



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Larbi Tébessi -Tébessa

Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Etres Vivants

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en

Sciences biologiques

Option : Biotechnologie végétale

Thème :

Réponse germinative de quelques grains de céréales au stress  
plombique

Présenté par: ABDELMALEK Assia  
RACHECHE Nora

Soutenu le 28-05-2018, devant le jury composé de :

Président Dr. MAALEM Souheil  
Rapporteur Dr. SOUABI Hana  
Examineur Mr. DEKAK Ahmed

M.C.A Université de Tébessa  
M.C.A Université de Tébessa  
M.A.A Université de Tébessa

Année universitaire : 2017/2018

# Remerciements

*Nous remercions tout d'abord **ALLAH** tout puissant de nous avoir données le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail.*

*Nous tenons aussi à remercier notre encadreur **Mme SOUABI Hana**, Maître de conférence à l'université Larbi Tébessi, d'avoir accepté de diriger ce travail, eu la gentillesse et la patience pour son assistance tout au long de ce travail, de nous prodigué son aide, son encouragement continu et ses conseils afin que nous puissions terminer à bien notre travail.*

*Aussi, tous nos remerciements vont également à **Mr MAALEM Souheil**, Maître de conférence à l'Université de Larbi Tébessi, qui nous a fait l'honneur de présider le jury et pour ses précieux conseils et son aide morale durant le cycle de nos études de la Licence et du master.*

*Nous voudrions aussi remercier du fond du cœur **Mr DEKAK Ahmed**, Maître assistant à l'Université Larbi Tébessi, nous a fait l'honneur d'examiner notre travail et pour leur conseils.*

*Nous adressons nos plus sincères remerciements à nos familles ; nos parents,  
Nos sœurs, nos frères et tous nos amis,  
Aussi à Toute l'équipe des laboratoires de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie qui nous accompagnons, aidons et encourageons tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

# Sommaire

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumé

Abstrat

الملخص

<b>I. Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Contexte général .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Objectifs de l'étude .....</b>	<b>9</b>
<b>II. Matériel et méthodes.....</b>	<b>10</b>
<b>1. Matériel végétal .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Protocole expérimental adopté .....</b>	<b>11</b>
2.1. Condition de mise en germination des graines .....	11
2.2. Essai de germination .....	12
<b>3. Les paramètres germinatifs .....</b>	<b>13</b>
3.1. La précocité de germination.....	13
3.2. Le taux de germination(TG) .....	13
3.3. La vitesse de germination (VG).....	13
3.4. La cinétique de germination (CG) .....	13
<b>4. Traitement de données et analyse statistique. ....</b>	<b>14</b>
<b>III. Résultats et discussion .....</b>	<b>15</b>
<b>1. Résultats .....</b>	<b>15</b>
1.1. Influence du plomb sur la précocité de germination.....	15
1.2. Influence du plomb sur le taux de germination .....	16
1.3. Influence du plomb sur la vitesse de germination .....	18
1.4. Influence du plomb sur la cinétique de germination.....	19
<b>2. Discussion .....</b>	<b>23</b>
<b>Conclusion et perspectives .....</b>	<b>27</b>
<b>Les Références Bibliographiques.....</b>	<b>28</b>

## Liste des tableaux

**Tableau 01** :Description des principales variétés de céréales étudiées (ITGC, 2001).....**10**

**Tableau 02** :Analyse de la variance de la précocité de germination des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb  $Pb(CH_3COO)_2$ .....**15**

**Tableau 03** :Analyse de la variance de taux de germination des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb  $Pb(CH_3COO)_2$ ..... **16**

**Tableau 04** : Analyse de la variance de la vitesse de germination des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb  $Pb(CH_3COO)_2$ ..... **18**

## Liste des figures

<b><u>Figure 1</u></b> : Représentation schématique des différentes stratégies de phytoremédiation (modifiée) (Favaset, 2014). .....	<b>8</b>
<b><u>Figure 02</u></b> : Dispositif expérimental.....	<b>12</b>
<b><u>Figure 03</u></b> : Effets des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> sur la précocité de la germination des quatre variétés des céréales.***, **, * significatif à 0,1% ; 1% ; 5% respectivement.....	<b>16</b>
<b><u>Figure 04</u></b> : Effets des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> sur le taux de germination des quatre variétés des céréales. ***, ** significatif à 0,1% et 1% .....	<b>17</b>
<b><u>Figure 05</u></b> : Effets des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> sur la vitesse de germination des quatre variétés des céréales.***, **, * significatif à 0,1% ; 1% ; 5% respectivement.....	<b>19</b>
<b><u>Figure 06</u></b> : Cinétique de la germination des graines (%) du blé dur sous l'effet des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> . .....	<b>20</b>
<b><u>Figure 07</u></b> : Cinétique de la germination des graines (%) du blé tendre sous l'effet des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> . .....	<b>21</b>
<b><u>Figure 08</u></b> : Cinétique de la germination des graines (%) del'orge sous l'effet des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> . .....	<b>21</b>
<b><u>Figure 09</u></b> : Cinétique de la germination des graines (%) dumais sous l'effet des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> . .....	<b>22</b>
<b><u>Figure 10</u></b> : Coupe transversale d'une racine montrant le transport des éléments traces par voie symplasmique ou apoplasmique (d'après Bargagli, 1998). .....	<b>26</b>

## Liste des abréviations

AS : Arsenic

BD : Blé dur

BT : Blé tendre

Cd : Cadmium

Cu: Cuivre

Cr : Chromium

CG : Cinétique de la germination

ETM : Eléments trace métaux

Hg : Mercure

HAP: Hydrocarbures polycycliques aromatiques

NMR : Nombre moyen de racines

NTG : Nombre total des graines incubées

NaCl: Chlorure de Sodium

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales

O<sub>2</sub> : Oxygène

ORG : Orge

Pb :Plomb

PG : Précocité de germination

Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>: acétate de plomb

PCP : Pesticides Chlorés

ROS : Réactive Oxygen Species ou espèces réactives de l'oxygène

Se : Sélénium

-SH : La liaison du métal

TG : Taux de germination

TNT : Trinitrotoluènes

VG : Vitesse de germination

Zn : Zinc

## Résumé

Le plomb (Pb) est l'un des métaux les plus utilisés par l'homme mais aussi l'un des plus toxiques. Depuis plusieurs siècles, sa teneur n'a cessé d'augmenter en raison des activités anthropiques provoquant plusieurs problèmes environnementaux et sanitaires.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du stress métallique sur quatre variétés des céréales (blé dur, blé tendre, orge et maïs). Pour cela nous avons réalisé une étude comparative des réponses physiologiques à travers quelque paramètres sur la germination entre quatre céréales différents préalablement cultivés sur une solution nutritive pendant 10 jours subissent un traitement par l'acétate de plomb  $Pb(CH_3COO)_2$  avec trois concentrations (0.15g/l, 0.3g/l, 0.6g/l) en vue d'apprécier l'action de différentes concentration du plomb sur la spéciation de ces espèces.

Les résultats obtenus montrent un effet stressant du plomb sur les quatre variétés des céréales à partir des concentrations 0.3g/l et 0.6g/l. Nous avons constaté des résultats variables de significatifs à très hautement significatifs pour tous les paramètres étudiés. Nos résultats ont mis en évidence que la diminution de la germination semble dépendre de la concentration du métal, de la durée d'exposition des graines, de l'espèce végétale, voire même de la variété et de la graine. En effet nous avons enregistré une réduction très hautement significative de la précocité de germination chez le blé dur et le blé tendre, l'orge et le maïs, une diminution hautement significative à très hautement significative de taux de germination chez le blé dur, le blé tendre et le maïs. La variété d'orge s'est montrée plus tolérante avec un taux de germination de 92 % en condition de stress les plus sévères (0.6 g/l). Concernant la vitesse de germination, la diminution est très hautement significative chez le blé tendre et l'orge, hautement significative pour le maïs, seulement pour la forte dose du plomb. Cette étude permet de conclure que les variétés étudiées peuvent se regrouper en deux catégories : des variétés tolérantes à l'exposition du plomb (le blé dur, l'orge et le maïs), aussi des variétés sensibles au stress (le blé tendre).

**Mots clé : germination, céréales, acétate de plomb, stress métallique, tolérance.**

## **Abstrat**

Lead (Pb) is one of the most used metals by man but also one of the most toxic. For several centuries, its content has steadily increased because of anthropogenic activities causing several environmental and health problems.

The objective of this work is to study the effect of metal stress on four varieties of crops (durum wheat, soft wheat, barley and maize). For this we carried out a comparative study of the physiological responses through some parameters on the germination between four different cereals previously grown on a nutrient solution for 10 days undergoing treatment with lead acetate Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> with three concentrations (0.15 g / l, 0.3g / l, 0.6g / l) in order to assess the action of different concentrations of lead on the speciation of these species.

The results obtained show a stressful effect of lead on the four cereal varieties from 0.3g / l and 0.6g / l. We found variable results from significant to very highly significant in all studied parameters. Our results showed that the diminution of germination seems to depend on metal concentration, duration of seed exposure, plant species, and even variety and seed. In fact, we recorded a very highly significant reduction in early germination in durum wheat and wheat, barley and maize, a highly significant and very highly significant decrease in germination rates in durum wheat and soft wheat. tendre and corn. The barley variety was more tolerant with a germination rate of 92% under the most severe stress conditions (0.6 g / l). With regard to the germination rate, the decrease is very highly significant in soft wheat and barley, highly significant for corn, only for the high dose of lead. This study concludes that the varieties studied can be grouped into two categories: varieties tolerant to lead exposure (durum wheat, barley and maize), and stress-sensitive varieties (soft wheat).

**Key words: germination, crops, lead acetate, metallic stress, tolerance.**

## المخلص

يعتبر الرصاص (Pb) من اكثر المعادن استخدامًا من قبل الإنسان، ولكنه أيضًا من أكثر المواد السامة، ازداد محتواه بنسبة كبيرة في القرون الأخيرة بسبب الأنشطة البشرية التي تسبب العديد من المشاكل البيئية والصحية.

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير الإجهاد المعدني على أربعة أنواع من الحبوب (القمح القاسي، القمح اللين، الشعير والذرة). لهذا قمنا بإجراء دراسة للاستجابات الفيزيولوجية للإنبات من خلال بعض المعايير للمقارنة بين أربعة أنواع مختلفة من الحبوب التي زرعت في وسط مغذي لمدة 10 أيام. خضعت للمعالجة بثلاث تراكيز (0.15 غ / ل، 0.3 غ / ل، 0.6 غ / ل) من اسيتات الرصاص<sub>2</sub> (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>Pb من أجل تقييم عمل التراكيز المختلفة من اسيتات الرصاص على هذه الأنواع.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها تأثير الرصاص على أصناف الحبوب الأربعة من 0.3 غ / ل و 0.6 غ / ل. لقد وجدنا نتائج متغيرة في جميع المعايير المدروسة . أظهرت النتائج أن انخفاض الإنبات يعتمد على تركيز المعادن، ومدة تعرض للبذور للإجهاد المعدني، وحتى نوع البذور. لقد سجلنا انخفاضا كبيرا في الإنبات المبكر في القمح القاسي والقمح اللين والشعير والذرة، وكذلك انخفاض كبير و مهم جدا في معدلات الإنبات في القمح القاسي، القمح اللين و الذرة. أما الشعير أكثر مقاومة بمعدل إنبات 92% تحت أشد ظروف الإجهاد (0.6 غ / ل) و فيما يتعلق بسرعة الإنبات، لاحظنا أن نسبة الانخفاض كبيرة في القمح و الشعير، كذلك بالنسبة للذرة، فقط بالنسبة للجرعة العالية من الرصاص. وتلخص هذه الدراسة إلى أن الأصناف التي تمت دراستها يمكن تصنيفها إلى فئتين: الأنواع المقاومة للإجهاد المعدني(القمح القاسي، الشعير والذرة)، والأصناف الحساسة (القمح اللين).

**الكلمات المفتاحية: الإنبات، الحبوب، أسيتات الرصاص، الإجهاد المعدني، قدرة التحمل**

# I. Introduction générale

## 1. Contexte général

Dans le monde les céréales constituent la composante de base de l'agriculture. Selon le centre international du commerce en 2016 (FAO, 2016). Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Elles sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (Slama, 2005). Parmi ces céréales, le blé occupe la première place pour la production mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines, il assure 15% de ses besoins énergétiques (Bajji, 1999). Le blé est cultivé principalement dans les pays du bassin méditerranéen à climat arides et semi-arides là où l'agriculture est dans la plus mauvaise passe. Ces régions se caractérisent par l'augmentation de la température couplée à la baisse des précipitations, en plus la désertification et la sécheresse (Abeledo, 2008).

