



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Larbi Tébessi -Tébessa

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

Département des Etres Vivants

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

Biotechnologie

Option : Biotechnologie Végétale

Thème

*Étude de l'influence du plomb sur les
caractéristiques morphologiques et
histologiques de quelques céréales*

Présenté par:

KHEDIRI LINDA

REZAIGUIA INES

Soutenu le 23-06-2019, devant le jury composé de :

Président

Mr. FATMI Hindel

M.A.A Université de Tébessa

Rapporteur

Dr. SOUABI Hana

M.C.A Université de Tébessa

Examineur

Dr. MAALEM Souheil

M.C.A Université de Tébessa

Année universitaire : 2018/2019

Remerciement

Nous exprimons nos remerciements et notre profonde gratitude :

*Avant tout à dieux » □□□« le tout puissant qui nous a donné le courage et la force pour ;
mener ce*

travail jusqu'au bout.

*Nous tenons, en premier lieu, à remercier chaleureusement l'enseignante : **Mme. SOUABI Hana***

*Maître de conférence à l'université de Tébessa, pour nous avoir proposé ce sujet de recherche,
pour sa compréhension, son aide, ces conseils, sa présence, sa patience, le suivi et le plus
important pour sa confiance, ...*

*Un très grand merci à **Mr. FATMI Hindel***

*Maître assistant à l'université de Tébessa, de présider le jury, pour son aide et sa
compréhension, ...*

*Nous tenons aussi à exprimer nos remerciements à **Mr. MAALEM Souheil***

*Maître de conférence à l'université de Tébessa d'avoir accepté d'examiner ce mémoire et de
faire partie du Jury de cette soutenance*

*Nous remercions tous les enseignants du département de biologie qui ont contribué à notre
formation pendant les 05 années d'études passées.*

*Ainsi tous les travailleurs au niveau de la bibliothèque et tous ceux qui nous ont donnés leur
soutien et courage, de proche ou de loin.*





Dédicace

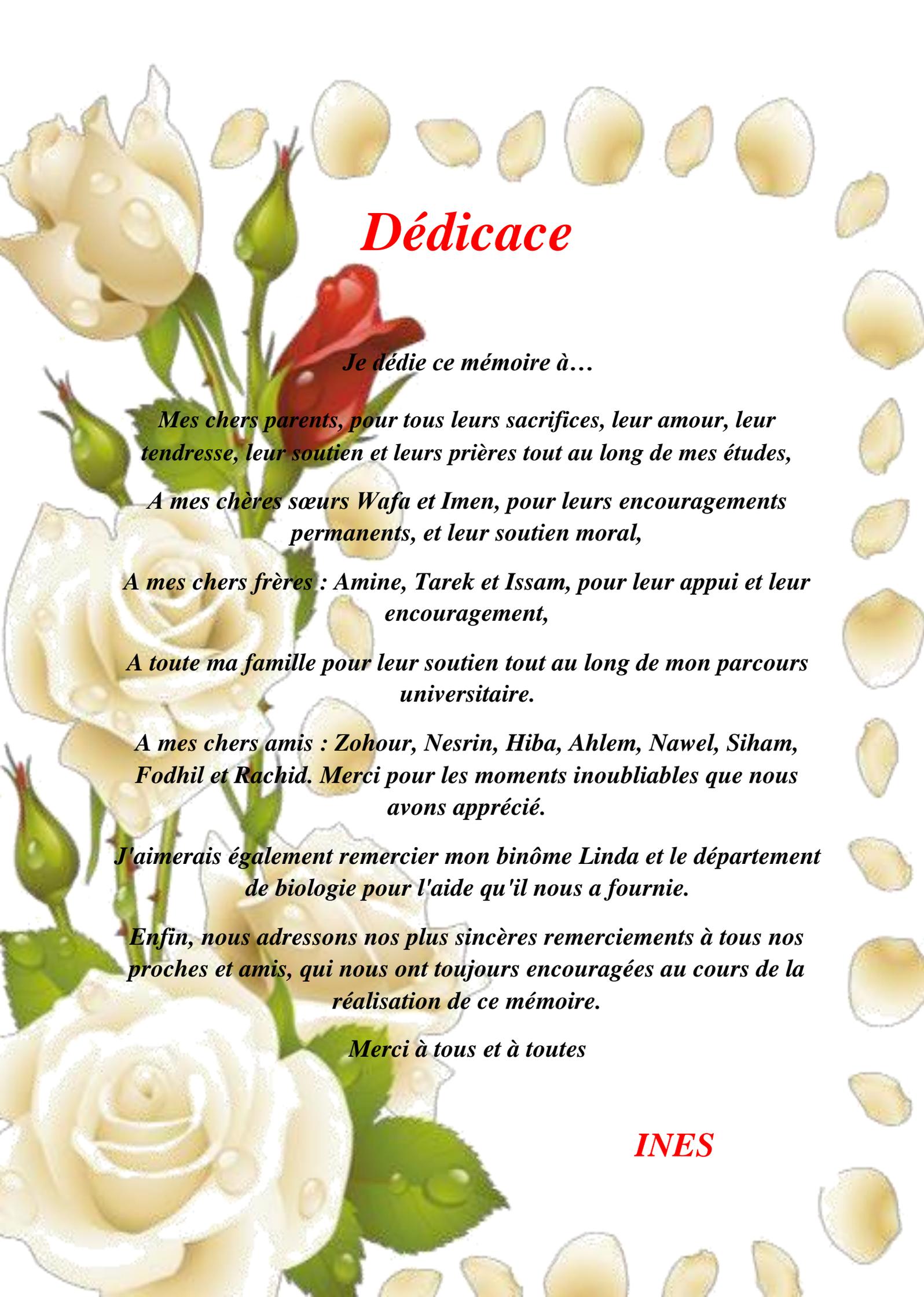
*Je dédie ce mémoire à...
mon père et ma mère qui ont donné
toujours le courage, les conseils pour continuer à l'avant, et qui ont
été toujours
présents à ma coté.*

*A mes sœurs, et frères,
Ma chère sœur Fatima et sa fille Jouri Sereen*

A mon binôme Ines

*Je dédie aussi à tous mes amies, collègues et toute la famille
KHEDIRI.*

LINDA



Dédicace

Je dédie ce mémoire à...

Mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs Wafa et Imen, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères : Amine, Tarek et Issam, pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

A mes chers amis : Zohour, Nesrin, Hiba, Ahlem, Nawel, Siham, Fodhil et Rachid. Merci pour les moments inoubliables que nous avons apprécié.

J'aimerais également remercier mon binôme Linda et le département de biologie pour l'aide qu'il nous a fournie.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes

INES

الملخص

يعد التلوث المعدني مشكلة خاصة أُن المعادن غير قابلة للتحلل الحيوي. بالإضافة أن بعضها يتركز في الكائنات الحية نتيجة إلى تواجدها على مستوى السلسلة الغذائية. يهدف عملنا إلى تقييم تأثير الرصاص على أربعة أنواع من الحبوب (القمح الصلب, القمح اللين, الشعير والشوفان). لهذا تابعنا داخل المخبر تطور بذور هذه الحبوب التي تتعرض لإجهاد معدني لمدة 14 يومًا، من خلال بعض الخصائص المورفولوجية، و أيضًا دراسة نسيجية على مستوى جذور القمح، بهدف توضيح تأثير تراكيز مختلفة: 0 غ / لتر، 0.15 غ / لتر، 0.3 غ / لتر و 0.6 غ / لتر من أمالغ الرصاص $Pb(CH_3COO)_2$ على النباتات.

تشير البيانات التي تم الحصول عليها أن الرصاص يؤدي إلى حدوث اضطرابات وتثبيط في نمو الجزء الهوائي والجزء الجذري لهذه الأصناف من الحبوب خاصة مع التركيز 0.6 غ / ل، حيث الحظنا على مستوى الجزء الهوائي تناقص كبير في ارتفاع الجزء الهوائي، متوسط طول الورقة الأولى ومتوسط عدد الأوراق. أما على مستوى نظام الجذر، تم تسجيل انخفاض كبير في متوسط طول الجذور ومتوسط عدد الجذور لأصناف الأربعة لجميع التركيزات المطبقة. تم كذلك ملاحظة علامات لتأثير الإجهاد الأحيوي على مستوى أنسجة الأعضاء المشخصة. يسمح لنا مؤشر المقاومة باستنتاج أن الشوفان والشعير هما أكثر الحبوب مقاومة أمالغ الرصاص أما بالنسبة للقمح الصلب والقمح اللين هما الأكثر حساسية.

نتيجة لبحثنا هذا، يدولنا أن السمية النباتية أمالغ الرصاص في الحبوب الأربعة تسبب الإجهاد التأكسدي.

الكلمات المفتاحية: أمالغ الرصاص، الحبوب، الخصائص المورفولوجية، التركيب البنيوي، الإجهاد التأكسدي

Abstract

Metal pollution is a particular problem because metals are not biodegradable. In addition, throughout the food chain, some are concentrated in living organisms. Our work aims to evaluate the impact of lead on four cereals (durum wheat, soft wheat, barley and oats). For this we followed in laboratory the development of these seeds subjected to a metallic stress for 14 days and, through some morphological parameters, also a histological study at the level of the roots of the *T. durum*, in order to elucidate the action of different concentrations: 0g / l, 0.15g / l, 0.3g / l and 0.6 g / l of lead acetate $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ on plants.

The data obtained, reveal that the lead causes disruption and inhibition of the growth of aerial and underground part of these varieties of cereals, especially with the concentration 0,6g / l, where we looked at aerial part a very highly significant to highly significant reduction in the height of the aerial part, the average length of the first leaf and the average number of leaves. At the root system a very highly significant reduction in average root length and average root number of the four varieties for all applied concentrations is also recorded. Visible signs of the impact of abiotic stress were visualized on the tissues of the diagnosed organs.

The tolerance index allows us to conclude that oats and barley are the most resistant cereals to the presence of lead acetate for the more durum and soft wheat, the most sensitive.

As a result of our research, it appears that the phytotoxicity of lead acetate in the four cereals induces oxidative stress.

Key words: lead acetate, cereals, morphological parameters, anatomy, oxidative stress.

Résumé

La pollution métallique pose un problème particulier, car les métaux lourds ne sont pas biodégradables. En outre, tout au long de la chaîne alimentaire, certains se concentrent dans les organismes vivants. Notre travail a pour objectifs d'évaluer l'impact du plomb sur quatre céréales (blé dur, blé tendre, orge et avoine). Pour cela nous avons suivi au sein de laboratoire le développement de ces graines soumises à un stress métallique pendant 14 jours et ce, à travers quelques paramètres morphologiques, aussi une étude histologique au niveau des racines des *T.durum*, afin d'élucider l'action de différentes concentrations : 0g/l, 0,15g/l, 0,3g/l et 0,6 g/l de l'acétate de plomb Pb (CH₃COO)₂ sur les plantes.

Les données obtenues, révèlent que le plomb provoque des perturbations et inhibition de la croissance de la partie aérienne et de la partie racinaire de ces variétés des céréales surtout à la concentration 0,6g/l, où nous avons remarqué au niveau de la partie aérienne une réduction très hautement significative de la hauteur de la partie aérienne, la longueur moyenne de la première feuille et le nombre moyen des feuilles. Au niveau de système racinaire une réduction très hautement significative de la longueur moyenne des racines et du nombre moyen des racines des quatre variétés pour toutes les concentrations appliquées ont été aussi enregistrées. Des signes de l'impact du stress abiotique ont été visualisés sur les tissus des organes diagnostiqués.

L'indice de tolérance nous a permis de conclure que l'avoine et l'orge présentent les céréales les plus résistantes à la présence de l'acétate de plomb par contre le blé dur et le blé tendre sont les plus sensibles.

De part, nos travaux de recherche réalisés, il en ressort que la phytotoxicité de l'acétate du plomb chez les quatre céréales induit un stress oxydatif.

Mots clés : acétate de plomb, céréales, paramètres morphologiques, anatomie, stress oxydant.

Liste des Figures

N°	Titre	Page
01	Le grain de blé.	02
02	Morphologie des graminées « blé ».	03
03	Coupe histologique transversale de la racine de <i>T. Durum</i> .	04
04	Les principales parties d'orge.	05
05	Les différents types de phytoremédiation.	09
06	Dispositif expérimental.	13
07	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la hauteur de la partie aérienne de blé dur ($m \pm s$, $n=3$).	17
08	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la hauteur de la partie aérienne de blé tendre ($m \pm s$, $n=3$).	17
09	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la hauteur de la partie aérienne de l'orge ($m \pm s$, $n=3$).	18
10	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la hauteur de la partie aérienne de l'avoine ($m \pm s$, $n=3$).	18
11	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne de la première feuille de blé dur ($m \pm s$, $n=3$).	19
12	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne de la première feuille de blé tendre ($m \pm s$, $n=3$).	20
13	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne de la première feuille de l'orge ($m \pm s$, $n=3$).	20
14	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne de la première feuille de l'avoine ($m \pm s$, $n=3$).	21
15	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des feuilles de blé dur ($m \pm s$, $n=3$).	22
16	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des feuilles de blé tendre ($m \pm s$, $n=3$).	22
17	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des feuilles de l'orge ($m \pm s$, $n=3$).	23

18	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des feuilles de l'avoine (m±s, n=3).	23
19	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des racines de blé dur (m±s, n=3).	24
20	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des racines de blé tendre (m±s, n=3).	25
21	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des racines de l'orge (m±s, n=3).	25
22	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des racines de l'avoine (m±s, n=3).	26
23	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne des racines de blé dur (m±s, n=3).	27
24	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne des racines de blé tendre (m±s, n=3).	27
25	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne des de racines de l'orge (m±s, n=3).	28
26	Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne des de racines de l'avoine (m±s, n=3).	28
27	L'indice de tolérance des 4 variétés des céréales aux différentes concentrations de Pb(CH ₃ COO) ₂ , après 48h ,72h,96h et 120hde traitement.	29
28	Coupe histologique transversale de la racine de <i>T.durum</i> non traité.	30
29	Comparaison des coupes histologiques transversales des racines de <i>T.durum</i> témoin et traité avec [0.15g/l] de Pb(CH ₃ COO) ₂ .	31
30	Comparaison des coupes histologiques transversales des racines de <i>T.durum</i> témoin et traité avec [0.3g/l] de Pb(CH ₃ COO) ₂ .	31
31	Comparaison des coupes histologiques transversales des racines de <i>T.durum</i> témoin et traité avec [0.6g/l] de Pb(CH ₃ COO) ₂ .	32

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Description de principales variétés de céréales étudiées.	11
02	Résultats de l'analyse de la variance à trois critères de classification de (HPA) appliquée dans la comparaison entre les différentes concentrations, les différents temps et les variétés des céréales soumises à l'acétate du plomb.	16
03	Résultats de l'analyse de la variance à trois critères de classification du (LMF) appliquée dans la comparaison entre les différentes concentrations, les différents temps et les variétés des céréales soumises à l'acétate du plomb.	19
04	Résultats de l'analyse de la variance à trois critères de classification du (NMF) appliquée dans la comparaison entre les différentes concentrations, les différents temps et les variétés des céréales soumises à l'acétate du plomb.	21
05	Résultats de l'analyse de la variance à trois critères de classification du (NMR) appliquée dans la comparaison entre les différentes concentrations, les différents temps et les variétés des céréales soumises à l'acétate du plomb.	24
06	Résultats de l'analyse de la variance à trois critères de classification de (LMR) appliquée dans la comparaison entre les différentes concentrations, les différents temps et les variétés des céréales soumises à l'acétate du plomb.	26

Liste des abréviations

Cr : Chrome

Ca²⁺ : Calcium

Cd : Cadmium

Cu : Cuivre

ETM : Les éléments traces métalliques

Fe : Fer

HAP : Les hydrocarbures polycycliques aromatiques

HPA : Hauteur de la partie aérienne

IT: Indice tolérance

LMF : Longueur moyenne de la première feuille

LMR : Longueur moyenne des racines

Mg : Manganèse

NMF : Nombre moyen de feuilles

NMR : Nombre moyen de racines

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales

Pb : Plomb

PCB : Pesticides Chlorés

ROS : Espèces réactives de l'oxygène ou ERO

Zn : Zinc

Table de matières

Remerciement	
صذ لمللا	
Abstrat	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Table de matières	
I. Introduction générale.....	P01
1. Contexte général.....	P01
2. Objectif de l'étude.....	P10
II. Matériel et méthodes.....	P11
1. Matériel végétal.....	P11
2. Protocole expérimental adopté.....	P12
2.1. Condition de culture des graines.....	P12
2.2. Essai de germination.....	P12
3. Méthodes et mesures effectuées.....	P13
3.1. Mesure des paramètres morphologiques.....	P13
3.1.1. Hauteur de la partie aérienne (HPA).....	P14
3.1.2. Nombre moyen des feuilles (NMF).....	P14
3.1.3. Longueur moyenne de la première feuille (LMF)	P14
3.1.4. Nombre moyen des racines (NMR).....	P14
3.1.5. Longueur moyenne des racines (LMR).....	P14
3.1.6. Indice de tolérance (IT).....	P14
3.2. Étude histologique de la racine de <i>T.durum</i>	P14
3.2.1. Echantillonnage.....	P14
3.2.2 Réalisation des coupes anatomiques et coloration	P 15
3.2.3 visualisation et photographie.....	P 15
4. Traitement de données et analyse statistique.....	P15
III. Résultats et discussion.....	P16

1. Résultat.....	P16
1.1. Impact du plomb sur les paramètres morphologiques	P16
a. Effet du plomb sur la hauteur de la partie aérienne (HPA).....	P16
b. Effet du plomb sur la longueur moyenne de la première feuille (LMF).....	P18
c. Effet du plomb sur le nombre moyen des feuilles (NMF).....	P21
d. Effet du plomb sur le nombre moyen de racines (NMR).....	P24
e. Effet du plomb sur la longueur moyenne des racines (LMR).....	P26
f. Indice de tolérance.....	P28
1.2. Impact du plomb sur l'anatomie de la racine de <i>T.durum</i>	P30
2. Discussion.....	P32
Conclusion générale.....	P38
Références bibliographiques.....	P39
Annexes.....	P50

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**).

