

**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 de Biologie des Etres Vivants**

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

**Option : Biotechnologie des Plantes Médicinales**

**Thème :**

**Caractérisation des réponses morpho-physiologiques de résistance des**  
**céréales aux polluants chimiques**

**Présenté par: GASSARELLIL Zina**

**GHARBI Ahlem**

**Soutenu le 29-05-2017, devant le jury composé de :**

<b>Président</b>	<b>Dr. MAALEM Souheil</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Université de Tébessa</b>
<b>Rapporteur</b>	<b>Dr. SOUABI Hana</b>	<b>M.C.B</b>	<b>Université de Tébessa</b>
<b>Examinatrice</b>	<b>Dr. ALAYAT Amel</b>	<b>M.C.B</b>	<b>Université de Tébessa</b>

**Année universitaire :2016/2017**

## Remerciements

**Nous remercions d'abord ALLAH de nous avoir données la patience et le courage d'accomplir cet humble travail.**

**فَاللّٰهُمَّ لَكَ الْحَمْدُ كَمَا يَنْبَغِي لِجَلَالِ وَجْهِكَ وَعَظِيمِ سُلْطَانِكَ.**

**Nous adressons notre plus vif remerciement à notre rapporteur Dr. SOUABI Hanna, pour avoir bien voulu nous encadrer, pour sa patience, son aide, ses conseils et encouragements, pour le temps qu'elle nous a consacré pour réaliser ce travail.**

**Nous remercions chaleureusement l'ensemble des membres de jury : Dr. MAALEM Souheil et Dr. ALAYAT Amel, pour avoir accepté de faire partie du jury et pour le temps qu'ils ont consacré pour avoir bien évalué ce travail.**

**Nous tenons aussi à remercier toute l'équipe des laboratoires de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie à l'Université Larbi Tébessi -Tébessa, particulièrement Mr. Hamdi pour leur gentillesse et professionnalisme.**

**Nous adressons nos plus sincères remerciements à nos familles ; nos parents, nos sœurs, nos frères et tous nos amis, qui nous accompagnons, aident et encouragent tout au long de la réalisation de ce mémoire.**

**Remercions aussi toutes les personnes qui ont aidé de près ou de loin à notre élaboration de ce mémoire.**

## Résumé

La pollution métallique pose un problème particulier, car les métaux ne sont pas biodégradables. En outre, tout au long de la chaîne alimentaire, certains se concentrent dans les organismes vivants. Ils peuvent ainsi atteindre des taux très élevés dans certaines espèces consommées par l'homme, principalement les céréales considérées comme aliment essentiel dans le bassin méditerranéen.

Notre travail a pour objectifs d'évaluer l'impact du plomb sur quatre céréales (blé dur, blé tendre, orge et triticales). Pour cela nous avons suivi au sein de laboratoire le développement de ces graines qui ont été soumises à un stress métallique pendant 14 jours et ce, à travers quelques paramètres morphologiques (la germination, le nombre des racines et la longueur des racines) et d'autres physiologiques (la perméabilité membranaire et la teneur des pigments photosynthétiques), ainsi l'action de différentes concentrations : 0g/l, 0,15g/l, 0,3g/l et 0,6 g/l de l'acétate de plomb Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> a pu être évaluée sur les plantes.

Les résultats obtenus ont montré que d'une manière générale, les génotypes étudiés sont sensibles à ce métal surtout à la concentration 0,6g/l, où nous avons remarqué une réduction très hautement significative du taux de germination chez le blé dur et le triticales respectivement. Aussi avec cette même concentration on a observé une diminution très hautement significative de la vitesse de germination chez le blé tendre. Au niveau de système racinaire le plomb génère un important stress oxydatif, qui se traduit par une diminution très hautement significative de la longueur des racines des quatre génotypes pour toutes les concentrations appliquées. Ainsi, une diminution significative du nombre des racines des plantes des céréales sous l'effet de 0,6g/l d'acétate du plomb. Sur le plan physiologique, les résultats obtenus montrent que le stress métallique a entraîné une réduction de la teneur relative en eau et des teneurs en chlorophylles (chl *a*, chl *t* et caroténoïdes) chez le triticales avec la concentration 0,6g/l de Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>. Cette même concentration a induit une réduction significative de la teneur en caroténoïdes chez le blé dur par rapport au témoin. Cependant l'indice de tolérance et les réponses variables du système de défense des quatre variétés aux effets toxiques des métaux lourds nous permettent de conclure que le blé dur et l'orge présentent les céréales les plus résistantes à la présence du plomb par contre le blé tendre et le triticales sont les plus sensibles.

**Mots clés : céréales, acétate de plomb, paramètres morphologiques, paramètres physiologiques, résistance.**

## **Abstract**

Metallic pollution is a particular problem because metals are not biodegradable. In addition, along the food chain, some are concentrated in living organisms. They can thus reach very high levels in certain species consumed by man, mainly cereals considered as essential food in the Mediterranean basin. Our work aims to evaluate the impact of lead on four cereals (durum wheat, soft wheat, barley and triticale). For this reason we have followed the development of these seeds under a metal stress during 14 days, through some morphological parameters (germination, number of roots and length of roots) and other physiological (The membrane permeability and the content of the photosynthetic pigments) in order to elucidate the action of different concentrations: 0 g/l, 0.15 g/l, 0.3 g/l and 0.6 g/l of lead acetate  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  on the plants.

The results obtained show that, in general, the varieties attributed are sensitive to this metal, especially at the concentration 0,6 g/l, where we have noticed a very highly significant and highly significant reduction in the germination rate in durum wheat and triticale respectively. Also, with this same concentration, there was a very highly significant reduction in the germination rate in soft wheat. At the root system level, lead generates an important oxidative stress, which results in a very highly significant decrease in the root length of the four varieties for all applied concentrations. Thus a significant to very highly significant decrease in the number of roots of cereal plants under the effect of 0,6 g / l of lead acetate. On physiological level, the results obtained show that metallic stress caused a reduction in relative water content and chlorophyll contents (chl *a* and chl *t*) in triticale with the concentration of 0.6 g/l  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ . This same concentration induced a significant reduction in carotenoid content in durum wheat as compared to the control. However, tolerance index and the variable responses of defense system of four varieties to the toxic effects of heavy metals allow us to conclude that durum wheat and barley show the cereals that are most resistant to the presence of lead, Tender and triticale are the most sensitive.

**Key words: cereals, lead acetate, morphological parameters, physiological parameters, resistance.**

يعتبر التلوث بالمعادن مشكلة خاصة ولكون المعادن غير قابلة للتحلل. فهي تتواجد على امتداد السلسلة الغذائية، وبعض التركيز منها في الكائنات الحية. إذ يمكن أن تصل إلى مستويات عالية جدا في بعض الأنواع المستهلكة من قبل الإنسان، وخاصة الحبوب والذي يعتبر الغذاء الأساسي في منطقة البحر الأبيض المتوسط.

يهدف عملنا تقييم تأثير الرصاص على أربعة أصناف من الحبوب (القمح الصاب، القمح اللين، الشعير و الترتكال) لهذا قمنا في المختبر بمتابعة تطوير هذه البذور من خلال التعرض لإجهاد المعادن لمدة 14 يوما، وأنه من خلال بعض الخصائص المورفولوجية (الإنتاش، طول الجذور و عددها) و الفسيولوجية (نفاذية الغشاء ومحتوى اليخضور الضوئي)، من أجل إلقاء الضوء على تأثير التراكيز المختلفة لأملاح الرصاص  $Pb(CH_3COO)_2$  ( 0 غ/ل ، 0.15 غ/ل ، 0.3 غ/ل و 0.6 غ/ل) على النباتات .

أظهرت النتائج أنه وبشكل عام، حساسية جميع الأصناف خاصة عند التركيز 0.6 غ/ل ، حيث لاحظنا تراجع هام وانخفاض كبير للغاية في الإنبات في القمح الصلب و الترتكال على التوالي. أيضا مع هذا التركيز كان هناك انخفاض كبير جدا في سرعة إنتاش القمح اللين. ظهور التأثير التاكسدي للرصاص في النظام الجذري وبشكل هام جدا، مما يؤدي إلى انخفاض كبير جدا في طول جذور الأصناف الأربعة لجميع التراكيز المطبقة أما عدد الجذور فكان التأثير عند 0.6 غ/ل . من الناحية الفسيولوجية، فقد بينت النتائج أن الإجهاد المعدني قد قلل من محتوى الماء النسبي ومحتوى الكلوروفيل (كلوروفيل أ و كلوروفيل الكلي) في الترتكال عند تركيز 0.6 غرام / لتر هذا التركيز يسبب انخفاض كبير في محتوى صيغة كاروتين القمح الصلب مقارنة بالشاهد. من خلال مؤشر المقاومة واختلاف الاستجابة لنظام الدفاع للأصناف الأربعة بالنسبة إلى التأثير السام للمعادن الثقيلة أن نستنتج أن القمح الصاب والشعير الأكثر مقاومة لوجود الرصاص في حين كان كل من القمح اللين والترتكال الأكثر حساسية.

**كلمات مفتاحية:** الحبوب، املاح الرصاص، الخصائص المورفولوجية و الخصائص الفسيولوجية ، مقاومة.

# Sommaire

Remerciements	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Résumé	
Abstract	
المخلص	
I. Introduction générale	1
1. Contexte général	1
2. Objectifs de l'étude	9
II. Matériel et méthodes	10
1. Matériel végétal	11
2. Protocole expérimental adopté	12
2.1. Condition de culture des graines	12
2.2. Essai de germination	12
3. Méthodes et mesures effectuées	13
3.1. Les paramètres morphologiques	13
3.1.1. Nombre moyen de racines (NMR)	13
3.1.2. Longueur moyenne des racines (LMR)	14
3.2. Les paramètres physiologiques	14
3.2.1. Taux de germination	14
3.2.2. Vitesse de germination (VG)	14
3.2.3. Cinétique de la germination (CG)	15
3.2.4. Indice de tolérance	15
3.2.5. Analyse de la perméabilité membranaire	15
a. La teneur relative en eau	15
b. Analyse des lipoperoxydes membranaires	16
3.2.6. Extraction et dosage des pigments assimilateurs	16
4. Traitement de données et analyse statistique	17
III. Résultats et Discussion	18
III.1. Résultats	18
III.1.1 Impact du plomb ( $Pb(CH_3COO)_2$ ) sur la synthèse des paramètres morphologiques au niveau des Plantes des quatre céréales	18

a. Influence du plomb sur le nombre des racines.....	18
b. Influence du plomb sur la longueur des radicules.....	19
III.1.2. Impact du plomb (Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> ) sur la synthèse des paramètres physiologiques au niveau des Plantes des quatre céréales.....	22
a. Influence du plomb sur le taux de germination .....	22
b. Influence du plomb sur la vitesse de germination.....	23
c. Influence du plomb sur la cinétique de germination .....	25
d. Influence du plomb sur la croissance et la teneur relative en eau .....	27
e. Influence du plomb sur la synthèse du Malondialdéhyde .....	28
f. Influence du plomb sur la synthèse des pigments photosynthétiques .....	29
Au niveau de la teneur en chlorophylle <i>a</i> .....	29
Au niveau de la teneur en chlorophylle <i>b</i> .....	31
Au niveau de la teneur en chlorophylle totale .....	32
Au niveau de la teneur en caroténoïdes .....	33
g. Indice de tolérance.....	34
III.2. Discussion.....	36
Conclusion et perspectives .....	43
Références bibliographiques .....	45

## Liste des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	Description des principales variétés de céréales étudiées.	11
<b>02</b>	Composition chimique de la solution nutritive.	13
<b>03</b>	Analyse de la variance du nombre des racines (NR) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	18
<b>04</b>	Analyse de la variance de la longueur des radicules (LR) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb	19
<b>05</b>	Analyse de la variance du taux de germination (TG) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	22
<b>06</b>	Analyse de la variance de la vitesse de germination (VG) des plantes des quatre céréales.	24
<b>07</b>	Analyse de la variance de la teneur relative en eau (TRE) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	27
<b>08</b>	Analyse de la variance du MDA des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	28
<b>09</b>	Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle a (chl <i>a</i> ) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	30
<b>10</b>	Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle b (chl <i>b</i> ) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	31
<b>11</b>	Analyse de la variance de chl totale des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	32
<b>12</b>	Analyse de la variance de la teneur en caroténoïde des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	33



## Liste des figures

Figure	Titre	Page
<b>01</b>	Devenir des polluants inorganiques (point rouge) en fonction de la méthode de phytoremédiation utilisée.	05
<b>02</b>	Schéma d'une coupe transversale de racine indiquant le transport apoplastique et symplastique des ions.	06
<b>03</b>	Dispositif expérimental	09
<b>04</b>	Effets des différentes concentrations en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> sur le nombre des racines des quatre concentration variétés des céréales.	19
<b>05</b>	influence du stress métallique sur la longueur racinaire des quatre variétés des céréales.	21
<b>06</b>	Effets des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> sur la longueur des radicules des quatre variétés des céréales.	22
<b>07</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.	23
<b>08</b>	Effets des différentes concentrations en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> sur la vitesse de germination des quatre variétés des céréales.	24
<b>09</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> .	25
<b>10</b>	Cinétique de la germination des graines (%) de triticales sous l'effet des différentes en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> .	25
<b>11</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> .	26
<b>12</b>	Cinétique de la germination des graines (%) d'orge sous l'effet des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> .	26
<b>13</b>	Effets des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> sur la teneur relative en eau des quatre variétés des céréales	28
<b>14</b>	Effets des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> sur les moyens du MDA des quatre variétés des céréales.	29

<b>15</b>	Effets des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> sur la teneur en chlorophylle a des quatre variétés des céréales.	30
<b>16</b>	Effets des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> sur la teneur en chlorophylle b des quatre variétés des céréales.	32
<b>17</b>	Effets des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> sur la teneur en chlorophylle totale de quatre variétés des céréales.	33
<b>18</b>	Effets des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> sur la teneur en caroténoïde des quatre variétés des céréales.	34
<b>19</b>	Effets des différentes concentration en Pb (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> sur l'indice de tolérance des quatre variétés des céréales.	35
<b>20</b>	Les interactions possibles avec le plomb dans la photosynthèse.	41

## Liste des abréviations

ABA : acide abscissique

BD : blé dur

BT : blé tendre

Cd : cadmium

CG : cinétique de la germination

Chl t : chlorophylle totale

Chl : chlorophylle

ENR : espèce nitrées réactives

ERO : espèces oxygénées réactives

ETM : élément trace métallique

IT : indice de tolérance

ITGC : institut technique des grandes cultures

LMR : longueur moyenne des racines

LR : longueur des racines

MDA : malondialdéhyde

MF : matière fraîche

MS : matière sèche

MT : métaux traces

NGG : nombre des graines germées.

NMR : nombre moyen de racines

NTG : nombre total des graines incubées.

OAIC : office Algérien Interprofessionnel des Céréales

ORG : orge

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

RWC : teneur relative en eau

TBA : acide 2-thiobarbiturique

TCA : acide trichloracétique

TG : taux de germination

TRE : teneur relative en eau

TRI : triticales

Uv : rayon ultraviolet

V1 : le blé dur (Wahbi)

V2 : Le blé tendre (Massine)

V3 : l'orge (Saida)

V4 : Le triticales (Chelia)

VG : vitesse de germination

## I. Introduction générale

### 1. Contexte général

Les céréales cultivées depuis des milliers d'années, constituent la base de notre alimentation et jouent la carte de la diversité. De l'Europe à l'Asie, en passant par l'Afrique et l'Amérique, les hommes du monde entier en ont développé de nombreuses variétés. Elles seront sans doute amenées à jouer un rôle fondamental face aux défis démographiques et environnementaux du siècle. Les céréales constituent environ 30% des sources énergétiques alimentaires dans les pays développés, contre plus de 50% dans les pays en voie de développement, atteignant parfois 90 % dans certains pays d'Afrique (**Nadjeh, 2015**).

En Algérie, la céréaliculture demeure le pivot de l'agriculture, c'est une filière stratégique et représente un poids considérable dans l'économie agricole (**Meziani, 2016**). Les céréales sont la principale source calorique pour les différentes couches de la population quel que soit leur niveau de vie. Elles assurent 60% de cet apport et 71% de l'apport protéique (**ITGC, 1996**). Parmi ces céréales :

**Le blé** est une plante autogame appartenant au groupe des angiospermes monocotylédones, de la famille des *Poaceae*, tribu des *Triticées* et genre *Triticum*. Les espèces du genre *Triticum* sont des herbacées annuelles produisant un fruit sec indéhiscant, le caryopse. De nos jours, les principales espèces cultivées du genre *Triticum* sont *Triticum aestivum* L (blé tendre) et *Triticum durum* (blé dur). Elles diffèrent principalement par l'aspect et la composition du grain, ainsi que par leur aire de répartition agroécologique, le blé dur étant cultivé en zones méditerranéennes tandis que le blé tendre est cultivé en zones plus tempérées (**Kara, 2015**).

**Le blé dur** 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 urartu* Tum 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 et al., 2011**).

Le blé dur (*Triticum durum* Desf) 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 et al., 2000 ; Schilling et al., 2003**).

**Le blé tendre** représente neuf dixièmes de la production mondiale. Le statut de céréale majeure a été acquis par le blé au détriment de sa diversité génétique, en particulier lorsque les variétés locales ont été remplacées à grande échelle par un petit nombre de variétés à haut potentiel de production (**Raymond et al., 2006**). Le blé tendre, d'un point de vue phylogénétique, est issu de deux hybridations interspécifiques suivies d'un doublement chromosomique. Le croisement entre *Triticum monococcum* var. *boeoticum* ou var. *urartu* (A) et un *Aegilops* (B) a donné un individu de structure génomique (AB) avec 14 chromosomes (**Gill et Kimber, 1974 ; Chen et al., 1984 et Chapman, 2009**). Le génome du blé tendre est constitué de 17 milliards de paires de base (cinq fois le génome humain) dont plus de 80% de séquences répétées. La taille, ainsi que la forte proportion de séquences répétées, constituent des obstacles importants pour le séquençage du génome du blé (**Paux et al., 2008**).