L'Algérie a produit 40 millions de quintaux de céréales durant la campagne moissons-battages 2014-2015, contre 35 millions lors de la saison précédente, soit une hausse de 14,3% (Tadjer, 2015). L'Algérie importe de plus en plus de céréales pour couvrir les besoins alimentaires de sa population, besoins qui s'élèvent en moyenne à 250 kg par habitant et par an, alors que la production locale diminue d'année en année et qu'augmentent sans cesse les quantités importées de l'étranger. Les importations, qui étaient de l'ordre de 500000 quintaux par an durant la décennie 1920 (Colon, 1930), soit 27 kg par personne sont passées à quatre millions de quintaux en 1960, selon (Bencharif, 1996), c'est à- dire 40 kg par personne. Elles ont atteint 60 millions de quintaux en 2005, pour un coût de 1,5 milliard de dollars américains, soit 43 % de la valeur globale des importations du pays (CNIS, 2005). Cette quantité place l'Algérie parmi les plus gros importateurs mondiaux de céréales, en occupant 65 % du marché africain (AAC, 2005).

Parmi ces céréales :

Le blé est une plante monocotylédone du genre *Triticum* de l'ordre des Poales, de la famille des Poaceae. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*), mais il existe de nombreuses autres espèces qui se différencient par leur degré de ploïdie, à savoir, le blé diploïde avec le génome AA, le blé tétraploïde avec les génomes AA et BB et le blé hexaploïde avec les génomes AA, BB et DD. La différenciation réside aussi dans leur nombre de chromosome qui est de 14, 28 ou 42 respectivement (Kara, 2015).

**Le blé dur** (*Triticum durum*) est une espèce allo tétraploïde ( $2n = 4x = 28$ ) possédant sept paires de chromosomes homologues associées à deux génomes différents A et B. Le génome A vient du blé sauvage *Triticum urartutum* plus connu sous le nom *einkorn* (*Triticum monococcum*) de constitution génomique diploïde AA. Par contre le génome B vient de l'espèce sauvage, diploïde elle aussi, *Aegilops speltoides* Tausch (**Schuhwerk, 2011**). Le blé dur (*Triticum durum*) en termes de production commerciale et d'alimentation humaine, est la deuxième plus importante du genre *Triticum* après le blé tendre. Leur famille comprend 600 genres et plus de 5000 espèces (**Feuillet, 2000**). Il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati. L'inflorescence en épi terminal se compose de fleurs parfaites (**Soltner, 1998**). La plus grande partie du blé dur produit dans le monde est constituée de blé de printemps ; toutefois, il existe des variétés de blé dur d'hiver (qui ont besoin de vernalisation pour amorcer la transition de la phase végétative à la phase reproductrice) ; ces variétés ont été évaluées en vue de la production dans le Sud des États Unis (**Domnez, 2000 ; Schilling, 2003**).

**Le blé tendre** (*Triticum aestivum*) possède les trois génomes AA, BB et DD constitué chacun de sept paires de chromosomes homologues, soit au total 42 chromosomes; le blé dur ne contient que les deux génomes AA et BB, soit 28 chromosomes. La filiation génétique des blés est complexe et incomplètement élucidée. Il est acquis que le génome A provient de *Triticum monococcum*, le génome B d'un *Aegilops* (*bicornis*, *speltoides*, *longissima* ou *searsii*) et le génome D d'*Aegilops squarrosa*. Le croisement naturel entre *T.monococcum* et *Aegilops* (porteur du génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*Triticum turgidums* sp. *dicoccoides*) qui a ensuite progressivement évolué vers *T.turgidums* sp. *dicoccum* puis vers *T. durum* (blé dur cultivé). Les blés tendres cultivés (AA BB DD) seraient issus également d'un croisement naturel entre *T. turgidums* sp. *dicoccum* (AA BB) et *Aegilops squarrosa* (DD). Ces deux espèces de blé ont une importance économique réelle à l'heure actuelle (**Bertrand, 1996**).

**L'orge** (*Hordeum vulgare*.) est une monocotylédone, appartenant à la famille des Poaceae. Sa classification est basée sur la fertilité des épillets latéraux, la densité de l'épi et la présence ou l'absence des barbes de constitution génomique diploïde ( $2n=14$ ), est une espèce dont les origines remontent à celles de l'agriculture elle-même (**Rasmusson, 1992**). L'orge est issue des formes sauvages de l'espèce *Hordeum spontaneum* que l'on trouve encore aujourd'hui au Moyen Orient. L'orge est l'une des céréales les plus importantes du monde. Elle est l'une des premières cultures domestiquées et a été utilisée pendant des siècles pour l'alimentation humaine (**Badr, 2000**).

Le système racinaire est fasciculé bien que moins puissant que les autres céréales. Une caractéristique essentielle de l'espèce orge est son extraordinaire adaptation à des conditions extrêmes (**Bellebcir, 2008**). L'orge est une espèce très adaptée aux systèmes de cultures pratiqués en zones sèches.

Cette adaptation est liée à un cycle de développement plus court et à une meilleure vitesse de croissance en début du cycle. La culture de l'orge s'insère bien dans les milieux caractérisés par une grande variabilité climatique où elle constitue avec l'élevage ovin l'essentiel de l'activité agricole (**Bouzerzour, 1998**).

**Le maïs** (*Zea mays*) appartient au règne végétal, à la classe des Liliopsidées, à l'ordre des cypéales, à la famille des Poacées, à la sous-famille des panicoidées, au genre *Zea* et à l'espèce *Zea mays* (**Luven, 1993**). Le maïs est une plante monoïque. Il porte deux types d'inflorescence: les fleurs mâles, groupées sur la panicule terminale ramifiée, et les fleurs femelles, associées sur un ou quelques épis insérés à l'aisselle des feuilles. Bien que le maïs soit auto fertile (**Henri, 1984**). Le maïs est une plante annuelle à grand développement végétatif (1 à 3m de hauteur); elle présente une tige pleine à gros diamètre (3 à 4 cm) et des fleurs unisexuées (**Henri, 1968**). Le maïs aussi appelé blé d'Inde au Canada est une plante tropicale herbacée annuelle, largement cultivée comme céréale pour ses grains riches en amidon, mais aussi comme plante fourragère (**Baubricourt, 1988**). Cette espèce, originaire d'Amérique centrale, était déjà l'aliment de base des Amérindiens avant la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb (**Laomonier, 1979**). La plante fut divinisée dans les anciennes civilisations d'Amérique centrale et méridionale. Le maïs est aujourd'hui cultivé partout dans le monde et est devenu la première céréale mondiale devant le riz et le blé (**Carraretto, 2005**). Le maïs actuel résulte à la fois de mutations naturelles et de sélections conduites par l'homme à partir d'un ancêtre sauvage, qui pourrait être la téosinte, graminée qui croît spontanément en Amérique centrale ou un de leurs ancêtres communs (**Gay, 1978**).

En Algérie la production des céréales, occupe environ 80% de la superficie agricole utile du pays, La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 million d'ha. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures. Elle apparaît donc comme une spéculation dominante (**Djermoun, 2009**). Le budget consacré par les algériens pour la consommation alimentaire atteint près de 42% de leur budget. Compte tenu de la place prépondérante que représente les céréales dans les habitudes alimentaires, les produits à base de céréales ont représenté dans les années 2000, 25% des dépenses alimentaires des ménages algériens (**Rastoin, 2014**).

En relations avec le marché mondial l'Algérie achète annuellement plus de 5% de la production céréalière mondiale, cette situation risque de se prolonger à plusieurs années, faute de rendements insuffisants et des besoins de consommation sans cesse croissants devant une forte évolution démographique (**Chellali, 2007**). De 1995 à 2005, le marché Algérien a absorbé, en moyenne annuelle, 4244903 tonnes de blés dont 70,44% de blé dur, soit 2990265 tonnes représentant une valeur de 858 millions de dollars, dont 60,36% de blé dur, soit 578 millions (**Chehat, 2007**).

La production nationale est faible et ne permet de satisfaire qu'environ 35 % des besoins d'une population de plus en plus croissante (**Hervieu, 2006**). Le pays figure actuellement parmi les premiers importateurs mondiaux de blé dur en s'accaparant de près de 50 % du marché mondial (**CIC, 2007**), cette faiblesse de la production de blé en Algérie était toujours liée aux effets du climat, principalement la sécheresse qui se fait ressentir de manière très importante depuis la dernière décennie. Le stress hydrique et abiotique limite sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (**Wang, 2003**). En effet, chaque année, les surfaces perdues à cause du stress hydrique varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. En Algérie, la situation est particulièrement grave où les rendements sont faibles (moins de 10 qx/ha) (**Kara, 2011**).

Le terme « stress » définit l'ensemble des perturbations biologiques provoquées par une agression quelconque sur un organisme. C'est un processus qui induit une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant. En revanche ce terme lorsqu'il est utilisé en biologie végétale, a des connotations particulières, il représente les (s) facteurs(s) responsable(s) des perturbations, et des changements, plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante subies au cours de son développement (**Bouchoukh, 2010**). En effet, le stress signifie la déviation dans le développement et les fonctions normales de la physiologie des plantes, il est perçu au niveau cellulaire puis transmis à la plante entière. Le changement dans l'expression des gènes qui s'ensuit modifie la croissance et le développement, et influence les capacités reproductives de la plante, causant ainsi des dommages aux plantes (**Benkoli, 2016**). La plante accomplit le retour à la stabilisation et les réactions de répartition par un réajustement d'états adaptés et le maintien de grands pouvoirs de résistance, qui font appel à une énergie additionnelle et métabolite (**Meziani, 2015**). Un stress abiotique provoqué par la pollution métallique limite sérieusement la croissance des différents types de plantes notamment les céréales et leurs reproductions par rapport au potentiel du génotype (**Lazzer, 2015**).

Depuis plus de cinquante ans, la pollution est l'un des plus graves problèmes auxquels est confronté notre monde moderne. On entend par pollution, la présence dans l'environnement de grandes quantités de produits chimiques dangereux, généralement créés par l'homme, dont les effets nuisibles peuvent se faire durant de longues périodes sur toute la planète. Cette pollution peut affecter l'eau, l'air et la terre. Elle peut être évidente (nappes d'hydrocarbures flottante sur la mer), comme elle peut être beaucoup moins visible (pesticides répandus sur les champs ou métaux lourds dissous dans les systèmes aquatiques) (**Key, 2006**).

La pollution de l'environnement par les substances toxiques telles que les métaux lourds dont certains comme le chrome, le plomb et le cadmium, les composés organochlorés (PCB, pesticides chlorés) et les hydrocarbures polycycliques (HAP), est un problème qui touche tous les pays du monde. Les effets de la pollution sur les écosystèmes et sur la santé humaine peuvent parfois se faire sentir très loin de la source de pollution. Les métaux lourds sont présents dans le milieu marin de façon naturelle et certains sont même essentiels au bon fonctionnement de nombreux processus biologiques (**Johnson, 2008**).

Le plomb est un contaminant le plus répandu dans l'environnement (**Jarup, 2003 ; Hernandez, 2005**) et le plus utilisé par l'homme dans des secteurs très variés depuis des siècles tels que les anciennes tuyauteries d'eaux, soudure, protection contre les rayonnements, les carburants l'armement...etc. et le plus toxique, sa teneur n'a cessé d'augmenter en raison des activités anthropiques provoquant plusieurs problèmes environnementaux et sanitaires(**Cecchi, 2008**).L'Algérie présente plusieurs sites d'extraction du plomb qui sont des sources de contamination par ce métal (**Haridi, 2012**).Il peut a une forte écotoxicité, être impliqué dans des nombreuses maladies s'il se retrouvait absorber par le corps humain (**Pichard,2002 ;Abahama,2002 ;Adriano,2001**), étant toxique pour les systèmes hématopoïétique, rénal, cardiovasculaire, nerveux central et périphérique et cancers (**Adli,2015**).

A des concentrations fortement élevées, le plomb agit sur la croissance et des nécroses foliaires ainsi que des signes de chlorose sont constatés (**Johanson, 1977**). Alors qu'à un faible degré de pollution, ces symptômes sont peu prononcés ou même absents. Ce qui laisse supposer que les fortes concentrations locales de plomb affectent des processus cellulaires importants ; l'un des effets est la diminution des activités enzymatiques. Ce qui s'explique par la liaison du plomb sur les groupements (SH) des enzymes et la substitution d'éléments essentiels (**Van Assche, 1990 ; Vangronsveld, 1994**). La liaison du métal aux groupements –SH, essentiel pour la stabilité de la structure tertiaire de l'enzyme, affecte la conformation de l'enzyme et inhibe son activité. Le blocage des groupements –SH inhibe l'activité de plus de cent enzymes connues (**Sereginet Ivanov, 2001**).