On appelle céréale toutes les plantes de la famille des Graminées (Poacées) dont le grain possède une amande amyliacée, susceptible d'être utilisée dans l'alimentation des hommes ou des animaux. Seul le sarrasin dont la graine remplit un rôle identique, appartient à une famille différente, celle des Polygonacées (**Godon, 1968**). Ce sont des plantes herbacées qui poussent en touffes, elles sont constituées par les racines, les feuilles, la tige et l'épi dans lequel sont contenues les graines (**Zibouche et Grimes, 2016**).

Dans le monde les céréales constituent la composante de base de l'agriculture (**FAO, 2016**). Elles constituent une part importante des ressources alimentaires de l'homme et de l'animal (**Louali, 2016**). Les céréales tiennent de loin, la première place quant à l'occupation des terres agricoles, parce qu'elles servent d'aliments de base pour une grande proportion de la population mondiale (**Aidani, 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**). L'Algérie a produit 40 millions de quintaux de céréales durant la campagne moissons-battages 2014-2015, contre 35 millions lors de la saison précédente, soit une hausse de 14,3% (**Tadjer, 2015**). Cependant, la production céréalière, en Algérie représente l'élément central dans la sécurité alimentaire nationale, mais ce dernier est fortement dépendant du climat. Les rendements sont caractérisés par une forte variabilité, dues à la non maîtrise des systèmes d'irrigation d'appoint et à la sécheresse (**Derouiche et Hamidi, 2017**).

Parmi ces céréales:

Le blé est une plante autogame appartenant au groupe des angiospermes monocotylédones, de la famille des *Poacées*, tribu des *Triticées* et genre *Triticum*. Les espèces du genre *Triticum*

sont des herbacées annuelles produisant un fruit sec indéhiscent, le caryopse. De nos jours, les principales espèces cultivées du genre *Triticum* sont *Triticum aestivum* (blé tendre) et *Triticum durum* Desf (blé dur). Elles diffèrent principalement par l'aspect et la composition du grain, ainsi que par leur aire de répartition agro écologique, le blé dur étant cultivé en zones méditerranéennes tandis que le blé tendre est cultivé en zones plus tempérées (**Kara, 2015**). Les graines de blé sont des fruits appelées caryopses. Elles ont une forme ovoïde, possèdent sur l'une de leur faces une cavité longitudinale (le sillon) et à l'extrémité opposée de l'embryon des touffes de poils (la brosse) (**Godon et Willm, 1991**). Le caryopse est constitué de 03 parties (**Figure 01**): les enveloppes, l'albumen et l'embryon.

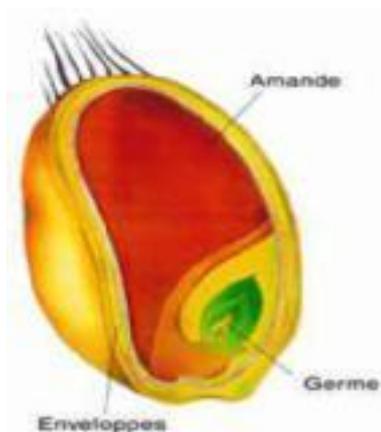


Figure 01 : Le grain de blé (**Godon et Willm, 1991**).

Les feuilles de blé dur se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille, se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes) (**Bozzini, 1988**).

La tige principale et chaque brin, portent une inflorescence en épi terminal. L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entre-nœuds (**Soltner, 1998**). Chaque épillet, compte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole. Chaque fleur parfaite est renfermée dans des structures semblables à des bractées, soit la glumelle inférieure (lemma ou lemme) et la glumelle supérieure (paléa). Chacune compte trois étamines à anthères biloculaires, ainsi qu'un pistil à deux styles à stigmates plumeux. À maturité, le grain de pollen fusiforme contient habituellement trois noyaux. Chaque fleur peut produire un fruit à une seule graine, soit le caryopse (**Bozzini, 1988**). Chaque graine contient un large endosperme et un embryon aplati (**Figure 02**) situé à l'apex de la graine et à proximité de la base de la fleur (**Soltner, 1998**).



Figure 02 : rge commune (*hordeum vulgare L*) (anonyme,2009).

Sur une coupe transversale de jeune racine on distingue deux zones (**Figure 03**):
L'écorce : cette partie est constituée du rhizoderme qui porte d'abord les poils absorbants de la racine (assise pilifère) puis une couche de cellules subérisées et un parenchyme cortical, qui assure le transport des éléments absorbés jusqu'au centre de la racine. La dernière couche de cellules de ce parenchyme est épaissie et forme une forte barrière de contrôle des molécules circulant dans la racine, c'est l'endoderme.

Le cylindre central : c'est le siège des tissus de transport de sève, de la racine vers le reste de la plante. Il est composé tout d'abord du péricycle, une couche de cellules à partir de laquelle vont se former les ramifications de la racine.

En avançant vers le cœur de l'organe on découvre deux tissus conducteurs, le xylème (ou bois) qui conduit la sève brute vers les feuilles, et le phloème (ou liber) qui redistribue la sève élaborée, dans toute la plante. Ces deux types de tissus, issus d'une couche intermédiaire de procambium, sont disposés en cercle, alternativement. Ensuite au centre de la racine, la moelle, composée de parenchyme médullaire, n'a pas de fonction particulière (Macleod, 1991).

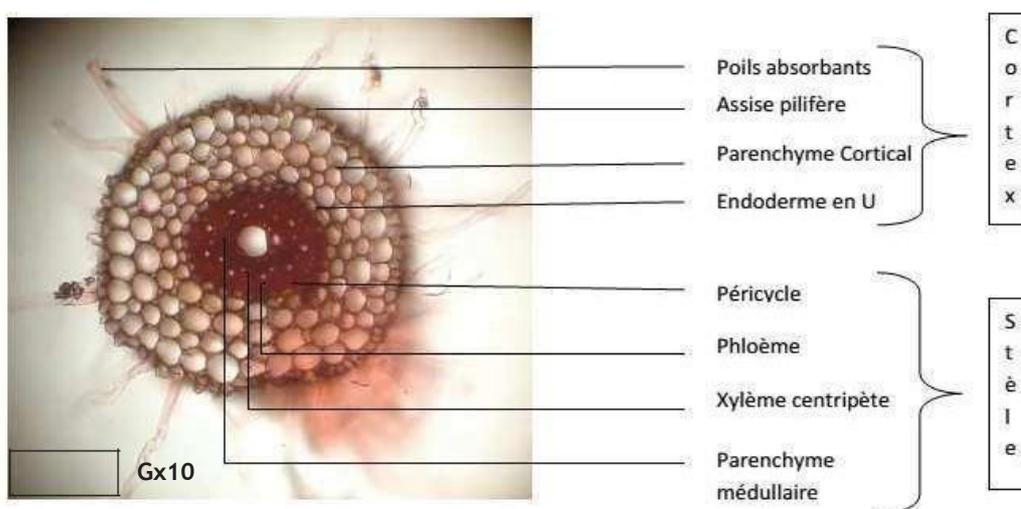


Figure 03 : Coupe histologique transversale de la racine de *T. Durum* (Ferfar, 2017)

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 urartutum* plus connu sous le nom *einkorn* (*Triticum monococcum*) de constitution génomique diploïde AA. Par contre le génome B vient de l'espèce sauvage, diploïde elle aussi, *Aegilops speltoides* tausch (Schuhwerk et al., 2011).

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).

L'orge est une plante annuelle de la classe des monocotylédones, qui appartient à la famille des graminées et au genre *Hordeum* qui comprend 31 espèces, mais seule *vulgare* est couramment cultivée, *Hordeum vulgare* est une espèce diploïde ($2n=14$). Elle a été l'une des premières

cultures domestiquées, il y a 10 000 ans dans le croissant fertile du moyen orient (**Baik et Ulrich, 2008**). C'est une plante annuelle, autofécondée très semblable au blé dans la morphologie de ses organes végétatifs et floraux. Au stade herbacé, elle se distingue principalement des autres céréales par un feuillage vert clair, la présence d'une ligule très développée, des oreillettes glabres, et un fort tallage herbacé (**Boulal et al., 2007**). Le grain est un caryopse à glumelles adhérentes chez les variétés cultivées. Une coupe transversale du grain (**Figure 04**), montre les mêmes assises de cellules que chez le blé, cependant l'assise à aleurone comporte trois couches de cellules au lieu d'une seule (**Clement-Grandcourt et Prats, 1971**).

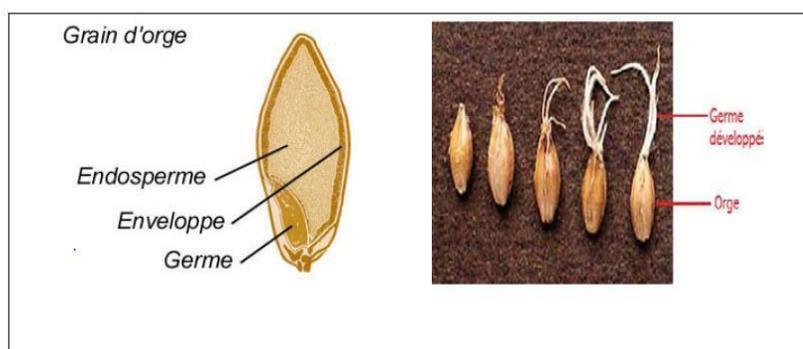


Figure 04 : Les principales parties grain d'orge (**Zibouche et Grimes, 2016**).

L'avoine est une céréale des zones modérées, disparaît de plus en plus des terres arables. C'est une plante rustique, cultivée dans les régions tempérées, principalement comme fourrage vert (parties aériennes et paille), mais aussi pour son grain (en alimentation humaine ou animale). Elle est originaire du nord-est de l'Europe (Autriche et Russie) et des plateaux de l'Éthiopie et de la Chine. Le plus ancien grain d'avoine a été découvert en Égypte dans les vestiges de la 12^e Dynastie, autour de 2000 ans avant J.-C., et devait probablement provenir de plantes sauvages, puisque l'avoine n'était pas encore cultivée à cette époque. La plus ancienne avoine cultivée a été découverte dans des grottes en Suisse et daterait de l'époque de l'âge de bronze. L'avoine a été introduite en Amérique en 1609 sur les îles Elizabeth, sur les côtes de l'État du Massachusetts et Georges Washington (**Sirodot, 2016**).

Notre pays figure actuellement parmi les premiers importateurs mondiaux de blé dur en s'accaparant de près de 50 % du marché mondial (**CIC, 2007**), cette faiblesse de la production de blé en Algérie était toujours liée aux effets du climat, principalement la sécheresse qui se fait ressentir de manière très importante depuis la dernière décennie. Le stress hydrique et abiotique limite sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (**Wang, 2003**). En effet, chaque année, les surfaces perdues à cause du stress hydrique varient autour de 20

millions d'ha dans le monde. En Algérie, la situation est particulièrement grave où les rendements sont faibles (moins de 10 qx/ha) (**Kara, 2011**).

Un stress abiotique provoqué par la pollution métallique limite sérieusement la croissance des différents types des plantes notamment les céréales et leurs reproductions par rapport au potentiel du génotype (**Lizzer, 2015**).

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

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

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 (**Johnson et al., 1997**). De plus, il n'est pas biodégradable, il est persistant et s'accumule dans les sols. Une fois le sol contaminé, il pénètre dans la plante et perturbe les mécanismes de celle-ci, tel que les structures membranaires et pariétales, la perturbation du statut hydrique, l'absorption et la translocation des éléments minéraux essentiels (calcium (Ca²⁺), manganèse (Mg), fer (Fe)) et interfère avec l'activité enzymatique, notamment les enzymes impliquées dans la biosynthèse de la chlorophylle (**Seregin et Ivanov, 2001 ; Palma et al., 1986**) induisant par conséquent un arrêt de la photosynthèse (**Soltner, 1990**).

Les végétaux peuvent se contaminer par leurs racines ou par leurs parties aériennes lors de retombées atmosphériques de poussières émises par l'activité industrielle ou d'envols de particules de terre polluée. Ces poussières peuvent aussi persister à la surface des végétaux ou être fixées sur la cuticule, dans les poils épidermiques de la tige ou des feuilles. Le transfert à la plante du plomb contenu dans le sol met en jeu des processus très complexes. Ceux-ci dépendent de la nature, de la concentration et de la spéciation du plomb (**Miquel, 2001**). L'accumulation dans les végétaux est variable en fonction de l'espèce et au sein d'une même

espèce, selon la variété considérée (**Morel et Schwartz, 1999**). De plus pour une plante donnée, la teneur en plomb n'est pas homogène. Elle varie d'un organe à l'autre. Elle peut donc être différente dans les racines, les tiges ou les feuilles. Toutefois il s'accumule préférentiellement dans les racines (**Nriagu et Moore, 1984**). 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**).

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

Il existe principalement des technologies de remédiation mécanique ou physico-chimique, stabilisation/immobilisation et désorption thermique, utilisés pour l'élimination des contaminants. Ces techniques sont généralement coûteuses et perturbent les mécanismes biologiques du sol. Par conséquent, la technologie de phytoremédiation a reçu une considération croissante (**Belluck, 2006 ; Marques, 2009**). La phytoremédiation ou la bioremédiation est 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**). La phytoremédiation comprend plusieurs techniques (**Figure 05**).

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

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

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

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

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

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

La phytoaccumulation: c'est le 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**).

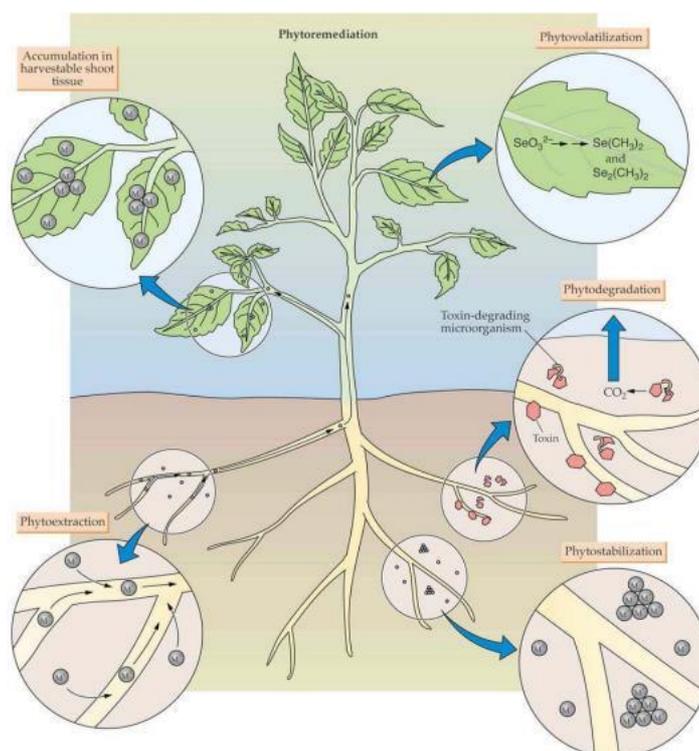


Figure 05: Les différents types de phytoremédiation (**Bichanan et al., 2002**).

2. Objectif 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 les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien, les produits céréaliers (blé dur, blé tendre, orge et avoine) occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. La productivité et l'efficacité biologique des plantes sont limitées par la présence d'éléments toxiques dans le sol, parmi ces métaux lourds, le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le zinc (Zn), le cuivre (Cu) et le chrome (Cr), ils proviennent également de contaminations locales liées à des activités industrielles ou d'apports agricoles concentrés. La contamination du sol par les métaux lourds figure parmi les contraintes que subit la céréaliculture. Ces métaux lourds 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'effet du plomb sur quatre variétés des céréales (blé dur, blé tendre, orge et avoine), à travers leur caractéristiques morphologiques et histologiques.

II. Matériel et Méthodes

1. Matériel végétal

Le présent travail a été réalisé au niveau du Laboratoire de Biologie Végétale, Département des Etres Vivants, Université Larbi Tébessi (Tébessa), avec la collaboration d'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (OAIC) de Tébessa 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, 2018).

Espèce	Variété	Origine	Caractéristiques variétales
Blé dur (<i>Triticum durum</i>)	Waha	Syrie	Caractéristiques Agronomiques : ✓ Rendement: Élevé Caractéristiques technologiques: ✓ PMG : Élevé ✓ Qualité semoulière : Très bonne ✓ Mitadinage : sensible ✓ Teneur en protéines: 13,95% Résistance aux maladies: ✓ Oïdium feuilles: Résistante ✓ Oïdium Épi: Résistante ✓ Rouille brune: Très sensible ✓ Septoriose : Moyennement sensible
Blé tendre (<i>Triticum aestivum</i>)	HIDHAB ou (HD)1220	Mexique	Caractéristiques Agronomiques : ✓ Rendement: Élevé Caractéristiques technologiques: ✓ Teneur en protéines: 11,50% Caractéristiques alvéographiques: ✓ Force boulangère W : Moyenne ✓ Gonflement G: Moyen Résistance aux maladies: ✓ Oïdium feuille : Résistante ✓ Rouille brune: Moyennement sensible ✓ Rouille jaune: sensible ✓ Septoriose : Moyennement sensible

Orge (<i>Hordeum vulgare</i>)	Rihane 03	Syrie	Caractéristiques Agronomiques : ✓ Rendement: Élevé Caractéristiques technologiques: ✓ PMG: Élevé ✓ Teneur de protéines : 14,50% Résistance aux maladies: ✓ Oïdium feuille : Moyennement résistante ✓ Oïdium Épi: Résistante ✓ Helminthosporiose: Moyennement sensible
Avoine (<i>Avenasativa</i>)	Avon	Australie	Caractéristiques Agronomiques : ✓ Rendement: Élevé Caractéristiques technologiques: ✓ PMG: Élevé Résistance aux maladies: ✓ Oïdium feuilles: Résistante ✓ Rouille brune: Résistante ✓ Septoriose: Résistante

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

La germination se fait à partir d'une expérience complètement aléatoire avec 3 répétitions (R1-R2-R3) et quatre traitements (C0-C1-C2-C3) de l'acétate de plomb Pb (CH₃COO)₂ 3H₂O avec les concentrations respectives de (0-0,15-0,30 et 0,60 g/l). En place les graines sur les rondelles de papier filtre dans des boîtes de Pétri (**Figure 06**). L'érrosage des graines se fait de façon régulière 25 ml chaque 48h aux conditions de laboratoire pour ces cultures (température et photopériodisme partiellement régulier entre le jour et nuit (Mars/Avril) en utilisant la lumière artificielle (Néon).