**L'orge** (*Hordeum vulgare* L.) 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 (**Rasmusson, 1992**). Au stade herbacé, elle se distingue principalement des autres céréales par un feuillage vert clair, 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 et al., 1998 ; Abbas et Abdelguerfi, 2008**). 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 et al., 2000**). Aujourd'hui, l'orge occupe le quatrième rang dans la production céréalière mondiale. Elle est utilisée pour l'alimentation animale, les malts de brassage et l'alimentation humaine (**Akar et al., 2004**). Elle est aussi une culture qui s'adapte bien à des environnements différents, elle est cultivée à partir de 330 m en dessous du niveau de la mer à proximité de la Mer Morte et à 4200 m sur les Andes Boliviennes (**FAO, 2009**). Le système racinaire est fascicule 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**).

**Le triticale** (*Triticosecale wittmack*) est une plante annuelle de la famille des Poacées (graminées). C'est un hybride artificiel (amphiploïde) entre le blé et le seigle dont la culture s'est développée depuis les années 1960. Il est cultivé surtout comme céréale fourragère. Le

nom Triticale combine les noms latins de genre du blé et du seigle, *Triticum* et *Secale*, il a été proposé comme une céréale intéressante dans l'alimentation des animaux. Introduire 45% de triticale présentant une activité phytasique dans un aliment permet de réduire la supplémentation de phosphore sous forme de phosphore monocalcique de 0,6 à 0,8 g / kg d'aliment (**Jondreville et al., 2007**).

Dans les pays développés la production de blé se caractérise par une abondance en quantité et une spécialisation en qualité ; par contre dans le tiers monde la satisfaction du besoin en céréale souffre d'un déséquilibre chronique. Dans notre pays, une grande partie de la production céréalière est soumise à la pratique de l'agriculture traditionnelle, incapable de faire face aux irrégularités du climat, d'où de la variation considérable dans le rendement d'une année à l'autre de plus, les populations locales de blé ont été délaissées par les organismes spécialisés et les agriculteurs au profit de variétés introduites massivement, avec une régression significative de la grande diversité qui prévalait antérieurement. La variabilité du rendement est due à des interactions du génotype avec l'environnement de production (**Meziani, 2016**). L'amélioration de rendement et de la qualité du blé dur passe par la création variétale et le choix de critères fiables pour l'identification de mécanismes d'adaptation aux contraintes environnementales. Parmi ces critères, la stabilité du rendement, la tolérance aux stress abiotiques, la résistance aux maladies ainsi que la bonne qualité technologique restent les plus recherchés (**Benbelkacem et al., 1995**).

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**). En effet une production très insuffisante de 2.7 millions de tonnes pour couvrir les besoins du marché national et alimenter les stocks pousse à faire un recours systématique aux importations (**FAO, 2007**). Cette faiblesse de la production de blé en Algérie était souvent liée à des conditions environnementales défavorables qu'on peut dénommer « stress » (**Chaise et al., 2005**). Le stress est l'ensemble des conditions qui provoquent des changements des processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de la croissance ou de développement (**Hopkins, 2003**).

Les variations de l'environnement auxquelles sont soumis les végétaux les contraignent à posséder une forte capacité d'adaptation. Lorsque ces changements sont trop brutaux, ils peuvent provoquer l'apparition d'un stress oxydant caractérisé par la formation d'espèces oxygénées réactives (EOR) et nitrées réactives (ENR). Ce stress peut ainsi provenir de facteurs abiotiques, par exemple dans le cas d'un stress lumineux, d'une sécheresse, d'une

exposition au froid, à la chaleur ou aux UV (**Mittler, 2002**). Il peut également être de nature biotique comme l'attaque par des insectes et des animaux, ou par des micro-organismes pathogènes tels des virus, des bactéries ou des champignons. Ces facteurs étrangers à la plante vont bouleverser son métabolisme, conduisant à la formation de composés réactifs qui peuvent induire différentes réactions de la plante (**Noctor et Foyer, 2000**).

Néanmoins, il est évident que les populations humaines profitent directement et indirectement du fonctionnement et de la stabilité des écosystèmes. Le terme pollution doit être utilisé quand les apports liés aux activités humaines sont susceptibles de présenter un effet négatif sur l'environnement (**Baize, 2007**). Un problème environnemental majeur, généré par les émissions industrielles et les déchets urbains dus aux activités humaines, réside dans la contamination du sol, de l'eau et de l'air par une diversité de composants organiques et inorganiques (**Adriano, 2001 ; Alkorta et al., 2004**). Parmi les principaux polluants inorganiques du sol, qui ont le plus retenu l'attention sont les métaux rejetés en plus ou moins grandes quantités par les activités industrielles et anthropogéniques. Si certains éléments métalliques (oligo-éléments), présents à l'état de traces, sont essentiels pour l'organisme, l'accroissement de leur concentration peut représenter un danger pour les êtres vivants. D'autres éléments ne sont pas nécessaires et ne peuvent produire que des effets toxiques. A cette catégorie appartiennent différents éléments tels que le plomb, le mercure, le cadmium... dont la présence est fortement aggravée par les activités humaines (**Aoun, 2009**).

La mobilité des métaux dans les sols dépend d'une part de leurs sites de rétention et d'autre part des conditions physico-chimiques du milieu (**Han et al., 2003 ; Ma et al., 2011**).

Les métaux lourds, connus aussi comme éléments traces métalliques, sont des constituants naturels à faible concentration (à l'état de traces, moins de 0.1 %) de la croûte terrestre et désignés par une masse volumique supérieure à  $5\text{g/cm}^3$  (**Lapedes, 1974 ; Callender, 2003**). D'autres définissent comme métaux lourds les éléments métalliques compris entre le cuivre et le plomb dans le tableau périodique des éléments (excluant donc le fer et le chrome). L'arsenic est aussi très souvent inclus parmi les métaux lourds ou métalloïdes. Le terme d'éléments traces métalliques (ETM) est donc préférable pour englober l'ensemble de ces molécules (**Burnol, 2006 ; Mallick et Rai, 2002**).

La présence des ETM pose au moins deux problèmes majeurs pour l'homme, l'un en agriculture et l'autre dans le domaine de la santé :

Dans le domaine agricole, la plupart des ETM accumulés dans le sol sont absorbés par les plantes de culture. Les végétaux ont besoin pour leur croissance et leur développement de certains ions métalliques comme par exemple le cuivre, le zinc, le manganèse, le fer ou le



cobalt qui entrent dans la composition de certaines enzymes ou servent de cofacteurs (**Yang et al., 2005**). Ces éléments, nécessaires en faible quantité, s'avèrent cependant toxiques voire létaux lorsqu'ils sont présents en forte concentration (**Hänsch et Mendel, 2009**). De plus, tous les ions métalliques ne sont pas indispensables aux plantes. En effet, des métaux comme le cadmium, le nickel, le plomb ou le mercure ne jouent aucun rôle dans la croissance et le développement des plantes. Ils sont dits non essentiels et sont toxiques à l'état de traces (**Mendoza-Cózatl et Moreno-Sánchez, 2005**). L'accumulation des ETM dans les sols génère donc des pertes de rendement conséquentes soit parce que les plantes cultivées se développent moins bien, soit parce que les sols restent inoccupés car impropres à la culture.

Dans le domaine de la santé publique, les ETM absorbés par les végétaux entrent dans la chaîne alimentaire et entraînent un phénomène de bioconcentration à chaque passage dans le maillon trophique supérieur (**Gonzales et al., 2008 ; McLean et al., 2009**). Cette accumulation d'ETM s'avère dangereuse pour la santé. Par exemple, une forte teneur en plomb ou en mercure dans le corps humain affecte le système nerveux central, les cellules sanguines et les reins. Le cadmium est également très toxique, particulièrement au niveau des reins, et se révèle vraisemblablement cancérigène (**De Burbure et al., 2006**).

Selon le métal examiné, la toxicité peut porter sur la croissance ou/ et l'existence de différents organes. Bien sûr, ces effets toxiques dépendent des voies et niveaux d'exposition, ainsi que de l'espèce considérée. La tolérance des plantes aux métaux lourds correspond à l'ensemble des mécanismes qui permettent de maintenir la concentration des métaux essentiels dans les limites physiologiques et de minimiser les effets délétères des métaux non essentiels (**Clemens et al., 2002**). Les plantes répondent aux contraintes de l'environnement par de nombreux changements, révèlent le caractère multifactoriel des mécanismes de tolérance et d'adaptation aux stress abiotiques (**Ben Naceur et al., 2001**). La phytoremédiation ou la bioremédiation et une nouvelle technologie qui utilise les plantes vertes et/ou des microorganismes associés pour le nettoyage d'un environnement pollué par les métaux lourds et les métalloïdes (**Pilon-Smits et Freeman, 2006**). Quel que soit le procédé utilisé, celui-ci nécessite l'utilisation de plantes ayant des caractéristiques particulières. Une des premières caractéristiques est la tolérance au polluant. La plupart des plantes tolérantes sont des « excluders », c'est-à-dire qu'elles limitent au maximum le transfert des ETMs de la racine à la feuille pour que la photosynthèse ne soit pas perturbée (**Verbruggen et al., 2009**).

Les plantes tolérantes, qui ne sont pas des « excluders », vont stocker les ETMs au niveau des feuilles dans des compartiments cellulaires (vacuole) où ils ne risquent pas de perturber le métabolisme de la plante. Ces plantes sont dites accumulatrices. Parmi ces plantes tolérantes

et accumulatrices, il existe un petit nombre de plantes dites hyperaccumulatrices (**Kramer, 2010**). La plupart des plantes hyperaccumulatrices décrites dans la littérature sont des hyperaccumulatrices de Zn. Un des modèles de plante hyperaccumulatrice de Zn/Cd, le plus décrit, est *Noccaea caerulea*. Cette brassicacée peut accumuler jusqu'à 39,6 g de Zn/Kg de MS et 2,9 g de Cd/Kg de MS (**Reeves et Brooks, 1983 ; Reeves et al., 2001**).

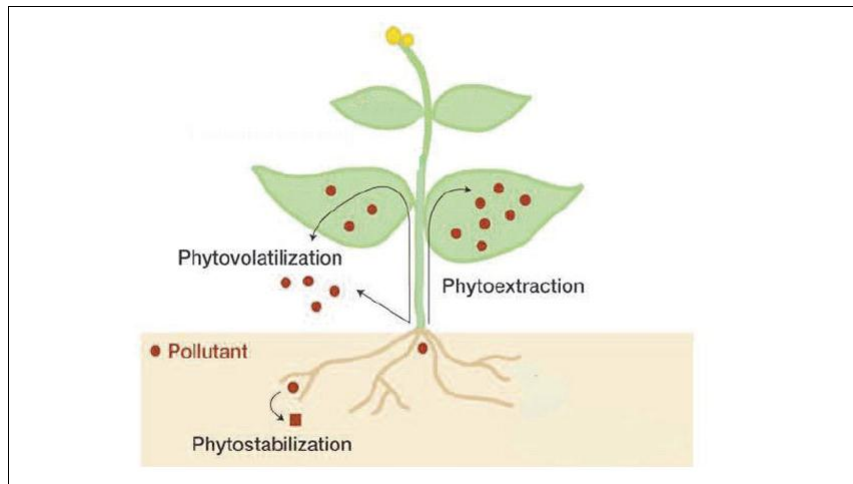
La phytoremédiation comprend plusieurs techniques (figure 01):

**La Phytoextraction:** elle est basée sur la capacité des plantes à prélever les métaux au niveau de leurs racines et à transporter ces métaux des racines vers les feuilles où ils vont être stockés, principalement au niveau des vacuoles (**McGrath et Zao, 2003**).

**La Phytostabilisation :** il ne s'agit pas d'une méthode de dépollution à proprement parler puisqu'il s'agit de l'utilisation de plantes et des bactéries de leur rhizosphère pour diminuer la mobilité des ETMs dans le sol et éviter leur dispersion par l'érosion. Les ETMs ne vont pas être éliminés mais, sous l'action des plantes, ils vont être immobilisés. Cette technique nécessite l'utilisation de plantes pour immobiliser les polluants dans les couches superficielles du sol en évitant, en particulier, leur migration dans les eaux de surface ou souterraine ou leur transfert sous forme particulaire dans l'atmosphère. Les plantes peuvent soit absorber et stocker les ETMs au niveau de leur racine, soit les adsorber en surface (**Vangronsveld et al., 2009**).

**La Rhizofiltration :** elle est développée grâce à des plantes capables de prélever les polluants en milieu aqueux et de les stocker au niveau de leurs racines et/ou de leurs feuilles. Les bonnes candidates pour la rhizofiltration sont des plantes avec un niveau d'évapotranspiration élevé qui va permettre un important flux d'eau. Pour cette méthode, ce ne sont pas forcément des plantes aquatiques qui sont utilisées mais plutôt des plantes terrestres. Par exemple, *Helianthus annuus* est utilisé depuis de nombreuses années pour son potentiel à assainir les eaux polluées par l'uranium et le plomb (**Dushenkov et al., 1995 et 1997**).

**La phytoaccumulation :** est une méthode de plus en plus étudiée car elle représente une alternative moins coûteuse et plus écologique que des extractions chimiques pour dépolluer les milieux contaminés. En effet, les méthodes chimiques impliquent généralement l'extraction temporaire des substrats contaminés (sol ou eaux) pour un traitement adapté en dehors du site alors que la phytoaccumulation peut être effectuée directement sur le milieu à dépolluer et la récolte ultérieure des plantes engendre moins de dégâts pour le milieu (**Hall et Williams, 2003**).

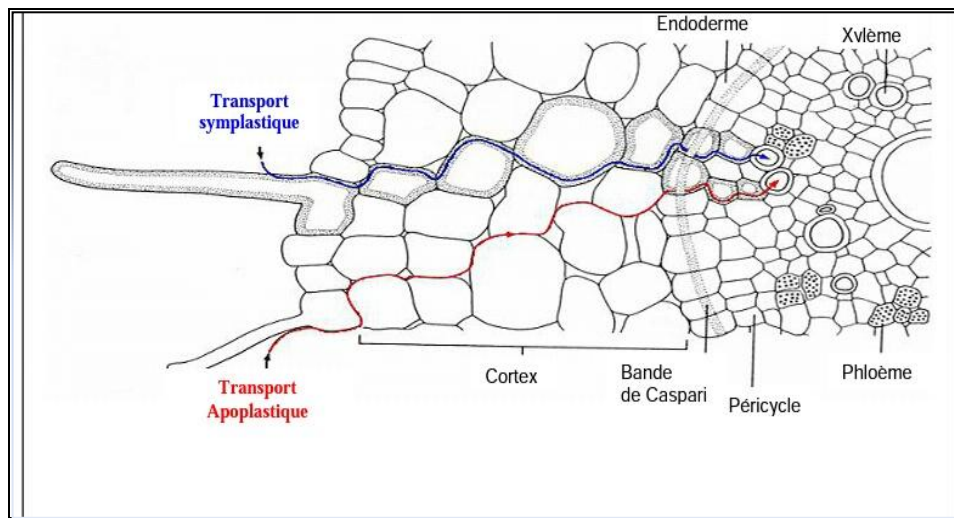


**Figure 01. Devenir des polluants inorganiques (point rouge) en fonction de la méthode de phytoremédiation utilisée (Pilon-Smits, 2005).**

Parmi les polluants les plus dangereux dans la nature, le plomb, est l'un des contaminants les plus répandus dans l'environnement, toxique même à faible concentration (**Dazy, 2008**). Il présente le micropolluant métallique le moins mobile dans le sol. Ainsi dans la gamme de pH de 5 à 9 et à concentration totale identique Pb serait 100 fois moins mobile que le cadmium (**Kadem, 2005**). En fonction des conditions du milieu, les plantes peuvent absorber une partie du plomb présent dans le sol. Les ions  $Pb^{2+}$  diffusent dans la racine, mais sont bloqués par la barrière physique que représente l'endoderme, ce qui limite fortement leur translocation vers les parties aériennes. Bien que les plantes possèdent de nombreux systèmes de détoxification pour limiter l'interaction de ces ions avec les molécules biologiques, ces derniers induisent tout un éventail d'effets délétères pour les organismes. Le plomb perturbe ainsi les structures membranaires et pariétales, modifie le statut hydrique, perturbe l'absorption et/ou la translocation des éléments minéraux essentiels (calcium, manganèse, zinc, fer...) ou encore réduit la photosynthèse (**Seregin et Ivanov, 2001; Sharma et Dubey, 2005**). A l'échelle macroscopique, l'exposition des plantes au plomb induit une réduction de la croissance, de la biomasse produite, des rendements et, lorsque le stress est trop sévère, conduit à l'apparition de nécroses racinaires et foliaires, de chloroses, voire à la mort de la plante (**Burton et al., 1984**). Le Pb resterait sous forme liée dans l'espace apoplastique et seule une petite quantité serait transloquée. Il doit passer des cellules du cortex aux cellules de l'endoderme et être déversé dans les faisceaux de xylème (**Huang et Cunningham, 1996**). Le transport du Pb dans la plante peut se faire par deux voies (figure 02) :

**La voie apoplastique** correspond à un transport passif qui suit les mouvements de l'eau dans les espaces intercellulaires. Ce mode de transport va être fortement inhibé par l'endoderme, et principalement par les cadres de Caspary, qui jouent le rôle de barrière.

**La voie symplastique** où le Pb passe de cellule en cellule via le continuum intracellulaire formé par les plasmodesmes. Les mécanismes moléculaires responsables de l'entrée du Pb dans les cellules du rhizoderme ne sont toujours pas élucidés (Seregin et Ivanov, 1997; Verma et Dubey, 2003).