La comparaison de la concentration métallique des parties aériennes et celle des parties racinaires des plantes met en évidence deux grandes stratégies de tolérance aux métaux lourds : l'exclusion des métaux des parties aérienne au contraire, l'accumulation des métaux dans les feuilles (**Baker, 1981**). L'importance de la disponibilité des métaux pour les plantes est bien connue: nombre d'entre eux sont indispensables, à faible concentration, au fonctionnement et à la croissance des plantes (**Morel, 1997; Rengel, 1999; Pendas, 2001; Kalis, 2007**).

Cependant, à forte concentration, ils agissent comme un facteur de stress qui altère le développement et la croissance normale des plantes. Pour autant, à ce jour, le rôle exact de certains métaux lourds dans le métabolisme et la croissance de la plante n'est pas encore élucidé. Malgré la grande diversité des besoins et des niveaux de tolérance aux métaux lourds chez les plantes, certains restent considérés sans effet bénéfique même à de très faibles concentrations comme Hg, Pb et Cd (**Pendas, 2001**).

A l'heure actuelle, les bases moléculaires de ces perturbations sont encore mal connues, mais on admet généralement qu'elles résultent d'un stress oxydatif, dû à la production d'espèces réactives de l'oxygène ou (ROS). Les ROS altèrent toute une série de substrats biologiques importants, avec comme conséquence la modification des domaines fonctionnels des biomolécules : inhibition de l'activité enzymatique, perturbation du métabolisme végétal (notamment la photosynthèse et la respiration), oxydation de protéines, altération des membranes cellulaires via l'induction de phénomènes de peroxydation lipidique, apparition de cassures au sein de l'ADN, pouvant conduire à la mort cellulaire (**Dietz, 1999 ; Cheng, 2003**).

Il existe principalement des technologies de remédiation mécanique ou physico-chimique, stabilisation/immobilisation et désorption thermique, utilisés pour l'élimination des contaminants. Ces techniques sont généralement coûteuses et perturbent les mécanismes biologiques du sol. Par conséquent, la technologie de phytoremédiation a reçu une considération croissante (**Belluck, 2006 ; Marques, 2009**). La phytoremédiation est l'utilisation de plantes pour éliminer ou dégrader les contaminants organiques et inorganiques du sol et de l'eau (**Suthersan, 2001**). Le terme générique de phytoremédiation regroupe deux stratégies de remédiation (Figure 01): **(i) la phytostabilisation** qui vise à réduire la mobilité des contaminants, en particulier des métaux, dans des sols ou des sédiments contaminés ; **(ii) la phytodécontamination** qui vise à réduire la teneur des contaminants présents dans le milieu (**Buchanan, 2002**).

**La phytostabilisation** utilise le couvert végétal pour empêcher la dispersion des contaminants dans les eaux souterraines et l'habitats humain, donc pour les rendre peu mobiles dans les écosystèmes (**Kramer, 2005 ; Pilon-smits, 2005**).

certaines plantes immobilisent les contaminants par précipitation dans le sol par les exsudats racinaires ou par accumulation dans les racines (**Donascimento, 2006 ; Zheng, 2011**).

**La phytodécontamination** permet de réduire la teneur des contaminants présents dans le milieu, elle regroupe plusieurs techniques selon le type d'action des plantes, la nature du milieu contaminé à traiter et la nature des polluants (**Buchanan, 2002**).

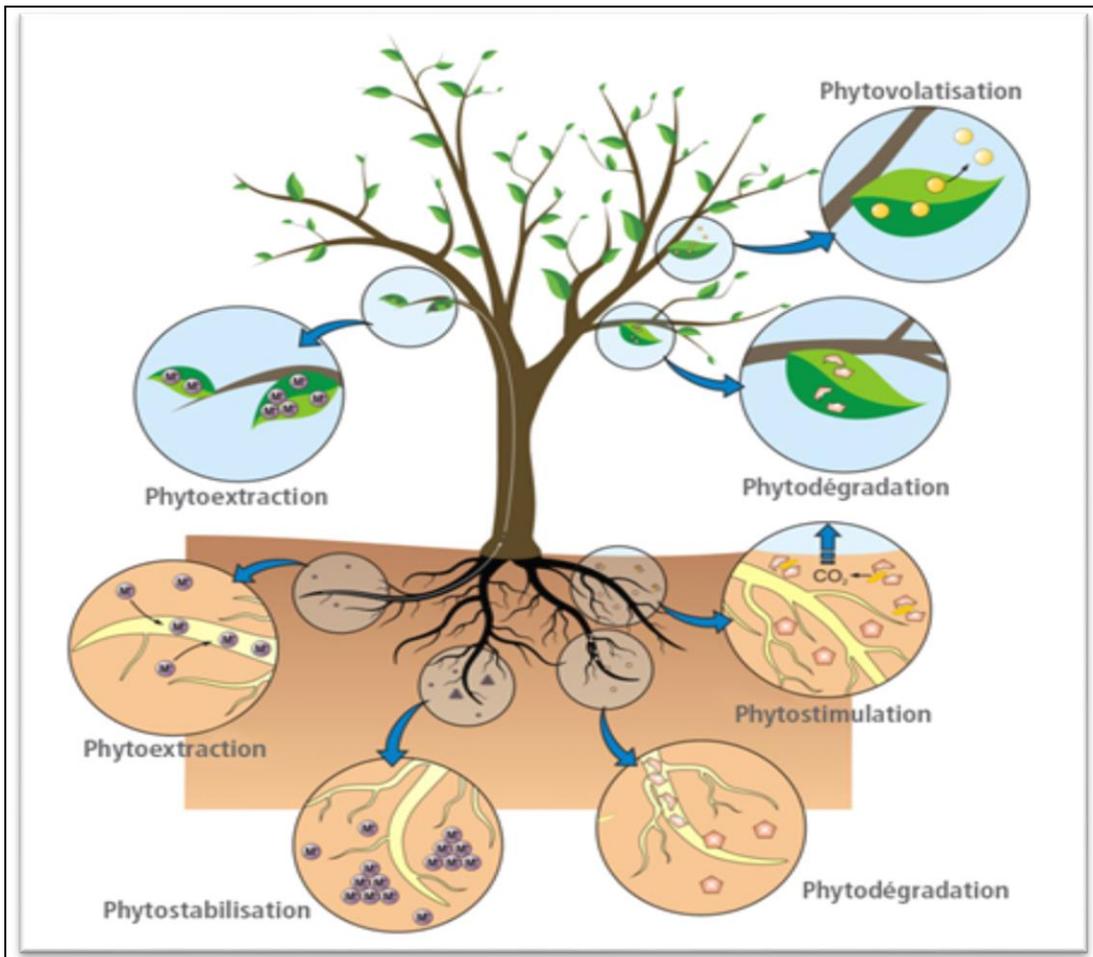
**La rhizofiltration** (ou la phytofiltration) : utilisation des racines des plantes pour absorber, concentrer et/ou précipiter les composés dangereux en particulier des métaux lourds ou radionucléides (**Prasad, 2003**).

**La phytodégradation** : utilisation de l'association plantes microorganismes pour métaboliser les polluants organiques du sol (**Jemel, 2002**). Cette méthode concerne des polluants facilement biodégradables tels que les composés organiques comme les. La phytodégradation est la capacité des plantes de transformer des polluants organiques en sous-produits peu ou pas toxiques pour la plante (**Rudolph, 2010**).

**La phytoextraction** : utilisation de plantes qui absorbent les métaux lourds dans les sols par les racines, puis transfèrent et accumulent ceux-ci dans leurs parties récoltables (feuilles, tiges et racines). Les métaux lourds vont se complexer avec des acides organiques ou des acides aminés synthétisés par la plante. Les métaux lourds sont ensuite récupérés en incinérant ou compostant la biomasse de plante (**McGrath, 1998**).

**La phytostimulation (ou Rhizo-dégradation)** : les plantes sécrètent des exsudats racinaires qui peuvent être utilisés par les communautés microbiennes et promouvoir leur développement et leurs activités. Cette stimulation microbienne dans la rhizosphère modifie la bioaccumulation, oxydation/réduction biologique et biométhylation des métaux lourds (**McGrath, 1998 ; Tak, 2013 ; Ahemadand, 2014**).

**La phytovolatilisation** : permet la transformation en produits volatiles puis le relargage dans l'atmosphère d'éléments tels que le mercure ou le sélénium. Cette approche, encore au stade expérimental, fait actuellement l'objet de recherches très actives ; les résultats récents dans ce domaine sont particulièrement encourageants (**Bizily, 1999**). Il est possible de transformer une plante pour lui faire exprimer une méthylase, qui permettra la dispersion de la pollution par volatilisation (**Michaille, 2014**).



**Figure 1 : Représentation schématique des différentes stratégies de phytoremédiation (modifiée) (Favaset, 2014).**

## 2. Objectifs de l'étude

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Elles sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale parmi eux : le blé, l'orge, le riz et le maïs qui constituent la base alimentaire des populations du globe. En Algérie les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien, les produits céréaliers (blé dur, blé tendre, orge et maïs) occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. La productivité et l'efficacité biologique des plantes sont limitées par la présence d'éléments toxiques dans le sol, parmi ces métaux lourds, le plomb(Pb), le cadmium(Cd), le zinc(Zn), le cuivre (Cu) et le chrome (Cr), ils proviennent également de contaminations locales liées à des activités industrielles ou d'apports agricoles concentrés. Les contaminations diffuses sont liées aux apports par voie aérienne issus des rejets industriels et des transports et aux épandages agricoles. Au-delà d'un certain seuil et suivant leur nature chimique, les teneurs en éléments métalliques peuvent devenir très hautement toxiques pour l'homme et un grand nombre d'espèces végétales ou animales, peut s'accumuler dans les différentes chaînes alimentaires des écosystèmes et altérer la microflore des sols. En milieu péri-industriel, le niveau élevé de contamination peut également affecter le comportement, la densité et l'activité des communautés microbiennes et de la macrofaune du sol et ainsi altérer la structure et le fonctionnement des sols.

Dans ce contexte, la base de notre étude est d'évaluer l'impact du plomb sur quatre variétés des céréales (blé dur, blé tendre, orge et maïs).En suivant le développement de ses graines soumises à un stress métallique au stade de germination pendant 10 jours, à travers une majorité des paramètres germinatifs (la précocité, le taux, la vitesse et la cinétique de germination), afin d'élucider l'action de différentes concentrations du plomb sur la germination des quatre variétés étudiées.

## II. Matériel et méthodes

### 1. Matériel végétal

Quatre variétés des céréales ont été utilisées pour les besoins de cette étude. Elles proviennent de l'Office Interprofessionnel des céréales de Tébessa (O.A.I.C.). Les variétés sont groupées en blé dur (*Triticum durum*) ; blé tendre (*Triticum aestivum*) ; orge (*Hordeum vulgare*) et du Maïs (*Zea mays*). Les principales caractéristiques de variétés utilisées sont mentionnées dans le tableau 01. Le présent travail a été réalisé au niveau du Laboratoire de Biologie Végétale, Département des Etres Vivants, Université Larbi Tébessi.

