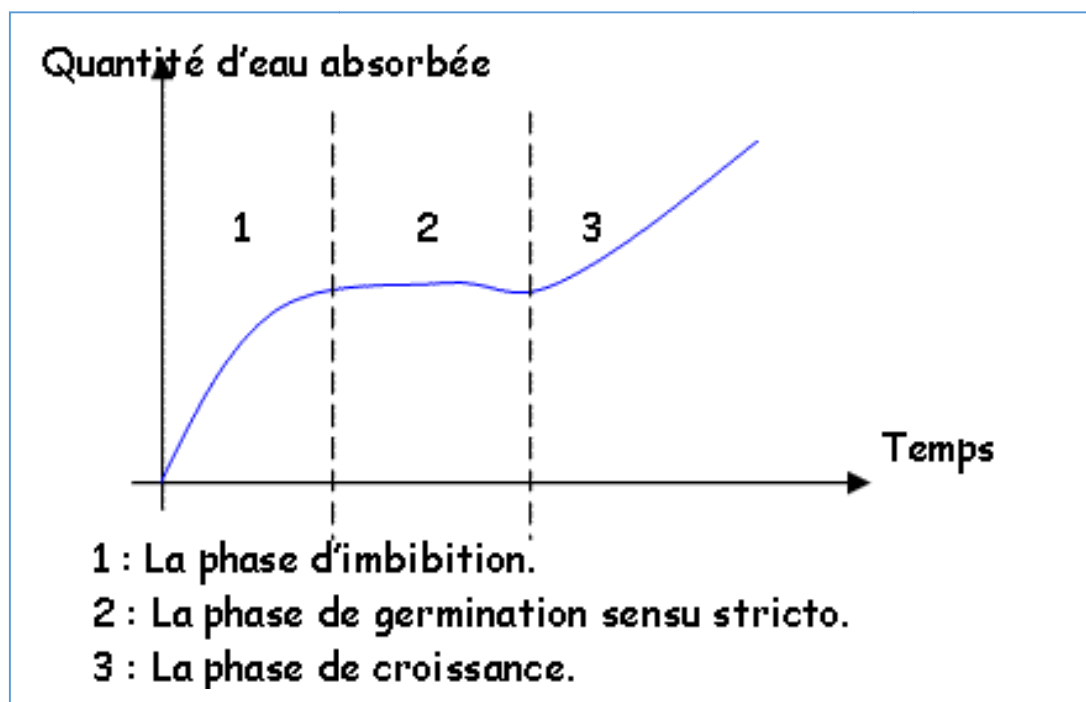
al.(2004), l'oxygène est contrôlé par les enveloppes qui constituent une barrière, mais en même temps une réserve.

- **La température** : elle agit soit directement en augmentant la vitesse des réactions biochimiques, c'est la raison pour laquelle il suffit d'élever la température de quelques degrés pour stimuler la germination (Mazliak, 1982) ; soit indirectement par ses effets sur la solubilité de l'O<sub>2</sub> dans l'embryon (Chaussat *et al.* 1975).

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

### III.2. Phases de la germination

La germination des semences se déroule en 3 phases (**Figure 3**) :



**Fg3** : Courbe théorique d'imbibition des semences

(Source des photographies: <https://goo.gl/images/wRBwBe>).

- **Phase d'imbibition** : c'est un phénomène d'entrée rapide et passive d'eau, qui se déroule même si la graine n'est pas viable. Cette entrée est accompagnée d'une élévation de la consommation d'oxygène attribuée à l'activation des enzymes mitochondriales.

- **Phase de germination au sens strict** : elle est caractérisée par une diminution de l'entrée d'eau et une reprise de la respiration, des activités métaboliques et mitotiques. L'eau active les phytohormones hydrosolubles en stock dans la graine. C'est le cas des gibbérellines

qui vont activer la synthèse d'hydrolases ( $\alpha$ -amylases, nucléases et protéinases) nécessaires à la dégradation des réserves, à la division et l'élongation cellulaire. Les  $\alpha$ -amylases hydrolysent l'amidon stocké dans l'albumen et libèrent des molécules de glucose, substrat du métabolisme respiratoire. La phase de germination au sens strict se termine avec la percée du tégument par la radicule, rendue possible grâce à l'allongement des cellules (Heller *et al.* 2004).

- **La phase de croissance post-germinative** : elle est caractérisée par une entrée de nouveau de l'eau et une augmentation importante de la respiration. La consommation de l'O<sub>2</sub> serait due aux enzymes néosynthétisées. L'ABA (acide abscissique) néosynthétisé serait un des facteurs les plus importants qui régule cette phase (Grappinet *al.* 2000).

### III.3. Dormance des semences

Lorsque des semences arrivées à maturité sont placées en conditions optimales de température, d'humidité et d'oxygénation pour leur croissance et qu'elles ne germent pas, plusieurs causes sont envisageables : la dormance de l'embryon, la présence d'inhibiteurs, la présence de protéines photosensibles, des chromoprotéines et/ou l'imperméabilité et la résistance mécanique des enveloppes à l'eau ou à l'O<sub>2</sub> (Bewley, 1997).

Il existe 2 types de dormances :

- **Dormance primaire** : s'installe pendant la formation des semences, c'est un état de repos profond qui se produit sous l'influence de facteurs internes, de nature tégumentaire ou embryonnaire. Son installation est dépendante de l'ABA. La surexpression des enzymes de la voie de biosynthèse de l'ABA favorise la dormance, pendant que des graines déficientes en ABA ne présentent pas de dormance (Nambara and Marion-Poll, 2005).

- Dormance tégumentaire : les téguments peuvent empêcher la germination en formant une barrière qui peut être physique (imperméabilité à l'entrée de l'eau) ou bien chimique (piégeage de l'O<sub>2</sub> par des composés phénoliques).
- Dormance embryonnaire : tant que l'embryon n'est pas arrivé au terme de sa maturité, la germination ne peut avoir lieu (Baskin and Baskin, 1998). Cette dormance implique l'intervention des cotylédons et les inhibiteurs de la germination surtout l'ABA (Bewley and Black, 1994).

- **Dormance secondaire** : elle apparaît pendant le stockage des semences récoltées influencées par divers facteurs externes (température, oxygène, lumière) défavorables à la conservation. L'installation de cette dormance est également dépendante des teneurs en ABA qui la favorise (Wentao *et al.* 2009), pendant que l'acide gibbérellique l'inhibe (Matilla and Matilla-Vasquez, 2008).



### IV.1. Définition

Certains auteurs définissent les métaux lourds comme les éléments métalliques présentant une masse volumique supérieure à une certaine valeur. Cette valeur minimale varie entre  $4\,000\text{ kg/m}^3$  et  $5\,000\text{ kg/m}^3$ . D'autres, définissent comme métaux lourds les éléments métalliques compris entre le cuivre et le plomb dans le tableau périodique des éléments, excluant de facto le fer et le chrome. Pour d'autres, il s'agit de tous les éléments métalliques à partir de la quatrième période du tableau périodique des éléments (Anonyme, 2001)(**figure 5**).

Le tableau périodique des éléments chimiques est présenté, avec les métaux lourds de densité > 5 soulignés en gris foncé. Les blocs sont étiquetés : Bloc s, Bloc p, Bloc d, et Bloc f. Les lanthanides et actinides sont indiqués en dessous de leur position respective.

| Bloc s      |    | Métaux lourds de densité > 5 |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Bloc p |   |   |   |   |    |
|-------------|----|------------------------------|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|---|---|---|---|----|
| H           |    |                              |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |        |   |   |   |   | He |
| Li          | Be |                              |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | B      | C | N | O | F | Ne |
| Na          | Mg | Bloc d                       |        |    |    |    |    |    |    |    |    | 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 | Te | 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                           | Bloc f |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |        |   |   |   |   |    |
| Lanthanides |    | Ce                           | Pr     | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |    |    |        |   |   |   |   |    |
| Actinides   |    | Th                           | Pa     | U  | Np | Pu | Am | Cm | Cf | Bk | Es | Fm | Md | No | Lr |    |    |        |   |   |   |   |    |

**Fg5** : Tableau périodique des éléments chimiques

(Source des photographies : <https://goo.gl/images/HcsWGA>).

Pour éviter toute confusion et compte tenu du caractère potentiellement toxique de certains composés de métaux lourds (mercure, plomb, cadmium en particulier), on inclut parfois dans la catégorie des métaux lourds certains éléments toxiques comme l'arsenic (métalloïde) et certains composés organométalliques tels que le méthylmercure.

### IV.2. Présence et utilisation des ETM

Tous les *ETM* sont naturellement présents à l'état de traces dans le sol. L'activité humaine peut renforcer cette présence (**tableau 01**):

**Tab I : présence et usage des ETM**

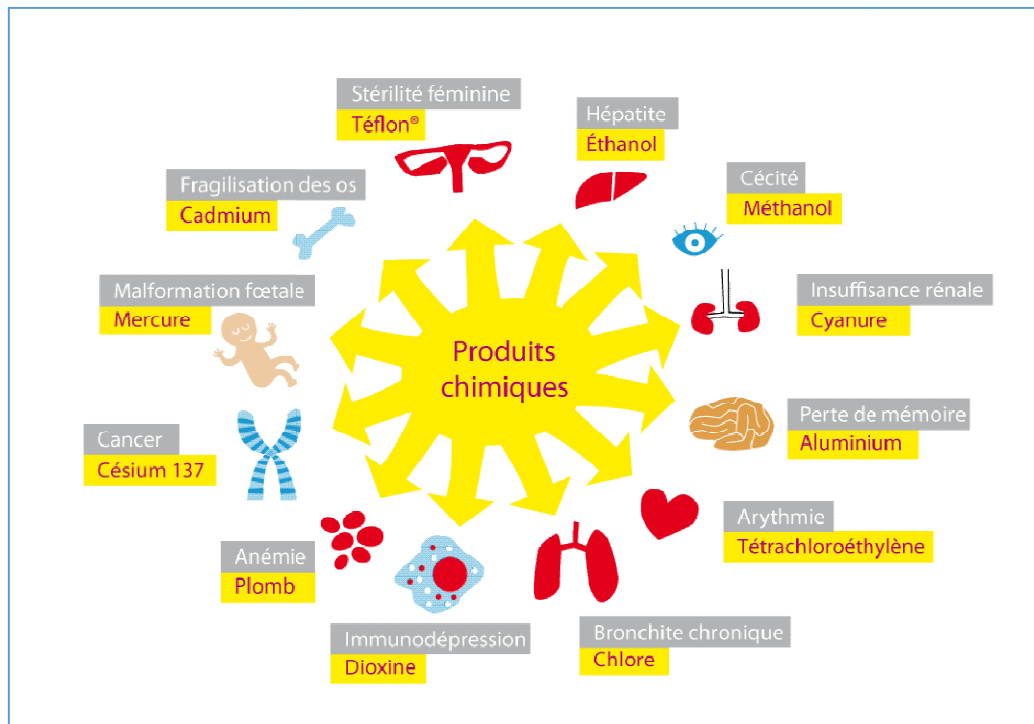
| ETM     | Sigle | N° | Présence / Usages   |
|---------|-------|----|---|
| Fer     | Fe    |    | Aciers, aciers inoxydables  |
| Plomb   | Pb    |    | Batteries d'accumulateurs, implants dentaires, tuyauteries, soudures, peintures anti corrosion et munitions |
| Mercure | Hg    |    | Amalgames dentaires et piles électriques  |
| Uranium | U     |    | Quilles de bateaux, munitions anti blindage   |
| Chrome  | Cr    |    | Pigment rouge, chromage de pièces   |
| Cuivre  | Cu    |    | Domaine de l'électronique, comme fongicide  |
| Cadmium | Cd    |    | Piles rechargeables, anti corrosion en aéronautique   |
| Argent  | Ag    |    | En bijouterie et argenterie, photographies argentique, miroirs  |
| Or      | Au    |    | Objets précieux, bijouterie, contacts électriques, en dentisterie   |
| Zinc    | Zn    |    | Galvanisation de l'acier  |
| Titane  | Ti    |    | Construction de réacteurs chimiques, confection de prothèses  |
| Nickel  | Ni    |    | Aciers inoxydables  |