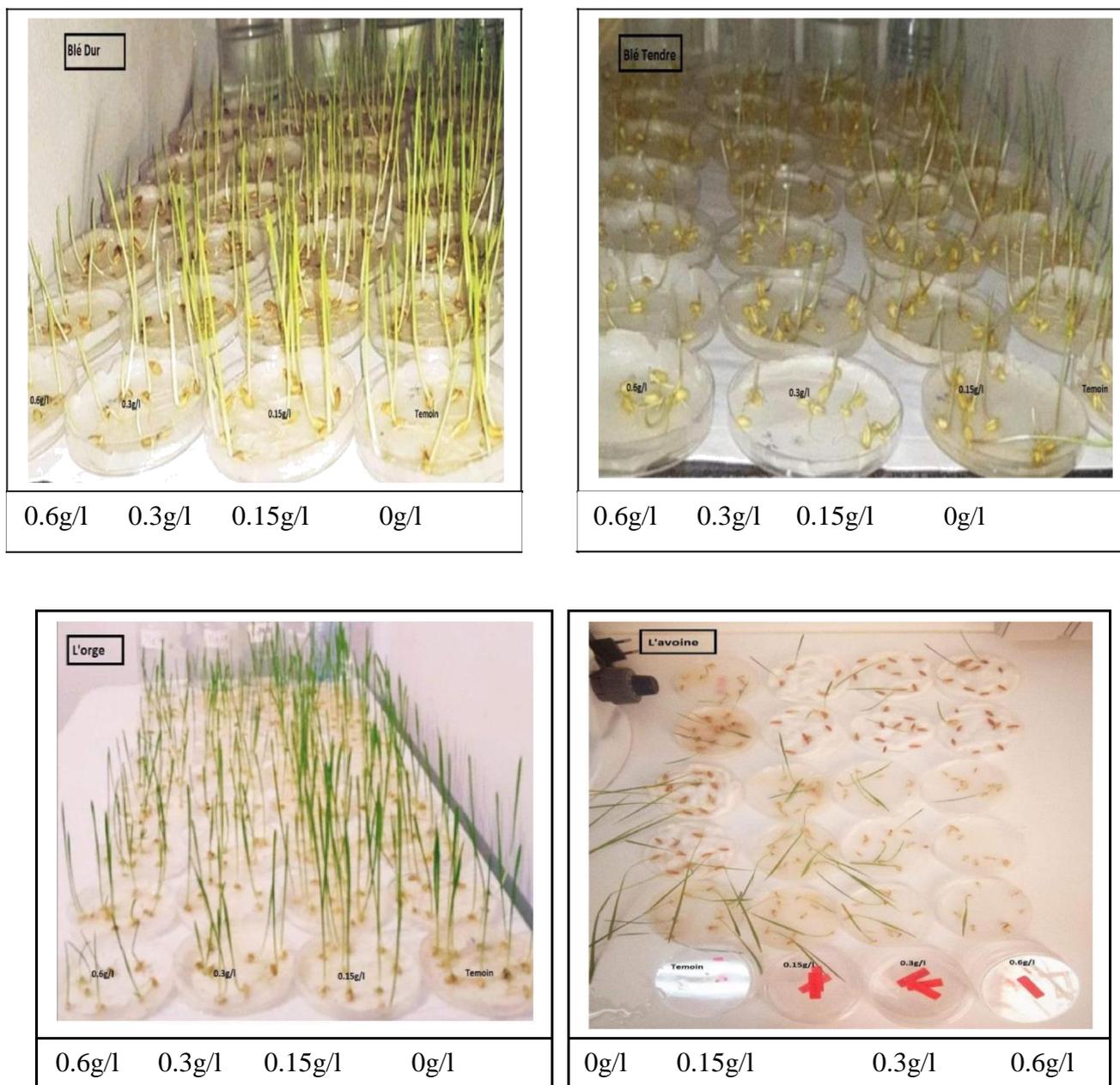


Figure 06 : Dispositif expérimental

3. Méthodes et mesures effectuées

La mesure des paramètres morphologiques et l'étude histologiques, ont été réalisées à 48, 72, 96 et 120 heures de traitement.

3.1. Mesure des paramètres morphologiques

Les paramètres retenus pour évaluer les changements morphologiques et le comportement de quelques plantules des céréales pendant l'exposition d'un stress métallique au début de sa vie sont appréciés à travers les paramètres suivants :

3.1.1. Hauteur de la partie aérienne (HPA)

La hauteur de la partie aérienne de chaque plante exprimée en cm, a été mesurée à la fin de l'essai par la longueur du maître-brin à partir du niveau inférieur de la tige à la pointe de la plus longue des feuilles.

3.1.2. Nombre moyen des feuilles (NMF)

Le nombre de feuilles de chaque plant a été déterminé à partir de la deuxième semaine durant l'expérimentation.

3.1.3. Longueur moyenne de la première feuille (LMF)

Après 14 jours de mise en culture, la longueur de la première feuille de chaque graine de céréale germée est mesurée à l'aide d'un ruban mètre. La longueur moyenne est calculée pour chaque boîte de pétri et pour chaque condition de traitement.

3.1.4. Nombre moyen des racines (NMR)

Le nombre moyen de racines pour chaque dose est déterminé après (0, 0.15, 0.3 et 0.6g/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**).

3.1.5. 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**).

3.1.6. Indice de tolérance

Un indice dit de tolérance (Tolérance 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**).

$TI (\%) = (\text{taille moyenne des racines des plantes traitées} / \text{taille moyenne des racines des plantes témoins}) \times 100.$

3.2. Étude histologique de la racine de *T.durum*

3.1. Echantillonnage

Nous avons prélevé, au niveau des zones médianes des racines, des sections d'une longueur de 1 à 2 cm. Aussitôt prélevés, les échantillons sont mis dans l'eau distillée afin d'éviter leur dessèchement.

3.2. Réalisation des coupes anatomiques et coloration

Nous avons réalisé les coupes, au niveau de la structure primaire, selon la technique manuelle, dite, à main levée. Puis nous avons procédé à la coloration des sujets, selon la technique de double coloration (carmino-vert de Mirande) conformément aux étapes suivantes (Zaffran, 1998) :

- A l'aide d'une lame de rasoir, nous avons découpé les sections d'organes étudiés, en plusieurs tranches fines. Puis nous avons choisi parmi elles, les plus fines et conformes.
- Les tranches obtenues sont mis dans un verre de montre, contenant de l'eau de javel (détruire le contenu cellulaire et préserve les parois pecto-cellulosiques).
- Ensuite, elles sont transférées ver un 2^{ème} verre de montre contenant de l'eau distillée (élimination de l'eau de javel en excès).
- Puis, elles sont mises dans un 3^{ème} verre de montre dans de l'acide acétique (1%), pendant 2 minutes, pour éliminer toute trace d'eau de javel et favoriser la coloration (mordant cellulaire).
- On procède à la coloration des coupes dans un 4^{ème} verre de montre contenant du rouge kongo (colore les tissus lignifiés morts en rouge) et carmin aluné (colore les tissus vivant, et développe la couleur rouge avec la cellulose) en parts égales.
- Après coloration, les échantillons sont mis dans de l'alcool (70%) (remplace l'eau contenue dans les cellules et conserve ainsi les coupes obtenues).

3.3. Visualisation et photographie

Après avoir mis les échantillons entre lame et lamelle, dans une goutte de glycérine, nous avons procédé à la visualisation sous microscope optique. Nous avons utilisé un appareil photo de condor plume p 6 pro pour prendre des photographies des coupes histologiques en même temps.

4. Traitement de données et analyse statistique

Les données ont été 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 trois critères de classification appliquée dans la comparaison entre les différentes concentrations, les différents temps et les variétés des céréales soumises à l'acétate du plomb. Les moyennes sont comparées lorsque cela est nécessaire par le test **Student-Newman-Keuls** au seuil de probabilité de 5 % (différences au moins significatives).

III. Résultats et Discussion

1. Résultats

1.1. Impact du plomb sur les paramètres morphologiques

a. Effet du plomb sur la hauteur de la partie aérienne (HPA)

Les résultats de l'étude statistique de base de la hauteur de la partie aérienne soumis aux différentes concentrations à l'acétate du plomb par variétés, par temps et par doses des 4 céréales montrent une diminution de (HPA), pour toutes les concentrations, comparativement au témoin (**Figures 07, 08, 09 et 10**). L'analyse de la variance (**Tableau 02**) montre qu'il y a une différence très hautement significative ($P=0,000$) observée dans l'effet de variétés, l'effet des doses, l'effet du temps et l'interaction entre variétés et doses, cela conduit à la conclusion que les variétés ne réagissent pas de la même façon en présence de $Pb(CH_3COO)_2$.

Tableau 02: Résultats de l'analyse de la variance à trois critères de classification de (HPA) appliqué dans la comparaison entre les différentes concentrations, les différents temps et les variétés des céréales soumises à l'acétate du plomb.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété(V)	3	177,849	59,283	34,531	< 0,0001
Temps (T)	3	19,796	6,599	3,844	0,011
Dose (D)	3	2026,468	675,489	393,454	< 0,0001
V*T	9	3,660	0,407	0,237	0,988
V*D	9	216,825	24,092	14,033	< 0,0001
T*D	9	5,381	0,598	0,348	0,957
V*T*D	27	7,768	0,288	0,168	1,000

Le test de classement des groupes homogènes de SNK (voir annexe) nous a révélé pour le paramètre étudié : la hauteur de la partie aérienne, l'existence deux groupes différents pour les variétés : le groupe A qui comprend (le blé dur et l'avoine) et le groupe B qui comprend (le blé tendre et l'orge), et quatre groupes de classement pour les concentrations : A (C3), B (C2), C (C1), D (T) ; c'est-à-dire chaque concentration est différente de l'autre. Enfin, trois groupes de classement pour les temps : A (48h), AB (72h), B (96h et 120h). Donc, les temps 96h et 120h sont identiques entre eux et différents des autres temps.

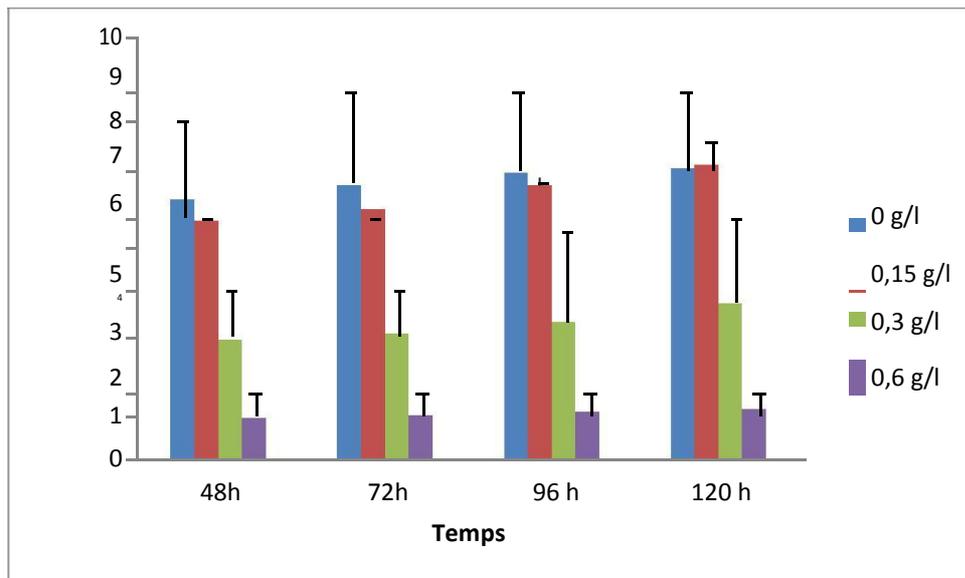


Figure 07 : Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la hauteur de la partie aérienne de blé dur ($m \pm s$, $n=3$).

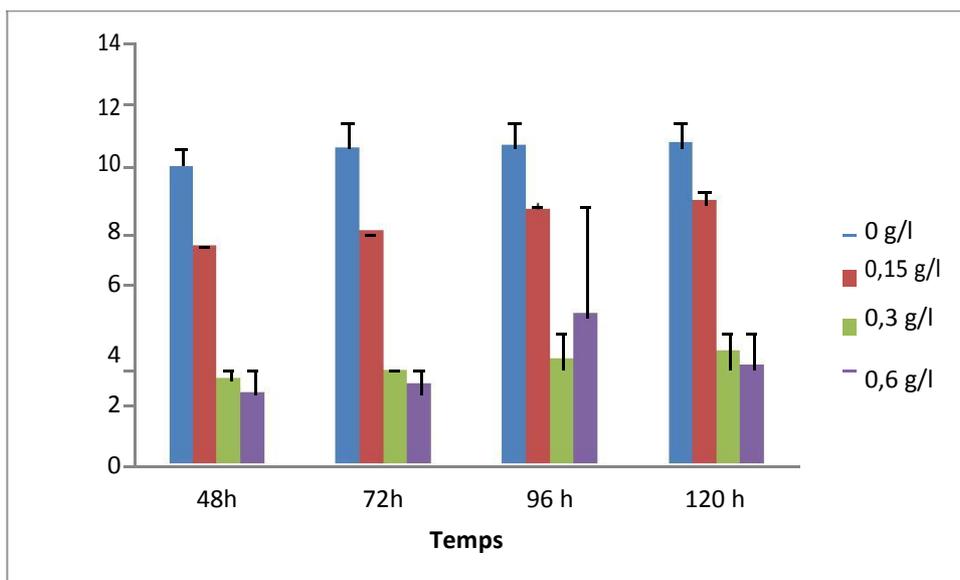


Figure08 : Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la hauteur de la partie aérienne de blé tendre ($m \pm s$, $n=3$).

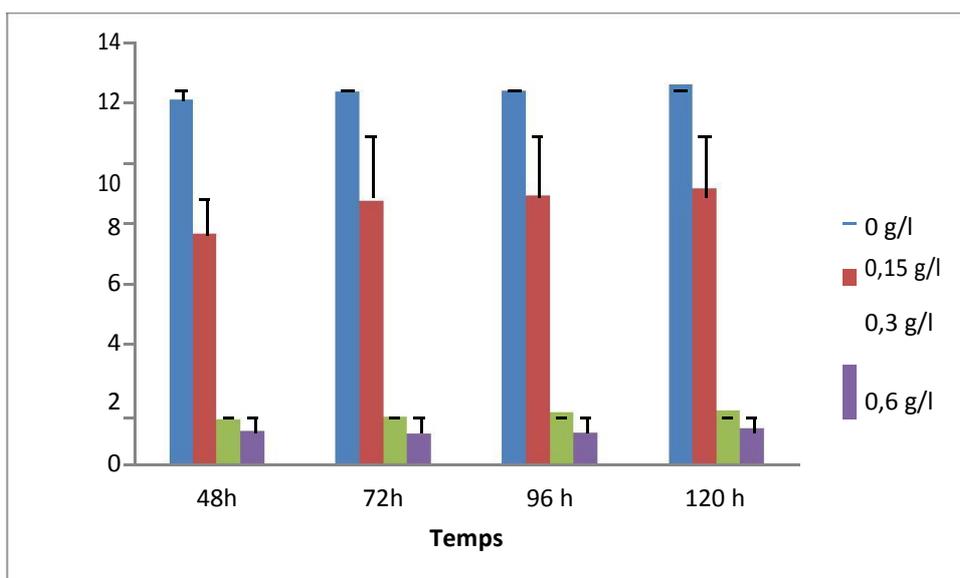


Figure 09: Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la hauteur de la partie aérienne de l'orge ($m \pm s$, $n=3$).

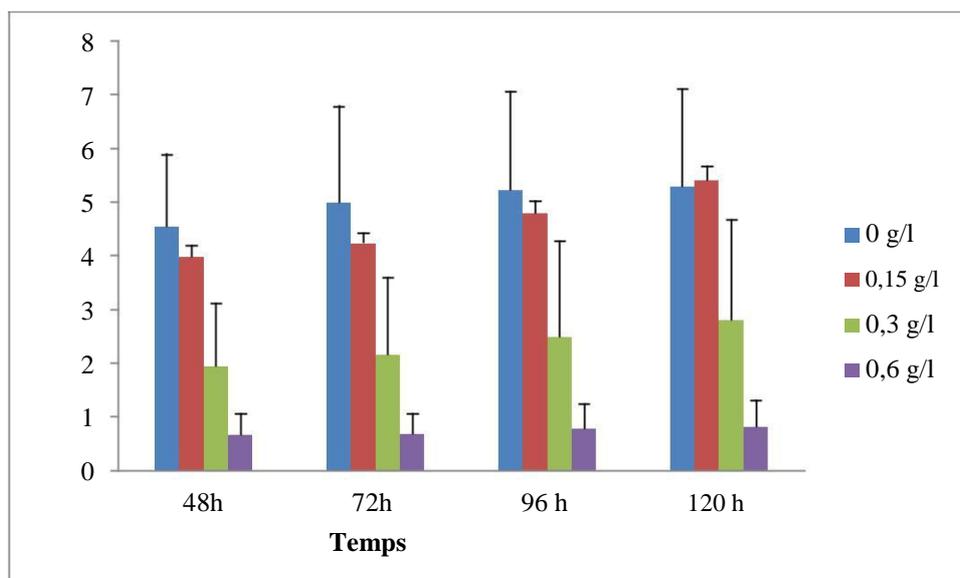


Figure 10 : Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la hauteur de la partie aérienne de l'avoine ($m \pm s$, $n=3$).

b. Effet du plomb sur la longueur moyenne de la première feuille (LMF)

Dans les conditions de notre expérimentation, l'analyse des résultats obtenus (**Tableau 3**) démontre que la longueur moyenne de la première feuille est plus dépendante de la nature génotypique ($p=0.000$) et elle est grandement influencée par le traitement appliqué ($p=0,000$).

La (LMF) des quatre variétés des céréales diminue au fur et à mesure que la concentration du plomb s'accroît (Figures 11, 12, 13 et 14).

L'interaction des deux facteurs d'étude (variété et dose) 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 stress métallique imposé.