**Tableau 01. Description des principales variétés de céréales étudiées (ITGC, 2001).**

Espèce	Variété	Origine	Caractéristiques variétales
<b>Blé dur</b> ( <i>Triticum aestivum</i> )	<b>Vitron</b>	<b>Espagne</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ paille : moyenne</li><li>✓ cycle végétatif : semi-précoce</li><li>✓ mieux adaptée : aux régions tempérées</li><li>✓ tolérance aux maladies : verse; moucheture ; mitadinage</li><li>✓ tallage : moyenne</li><li>✓ large adaptation</li><li>✓ tolérance moyenne à la sécheresse</li></ul>
<b>Blé tendre</b> ( <i>Triticum durum</i> )	<b>HD R1</b>	<b>Algérie</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Paille : caractérisé par une paille haute à moyenne</li><li>✓ cycle végétatif : demi-précoce,</li><li>✓ tallage : moyen,</li><li>✓ mieux adaptée : aux régions arides et semi-arides</li><li>✓ tolérance moyenne à la sécheresse</li><li>✓ large adaptation</li><li>✓ tolérance aux maladies : rouille</li></ul>

<p style="text-align: center;"><b>Orge</b> (<i>Hordeum vulgare</i>)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Saida</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Algérie</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ tolérance a la sécheresse</li> <li>✓ large adaptation</li> <li>✓ Epi : range, lâche à barbe non pigmenté et longue</li> <li>✓ Paille : moyenne, creuse</li> <li>✓ Grain : blanc, long étroite et peu ridé</li> <li>✓ Cycle végétatif : semi précoce</li> <li>✓ Tallage : moyen</li> <li>✓ Productivité : bonne</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Maïs</b> (<i>Zea mays</i>)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Blanc</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Espagne</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La tolérance à la sécheresse</li> <li>✓ La tolérance aux maladies : insectes; helminthosporiose ; charbon</li> <li>✓ Grains : blanc; globuleux corné</li> <li>✓ Cycle végétative : demi-précoce</li> <li>✓ Epi : court</li> <li>✓ Productivité : en culture sèche</li> </ul>

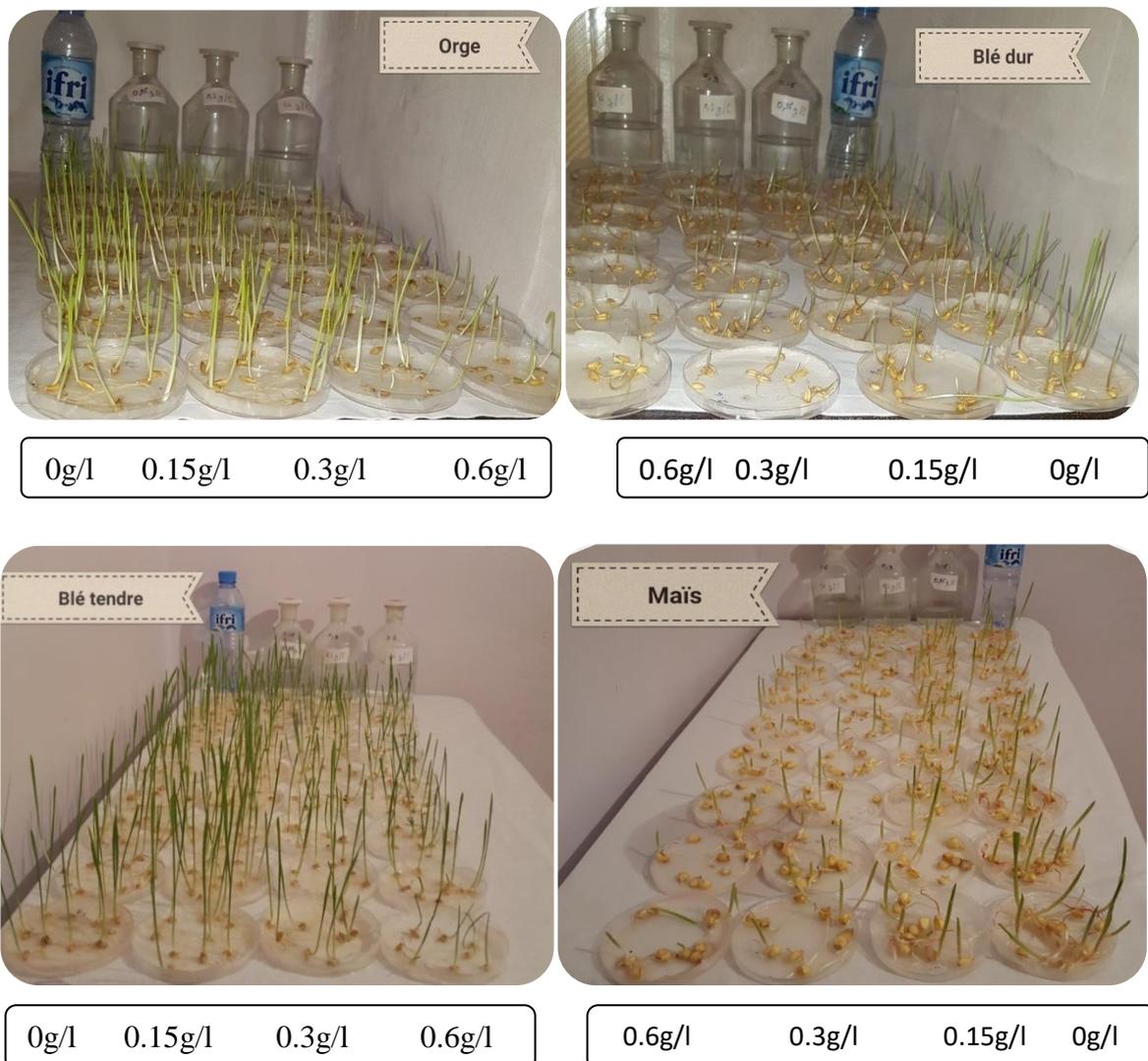
## 2. Protocole expérimental adopté

### 2.1. Condition de mise en germination des graines

Les graines de céréales sont mise a germés selon la méthode décrite par **Kaur et Duffus (1989)**. Dix grains sont d'abord choisis de façon aléatoire, elles sont traitées à l'hypochlorite de sodium (10%), puis rincées abondamment à l'eau distillée pour lessiver l'hypochlorite de sodium ayant adhéré à la graine. Pour faciliter et homogénéiser leur germination, les graines sont placées dans de l'eau distillée pendant une nuit. Les grains sont méticuleusement choisis avant leur utilisation (pas de cassures, ni de signes apparents de maladies).

## 2.2. Essai de germination

Les tests de germination ont été effectués au niveau de laboratoire sous différentes concentrations d'acétate de plomb Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>. Pour chaque variété (blé dur, blé tendre, orge et maïs), les graines ont été désinfectées à l'eau de javel, lavées abondamment à l'eau, puis rincées à l'eau distillée. Elles ont été ensuite mises à germer dans des boîtes à pétri couvertes de papier filtre de nombre de 10 grains par boîte (**figure 02**). Chaque essai de germination est conduit en dix répétitions (R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10) pour chaque concentration. Nous avons ajouté 10 ml de l'eau distillé pour le témoin et 10 ml de solution contenant 0.15 g/l, 0.3g/l et 0.6 g/l d'acétate de plomb chaque 24 heures. Pour chaque variété, les essais de germination sont effectués à des températures variant entre 10C° et 25°C (Février/Mars 2018). La germination est repérée par la sortie de la radicule hors des téguments de la graine dont la longueur est d'au moins de 2 mm (ISTA, 2003).



**Figure 02 : Dispositif expérimental**

### 3. Les paramètres germinatifs

#### 3.1. La précocité de germination

En générale chaque espèce dispose d'une précocité de germination signifie à sa nature, car même placée dans les mêmes conditions expérimentales, le début d'apparition de la racicule à travers la membrane n'aura pas lieu en même temps chez toutes les graines (**Ranard, 1997**). Ce paramètre déterminé lorsque nous observons les premiers grains germés. Dans ce cas, la précocité de la germination est exprimée par le taux des premiers grains germés (**Arbaoui ; Belkhodja, 2000**).

#### 3.2. Le taux de germination

La germination est notée par comptage effectué tous les 24 heures, jusqu'au 10<sup>ième</sup> jour. Le pourcentage de graines germées est déterminé par le rapport entre le nombre des plantules normales développées sur le nombre total de graines incubées (**ISTA, 2003**), d'où :

G (%) : est le pourcentage de germination.

NGG : est le nombre des graines germées.

NTG : est le nombre total des graines incubées.

$$G(\%) = 100 (NGG/NTG)$$

Toute plantule dont la longueur de la racicule est égale ou supérieure à 2 mm est considérée comme normale (**ISTA, 2003**).

#### 3.3. La vitesse de germination (VG)

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

$$VG=100 \times [(N_1+N_2+N_3+\dots+N_n) / (N_1T_1+N_2T_2+N_3T_3+\dots+N_nT_n)]$$

N<sub>1</sub> : nombre de graines germées au temps T<sub>1</sub>

N<sub>2</sub> : nombre de graines germées entre T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub>

#### 3.4. La cinétique de germination (CG)

Elle correspond à la courbe de l'évolution du taux quotidien cumulé de germination pendant une période de 7 jours calculé sur la base du nombre de graines nouvellement germées à chaque observation (**Hajlaoui, 2007**).

#### **4. Traitement de données et analyse statistique.**

Pour toutes les concentrations utilisées (témoin ; 0.15g/l ; 0.3 g/l et 0.6 g/l), chaque résultat correspond à la moyenne de 10 répétitions à raison de dix graines par boîte de pétri. L'analyse de la variance effectuée est à deux critères de classification (facteur traitement et facteur espèces). Les moyennes sont comparées selon le test de Newman-Keuls à l'aide de logiciel XLSTAT.

### III. Résultats et discussion

#### 1. Résultats

##### 1.1. Influence du plomb sur la précocité de germination

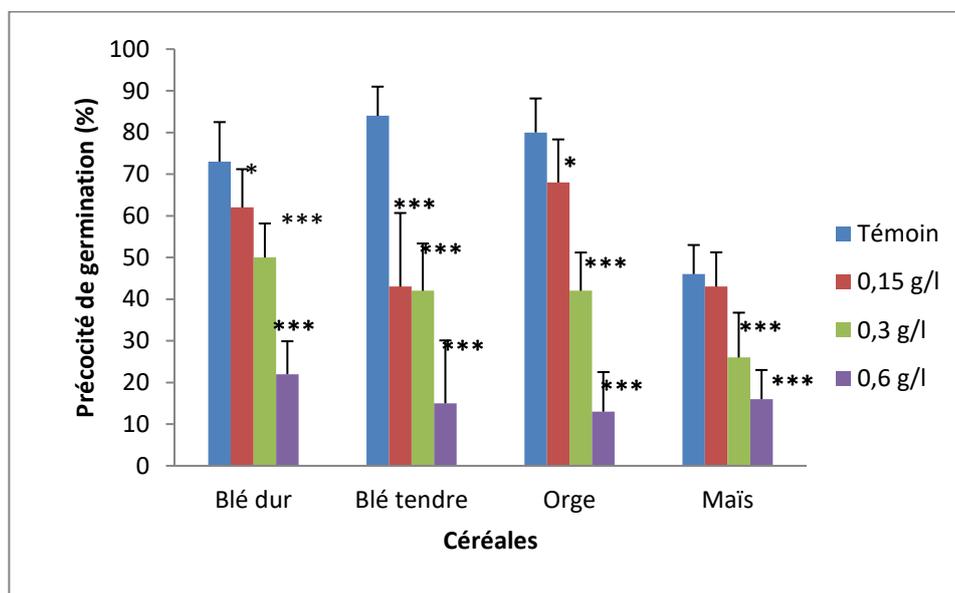
Le tableau 03 montre les variations des taux des premières grains germés des quatre céréales stressés par les traitements (0g/l, 0.15g/l, 0.3g/l, 0.6 g/l) de l'acétate de plomb  $Pb(CH_3COO)_2$ . A travers les résultats, il se montre que les variations du taux des grains germées après 24h de semi sont grandement influencées par le facteur d'étude. L'analyse de la variance montre qu'il ya une différence très hautement significative ( $P=0,000$ ) observée dans l'effet de variétés, l'effet des doses et l'interaction entre variétés et doses, cela conduit à la conclusion que les variétés ne réagissent pas de la même façon en présence de  $Pb(CH_3COO)_2$ .

**Tableau 02. Analyse de la variance de la précocité de germination des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb  $Pb(CH_3COO)_2$ .**

Paramètres	Effet variété (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
PG	29.89	0.000	197.51	0.000	8.26	0.000

- En absence de **Pb ( $CH_3COO$ )<sub>2</sub>**, dès le 1<sup>er</sup> jour du semi les grains témoin sont plus précoces avec un taux de 73%, 84% et 80% pour les variétés de blé dur, blé tendre et de l'orge respectivement, et un pourcentage de 46 % pour la variété de maïs (**figure 03**).
- Les grains exposés au 0.15g/l de **Pb( $CH_3COO$ )<sub>2</sub>** commencent avec un taux bas de 62%, 68% (différence significative) chez le blé dur et orge respectivement, 43% pour le blé tendre (différence très hautement significative), 43 % pour les grains de maïs mais différence non significative par rapport aux grains témoins.
- Les grains traitées par la concentration 0.3g/l montrent que la précocité de germination diminue de 50%, 42%, 42%, 26% (différence très hautement significative) pour toutes des variétés étudiées.
- Alors que la concentration 0.6g/l montre que la précocité de germination très basse avec une différence très hautement significative de 22%, 15%, 13%, 16% des variétés : Vitron, HDR1, Saida et Maïs blanc respectivement par rapport aux grains témoins.

Ces résultats montrent que le plomb agit par leur concentration sur le processus de germination, et que les céréales testées montrent des réponses différentes vis-à-vis des traitements métalliques appliqués.