### **IV.3. Impacts toxicologiques**

L'impact toxicologique des ETM dépend de leur forme chimique, de leur concentration, du contexte environnemental, de leur biodisponibilité et de la possibilité de passage dans le réseau trophique, c'est à dire dans la chaîne de vivant.

En particulier, 3 métaux se distinguent : mercure, plomb et cadmium, pour lesquels on n'a pas pu mettre en évidence de rôle positif pour aucune activité biologique, mais qui peuvent être à l'origine d'intoxications ou de maladies chroniques graves, même à faibles doses. Ainsi, l'absorption de plomb provoque le saturnisme ; le cadmium détruit les reins et dégrade le foie ; et le mercure est un puissant neurotoxique (Anonyme, 2010).

L'aluminium, plus commun est considéré comme neuro-toxique ; il est largement utilisé comme composant alimentaire, cosmétique et comme adjuvant dans certains vaccins.



**Fg6** : Impacts toxicologiques des éléments traces métallique sur la santé (Source de photographie :<https://goo.gl/images/TR3tVO>)

Inversement, d'autres métaux sont nécessaires (oligo-éléments), et d'autres encore semblent, au moins sous forme métallique (pas sous forme ionique) sans effets sur l'organisme ; ces derniers sont considérés comme « bio-compatibles » et utilisés en chirurgie ou dentisterie, comme le titane et l'or (Anonyme ,2010).

Des métaux communs comme le fer, très indispensables, ne peuvent être mis sur le même plan que le mercure, le plomb et le cadmium. D'autres métaux peuvent être très toxiques sous certaines formes (chrome VI, cuivre oxydé, etc.)(Anonyme ,2010).

#### **IV.4. Impacts éco-toxicologiques**

Les ETM sont d'importants contaminants des écosystèmes et du réseau trophique. Ils ne sont ni biodégradables, ni dégradables. On les retrouve très concentrés par les animaux situés en tête de la chaîne alimentaire, comme les oiseaux marins et les cétacés (Das ,1996)

#### **IV.5. Impacts sur les végétaux, phytotoxicité ou stress métallique**

Parmi l'ensemble des ETM, une vingtaine (N, S, Cu, Zn, Ni, Fe, Co, Se, etc.) d'entre eux sont indispensables aux processus physiologiques majeurs, tel que la respiration, la photosynthèse, l'expression des gènes, la biosynthèse des protéines, des acides nucléiques, des substances de croissance, de la chlorophylle, des métabolites secondaires, le métabolisme lipidique ou la tolérance au stress (Michel, 2009).

D'autres ETM (Hg, Cr, Ni, Pb et Cd) sont considérés comme des poisons cellulaires pour lesquels les doses admissibles sont très faibles. Ils peuvent être bio accumulés dans les tissus des plantes et induire des perturbations au niveau de leur métabolisme. L'effet toxique de ces éléments varie selon le type de métal présent, sa concentration dans la plante, le temps d'exposition et selon l'espèce végétale affectée (Michel, 2009). Les interférences d'avec plusieurs mécanismes peuvent être résumées comme suit :

- **Absorption des nutriments du sol** : les ETM présents dans le sol sous forme de cations ( $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+6}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ , etc.) peuvent entrer en compétition avec d'autres cations du sol qui servent normalement de nutriments essentiels pour la plante ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , etc.), entraînant *de facto* leur absorption. Comme exemple, l'absorption de cadmium pourrait engendrer une moins grande assimilation de potassium, à la suite de l'effet de compétition, provoquant ainsi une carence de ce nutriment.

- **Photosynthèse** : les ETM provoquent une diminution de la concentration en chlorophylles par dégradation des membranes des thylakoïdes. Ils induisent aussi, une baisse de l'efficacité de la photosynthèse à la suite d'une altération du transport des électrons et d'une perturbation des enzymes du cycle de *Calvin* (notamment l'activité de l'enzyme *Rubisco*). (Anonyme, 2003)

- **Statut hydrique** : une exposition aux ETM réduit le taux d'hydratation des cellules ainsi que la turgescence (Shuiping, 2003). Au cours de ce processus, l'impact des ETM sur les propriétés physiques des parois cellulaires peut être mis en cause dans l'inhibition de l'extensibilité pariétale (Zheng *et al.* 2003).

- **Germination** : les ETM réduisent les taux de germination des semences végétales. Le nickel par exemple, affecte l'activité de plusieurs hydrolases ( $\alpha$ -amylases, ribonucléases et protéinases), ce qui retarde la germination. Le cadmium, pour sa part, induit des dommages aux membranes des semences, en plus de diminuer les réserves de l'embryon contenues dans les cotylédons). (Shuiping, 2003)

- **Division cellulaire** : les ETM perturbent la division cellulaire des végétaux. Ainsi, le cadmium, le mercure et le plomb ont la capacité d'endommager le nucléole et d'inhiber les



activités enzymatiques DNAase et RNAase, ce qui provoque une interruption de la synthèse de l'ADN (Shuiping ,2003).

- **Croissance** : une plante peut voir sa croissance réduite et afficher des signes de chloroses, résultant à la fois d'une perte de chlorophylle et d'une carence en fer. Des nécroses sont également observables lors d'intoxications plus graves (Shuiping, 2003).

- **Induction d'un stress oxydatif** : le rôle des ETM dans la formation des espèces réactives d'O<sub>2</sub> est lié à leur capacité à exister sous différents états d'oxydation. En effet, les cations d'éléments comme le Fe, Cu, Cr ou Mn sont capables de céder un ou plusieurs électrons susceptibles de réduire l'O<sub>2</sub> et ses dérivés. Les radicaux libérés (radical hydroxyl, peroxyde d'hydrogène, anion superoxyde, etc.) sont de puissants agents oxydants qui altèrent toute une série de substrats biologiques importants (enzymes, ADN et lipides membranaires), avec comme conséquence la modification des domaines fonctionnels des biomolécules (Devi and Prasad, 1999 ; Shuiping, 2003).

## **IV.6. Tolérance et phytoremédiation**

### **IV.6.1. Tolérance**

Certaines plantes ont développé des mécanismes de résistance face à la présence d'ETM dans le milieu. Une première stratégie consiste à simplement retarder l'absorption des métaux et ainsi diminuer au maximum la concentration en élément toxique dans l'organisme. D'autres plantes séquestrent les métaux dans leurs vacuoles foliaires tandis que d'autres les accumulent dans des trichomes (excroissance végétale) présents au niveau de l'épiderme. Dans les deux cas, les végétaux évitent ainsi que les éléments toxiques entrent en contact avec le monophylle et viennent agir sur le métabolisme. Une autre stratégie consiste à précipiter les ETM ou à former un complexe entre un ligand et le cation métallique (chélation), ce qui permet de détoxifier la plante (Shuiping, 2003).

### **IV.6.2. Phytoremédiation**

Le principe est d'utiliser des plantes pour dépolluer des sites (sols, eaux) contaminés par divers polluants (organiques et inorganiques). A ce titre, plus de 400 espèces végétales ont été recensées comme étant hyperaccumulatrices, certaines appartenant aux familles des *Brassicaceae*, comme *Alyssum* spp, *Thlaspi* spp et *Brassicaspp*, des *Violaceae*, comme *Viola* spp, des *Fabaceae*, comme *Astragalus* spp. Ces plantes sont connues pour absorber de fortes concentrations de métaux lourds et de radionucléides (Shuiping ,2003 ; Michel, 2009)

## Matériel et Méthodes

### I. Matériel végétal

#### I.1. Origine des graines

Les graines de *Parkinsoniaaculeata L.* utilisées dans nos différentes expérimentations ont été récoltées depuis le mois de mai 1996, en provenance de site de l'arboretum de la station régionale de l'Institut National de Recherche Forestière (INRF) situé à Tamanrasset (Sud Algérien).

#### I.2. Traitement des graines

Les graines de *Parkinsoniaaculeata L.* sont tout d'abord désinfectées par un passage de 3 minutes dans de l'hypochlorite de soude concentré (12°). Elles sont ensuite abondamment rincées à l'eau distillée, puis séchées sur du papier absorbant.

Les graines intactes séchées sont scarifiées mécaniquement au scalpel. Maintenus par une pince, une fente légèrement superficielle est pratiquée sur la face dorsale de chaque graine, de côté du micropyle, afin de faciliter l'imbibition et permettre l'émergence de la radicule (Benadjaoud et Aïd, 2005).

#### I.3. Imbibition des graines

Avant la mise à germination, les graines de *Parkinsoniaaculeata L.* sont imbibées durant 3 heures dans soit de l'eau distillée uniquement (lot témoin), soit dans une solution de dichromate de potassium de concentration connue (lot stressé).

La solution d'imbibition est fréquemment renouvelée pour éliminer les substances phénoliques susceptibles d'être libérées depuis les téguments des graines et qui peuvent nuire à la germination.