Tableau 03: Résultats de l'analyse de la variance à trois critères de classification de (LMF) appliqué dans la comparaison entre les différentes concentrations, les différents temps et les variétés des céréales soumises à l'acétate du plomb.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété(V)	3	1830,932	610,311	84,790	< 0,0001
Temps (T)	3	108,724	36,241	5,035	0,002
Dose (D)	3	2437,224	812,408	112,867	< 0,0001
V*T	9	14,755	1,639	0,228	0,990
V*D	9	225,255	25,028	3,477	0,001
T*D	9	16,797	1,866	0,259	0,984
V*T*D	27	31,474	1,166	0,162	1,000

Le test de classement des groupes homogènes de SNK (voir annexe), a permis de classer les variétés en trois groupes : A (l'avoine et l'orge), B (le blé dur) et C (le blé tendre), donc les variétés sont différentes l'une de l'autre sauf l'avoine et l'orge qui sont identiques entre elles. On classe aussi les concentrations en trois groupes : A (C3), B (C2), C (C1, T), la C1 et le T sont identiques entre eux et différents des autres concentrations. Pour les temps, quatre groupes ont été classés : A (48h), AB (72h), BC (96h) et C (120h), donc chaque temps est différents de l'autre.

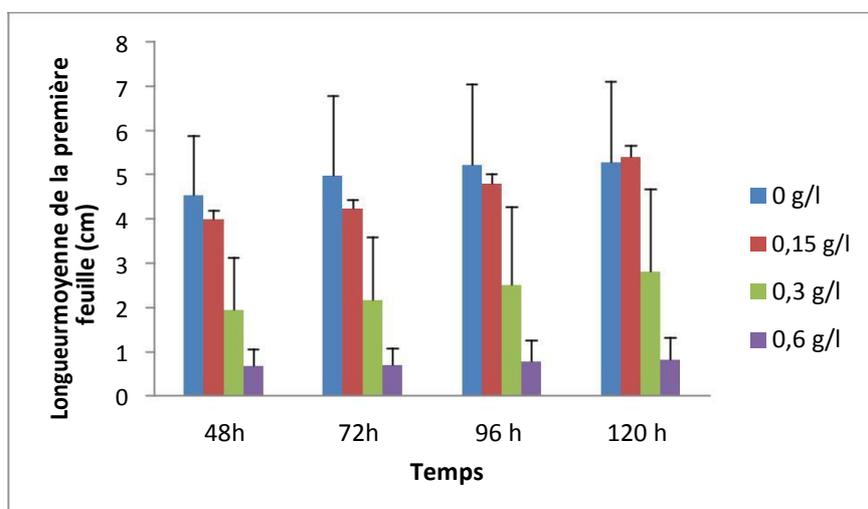


Figure 11 : Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne de la première feuille de blé dur ($m \pm s$, $n=3$).

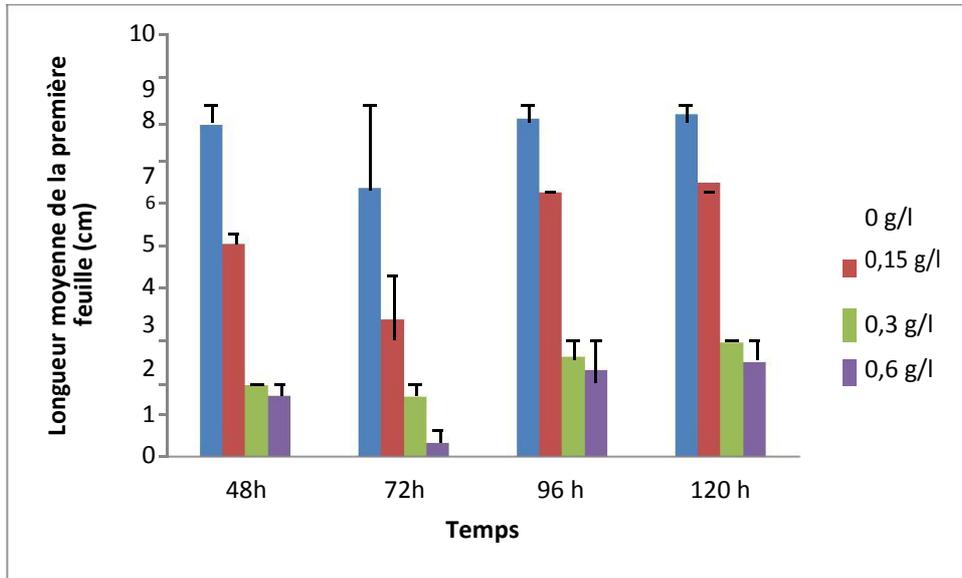


Figure 12: Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne de la première feuille de blé tendre ($m \pm s$, $n=3$).

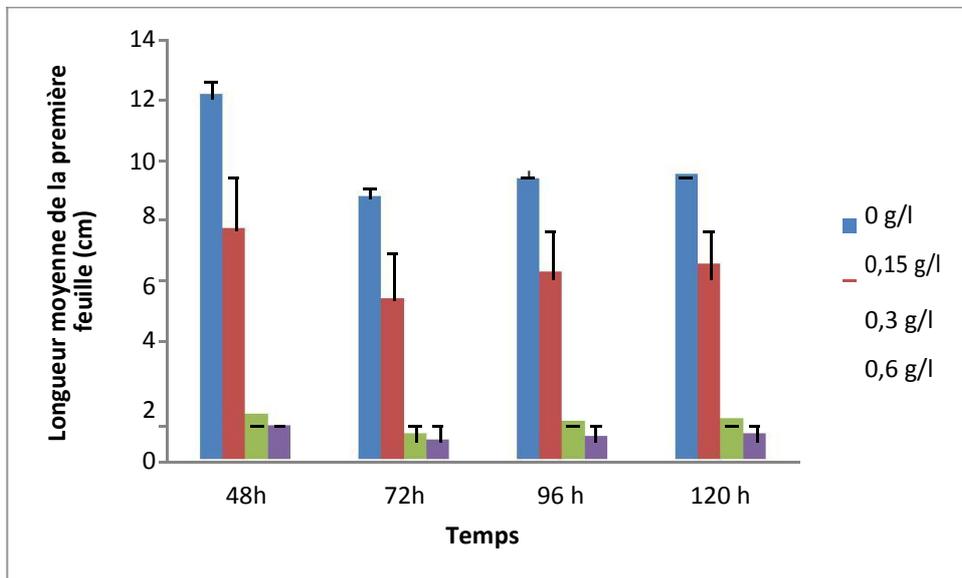


Figure 13 : Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne de la première feuille de l'orge ($m \pm s$, $n=3$).

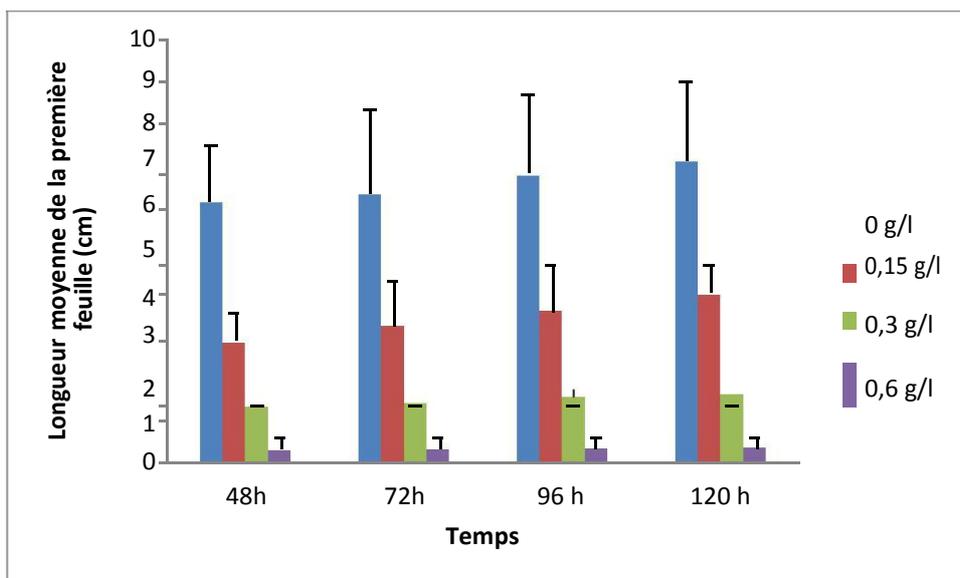


Figure 14 : Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne de la première feuille de l'avoine ($m \pm s$, $n=3$).

c. Effet du plomb sur le nombre moyen des feuilles (NMF)

L'analyse de la variance (**Tableau 04**) du nombre moyen des feuilles révèle que l'élaboration de ce paramètre est grandement influencée par les facteurs d'étude à savoir, la nature génotypique, le temps et le traitement appliqué ($p < 0,05$). Une interaction significative, entre les deux facteurs d'études (variété et dose), est également observée ($p < 0,05$) indiquant que l'effet du plomb sur ce paramètre dépend de la variété.

L'analyse des résultats présentés dans les **figures (15, 16, 17 et 18)** montrent que le traitement des plantes avec les concentrations 0,3 et 0,6g/l de $Pb(CH_3COO)_2$ provoque une baisse significative du NMF comparativement au témoin.

Tableau 04: Résultats de l'analyse de la variance à trois critères de classification du NMF appliqué dans la comparaison entre les différentes concentrations, les différents temps et les variétés des céréales soumises à l'acétate du plomb.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété(V)	3	81,002	27,001	29,410	< 0,0001
Temps (T)	3	14,748	4,916	5,355	0,002
Dose (D)	3	1214,163	404,721	440,836	< 0,0001
V*T	9	0,443	0,049	0,054	1,000
V*D	9	114,162	12,685	13,817	< 0,0001
T*D	9	3,487	0,387	0,422	0,921
V*T*D	27	2,008	0,074	0,081	1,000

Le test de SNK a permis de mettre en évidence, deux groupes de classement pour les variétés : A (le blé dur et l'avoine) et B (le blé tendre et l'orge), quatre groupes de classement pour les concentrations : A (C3), B (C2), C (C1) et D (T), et enfin quatre groupes de classement pour les temps : A (48h), AB (72h), BC (96h) et C (120h). Donc, chaque variété est différente de l'autre, chaque concentration est différente de l'autre et chaque temps est aussi différent de l'autre (voir annexe).

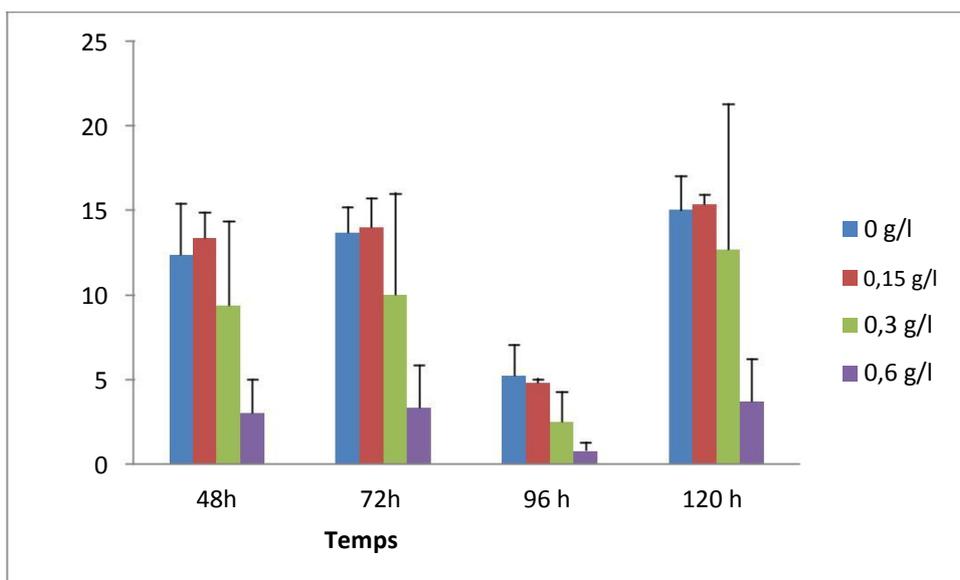


Figure 15: Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des feuilles de blé dur ($m \pm s$, $n=3$).

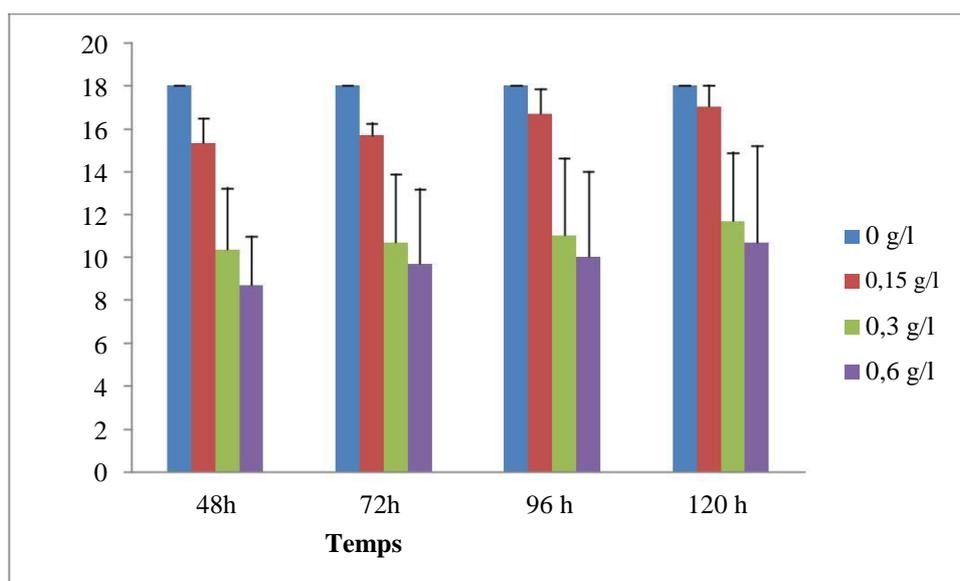


Figure 16 : Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des feuilles de blé tendre ($m \pm s$, $n=3$).

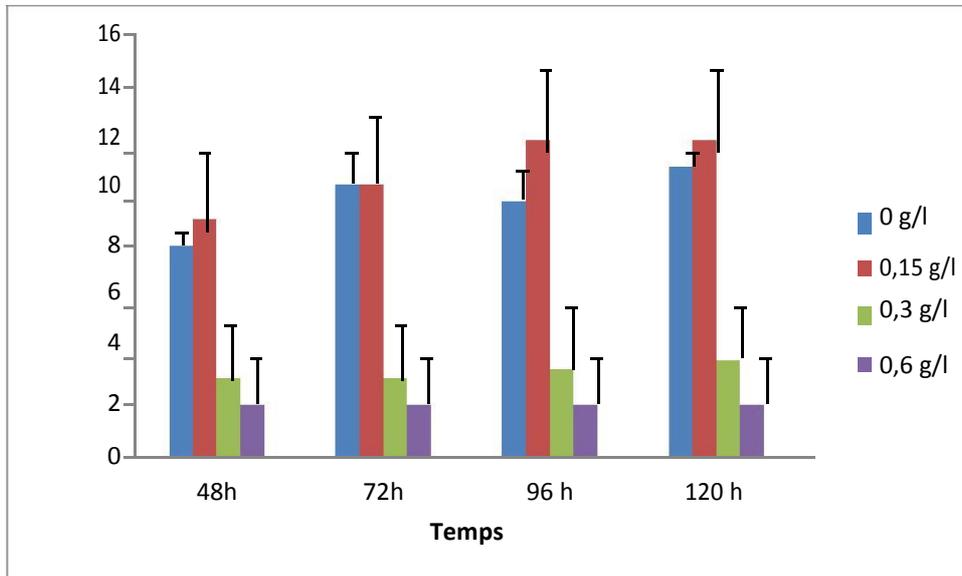


Figure 17: Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des feuilles de l'orge ($m \pm s$, $n=3$).

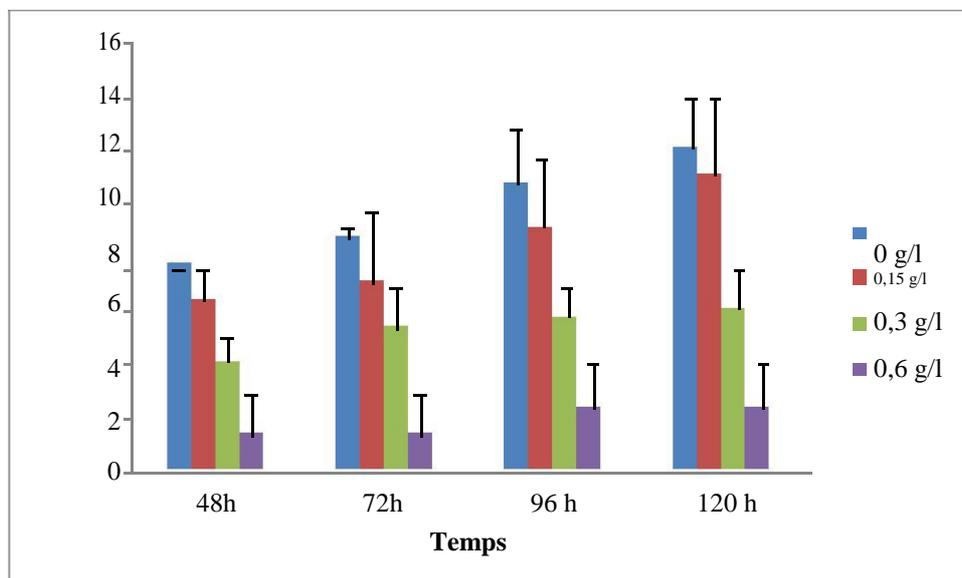


Figure 18: Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des feuilles de l'avoine ($m \pm s$, $n=3$).

d. Effet du plomb sur le nombre moyen de racines (NMR)

Les résultats présentés dans les **figures (19, 20, 21 et 22)** montrent que le nombre moyen des racines diminue remarquablement sous l'effet des différents traitements appliqués avec une réduction nettement importante aux concentrations 0,3 et 0,6g/l de $Pb(CH_3COO)_2$.

L'analyse de la variance (**Tableau 05**) montre qu'il y a une différence très hautement significative ($P=0,000$) observée dans l'effet de variétés, l'effet des doses et l'interaction entre variétés et doses, ce qui suppose que les réponses extériorisés par les différentes variétés sont différent en présence de ce type du stress abiotique.