**Figure 02. Schéma d'une coupe transversale de racine indiquant le transport apoplastique et symplastique des ions (Seregin et al., 2004).**

## 2. Objectifs de l'étude

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. En Algérie, tout comme en Afrique du Nord, les cultures céréalières tels que le blé, l'orge, le seigle, le riz, le maïs et le triticale représentent la principale spéculation et draine plusieurs activités de transformation; en semoulerie, en boulangerie et en industrie alimentaire. Elles constituent également la base de l'alimentation et occupent une place privilégiée dans les habitudes alimentaires des populations aussi bien dans les milieux ruraux qu'urbains. La production Algérienne en céréales est confrontée à plusieurs contraintes biotiques (parasites, pathogènes) et abiotiques (salinité, sécheresse, température, pollution, etc.) d'ordres climatiques et phytosanitaires. La contamination du sol par les métaux lourds figure parmi les contraintes que subit la céréaliculture. Ces métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le cuivre, le zinc, et le mercure ne peuvent pas être biodégradés et donc persistent dans l'environnement pendant de longues périodes. De plus ils sont continuellement rajoutés dans les sols par diverses activités: en agriculture par l'application de boues d'épuration ou dans l'industrie métallurgique. La circulation croissante des métaux toxiques à travers les sols, l'eau et l'atmosphère, et leur passage inévitable dans la chaîne alimentaire humaine, constituent un problème qui entraîne des risques de santé pour les générations futures, et comme les organismes peuvent ou non s'adapter, résister et donc répondre différemment à la présence de ces contaminants surtout que, l'effet potentiel des métaux sur les organismes vivants peut être à l'état de traces.

Dans ce contexte, la base de notre étude est d'évaluer l'impact de plomb à générer un stress oxydatif sur une plante modèle (les céréales), d'où l'objectif s'est développé sur:

L'étude, à l'aide de plusieurs marqueurs de stress, l'état physiologique des plantules de quatre variétés des céréales (blé dur, blé tendre, orge et triticale) soumises à différents stress au stade juvénile âgées de deux semaines, à travers quelques paramètres morphologiques et physiologique. Ceux-ci nous permettent d'estimer, dans une certaine mesure, les capacités génétiques de production des plantes sous des conditions qui sont, en général, moins favorables à l'expression du potentiel. Cette approche se justifie par le fait que certaines variétés sont plus tolérantes aux stress que d'autres.

## **II. Matériel et méthodes**

### **1. Matériel végétal**

Le présent travail a été réalisé au niveau du Laboratoire de Biologie Végétale, Département Biologie des Etres Vivants, Université Larbi Tébessi, avec la collaboration d'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (OAIC) de Tébessa et l'institut technique des grandes cultures (ITGC) de Constantine qui ont mis à notre disposition une collection diversifiée de céréales, de différentes origines. Les principales caractéristiques de variétés utilisées sont mentionnées dans le tableau 01.

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

<b>Espèce</b>	<b>Variété</b>	<b>Origine</b>	<b>Caractéristiques variétales</b>
<i>Triticum durum</i>	Wahbi	Algérie	<p>Compacité de l'épi: moyenne.</p> <p>Couleur de l'épi: fortement coloré.</p> <p>Hauteur de la plante: moyenne.</p> <p>Cycle végétatif: semi-précoce.</p> <p>Résistance au froid: tolérante.</p> <p>Résistance à la verse: assez résistante.</p> <p>Résistance à la sécheresse: tolérante.</p> <p>Résistance aux maladies: rouille jaune: tolérante, rouille brune: sensible, oïdium: modérément sensible et le charbon: tolérante.</p>
<i>Triticum aestivum</i>	Massine	CIMMYT	<p>Compacité de l'épi: Lâche.</p> <p>Couleur de l'épi: blanc</p> <p>Hauteur de la plante: Court.</p> <p>Cycle végétatif: semi-précoce.</p> <p>Résistance au froid: tolérante.</p> <p>Résistance à la verse: assez résistante.</p> <p>Résistance à la sécheresse: tolérante.</p> <p>Résistance aux maladies: rouille jaune: tolérante, rouille brune: sensible, oïdium: modérément sensible et le charbon: tolérante.</p>
<i>Hordum vulgare</i>	Saida	Algérie (Ouest)	<p>Epi: 6 rangs, lâche à barbes non pigmentées et longues.</p> <p>Paille: moyenne, creuse.</p> <p>Grain: blanc, long, étroit et peu ridé.</p> <p>Cycle végétatif: semi-précoce.</p>

## 2. Protocole expérimental adopté

### 2.1. Condition de culture des graines

Les graines de céréales sont cultivées selon la méthode décrite par **Kaur et Duffus (1989)**. Dix graines sont d'abord choisies de façon aléatoire, elles sont traitées à l'hypochlorite de sodium (10%), puis rincées abondamment à l'eau distillée pour lessiver les produits de conservation 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

L'essai de germination s'est déroulé selon une expérience complètement aléatoire et randomisé, avec trois répétitions (R1, R2, R3) et quatre traitements: C0, C1, C2, C3. Les semences désinfectées préalablement sont placées sur des rondelles de papier filtre tapissant les boîtes de pétri (figure3). Les traitements par les concentrations préparées (0, 0.15, 0.3, 0.6g/l) sont fait à partir d'un sel, l'acétate de plomb Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>. 3H<sub>2</sub>O. Les graines sont imbibées à raison de 25ml de solution chaque 48heures. L'eau d'irrigation est substituée par une solution nutritive (Tableau 2).Les variétés sont cultivées sous les conditions du laboratoire avec une photopériode jour/nuit de 11h/13h (Mars et Avril 2017), et des températures comprises entre 16-22°C.

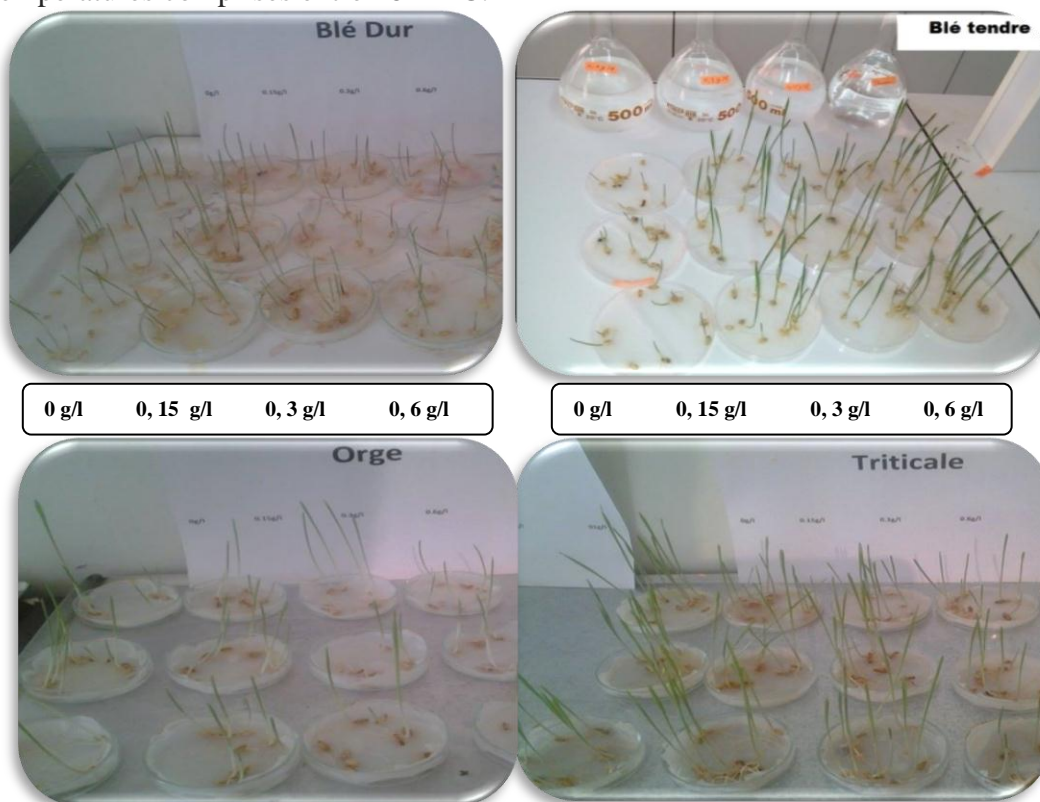


Figure 03. Dispositif expérimental



**Tableau 02. Composition chimique de la solution nutritive.**

<b>Composition</b>	<b>Concentration en mg/l</b>
Calcium	77,40
Magnésium	14,50
Potassium	04,65
Sodium	13,40
Sulfates	35,80
Chlorures	25,70
Bicarbonates	218,00
Nitrates	02,00
Silices	02,33

### **3. Méthodes et mesures effectuées**

Les mesures ont été réalisées à la fin de l'expérimentation sur les paramètres morphologiques et physiologiques de la partie aérienne et souterraine.

#### **3.1. Les paramètres morphologiques**

Les paramètres retenus pour évaluer le comportement des graines au court de la germination sont appréciés à travers les méthodes suivantes :

##### **3.1.1. Nombre moyen de racines (NMR)**

Le nombre moyen de racines pour chaque dose est déterminé après (0, 0.15, 0.3 et 0.6 g/l) de traitement. Ce paramètre est obtenu en comptabilisant le nombre total de racines pour chaque traitement et en le divisant par le nombre total de grains (germés ou pas) (**Harrière., 2004**).

### 3.1.2. Longueur moyenne des racines (LMR)

La longueur maximale des racines séminales a été déterminée comme étant la longueur de la racine la plus longue, en moyenne de l'échantillon de dix plantules (**Simmons et al., 1995**).

## 3.2. Les paramètres physiologiques et biochimiques

### 3.2.1. 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 :

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

G (%) : est le pourcentage de germination.

NGG : est le nombre des graines germées.

NTG : est le nombre total des graines incubées.

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

### 3.2.2. 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) :

$$VG = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n}{N_1 T_1 + N_2 T_2 + N_3 T_3 + \dots + N_n T_n}$$

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>

### 3.2.3. Cinétique de la 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 et al., 2007**).

### 3.2.4. Indice de tolérance

Un indice dit de tolérance (Tolerance Index, TI) est calculé à partir de la longueur des racines. Il permet de comparer la capacité des plantes à pousser dans un milieu de culture contaminé, dans notre cas par le plomb, par rapport aux plantes poussant dans un milieu non traité. La formule de cet indice est la suivante (**Wilkins, 1957**):

TI (%) = (taille moyenne des racines des plantes traitées / taille moyenne des racines des plantes témoins) × 100.

### 3.2.5. Analyse de la perméabilité membranaire

#### a. La teneur relative en eau

La teneur relative en eau des feuilles renseigne sur la turgescence relative des tissus et figure parmi les indicateurs du stress. Elle est liée à la capacité de la plante à maintenir un niveau d'hydratation optimal qui soit à même de garantir la continuité de l'activité métabolique. Ces résultats ont été confirmés par nombreux travaux et essentiellement ceux de (**Clarke et al., 1982**). La feuille coupée à la base du limbe est pesée immédiatement, ce qui représente le poids frais (Pf), cette partie sectionnée est mise par la suite dans l'eau distillée à l'obscurité et à une température de 4°C pendant 48 heures, puis elle est récupérée et délicatement essuyée à l'aide d'un papier buvard pour éliminer l'eau de surface et pesée de nouveau pour obtenir le poids en plein de turgescence (Ppt). Enfin, elle est mise à l'étuve réglée à 80°C pendant 48 heures pour avoir son poids sec (Ps). La teneur relative en eau est calculée selon la formule suivante (**Barrs et Weatherley 1962; Hewlett et Kramer, 1962 ; Scippa et al., 2004**).

$$\text{TRE (\%)} = (\text{Pf-Ps} / \text{Ppt-Ps}) \times 100$$

## b. Analyse des lipoperoxydes membranaires

### Extraction

Le niveau de la peroxydation lipidique est déterminé selon la méthode de **Ali et al. (2005)** avec quelque modification. Les feuilles fraîches de plantules de céréales de 0, 2 g sont homogénéisées dans 2 ml d'acide trichloracétique (TCA) à 0,1% et centrifugés à 14,000 g pendant 15 min. Après centrifugation, 1 ml de surnageant est mixé avec 2,5 ml d'acide 2-thiobarbiturique (TBA) à 0,5% préparé dans du TCA à 20 %. Le mélange est chauffé dans un bain Marie à 95°C pendant 30 min. Au cours de cette incubation, un complexe se forme entre le TBA et les composés aldéhydiques, essentiellement le malondialdéhyde (MDA) : TBA-MDA. La réaction est arrêtée par un refroidissement immédiat dans un bain de glace. Après centrifugation à 10 000xg pendant 20 min, le surnageant est récupéré pour un dosage colorimétrique des lipoperoxydes.

### Dosage

Les concentrations en lipoperoxydes sont déterminées par la méthode de **Heath et Packer (1968)**. Les produits de peroxydation lipidique, qui réagissent avec le TBA sont principalement le MDA et les endoperoxydes (**Buege et Aust, 1978**). Le dosage est effectué par spectrophotométrie. L'absorbance du complexe TBA-MDA est mesuré à 532 nm contre un blanc constitué de tampon d'extraction. La densité optique est corrigée par une lecture à 600 nm. La concentration de MDA est calculée en utilisant son coefficient d'extinction molaire ( $\epsilon = 155\text{mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ).

$\text{MDA (nmol/g MF)} = \frac{(A_{532} - A_{600}) \times V}{155 \times \text{MF}} \times 1000$	<p>A = Absorbance V = Volume de l'extrait (mL) MF = Matière végétale fraîche (g)</p>
--	--

### 3.2.6. Extraction et dosage des pigments assimilateurs

L'extraction des pigments photosynthétiques est faite en présence d'acétone à 80% selon la méthode de **Arnon (1949)**. Cent mg de matière fraîche sont coupés en fines lamelles en présence de 5 ml d'acétone à 80%. Le mélange est maintenu 72 heures dans l'obscurité totale et à 4°C. L'extrait obtenu sert aux dosages des chlorophylles « a » et « b » ainsi que des caroténoïdes. La détermination de la teneur foliaire en pigments photosynthétiques se fait à partir de la mesure simultanée de la densité optique à trois longueurs d'ondes différentes : 470

nm, 647 nm et 663 nm. Les teneurs des feuilles en pigments sont alors déterminées en se référant aux formules suivantes (**Lichtenthaler, 1987**) :

$$\text{Chlorophylles } a \text{ } (\mu\text{g/ml}) = (12,7 \times \text{DO}_{663}) - (2,69 \times \text{DO}_{647})$$

$$\text{Chlorophylles } b \text{ } (\mu\text{g/ml}) = (22,9 \times \text{DO}_{647}) - (4,68 \times \text{DO}_{663})$$

$$\text{Chlorophylles totales } (\mu\text{g/ml}) = (\text{Chlorophylles } a + \text{Chlorophylles } b)$$

$$\text{Caroténoïdes } (\mu\text{g/ml}) = (5 \times \text{DO}_{470}) + (2,846 \times \text{DO}_{663}) - (14,876 \times \text{DO}_{647})$$

La résolution de ce système d'équation nous donnent les teneurs en chlorophylles (a) et (b) en  $\mu\text{g/ml}$ , extrapolés encore en  $\mu\text{g/g}$  de MF (**Mazliak, 1979**).

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

Les données sont calculées sous forme d'une moyenne de 3 répétitions à l'aide du tableur EXCEL 2007 et les graphiques également réalisés à l'aide du même tableur. Les données recueillies pour l'ensemble des caractères étudiés ont été soumises à une analyse de la variance avec le logiciel XLSTAT. L'analyse de la variance effectuée est à deux critères de classification (facteur traitement et facteur variétés). Les moyennes sont comparées à l'aide du test de Newman-Keuls, lorsque cela est nécessaire (différences au moins significatives). Des matrices de corrélations entre les différents caractères ont été aussi élaborées.

### III. Résultats et Discussion

#### III.1. Résultats

##### III.1.1 Impact du plomb ( $\text{Pb} (\text{CH}_3\text{COO})_2$ ) sur la synthèse des paramètres morphologiques au niveau des plantes des quatre céréales

###### a. Influence du plomb sur le nombre des racines

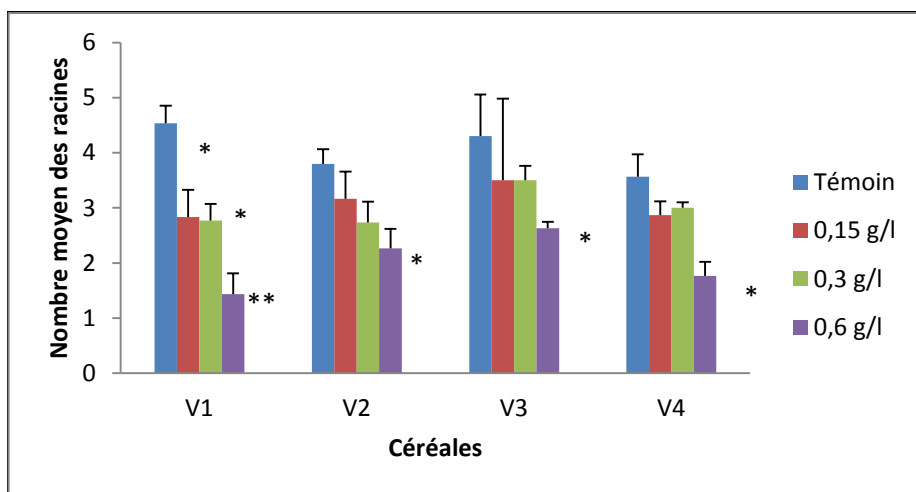
L'évolution du nombre moyen de racines des graines, traitées par différents régimes de Pb est représentée dans le tableau 05.

A travers l'étude des données, il se dégage que les variations du nombre des racines sont grandement influencés par les facteurs d'étude, la nature génotypique ( $p=0,014$ ) et les traitements appliqués ( $p=0,000$ ). Aucune différence significative n'est observée dans l'interaction entre variétés et traitements, cela conduit à la conclusion que les variétés réagissent de la même façon en présence de la contrainte ( $p>0,05$ ).

**Tableau 03. Analyse de la variance du nombre des racines(NR) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.**

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
<b>NR</b>	4,140	0,014	30,53	0,000	1,22	0,315

Selon la figure 10 le nombre des racines chez la variété Wahbi du blé dur diminue de 4,53 chez les plantes témoin à 2,83 (différence significative), 2,77 (différences hautement significatives) et 1,43 (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  $\text{Pb} (\text{CH}_3\text{COO})_2$ , ce qui correspond aux réductions respectifs de 37,52%, 38,85% et 68,43%. Et encore d'après cette figure, le blé tendre et l'orge subissent une diminution significative du nombre des racines des plantes témoin est notée seulement lorsqu'elles sont traitées avec 0,6g/l et une diminution hautement significative chez le triticale avec la même concentration. Le nombre passe de 3,80 à 2,27 avec une diminution de 40,26% chez le blé tendre, de 4,3 à 2,63 avec diminution de 38,83% chez l'orge et finalement de 3,57 à 1,77 avec diminution de 50,42% chez le triticale.