#### I.4. Germination des graines

Chaque lot de graines de *Parkinsoniaaculeata L.* est mis à germer à l'obscurité dans une étuve réglée à 27°C (Benadjaoud et Aïd, 2005). Les graines de chaque lot sont déposées dans des boîtes en plastique (30 graines / boîte), tapissées de papier absorbant et contenant 10

[Sélectionnez la date]

ml d'eau distillée (lot témoin) ou 10 ml de la solution de dichromate de potassium de concentration connue (lot stressé). Les expérimentations pour chacun des lots ont été répétées 4 fois.

Chaque jour pendant les 8 jours de la durée de chacune des expérimentation, les graines mises à germer sont retirées, dénombrées pour déterminer les graines ayant germées, puis remises à nouveau à germer dans les mêmes conditions que précédemment énoncées, dans des boîtes et du papier absorbant neuf.

Le critère adopté pour constater la germination des graines est le critère de la percée de la radicule (Evenari, 1957). Dès que la radicule des graines de *Parkinsoniaaculeata L.*, de couleur blanchâtre sort hors du tégument, la graine est comptabilisée comme étant une graine germée. Ces dénombrements sont répétés chaque jour pendant les 8 jours de la durée des expérimentations.



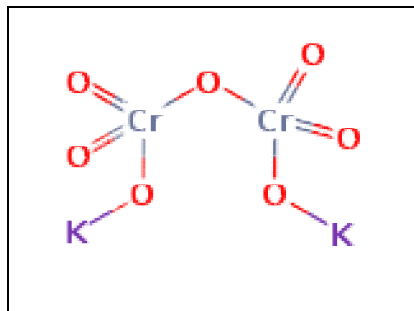
**Fg7** :Les graines de *Parkinsoniaaculeata L.* en phase de germination.

## **II. Présentation de la solution de dichromate de potassium**

### **II.1. Dichromate de potassium**

Le dichromate de potassium utilisé dans les essais de germination des graines de *Parkinsoniaaculeat L.* est un sel de potassium qui a pour formule brute :  $K_2Cr_2O_7$  (**Figure 8**).

[Sélectionnez la date]



**Fig 8 :** dichromate de potassium (Source : <https://goo.gl/images/mQ9fei>)

Le dichromate de potassium est un solide ionique de masse molaire de 294,185 g/mol. Dans l'eau, il se dissocie en ions dichromate et en ions potassium. L'ion dichromate ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) est un puissant agent oxydant et comme tous les composés du chrome hexavalent, le dichromate est dangereux pour la santé. Des précautions d'usage sont dès lors requises pour sa préparation et sa manipulation.

## II.2. Préparation de la solution de dichromate de potassium

Une solution mère de dichromate de potassium a été préalablement préparée. A partir de cette solution mère à 1200 ppm, des solutions à appliquer aux graines ont été obtenues ; Il s'agit de concentrations massiques sélectionnées de 25, 50, 250, 300, 450 et 600 ppm. Les solutions ainsi préparées sont stockées dans des flacons étiquetés.

## III. paramètres calculés et méthodes utilisées

### III.1. Taux cumulés de germination

Les graines germées sont dénombrées chaque jour pendant huit jours. Les taux cumulés 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.

### III.2. Pourcentage de réduction de la germination

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

$$\text{PRG (en \%)} = 100 \times [1 - (N_x / N_0)]$$

Où  $N_x$  est le nombre de graines germées après traitement par  $K_2Cr_2O_7$ ,  $N_0$  est le nombre de graines témoins qui ont germés.

### III.3. Temps moyen de germination (TMG)

Il est déterminé d'après la formule suivante :

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

Où  $N_1$  est le nombre de semences germées au temps  $T_1$ ,  $N_2$  est le nombre de semences qui ont germé entre le temps  $T_1$  et le temps  $T_2$ , etc.

### III.4. Vitesse de germination ou coefficient de Kotowski

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

$$\text{Coefficient de Kotowski} = 100 \times [(N_1 + N_2 + \dots + N_x) / (N_1T_1 + N_2T_2 + \dots + N_xT_x)]$$

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

### III.5. Indice de germination

(Abbott, 1955) propose d'exprimer la faculté de germination des embryons de Pommier en affectant du coefficient 1, les embryons qui germent le 1<sup>er</sup> jour, du coefficient 1/2

---

[Sélectionnez la date]

ceux qui germent entre le 2<sup>ème</sup> et le 3<sup>ème</sup> jour, etc. La somme des valeurs obtenues donne ce que Visser (1956) appelle l'indice de germination.

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

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

### III.6. 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 le lot traité  $\pm$  intervalle de confiance ( $IC = \pm 1,96$  erreur standard).

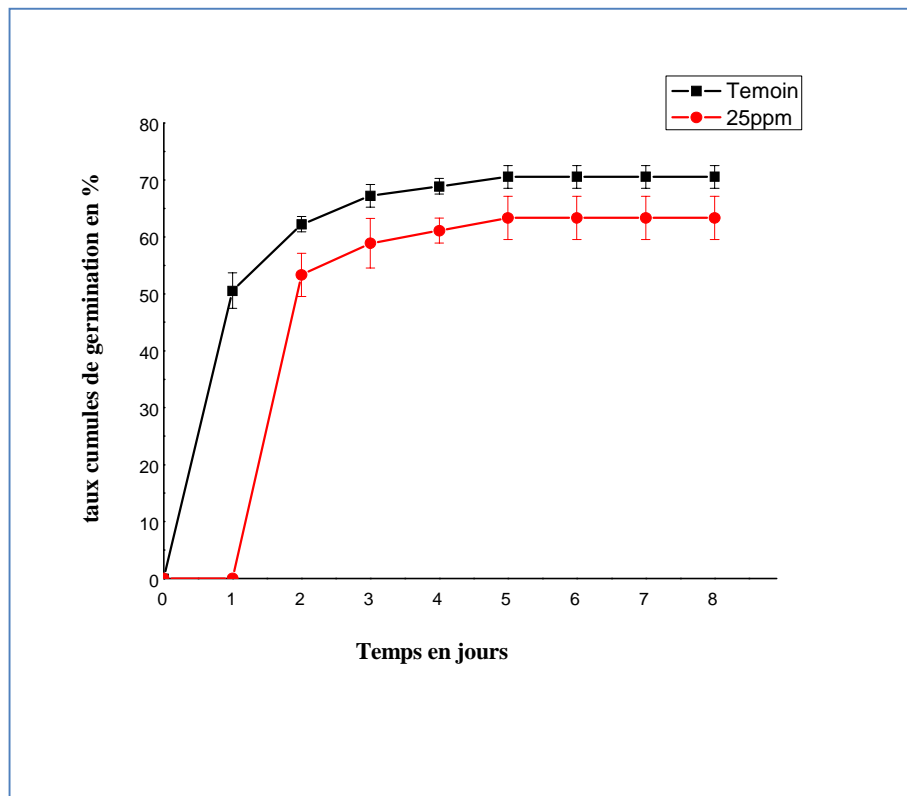
## Résultats et discussion

### Résultats

#### I. Taux cumulés de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. sous stress métallique

##### I.1. Taux cumulés de germination des graines du lot témoin

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 la courbe de type sigmoïde (**Fig 9**).



**Fig 9** : Evolution des pourcentages (%) de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins (---v---) et traitées par une concentration de 25 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  (---λ---) en fonction du temps.

Les résultats des taux cumulés de germination des graines témoins sont exprimés en % et représentent une valeur moyenne de 6 répétitions  $\pm IC$  (intervalle de confiance). Ceux des graines traitées par une concentration de 25 ppm représentent une valeur moyenne de 3 répétitions  $\pm IC$  (intervalle de confiance).

Les graines scarifiées témoins, traitées uniquement avec de l'eau distillée, germent très rapidement dès le 1<sup>er</sup> jour, le taux cumulé moyen atteint est de  $50,5 \pm 3,1\%$ . Au 2<sup>ème</sup> jour de la germination, le taux cumulé moyen de germination monte à  $62,2 \pm 1,4\%$ . Au 3<sup>ème</sup> jour, ce taux n'augmente que peu comparé au second jour, la capacité germinative atteinte à ce moment est de  $67,2 \pm 2,0\%$ . Au-delà, le taux cumulé moyen de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins n'évolue plus et culmine autour d'une valeur moyenne de  $70,5 \pm 2,0\%$  et qui va jusqu'au 8<sup>ème</sup> jour, fin des dénombrements (**Fig 9**).

## **I.2. Taux cumulés de germination des graines du lot traité par une concentration de 25 ppm en $K_2Cr_2O_7$**

La courbe de germination du lot traité par une concentration de 25 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  et dont les graines sont préalablement scarifiées, montre également une allure générale de type sigmoïde à l'instar de celle des graines témoins (**Fig9**).

Cependant, le traitement par le chrome ne permet à aucune graine de germer le 1<sup>er</sup> jour. C'est au 2<sup>ème</sup> jour des expérimentations, que l'on constate un taux cumulé moyen de germination qui atteint une valeur de  $53,3 \pm 3,8\%$ . La germination se poursuit au 3<sup>ème</sup> jour très faiblement pour n'atteindre qu'une valeur moyenne de  $58,9 \pm 4,3\%$ , puis n'évolue plus les jours suivants où elle se stabilise autour d'un taux cumulé moyen de germination de  $63,3 \pm 3,8\%$  (**Fig 9**).

En analysant le tableau 1, qui rend compte du % de réduction de la germination au 8<sup>ème</sup> jour, on constate que le lot traité est affecté de 10% par comparaison au lot des graines témoins (**Tableau II**).