Tableau 05 : Résultats de l'analyse de la variance à trois critères de classification du)NMR) appliqué dans la comparaison entre les différentes concentrations, les différents temps et les variétés des céréales soumises à l'acétate du plomb.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété(V)	3	167,185	55,728	216,549	< 0,0001
Temps (T)	3	1,197	0,399	1,551	0,205
Dose (D)	3	4425,687	1475,229	5732,442	< 0,0001
V*T	9	0,180	0,020	0,078	1,000
V*D	9	442,583	49,176	191,088	< 0,0001
T*D	9	1,425	0,158	0,615	0,782
V*T*D	27	0,679	0,025	0,098	1,000

Le test de comparaison de moyenne fait ressortir trois groupes de classement pour les variétés : A (Avoine), B (Blé dur), C (le blé tendre et l'orge) et trois groupes de classement pour les concentrations : A (C3, C2), B (C1), C (T). Donc, les concentrations C3 et C2 sont identiques entre elles et différentes des C1 et des T.

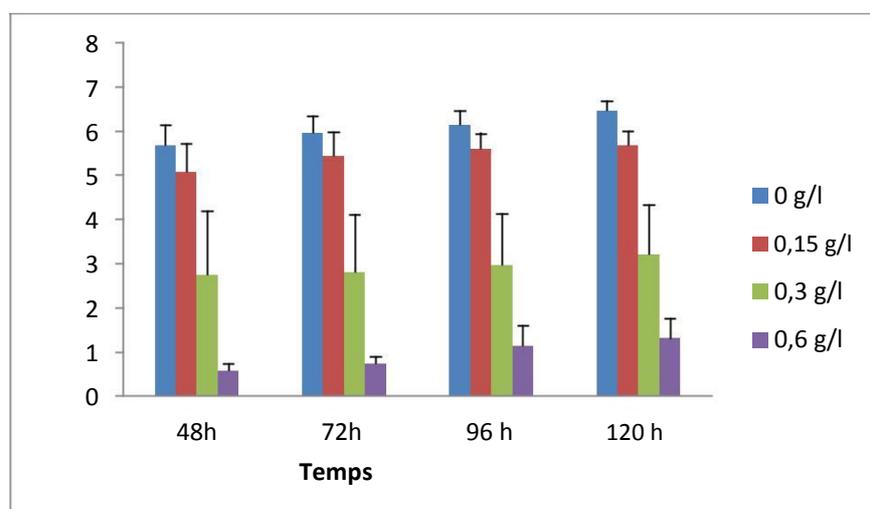


Figure 19: Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des racines de blé dur ($m \pm s$, $n=3$).

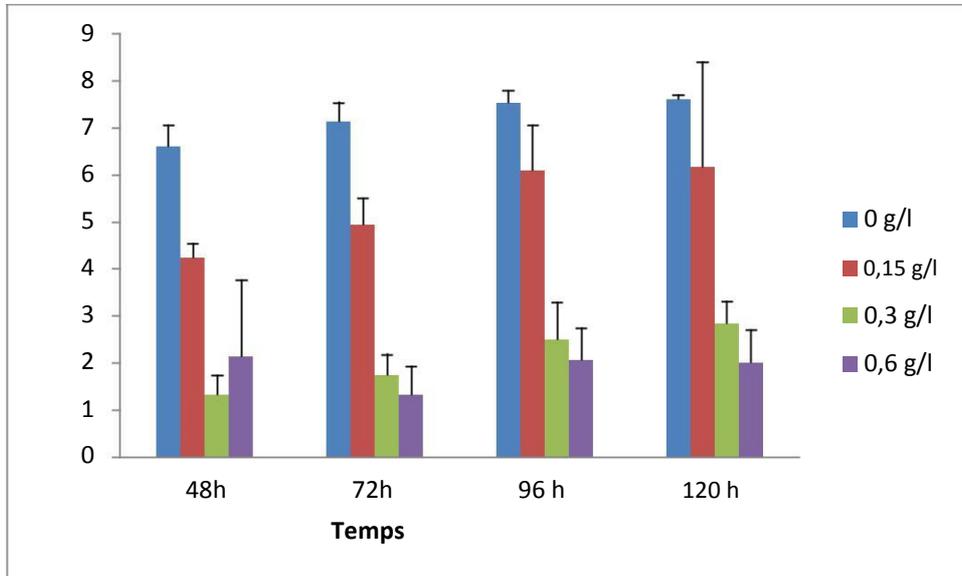


Figure 20: Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des racines de blé tendre ($m \pm s$, $n=3$).

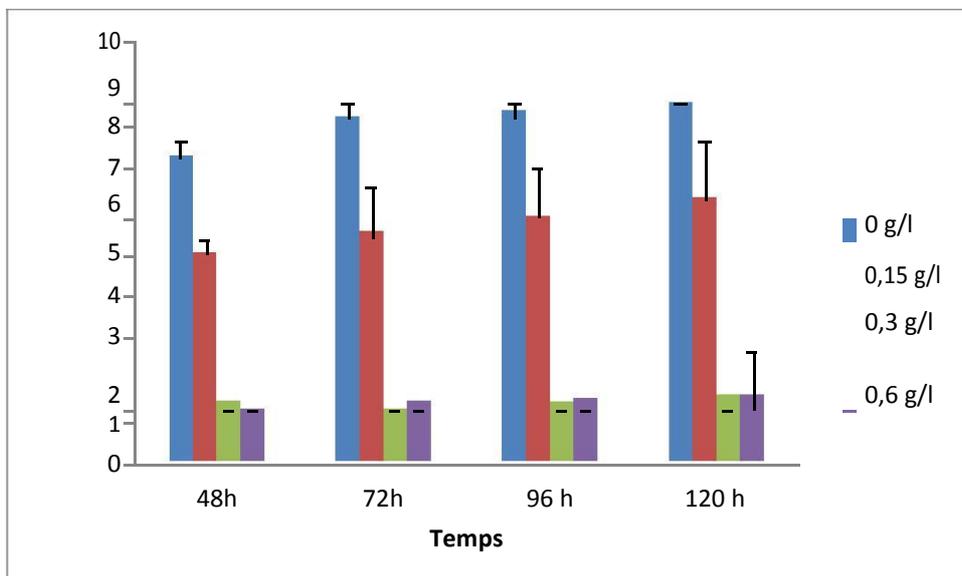


Figure 21 : Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des racines de l'orge ($m \pm s$, $n=3$).

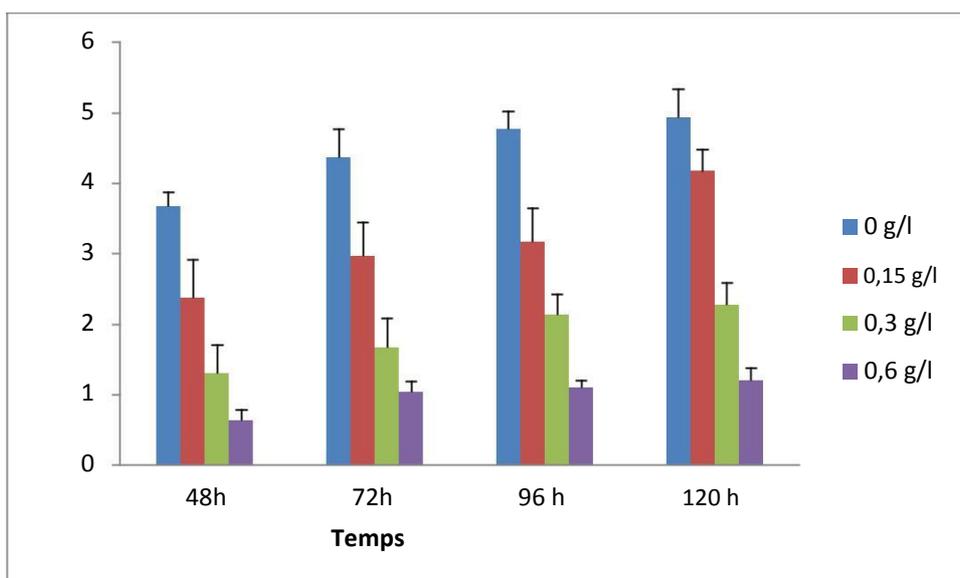


Figure 22 : Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur le nombre moyen des racines de l'avoine ($m \pm s$, $n=3$).

e. Effet du plomb sur la longueur moyenne des racines (LMR)

L'étude des résultats (**Figures 23, 24, 25 et 26**) indique une diminution de base de la longueur moyenne de racines pour toutes les concentrations, comparativement au témoin.

Les résultats de l'analyse de la variance à trois critères de classifications (**Tableau 06**), montrent qu'il existe des différences très hautement significatives ($p=0,000$) entre les variétés, entre les concentrations et entre temps. Aussi, on enregistre des différences très hautement significatives ($p=0,000$) de l'interaction (variétés x concentrations).

Tableau 06 : Résultats de l'analyse de la variance à trois critères de classification du (LMR) appliqué dans la comparaison entre les différentes concentrations, les différents temps et les variétés des céréales soumises à l'acétate du plomb.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété(V)	3	82,120	27,373	56,337	< 0,0001
Temps (T)	3	27,952	9,317	19,176	< 0,0001
Dose (D)	3	835,819	278,606	573,399	< 0,0001
V*T	9	4,306	0,478	0,985	0,456
V*D	9	82,998	9,222	18,980	< 0,0001
T*D	9	6,394	0,710	1,462	0,169
V*T*D	27	7,561	0,280	0,576	0,951

Le test de SNK a permis de classer les groupes homogènes comme suit :

Trois groupe de variétés ont été enregistré : A (Avoine), B (Blé dur), C (le blé tendre et l'orge), ces deux dernières variétés sont identiques, et quatre groupes de classement pour les concentrations : A (C3), B (C2), C (C1) et D (T). C'est-à-dire chaque concentration est différente de l'autre.

Tandis que, pour le facteur temps, il a été classé en quatre groupes : A (48h), B (72h), C (96h) et D (120h), donc chaque temps est différent de l'autre.

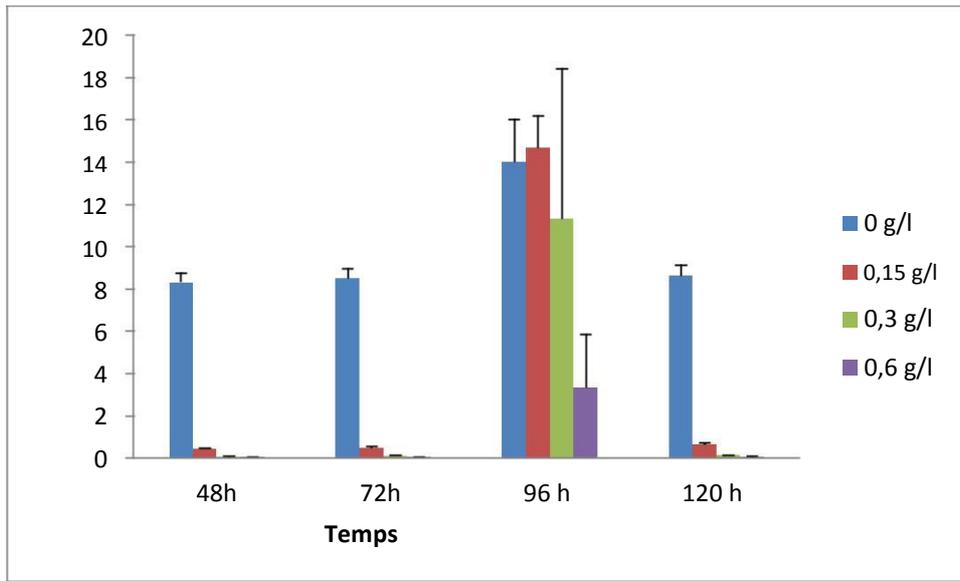


Figure 23 : Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne des racines de blé dur ($m \pm s$, $n=3$).

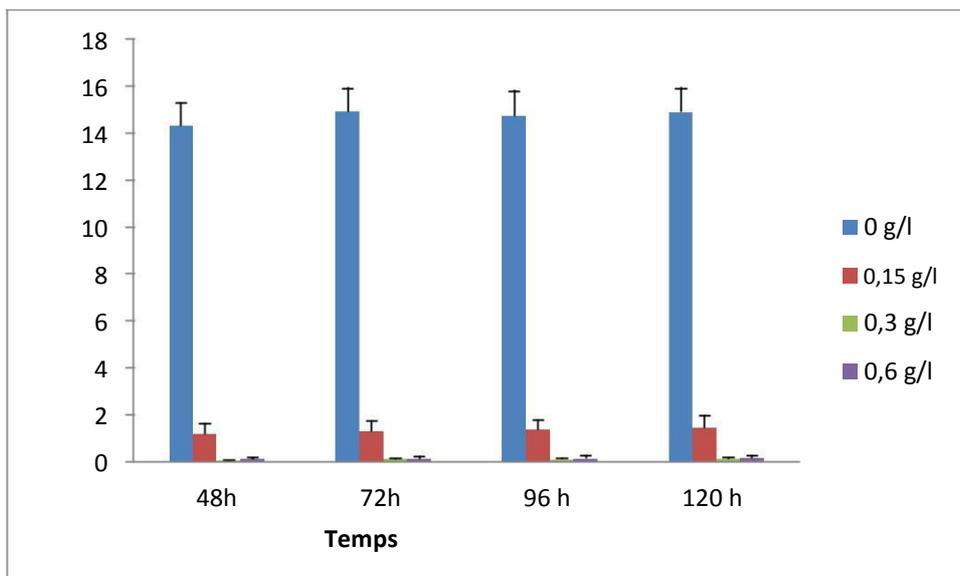


Figure 24: Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne des racines de blé tendre ($m \pm s$, $n=3$).

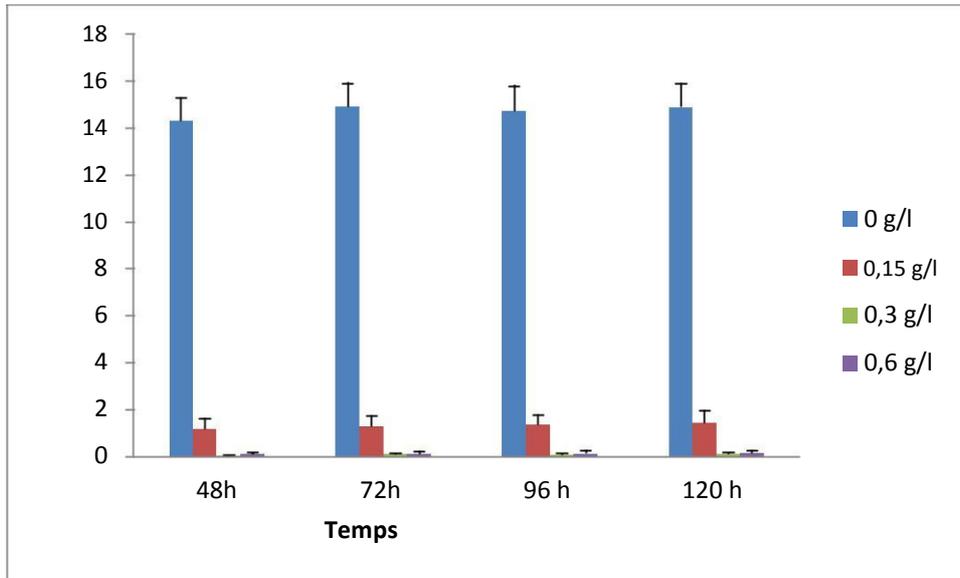


Figure 25 : Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne des de racines de l'orge ($m \pm s$, $n=3$).

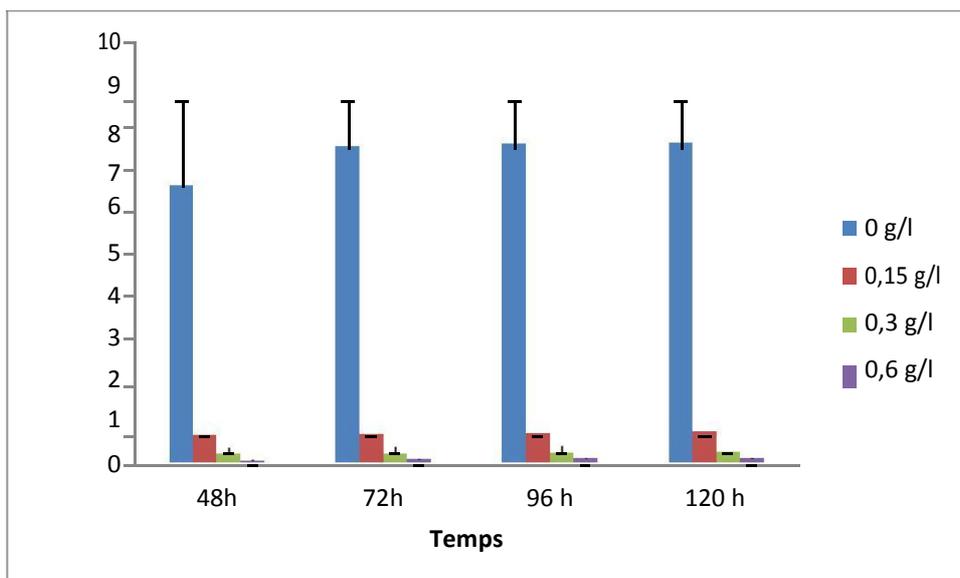


Figure 26 : Effet de trois concentrations d'acétate du plomb sur la longueur moyenne des de racines de l'avoine ($m \pm s$, $n=3$).

f. Indice de tolérance

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

Les résultats illustrée sur la **figure 27** montrent que les indices de tolérance des deux variétés de l'avoine et de l'orge, se développant sur les milieux contenant $0,15 \text{ g l}^{-1}$ de Pb, atteignent des valeurs moyennes les plus élevées, mais ils diminuent fortement pour les concentrations supérieures à $0,15 \text{ g l}^{-1}$ 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 de blé dur diminue avec les concentrations du milieu en toxique et qu'elle n'est tolérante qu'à la concentration de $0,15 \text{ g l}^{-1}$ de Pb. Il semblerait que les deux variétés de l'avoine et de l'orge soient plus tolérantes à la présence de plomb dans le milieu que les deux variétés de blé tendre et de blé dur. 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.