**Figure 03. Effets des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> sur la précocité de la germination des quatre variétés des céréales.\*\*\*, \*\*, \* significatif à 0,1% ; 1% ; 5% respectivement.**

## 1.2. Influence du plomb sur le taux de germination

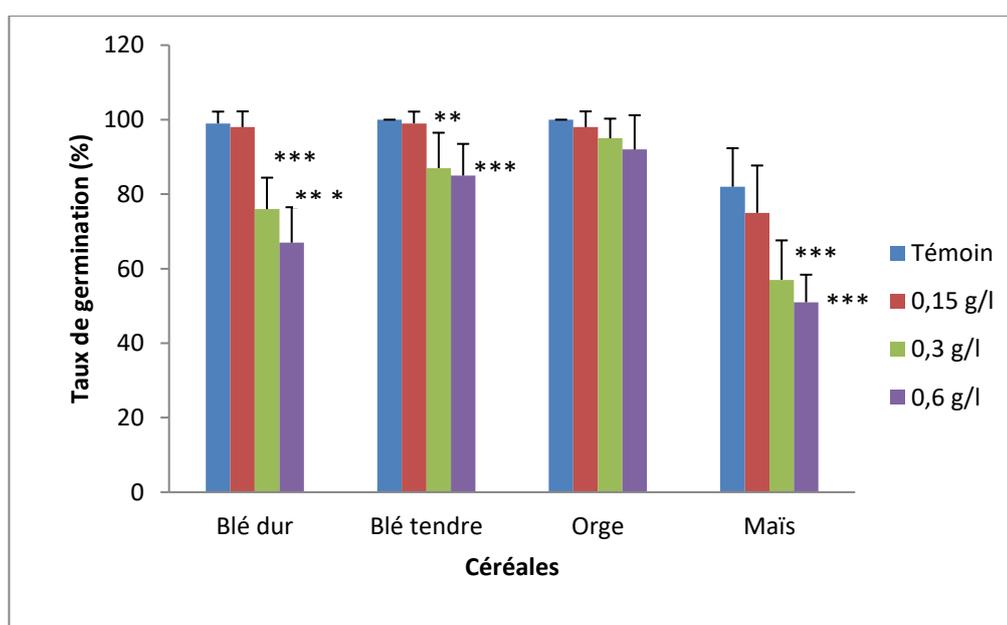
En conditions de stress métallique, le taux de germination donne toujours une idée plus ou moins précise du comportement des quatre variétés étudiées. L'analyse de la variance (tableau 04) montre qu'il ya une différence très hautement significative (P=0,000) observée dans l'effet de variétés, l'effet des doses et l'interaction entre variétés et doses. Cela conduit que quelle que soit la variété, le taux de germination des graines stressées est réduite au fur et à mesure que la dose s'accroît comparativement au témoin et ceci pour les trois concentrations utilisées, (0.15g/l, 0.3g/l,0.6g/l).

**Tableau 03. Analyse de la variance de taux de germination des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.**

Paramètres	Effet variété (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
TG	124.04	0.000	75.35	0.000	6.27	0.000

- L'observation des résultats (figure04) montre que les graines dans les lots témoins des quatre variétés présentent une bonne faculté germinative de 99%, 100%, 100% et 82% pour les variétés de blé dur, blé tendre, orge et maïs respectivement.
- lorsque le stress est modéré (0.15 g/l), les céréales étudiées, montrent un taux de germination qui n'est pas significativement différent par rapport au témoin.
- Quand l'intensité du stress est élevée de (0.3 g/l) les variétés de blé dur et du maïs sont affectées (différence très hautement significative) et montrent un taux de germination différent de 76% et 57% respectivement de celui du témoin. La variété de blé tendre montre une différence hautement significative de 87%. Il est à signaler que la variété de l'orge est la plus résistante au stress métallique et elle a montré un taux de germination de 95 % en condition de stress.
- Concernant l'effet du plomb sur ce paramètre, l'analyse des résultats révèle que le traitement des plantes avec la concentration 0,6 g/l provoque une diminution très hautement significative de TG de 67%, 85% et 51% pour les variétés de blé dur, de blé tendre et du maïs respectivement, mais pour la variété de l'orge, elle ne montre aucun effet significatif même aux conditions les plus sévères (0.6g/l).

D'une manière générale l'effet du l'acétate de plomb  $Pb(CH_3COO)_2$  est inversement proportionnel. Plus la concentration est élevée plus le TG est faible. Signalons par ailleurs, que la concentration 0.6g/l a provoqué une diminution du processus de germination chez les trois variétés de blé dur, de blé tendre et du maïs.



**Figure 04. Effets des différentes concentration en Pb  $(CH_3COO)_2$  sur le taux de germination des quatre variétés des céréales. \*\*\*, \*\* significatif à 0,1% et 1%**

### 1.3. Influence du plomb sur la vitesse de germination

Le coefficient de Kotowski exprime également la vitesse de germination des graines des quatre variétés des céréales. L'analyse statistique montre que ce paramètre varie d'une manière très hautement significative entre les doses appliquées, les quatre variétés étudiées et l'interaction entre variétés et doses ( $P=0.000$ ). La vitesse correspondant à la germination des graines traitées par l'acétate de plomb  $Pb(CH_3COO)_2$  diminue (Tableau 05). Cette diminution est d'autant plus grande que la concentration de l'élément trace est élevée. 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 de germination s'allongent à mesure que la concentration du plomb appliquée aux graines est élevée. Inversement, la vitesse de germination des graines de quatre variétés sera plus faible à mesure que la concentration de l'agent stressant est élevée.

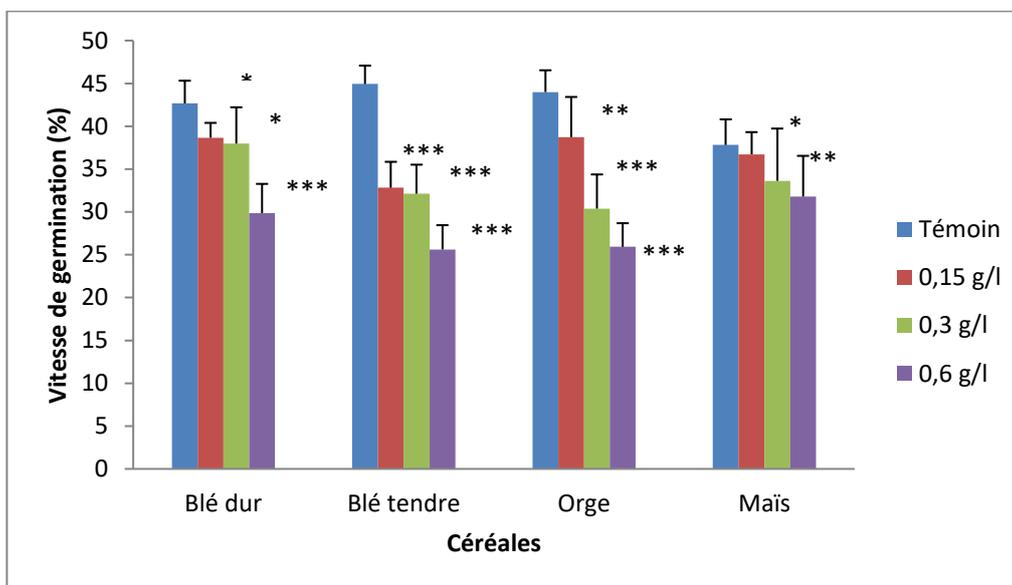
**Tableau 04. Analyse de la variance de la vitesse de germination des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb  $Pb(CH_3COO)_2$ .**

Paramètres	Effet variété (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
VG	6.78	0.000	110.44	0.000	7.69	0.000

Les résultats de la figure 5, illustrant l'effet des concentrations croissantes de  $Pb(CH_3COO)_2$  sur la vitesse de la germination exprimée par le coefficient de Kotowski, montrent que la présence de  $Pb(CH_3COO)_2$  ralentit la vitesse de germination des graines de toutes les variétés mais de façon différente. Par voie de comparaison, la vitesse de germination des graines témoins est de 42.66%, 44.93%, 43.99% et 37.81% pour les variétés de blé dur, de blé tendre, de l'orge et du maïs respectivement.

- Chez le blé dur la vitesse passe de 42,66% chez les plantes témoin à 38.66% (différence significative), 37.98%(différence significative) et 29.86% (différences très hautement significatives) respectivement chez les plantes stressées avec les concentrations 0,15 g/l, 0,3 g/l et 0,6 g/l de  $Pb(CH_3COO)_2$ .
- Pour la variété de blé tendre la VG diminue de 32.12%, à 25.92%(différences très hautement significatives) pour les concentrations 0,3g/l et 0,6g/l de  $Pb(CH_3COO)_2$  respectivement.

- En fait la vitesse de germination chez l'orge passe de 38,73% (différence hautement significative) pour la concentration 0.15g/l à 30,38% et 25.92% (différence très hautement significative) chez les plantes stressées par 0,3 g/l et 0,6 g/l de Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.
- Chez le maïs la VG diminue 33.63%(différence significative) et 31.79% (différence hautement significative) pour les plantes stressées avec les concentrations 0,3 g/l et 0,6 g/l de Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.



**Figure 05. Effets des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> sur la vitesse de germination des quatre variétés des céréales.\*\*\*, \*\*, \* significatif à 0,1% ; 1% ; 5% respectivement.**

#### 1.4. Influence du plomb sur la cinétique de germination

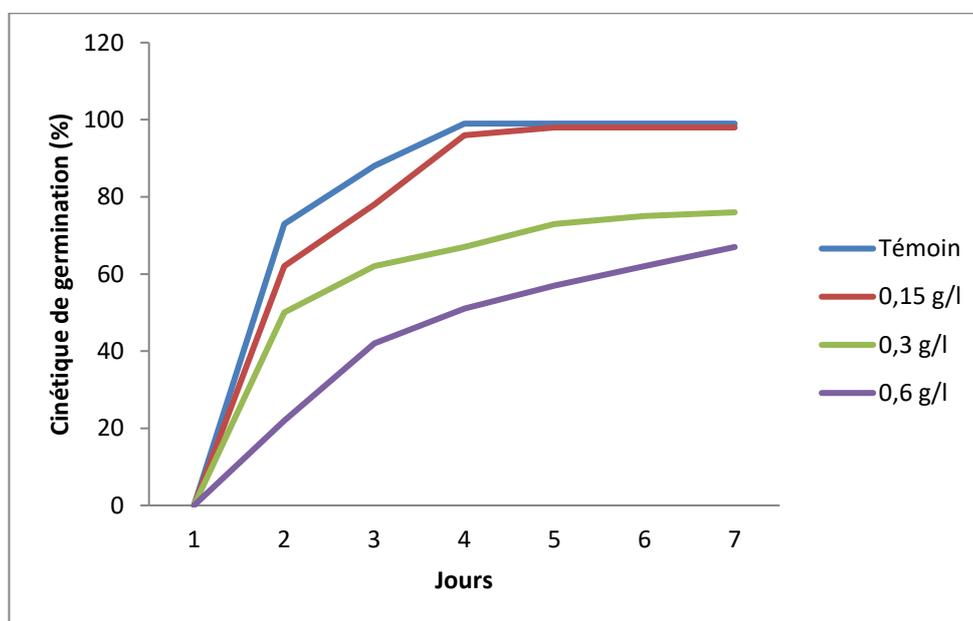
Les figures 06, 07, 08, 09 présentent l'évolution de la germination des quatre variétés des céréales en fonction du temps pour l'ensemble des traitements. Les résultats montrent que les courbes relatives aux taux de germination des graines traitées (stressées) sont situées au-dessous de celles des courbes témoins au fur et à mesure que la dose de plomb augmente. Les courbes de germination permettent de distinguer 3 phases:

**Phase I** : c'est la phase d'imbibition, qui correspond à l'entrée rapide et passive d'eau. Cette entrée d'eau est accompagnée d'une augmentation de la consommation d'O<sub>2</sub> attribuée à l'activation des enzymes mitochondriales (Heller, 2000). La durée de cette phase est variable selon la concentration de plomb. Elle est courte voire absente chez les plantes témoins et celles irriguées par une concentration de 0.15 g/L de plomb. Mais, elle devient plus au moins longue, surtout chez les graines soumises aux traitements de 0.3 g/l et 0.6g/l de Pb pour les quelles cette phase peut aller jusqu'à 4 jours.