**Figure 04. Effets des différentes concentrations en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> sur le nombre des racines des quatre variétés des céréales. \*\*\*, \*\*, \* significatif à 0,1% ; 1% ; 5% respectivement.**

**b. Influence du plomb sur la longueur des radicules**

L'étude des résultats (Tableau 06) démontre que l'origine de la variabilité conduite permet des fluctuations de grandeurs importantes de la longueur des radicules (LR) avec p=0,000.

D'après la figure 11, le traitement de Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> imposé permet des variations importantes sur l'élaboration de ce paramètre (p=0,000). L'interaction entre ces deux facteurs d'études permet aussi des oscillations importantes (p=0,000).

**Tableau 04. Analyse de la variance de la longueur des radicules (LR) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.**

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
<b>VG</b>	148,73	0,000	438,28	0,000	7,55	0,000

La figure 12 et le tableau 06 présentent une évolution de la longueur des radicules sur les traitements appliqués.

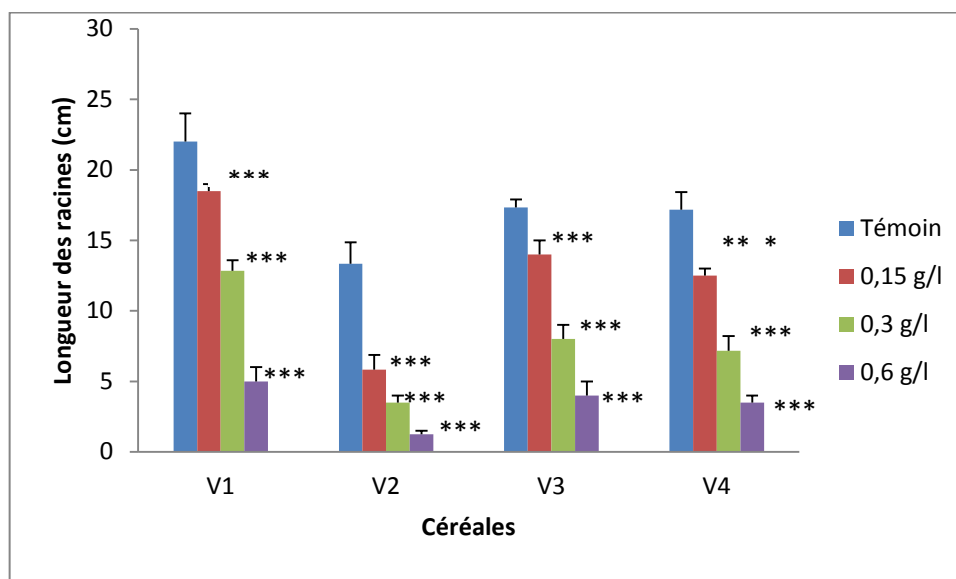
Les résultats montrent que l'acétate de plomb a un effet marqué sur la longueur des racines qui diminue substantiellement avec les concentrations appliquées. Chez les plantes témoins de la variété blé dur, une longueur moyenne des racines de 22 cm est enregistrée. Cette longueur diminue progressivement et de manière très hautement significative pour atteindre 18,50 cm, 12,83 cm et 5,00 cm chez les plantes soumises aux concentrations respectives 0,15 g/l, 0,3 g/l et 0,6 g/l de  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ , soient des pourcentages de diminutions de 15, 90%, 41, 68% et 77, 27%.

Les mêmes observations sont faites pour les autres espèces des céréales chez laquelle l'acétate de plomb provoque une diminution plus marquée de la longueur des racines avec des pourcentages de diminutions de 56,26%, 73, 74% et 90,62% (chez le blé tendre), de 19, 21%, 53,83% et 76,91% (chez l'orge) et de 27,19%, 58,24% et 79,61% (chez le triticale)





Figure 05. Influence du stress métallique sur la longueur racinaire des quatre variétés des céréales.



**Figure 06. Effets des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> sur la longueur des Radicules des quatre variétés des céréales. \*\*\*significatif à 0,1%**

### III.1.2. Impact du plomb (Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>) sur la synthèse des paramètres physiologiques au niveau des plantes des quatre céréales

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

Dans les conditions de notre expérimentation, l'analyse des résultats obtenus (Tableau 03) démontre que le taux de germination (TG) est plus dépendante entre les variétés ( $p=0.000$ ) et elle est grandement influencée par les traitements appliqués ( $p=0,000$ ). Ce taux de germination au niveau des plantes des quatre céréales diminue au fur et à mesure que la dose s'accroît (figure 04). Aucune différence génotypique n'est observée dans l'interaction entre variétés et traitements, cela conduit à la conclusion que les variétés réagissent de la même façon en présence de la contrainte ( $p>0,05$ ).

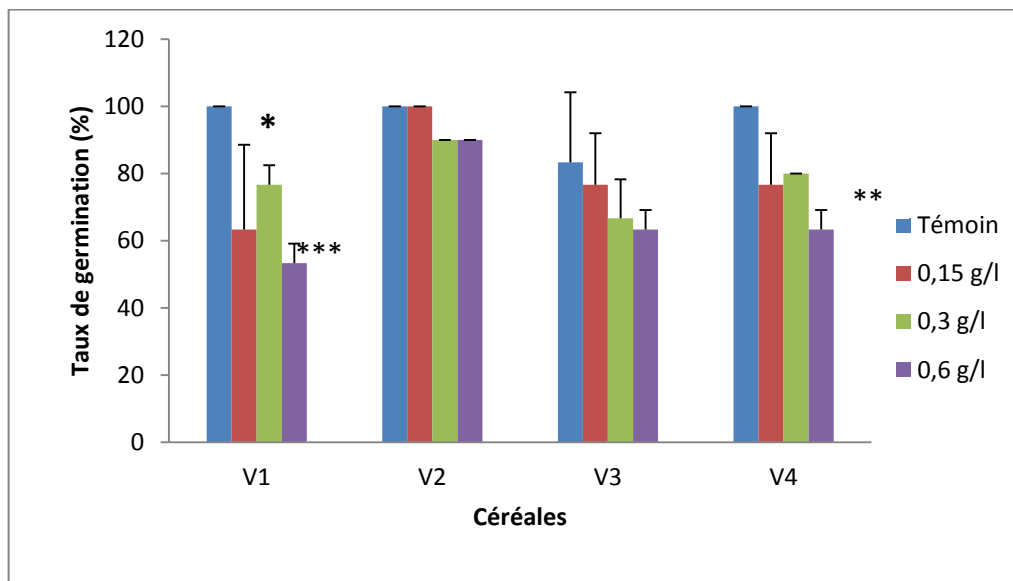
**Tableau 05. Analyse de la variance du taux de germination (TG) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.**

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
<b>TG</b>	11,57	0,000	14,59	0,000	1,85	0,098

Le stress métallique a induit une baisse de TG chez les variétés de blé dur (Wahbi) et de triticale (Chelia). Les résultats exprimé dans le tableau 04 montrent que chez le blé dur (variété Wahbi), le taux de germination des plantes témoin (100%) diminue lorsque les plantes sont traitées avec 0,15 g/l, 0,3 g/l et 0,6 g/l pour atteindre respectivement 63,33%, 76,67% et 53,33% soient une diminution de 36,67%, 23,33% et 46,67% respectivement chez les plantées traitées avec 0,15 g/l, 0,3 g/l et 0,6 g/l de Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.

L'analyse de ces résultats révèle que le traitement des plantes avec la concentration 0,15 g/l provoque une diminution significative de TG, tandis que les plantes soumise à des concentrations plus élevées de 0,6 g/l de Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> présentent une diminution très hautement significative.

Chez le triticale (variété Chelia) une diminution hautement significative de TG des plantes témoin est notée seulement lorsqu'elles ont traitées avec 0,6 g/l de Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>. Ce taux passe de 100% à 63,33% soient une diminution de 36,67%.



**Figure 07. Effets des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> sur le taux de germination des quatre variétés des céréales (V1 : blé dur, V2 : blé tendre, V3 : orge et V4 : triticale).\*\*\*, \*\*, \* significatif à 0,1% ; 1% ; 5% respectivement.**

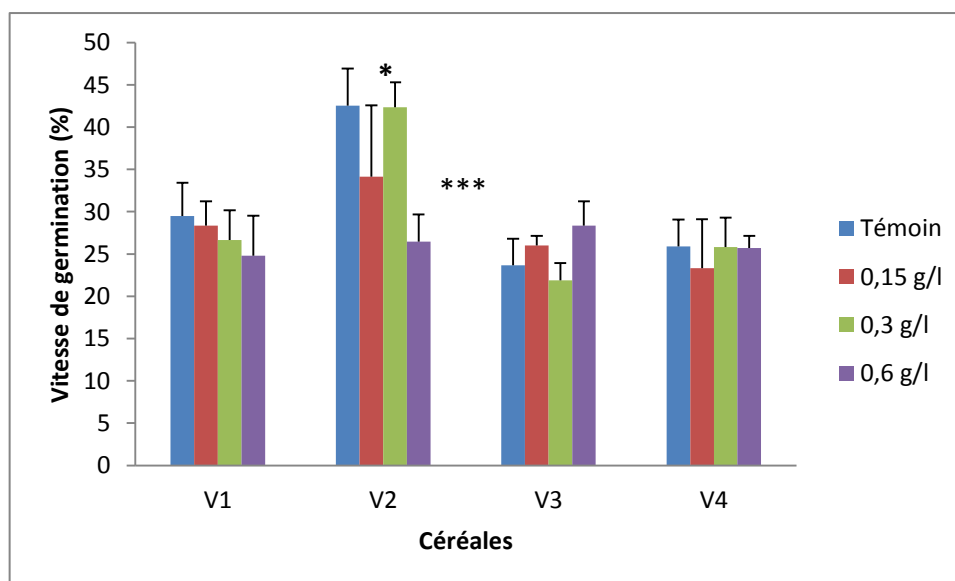
#### **b. Influence du plomb sur la vitesse de germination**

L'étude des résultats mentionnés dans le tableau 04, révèle que la vitesse de germination (VG) est fortement dépendante des quatre variétés des céréales (p=0,000). L'interaction des deux facteurs d'étude exerce également des variations de grandeurs importantes sur cette caractéristique (p<0,05). Ceci indique que les variétés testées réagissent de manières distinctes à la déclaration de la contrainte métallique imposée.

**Tableau 06. Analyse de la variance de la vitesse de germination (VG) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.**

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
<b>VG</b>	22,19	0,000	2,32	0,094	3,88	0,002

En fait l'impact du plomb sur la vitesse de germination ne se remarque que chez le blé tendre (variété Massine). Selon les résultats mentionnés dans la figure 05, illustrent que la vitesse passe de 42,53% chez les plantes témoin à 34,13% (différence significative), 42,33% (différence non significative) et 26,44% (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<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>, ce qui correspond aux pourcentages de réduction respectifs de 19,75%, 0,47% et 37,83%.

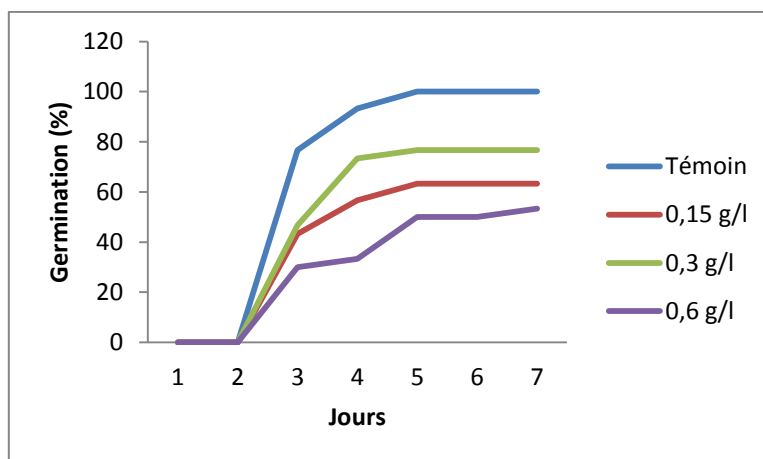


**Figure 08. Effets des différentes concentrations en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> sur la vitesse de germination des quatre variétés des céréales. \*\*\*, \* significatif à 0,1% et 5% respectivement.**

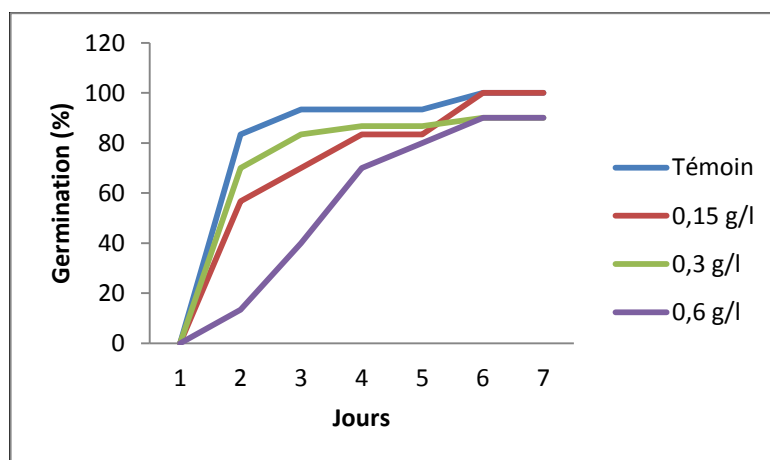
### c. Influence du plomb sur la cinétique de germination

L'observation des courbes de germination nous donne une idée complète de l'évolution de la germination en fonction des différents traitements par le plomb. Les figures 06, 07, 08 et 09 nous font remarquer, l'existence de trois phases distinctes dans l'essai de germination.

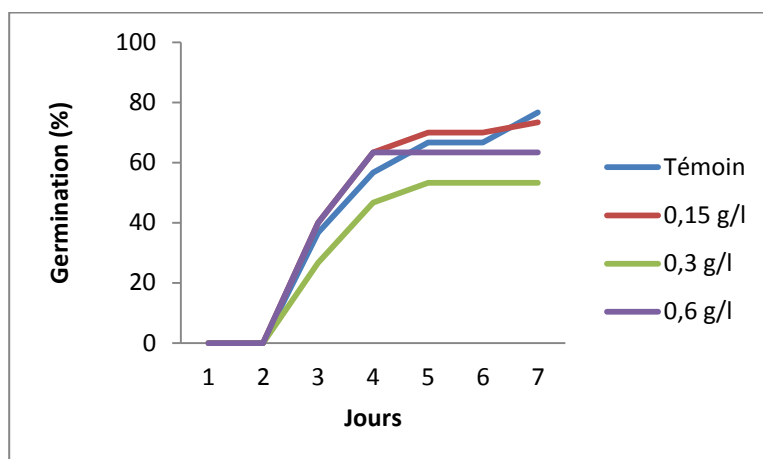
- Une phase de latence, ou il n'y a pas de germination, c'est la période d'imbibition qui a été en moyenne de 2 jours pour les quatre variétés étudiées
- Une phase active durant laquelle la germination augmente rapidement d'une manière exponentielle. C'est la germination au sens stricte « *sensu-stricto* » qui a duré jusqu'au 5<sup>ème</sup> jour.
- Une phase lente, dont la durée est fonction du test et du matériel végétal, qui indique la fin du processus de germination (palier). Signalons par ailleurs, qu'à travers ces courbes de germination, on peut également voir l'effet du plomb sur ce phénomène.



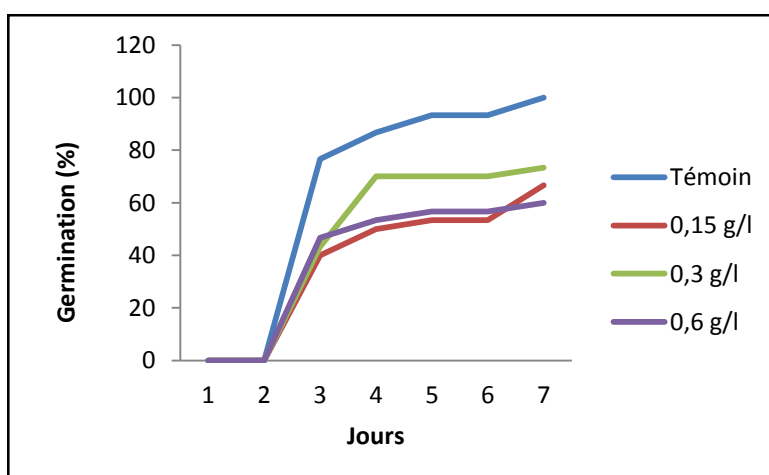
**Figure 09. Cinétique de la germination des graines (%) du blé dur sous l'effet des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.**



**Figure 10. 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 11. Cinétique de la germination des graines (%) d'orge sous l'effet des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.**



**Figure 12. Cinétique de la germination des graines (%) de triticales sous l'effet des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.**

Les courbes relatives aux graines traitées de blé dur, orge et triticales sont situées au-dessous de la courbe relative au témoin.

En effet, toutes les graines dans les différents traitements germent dès le 3<sup>ème</sup> jour, il faut remarquer qu'avec l'augmentation de la concentration en acétate du plomb, la germination est retardée chez les graines traitées. chez les témoins dans le 7<sup>ème</sup> jour, la cinétique de germination atteint 100%, 76,66% à 100% respectivement pour le blé dur (variété Wahbi), l'orge (variété Saida) et le triticales (variété Chelia), elle diminue à 63,33%, 73,33% et 66,66% pour la concentration 0,15g/l, à 76,66%, 53,33% et 73,33% aux 0,3g/l et à 53,33%, 63,33% et 60% avec la concentration 0,6g/l. Ainsi les résultats indiquent que les courbes relatives aux

graines traitées de blé tendre sont situées au-dessous de la courbe relative au témoin. En effet, tous les grains sous les différents traitements germent dès le 2<sup>ème</sup> jour, il faut remarquer qu'avec l'augmentation de la concentration en acétate de plomb, la germination est retardée. Chez les grains traités, ce taux passe de 100% chez le témoin et 0,15 g/l dans le 7<sup>ème</sup> jour à 90% et 93,33% chez les plantes traitées avec les concentrations 0,3 g/l et 0,6 g/l.