**Tableau II** : Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une concentration de 25 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin.

|                                    | Témoin           | $K_2Cr_2O_7$ (25 ppm) |
|------------------------------------|------------------|-----------------------|
| Taux cumulé de germination maximum | $70,5 \pm 2,0\%$ | $63,3 \pm 3,8\%$      |
| % de réduction de la germination   | -----            | 10,3%                 |

### I.3. Taux cumulés de germination des graines du lot traité par une concentration de 50 ppm en $K_2Cr_2O_7$

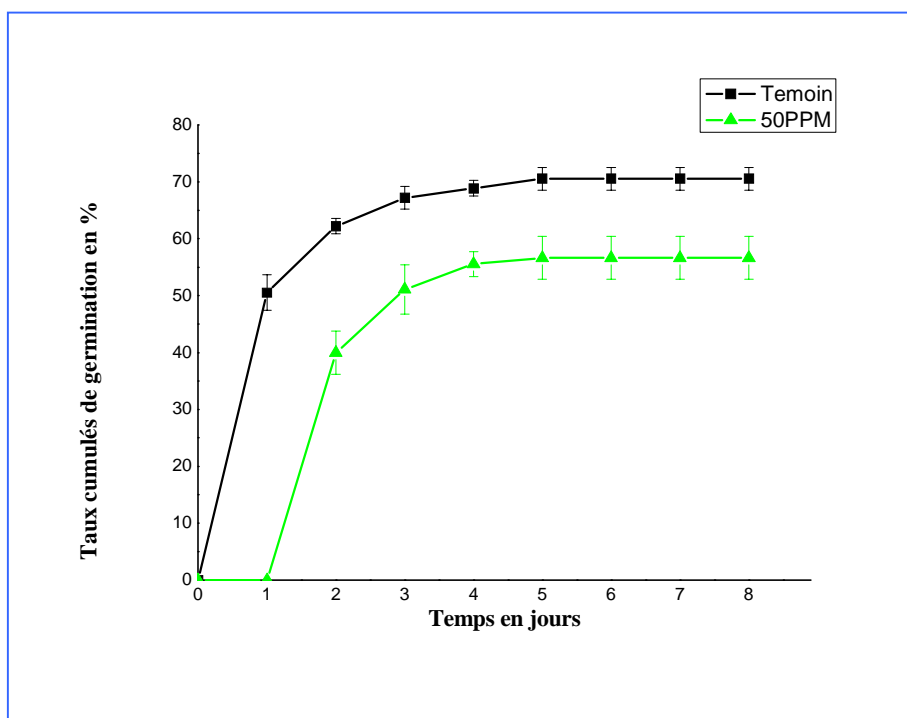
La courbe de germination du lot traité par une concentration de 50 ppm en bichromate de potassium adopte également une allure générale de type sigmoïde à l'instar de celle des graines témoins (**Fig 10**).

Cependant et comparativement aux graines témoins non traitées, aucune graine soumise aux effets du bichromate de potassium ne germe le 1<sup>er</sup> jour. Au 2<sup>ème</sup> jour des dénombrements, on compte un taux cumulé moyen de germination de  $40,0 \pm 3,8\%$ , moins important que celui des graines témoins de 22%. Au 3<sup>ème</sup> jour, c'est la moitié des graines qui germent, le taux cumulé moyen de germination des graines traitées est de  $51,1 \pm 4,3\%$ . Aux jours suivants, peu de graines arrivent encore à germer, le taux cumulé moyen de germination ne dépasse pas  $56,6 \pm 3,8\%$ . Ce taux final obtenu est moins important de près de 14% que ce qui est constaté chez les témoins et de 6,6% que ce qui est observé chez les graines traitées par une concentration de 25 ppm en bichromate de potassium (**Fig 9**).

Le pourcentage de réduction de la germination au 8<sup>ème</sup> jour du lot traité par une concentration de 50 ppm en bichromate de potassium est estimé à 19,7% comparativement au lot de graines témoins (**Tableau III**).

**Tableau III :** Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata L.* et traitées par une concentration de 50 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin.

|                                    | Témoin           | $K_2Cr_2O_7$ (50 ppm) |
|------------------------------------|------------------|-----------------------|
| Taux cumulé de germination maximum | $70,5 \pm 2,0\%$ | $56,6 \pm 3,8\%$      |
| % de réduction de la germination   | -----            | 19,7%                 |



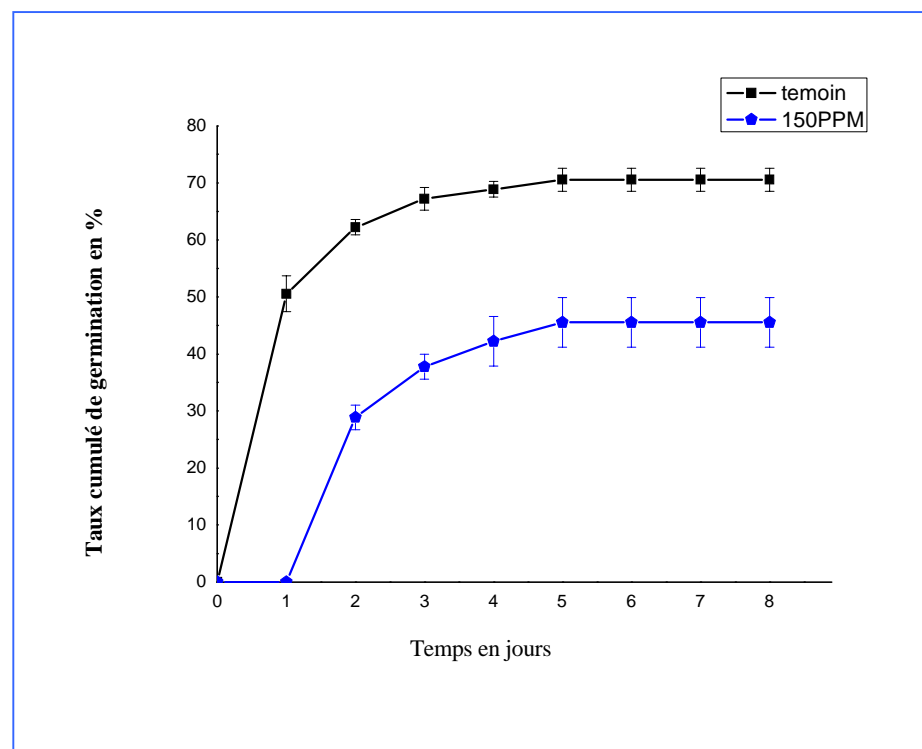
**Fig 10 :** Evolution des pourcentages (%) de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata L.* témoins (---) et traitées par une concentration de 50 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  (---) en fonction du temps.

Les résultats des taux cumulés de germination des graines témoins sont exprimés en % et représentent une valeur moyenne de 6 répétitions  $\pm IC$  (intervalle de confiance). Ceux des graines traitées par une concentration de 50 ppm représentent une valeur moyenne de 3 répétitions  $\pm IC$  (intervalle de confiance).

#### I.4. Taux cumulés de germination des graines du lot traité par une concentration de 150 ppm en $K_2Cr_2O_7$

La courbe de germination du lot traité par une concentration de 150 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  et dont les graines sont préalablement scarifiées, montre également une allure générale de type sigmoïde, comme celle des graines témoins (**Fig 11**).

Cependant, le traitement par l'élément trace chrome retarde la germination. En effet, au 1<sup>er</sup> jour des dénombrements, aucune graine ne germe. Au 2<sup>nd</sup> jour, le taux cumulé moyen de germination atteint  $28,9 \pm 2,2\%$ . Au 3<sup>ème</sup> jour, il augmente assez significativement pour atteindre un taux cumulé moyen de  $37,8 \pm 2,2\%$ . Au 4<sup>ème</sup> jour, ce taux augmente peu ( $42,2 \pm 4,3\%$ ) et atteint sa valeur maximum  $45,5 \pm 4,3\%$  au 5<sup>ème</sup> jour, puis n'évolue plus le reste du temps (**Fig11**).



**Fig11** : Evolution des pourcentages (%) de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins (---v---) et traitées par une concentration de 150 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  (---λ---) en fonction du temps.

Les résultats des taux cumulés de germination des graines témoins sont exprimés en % et représentent une valeur moyenne de 6 répétitions  $\pm IC$  (intervalle de confiance). Ceux des graines traitées par une concentration de 150 ppm représentent une valeur moyenne de 3 répétitions  $\pm IC$  (intervalle de confiance).

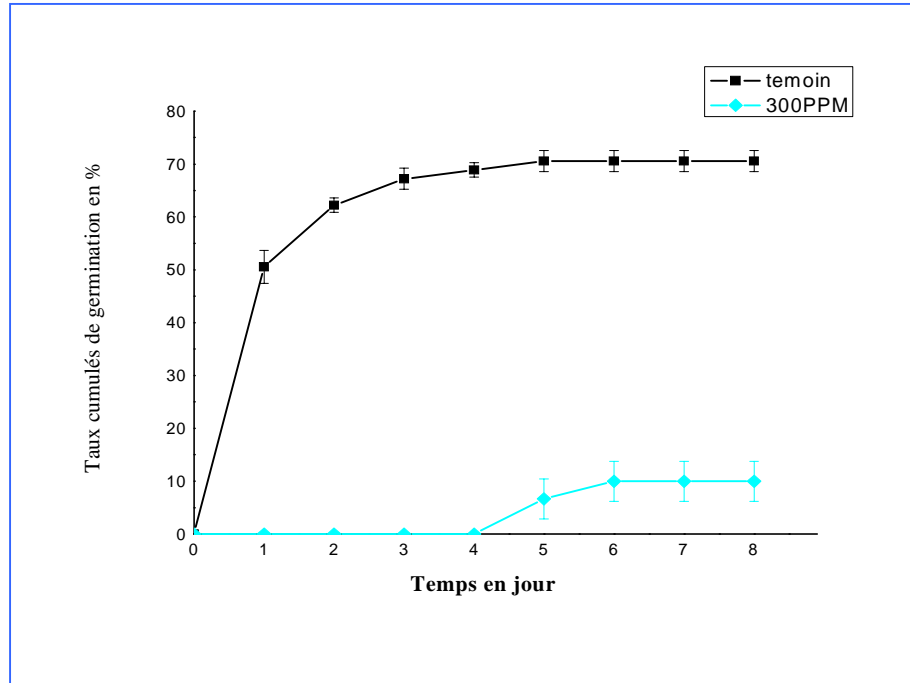
Le pourcentage de réduction de la germination enregistré au 8<sup>ème</sup> jour au sein des graines traitées par une concentration de 150 ppm est très élevé, il est de 35,5% comparativement au lot de graines non traitées (**Tableau V**).

**Tableau V** : Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une concentration de 150 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin.

|                                    | Témoin          | $K_2Cr_2O_7$ (150 ppm) |
|------------------------------------|-----------------|------------------------|
| Taux cumulé de germination maximum | 70,5 $\pm$ 2,0% | 45,5 $\pm$ 4,3%        |
| % de réduction de la germination   | -----           | 35,5%                  |

### **I.5. Taux cumulés de germination des graines du lot traité par une concentration de 300ppm en $K_2Cr_2O_7$**

Dès que le traitement appliqué est d'une concentration de 300 ppm en  $K_2Cr_2O_7$ , le temps de latence pris par les graines pour germer est très important. En effet, aucune graine ne germe les 4 premiers jours des expérimentations. C'est à partir du 5<sup>ème</sup> jour, que l'on note une germination qui atteint un taux cumulé moyen de 6,7  $\pm$  3,8%. Au-delà, l'évolution est insignifiante, le taux cumulé moyen obtenu n'est que de 10,0  $\pm$  3,8% (**Fig 12**).