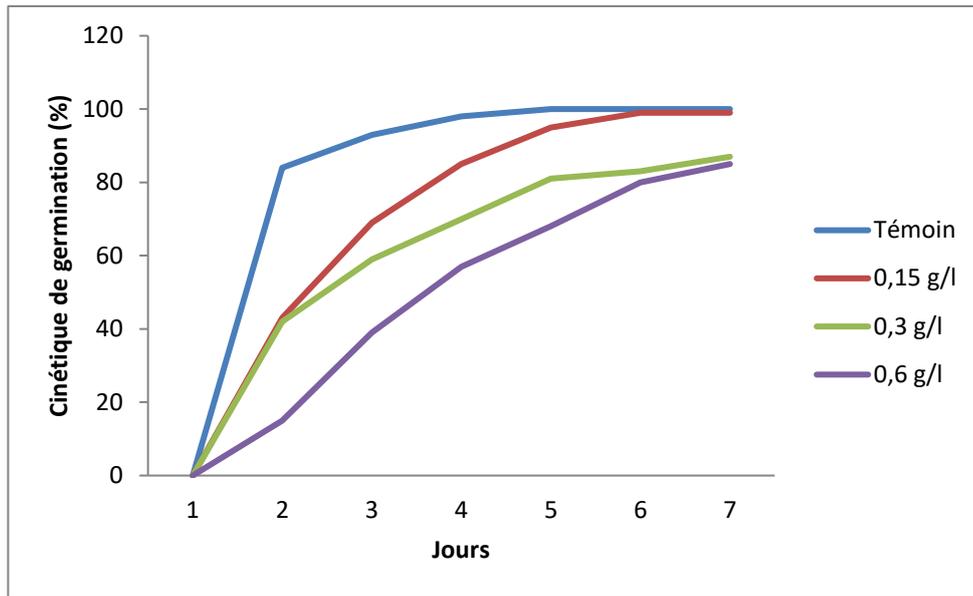
**Phase II** : c'est la phase de germination au sens strict. Elle est caractérisée par une diminution de l'entrée d'eau. L'hydratation des tissus et des enzymes est totale. Il y a reprise de la respiration et des activités métaboliques. Cette phase se termine avec la percée du tégument par la radicule (**Hopkins,2003**).En effet une augmentation rapide du taux de germination qui évolue proportionnellement au temps, du moins pour les plantes témoins et les plantes soumises à une concentration de 0.15 g/l. Pour les concentrations de 0.3 g/l et 0.6g/l, cette phase est très courte, ce qui explique le taux de germination réduit dû à l'effet inhibiteur du plomb sur la germination

**Phase III** : ou bien phase de croissance post-germinative, qui est caractérisée à nouveau par une entrée d'eau et une augmentation importante de la respiration. La consommation de l'O<sub>2</sub> serait due aux enzymes néo synthétisées (**Anzala, 2006**). Cette phase correspondant à un palier représentant le pourcentage final de germination et traduisant la capacité germinative de chaque variétés et pour chaque concentration. Il paraît que cette capacité germinative réduite pour toutes les variétés étudiées mais avec des degrés différents, selon l'espèce et la concentration de stress appliqué

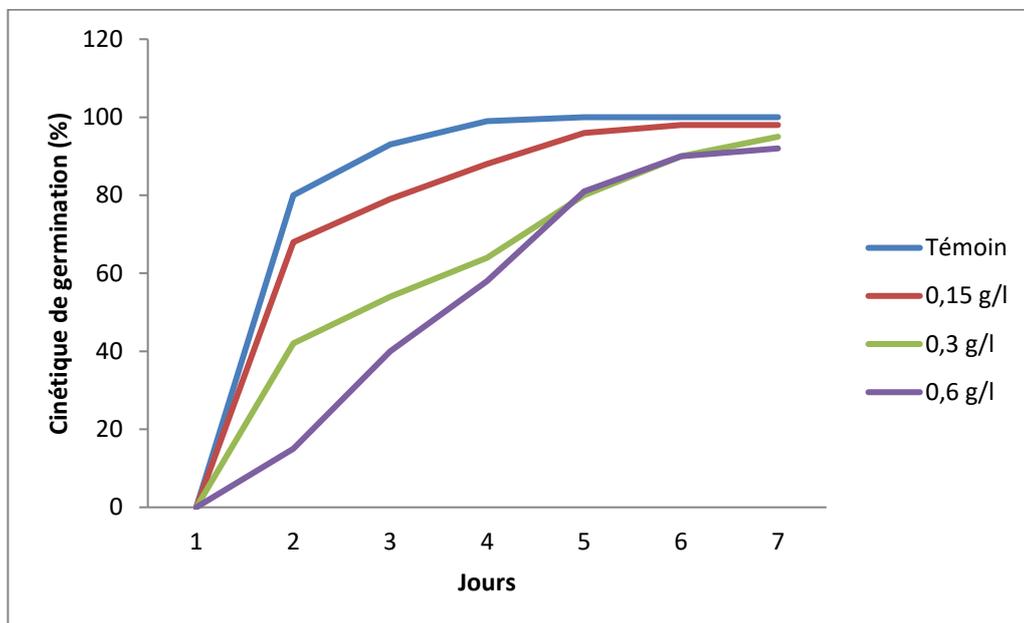
On remarque que la variété d'orge est la plus tolérante au plomb et évolue plus rapidement que les autres variétés, alors que la variété la plus sensible est le maïs. Les autres variétés (blé dur et blé tendre) ont un comportement intermédiaire.



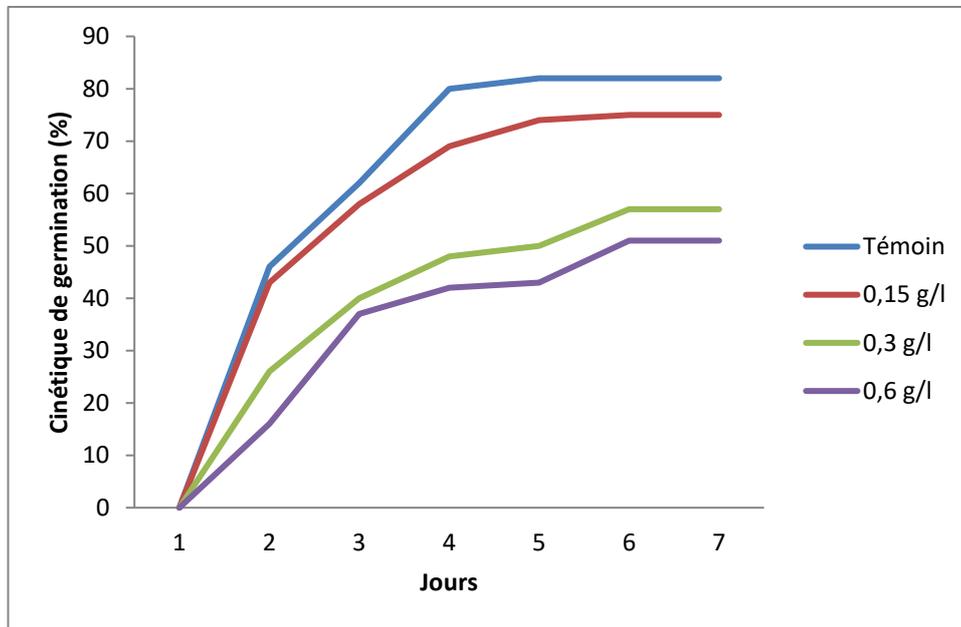
**Figure 06. Cinétique de la germination des graines (%) du blé dur sous l'effet des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.**



**Figure 07. Cinétique de la germination des graines (%) du blé tendre sous l'effet des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.**



**Figure 08. Cinétique de la germination des graines (%) de l'orge sous l'effet des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.**



**Figure 09. Cinétique de la germination des graines (%) du maïs sous l'effet des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.**

## 2. Discussion

Dans cette étude, la germination des graines des quatre céréales (*Triticum durum*, *Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare*, *Zea mays*) a été étudiée en réponse au stress métallique induit par l'acétate de plomb  $Pb(CH_3COO)_2$ . Les quatre variétés des céréales réagissent différemment au plomb au fur et à mesure que la dose s'accroît comparativement au témoin. Les résultats montrent que le plomb provoque une diminution significative à très hautement significative des paramètres germinatifs (la précocité, le taux, la vitesse et la cinétique de germination). Ces paramètres sont jugés en se référant à ce qui a été obtenu chez les graines témoins non traitées par l'agent contraignant. Le développement des plantes traverse plusieurs phases de croissance allant de graine (germination) à la graine (récolte). Ces phases sont bien distinctes du point morphologique. A cet effet, nous distinguons chez les céréales: la levée, le tallage, la montaison la floraison etc. Dans ce travail, nous sommes fixés à étudier l'impact de l'acétate de plomb uniquement sur la phase de germination.

Les résultats obtenus montrent que les graines témoins sont précoces dès le premier jour de semis, soit après 24 heures pour atteindre 73% suivent une évolution germinative très rapide et atteignent au deuxième jour un taux maximal de 84%. Également les graines stressées au  $Pb(CH_3COO)_2$  perdent leur précocité et marquent un retard au cours de la germination, la durée de ce retard dépend de la concentration de métal (une journée pour les graines stressées à 0.15g/l et 2 jours pour les graines stressées par (0.3g/l et 0.6g/l).

En effet, La germination est considérée comme une étape essentielle dans le cycle de développement de la plante, la réponse à l'acétate de plomb au stade de la germination des graines des céréales a été évaluée dans cette étude en suivant un ensemble de paramètres germinatifs. L'inhibition de la germination semble dépendre du métal, de sa concentration, de la durée d'exposition des graines, de l'espèce végétale, voire même de la variété et de la graine, notamment la nature de ses téguments (**Carlson, 1991 ; Munzuroglu, 2002**) et a été le plus souvent imputée à des perturbations dans le métabolisme respiratoire (**Bansal, 2000 ; Sharma, 2002**). **Ernst (1998)** a admis que la germination, qui est un processus certes vulnérable au stress métallique, serait un mécanisme des plus résistants parmi les autres phases du développement de la plante.

La germination ne doit pas être considérée comme processus tolérant ou résistant aux métaux lourds ; la vulnérabilité de la germination devrait être associée aux niveaux d'accumulation réelle des métaux qui interfèrent avec les voies métaboliques dans les tissus de la graine (**Mihoub, 2005**).

L'analyse des effets de plomb sur la faculté germinative des graines montre une diminution des taux de germination en passant des plantes témoins aux plantes traitées ; cependant, l'effet inhibiteur est minime et les pourcentages obtenus demeurent toujours élevés (70 % à la concentration de 0.6 g/l de l'acétate de plomb). Des études antérieures, **Seregin et Kozydinska, (1998)** ; **Sylwia (2009)** en fait les mêmes constats. En effet, il a été trouvé que le plomb induit une inhibition de la faculté germinative des graines du blé, du haricot (**Wixrbicka et Obidzinska, 1998**) et de la fève (**Pourrut, 2008**). Les taux de germination obtenus sont négativement corrélés aux concentrations en éléments pour l'ensemble des métaux testés. Ce travail est résumé par **Kranneret (2011)** qui affirment qu'à de fortes concentrations les métaux entraînent un déclin des taux de germination, mais cette dernière n'est jamais complètement inhibée. **Malkowski (2002)** ont montré que la croissance du maïs était inhibée par la présence de 10µM de plomb dans la solution de culture. L'auteur a suggéré que les barrières tégumentaires des graines y empêcheraient une forte accumulation des métaux lourds. Selon **Fernandes et Henriques (1991)** et **Woolhouse (1983)**, pour tout processus physiologique ou métabolique, ce sont les seuils critiques de phytotoxicité, définis en termes d'accumulation tissulaire, qui déterminent la sensibilité aux métaux lourds. Les chercheurs ont démontré que le plomb est rapidement accumulé dans les racines s'il est bio disponible dans la rhizosphère. Cependant, seule une proportion minime du métal absorbé est acheminée vers la végétation aérienne (**Kumar, 1995**).

Les résultats obtenus montrent que les concentrations toxiques en plomb, pour la croissance sont variables chez les variétés étudiées. Dans certaines recherches, cette variation est notée même entre les espèces. En effet, la toxicité du plomb dépend fortement des interactions de cet élément métallique avec les espèces végétales considérées et également du mode de culture et des facteurs environnementaux. Dans notre travail la concentration 0.3g/l est une concentration de diminution de la croissance des variétés étudiées. D'autres travaux, ont montré que pour des concentrations extractibles dans un sol atteignant 800 mg.Kg<sup>-1</sup> de sol, la croissance du Ray Grass n'était pas affectée (**Rooney, 1999**). Par contre, **Päivöke (2002)**, quant à lui a montré que la toxicité du plomb vis-à-vis du pois dépendait fortement de l'âge de la plante en plus de la concentration en plomb dans le sol. Il existe des variations inter- et interspécifiques des germinations des graines soumises à un stress métallique.

Selon (**Zhu, 2001**) c'est l'effet le plus commun des stress abiotiques sur la physiologie des plantes, la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique.

En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages seront irréversibles.

La croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'un génotype (**Zhu, 2001 ; Bois, 2005**). Chez plusieurs espèces végétales, le tégument assure une très haute protection contre les stress abiotiques, et les fortes variations interspécifiques des morphologies de ces téguments peuvent affecter leur perméabilité aux métaux (**Moise, 2005**). La perméabilité des téguments des graines dépend des propriétés physiques et chimiques des différents métaux (**Kranner et Colville, 2011**).

L'absorption racinaire a fait l'objet de nombreuses recherches sur diverses espèces végétales. De ce fait, ces études ont porté essentiellement sur les céréales, comme l'orge et le blé (**Tanton, 1971**), le maïs (**Tunget, 1996**). Ces travaux ont révélé que le plomb, après s'être fixé au rhizoderme, pénètre dans le système racinaire de façon passive et suivait le système de conduction de l'eau. Cette absorption n'est pas uniforme le long de la racine, puisqu'il existe un gradient de concentration en plomb dans les tissus à partir de l'apex, qui est la zone la plus concentrée (**Tunget, 1996 ; Seregin, 2004**). Les tissus jeunes, et en particulier la zone apicale (en dehors de la coiffe) où les cellules possèdent des parois encore fines, sont les zones absorbant le plus de plomb (**Wierzbicka, 1987 ; Tunget, 1996 ; Seregin, 2004**). Une fois le plomb pénétré dans le système racinaire, la très grande majorité du plomb va y rester (**Cunningham, 1996 ; Huang, 1997**). Bien qu'il existe quelques espèces capables de transférer de grandes quantités de ce métal vers les parties aériennes, la racine agit comme une barrière très efficace contre les mouvements du plomb à l'intérieur de la plante. Ce phénomène de barrière n'est pas commun à tous les ETM, et son intensité est très spécifique au plomb (**Huang, 1997**). A des doses létales, le plomb pénètre dans tous les tissus racinaires, et les membranes plasmiques ne semblent plus jouer leur rôle de barrière physique (**Seregin, 2004**). A ces concentrations, le plomb induit une désorganisation de ces dernières. Il peut alors pénétrer massivement dans le cytoplasme, le noyau et les différents organites, y compris ceux possédant des doubles membranes, comme les mitochondries (**Malecka, 2008**).

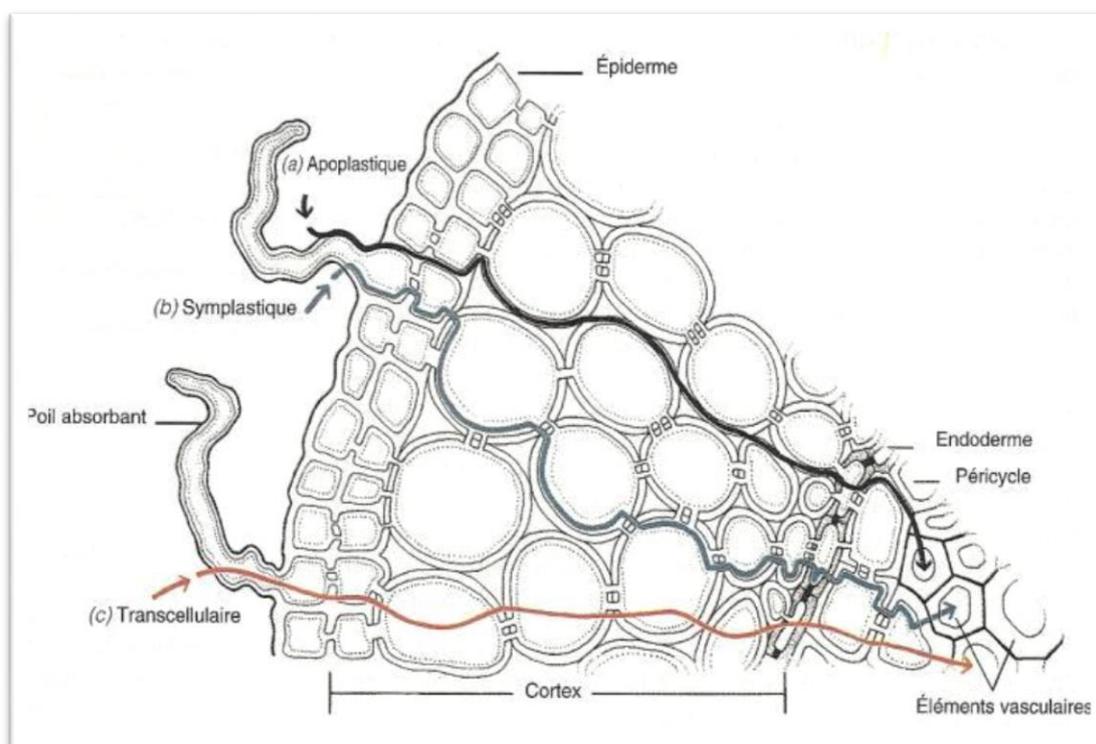
La voie principale d'absorption des métaux se fait par simple diffusion au travers de l'apoplasme du cortex racinaire. Les éléments métalliques migrent alors plus ou moins passivement (dans le sens des gradients électrochimiques) au travers des parois cellulaires par les pores du multiréseau pariétal constitué classiquement de microfibrilles de cellulose, hémicelluloses, pectines et glycoprotéines associées (**Bargagli, 1998**) (**Figure 10**).

**Le transport apoplasmique** est possible jusqu'à l'endoderme représenté par une rangée de cellules dont la paroi est subérifiée, c'est-à-dire recouverte d'une substance lipidique

impermeable. A ce niveau, le transfert des ETM vers les autres organes de la plante nécessite leur transport actif à l'intérieur des cellules racinaires pour qu'ils soient ensuite dirigés vers les vaisseaux conducteurs de sève brute (xylème) puis distribués dans les différentes parties aériennes de la plante.

Cette voie n'est cependant pas à négliger puisqu'elle peut être prépondérante pour certains cations métalliques qui entrent difficilement à l'intérieur des cellules ou qui se lient fortement à des composés de la paroi (Sharma et Dubey, 2005). Une partie des ions peut être adsorbée par les charges négatives des polymères pariétaux, en particulier les acides polygalacturoniques des pectines qui peuvent agir comme des échangeurs d'ions (Ernst, 1992 ; Hall, 2002).

**La voie symplasmique** suggère que les ETM traversent la paroi puis la membrane plasmique des cellules de l'endoderme pour ensuite se déplacer de cellules en cellules par l'intermédiaire des plasmodesmes. Dans ce cas, il s'agit d'une réelle absorption des éléments traces par la cellule végétale qui nécessite l'intervention de canaux ou transporteurs membranaires (Barber, 1995). Cependant, la toxicité engendrée par une concentration extra cellulaire élevée en ETM pourrait entraîner une perturbation de la perméabilité sélective des membranes cellulaires et ainsi favoriser l'entrée des ions à l'intérieur des cellules (Seregin, 2004).



**Figure 10 : Coupe transversale d'une racine montrant le transport des éléments traces par voie symplasmique ou apoplastique (d'après Bargagli, 1998).**

## Conclusion et perspectives

Notre travail expérimental a été effectué au laboratoire de biologie végétale, Département Biologie des Êtres Vivants, Université Larbi Tébessi, qui a mené sur l'impact d'une contamination en plomb sur des végétaux importants du point de vue économique et alimentaire en Algérie, notamment les céréales. Les variétés choisies blé dur (variété Vitron), blé tendre (variété HDR1), l'orge (variété Saida) et le maïs (Blanc) font partie des spéculations végétales les plus cultivées en Algérie ces derniers temps grâce à leurs caractéristiques, biologiques et agronomiques. À travers ce travail, nous avons pu recueillir un maximum de données intéressantes concernant la germination des plantes soumises à différentes concentrations en plomb et sur certains paramètres conduisant à sa phytotoxicité. Ceci, nous a permis d'avoir une connaissance partielle sur l'adaptation et la vulnérabilité de ces espèces étudiées par rapport à la contrainte métallique.

En effet, les résultats obtenus à l'issue de ce travail, montrent que: le plomb a exercé un effet négatif sur tous les paramètres germinatifs et que la concentration 0.6g/l est une concentration de diminution des paramètres étudiés (la précocité, le taux, la vitesse et la cinétique de germination) des jeunes plantules des quatre variétés étudiées. Signalons par ailleurs, que la variété d'orge est la plus résistante au stress métallique.

Au terme de ce travail consacré dans nos expérimentations sous effets de l'acétate de plomb sur la germination des graines des *Triticum durum*, *Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare* L et *Zeamays*, on souhaite continuer sur la même lancée et se projeter sur une étude à mener directement sur les jeunes plantules avec les effets de cet élément trace. Il sera souhaitable de développer beaucoup parmi tous ces aspects proposés :

- ✓ L'influence des sels métalliques sur le développement de plantes des céréales, la croissance de leurs racines et éventuellement jusqu'à la floraison (l'embryon).
- ✓ L'accumulation des métaux lourds dans les tissus végétaux.
- ✓ Utiliser plusieurs variétés.
- ✓ De compléter le travail par des études traitant des aspects biochimiques tel que le dosage de l'activité amylasique, les sucres solubles....etc.
- ✓ Une étude histologique des axes embryonnaires des graines germées.

## Les Références Bibliographiques

### A

- **Abbas, K. A. Abdelguerfi. (2008).** Evaluation of a regenerated natural meadow in a semi-arid area of Algeria. *Option méditerranéennes A*. 79: 179-185.
- **Abeledo L. G., Savin R., Gustavo A., Slafer G. A. 2008.** Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European journal of Agronomy*. 28: 541-550. **Anonyme. 2012**
- **Abrahams; P.N.; (2002).** Soils their implications to human health the science of total Environment 291.1-32.
- **Adli C .M Mouran; 2015; 1996:** Oxidative damage and defence mechanism in primary leaves of *Phaseolus vulgaris* as a root assimilation of toxic amounts of copper. *Plant*. 96: 506-512.
- **Adriano, D.C., (2001):** *In: Trace Metals in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals*, Springer-Verlag, New York, pp. 866 Second ed.
- **Ahrned MH, Keyes TE, Byrne JA, Blackledge CW, Hamilton JW (2011)** Adsorption and photocatalytic degradation of human serum albumin on TiO<sub>2</sub> and Ag-TiO<sub>2</sub> films. *J Photochem Photobiol A* 222: 123-131

### B

- **Bajji, M., (1999).** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse variants somaclonaux sélectionnés in vitro. Thèse de doctorat, faculté des sciences, université catholique de Louvain.
- **Baker, A.L.M. (1981).** Accumulators and excluders - Strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition* 3:643-654
- **BANSAL, P. & SHARMA, P. (2000).** Effect of Pb<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> on respiration and mitochondrial electron transport chain in germinating seeds (*Pisum sativum* L.). *Indian J. Environ. Ecoplan.*, 3: 249-254.
- **BANSAL, P., SHARMA, P. & GOYAL, V. (2002).** Impact of lead and cadmium on enzyme of citric acid cycle in germinating pea seeds. *Biol. Plant*, 45:125-127.
- **Bencharif A.; C haulet C.; C hehat F.; Kaci M.; Sahli Z. (1996).** La filière blé en Algérie. Paris: Karthala CIHEAM.

- **Bouchoukh I., (2010).**Comportement écophysologique de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin .p 16- 29- 6 -35
- **ARBAOUI M, BENKHELIFA M., BELKHODJA M, 2000:** Réponses physiologiques de quelques variétés de blé dur à la salinité au stade juvénile. Option méditerranéenne. Pp.267-270.
- **Benkoli, 2016** Growth reduction in american sycamore *Platanus occidentalis* L.) caused by lead, Cd interaction. Environ.pollut. 12: 243-253.
- **Bourellier PH., Berthelin J., 1998.** Contamination des sols par les éléments traces: les risques et leur gestion. Académie des sciences, Technique et documentation, Rapport n°42, Lavoisier, 440p.
- **Bouzerzour,H., Djekoun, A. Benmahammed, A. Hassous,K.L. (1998).** Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement grain de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone d'altitude. *Cahiers de l'Agriculture*, 8:133-137
- **Buchanan, H ; Djekoun (2002)** Induction of enzyme capacity in plants as a result of heavy metal toxicity: dose-reponse relations in *Phaseolus vulgaris* L., treated with zinc and cadmium

## C

- **CARLSON, C.L., ADRIANO, D.C., SAJWAN, K.S., ABELS, S.L., THOMA, D.P. & DRIVER J.T. (1991).** Effects of selected trace metals on germinating seeds of six plant species. *Water, Air, Soil Pollut.*, 59: 231-240. CHUGH, L.K
- **Cecchi, M. (2008).** "Devenir du plomb dans le système Sol-Plante: Cas d'un sol contaminé par une usine de recyclage du plomb et de deux plantes potagères (Fève et Tomate)." Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, P. 217
- **Chaignon V, 2001:** Biodisponibilité du cuivre dans la rhizosphère de différentes cultivées. Cas de sols viticoles contaminés par des fongicides. Thèse de Doctorat. Université d'Aix-Marseille. Cunningham, S.D., and W.R. Berti, and J.W. Huang; 1995.
- **Chellali,B.(2007).**Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghreb.dz.com/admin/folder01/une.pdf>
- **CIC. 2007.** International Grains Council. World Grains Statistics, p13-17.