#### d. Influence du plomb sur la croissance et la teneur relative en eau

La teneur relative en eau est considérée comme un excellent indicateur de l'état hydrique de la plante. Elle constitue un paramètre influençable pour toutes variations des potentialités absorbantes des plantes.

Dans les conditions de notre expérimentation, l'analyse des résultats obtenus (Tableau 12) démontre que la teneur relative en eau est plus dépendante de la nature génotypique ( $p=0,000$ ) et elle est grandement influencée par le traitement de Pb ( $\text{CH}_3\text{COO}$ )<sub>2</sub> appliqué ( $p=0,000$ ). Le statut hydrique de la plante (orge et triticales) diminue au fur et à mesure que le stress s'accroît (figure 12).

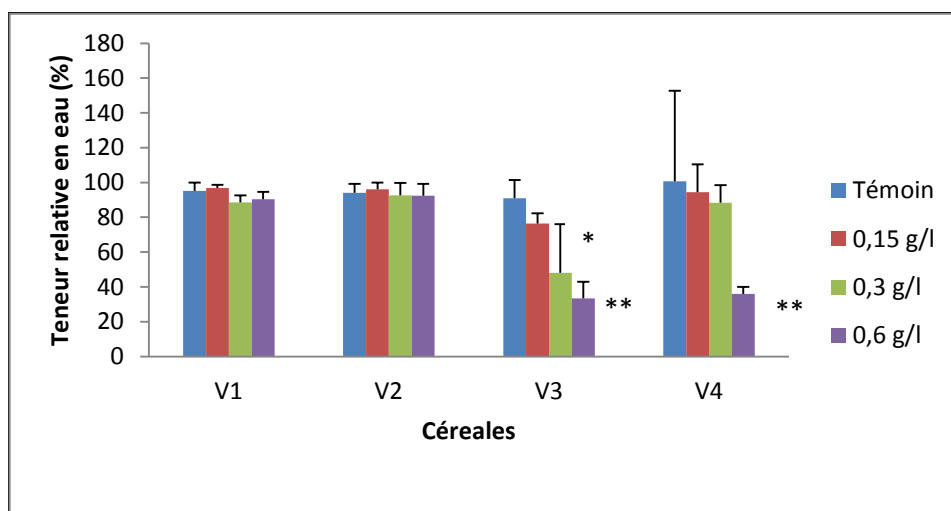
L'interaction des deux facteurs d'étude exerce également des variations de grandeurs importantes sur cette caractéristique ( $p<0,05$ ). Ceci indique que les variétés testées réagissent de manières distinctes à la déclaration du stress métallique imposée.

**Tableau 07. Analyse de la variance de la teneur relative en eau (TRE) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate de plomb.**

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
<b>TRE</b>	9,72	0,000	9,20	0,000	2,82	0,015

D'après les résultats obtenus (figure 14) les niveaux en eau les plus élevés sont notés au traitement 0,15 g/l de Pb. Pour la variété Saida, l'effet du plomb sur la teneur relative en eau ne se manifeste qu'à partir des concentrations supérieures à 0,15 g/l. En effet, la TRE passe de 91% chez les plantes témoin à 48% (différence significative) et 33,33 % (différence hautement significative) respectivement chez les plantes stressées avec les concentrations 0,3 et 0,6 g/l, ce qui correspond aux pourcentages de réduction respectifs de 47,25% et 63,37%.

Lorsqu'elle est cultivée sur milieu dépourvu de plomb, la teneur relative en eau de la variété Chelia est de 105%. En présence de plomb, la TRE diminue de manière hautement significative passant à 36% pour les plantes stressées avec 0,6 g/l de Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> soit un pourcentages de réduction de 65,71%.



**Figure 13. Effets des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> sur la teneur relative en eau des quatre variétés des céréales.**

#### e. Influence du plomb sur la synthèse du Malondialdéhyde

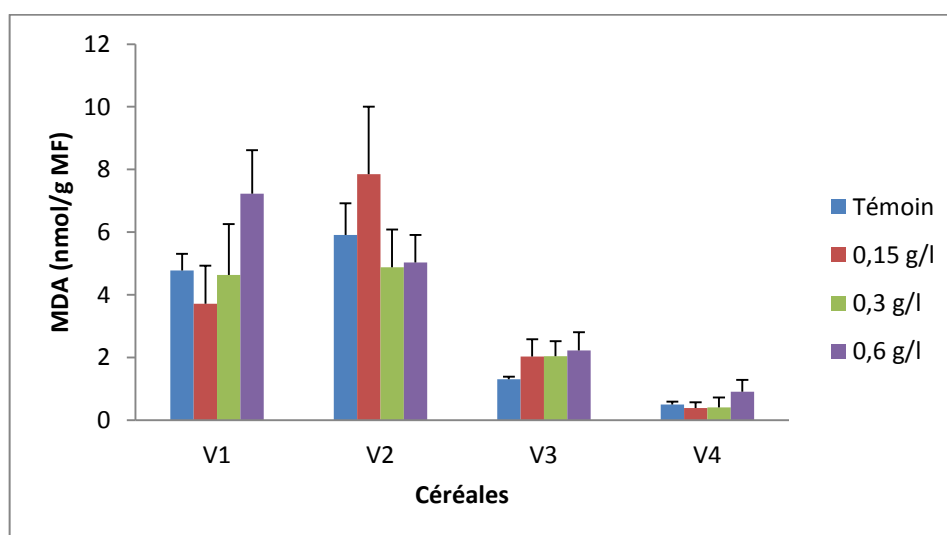
L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les variétés ( $p \leq 0.001$ ) et une différence non significative pour les différents traitements ( $p = 0,154$ ) ainsi que pour l'interaction on observe une différence hautement significative, ce qui indique que ces variétés répondent de manières distinctes à la présence de la contrainte métallique imposée.

**Tableau 08. Analyse de la variance du MDA des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.**

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
<b>MDA</b>	81,54	0,000	1,88	0,154	3,91	0,002



D'après la figure 15, les concentrations de MDA augmentent d'une manière non significative dans les feuilles des plantes traitées par rapport à celles des témoins. Elles atteignent 4,77 nmol/g MF, 1,31 nmol/g MF et 0,50 nmol/g MF pour le témoin et 7,22 nmol/g MF, 2,22 nmol/g MF et 0,9 0nmol/g MF avec la concentration 0,6g/l chez les variétés blé dur (variété Wahbi), orge (variété Saida) et le triticale (variété Chelia) respectivement, par contre on trouve que le taux du MDA chez la variété Massine du blé tendre, augmente avec la concentration 0,15g/l de Pb à 7,84nmol/g MF par rapport au témoin (5,91 nmol/g MF) et avec les concentrations 0,3 g/l et 0,6g/l nous remarquons une diminution à 4,9 nmol/g MF et à 5,1 nmol/g MF respectivement avec des pourcentage de diminution de 17,08% et 13,70%.



**Figure 14. Effets des différentes concentration en Pb ( $\text{CH}_3\text{COO}$ )<sub>2</sub> sur les moyens du MDA des quatre variétés des céréales.**

#### **f. Influence du plomb sur la synthèse des pigments photosynthétiques**

##### **➤ Au niveau de la teneur en chlorophylle a**

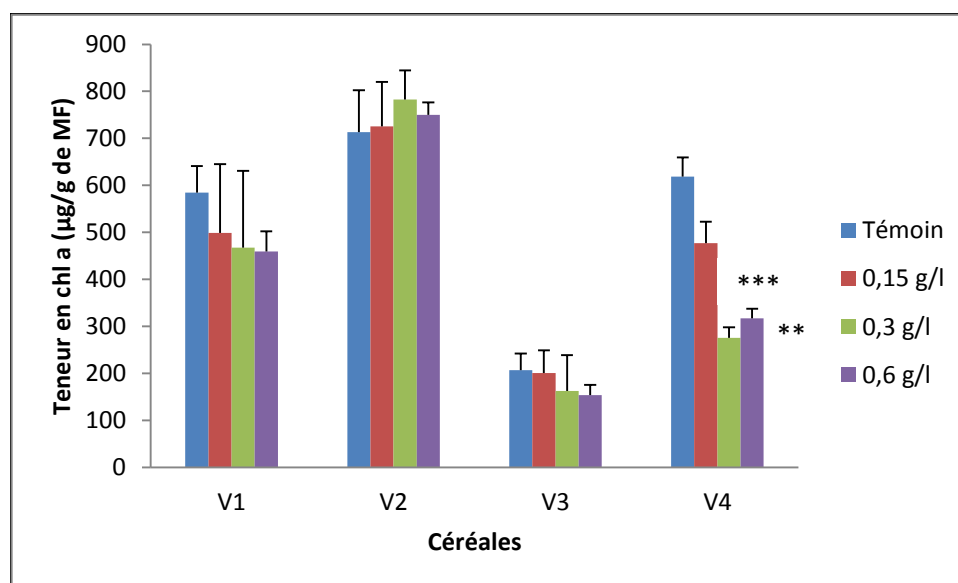
L'analyse de la variance (Tableau 09) de la teneur du contenu en chlorophylle *a* des feuilles révèle que l'élaboration de ce paramètre est grandement influencée par les facteurs d'étude à savoir, la nature génotypique et le traitement appliqué ( $p < 0,05$ ), aussi son interaction.

**Tableau 09. Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle *a* (chl *a*) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.**

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
<b>Chl <i>a</i></b>	115,73	0,000	5,969	0,002	3,347	0,005

Selon les résultats présentés dans la figure 16, les fluctuations de la teneur en chlorophylle *a* oscillent entre une valeur maximale chez les plantes témoins de l'ordre de 584,72µg/g de MF, 206,81µg/g de MF et 618,56µg/g de MF et une valeur minimale dans les plantes traitées avec la concentration 0,6g/l en Pb qui est égale à 459,11µg/g de MF, 53,16µg/g de MF et 316,78µg/g de MF respectivement chez le blé dur (variété Wahbi), l'orge (variété Saida) et le triticale (variété Chelia) respectivement. Alors que les différentes concentrations en Pb provoquent une augmentation non significative de la teneur en chlorophylle *a* dans les plantes traitées de blé tendre par rapport aux témoins.

A un niveau du stress plus élevé, une chute importante de la teneur en chlorophylle *a* est par contre enregistrée chez le triticale, cette dernière atteint 275,08µg/g de MF (différences très hautement significatives) et 316,78µg/g de MF (différences hautement significatives) chez les plantes traitées avec 0,3 g/l et 0,6 g/l de Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> respectivement. Soit un taux de réduction de 48,79% et 48,79% par rapport au témoin.



**Figure 15. Effets des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> sur la teneur en chlorophylle *a* des quatre variétés des céréales.\*\*\*, \*\* significatif à 0,1% et 1% .**

➤ **Au niveau de la teneur en chlorophylle *b***

L'analyse de la variance (Tableau10) de la teneur du contenu en chlorophylle *b* des feuilles révèle que l'élaboration de ce paramètre est fortement influencée par la nature des variétés testés ( $p= 0,000$ ). La contrainte de traitement de Pb ( $\text{CH}_3 \text{COO}$ )<sub>2</sub> imposé influe d'une manière non significative sur cette variable ( $p>0,05$ ). Aucune manifestation n'apparaît à l'interaction des deux facteurs ( $p>0,05$ ). Ce résultat s'explique par une similarité de conduite des génotypes testés à l'expression de ce paramètre.

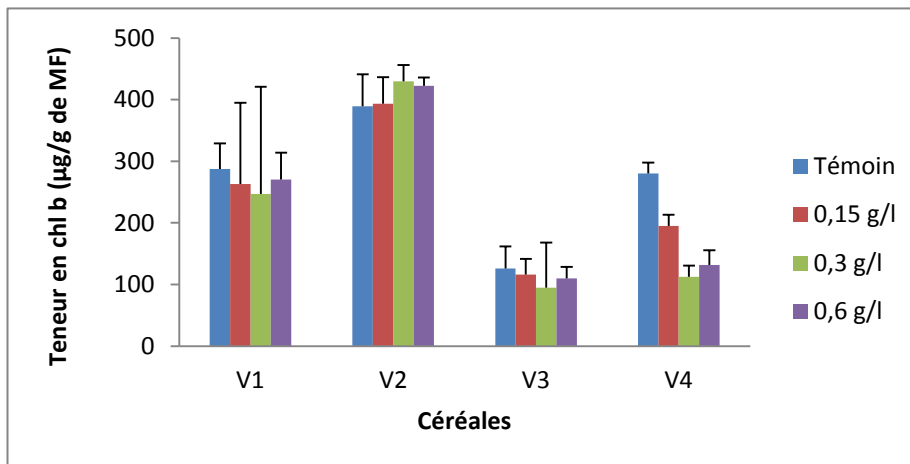
**Tableau 10. Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle *b* (chl *b*) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.**

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
<b>Chl <i>b</i></b>	47,714	0,000	1,291	0,294	1,162	0,351

A l'échelle des traitements (figure 17), les valeurs du contenu en chlorophylle *b* des feuilles sont réduites pour les plantes de blé dur, orge et triticale stressés. Au niveau de la concentration 0,15 g/l de Pb ( $\text{CH}_3\text{COO}$ )<sub>2</sub>, les résultats varient entre  $263,15 \pm 107,67 \mu\text{g.g}^{-1}$  MF avec une valeur maximale enregistrée par le blé dur et  $116,02 \pm 21,04 \mu\text{g.g}^{-1}$  MF, valeur minimale donnée par l'orge.

Au niveau de la concentration 0,3 g/l de Pb ( $\text{CH}_3\text{COO}$ )<sub>2</sub>, la teneur en chlorophylle *b* présente une valeur maximale donnée par la variété Whabi ( $246,83 \pm 142,06 \mu\text{g.g}^{-1}$  MF) et une valeur minimale présentée par la variété Saida ( $94,75 \pm 59,72 \mu\text{g.g}^{-1}$  MF).

Au niveau de la concentration 0,6 g/l, les valeurs oscillent entre  $270,20 \pm 35,60 \mu\text{g.g}^{-1}$  MF marqué par le blé dur et  $109,88 \pm 15,23 \mu\text{g.g}^{-1}$  MF inscrite par l'orge.



**Figure 16. Effets des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> sur la teneur en chlorophylle *b* des quatre variétés des céréales**

➤ **Au niveau de la teneur en chlorophylle totale**

L'analyse de la variance (Tableau 11) a fait ressortir que les traitements adoptés ainsi que la nature génotypique constituent une source de variation des niveaux de grandeur de ce paramètre ( $p < 0,05$ ).

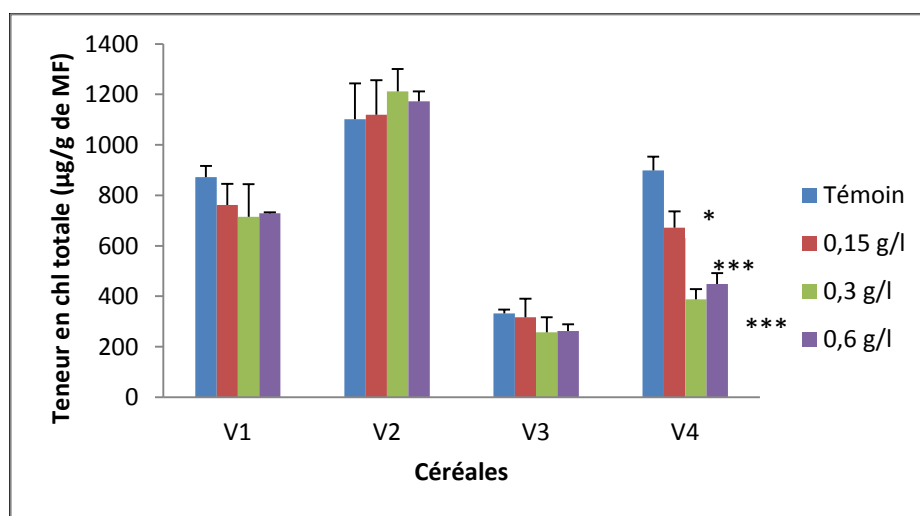
L'interaction des deux facteurs d'étude exerce également des variations importantes sur cette caractéristique ( $p = 0,000$ ). Ceci indique que les variétés testées réagissent de manières distinctes à la déclaration de la contrainte métallique imposée.

**Tableau 11. Analyse de la variance de chlorophylle totale des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.**

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
<b>Chl <i>t</i></b>	259,94	0,000	10,80	0,000	7,082	0,000

Les résultats présentés dans la figure 18 montrent que l'acétate du plomb a eu un effet marqué sur la teneur en chlorophylle *t* de triticale qui diminue substantiellement avec les concentrations appliquées. Cette diminution est significative par rapport aux témoins avec les

concentrations 0,15 g/l et très hautement significative avec les concentrations 0,3 g/l et 0,6 g/l de Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.



**Figure 17. Effets des différentes concentration en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> sur la teneur en chlorophylle totale des quatre variétés des céréales.\*\*\*, \*\*, \* significatif à 0,1% ; 1% ; 5% respectivement.**

➤ **Au niveau de la teneur en caroténoïde**

Selon les résultats affichés au tableau 12, il semble que les caroténoïdes diminuent au fur et à mesure que le stress s'accroît.