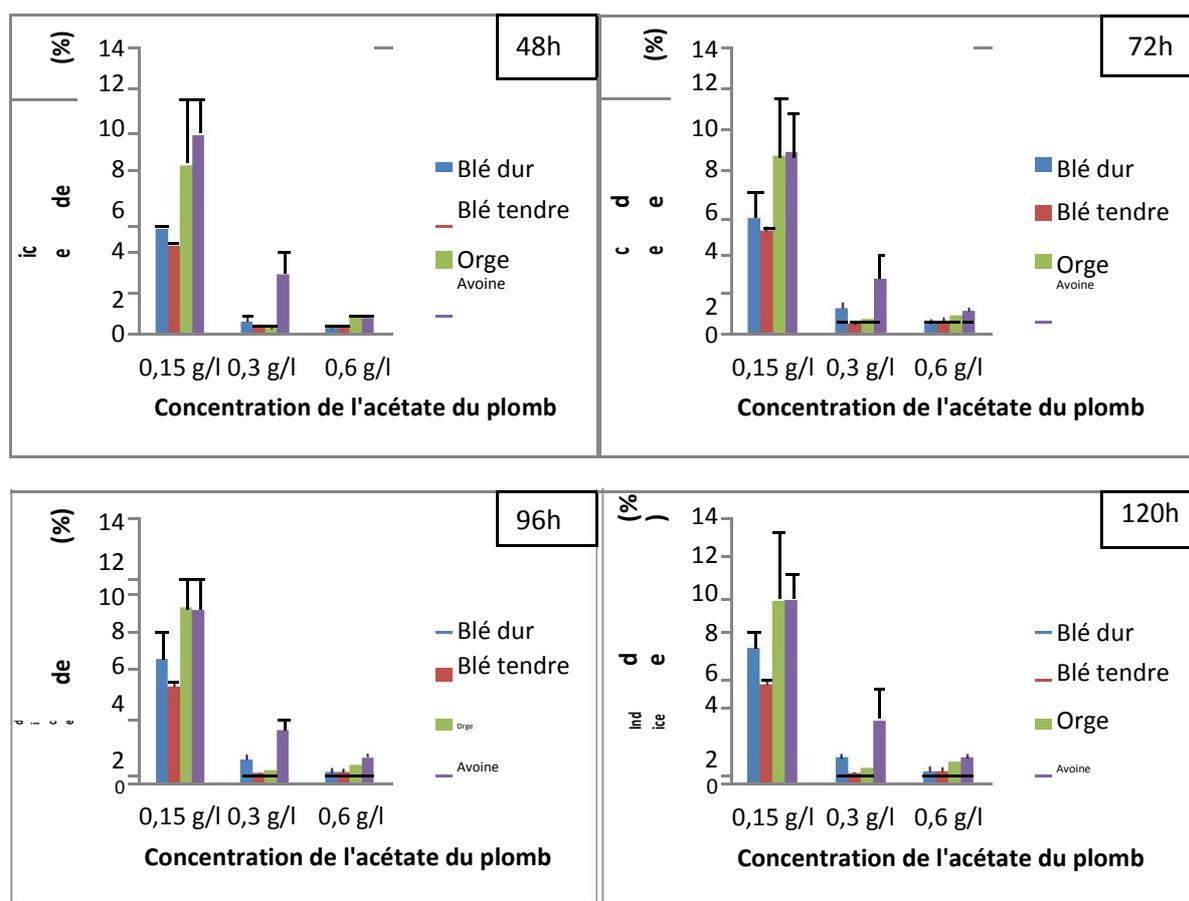


Figure 27 : L'indice de tolérance des 4 variétés des céréales aux différentes concentrations de $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, après 48h ,72h, 96h et 120h de traitement.

1.2. Impact du plomb sur l'anatomie de la racine de *T.durum*

L'observation microscopique des coupes histologique des racines de blé dur (**Figure 28**) nous a permis de voir la structure primaire de la racine de monocotylédone chez le témoin de cette variété.

L'assise pilifère (rhinoderme), est le tissu superficiel primaire des racines équivalent de l'épiderme des parties aériennes d'une plante. À la différence de l'épiderme, il est dépourvu de cuticule et de stomates. Dans la toute jeune racine, de nombreuses cellules de rhinoderme forment des poile absorbante spécialisé dans la collecte de l'eau et des sels minéraux qui représente dans le milieu de culture (sol).

Nous avons trouvé que la plus grande partie de la structure primaire de la racine est généralement occupée par le cylindre cortical (cortex). Le cortex contient de nombreux espaces intercellulaires contrairement à son assise interne (l'Endoderme). Ce dernier est composé de cellules disposées de façon compacte et forme la limite interne du cylindre corticale.

Au centre de la racine, on observe un autre cylindre, c'est le cylindre central ou bien le stèle, il comprend les tissus conducteurs primaire entouré par le péricycle, le xylème primaire occupe normalement le centre de cylindre conducteur et forme des lames vasculaires rayonnantes alternante avec des cordons des phloème primaire. Les racines latérales proviennent du péricycle et se frayent un chemin vers l'extérieur à travers le cortex (**Raven, 2009**).

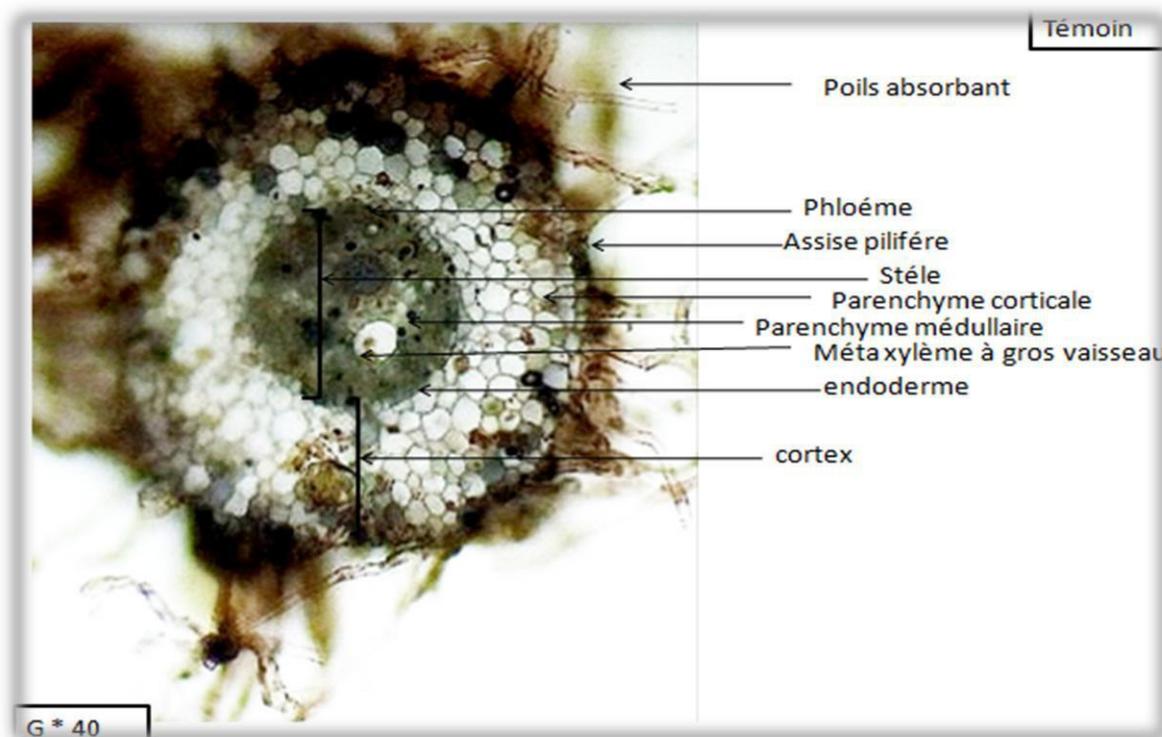


Figure 28 : Coupe histologique transversale de la racine de *T.durum* non traité.

L'observation microscopique des coupes histologique transversale des racines de *T. durum* traitées (**Figures 29, 30 et 31**), nous a permis de constater la même structure primaire que celle de témoin avec la présence de quelques modifications et de changements au niveau de la taille et des différentes parties tel que la diminution du nombre des vaisseaux conducteurs, le phloème et le xylème chez les racines traitées comparativement aux témoin. On observe aussi des modifications au niveau de parenchyme corticale tel que l'éclatement des cellules de ce dernier.

Le diamètre de la racine traitée a augmenté par rapport au témoin. Malgré cette augmentation, on observe un élargissement des différentes parties de la racine c'est à dire le cortex, parenchyme corticale, et un rétrécissement de la stèle comparativement au témoin.



Figure 29 : Comparaison des coupes histologiques transversales des racines de *T.durum* témoin et traité avec [0.15g/l] de $Pb(CH_3COO)_2$.



Figure 30 : Comparaison des coupes histologiques transversales des racines de *T.durum* témoin et traité avec [0.3g/l] de $Pb(CH_3COO)_2$.

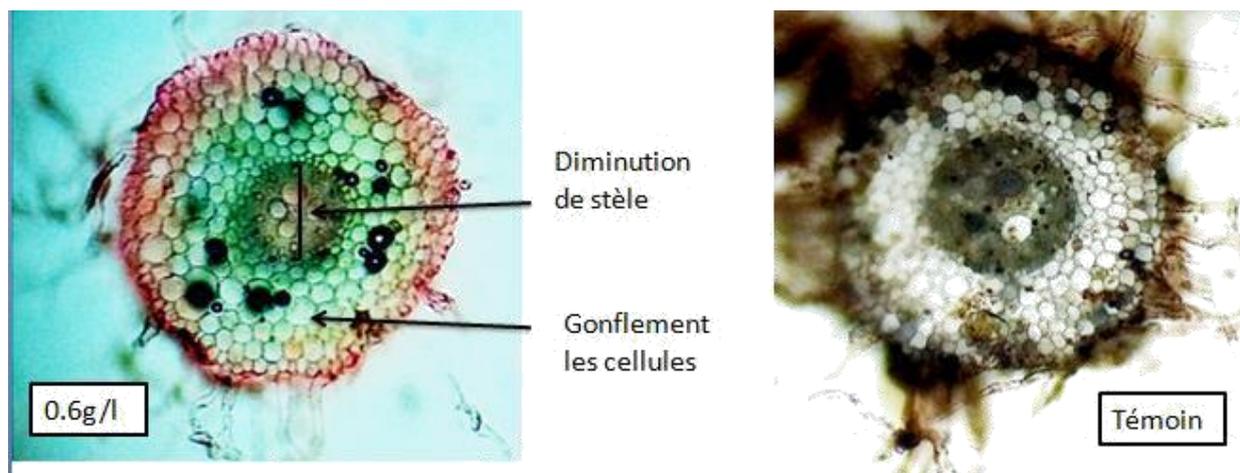


Figure 31 : Comparaison des coupes histologiques transversales des racines de *T.durum* témoin et traité avec [0.6g/l] de $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$.

2. Discussion

L'exposition des plantes aux métaux lourds peut entraîner de nombreux troubles morphologiques et histologiques. 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**). Le plomb n'est jamais considéré comme un élément essentiel à la croissance des plantes, mais il peut les stimuler (**Dou, 1988**). En effet, 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 (**Patraet al., 2004**) et diminue la croissance de blé tendre (**Zembala et al., 2009**).

Dans le cadre de ce travail nous avons étudié les réponses de quatre céréales (blé dur, blé tendre, orge et avoine) aux effets induites par le plomb $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$. Pour cela, nous avons évalué différents paramètres morphologiques et histologiques au niveau racinaire et foliaire. Les quatre variétés des céréales réagissent différemment au plomb au fur et à mesure que la dose s'accroît comparativement au témoin. Les résultats obtenus montrent qu'il y avait une sensibilité à toutes les variétés, en particulier à la plus forte concentration de 0,60 g / l. Nos résultats montrent également que le plomb a réduit l'élongation et le nombre des racines à celle

des feuilles chez les quatre céréales étudiées notamment au niveau des traitements par les concentrations 0,3 et 0,60 g/l du Pb (CH₃COO)₂. Dans certaines recherches, cette variation est notée même entre les espèces. En effet, la toxicité du plomb dépend fortement des interactions de cet élément métallique avec les espèces végétales considérées et également du mode de culture et des facteurs environnementaux. Dans notre travail la concentration 0.6g/l est une concentration de diminution de la croissance des variétés étudiées. D'autres travaux, ont montré que pour des concentrations extractibles dans un sol atteignant 800 mg. Kg-1 de sol, la croissance du **Ray Grass** n'était pas affectée (**Rooney et al., 1999**). Par contre, **Päivöke (2002)**, quant à lui a montré que la toxicité du plomb vis-à-vis du pois dépendait fortement de l'âge de la plante en plus de la concentration en plomb dans le sol. Il existe des variations inter- et intra spécifiques des germinations des graines soumises à un stress métallique. **Fodor et al., (1996)** ont également mis en évidence la toxicité de 10µM de plomb en solution sur la croissance et de développement du concombre et du haricot.

Les plantes peuvent absorber du plomb à partir des racines, mais également à partir des organes aériens, ou bien par l'intermédiaire des deux. Les quantités des métal absorbées par les racines dépendant de la concentration et de la solubilité du métal dans la solution de sol, mais également de ses capacités de migration du sol vers la surface des racines (**Patra et al., 2004 ; Zheng et al., 2011**).

Bien qu'elle ait été peu étudiée par rapport à l'absorption racinaire, l'assimilation du plomb par les feuilles peut représenter une part importante dans le taux de contamination de la plante. Le plomb peut être apporté sur les feuilles par des retombés atmosphériques (**Hovmand et al., 2009**), mais également dans les champs par des apports en engrais et pesticides (plomb sous forme d'impuretés). La majorité de ce plomb lessivé, mais une partie va se lier aux lipides épicuticulaires et être absorbée par les feuilles. La capacité des plantes à absorber le plomb disponible via leurs feuilles dépend à la fois de l'âge de celles-ci, mais également de leurs morphologie. Dans le cas de "légume feuilles", comme l'épinard ou les céréales (blé) exposé à de fortes retombés atmosphériques. La quantité de métal absorbée par les parties aériennes peut atteindre jusqu'à 95% de la quantité totale absorbée (**Dalenberg et Van Driel, 1999**).

L'absorption racinaire a fait l'objet de nombreuses recherches sur diverses espèces végétales. De ce fait, ces études ont porté essentiellement sur les céréales, comme l'orge et le blé (**Tanton et crowdy, 1991 ; Souahi et al., 2017**), le maïs (**Tung et Temple, 1996**), ou les légumes, comme la laitue (**Glater et Hernandez, 1972**), le radis (**L'ane et Martin, 1977**) et l'oignon (**Wlerzbicka, 1987**). Ces travaux ont révélé que le plomb, après s'être fixé au rhizoderme, pénètre dans le système racinaire de façon passive et suivait le système de conduction de l'eau (**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, 1996 ; Seregin, 2004**).

Une fois pénétrée dans le système racinaire, une très grande partie du plomb s'accumule dans les racines, bien qu'il existe quelques espèces sont capable de transférer de grande quantités de ce métal vers les parties aériennes, la racine agit comme une barrière très efficace contre les mouvements du plomb à l'intérieur de la plante (**Huang et al., 1997**). Ce phénomène de barrière n'est pas commun à tous les métaux lourds, et son intensité est très spécifique au plomb. Bien qu'il existe quelques espèces capables de transférer de grandes quantités de ce métal vers les parties aériennes, la racine agit comme une barrière très efficace contre les mouvements du plomb à l'intérieur de la plante. Ce phénomène de barrière n'est pas commun à tous les ETM, et son intensité est très spécifique au plomb (**Huang, 1997**). A des doses létales, le plomb pénètre dans tous les tissus racinaires, et les membranes plasmiques ne semblent plus jouer leur rôle de barrière physique (**Seregin, 2004**). A ces concentrations, le plomb induit une désorganisation de ces dernières. Il peut alors pénétrer massivement dans le cytoplasme, le noyau et les différents organites, y compris ceux possédant des doubles membranes, comme les mitochondries (**Malecka, 2008**).

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

Le transport apoplasmique est possible jusqu'à l'endoderme représenté par une rangée de cellules dont la paroi est subérifiée, c'est-à-dire recouverte d'une substance lipidique imperméable. A ce niveau, le transfert des ETM vers les autres organes de la plante nécessite leur transport actif à l'intérieur des cellules racinaires pour qu'ils soient ensuite dirigés vers les vaisseaux conducteurs de sève brute (xylème) puis distribués dans les différentes parties aériennes de la plante. Cette voie n'est cependant pas à négliger puisqu'elle peut être prépondérante pour certains cations métalliques qui entrent difficilement à l'intérieur des cellules ou qui se lient fortement à des composés de la paroi (**Sharma et Dubey, 2005**). Une partie des ions peut être adsorbée par les charges négatives des polymères pariétaux, en particulier les acides polygalacturoniques des pectines qui peuvent agir comme des échangeurs d'ions (**Ernst, 1992 ; Hall, 2002**).

La voie symplasmique suggère que les ETM traversent la paroi puis la membrane plasmique des cellules de l'endoderme pour ensuite se déplacer de cellules en cellules par l'intermédiaire des plasmodesmes. Dans ce cas, il s'agit d'une réelle absorption des éléments

traces par la cellule végétale qui nécessite l'intervention de canaux ou transporteurs membranaires (**Barber, 1995**). Cependant, la toxicité engendrée par une concentration extracellulaire élevée en ETM pourrait entraîner une perturbation de la perméabilité sélective des membranes cellulaires et ainsi favoriser l'entrée des ions à l'intérieur des cellules (**Seregin, 2004**).

Après l'absorption par les racines, la translocation correspond au transfert des éléments traces métalliques vers les parties aériennes. Elle peut varier considérablement en fonction du métal, mais également de l'espèce végétale (**Briat et Lebrun, 1999**). Pour être conduit vers les parties aériennes, les éléments prélevés dans le sol par les racines doivent être transportés dans le cortex puis déversés dans les vaisseaux du xylème (par circulation de la sève brute). Ce flux d'ions métallique dans le xylème nécessite leur chélation à des acides organiques (tels que le citrate) ou à des acides aminés (comme l'histidine).