**Figure 12** : Evolution des pourcentages (%) de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins (---v---) et traitées par une concentration de 300 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  (---λ---) en fonction du temps.

Les résultats des taux cumulés de germination des graines témoins sont exprimés en % et représentent une valeur moyenne de 6 répétitions  $\pm IC$  (intervalle de confiance). Ceux des graines traitées par une concentration de 300 ppm représentent une valeur moyenne de 3 répétitions  $\pm IC$  (intervalle de confiance).

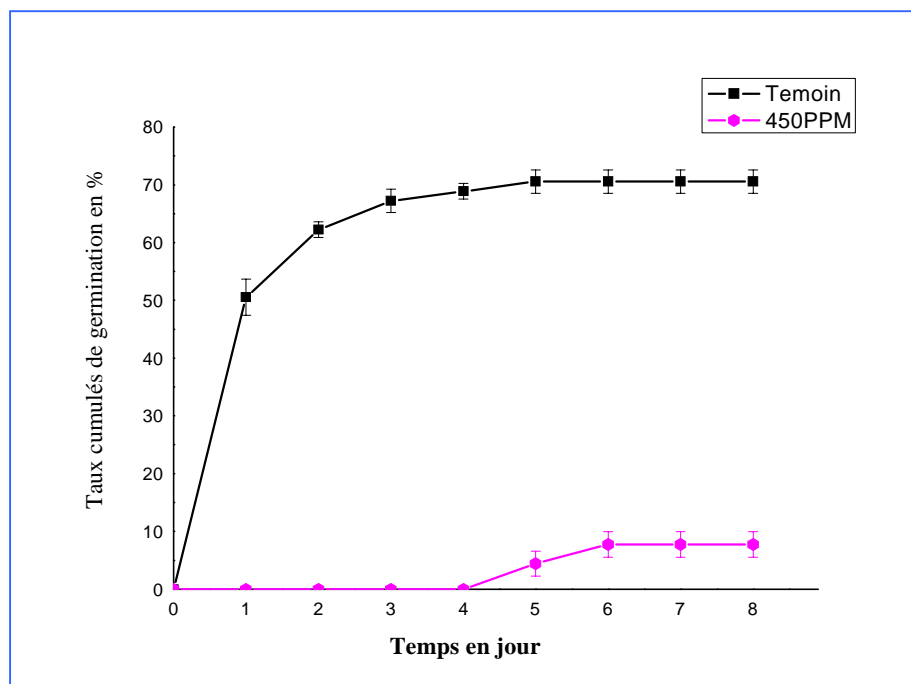
Le pourcentage de réduction de la germination au 8<sup>ème</sup> jour du lot traité par une concentration de 300 ppm en bichromate de potassium est extrêmement élevé, il est de 85,8% par comparaison au lot de graines témoins (**Tableau VI**).

**Tableau VI** : Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une concentration de 300 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin.

|                                    | Témoin           | $K_2Cr_2O_7$ (300 ppm) |
|------------------------------------|------------------|------------------------|
| Taux cumulé de germination maximum | $70,5 \pm 2,0\%$ | $10,0 \pm 3,8\%$       |
| % de réduction de la germination   | -----            | 85,8%                  |

### I.6. Taux cumulés de germination des graines du lot traité par une concentration de 450ppm en $K_2Cr_2O_7$

Comme dans le cas du traitement précédent, une application aux graines de *Parkinsonia aculeata* L. d'une concentration encore plus élevée (450 ppm) engendre les mêmes effets et aboutit aux mêmes résultats. Ainsi, le temps de latence pris par les graines pour germer est de 4 jours ; et uniquement  $4,4 \pm 2,2\%$  du total des graines germent au bout du 5<sup>ème</sup> jour des dénombrements. Le taux cumulé moyen de germination obtenu au 6<sup>ème</sup> jour est extrêmement faible, il n'est que de  $7,8 \pm 2,2\%$  et n'évolue plus le reste du temps (**Figure 13**).



**Fig 13** : Evolution des pourcentages (%) de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins (---) et traitées par une concentration de 450 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  (---) en fonction du temps.

Les résultats des taux cumulés de germination des graines témoins sont exprimés en % et représentent une valeur moyenne de 6 répétitions  $\pm IC$  (intervalle de confiance). Ceux des graines traitées par une concentration de 450 ppm représentent une valeur moyenne de 3 répétitions  $\pm IC$  (intervalle de confiance).

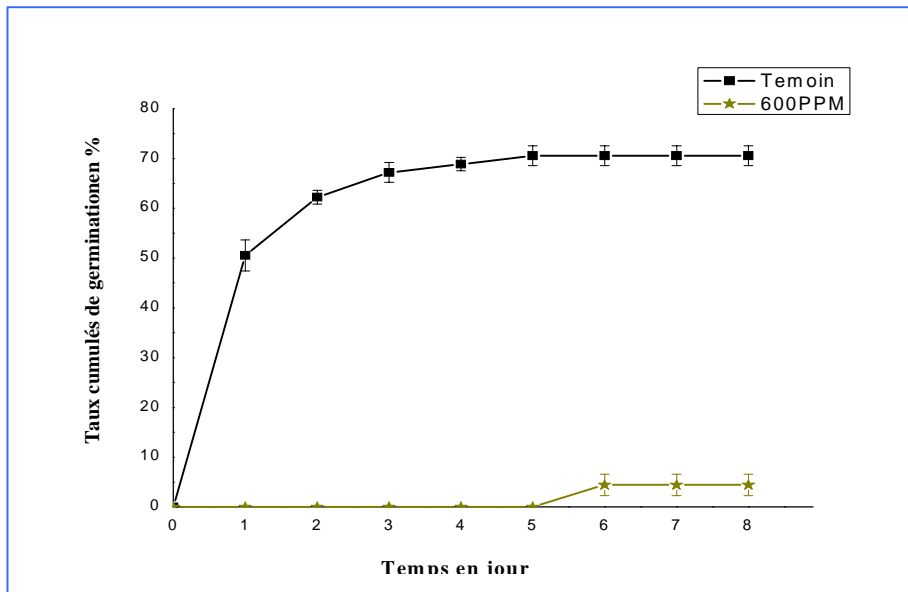
Le % de réduction de la germination enregistré au sein des graines traitées par du  $K_2Cr_2O_7$  à 450 ppm est énorme (35,5%) par comparaison au lot de graines témoins (**Tableau 6**).

**Tableau VII** : Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. et traitées par une concentration de 450 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin.

|                                    | Témoin           | $K_2Cr_2O_7$ (450 ppm) |
|------------------------------------|------------------|------------------------|
| Taux cumulé de germination maximum | $70,5 \pm 2,0\%$ | $7,8 \pm 2,2\%$        |
| % de réduction de la germination   | -----            | 89,0%                  |

### **I.7. Taux cumulés de germination des graines du lot traité par une concentration de 600ppm en $K_2Cr_2O_7$**

Le traitement par l'élément trace chrome ne permet à aucune graine de germer pendant les 5 premiers jours des essais. Le taux cumulé moyen de germination obtenu au 6<sup>ème</sup> jour est extrêmement faible, il n'est que de  $4,4 \pm 2,2\%$  et n'évolue plus le reste du temps (**Figure 14**).



**Fig 14 :** Evolution des pourcentages (%) de germination cumulés des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata L.* témoins (---v---) et traitées par une concentration de 600 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  (---λ---) en fonction du temps.

Les résultats des taux cumulés de germination des graines témoins sont exprimés en % et représentent une valeur moyenne de 6 répétitions  $\pm IC$  (intervalle de confiance). Ceux des graines traitées par une concentration de 600 ppm représentent une valeur moyenne de 3 répétitions  $\pm IC$  (intervalle de confiance).

Le % de réduction de la germination enregistré au sein des graines traitées par du  $K_2Cr_2O_7$  à 600 ppm est aussi élevé que ce qui a été calculé précédemment que ce soit pour une concentration de 300 ppm (85,8%) ou bien de 450 ppm (89,0%). Le % de réduction enregistré dans le cas de 600 ppm est de 93,8 % par comparaison au lot de graines témoins (**Tableau VII**).



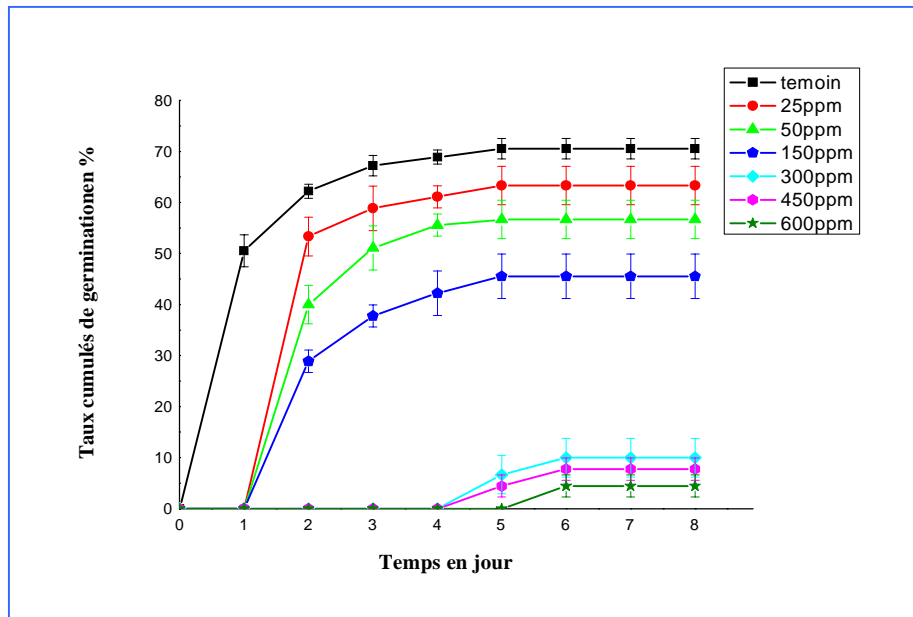
**Tableau VII:** Le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata L.* et traitées par une concentration de 600 ppm en  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin.

|                                    | Témoin           | $K_2Cr_2O_7$ (600 ppm) |
|------------------------------------|------------------|------------------------|
| Taux cumulé de germination maximum | $70,5 \pm 2,0\%$ | $4,4 \pm 2,2\%$        |
| % de réduction de la germination   | -----            | 93,8%                  |

### **I.8. Taux cumulés de germination des graines de l'ensemble des lots traités par du $K_2Cr_2O_7$**

L'effet de l'élément trace chrome a été évalué sur le déroulement de la germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.* Différentes concentrations de cet élément métallique ont été testées, en allant d'un spectre de concentrations les plus faibles (25 et 50 ppm) vers des concentrations les plus élevées (300, 450 et 600 ppm), en passant par une concentration intermédiaire à savoir 150 ppm.