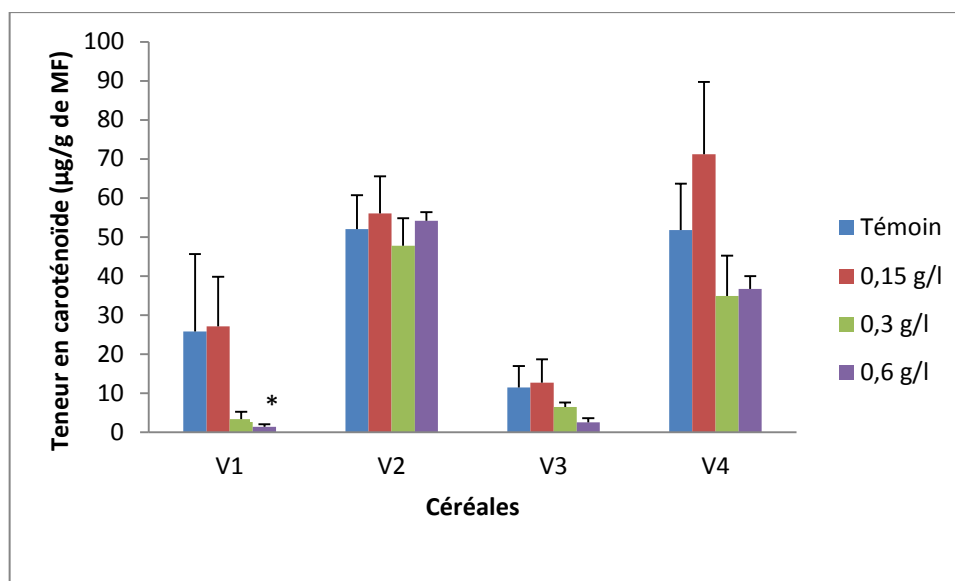
Ce paramètre est dépendant de la nature de matériel végétal utilisé (p=0,000). Les caroténoïdes ont été affectés par la présence du plomb de manière hautement significative et proportionnel à l'intensité du traitement appliqué (p=0,000).

En effet, l'interaction ne semble donner aucune distinction entre les différents génotypes aux conditions du stress imposés pour l'évaluation de ce paramètre (p=0,073).

**Tableau 12. Analyse de la variance de la teneur en caroténoïde des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.**

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
<b>Caroténoïde</b>	69,30	0,000	11,05	0,000	2,00	0,073

Les résultats mentionnés dans ( la figure 19) illustrent que la teneur en caroténoïde se passe de 25,84  $\mu\text{g/g}$  chez les plantes témoin de blé dur à 18,92  $\mu\text{g/g}$  de MF (différences non significatives), 3,37 $\mu\text{g/g}$  de MF (différences non significatives) et 1,387  $\mu\text{g/g}$  de MF (différences significatives) avec les concentrations 0,15 g/l, 0,3 g/l et 0,6 g/l de Pb ( $\text{CH}_3\text{COO}$ )<sub>2</sub>, ce qui correspond aux pourcentages de réduction respectifs de 26,78%, 86,95%, 94,63%.



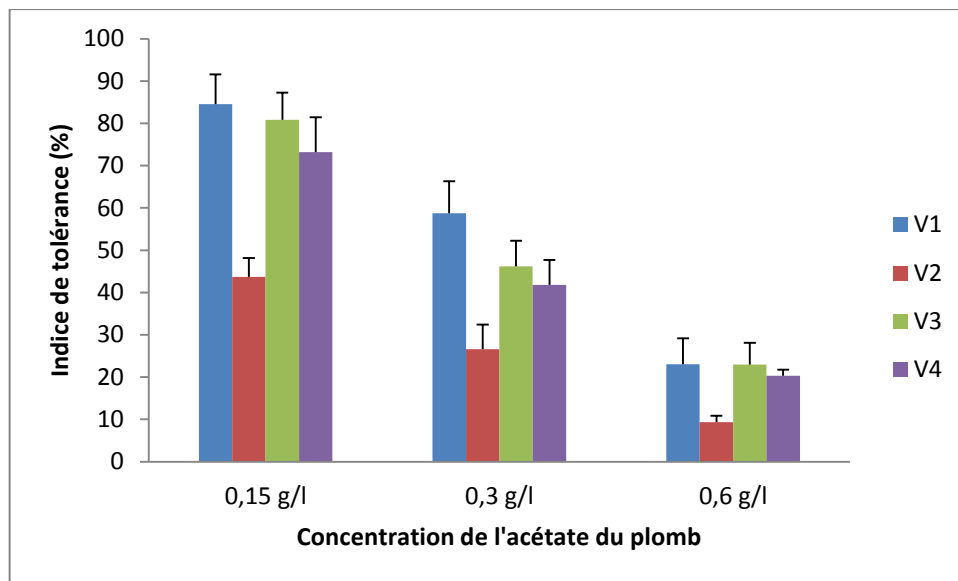
**Figure 18. Effets des différentes concentration en Pb ( $\text{CH}_3\text{COO}$ )<sub>2</sub> sur la teneur en caroténoïde des quatre variétés des céréales.**

### **g. Indice de tolérance**

L'indice de tolérance permet de mieux rendre compte de l'action du toxique sur la croissance des racines des quatre céréales pour les différentes concentrations d'acétate du plomb.

Ainsi, comme on le constate sur la figure 13, les indices de tolérance des deux variétés de blé dur et orge, se développant sur les milieux contenant 0, 15 g l<sup>-1</sup> de Pb, atteignent des valeurs moyennes élevées, supérieures à 50% (respectivement : 84, 49% et 80, 82%. Mais, ils diminuent fortement pour les concentrations supérieures à 0, 15 g l<sup>-1</sup> de Pb. L'allongement des racines en milieu toxique par rapport à celui des racines en milieu normal permet de remarquer que les racines des deux variétés de blé tendre et triticale croissant sur des milieux enrichis par le toxique (0, 15, 0, 3 et 0, 6 g l<sup>-1</sup> de Pb) n'atteignent respectivement en moyenne que 43,65 % ; 26,58 % ; 09,37 % pour le blé tendre et 54,95 % ; 31,42 % et 15,38

% pour le triticale, de la longueur moyenne des racines des variétés témoins. D'une façon générale, il apparaît que l'indice de tolérance de ces dernières espèces diminue avec les concentrations du milieu en toxique et qu'elle n'est tolérante qu'à la concentration de 0,15 g l<sup>-1</sup> de Pb. Il semblerait que les deux variétés de blé dur et orge soient plus tolérantes à la présence de plomb dans le milieu que les deux variétés de blé tendre et triticale. Ceci pourrait être probablement expliqué par le fait que ces espèces accumulent beaucoup plus de Pb dans ses racines. Ceci est probablement accentué en milieu expérimentale, ce qui provoque une plus grande intoxication des cellules racinaires et donc l'arrêt de leur croissance.



**Figure 19. Effets des différentes concentrations en Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> sur l'indice de tolérance des quatre variétés des céréales**

### III.2. Discussion

En premier lieu, nous avons étudié les réponses de quatre céréales (*Triticum durum*, *Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare* et *Triticosecale wittmack*) au stress oxydant induit par le plomb. Pour cela, nous avons évalué différents paramètres morphologiques et physiologiques au niveau racinaire et foliaire. L'exposition des plantes aux métaux lourds peut entraîner de nombreux troubles physiologiques et biochimiques. L'inhibition de la croissance des plantes peut être considérée comme une réponse générale associée à la toxicité des métaux lourds (**Kopyra et al., 2006**). Dans notre travail, nous avons constaté que le plomb provoque une diminution significative du taux et de la vitesse de germination des graines de céréales. Nos résultats montrent également que le plomb a réduit l'élongation et le nombre des racines, aussi la teneur en eau et les pigments assimilateurs des plantes. Nous avons également observé chez les quatre céréales étudiées que le plomb affecte beaucoup plus la croissance des racines comparée à celle des feuilles, notamment au niveau des traitements par les concentrations les plus élevées du Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.

En effet, la germination ou l'embryogénèse tardive, est la première phase du développement d'une plante (**Tourte et al., 2005**), dans laquelle la graine retourne à la vie active après une période de dormance (**Théron, 1964 ; Meyer et al., 2004**). Lors de la germination l'embryon augmente de volume par l'utilisation de l'énergie provenant de l'oxydation des réserves sous l'influence de l'action des différentes enzymes hydrolasiques, qui dégage progressivement les enveloppes qui l'entourent et la sortie de la coléoptile et des radicelles (**Binet et Brunel, 1999**). Dans cette phase la graine a besoin de conditions externes et internes favorables pour un développement normal.

L'augmentation du taux des métaux non essentiels dans les plantes exerce une toxicité (**Prasad, 1999**), affectant plusieurs étapes de développement, de la germination à la formation des feuilles. D'une manière générale, la plupart des métaux peuvent inhiber la germination et la croissance racinaire lors des premiers stades de développement (**Dazy, 2008**). Le Pb engendre également, des lésions nécrotiques et la sénescence des feuilles (**Patra et al., 2004**) et diminue la croissance de blé tendre (**Zembala et al., 2009**).

La cinétique de la germination met en évidence l'influence Pb (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> sur la durée du processus de germination exprimée par un retard. L'émergence de l'appareil végétatif est affectée par les concentrations croissantes de Pb presque chez toutes les variétés stressées. D'après **Ben Miled et al. (1986)**, ce retard peut être expliqué par le temps nécessaire à la graine pour mettre en place des mécanismes permettant d'ajuster sa pression osmotique



interne. Par ailleurs, **Botia et al. (1998)** en rapporté que ce retard pourrait être dû à l'altération des enzymes et des hormones qui se trouve dans la graine.

La variation de la germination des graines, enregistrés dans nos conditions expérimentales font appel à un certain nombre de réflexion, en effet plusieurs résultats similaires sur le comportement du graines vis-à-vis d'un apport en plomb et qu'il exerce un effet négatif sur tous les paramètres germinatifs. Des études antérieures, 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 (**Wierzbicka et Obidzinska, 1998**) et de la fève (**Pourrut et al., 2008**). Des nombreux travaux font état d'une inhibition de germination par le MT telles que le mercure (Hg) est le métal le plus inhibiteur de la germination. Il provoque une inhibition complète dans les graines de blé et du concombre à des concentrations de 1.7mM et  $\geq 1.5$ mM (**Seregin et Kozydinska, 1998**). Même à faibles doses, le plomb inhibe la germination des grains qui ont les enveloppes perméables comme le petit pois *Pisum sativum* (**Seregin et Ivanov, 2000**). Le plomb peut se fixer, en grandes quantités, sur les composants des parois ou des membranes. Cette fixation conduit notamment à une minéralisation de la paroi (**Wierzbicka, 1998**). Ce phénomène de minéralisation, défini comme un dépôt d'éléments minéraux au niveau de la paroi (**Nultsch et al., 1998**), est surtout connu dans le cas de la calcification (dépôt de carbonate ou d'oxalate de calcium) et la silicification (dépôt d'oxydes de silice). La minéralisation pariétale entraîne un changement dans les propriétés physiques et chimiques de la paroi, et en particulier dans sa plasticité. Cette diminution de plasticité affecte de nombreux mécanismes cellulaires comme la division ou l'élongation.

Le plomb ne perturbe pas seulement les enveloppes externes en se liant à elles, il va également désorganiser les réseaux de microtubules, même à de faibles doses (**Wierzbicka, 1998; Eun et al., 2000**). Cette désorganisation a un impact très important, puisque les microtubules jouent un rôle majeur dans de nombreux processus tels la mitose et la morphogenèse, déterminant la polarité de croissance et la forme des cellules. La conséquence de cette interaction entre le plomb et les microtubules est l'apparition de formes cellulaires anormales et d'inégalités dans les épaisseurs de la paroi (**Wierzbicka, 1998**). De plus, il est intéressant de noter que cet effet sur les microtubules est caractéristique du plomb, et ne s'observe pas avec d'autres métaux comme le cuivre ou l'aluminium qui, pourtant, inhibent la croissance (**Eun et al., 2000**).

Concernant la croissance des plantes une réduction important de la longueur des racines est observée à partir du traitement 0,15g/l. Ces résultats sont conformes à d'autres

travaux effectués par **Kopittke et al., (2007)** dans une étude réalisée sur la cornille (*Vigna unguis culata*), qui ont montré que les racines sont plus sensibles que les parties aériennes à l'exposition au plomb. Par ailleurs, la production de biomasse racinaire est inhibée dès le seuil minimal de 0,1µM de plomb dans la solution, avec une apparition de symptômes visibles sur les racines à partir de 1,5µM. Plusieurs causes sont évoquées pour expliquer le déterminisme de la réduction de la croissance sous les conditions de stress oxydatif :

Le plomb affecte considérablement la morphologie des racines, en diminuant la taille des racines primaires ainsi qu'en réduisant le nombre de racines secondaires. L'inhibition de la division et de l'élongation cellulaire sont les phénomènes les plus souvent reportés pour expliquer ces effets du plomb sur les racines (**Seregin et Ivanov, 2001 ; Malkowski et al., 2002 ; Patra et al., 2004 ; Kopittke et al., 2007**). Ceci avait déjà été mis en évidence il y a près de 80 ans par **Hammett (1929)** qui avait montré une diminution de l'index mitotique dans les racines de maïs et d'oignon, provoquée par la présence de Pb(NO<sub>3</sub>), et qu'il avait expliqué par la fixation du plomb sur les groupements –SH des protéines.

Les racines sont les plus sensibles aux MT par rapport à d'autres organes végétaux, parce qu'elles sont les premières cibles de passage et d'accumulation de ces métaux (**Seregin et Ivanov, 2000**), particulièrement, les racines primaires qui sont plus sensibles que les racines latérales (**Obrouscheva et al., 1998**). Les MT, comme Cadmium et Sélénium diminuent le développement des racines de blé cultivé *Triticum aestivum* (**Zembala et al., 2009**). Le niveau d'inhibition de la croissance de blé par le Cd est de 76.2% pour les racines, 62.7% pour les tiges et 55.6% pour les glumes (**Jin, 2010**). Ainsi, il produit une réduction de la biomasse des différents organes chez des plants aussi variés que le pois (**Sandalio et al., 2001 ; Chaoui et al., 2004**), le tournesol (**Di Cagno et al., 1999 ; Groppa et al., 2007**), le riz (**Fodor, 2002 ; Hassan et al., 2005 ; Aina et al., 2007**), le saule et le peuplier (**Lunackova et al., 2003 ; Cosio et al., 2005**), l'ail (**Liu et al., 2003**). Ces inhibitions de la croissance s'accompagnent de changements anatomiques, structuraux et ultrastructuraux importants au niveau des feuilles (**Baryla et al., 2001 ; Sandalio et al., 2001**) mais également des racines (**Lunackova et al., 2003 ; Cosio et al., 2005 ; Patel et al., 2005**). La réduction de l'élongation racinaire peut être causée par une inhibition de la division cellulaire et de la synthèse des polysaccharides pariétaux (**Ernst et al., 1992 ; Punz et Sieghart, 1993**).

Depuis plus de trente ans, du fait des risques de contamination de la chaîne alimentaire par le plomb, l'absorption racinaire a fait l'objet de nombreuses recherches sur divers espèces végétales. De ce fait, ces études ont porté essentiellement sur les céréales, comme l'orge et le

blé (**Tanton et Crowdy, 1971**), le maïs (**Tung et Temple, 1996**), ou les légumes, comme la laitue (**Glater et Hernandez, 1972**), le radis (**Lane et Martin, 1977**) et l'oignon (**Wierzbicka, 1987**). Ces travaux ont révélé que le plomb, après s'être fixé au rhizoderme, pénétrait 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 (**Tung et Temple, 1996; Seregin et al., 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; Tung et Temple, 1996 ; Seregin et al., 2004**). Cette région apicale correspond également à la zone où le pH rhizosphérique est le plus bas. Ce pH bas favorise la solubilité du métal et conduit à une élévation locale de la concentration en plomb dans la solution du sol.

Dans notre travail, nous avons aussi mesuré la teneur relative en eau des plantes des quatre céréales. La teneur relative en eau (RWC) des feuilles et des racines des plantes renseigne sur la turgescence relative des tissus et figure parmi les critères d'évaluation de la tolérance au stress. Elle est liée à la capacité de la plante à maintenir un niveau d'hydratation des tissus qui soit à même de garantir la continuité de l'activité métabolique (**Zerrad, 2008**). Nos résultats montrent que la teneur relative en eau des plantes de l'orge et de triticale a diminué progressivement et de manière hautement significative à 0,6g/l d'acétate de plomb, par rapport aux plantes témoins. Pour examiner l'effet osmotique du stress abiotique dans les tissus végétaux traités, la teneur relative en eau est souvent mesurée (**Kim et al., 2006**). Ainsi, il a été observé que l'état hydrique des plantes est fortement affecté par le stress des métaux lourds (**Barcelo et al., 1990 ; Ahsan et al., 2007**). Le plomb peut également affecter l'état hydrique de la plante, en provoquant un stress hydrique, notamment par la fermeture des stomates. Cette fermeture des stomates a un impact sur divers processus dans la cellule, tel que la photosynthèse, en induisant une déficience en CO<sub>2</sub>. Le stress hydrique s'exprime également par une réduction de la surface foliaire, ainsi que globalement de tous les organes sièges de la transpiration, afin de limiter les pertes en eau. On observe ensuite un flux transpiratoire diminué, une pression osmotique plus faible ou un potentiel hydrique réduit dans le xylème. Le plomb provoque une perte globale de turgescence et de plasticité, et enfin une réduction globale du contenu en eau de la plante (**Parys et al., 1998**). L'acide abscissique (ABA) pourrait également être un candidat au rôle de molécule signal entre les racines et les parties aériennes. Aucune étude n'a porté sur des modifications de la teneur en ABA, induites par des métaux sur des temps courts. Toutefois, lors d'exposition plus longues, sa teneur est

modulée par les ETM (**Seregin et Ivanov, 2001; Clemens, 2006; Maksymiec, 2007**). Lors d'un stress hydrique, les teneurs en ABA racinaire, foliaire et xylémique varient de façon très importante, et après seulement quinze minutes, induisant une fermeture très rapide des stomates (**Shashidhar et al., 1996; Hansen et Dorffling, 1999; Seregin et Ivanov, 2001; Zhang et al., 2001**).