En hydroponie, le plomb étant connu toxique à de plus faible concentration, **Malkowski et al (2002)** ont montré que la croissance du maïs était inhibée par la présence de 10 μM DE plomb dans la solution de culture. D'autre étude réalisée par **Kopittke et al (2007)** sur la corneille (une plante de la famille des *Fabaceae*, proche du haricot) a montré que les racines sont plus sensibles que les parties aériennes à l'exposition au plomb.

Donc, d'une manière globale, le plomb affecte la croissance et la morphogénèse des plantes, en perturbant de très nombreux mécanismes physiologiques, en entraînant la formation des plantes de tailles réduite, en diminuant la croissance des racines et des parties aériennes (**Akinci et al., 2010 ; Zheng et al., 2011**), en réduisant la taille des racines primaires et le nombre de racine 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 (**Kopittke et al., 2007 ; Ghani et al., 2010**).

Liu et al., (2003) ont démontré que la sensibilité ou la tolérance des plantes au plomb était cultivar-dépendante. En effet, leurs travaux réalisés sur différents cultivars de riz mettent en évidence des retards de croissance et de développement provoqués par 800 mg. Kg⁻¹, mais uniquement pour certains cultivars, d'autres n'y étant pas sensibles.

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 (**Nultschetal., 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 ; Eunet 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 (**Eunet al., 2000**).

Les membranes lipidiques subissent également des effets néfastes par le plomb. Bien que les mécanismes d'action ne soient pas connus, le plomb induit de fortes modifications dans les compositions lipidiques des différentes membranes cellulaires (**Stefanov et al., 1992, 1993 , 1995b, 1995c**). Par ailleurs, le plomb induit indirectement, via la production d'ERO, une peroxydation lipidique (**Pang et al., 2002 ; Reddyat al., 2005**). Ces modifications des lipides membranaires conduisent à l'apparition de structures cellulaires anormales, avec notamment des altérations au niveau de la membrane cellulaire, comme les mitochondries, les peroxysomes (**Malecka et al., 2008**) ou les chloroplastes (**Weryszko-Chmielewska et Chwill, 2005 ; Islam et al., 2007**). De fortes concentrations conduisent à la rupture de ces membranes, ce qui à terme, induit une mort cellulaire.

Par ailleurs, La toxicité du plomb dépend de sa concentration dans le milieu, des prospérités du sol, et enfin de l'espèce végétale concernée. Les plantes mettent en place diverses barrière physiques pour se protéger. Tout d'abord le mucilage sécrété au niveau de la coiffe, qui a la capacité de lier le plomb et donc de gêner son adsorption aux parois cellulaires (**Sharma et Dubey, 2005**).

Les changements structurels, induisant des changements dans les cellules et les tissus, ce qui peut modifier le comportement de la croissance de la plante à différents niveaux d'organisation. Ces altérations portent sur les racines, les tiges et les feuilles des plantes stressés comparativement aux témoin (**Reinoso et al., 2005**).

Conformément aux travaux (**Yilmaz et Dane, 2013 ; Souahi, 2016**), qui ont mis en évidence des changements marquants dans l'anatomie des racines, de *Triticum*, nos images microscopiques, mettent aussi en évidence des changements visibles, dans l'anatomie racinaire de *Triticum durum*, face au métal « le plomb ».

De nombreuses études, ont démontré que l'épaississement de la paroi, se présente comme un mécanisme de résistance dans des conditions de stress, causé par l'interaction avec des produits chimiques à des doses plus élevées (**Aktaç et al., 2007**). Un élargissement du cortex est ont enregistré chez les quatre variétés, lors de le traitement, avec un éclatement des cellules de parenchyme corticale. Cela peut être dû à la peroxydation lipidique des membranes plastiques sous stress oxydatif, induit par l'acétate de plomb, ce qui cause l'extravasation du contenu cellulaire au milieu, qui entoure le tissu endommagé (**Kruse et al., 2006**).

Conclusion générale

Le plomb fait partie des métaux lourds. Il a un caractère ubiquitaire dans l'environnement et il passe de l'air, à l'eau et au sol (ou sédiments). Les teneurs en plomb dans les plantes sont limitées et généralement les racines présentent des concentrations plus élevées comparées aux tiges et aux feuilles. 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 tendre, blé dur, l'orge et l'avoine à travers quelques paramètres morphologiques et ne étude histologiques. L'effet le plus visible des métaux lourds est une inhibition de croissance. Ainsi d'après nos résultats, les stress causés par le plomb, engendre des désordres dans la croissance des plantes des quatre céréales étudiées. Les plantes contaminées par le Pb présentent un ralentissement de leur développement et une inhibition de la croissance des racines et des parties aériennes. Le ralentissement de la croissance racinaire par le Pb, et les métaux lourds en général peut résulter d'une inhibition de la division cellulaire et de l'élongation des cellules. 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.

Enfin, les résultats obtenus à l'issue de ce travail, montre que: le plomb a exercé un effet négatif sur tous les paramètres morphologiques et sur l'anatomie racinaire de *T. durum*, et que les concentrations 0,3 et 0,6g/l sont les plus nocifs. Signalons par ailleurs, que la variété d'avoine est la plus résistante au stress métallique par rapport les autres variétés étudiées.

Les Références Bibliographiques

A

- **Ademe. 2003.** Traficabilité des sols pollués-Guide méthodologique pour la sélection des techniques et l'évaluation de leurs performances. Version test. 575. p. ISBN : 2-86817-719-039
- **Aidani, H. 2015 .**Effet des attaques de Capucin des grains (*Rhizoperthadominica*) sur les céréales stockées. « Estimation sur la perte pondérale et le pouvoir germinatif Cas de blé dur dans la région de Tlemcen ». Mémoire de Master. *Production et Amélioration des plantes*. Université abdou bekrbelkaid – tlemcen.P .4.
- **Akinci, I.E. et Akinci, S. 2010.** Effect of chromium toxicity on germination and early seedling growth in melon (*Cucumismelo L.*). *Afr J Biotech.* 9 (29): 4589-4594.
- **Aktaç, T., Yilmaz, G., Dane, F. and Bakar, E. 2007.** Demonstration of the effects of Raxil (tebuconazol) on the cell wall (glycocalix) of the root tip cells in onion (*Allium cepa L.*) using Alcian blue. *Fresenius Environmental Bulletin*, 16: 817-820.
- **Anuradha, S. et Rao S.S.R. 2007.** The effect of brassinosteroids on radish (*Raphanus sativus L.*) seedlings growing under cadmium stress. *Plant Soil Environ.* 53: 465-472.

B

- **Baik, B.k and Ulrich, S.E. 2008.** Barley for food: characteristics, improvement and renewed interest. *Journal of cereal science* 48,233-242.
- **Boulal, H. Zaghouane, O., El Mourid, M., et. Rezgui L., 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orges) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
- **Briat, J.F et. Lebrun, M., 1999.** Plant response to metal toxicity. *Plant Bio Patho.* 322 : 43-54.
- **Buchanan, H. et Djekoun. 2002.** Induction of enzyme capacity in plants as a result of heavy metal toxicity: dose-reponse relations in *Phaseolus vulgaris L.*, treated with zinc and cadmium.
- **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.

C

- **Calgaroto, N.S., Castro, G.Y., Cargnelutti, D., Pereira, L.B., Gonçalves, J.F., Rossato, L.V., Antes, F.G., Dressler, V.L., Flores, E.M.M., Schetinger, M.R.C. et Nicoloso, F.T. 2010.** Antioxidant system activation by mercury in *Pfaffia glomerata* plantlets. *Biometals*. 23: 295-305.
- **Callender, E. 2003.** Heavy Metals in the Environment-Historical Trends. In: B.S. Lollar (Ed.), *Environmental Geochemistry. Treatise on Geochemistry*. Elsevier Pergamon, Oxford. 67-105.
- **Chapman, G.P. 2009.** Grass evolution and domestication. *Grass evolution and domestication*, xviii +390 pp.
- **Chen, P.D. and Gill, B.S. 1984.** The origin of chromosome 4A and the B and G genomes of tetraploid wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 10: 146-153.
- **Choudhury, B., Mitra, S. et Biswas, A.K. 2010.** Regulation of sugar metabolism in rice (*Oryza sativa L.*) seedlings under arsenate toxicity and its improvement by phosphate. *Physio Mol Bio Plants*. 16 (1): 59-68.
- **Cic. 2007.** International Grains Council. *World Grains Statistics*, p13-17.
- **Clement-Grandcourt, M. et Prats, J. 1971.** Les céréales. Ed. Baillière et Co, Paris-France.51p.

D

- **Dalenberg, J.W. et Van Driel, W. 1990.** Contribution of atmospheric deposition to heavy metal concentration in field crops. *Netherlands J Agri Sci*. 38 : 369-379.
- **Davies, W.J. and Bacon, M.A. 2003.** Adaptation of roots to drought In H Kroon, EJW Visser, eds, *Root Ecology*, Vol 168. Springer, Berlin, 173-192.
- **Dazy, M. 2008 .**Caractérisation de la colonisation spontanée par les plantes de sols pollués Rôle des systèmes cellulaires de détoxification, thèse de doctorat, université de metz – ufrsci.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 andneurologic 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.
- **Derouiche, H et Hamidi, N. 2017.** La situation de la céréaliculture sous pivot dans la wilaya de Ouargla (cas Hassi Ben Abdallah-Ain Al Baida) pp 4.40

- **Ditez, K. J., Bair, M., Kramer, U. 1999.** Free radical and reactive oxygene species as mediators of heavy metal toxicity .73 97.
- **Donascimento, C.W.A. & Xing, B. 2006.** Phytoextraction: a review on enhanced metal
- **Dou, Z.X. 1988.** Lead pollution in soil and its effects on plants. *Agro Environ Protect.* 7 (3) : 38_39.

E

- **Ekmekçi, Y., Tanyolaç, D. et Ayhan, B., 2009.** A crop tolerating oxidative stress induced by excess lead in maize. *Acta Physio Plant.* 31: 319-330.
- **Eun, S.O., Shik, Y. and Lee, H. Y., 2000.** "Lead disturbs microtubule organization in the rootmeristem of *Zea mays*." *Physiologia Plantarum* 110: 357-365.
- **Fao., 2016.** Le marché mondial du blé. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/f>
- **Favas, P.J.C., Pratas, J., Varun, M., D'Souza, R. & Paul, M.S., 2014.** Phytoremediation of Soils Contaminated with Metals and Metalloids at Mining Areas: Potential of Native.
- **Ferfar, M. 2017.** Toxicité et bioaccumulation de pesticides sur quelques variétés de blé dur (*T. durum* Desf). Thèse de doctorat. Toxicologie Fondamentale et Appliquée, Université Badji Mokhtar – Annaba. P192-197

G

- **Gill, B.S. and Kimber, G. 1974.** Giemsa c-banding and evolution of wheat. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 71: 4086-4090.
- **Glater, R.A.B. et Hernandez, L. 1972.** Lead detection in living plants tissue using a new histochemical method. *J Air Poll Control Assoc.* 22 (6): 463-467.
- **Glick, B.R. 2003.** Phytoremediation: Synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. *Biotechnol. Adv.* 21,383-393.
- **Godon, B. 1991.** Les constituants des céréales : nature, propriétés et teneurs. In: Godon B.(Ed.), *Biotransformation des produits céréaliers.* Ed. Lavoisier Tec & Doc, Paris, pp. 1-22.
- **Godon, B., Willm, C.L. 1991.** Les industries de première transformation des céréales. *Coll. Agro. Alimentaire.* Lavoisier. pp. 78 – 91.
- **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.

- **Gopal, R. et Rizvi , A.H. 2008.** Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. *Chemosphere*. 70: 1539-1544.

H

- **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.
- **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.
- **Hervieu B., Capone R., Abis, S. 2006.** The challenge posed by the cereals sector in the Mediterranean. *Ciheimanalytical note*. 9: 14.
- **Hovmand, M.F, Neilsen, S.P. etJohnsen, I. 2009.** Root uptake of lead by Norway spruce grown on ²¹⁰Pb spiked soils : Role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environ Sci Techno*, 3 : 800-805.
- **Hufnagel, B., De Sousa, S.M., Assis , L., Guimareas, C.T., leiser, W., Azevedo, G.C., Negri, B., Larson, B.G., Shaff, J.E., Pastina , M.M., et al. 2014.** Duplicate and conquer: Multiple homologos of enhance phosphorus acquisition and sorghum performance on low-phosphorus soils. *Plant Physiol*. 166, 659-677.

I

- **ITGC. 2018.** Les semences de céréales à paille. Vespa.R et claey Agri-Nathan. 94P.

J

- **Jemail, F. et. Ghorbal, M. H. 2002.** Phytoremediation, revue H .T .E n122 pp 49-60.
- **Johnson, M.S., Mcneilly, T. and Putwain, P.D. 1997.** Revegetation of metalliferous mine soil contaminated by lead and zinc. *Environ. Pollut.* 12: 261-277.
- **Johnson, W.C. 2008.** Analyzing protein circular dichroism spectra for accuratesecondary structure. *Proteins. Struct. Funct. Genet.* 35: 307-312.

K

- **Kara, K. 2015.** Interactions génotype-milieu de variétés de blé tendre (*Triticum aestivum*L.) sous stress hydrique. Thèse de doctorat. Les bases Biologiques de la production végétale, Université des Frères Mentouri. Constantine .P.145.
- **Kara, Y. et Bellkhiri, C. E. 2011.** Etude des caractères d'adaptation au déficit hydrique de quelques variétés de blé dur et d'espèces sauvage apparentées : intérêt potentiel de ces variétés pour l'amélioration de la production, 119p
- **Kell, D.B. 2011.** Breeding crop plants with deep roots: Their role sustainable carbon, nutrient and water sequestration. Ann. Bot. doi : 10.1093/aob/mrc175.
- **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.M., Asher, C.J., Blamey, F.P.C. et Menzies, N.W., 2007a.** Toxic effects of Pb^{2+} on the growth and mineral nutrition of signal grass (*Brachiaria decumbens*) and Rhodes grass (*Chloris gayana*). Plant Soil. 300: 127-136.
- **Kopittke, P.M., Asher, C.J., Kopittke, R.A. et Menzies, N.W. 2007b.** Toxic effects of Pb^{2+} on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). Environ Poll. 150: 280-287.
- **Kopyra, M. et Gwozdz, E.A. 2006.** 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.
- **Kruse, N.D. et al. 2006.** E stress oxidativo e o emprego de girassol (*Helianthus annuus*) indicam sinergismo para a mistura dos herbicidas metribuzin e clomazone. Planta Daninha, v. 24, n. 2, p. 379-390.

L

- **L'ane, S.D. et Martin, E.S. 1977.** A histochemical investigation of lead uptake on *Raphanus sativus*. New phytol. 79 (2): 281-286.
- **Lapedes, D. N., 1974.** McGraw-Hill Dictionary of scientific and technical terms, New York.
- **Lazzer, J. et Kolren, E. 2015.** The effects of lead on the structure and the function in wheat plastids. Acta bot. Croat. 39:33-40.
- **Liu, D., Zou, J., Meng, Q., Zou, J. et Jiang, W. 2009.** Uptake and accumulation and oxidative stress in garlic (*Allium sativum* L.) under lead phytotoxicity. Ecotoxicol. 18: 134-143.

- **Liu, P., Huang, M. 2003.** Kinetic of lead adsorption by iron oxides formed under the influence of citrate. *Geochimica and Cosmochimica Acta.* 67: 1045-1054.
- **Louali, Y. 2016.** Production de génotypes mutants chez le blé dur (*Triticum durum*) : une source de variabilité génétique pour la tolérance à la sécheresse. Thèse de doctorat 3^{em} cycle. Biotechnologie et Génomique Végétales, Université des Frères Mentouri-Constantine. P. 1.

M

- **Ma, Y., Prasad, M.N.V., Rajkumar, M. and Freitas, H. 2011.** Plant growth promoting rhizo bacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils *Biotechnology Advances.* 29: 248-258.
- **Macleod, R.D., 1991.** The root apical meristem and its margins. In : Weisel Y., Eshel A. and Kafkafi U. (eds), *Plant roots: the hidden half.* Marcel Dekker Inc, New York, 75-102.
- **Malecka, A., Piechalak, A., Morkunas, I. et Tomaszewska, B. 2008.** Accumulation of lead in root cells of *Pisum sativum*. *Acta Physio Plant.* 30:629-637.
- **Malkowski, E., Kita, A., Galas, W., Karcz, W. et Kuperberg, J.M. 2002.** Lead distribution in corn seedlings (*Zea mays* L.) and its effects of growth and the concentrations of potassium and calcium. *Plant Growth Regul.* 37 : 60-76.
- **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.
- **Marques, Ana, P.G.C, Moreira, H, Rangel António, O.S.S., Castro Paula, M.L. 2009b.** Arsenic and Nickel accumulation in *Rubus ulmifolius* growing in contaminated soil in Portugal. *J. Hazard. Mater.* 165 ,174–179.
- **Marques, Ana, P.G.C., Rangel, António, O. S.S. And Castro Paula, M. L. 2009a.** Remediation of Heavy Metal Contaminated Soils: Phytoremediation as a Potentially Promising Clean-Up Technology *Critical Reviews in Environ. Sci. Technol.* 39, 622–654.
- **McGrath, S.P. and Zhao, F.J. 2003.** Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Curr. Opin. Biotechnol.* 14, 277-282.
- **McGrath, S.P. 1998.** Phytoextraction for Soil Remediation. In: Brooks, R.R. (Ed.). *Plants that hyper accumulate heavy metals.* CABI Publishing, Wallingford, pp. 261-287.

- **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. et Moreno-Sanchez R. 2005.** Cd²⁺ transport and storage in the chloroplast of *Euglenagracilis*. *Biochimica et Biophysica Acta* 1706 : 88-97.
- **Meziani, H. 2016.** Contribution à l'étude de quelques caractères agronomiques et technologiques chez quelques variétés des blés durs (*Triticum durum* Desf). Mémoire de Master. Biologie et Génomique végétale .Université des Frères Mentouri .Constantine . p.44.
- **Michel, H. et Deisenhofer, J. 2014.** Relevance of the photosynthetic reaction center from purple bacteria to the structure of Photo system II, *Biochemistry*. 27: 1-7.
- **Miquel, G. 2001.** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Offre parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Rapport 261. Paris: Assemblée National, Sénat, 365p45
- **Morel, J.L. et Schwartc, C. 1999.** Qualité et gestion des sols des jardins familiaux. *Acad Agri Fr* ; 85, 2, p. 103-104.