Les premiers enseignements tirés de cette première étude, montrent clairement que le métal trace utilisé dans de tels essais, affecte la germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.* De tels effets sont proportionnés par rapport à la concentration utilisée, comme on le constate à travers le graphique N°7, qui regroupe l'ensemble des courbes obtenues avec les différentes concentrations utilisées par comparaison au lot des témoins (**Fig15**).



**Fig 15 :** Evolution des pourcentages (%) de germination cumulé des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450, 600) en  $K_2Cr_2O_7$  en fonction du temps.

Les résultats des taux cumulé de germination des graines témoins sont exprimés en % et représentent une valeur moyenne de 6 répétitions  $\pm IC$  (intervalle de confiance). Ceux des traitées par chacune des concentrations représentent une valeur moyenne de 3 répétitions  $\pm IC$ .

En effet, la comparaison vis-à-vis des témoins non traités, fait tout de suite ressortir l'effet négatif imposé par cet élément trace sur la capacité germinative des graines de *Parkinsonia aculeata* L.

Les taux cumulé maximums enregistrés à la fin des expérimentations sont moins importants que ceux obtenus chez les témoins, tel qu'indiqué dans le **Tableau XIV**. Dans ce cas précis, on peut délimiter entre 3 types d'effets :

- Le premier se situe pour les concentrations les plus faibles (25 et 50 ppm) où les capacités germinatives des graines traitées arrivent à se hisser à des pourcentages supérieurs à 50% de maximum de germination.

- Le second concerne la concentration de 150 ppm, dite intermédiaire, où l'effet du métal lourd est assez conséquent sur la capacité germinative des graines, mais le taux cumulé moyen final est jugé intéressant, il est de 45,5% très approchant des 50%.
- Le troisième porte sur les 3 concentrations les plus élevées (300, 450 et 600 ppm), qui sont par-dessus tout le plus préjudiciable à la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. Les taux cumulés moyens de germination obtenus sont de moins de 10% au final.

**Tableau VIII** : Taux cumulés de germination maximums obtenus à la fin des expérimentations et le pourcentage de réduction de la germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en  $K_2Cr_2O_7$  comparativement au lot témoin.

| Taux cumulés moyens de germination / capacité maximum de germination (%) |            |            |            |            |           |           |
|--|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| Témoin   | 25 ppm     | 50 ppm     | 150 ppm    | 300 ppm    | 450 ppm   | 600 ppm   |
| 70,5 ± 2,0   | 63,3 ± 3,8 | 56,6 ± 3,8 | 45,5 ± 4,3 | 10,0 ± 3,8 | 7,8 ± 2,2 | 4,4 ± 2,2 |
| % de réduction de la germination / Témoin                                |            |            |            |            |           |           |
| Témoin   | 25 ppm     | 50 ppm     | 150 ppm    | 300 ppm    | 450 ppm   | 600 ppm   |
| -----  | 10,3       | 19,7       | 35,5       | 85,8       | 89,0      | 93,8      |

Le pourcentage de réduction de la germination calculé pour chacune des concentrations appliquées, justifie ce qui a été précédemment dit, puisque les résultats obtenus tendent vers des % de réduction qui ne font qu'augmenter à chaque fois que la concentration de l'élément trace appliqué augmente (**Tableau VIII**).

Ainsi, pour les deux concentrations les plus faibles (25 et 50 ppm), on note des pourcentages de réduction de la germination respectivement de 10 et 20%. Une application de l'élément trace de 150 ppm, réduit la germination de près de 36%, tandis que des applications extrêmement élevées (300, 450 et 600 ppm) réduisent les germinations des graines traitées par le chrome de façon plus drastique. Les pourcentages de réductions calculés dépassent les 85% et culminent même autour de 94% pour une application du stress métallique par une concentration de 600 ppm (**Tableau VIII**).

## II. Vitesse de germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.*

### II.1. Temps moyen de germination

Afin de caractériser la germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.* traitées par l'élément trace Cr comparativement aux graines non traitées, nous avons été amenés à déterminer le temps moyen de germination, qui correspond au temps au bout duquel on atteint 50% des graines germées. Les résultats obtenus sont consignés ci-dessous (**Tableau IX**).

**Tableau IX:** Temps moyens de germination et coefficient de Kotowski des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata L.* témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en  $K_2Cr_2O_7$ .

| Temps moyens de germination exprimés en jours± Intervalle de Confiance |                |                |                |                |                |                |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Témoin   | 25 ppm         | 50 ppm         | 150 ppm        | 300 ppm        | 450 ppm        | 600 ppm        |
| 1,47<br>± 0,07   | 2,26<br>± 0,11 | 2,41<br>± 0,12 | 2,60<br>± 0,12 | 5,36<br>± 0,14 | 5,44<br>± 0,11 | 6,00<br>± 0,00 |
| Coefficient de Kotowski  |                |                |                |                |                |                |
| Témoin   | 25 ppm         | 50 ppm         | 150 ppm        | 300 ppm        | 450 ppm        | 600 ppm        |
| 68,21  | 44,19          | 41,53          | 38,45          | 18,65          | 18,37          | 16,66          |

Le temps moyen de germination des graines témoins est de 1,47 jour. Celui des graines traitées par l'élément trace chrome dépasse les 2 jours et augmente avec l'élévation de la concentration de l'agent stressant appliqué. Ainsi, le temps moyen de germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.* traitées par une concentration de 25 ppm est de 2,26 jours ; il augmente jusqu'à 2,41 jours pour une concentration en bichromate de potassium de 50 ppm ; puis nécessite 2,60 jours pour une concentration de 150 ppm (**Tableau IX**).

Plus la concentration de l'agent stressant augmente et plus les temps moyens de germination s'allongent encore plus. Ainsi, il faut plus de 5 jours de temps de latence pour que les graines traitées par le bichromate de potassium germent. C'est ainsi pour le cas des graines traitées par une concentration de 300 et de 450 ppm qui nécessitent respectivement un temps moyen de germination de 5,36 et de 5,44 jours. A la concentration la plus élevée (600 ppm), le temps moyen de germination nécessaire pour une infime germination des graines de *Parkinsonia aculeata L.* est de 6 jours (**Tableau IX**).

## II.2. Coefficient de Kotowski

Le temps moyen de germination calculé précédemment, correspond à l'inverse x 100 du coefficient de Kotowski, qui exprime également la vitesse de germination des graines. Ainsi calculé (**Tableau IX**), la vitesse de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins est de 68,2.

La vitesse correspondant à la germination des graines traitées par l'élément trace chrome diminue. Cette diminution est d'autant plus grande que la concentration de l'élément trace est élevée (**Tableau IX**).

Au fait, plus on augmente la concentration de l'agent contraignant, plus le temps de latence pris par les graines pour germer augmente. C'est ainsi que les temps moyens de germination s'allongent à mesure que la concentration du bichromate de potassium appliquée aux graines est élevée. Inversement, la vitesse de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. sera plus faible à mesure que la concentration de l'agent stressant est élevée (**Tableau IX**).

Il y a lieu de noter que les 3 concentrations les plus importantes appliquées (300, 450 et 600 ppm) engendrent des vitesses de germination très faibles, bien au-dessous d'un coefficient de 19) (**Tableau IX**).

## 3. Indice de germination des graines

On se propose d'exprimer la faculté de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. En absence de l'élément trace chrome, cet indice est de 8,38. Lorsqu'on rajoute cet élément dans le milieu de germination de nos graines, cet indice diminue. Cette diminution est d'autant plus importante que la concentration de l'élément métallique est élevée. Ainsi, les indices les plus faibles (0,26 et 0,21) sont liés aux concentrations les plus élevées (300, 450 et 600 ppm) (**Tableau X**).

**Tableau X:** Indice de germination des graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450 et 600 ppm) en  $K_2Cr_2O_7$ .

| Indice de germination des graines de <i>Parkinsonia aculeata</i> L. |        |        |         |         |         |         |
|---|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Témoin  | 25 ppm | 50 ppm | 150 ppm | 300 ppm | 450 ppm | 600 ppm |
| 8,38  | 3,15   | 2,39   | 1,93    | 0,26    | 0,21    | 0,21    |

## Discussion

La germination est un phénomène très important dans le cycle de développement d'une plante, la tolérance vis-à-vis d'un élément trace comme le Cr dès ce stade de la germination, appliqué aux graines de *Parkinsonia aculeata* L. a été évaluée dans cette étude en s'intéressant à quelques uns des paramètres propres au suivi de la germination. Ces paramètres sont :

(1) Le suivi des taux cumulés moyens de germination pendant les huit jours de la durée de la contrainte imposée par l'utilisation de l'élément Cr administré sous forme de bichromate de potassium.

(2) La détermination de la vitesse de germination où l'on a considéré l'étude des temps moyens pris par les graines pour germer pour chacune des situations appliquées (différentes concentrations de ce métal lourd appliquées), déterminant ainsi les temps de latence nécessaires à chacune de ses situations pour que leurs graines rentrent en germination.

(3) La vitesse de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. a été de nouveau ré estimée par le calcul du coefficient de Kotowski, qui est l'inverse de ce qui a été déterminé précédemment lors du calcul du temps moyen de germination.

(4) L'indice de germination qui donne une appréciation sur la faculté de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. dans les conditions de travail que nous avons adoptés dans nos différentes manipulations.