Les concentrations des pigments photosynthétiques sont souvent mesurées pour évaluer l'impact de nombreux stress environnementaux. Selon nos résultats, le plomb induit un abaissement des concentrations en chlorophylles (a, et a+b) et en caroténoïdes chez le triticale surtout. Ceci s'accorde avec de nombreux travaux qui rapportent une réduction de la concentration en chlorophylle sous des métaux lourds en général (**Mysliwa-Kurdziel et al., 2002 ; Lei et al., 2007**). La diminution de chlorophylle constitue un des événements primaires chez les plantes soumises au stress métallique et résulte de l'inhibition des enzymes responsables de la biosynthèse de chlorophylle (**Stobart et al., 1985 ; Mysliwa-Kurdziel et Strzalka, 2002**). Lorsque la plante subit un stress, le niveau de Chlorophylle diminue, affectant la coloration de la plante et ralentissant ses activités de croissance (**Percival et Sheriffs, 2002 ; Li et al., 2006**). La chute observée des teneurs en chlorophylle (a) et en chlorophylle (a+b) chez la variété Chélia de triticale résulte probablement de la synergie de plusieurs facteurs : réduction de l'ouverture des stomates qui limite les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance, baisse de l'entrée du CO<sub>2</sub> atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (**Karima et al., 2012 ; Bousba et al., 2009**). D'après **Chandrasekar et al., (2000)**, la réduction de la Chlorophylle est due le plus souvent à une baisse du contenu en protéines thylacoïdales des chloroplastes et à une diminution du nombre de photosystèmes dans la cellule thylacoïdale (**Quartacci et al., 1995**). Dans le cas des caroténoïdes, les résultats obtenus par **Ralph et Burchett (1998)** laissent penser à une action spécifique du plomb sur ces pigments. Selon **Tambussi et al., (2007)**, une diminution des teneurs en chlorophylles perturbe le mécanisme photosynthétique des parties supérieures de la plante, feuilles et épis, altérant ainsi sévèrement le remplissage des grains en affectant aussi le rendement final. En revanche, le plomb peut entraîner des changements de la composition lipidique membranaire et perturbe en particulier les flux de la chaîne photosynthétique de transport des électrons (**Pourrut, 2008**), conduisant ainsi à l'inhibition de la synthèse des pigments de la chlorophylle et des caroténoïdes (**Seregin et Ivanov, 2000**). Parmi les enzymes fondamentales qui peuvent être inhibées par le plomb, se trouvent des enzymes impliquées dans la biosynthèse de la chlorophylle ou bien la RUBISCO qui permet

la fixation du CO<sub>2</sub> (Seregin et Ivanov, 2001 ; Patra et al., 2004). L'inhibition de ce type d'enzyme entraîne une forte perturbation de la photosynthèse. Ceci entraîne une réduction de la teneur en chlorophylle ainsi que celle de tous les pigments photosynthétiques, et également une croissance réduite des feuilles. Une concentration plus élevée en plomb provoque une substitution de l'atome de magnésium au centre de la molécule de chlorophylle par un atome de plomb (figure 20), provoquant un arrêt de la photosynthèse (Kupper et al., 1996).

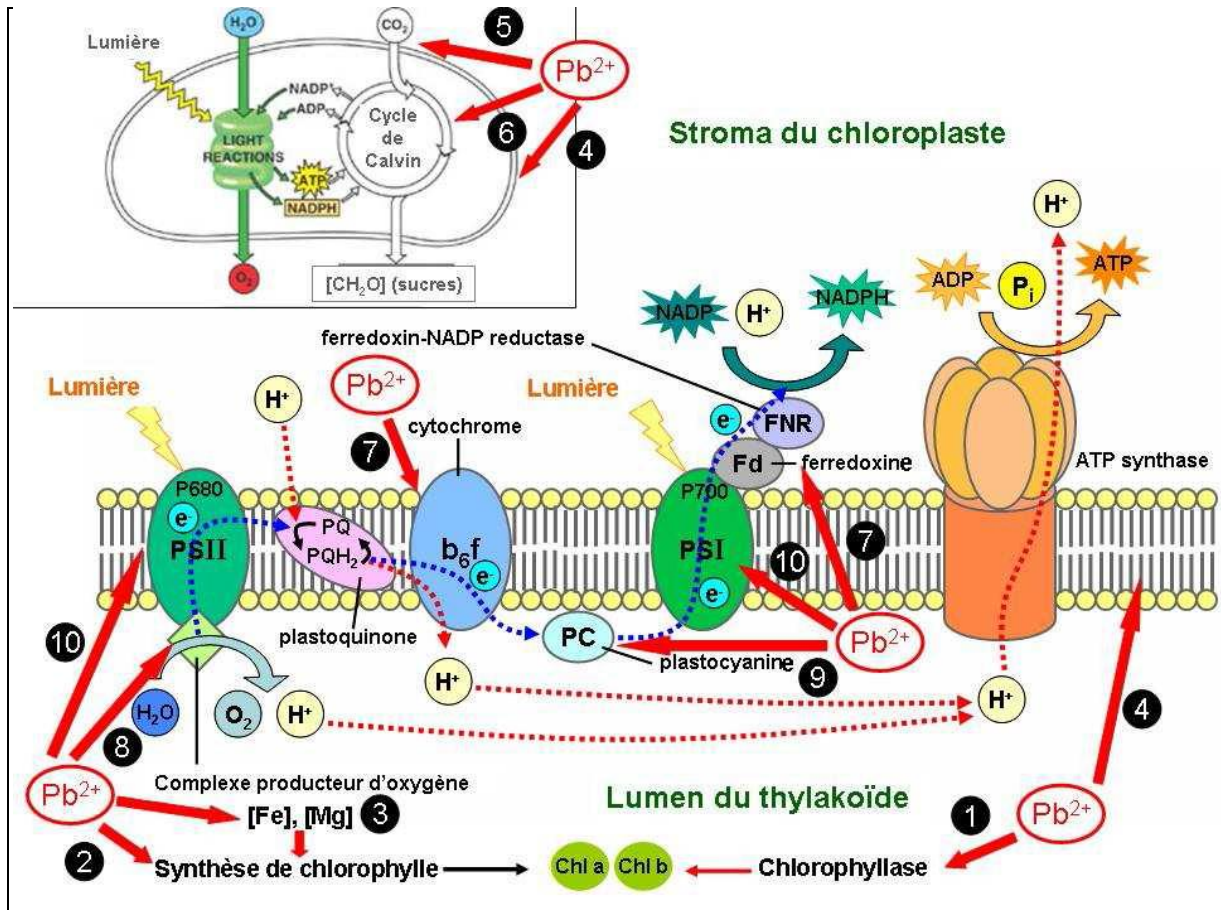


Figure 20. Les interactions possibles avec le plomb dans la photosynthèse (Pourrut, 2008).

La concentration en MDA n'a pas montré d'évolution significative chez les quatre variétés. Toutefois, il faut relativiser ces données, car le MDA est, dans les plantes, formé essentiellement dans les parties aériennes. De ce fait, ce résultat n'exclut en aucun cas l'hypothèse d'une action génotoxique du plomb impliquant la participation d'autres dérivés lipidiques ne réagissant pas avec l'acide thiobarbiturique. Si le rôle joué par les ERO est fondamental, les diverses expérimentations menées ne permettent pas de conclure définitivement sur le mécanisme précis conduisant à la génotoxicité du plomb. L'existence de plusieurs voies simultanées n'est pas non plus à exclure (Pourrut, 2008). La majorité des

plantes séquestrent le plomb dans leurs racines, mais une partie peut malgré tout être transférée vers les parties aériennes. Le plomb est transporté de cellules à cellules dans le cortex, par voie symplastique, puis il est déversé dans les vaisseaux et conduit vers les parties aériennes (**Cecchi, 2008**).

Ces résultats suggèrent que les céréales tolèrent le plomb en le précipitant dans l'apoplaste ou en l'accumulant dans les parois. L'incapacité apparente de quatre variétés des céréales pourrait expliquer la différence de tolérance au plomb entre eux.

Il ressort aussi qu'il existe des corrélations négatif et hautement significatives entre la synthèse de pigments chlorophylliens et la production de MDA et aussi la corrélation entre les deux paramètres précédent et le caroténoïde. Cette corrélation inverse suggère fortement l'implication des ERO dans l'altération pigmentaire observée.

## Conclusion et perspectives

Le stress métallique représente l'un des principaux facteurs de la réduction des rendements agricoles. L'un des défis de la recherche actuelle en écophysiologie végétale et de produire des variétés de plantes à intérêt agronomique présentant une tolérance vis-à-vis ce type de stress.

Un des objectifs de ce travail a été donc d'étudier les effets de l'acétate de plomb sur quatre variétés des céréales très consommées en Algérie: blé dur (variété Wahbi), blé tendre (variété Massine), orge (variété Saida) et le triticales (variété Chelia) et leurs capacités de tolérance. Pour répondre à cet objectif, la démarche adoptée dans le cadre de ce travail, a donc consisté à rechercher chez nos modèles biologiques les réponses morphologiques et physiologiques, aussi les mécanismes de résistance et de tolérance aux métaux lourds. Chez les végétaux, l'effet le plus visible des métaux lourds est une inhibition de croissance qui s'accompagne très souvent de chloroses et d'importantes lésions nécrotiques.

Ainsi d'après nos résultats, les stress causés par le plomb, engendre des désordres dans la croissance des plantes des quatre céréales étudiées (*Triticum durum*, *Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare* et *Triticosecale wittmack*). Ces altérations se manifestent, à l'échelle de la plante entière, par une diminution du taux et de la vitesse de germination, par une réduction de l'élongation et du nombre des racines et une réduction des biomasses fraîche et sèche (RWC). L'excès du plomb a provoqué une réduction des concentrations des pigments photosynthétiques (chl *a*, chl *t* et caroténoïdes). Ces altérations sont plus importantes dans les racines comparées aux feuilles des plantes des céréales traitées par les différentes concentrations d'acétate de plomb. Le système racinaire semble être plus affecté par le stress métallique. Ceci pourrait être expliqué par l'accumulation et la répartition du métal au sein de la plante. Les racines semblent jouer le rôle d'organe piège pour le plomb afin de limiter ces effets destructeurs dans les feuilles.

Les variétés présentent donc une sensibilité vis-à-vis le plomb qui se traduit par des modifications morphologique et physiologiques importants durant la germination mais nous remarquons que la variété Wahbi de blé dur est plus tolérante que les trois autres variétés. Enfin, la définition des paramètres et les réponses morpho physiologiques chez les céréales reste difficile à atteindre. Cependant nos résultats demeurent parcellaires mais contribuent à enrichir les travaux visant à créer des génotypes résistants au stress métallique.

Les résultats préliminaires obtenus dans le cadre de cette étude ouvrent certaines perspectives d'étude qu'il serait judicieux d'entreprendre :

- Poursuivre cette étude sur plusieurs stades de cycle de vie.
- Vérifier les résultats sur champ.
- Utiliser plusieurs variétés.
- Dosage d'autres solutés aussi importants pour l'osmorégulation comme la proline et les sucres solubles.
- Dosage d'éléments antioxydants impliqués dans le mécanisme de détoxification tels la catalase, l'ascorbate peroxydase et le superoxyde dismutase.
- Compléter le travail par des études de biologie moléculaire pour identifier les gènes responsables.



## 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.

**Adriano,D.C., (2001)** : *In* : Trace Metals in Terrestrial Environments : Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals, Springer-Verlag, New york, pp. 866 Second ed.

**Ahsan, N, Lee, D.G, Lee SH, et al. (2007).** Excess copper induced physiological and proteomic changes in germinating rice seeds. *Chemosphere 67*: 1182–1193.

**Aina, R., Labra, M., Fumagalli, P., Vannini, C., Marsoni M., Cucchi, U., Bracale, M., Sgorbati, S. et Citterio S.(2007)** Thiol-peptide level and proteomic changes in response to cadmium toxicity in *Oryza sativa* L. roots. *Environ. Exp. Bot. 59* : 381-392.

**Akar, T.,Avci, M., Dusunceli, F. (2004).** Barley: Post-harvest operations.

<http://www.fao.org/info/content/compend/text/ch3I/ch3I.htm>. Accessed on 15 August 2007.

**Ali, M. B., Hahn, E. J., Paek, K. Y.(2005).** Effects of light intensities on antioxidant enzymes and malondialdehyde content during short-term acclimatization on micropropagated *Phalaenopsis* plantlet. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 54. N 2. P. 109–120.

**Alkorta, I., Hernandez-Allica J., Becerril, J.M., Amezaga, I., Albizu,I. et Garbisu,C., 2004** : Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead and arsenic. *Environ. Sci. Biotechnol. 3* : 71-90.

**Aoun,A.( 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. Biochimie [q-bio.BM]. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2008. Français. HAL Id: P.11.

### B

**Badr, A., K , M., Sch. R., El Rabey,H., Efgen , S., Ibrahim,H.H., Pozzi , C .,Rohde ,W., and Salamini, F. (2000).** Domestication History of Barley (*Hordeum vulgare*).*Mol Biol Evol* 17(4): 499-510.

**Baize, D. (2007).** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans le sols (France). INRA éditions, Paris. 409-410.

- Barcelo ,J and Poschenrieder, C.(1990).** "Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review." *Journal of Plant Nutrition* ; Vol/Issue: 13:1: Pages: 1-37.
- Barrs, H. D. and Weatherley, P. E.. (1962).** A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.*15: 413-428.
- Baryla, A., Carrier,P., Franck,F., Coulomb,C., Sahut,C. et Havaux,M. (2001).**Leaf chlorosis in oilseed rape plants (*Brassica napus*) grown on cadmium-polluted soil : causes and consequences for photosynthesis and growth. *Planta* 212 : 696-709.
- Bellebcir, L, (2008) .** Etude des composés phénoliques en tant Que marqueurs de biodiversité chez les céréales. Thèse de Magister En Biodiversité et production végétale. Université Mentouri de Constantine département de biologie et écologie.
- Ben Miled, D., Boussaid, M. Abdelkefi ,A & Cherif,A. (1986).**Tolérance au sel d'espèces annuelles du genre *Medicago* au cours de la germination. Séminaire international sur les végétaux en milieu aride, 8 au 10 septembre, Jerba., Tunisie.
- Ben Naceur ,M., Rahmone C., Sdiri H., Meddahi M.L., Selmi M., (2001).**Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en de quelques variétés maghrébines de blé. *Secheresse*. Vol. 3, 167-174.
- Benblkacem ,A, Sadlif, Brinis, L.(1995)** La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. **Séminaires Méditerranéens.** ICARDA / CIHEAM / CIMMYT.zaragoza 17-19 novembre.
- Binet, P. Brunel, J.(1999).** Physiologie végétale. *Doin*. 933-935/1156.
- Botia, P., Carvajal,M., Cerda, A. & Martinez,V. (1998).** “Response of eight *Cucumis melo* cultivars to salinity during germination and early vegetative growth”. *Agronomie*, 18, 503-513.
- Bousba, R., Ykhlef, N. & Djekoun, A.(2009).** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum Desf*).*World Journal of Agricultural Sciences* 5. 5: 609 -616 p.
- 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.
- Buege,J.A.,Aust, S. D.(1978).**Microsomal lipid peroxidation. *Method.Enzymol.*52; 302-310.
- Burnol ,A., Duro L., Grive M.(2006).** Eléments traces métalliques. Guide méthodologique. Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines. Rapport INERIS.
- Burton, K.W., Morgan, E., and Roig, A. (1984).** The influence of heavy metals upon the growth of sitka-spruce in South Wales forests II Greenhouse experiments. *Plant Soil* 78, 271-282.

## C

- Callender, E. (2003).** Heavy Metals in the Environment-Historical Trends. In: B.S. Lollar (Ed.), Environmental Geochemistry. Treatise on Geochemistry. ElsevierPergamon, Oxford. 67-105.
- 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.
- Chaise ,L., Ferla A. J., Honore,A. & Moukhli ,R., (2005).** L'impact du changement climatique sur l'agriculture en Afrique. Atelier Changement Climatique. ENPC.
- Chandrasekar ,V., Sairam,R.K. & Srivastava,G.C. (2000).** Physiological and biochemical responses of hexaploid and tetraploid wheat to drought stress, *Journal of Agronomic Crop Sciences* **185** : 219–227.
- Chaoui,A., Jarrar,B. et El Ferjani,E.( 2004) .** Effects of cadmium and copper on peroxidase, NADH oxydase and IAA oxidase activities in cell wall, soluble and microsomal membrane fractions of pea roots. *J. Plant Physiol.* 161 : 1225-1234.
- Chapman, G.P. (2009).** Grass evolution and domestication. Grass evolution and domestication, xviii + 390 pp.
- Chellali,B.(2007).**Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghrebdz.com/admin/folder01/une.pdf>.
- Chen, P.D. & Gill B.S. (1984).** The origin of chromosome 4A and the B and G genomes of tetraploid wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 10: 146-153.
- Clarke, J.M, McGraig, T.M. (1982).** Excised- leaf water retention capability as indicator of drought resistance of triticum genotypes. *Canadian Journal of Plant Science.* 62: 571-578.
- Clemens ,S, Palmgren, M.G and Kramer,U. (2002).** "A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation." *Trends in Plant Science* 7(7): 309-315.
- Clemens S.(2006).** Evolution and function of phytochelatin synthases. *Journal of Plant Physiology* 163, 319-332.
- Come, C. (1970).** Les obstacles à la germination. Masson (Ed.), Paris.
- Cosio, C., Vollenweider, P., Keller, C.(2005).** Localization and effects of cadmium in leaves of a cadmium-tolerant willow (*Salix viminalis* L.). I. Macrolocalization and phytotoxic effects of cadmium. *Environ. Exp. Bot.* 58. 64-74.

## D

**Dazy, M, (2008)** .Caractérisation de la colonisation spontanée par les plantes de sols pollués Rôle des systèmes cellulaires de détoxification ,these de doctorat, universite de metz – ufr sci.f.a.,

**De Burbure ,C., Buchet, J.P., Leroyer A., Nisse, C., Haguenoer ,J.M., Mutti A., Smerhovsky Z., Cikrt, M., Trzcinka-Ochocka, M., Razniewska, G., Jakubowski, M., Bernard, A. (2006)**. Renal and neurologic effects of cadmium, lead, mercury, and arsenic in children: evidence of early effects and multiple interactions at environmental exposure levels. *Environmental Health Perspectives* 144 : 584-590.

**Di Cagno, R., Guidi, L., Stefani, A., et Soldatini, G.F.(1999)** .Effects of cadmium on growth of *Helianthus annuus* seedlings : physiological aspects. *New Phytol.*, 144 : 65-71.