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^{em} cycle. Biologie Végétale et Environnement, Université Badji Mokhtar – Annaba. P.1.
- **Narayanan, S., Mohan, A., Gill, K.S. and Prasad, P.V. 2014.** Variability of root traits in spring wheat germplasm. *PLoS ONE*, 9, doi 10.1371/journal.pone.0100317.
- **Nriagu, J.O. et Moore, P.b.1984.** Phosphate Minerals. Springer-Verlag. New York.
- **Nultsch ,W., Miesch, R. and Sell ,Y. 1998.** Botanique générale, De Boeck Université.

P

- **Paez-Garcia, A., Motes, C., Scheible, W.R., Chen, R., Blancaflor, E. and Monteros, M. 2015.** Root traits and Phenotyping Strategies for Plant Improvement. *Plants*, 4, 334-355 ; doi: 10.3390/plants 4020334.
- **Palma, J.M., Sandalio, L.M. & Del Rio, L.A. 1986.** Manganese superoxide dismutase and higher plant chloroplasts: a reappraisal of a controverted cellular localisation. *Journal of plant physiology*, 125, 427-439.

- **Pang, X., Wang, D.H., Xing, X.Y., Peng, A, Zhang, F.S. et Li, C.J. 2002.** Effect of La³⁺ on the activities of antioxidant enzymes in wheat seedlings under lead stress in solution culture. *Chemosphere*. 47 (10): 1033-1039.
- **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.
- **Phang, I.C, Leung, D.W.M., Taylor, H.H. et Burritt, D.J. 2011.** Correlation of growth inhibition with accumulation of Pb in cell wall and changes in response to oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Plant Growth Regul.* 64: 17-25.
- **Prasad, M.N.V. & Freitas, H.M.D. 2003.** Metal hyperaccumulation in plants – Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology* 6.
- **Prasad, M.N.V. 1999.** Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems. *Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg*, 462.

R

- **Raymond, R., Moore, C. et Wagner, K. 2006.** Les parents sauvages des plantes cultivées. *Biodiversity international. UNEP- GEF*. 28p.
- **Reddy, A.M, Kumar, S.G, Jyothsnakumari, G., Thimmanaik, S. Et Sudhakar, C. 2005.** Lead induced changes in antioxidant metabolism of horsegram (*Macrotyloma uniflorum* (Lam.) Verdc.) and bengalgram (*Cicer arietinum* L.). *Chemosphere*. 60 (1): 97-104.
- **Reinoso, H., Sasa, L., Reginato, M. and Luna, V. 2005.** Histological alteration induced by sodium sulfate in the vegetative anatomy of *Prosopis strobilifera* (Lam) Benth Word, *Journal of Agricultural Science* , vol. 1, no. 2, 109-119.
- **Rooney, C., McLaren, G., Cresswell, J. 1999.** Distribution and phytoavailability of lead in a soil contaminated with lead shoot. *Water, Air and Soil Pollution* 116: 535-548.

S

- **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, Irdning, Austria.

- **Seregin, I.V. et Shipgun, L.k. et Ivanov, V.B. 2004.** Distribution and toxic effects of Cadmium and lead on maize roots. *Rus J Plant Physio.* 51 (4) : 525-533.
- **Seregin, I.V., Ivanov, V.B. 1998.** The transport of cadmium and lead ions through root tissues. *Russian Journal of Plant Physiology* 45 : 899-905.
- **Seregin, I.V., Ivanov, V.B. 2001.** Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higherplants. *Russian Journal of Plant Physiology* 48 (4): 523-544.
- **Seregin, I.V., Schpigon, L.K. et Ivanov, V.B. 2004.** Ristrubtion and toxic effects of cadmium and lead on maize roots ; *Russain of plants phsiologie* 51 (4): 525 – 533.
- **Sharma, P. and Dubey, R.S. 2005.** "Lead toxicity in plants." *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17:35-52.
- **Sirodot, G. E. 2016.** Produire des céréales à paille. Coll. Agriculture d'aujourd'hui. Science, Techniques, Applications. pp. 63 - 67; pp. 292 - 296.
- **Soltner, D. 1990.** Les grandes productions végétales : Céréales, plantes sarclées, prairies. Coll. Sciences et Techniques agricoles. 17ième Ed. 464p
- **Souza, L.A., Andrade, S.A.L., Souza, S.C.R. et Schiavinat, M.A. 2012.** Arbuscularmycorrhiza confers Pb tolerance in *Calopogonium mucunoides*. *Acta Physio Plant.* 34: 523-531.
- **Stefanov, K, Popova, I, Kamburova, E., Pancheva, T., Kimenov. G., Kuleva, L. et Popov, S. 1993.** Lipid and sterol changes in *Zea mays* caused by lead ions. *Phytochem.* 33 (1): 47-51.
- **Stefanov, K., Pandev, S., Seizova, K., Tyankova, L. et Popov. S. 1995a.** Effect of lead on the lipid metabolism in spinach leaves and thylakoid membranes. *Bio Plant.* 37 (2): 251- 256.
- **Stefanov, K., Popova, I., Nikolova-Damyanova., B., Kimenov, G. et Popov. S . 1992.** Lipid and sterol changes in *Phaseolus vulgaris* caused by lead ions. *Phytochem.* 31 (11): 3745-3748.
- **Stefanov, K., Seizova, K., Pandev, S., Yanishlieva, N., Marinova, E., Tyankova, L., Kuleva, L. et Popov, S. 1995b.** Effect of lead ions on lipids and antioxidant complex activity of *Capsicum annuum* L leaves, pericarp and seeds. *J Sci Food Agric.* 67 (2): 259-266.
- **Stefanov, K., Seizova, K., Popova, I., Petkov, V., Kimenov, G. et Popov, S .1995c.** Effect of lead ions on the phospholipid composition in leaves of *Zea mays* and *Phaseolus vulgaris*. *J Plant Physio.* 147 (2): 243-246.

- **Souahi H. 2016.** Evaluation de la toxicité des xénobiotiques (Sekator et Zoom) sur des cultures céréalières : *Triticum durum* et *Triticum aestivum*. Thèse du doctorat. 175pp.
- **Souahi Hana, Ahlem Gharbi, Zina Gassarellil, 2017.** Growth and physiological responses of cereals species under lead stress. *International Journal of Biosciences* 11(1): 266-273.
- **Sun, B.Y., Kan, S.H., Zhang, Y.Z., Deng, S.H, Wu, J., Yuan, H., Qi, H., Yang, G., Li, L., Zhang, X.H, Xiao, H., Wang, Y.J, Peng, H. et Li, Y.W. 2010.** Certain antioxidant enzymes and lipid peroxidation of radish (*Raphanus sativus* L.) as early warning biomarkers of soil copper exposure. *J Haz Mat.* 183: 833-838.

T

- **Tabaldi, L.A., Nicoloso, F.T., Castro, G.Y., Cargnelutti, D., Gonçalves, J.F, Rauber, R., Skrebsky, E.C, Schetinger, M.R.C, Morsch, V.M. et Bisognin, D.A. 2007.** Physiological and oxidative stress responses of four potato clones to aluminum in nutrient solution. *Braz J Plant Physio.* 19 (3): 211-222.
- **Tadjer, R. 2015.** Légère hausse de la production de céréales en 2015. [En ligne], Adresse URL : légère-hausse-de-la-production-de-céréales-en- 2 . Page consulté (24/05/2016).
- **Tanton, T.W. et Crowdy, S.H. 1971.** The distribution of lead chelate in the transpiration stream of higher plants .*Pesticide Sci.* 2 (5) : 211-213.
- **Tung, G et Tempie, P.J. 1996a.** Histochemical détection of lead in plant tissues. "*Environmental Toxicology and Chemistry* 15: 906-914.
- **Tung, G. et Temple, P.G. 1996.** Uptake and localization of lead in corn (*Zea mays* L.) seedlings, a study by histochemical and electron microscopy. *Sci Total Environ.* 188 (2-3) : 71-85.
- **Uga, Y., Sugimoto, K., Ogawa, S., Rane, J., Ishitani, M., Hara, N., Kitomi, Y., Inukai, Y., Ono, K., Kanno, N. 2013.** Control of root system architecture by deeper rooting I increases rice yield under drought conditions. *Nat. Genet.* 45, 1097-1102.

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 Hyperaccumulation in plants. *New Phytol.* , 181, 759-776.

W

- **Wang, W., Vinocur, B., Altman, A. 2003.** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance. *Curr. Opin. Biotech.*, **12**: 144–149.
- **Weryszko-Chmielewska, E. et Chwil, M. 2005.** Lead induced histological and ultrastructural changes in the leaves of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Soil Sci Plant Nut.* 51 (2): 203-212.
- **Wierzbicka, M. 1998.** "Lead in the apoplast of *Allium cepa* L. root tips--ultrastructural studies." *Plant Science* 133(1): 105-119.
- **Wierzbicka, M., 1987.** Lead translocation and localization in *Allium cepa* roots. *Can J Bot.* 65 (9): 1865-1860.

Y

- **Yang, X., Feng, Y., He, Z., Stoffella, P. J. 2005.** Molecular mechanisms of heavy metal Hyperaccumulation and phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 18 :339-353.
- **Yilmaz, G. and Dane, F. 2013.** Phytotoxic effects of herbicide Atribut and surfactant BioPower on the root, stem, and leaf anatomy of *Triticum aestivum* 'Pehlivan'. *Turkish Journal of Botany* 37: 886-893.
- **Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q. et Ma., L.Q. 2006.** Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Sci Total Environ.* 368: 456-464.

Z

- **Zaffran, J. 1998.** *Initiation A La Biologie Végétale*. Ed. Ellipses. Paris. 160p.
- **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.
- **Zheng, L.J, Liu, X.M, Lûtez- Meindl, U. et Peer, T. 2011.** Effects of lead and EDAT-assisted lead and biomass, lead uptake and mineral nutrients in *Lespedeza chinensis* and *Lespedeza davidii*. *Water Air Soil Poil.* 220(1-4) : 57-68.
- **Zibouche, M et Grimes, Ch. 2016.** Contribution à l'étude des flavonoïdes et de l'activité antioxydant de l'orge : *Hordeum vulgare*. Mémoire de Master. Biochimie moléculaire et santé. Université des Frères Mentouri – Constantine. p 14:20.

Annexe

Tableau 01: Test SNK de la comparaison des moyennes du facteur « variété » pour le paramètre « hauteur de la partie aérienne » obtenus pour chacune des quatre concentrations de l'acétate du plomb.

Modalité	Moyenne estimée	Groupes	
4 (Avoine)	4,081	A	
1 (Blé dur)	4,285	A	
3 (orge)	5,937		B
2 (Blé tendre)	6,243		B

Tableau 02: Test SNK de la comparaison des moyennes du facteur « temps » pour le paramètre « hauteur de la partie aérienne » obtenus pour chacune des quatre concentrations de l'acétate du plomb.

Modalité	Moyenne estimée	Groupes	
0 (48h)	4,674	A	
1 (72h)	5,005	A	B
2 (96h)	5,380		B
3 (120h)	5,486		B

Tableau 03: Test SNK de la comparaison des moyennes du facteur « dose » pour le paramètre « hauteur de la partie aérienne ».

Modalité	Moyenne estimée	Groupes			
4 (0,6 g/l)	1,504	A			
3 (0,3 g/l)	2,571		B		
2 (0,15 g/l)	6,965			C	
1 (0 g/l)	9,506				D

Tableau 04: Test SNK de la comparaison des moyennes de l'interaction « variété x dose» pour le paramètre « hauteur de la partie aérienne » obtenus pour chacune des quatre concentrations de l'acétate du plomb.

Modalité	Moyenne estimée	Groupes							
4*4	0,505	A							
1*4	1,093	A	B						
3*4	1,105	A	B						
3*3	1,661	A	B						
4*3	2,137		B	C					
1*3	3,198			C					
2*3	3,289			C					
2*4	3,311			C					
4*2	4,965				D				
1*2	6,263					E			
1*1	6,585					E			
2*2	8,012						F		
3*2	8,621						F		
4*1	8,718						F		
2*1	10,360							G	
3*1	12,363								H

Tableau 05 : Test SNK de la comparaison des moyennes du facteur « variété » pour le paramètre « la longueur moyenne de la première feuille » obtenus pour chacune des quatre concentrations de l'acétate du plomb.

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
4	6,292	A		
3	6,458	A		
1	10,563		B	
2	13,708			C

Tableau 06 : Test SNK de la comparaison des moyennes du facteur « temps » pour le paramètre « la longueur moyenne de la première feuille » obtenus pour chacune des quatre concentrations de l'acétate du plomb.

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
0	8,229	A		
1	8,938	A	B	
2	9,604		B	C
3	10,250			C

Tableau 07 : Test SNK de la comparaison des moyennes du facteur « doses » pour le paramètre « la longueur moyenne de la première feuille ».

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
4	4,229	A		
3	7,562		B	
2	12,417			C
1	12,813			C

Tableau 08 : Test SNK de la comparaison des moyennes de l'interaction « variété x dose » pour le paramètre « la longueur moyenne de la première feuille » obtenus pour chacune des quatre concentrations de l'acétate du plomb.

Modalité	Moyenne estimée	Groupes				
4*4	1,833	A				
3*4	2,000	A				
3*3	3,250	A	B			
1*4	3,333	A	B			
4*3	5,250		B			
4*2	8,333			C		
4*1	9,750			C		
3*1	9,750			C		
2*4	9,750			C		
1*3	10,833			C		
3*2	10,833			C		
2*3	10,917			C		
1*1	13,750				D	
1*2	14,333				D	
2*2	16,167				D	E
2*1	18,000					E

Tableau 09 : Test SNK de la comparaison des moyennes du facteur « variété » pour le paramètre « le nombre moyenne des feuilles » obtenus pour chacune des quatre concentrations de l'acétate du plomb.

Modalité	Moyenne estimée	Groupes	
4	2,959	A	
1	3,167	A	
3	4,248		B
2	4,444		B

Tableau 10 : Test SNK de la comparaison des moyennes du facteur « temps » pour le paramètre « le nombre moyenne des feuilles » obtenus pour chacune des quatre concentrations de l'acétate du plomb.

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
0	3,329	A		
1	3,572	A	B	
2	3,858		B	C
3	4,059			C

Tableau 11 : Test SNK de la comparaison des moyennes du facteur « doses » pour le paramètre « le nombre moyenne de la première feuille ».

Modalité	Moyenne estimée	Groupes			
4	0,907	A			
3	1,765		B		
2	4,955			C	
1	7,190				D

Tableau 12 : Test SNK de la comparaison des moyennes de l'interaction « variété x dose» pour le paramètre « le nombre moyen des feuilles » obtenus pour chacune des quatre concentrations de l'acétate du plomb.

Modalité	Moyenne estimée	Groupes								
4*4	0,334	A								
1*4	0,728	A	B							
3*4	0,743	A	B							
3*3	1,093	A	B	C						
4*3	1,479		B	C	D					
2*4	1,825			C	D					
2*3	2,150				D					
1*3	2,339				D					
4*2	3,413					E				
1*2	4,598						F			
1*1	5,002						F			
2*2	5,840							G		
3*2	5,968							G		
4*1	6,608							G		
2*1	7,963								H	
3*1	9,187									I

Tableau 13 : Test SNK de la comparaison des moyennes du facteur « variété » pour le paramètre « le nombre moyenne des racines » obtenus pour chacune des quatre concentrations de l'acétate du plomb.

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
4	2,072	A		
1	2,289		B	
2	4,021			C
3	4,060			C

Tableau 14 : Test SNK de la comparaison des moyennes du facteur « dose » pour le paramètre « le nombre moyenne des racines ».

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
4	0,088	A		
3	0,124	A		
2	0,819		B	
1	11,411			C

**Tableau 15 : Test SNK de la comparaison des moyennes de l'interaction « variété x dose»
Pour le paramètre « le nombre moyen des racines » obtenus pour chacune des quatre
concentrations de l'acétate du plomb.**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes						
1*4	0,045	A						
2*3	0,078	A						
2*4	0,082	A						
4*4	0,085	A						
3*3	0,092	A						
1*3	0,098	A						
3*4	0,141	A						
4*3	0,226	A	B					
1*2	0,518	A	B					
4*2	0,692	A	B					
2*2	0,751		B					
3*2	1,313			C				
4*1	7,286				D			
1*1	8,493					E		
3*1	14,693						F	
2*1	15,171							G

**Tableau 16 : Test SNK de la comparaison des moyennes du facteur « variété » pour le paramètre « la longueur moyenne des racines » obtenus
pour chacune des quatre concentrations de l'acétate du plomb.**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
4	2,608	A		
1	3,840		B	
3	4,123			C
2	4,267			C

**Tableau 17 : Test SNK de la comparaison des moyennes du facteur « temps » pour le
paramètre « la longueur moyenne des racines » obtenus pour chacune des quatre
concentrations de l'acétate du plomb.**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes			
0	3,196	A			
1	3,538		B		
2	3,888			C	
3	4,217				D

Tableau 18 : Test SNK de la comparaison des moyennes du facteur « dose » pour le paramètre « la longueur moyenne des racines ».

Modalité	Moyenne estimée	Groupes			
4	1,335	A			
3	2,077		B		
2	4,975			C	
1	6,450				D

Tableau 19 : Test SNK de la comparaison des moyennes de l'interaction « variété x dose » pour le paramètre « la longueur moyenne de racine » obtenus pour chacune des quatre concentrations de l'acétate du plomb.

Modalité	Moyenne estimée	Groupes						
1*4	0,933	A						
4*4	0,992	A						
3*3	1,408	A	B					
3*4	1,433	A	B					
4*3	1,842		B					
2*4	1,983		B					
2*3	2,133		B					
1*3	2,925			C				
4*2	3,167			C				
4*1	4,433				D			
1*2	5,442					E		
3*2	5,600					E		
2*2	5,692					E		
1*1	6,058					E		
2*1	7,258						F	
3*1	8,050							G