L'ensemble de ces paramètres ont été jugés en tenant compte de ce qui a été obtenu chez les graines témoins non traitées par le bichromate de potassium. Les résultats finaux obtenus ont été rapportés dans le tableau suivant (**Tableau XI**) :

### Chapitre III Résultats et discussion

**Tableau XI :** Les résultats finaux obtenus pour les différents paramètres testés en suivant les germinations des graines de *Parkinsonia aculeata* L. témoins et traitées par différentes concentrations (25, 50, 150, 300, 450, 600) en  $K_2Cr_2O_7$ . (TG = taux cumulés moyens de germination obtenu au 8<sup>ème</sup> jour ; PRG = % de réduction de la germination ; TMG = Temps moyen de germination  $\pm$  intervalle de confiance ; CK = Coefficient de Kotowski ; CVG =)

|                      | TG (%) | PRG%  | TMG (jours)     | CK    | IG   |
|----------------------|--------|-------|-----------------|-------|------|
| Témoin               | 70,5   | ----- | 1,47 $\pm$ 0,07 | 68,21 | 8,38 |
| $K_2Cr_2O_7$ 25 ppm  | 63,3   | 10,3  | 2,26 $\pm$ 0,11 | 44,19 | 3,15 |
| $K_2Cr_2O_7$ 50 ppm  | 56,6   | 19,7  | 2,41 $\pm$ 0,12 | 41,53 | 2,39 |
| $K_2Cr_2O_7$ 150 ppm | 45,5   | 35,5  | 2,60 $\pm$ 0,12 | 38,45 | 1,93 |
| $K_2Cr_2O_7$ 300 ppm | 10,0   | 85,8  | 5,36 $\pm$ 0,14 | 18,65 | 0,26 |
| $K_2Cr_2O_7$ 450 ppm | 07,8   | 89,0  | 5,44 $\pm$ 0,11 | 18,37 | 0,21 |
| $K_2Cr_2O_7$ 600 ppm | 04,4   | 93,8  | 6,00 $\pm$ 0,00 | 16,66 | 0,21 |

Ainsi, le chrome qui a été utilisé lors de nos expérimentations de suivi des germinations des graines de *Parkinsonia aculeata* L. montre que la capacité de germination des graines traitées marque une diminution. Cette diminution est fonction de la concentration appliquée de l'élément trace métallique. Plus on augmente sa concentration, moins est la capacité germinative des graines de *Parkinsonia aculeata*. Ainsi, au final les taux cumulés moyens de germination obtenues au 8<sup>ème</sup> jour des expérimentations sont de 63,3% pour une concentration de 25 ppm ; de 56,6% pour une concentration de 50 ppm ; de 45,5% pour une concentration de 150 ppm ; de 10,0% pour une concentration de 300 ppm ; de 7,8% pour une concentration de 450 ppm et de 4,4% pour une concentration de 600 ppm. Il y a lieu de noter que le taux cumulé moyen obtenu chez les graines non traitées est 70,5% (**Tableau XI**).

Le taux de germination des graines tends à diminuer, cette diminution peut être expliquée selon Khan(2002), par le fait que les métaux lourds peuvent affecter la germination de la graine en limitant l'approvisionnement en eau (stress osmotique) et/ou en provoquant des toxicités spécifiques d'ions (stress ionique).



### Chapitre III Résultats et discussion

Il y a lieu de noter que les graines de *Parkinsonia aculeata* L, ne sont pas aussi affectées par l'effet de chrome que ce qui a été observé chez les graines de maïs traitées par le sulfate de chrome. Mengel et Kirkby (1987) notent qu'une concentration de 50 ppm fait diminuer assez fortement le pouvoir germinatif des graines.

Le pourcentage de réduction de la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. traitées par différentes concentration en  $K_2Cr_2O_7$  (25 ; 50 ; 150 ; 300 ; 450 et 600 ppm) marque une réduction de l'ordre respectivement de 10,3 ; 19,7 ; 35,5 ; 85,8 ; 89,0 et 93,8 % par rapport aux témoins. Ces résultats démontrent clairement que l'effet du chrome est moins important lorsque la concentration de l'agent stressant appliqué est faible, dès lors qu'un certain seuil est dépassé, le % de réduction de la germination devient extrêmement élevé.

Le temps moyen de germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L. exprimant d'une certaine façon la vitesse de germination, augmente avec l'élévation de la concentration de l'agent stressant appliqué. Ce temps moyen de germination qui n'est que de 1,47 jours pour le lot témoin ; dépasse les 2 jours dès qu'on applique aux graines de *Parkinsonia aculeata* L. des concentrations suffisamment faibles en  $K_2Cr_2O_7$ . Cependant, des concentrations plus élevées rallongent encore plus les temps de latence nécessaires à la germination des graines, pendant que les temps moyens pour la germination dépassent les 5 jours.

(Datta *et al.*, 2011), en étudiant la capacité germinative chez cinq variétés de blé différentes (HD2956, HD2932, DBW14, KO512 et WH775) trouvent qu'en présence de Cr dans le milieu, la phase de latence s'allonge, ainsi que la période d'extrusion (phase durant laquelle la racine perce le tégument).

Le coefficient de Kotowski, qui exprime également la vitesse de germination des graines diminue, cette diminution est d'autant plus grande à chaque fois qu'on augmente la concentration de l'élément trace métallique appliqué. Ainsi, si le coefficient de Kotowski calculé au sein des graines témoins de *Parkinsonia aculeata* L. n'est que de 68,21 ; il diminue chez les graines traitées par le chrome. Pour les concentrations de 25, 50 et 150 ppm en bichromate de potassium, les valeurs de la vitesse de germination sont relativement proches, de l'ordre respectivement de 44,19 ; 41,53 et 38,45. Cependant, pour les concentrations les plus importantes (300, 450 et 600 ppm), les vitesses de germination engendrées sont très faibles, bien au-dessous d'une valeur de 19.

### *Chapitre III Résultats et discussion*

Un autre paramètre estimé, à savoir l'indice de germination des graines qui diminue, amplifiée par l'augmentation de la concentration de l'élément entravant la germination, utilisé dans la présente expérimentation. Ainsi, les graines témoins dont l'indice de germination est de 8,4 se distinguent des graines traitées par de faibles concentrations en Cr, dont l'indice de germination est respectivement de 3,1 ; 2,4 et 1,9. Pour les concentrations les plus élevées, cet indice décline jusqu'à des valeurs de 0,26 pour une concentration en  $K_2Cr_2O_7$  de 300 ppm ; et de 0,21 pour des concentrations en  $K_2Cr_2O_7$  de 450 et 600 ppm.

La capacité germinative et la vitesse de germination des graines stressées sont, en effet, fortement touchées et elles diminuent avec l'augmentation de la concentration du  $K_2Cr_2O_7$  ajouté au milieu. Chidambaram *et al.* (2009) notent chez *Vigna mungo*, une réduction du taux et de la vitesse de germination des graines en rajoutant 200 mg/l de chrome dans le milieu de culture.

## **Conclusion :**

Le chrome pose actuellement des problèmes importants en matière de contamination de l'environnement. Les plantes, du fait de leur immobilité, sont particulièrement vulnérables à l'effet délétère de ce contaminant.

Ces dernières années, le développement de techniques efficaces pour décontaminer les sites pollués est devenu indispensable. L'une d'elle, la phytoremédiation qui exploite les propriétés de certaines plantes à tolérer et accumuler de grandes quantités de métaux lourds.

Les plantes de *Parkinsonia aculeata* L. sont recommandées pour la restauration des sols dans les environnements pollués. Avant de s'intéresser aux capacités de détoxification exprimées par les plantes, des essais préalables ont été menés sur les graines et le pouvoir germinatif de ces graines en présence de cet élément trace métallique choisi parmi tant d'autres pour voir les possibilités de réponse de cette espèce au niveau de ses graines.

Les résultats obtenus indiquent qu'une exposition au chrome, les graines ont du mal à germer, avec en sus un prolongement de temps de latence mis par les graines pour germer et une réduction de la vitesse de germination. Ces observations sont amplifiées par l'élévation de la concentration en chrome appliquée.

On pourrait donc déduire que le chrome induit un stress toxique. Cette toxicité se traduit encore plus lorsque la concentration de l'agent impliqué est très forte.

En perspective, il serait souhaitable de reprendre cette étude en travaillant sur un autre modèle d'étude, qui est la plante entière, susceptible de jouer un rôle dans l'hyperaccumulation de ce métal et de mettre en évidence ses pouvoirs à décontaminer les sols pollués.

**1-ANONIME**,2010.partenariats-institutions-citoyens-picri.siteweb:

<http://www.iledefrance.fr/recherche-innovation/dialogue-science-societe/partenariats>.consulté le 02/07/2017.

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

**3- AOUN., MICHEL**, 2009, Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne [Brassica juncea (L.) Czern] néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines. Thèse de Doctorat présentée à l'Université d  
Bretagneoccidentale.(Enligne).[https://hal.archivesouvertes.fr/file/index/docid/385705/filename/These\\_soutenu\\_le\\_18\\_Decembre08.pdf](https://hal.archivesouvertes.fr/file/index/docid/385705/filename/These_soutenu_le_18_Decembre08.pdf) [archive] Consulté le 13 mai 2017.

**4- BACCHETTA G; BELLETTI P; BRULLO S; CAGELLI L;CARASSO V; CASAS J.L; CERVELLI C; ESCRIB M. C; FENU G; GORIAN F; GÜEMES J; MATTANA E; NEPI M; PACINI E; PAVONE P; PIOTTO B; CRISTIANO PONTECORVOI, PRADA A; VENORA G; VIETTO L et VIREVAIRE M.**, 2006 , Manuel pour la récolte, l'étude, la conservation et la gestion ex situ du matériel végétal. Rome, Italie : Bacchetta G., Sánchez B.A., Jiménez-Alfaro B.F.G., Mattana E., Piotto B. et Virevaire M. 217 pp.

**5- BASKIN C.C ET BASKIN J.M.**, 1998 – Seeds: Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego, CA.

**6-BENADJAOUD A.**, 2002, Effets de la déshydratation et de la réhydratation sur le métabolisme cellulaire de plantules de *Parkinsonia aculeata* L. : Aspects physiologiques. Thèse de Magister, USTHB, Alger, 78 p.

**7-BENADJAOUD A., AID F**, 2005, Effet de quelques traitements physico-chimiques et de la température sur la faculté germinative des graines de *parkinsonia aculeata* L .Annales de l'institut national agronomique.

**8- BEIN E**, 1996, Useful trees and shrubs in Eritea region-Soil conservation Unit, RSCU, Nairobi, Kenya

**9-BEWLEY J. D. ET BLACK M.**, 1994, Mobilization of stored seeds reserves. In:

Seeds: Physiology of development and germination. New York, Plenum Press, p. 293-310.

**10- BEWLEY J.D.**, 1997, Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9: 1055–1066.

**11- C. AYDINALP AND S. MARINOVA**, « THE EFFECTS OF HEAVY METALS ON SEED GERMINATION AND PLANT GROWTH ON ALFALFA PLANT (MEDICAGO SATIVA) », *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, n° 5 (No 4), 2009, p. 347-350

**CHAUSSAT R et LEDEUNFF Y.**, 1975 - La germination des semences .Ed. Bordars, Paris, 232p.

**12- CHIDAMBARAM A., SUNDARAMOORTHY P., MURUGAN A., SANKAR G.K., BASKARAN L.**, 2009, Chromium induced cytotoxicity in Black gram (*Vigna mungo* L.). *Iranian Journal of Environment Health Science Engineering*; 6: 17-22.