**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.

**Dushenkov, V., Kumar, P.B.A.N., Motto, H., and Raskin, I. (1995)**. Rhizofiltration : The use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Environ. Sci. Technol.* 29, 1239-1245.

**Dushenkov,S., Vasudev,D., Kapulnik,Y., Gleba, D., Fleisher,D., Ting,K.C. and, Bur Hall, J.L., and Williams, L.E. (2003)**. Transition metal transporters in plants. *J. Exp. Bot.*54, 2601-2613.

## E

**Eun, S.O, Shik Youn, and Lee, H. Y. (2000)**. "Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of *Zea mays*." *Physiologia Plantarum* 110: 357-365.

## F

**FAO., (2009)**. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture..

**FAO.,( 2007)**. Perspective alimentaires. Analyse des marches mondiales. [http://www.fao.Org/ 010/ah864f/ah864f00.htm](http://www.fao.Org/010/ah864f/ah864f00.htm).

**Feilet, P., (2000)** : Le grain de blé, composition et utilisation. Edition INRA, paris : 23 25pp.

**Fodor,F.(2002)**. Physiological reponses of vascular plants to heavy metals. *In* : Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants, Prasad M.N.V. et Strzalka K. eds, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 149-177.

**Foyer ,C.H. et Nector,G,( 2005).** Oxidant and antioxyant signalling in plants : a reevaluation of the oxidative stress in a physiological cortex. *Plant, cell and Enviroment* 28 :1056-1071.

## G

**Gill,B.S. & Kimber ,G. (1974).** Giemsa c-banding and evolution of wheat. *Proceedings of theNational Academy of Sciences of the United States of America*, **71**: 4086-4090.

**Glater, R. A. B., Hernandez,L., 1972** Lead detection in living plant tissue using a new histochemical method. *Journal of the Air Pollution Control Association* 22:463-467.

**Gonzales, X.I., Aboal, J.R., Fernandez,J.A., Carballeira, A. (2008).** Heavy metal transfers between trophic compartments in different ecosystems in Galicia (northwest Spain): Essential elements. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 55: 691-700.

**Groppa, M.D., Ianuzzo, M.P., Tomaro, M.L. et Benavides, M.P.(2007).**Polyamine metabolism in sunflower plants under long-terme cadmium or copper stress. *Amino Acids* 32: 265-275.

## H

**Hammett, F.S., (1929) .**Studies in the biology of metals: the influence of lead on mitosis and cell size in the growing root. *Protoplasma* 5: 535-542.

**Han, F.X., Banin, A., Kingery, W.L., Triplett, G.B., Zhou, L.X., Zheng, S.J. and Ding W.X. (2003).** New approach to studies of heavy metal redistribution in soil. *Advances in Environmental Research* 8: 113-120.

**Hänsch, R., Mendel, R.R. (2009).** Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni,Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology* 12 : 259-266.

**Hansen, H and Dorffling, K. (1999).** "Changes of free and conjugated abscisic acid and phaseic acid in xylem sap of drought-stressed sunflower plants." *Journal of Experimental Botany* 50(339):1599-1605.

**Harrière.(2004).** Étude des effets du cadmium et de combinaisons cadmium- calcium sur la germination et le métabolisme respiratoire du blé dur (*Triticum durum* Desf). Mémoire de magistère. Univ, D'Annaba, 63p.

**Hassan,M.J., Zhang, G., Wu, F., Wei, K., et Chen, Z.(2005).** Zinc alleviates growth inhibition and oxidative stress caused by cadmium. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 168 : 255-261.

**Heath, R. L., Packer, L. (1968)** Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I.Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arch. Bioophys.* 125; 189-198.

**Hewlett, J. and Kramer, P.(1962)** The measurement of water deficits in broadleaf plants. *Protoplasma*, 57, 381–391.

**Hopkins., (2003).** *Physiologie végétale*. Ed. Révision scientifique de Charles. Marie Evard. P: 23-453.

**Huang, J.W., and Cunningham, S.D. (1996).** Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. *New Phytol.* 134, 75-84.

## I

**ISTA. (2003)** .International Rules for Seed Testing. Zurich, Switzerland.

**ITGC., (1996).** Les semences de céréales à paille. Vespa. R et clae y Agri- Nathan. 94p.

## J

**Jin, C. Zhou, Q. Fan, J. (2010).** Effects of chlorimuron-ethyl and cadmium on biomass growth and cadmium accumulation of wheat in the phaozem area, Northeast China, *Bull, Environ Cont. Toxicol.* 84: 400.

**Jondreville, C. Genthon,C .Bouguennec, A et Nys,Y.(2007).** Utilisation du triticale dans l'alimentation du poulet : estimation de l'efficacité de la phytase végétale pour améliorer la disponibilité du phosphore. Septièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 28 et 29 mars 2007.

## K

**Kadem , D.E.D.(2005)** . Evaluation et comportement des métaux lourds (Cd-Cr-Cu-Ni-Pb-Zn et Mn) dans les sols à vocation agricole à végétation naturelle soumis à une pollution atmosphérique.(Elhadjar-Annaba-et Algéien).Influence de la végétation sur la dynamique de ces métaux. Thèse de doctorat. Ecologie – Pédologie de l'Université de Constantine, P.112.

**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.145.

**Karima ,K., Louhichi,B.(2012).** Réponse Physiologique au Stress Hydrique de Variétés de Blé Tendre (*Triticum Aestivum* L.) Cultivées en Algérie.

**Kaur ,J, Duffus,C.(1989).** The effect of naf on cereal seed germination and seeding growth. *Plant Cell and environnement.* 12 :154-161.

**Kim, D.Y, Bovet, L. Kushnir, S. Noh, E.W. Martinoia ,E and Lee ,Y.(2006).** "AtATM3 Is Involved in Heavy Metal Resistance in Arabidopsis." *Plant Physiology* 140(3): 922-932.

**Kopittke, P., Colin,A., Kopittke,R., Menzies,W.( 2007).** Toxic effects of Pb<sup>2+</sup> on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Environmental Pollution, in press*.

**Kopyra ,M .Gwozdz,E.A. (2003).** Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metal and salinity on root growth of *Lupinus luteus*. *Plant Physiol. Biochem.* 41:1011-1017.

**Kotowski ,K. (1926).** Temperatures relations to germination of vegetable seed. *Proc. Amer. Soc. Horticult.Sei.*, 23, 176-184.

**Krämer, U. (2010).** Metal hyperaccumulation in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61, 517-534.

**Kupper, H., Kupper,F., Spiller,M.(1996).** Environmental relevance of heavy metal substituted chlorophylls using the example of water plants. *Journal of Experimental Botany* 47: 259-266.

## L

**Lane ,S .D, Martin,E.S .(1977)** .A histochemical investigation of lead uptake in *Raphanus sativus*.*New Phytol.* 79:281-286.

**Lapedes, D. N. (1974).** McGraw-Hill Dictionary of scientific and technical terms, New York.

**Li, R.H., Guo,P.C., Baum,M., Grando,M. & Ceccarelli,S. (2006).** Evaluation of chlorophyll,content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Science of China*, 10: 751-757.

**Lichtenthaler, H.K. ( 1987).** Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148, 350-382.

**Liu,D., Jiang,W., et Liu,D., Jiang,W. et Gao,X.(2003).** Effects of cadmium on root growth, cell division and nucleoli in root tip cells of garlic. *Biol. Plant.* 47 : 79-83.

**Lunackova,L., Sottnikova A., Masarovicova E., Lux A. et Stresko V.( 2003).** Comparison of cadmium effect on willow and poplar in response to different cultivation conditions. *Biol. Plant.* 47 : 403-411.

**Lunackova,L., Sottnikova,A.,Masarovicova,E., Lux,A. et Stresko,V.(2003/4 ).**Comparison of cadmium effect on willow and poplar in response to different cultivation conditions. *Biol. Plant.* 47 : 403-411.

## M

**Ma, Y., Prasad, M.N.V., Rajkumar, M. and Freitas, H. (2011).** Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils *Biotechnology Advances*. 29: 248-258.

**Maksymiec. (2007)** .Signaling responses in plants to heavy metal stress. *Acta Physiol Plant*29:177–187

**Malkowski,E.K., Galas,W., Karez W., Kuperberg, J.M.( 2002).** Lead distribution in cornseedlings (*Zea mays* L.) and its effects on growth and the concentration of potassium and calcium. *Plant Growth Regulation*. 37: 69-76.

**Mallick ,N. et Rai,L.C., (2002)** . Physiological responses of non-vascular plants to heavy metals. *In* : *Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants*, Prasad M.N.V. et Strzalka K. (eds), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 111-147.

**McGrath, S.P., and Zhao, F.J. (2003).** Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Curr. Opin. Biotechnol.* 14, 277-282.

**McIntyre ,T. (2003).** Phytoremediation of heavy metals from soils. *Advance in Biochemical Engineering Biotechnology* 78 : 97-123.

**McLean,C.M.,Koller,C.E., Rodger J.C.,MacFarlane,G.R. (2009).** Mammalian hair as an accumulative bioindicator of metal bioavailability in Australian terrestrial environments. *Science of the Total Environment* 407 (11) : 3588-3596.

**Mendoza-Cózatl D.G., Moreno-Sanchez R. (2005).** Cd<sup>2+</sup> transport and storage in the chloroplast of *Euglena gracilis*. *Biochimica et Biophysica Acta* 1706 : 88-97.

**Meyer ,S., Reed C., Bosdeveix R.( 2004)** Botanique (Biologie et physiologie végétales). *Ed: Maloine*. 56/461.

**Meziani, H.,(2016).**Contribution à l'étude de quelques caractères agronomiques et technologiques chez quelques variétés des blés durs (*Triticum durum*, Desf.L) .Mémoire de Master. Biologie et Génomique végétale.Université des Frères Mentouri .Constantine . P.44.

**Mittler,R.(2002).**Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci* 7:405–410 .

**Mysliwa-Kurdziel ,B. et Strzalka K.(2002).** Influence of metals on biosynthesis of photosynthetic pigments. *In* : *Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants*, Prasad M.N.V. et Strzalka K. (eds), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 201-227.



## N

**Nadjeh, I., (2015)** .Changements physiologiques chez des plantes (Blé dur *Triticum durum* Desf.) exposées à une pollution par un métal lourd (plomb). Thèse de doctorat 3<sup>em</sup> cycle. Biologie Végétale et Environnement, Université Badji Mokhtar – Annaba. P.1.

**Nultsch ,W, Miesch, R and Sell ,Y. (1998)**. Botanique générale, De Boeck Université.

## O

**Obrouxheva, N. Bystrova, E. . Ivanov, O.A I.V. (1998)** . Seregin, Root growth expenses to lead in young maize seedlings, *Plant and Soil* 200 :55-61.

## P

**Parys ,E., Romanowska, E., Siedlecka, M and Poskuta, J. (1998)**. "The effect of lead on photosynthesis and respiration in detached leaves and in mesophyll protoplasts of *Pisum sativum*." *Acta Physiologiae Plantarum* 20(3): 313-322.

**Patel ,M.J., Patel,J.N. et Subramanian, R.B.(2005)**.Effect of cadmium on growth and the activity of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> scavenging enzymes in *Colocassia esculentum*. *Plant and soil* 273 : 183-188.

**Patra ,M., Bhowmick N., Bandopadhyay B., Sharma A. (2004)**. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 52: 199-223.

**Paux, E., Sourdille, P., Salse,J., Saintenac,C., Choulet ,F., Leroy, P., Korol ,A., Michalak,M., Kianian, S. & Spielmeier ,W. (2008)**. A physical map of the 1-gigabase bread wheat chromosome 3B. *Science*, 322(5898):101.

**Percival ,G.C. & Sheriffs,C.N. (2002)**. Identification of drought-tolerant woody perennials using chlorophyll fluorescence. *Journal of Arboriculture*, 28: 215-223.

**Pilon-Smits, E. (2005)**. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Biol.* 56, 15-39.

**Pilon-Smits,E.A.H,Freeman,J.L.(2006)**.Environmental cleanup using plants: biotechnological advances and ecological considerations. *Front Ecol Environ* 4:203–210 .Pilon-Smits EAH, Desouza MP, Hong.

**Pourrut ,B .( 2008)** .Implication du stress oxydatif dans la toxicité du plomb sur une plante modèle, *Vicia faba*.Thèse de doctora .Institut National Polytechnique de Toulouse. Ecotoxicologie, P. 237.

**Pourrut ,B. Perchet, G. Silvestre, J. Cecchi, M. Guiresse ,M and Pinelli ,E. (2008)**. "Potential role of NADPH-oxidase in early steps of lead-induced oxidative burst in *Vicia faba* roots." *Journal of Plant Physiology* 165(6): 571-579.

**Prasad ,M.N.V. (1999).** Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems. *Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg*, 462.

**Punz ,W.F. et Sieghardt, H. (1993).** The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals. *Environ. Exp. Bot.* 33 : 85-9.

## Q

**Quartacci ,M.F., Pinzino,C., Sgherri,C.L.M. & Navarri-Izzo,F. (1995).** Lipid composition and protein dynamics in thylakoids of two wheat cultivars differently sensitive to drought, *Plant Physiology*, **108**: 191-197.

## R

**Ralph, P.J and Burchett, M.D. (1998).** "Photosynthetic response of *Halophila ovalis* to heavy metal stress." *Environmental Pollution* 103(1): 91-101.

**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.

**Raymond, R., Moore ,C. et Wagner ,K., (2006) .** Les parents sauvages des plantes cultivées. Biodiversity international. UNEP- GEF. 28p.

**Reeves, R.D., and Brooks, R.R. (1983).** Hyperaccumulation of lead and zinc by two metallophytes from mining areas of Central Europe. *Environ. Pollut.*, 31 277-285.

**Reeves, R.D., Schwartz, C., and Morel, J.L. (2001).** Distribution and Metal-Accumulating Behavior of *Thlaspi caerulescens* and Associated Metallophytes in France. *International J. Phytorem.*, 3, 145-172.

## S

**Sandalio,L.M., Dalurzo,H.C.,Gomez,M., Romero-Puertas,M.C. et Del Rio L.A., (2001).** Cadmium induces changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *J. Exp. Bot.* 52 : 2115-2126.

**Schilling, A.S., Abaye A.O., Griffeya ,C.A., Branna ,D.E., Alleya,M.M. et Pridgena ,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 und Saatgutkaufleute Österreichs. 2010, P. 147-154. LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irnding, Austria

**Scippa, G.S., Di Michele, M., Onelli, E., Patrignani, G., Chiatante, D. and Bray, E.A. (2004)** The histone-like protein H1-S and the response of tomato leaves to water deficit. *J. Exp. Bot.* 55, 99–109.

**Seregin, I.V., and Ivanov, V.B. (1997).** Histochemical investigations of cadmium and lead distribution in plants. *Russian Journal of Plant Physiology* 56, 791-796.

**Seregin, B. Ivanov . (2000).** Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants, *Russian Journal of Plant Physiology* 4:523-544.

**Seregin ,I.V., Ivanov,V.B.(2001).** Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Russian Journal of Plant Physiology* 48 (4): 523-544.

**Seregin ,IV, LK Shpigun and VB Ivanov .( 2004).**Distribution and Toxic Effects of Cadmium and Lead on Maize Roots. *Russian Journal of Plant Physiology* 51(4): 525-533.

**Sharma, P and Dubey, R.S .(2005).** "Lead toxicity in plants." *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17:35-52.

**Shashidhar,V.R, Prasad,T.G and Sudharshan, L. (1996).** "Hormone Signals from Roots to Shoots of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). Moderate Soil Drying Increases Delivery of Abscisic Acid and Depresses Delivery of Cytokinins in Xylem Sap." *Annals of Botany* 78(2): 151-155.

**Soltner, D., (1998).** Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte-Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles).

**Stobart ,A.K, Griffiths,W.T, Ameen-Bukhari,I, Sherwood,R.P. (1985).** The effect of Cd<sup>2+</sup> on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley. *Physiologia Plantarum* 63: 293±298.

## **T**

**Tambussi ,E.A., Bort,J., Guilamet ,J.J., Nogues,S., & Araus ,J.L. (2007).** The photosynthetic role of ears in C3 cereals: metabolism, water use efficiency and contribution to grain yield. *Revue of Plant Science*, 26:1-16

**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.

**Théron ,A., (1964).** Botanique (classe de 2<sup>eM</sup>) *Ed: Bordas.*121-141/287.

**Tourte ,Y et al .( 2005).**Les monde des végétaux organisation, physiologie et génomique, DUNOD, p .374.

**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., Vassilev, A., Meers, E. (2009).** Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 16, 765-794.

**Verbruggen, N., Hermans, C., and Schat, H. (2009).** Molecular mechanisms of metal Hyper accumulation in plants. *New Phytol.* , 181, 759-776.

**Verma, S., and Dubey, R.S. (2003).** Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science* 164, 645-655.

## W

**Wierzbicka, M. (1998).** "Lead in the apoplast of *Allium cepa* L. root tips--ultrastructural studies." *Plant Science* 133(1): 105-119.

**Wierzbicka, A. (1987).** *English Speech Act Verbs: A semantic dictionary.* Sydney: Academic Press.

**Wierzbicka, M., Obidzinska, J. (1998).** The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. *Plant Sci* 137: 155-171.

**Wilkins, D.A. (1957).** Technique for the Measurement of Lead Tolerance in Plants. *Nature* 180:37-38.

## Y

**Yang, X., Feng, Y., He Z., Stoffella, P. J. (2005).** Molecular mechanisms of heavy metal Hyper accumulation and phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 18 :339-353.

## Z

**Zembala, M., Filet, M., Kornas, A., Miszalski Z., Walas S., Mrowiec, H., Hartikainen, H. (2009).** Effect of selenium on macro and microelement distribution and physiological parameters of rape and wheat seedling exposed to cadmium stress. *Plant Soil*, 329, 457-468.

**Zerrad, W., Maatoui, B.S., Hilali, S., El Antri, S. & Hmyene, A. (2008).** Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de 2 variétés de blé dur. *Lebanese Science Journal*, 9(2) : 27-36.

**Zhang, S.Q, Outlaw, W.H and Aghoram, K. (2001).** "Relationship between changes in the guard cell abscisic-acid content and other stress-related physiological parameters in intact plants." *Journal of Experimental Botany* 52(355): 301-308.