- **Come, C. (1970).** Les obstacles à la germination. Masson (Ed.), Paris.
- **Cunningham, S.D., and W.R. Berti, and J.W. Huang; 1995.** Phytoremediation of contaminated soils. Trends Biotechnol. 13, 393-397.
- **Cunningham S. D. and Berti W. R. (1993)** Remediation of contaminated soils with green plants: an overview, In Vitro Cell. Dev. Biol. , 29,207-212.

## D

- **Djermoun A. 2009.** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. Nature et Technologie, p 45-53.
- **Ditez ; K. J.; Bair ; M kramer ; U.; 1999.** Free radical and reactive oxygen species as mediators of heavy metal toxicity pp .73 97.
- **Dukeret, N .2005**Lead uptake and effects on seed germination and plant growth in a Pb hyperaccumulator *Brassica pekinensis* Rupr. Bull. environ.contam.Toxicol.60 :285-291.
- **Donmez, E., Sears, R.G. Shroyer J.P. et Paulsen,G.M. (2000).** Evaluation of Winter Durum Wheat for Kansas. Kansas State University Agricultural Experiment Station, and Cooperative Extension Service. Publication, 1:172-180.
- **Do Nascimento CWA & B Xing. 2006.** Phytoextraction: a review on enhanced metal bioavailability and plant accumulation. Scientia Agricola 63,299-311.

## E

- **Erust W HO (1998).** Effects of Heavy metals in plants at the cellular and organism level. Ecotoxicologie humaine G et Markert B J Wiley sans Inc Spectrum Akademischer Verlag 587-64.

## F

- **FAO., (2016).**Le marché mondial du blé. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/f>
- **Favas PJC, Pratas J, Varun M, D'Souza R & Paul MS, 2014.** Phytoremediation of Soils Contaminated with Metals and Metalloids at Mining Areas: Potential of Native Flora "Environmental Risk Assessment of Soil Contamination", 17.
- **Feilet, P., (2000) :** Le grain de blé, composition et utilisation. Edition INRA, Paris : 23 25pp.

- **FERNANDES, J.C. & HENRIQUES, F.S. (1991).** Biochemical, physiological and structural effects of excess copper in plants. *Bot. Rev.*, 57: 246-273.

## H

- **Haridi F Z (2012)** .l' évaluation citoyenne et lestratégie de préservation du patrimois naturelle; Algérieuniversité de Guelma(Algérie) 17<sup>ème</sup> .colloque international en évaluation envrimental du 12 au 15 juin
- **Heller, R., Esmarlt, R., Cauce C., 2000.** Physiologie végétale Tome 2. Developpement. Ed. 6. Dunod. 366 pages.
- **Hernardez -echac I. ; Garcia – vargas G. ; lopez.; -carillo L ; RUBRO – Anddrad M .; 2005 10 w lead envrimental exposure alters seines quality sperme chromatine condonsation in northen Mexico reproduction Toxicologie 20 (2) :22**
- **Hervieu B., Capone R., Abis S. 2006.** The challenge posed by the cereals sector in the Mediterranean. Ciheamnnal ytical note. 9: 14.
- **Hopkins, W.G., (2003)** Physiologie végétale, Ed De Boek et Larcier, ISBN 2-7445-0089-5, 287-333.
- **Hung J W. et cunninghan S D (1996)** .Lead phytoextraction: Species varriation in lead upta.
- **Heller R; ESNAULT R. et LANCE C., 2000.** Physiologie végétales 2 Développement. Ed Dunod. Paris .pp 64-260.
- **Hajlaoui ;Denden ; Bouslama,M 2007 - Etude de la variabilitéintraspcifique de tolérance au stress salin du pois chiche au stade germination . TROPICULTURA .2007 ,25 ,3 ,168-173.**

## I

- **ISTA. (2003)** .International Rules for Seed Testing. Zurich, Switzer land.

## J

- **Jarup L .(2003)** Hazard of Heavy metal contamination Med bull 68 (1) : 167 -182
- **Johnson, W.C. (1999).** Analyzing protein circular dichroism spectra for accuratesecondary structure. *Proteins. Struct. Funct. Genet.* 35: 307-312.Joly, D., Bigras,

- **Jemail F. et Ghorbal M. H (2002)** .phytoremediation, revue H .T .E n122 pp 49-60.

## K

- **Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (2001)**.Trace elements in soils and plants. 3rd CRC Press, Boca Raton, London, New-York, Washington D.C.
- **Kalis E.J., Temminghoff, E.J., Visser, A. and Van Riemsdijk, W.H. (2007)**. Metaluptake by *Lolium perenne* in contaminated soils using a four-step approach. *Environ Toxicol Chem.* 26: 335-345
- **Kara K. (2015)** .Interactions génotype-milieu de variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous stress hydrique. Thèse de doctoral. Les bases Biologiques de la production végétale, Université des Frères Mentouri .Constantine .P.
- **Kara Y., Bellkhiri C. E. (2011)**. Etude des caractères d'adaptation au déficit hydrique de quelques variétés de blé dur et d'espèces sauvage apparentées : intérêt potentiel de ces variétés pour l'amélioration de la production, 119p
- **Kaur,J, Duffus,C.(1989)**. The effect of naf on cereal seed germination and seeding growth. *Plant Cell and environment.* 12 :154
- **Kaumar PBRN Dushenkov V Motzo H et Raskin I (1995)**. Phytoextraction: the use of plante to remove Heavy metal from soils .*Environmental science technologie* 29: 1232-1238.
- **Koller A, D Blaudez, M Chalot, & F Martin. 2004**. Cloning and expression of metallothioneins from hybrid poplar. *New Phytologist* 164, 83-93.
- **Kramer P.J.; 2014** Plant and Soil Water Relationships, Tata McGraw-Hill, Bombay

## L

- **Lizzer,J Kolren; E.(2015)** the effects of lead on the structure and the function in wheat plastids *Acta bot. croat.* 39:33-40.
- **Levitt J., 1980**. Responses of plants to environmental stresses. I chilling, freezing, and high temperature stresses. 2 ed. Academic press. NY. 640 pp.

## M

- **Malecka A; piechalak A; etTomaz; ewska B (2008).** Accumulation of lead in root cells of *Pisum Sativum*. *Acta phsico plante* 30:629 -637.
- **Marques Ana P.G.C, Moreira H, Rangel António O.S.S, Castro Paula M.L, 2009b.** Arsenic/lead and Nickel accumulation in *Rubus ulmifolius* growing in contaminated soil in Portugal. *J. Hazard. Mater.* 165 ,174–179.
- **Marques Ana P.G.C, Rangel Ant´ Onio O. S.S, And Castro Paula M. L, 2009a.** Remediation of Heavy Metal Contaminated Soils: Phytoremediation as a Potentially Promising Clean-Up Technology *Critical Reviews in Environ. Sci. Technol.* 39, 622–654.
- **McGrath, S.P., 1998.** Phytoextraction for Soil Remediation. In: Brooks, R.R. (Ed.). *Plants that hyperaccumulate heavy metals.* CABI Publishing, Wallingford, pp. 261-287.
- **Meziani, 2015** Biphasic effect of copper on the ascorbate-gluthatione pathway in primary leaves of *Phaseolus vulgaris* seedlings during the early stage of metal assimilation. *Physiol. Plant.* 110:512-517.
- **MOISE, J.A., HAN, S., GUDYNAITE-SAVITCH, L., JOHNSON, D.A. & MIKI, B.L.A. (2005).** Seed coats: structure, development, composition, and biotechnology. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant*, 41: 620-644
- **Michel, H., Deisenhofer, J (2014).** Relevance of the photosynthetic reaction center from purple bacteria to the structure of Photo system II, *Biochemistry.* 27: 1-7.

## N

- **Newman L.A., Reynolds C.M .2004.** Phytodegradation of organic compounds. *Current Opinion in Biotechnology* 15 : 225-230

## P

- **Pendias H . L Radiun, 2001.** Elément d'écologie, écologie appliquée, action de l'homme sur la biosphère. Edisa, p.114 -115.
- **Pichard 2002** plomb et ses derive Fiche INERRIS.
- **Prasad MNV & HMD Freitas. 2003.** Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology* 6, 285-321.

## R

- **Raskin I., Kumar N. P. B. A., Dushenkov S., and Salt D. E. ,1994.** Bioconcentration of heavy metals by plants. *Curr. Opin. Biotechnol.* 5, 285-290.
- **Rasmusson, D.C. (1992).** Barley breeding at present and in the future. *In Munck L (ed.): Barley Genetics VI, vol. II., Munksgaard Int. Publ. Ltd., Copenhagen. 865-877.*
- **Rastoin J. L., Benabderrazik H. 2014.** Céréales et oléo protéagineux au Maghreb, 6p.
- **Rengel, Z. (1999).** Heavy Metals as Essential Nutrients. In: Prasad, M.N.V. & Hagemayer, 1. (Eds.). Heavy metal stress in plants: From molecules to ecosystems. Springer-Verlag, Berlin. 231-251.
- **Ben Naceur M., Rahmoun C., Sdiri H., Meddahi ML. Et Selmi M., Sécheresse, 12, (2001), 167-174.**

## S

- **Saatgutkaufleute Österreichs. 2010,** P. 147-154. LFZ Raumberg Gumpenstein, Irdning, Austria
- **Salt DE, Smith RD, Raskin I, 1998.** Phytoremediation. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 49: 643-668
- **Schilling, A.S., Abaye A.O., Griffey, C.A., Branna, D.E., Alleya, M.M. et Pridgen, T.H. (2003)** Adaptation and Performance of Winter Durum Wheat in Virginia. *Agron J.*, 95: 642-651
- **Schuhwerk, D., Nakhforoosh, A., Kutshka, S., Bodner, G., Rausgruber, H. (2011).** Field screening of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) for drought tolerance. *In Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter*
- **Sharma, P and Dubey, R.S. (2005).** "Lead toxicity in plants." *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17:35-52.
- **Seregin IV et I ; Vance VB (2001).** physiological respects of cadmium and lead toxic Effects on Higher plants "Russian journal of plants physiologie 48-523 -549
- **Seregin IV .; Schpigon LK et Ivanov VB .; .(2004).** Distribution and toxic effects of cadmium and lead on maize roots ; *Russian journal of plants physiologie* 51 (4): 525 – 533

## T

- **Tadger R. 2015.** Légère hausse de la production de céréales en 2015. [En ligne], Adresse URL : légère-hausse-de-la-production-de-céréales-en-2 . Page consulté (24/05/2016).
- **Tanton , T. W and Crowdy, S.H. (1971).** "The distribution of lead chelate in the transpiration stream of higher plants." *Pesticide Science* 2(5): 211-213.
- **Tung, G and Temple, P.J.(1996).** "Histochemical detection of lead in plant tissues." *Environ Toxicol and Chem* 15(6): 906-914

## V

- **Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Ruttens, A., Thewys, T.,** Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques Vol(2). Les presses agronomiques de GEMBLOUX, A.S.B.L
- **Vangronsveld J., Herzig R., Weyens N., et al., 2009).** Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. *Environmental Science and Pollution Research* 16 (7): 765-794.

## W

- **Wang W., B. Vinocur, A. Altman. 2003.** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance. *Curr. Opin. Biotech.*, **12**: 144–149
- **WOOLHOUSE, H.W. (1983).** Toxicity and tolerance in the responses of plants to metals. Pp 245-300 *in*: O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond & H. Ziegler (eds), *Encyclopaedia of Plant Physiology*, New Series 12C, Springer-Verlag, Berlin.

## Z

- **Zhu, J-K. (2001).** Plant salt tolerance. *Trends Plant Science*, 6: 66 - 71.
- **Zhu J.K. (2005)** Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 6: 41- 45
- **Zhang S., Z. Xu, P. Li, L. Yang, Y. Wei, M. Chen, L. Li, G. Zhang, Y. Ma.,(1999).** Over expression of TaHSF3 in transgenic Arabidopsis enhances tolerance to extreme et temperatures. *Plant Molecular Biology Reporter*, 31: 688–697.