**13- COME D.**, 1968, Problèmes de terminologie posés par la germination et ses obstacles.

*Bulletin Société Française Physiologie Végétale*. 14(1) : 3-9.

**14- CRONQUIST A.**, 1981. The Evaluation and Classification of Flowering Plants .

**15- DATTA J.K., BANDHYOPADHYAY A., BANERJEE A., MONDAL N.K.**, 2011, Phytotoxic effect of chromium on the germination, seedling growth of some wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under laboratory CHAPIII condition. *Journal of Agricultural Technology*; 7(2): 395-402.

**16-DI BEN EDETTO M.**, 1997, Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation. Dossier SAM, les métaux lourds. Axe " Génie des Procédés", centre SPIN, Ecole des Mines de Saint-Etienne. 49p.

**17- FINCH-SAVAGE W.E ET LEUBNER-METZGER G.**, 2006, Seed dormancy and the control of germination *New Phytologist*. Tansley review.

**18- FINKELSTEIN R; REEVES W; ARIIZUMI T ET STEBER C.**, 2008, Molecular aspects of seed dormancy. *Ann. Rev. Plant Biol.* 59:387–415.

**19- Gaste H., Basly J.Ph., Botineau M., Verger J P.**, 2005, Bioaccumulation du chrome et du nickel par *Cladonia portentosa*, *Hedwigia ciliata*, *Armeria arenaria* et *Festuca lemanii* en

milieu serpentinique (Lande du Cluzeau, Haute-Vienne). *Annales Scientifiques du Limousin*; 16 : 23 – 33.

**20- GRAPPIN P; BOUINOT D; SOTTA B; MIGINIAC E et JULLIEN M, 2000 ,**

Control of seed dormancy in *Nicotianaplumbaginifolia*: post-imbibition abscisic acid synthesis imposes dormancy maintenance. *Planta* 210, 279-85.

**21- HELLER R; ESNAULT S et LANCE C, 1990, Physiologie Végétale, Masson Paris P 16**

**22- Harbone J.B, 1994, Phytochemistry of the legumineusae.**In phytochemical dictionary of the leguminosae.Plants and thier constituents.Eds.F.A.Brisby,J.Buchinghamman and J.B.Harborne,London.

**23-JEAN-PIERRE GOULLE., ELODIE SAUSSEREAU., LOIC MAHIEU., DANIEL BOUIGE, MICHEL GUERBET, CHRISTIEN LACROIX, 2010, Une nouvelle approche biologique : le profil métallique ; Annales de Biologie Clinique. Volume 68, Numéro 4, 429-40, juillet-août 2010 ; DOI : 10.1684/abc.2010.0442.**

**24- ATEND A.B, 1959, Useful trees and shubs for uganda.**Identification .propagation and Management for Agriculture and pastoral communities.Regional soil,conservation unit(RSCU),Swedich international development Authority(SIDA) .

**25- K DAS, 1996, Les niveaux de contamination par les métaux lourds chez deux espèces de Delphinidae: Stenella coeruleoalba et Delphinus delphis ; Thèse soutenue à l'Université de Liège, Liège, Belgique - (résumé avec orbi.ulg.ac.be)**

**26- KABATA-PENDIAS A ; PENDIAS H, 1992, Trace Metals in Soils and Plants, Ed Boca Raton,London**

**27- Khan M.A, 2002, Halophyte seed germination: Success and Pitfalls. In: Hegazi A.M., El-Shaer H.M., El-Demerdashe S., Guirgis R.A., Abdel Salam Metwally A., Hassan F.A., Khashaba H.E. (Eds.) Optimum resource utilization in salt affected ecosystems in arid and semi-arid regions. International symposium, Desert Research Center, Cairo, Egypt pp. 346-358.**

**28- Letouzey R., 1982, Manuel de botanique forestier-Afrique tropicale.**

**29- MATILLA A.J ET MATILLA-VÁZQUEZ M.A, 2008, Involvement of ethylene**

In seed physiology. *Plant Sci.* 175: 87–97.

- 30- MAZLIAK P**, 1982 - Croissance et développement. Physiologie végétale II. Hermann ed, Paris, Collection Méthodes, 465p.
- 31- MEYER S; REEB C et BOSDEVEIX R.**, 2004- Botanique, biologie et physiologie végétale .Ed. Moline, Paris, 461p.
- 32- NAMBARA E ET MARION-POLL A.**, 2005 - Abscisic acid biosynthesis and catabolism. Annual Review of Plant Biology 56: 165–85, URL [tp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15862093](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15862093), PMID : 15862093.
- 33-Natier R.**, 2004. Analyse cladistique des caesalpinioideae (leguminosae) Proposition d'une taxonomie phylogénique et des datations inférées d'après les données fossiles. Rapport de maîtrise –Université de Montréal
- 34- Peralta J.R., Gardea T.J.L., Tiemann K.J., Gomez E., Arteaga S., Rascon E., Parsons J.G.** 2001 - Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in alfalfa (*Medicago sativa*) L. *Environmental Contamination and Toxicology*; 66: 727– 73
- 35- SAIDANI E., NEDJIMI** ,2014 Effet du chrome hexavalent ( $K_2CrO_7$ ) sur la germination d'*atriplex halamus L* volume 4 numéro 1 Juin 2014
- 36- SHUIPING CHENG**, 2003, « Effects of Heavy Metals on Plants and Resistance Mechanisms », *ESPR - Environ Sci et Pollut Res*, n° 10 (4), 2003, p. 256 – 264
- 37- STARR E., STARR K., LOOPE L**, 2003, *Parkinsonia aculeata*L.-Jerusalemthorn.United States geological survey-Division Hawaii.
- 38- VON MAYDELL H. J**, 1983, Arbres et arbustes du Sahel : leurs caractéristiques et leurs utilisations. GTZ, ISBN : 3-88085-195-6, 531 p
- 39- WENTA O Z; SHEILA D.S; CHIWOCHA R; TRISCHUK L ET GUSTA V**, 2009, Profile of Plant Hormones and their Metabolites in Germinated Ungerminated CANOLA (*Brassica napus*) Seeds Imbibed at 8°C in either GA4+7, ABA, or a Saline Solution. *J Plant Growth Regul* 29:91–105.

## **Résumé :**

Notre étude a pour objectif de déterminer l'effet d'un polluant toxique sur la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L., plante d'une grande importance écologique susceptible de jouer un rôle dans la dépollution des sols ou bien dans la phytoremédiation.

Les semences ont été mises à germer en présence du  $K_2Cr_2O_7$  à des concentrations variées (25, 50 ppm, 150 ppm, 300 ppm, 450 ppm et 600 ppm) et dans des conditions contrôlées (température de  $27^\circ C$  et en obscurité)

Les résultats obtenus ont montré que les graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. se caractérisent par une bonne aptitude à germer à faible concentrations en  $K_2Cr_2O_7$ . Le seuil de tolérance se situe au-dessous de 150 ppm en  $K_2Cr_2O_7$ . Au-delà, le pouvoir germinatif décline et l'effet toxique augmente proportionnellement avec l'élévation de la concentration de l'élément trace métallique.

**Mots-clés:** *Parkinsonia aculeata* L., bichromate de potassium, Chrome, germination, seuil de tolérance



## Résumé :

Notre étude a pour objectif de déterminer l'effet d'un polluant toxique sur la germination des graines de *Parkinsonia aculeata* L., plante d'une grande importance écologique susceptible de jouer un rôle dans la dépollution des sols ou bien dans la phytoremédiation.

Les semences ont été mises à germer en présence du  $K_2Cr_2O_7$  à des concentrations variées (25, 50 ppm, 150 ppm, 300 ppm, 450 ppm et 600 ppm) et dans des conditions contrôlées (température de  $27^\circ C$  et en obscurité)

Les résultats obtenus ont montré que les graines scarifiées de *Parkinsonia aculeata* L. se caractérisent par une bonne aptitude à germer à faibles concentrations en  $K_2Cr_2O_7$ . Le seuil de tolérance se situe au-dessous de 150 ppm en  $K_2Cr_2O_7$ . Au-delà, le pouvoir germinatif décline et l'effet toxique augmente proportionnellement avec l'élévation de la concentration de l'élément trace métallique.

**Mots-clés:** *Parkinsonia aculeata* L., bichromate de potassium, Chrome, germination, seuil de tolérance

## Abstract:

Our study aims to determine the effect of a toxic pollutant on the germination of the seeds of *Parkinsonia aculeata* L., a plant of great ecological importance likely to play a role in the depollution of the soils or in the phytoremediation.

The seeds were sprouted in the presence of  $K_2Cr_2O_7$  at various concentrations (25, 50 ppm, 150 ppm, 300 ppm, 450 ppm and 600 ppm) and under controlled conditions (temperature of  $27^\circ C$  and in darkness)

The results obtained showed that the scarified seeds of *Parkinsonia aculeata* L. are characterized by a good ability to germinate at low concentrations of  $K_2Cr_2O_7$ . The tolerance threshold is below 150 ppm  $K_2Cr_2O_7$ . Beyond this, the germinative power declines and the toxic effect increases proportionally with the elevation of the concentration of the trace metal element.

**Keywords:** *Parkinsonia aculeata* L., potassium dichromate, Chromium, germination, tolerance threshold.

## ملخص :

وتهدف دراستنا لتحديد تأثير الملوثات السامة على إنبات البذور باركنسونية حادة. ، محطة ذات أهمية بيئية كبيرة قد تلعب دورا في معالجة التربة أو في علاج النبات.

وقد نبتت البذور في وجود  $K_2Cr_2O_7$  تركيزات مختلفة (25، 50 جزء في المليون و 150 جزء في المليون و 300 جزء في المليون و 450 جزء في المليون و 600 جزء في المليون) وتحت ظروف خاضعة للرقابة (درجة حرارة الطقس  $27^\circ C$  وفي الظلام)

وأظهرت النتائج أن بذور مشطوب باركنسونية حادة. تتميز بقدرة جيدة على الإنبات في تركيزات منخفضة في وجود  $K_2Cr_2O_7$  عتبة أقل من 150 جزء في المليون من  $K_2Cr_2O_7$ . بالإضافة إلى ذلك، تراجع إنبات وزيادة تأثير السامة نسبيا مع زيادة تركيز العناصر النزرة المعدنية.

**كلمات البحث:** باركنسونية حادة، ثاني كرومات البوتاسيوم، والكروم، الإنبات والتسامح



# *Introducción*

*Synthèse  
bibliographique*

# *Matériels et Méthodes*

*Résultats et  
Discussions*

*Conclusion*

*Références  
bibliographiques*