



كلية العلوم الدقيقة والعلوم الطبيعية والبيئة
FACULTE DES SCIENCES EXACTES
ET DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Larbi Tébessi -Tébessa

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

Département des Etres Vivants

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

Biotechnologie

Option : Biotechnologie Végétale

Thème :

***Etude de l'effet du plomb sur quelques
paramètres biochimiques chez les céréales***

paramètres biochimiques chez les céréales

Présenté Par: MESSAOUD Nadia

AKROUT Khaoula

Soutenu le 24 /06 /2019, devant le jury composé de :

Président Dr .DEKAK Ahmed

M.C.B Université de Tébessa

Rapporteur Dr. SOUABI Hana

M.C.A Université de Tébessa

Examinatrice Dr .BOUDJABI Sonia

M.C.A Université de Tébessa

Année universitaire: 2018/2019

Remerciements

Nous tenons en premier à remercier Dieu le tout Puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, l'amour du savoir et surtout la patience pour pouvoir produire ce modeste travail.

Nous présentons tous nos remerciements à notre promotrice Mme

SOUAHI Hana

D'avoir accepté de nous encadrer, pour tout son aide, sa disponibilité, son suivie et sa confiance.

*Nous voudrions à remercier le président du jury Mr **DEKAK Ahmed** et*

L'examinatrice Mme

BOUDJABI Sonia

Nous ne manquerons pas de remercier tous les enseignants du département des êtres vivant de la faculté des sciences exacte et science de la nature et de la vie de Tébessa, de nous avoir partagé son savoir et son expérience.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à nos familles ; nos parents,

Nos sœurs, nos frères et tous nos amis,

Aussi à Toute l'équipe des laboratoires de la Faculté

Egalement, nous remercions tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la confection de ce mémoire.



ملخص

كمورد للموارد الغذائية، نجد الحبوب التي هي ضرورية للإنسان والحيوان ومع ذلك يعد التلوث بالمعادن الثقيلة احد العوامل الرئيسية التي تحد من إنتاج المحاصيل والتي تشمل تهديدات متنوعة من العوامل اللاحيوية، مثل العوامل الفيزيائية للتربة والظروف المناخية، وكذلك العوامل البيولوجية. ومنه قمنا بهذه الدراسة والتي هدفها تقييم تأثير الرصاص على أربعة أنواع (القمح الصلب، القمح اللين، الشعير، الشوفان) ،حيث قمنا بمعالجتها بتراكيز مختلفة من اسيتات الرصاص (0، 0.15، 0.3، 0.6 غ/التر) وفقا لمعايير نمو النبات، لتحديد الإجهاد المعدني لكل نوع من خلال قياس الخصائص الكيميائية الحيوية (الكلوروفيل أ، كلوروفيل ب، الكلوروفيل الكلي، الكاروتين، بروتينات والسكريات) .

أظهرت النتائج حساسية ملحوظة عند كل من القمح الصلب، القمح اللين والشعير خاصة في التراكيز (0.3، 0.6 غ/التر) ، حيث لوحظ انخفاض كبير في محتوى الكلوروفيل بأنواعه، السكريات المنحلة وزيادة في البروتينات الكلية على مستوى الأوراق والساق، كما لوحظ إجهاد تأكسد كبير على مستوى الجذر، بالنسبة لمحتوى البروتين الكلي لهذه النباتات المدروسة أما بالنسبة لشوفان فقد كانت النتائج عكسية للمعايير، حيث أنه الكلوروفيل بأصنافه كان في ارتفاع مستمر خاصة في التركيز(0.6 غ/التر) ، كذلك بالمثل للبروتينات والسكريات ،وعليه نستنتج أن النباتات الثلاثة الأولى هي أكثر المحاصيل حساسية لهذا الإجهاد ولكن الشوفان كان مقاوم له.

الكلمات المفتاحية: الحبوب، المعادن الثقيلة، المقاومة، الإجهاد اللاحيوي،العوامل الحيوية الكيميائية.

Abstract

As food resource, cereals are crucial for humans and animals. However, contamination by heavy metals is one of the key-factors limiting crop yield that include various threats by biotic factors such soil physicochemical factors and climatic conditions, as well as biotic factors, especially insect pests. This study aims at evaluating the impact of lead acetate on four cereal species (durum wheat, bread wheat, barley and oat). The effects of different lead acetate concentrations (0, 0.15, 0.3 and 0.6 g/l) was assessed on plant growth parameters to determine the metallic stress that was revealed for each species by measuring six biochemical parameters (chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, total chlorophyll, carotenoids, total proteins, soluble sugars). Our findings indicated that the metal stress induced significant decreases in chlorophyll contents (chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, total chlorophyll, and carotenoids). The genotypes studied were sensitive to this stress, especially at high lead acetate concentrations (0.6g/l) where a very highly significant and highly significant decrease of measured parameters was observed in durum wheat and barley, respectively. Plants of durum wheat and barley treated with 0.6g/l of lead acetate experienced a significant increase in total protein contents. Lead induced a substantial oxidative stress at the level of leaf, stem and root. This was demonstrated trough the significant decrease in concentrations of soluble sugars in durum wheat, bread wheat and barley when lead acetate was applied at high levels (0.6 and then 0.3g/l). The varying responses in defense system of the four cereal species to the toxic effects of heavy metals lead us to conclude that durum wheat, bread wheat and barley are the most sensitive cereal crops to the presence of lead in soil against oats that are lead stress resistant.

Key words: cereals, metallic stress, heavy metals, plant growth, biochemical parameters.

Résumé

En tant que ressource alimentaire, les céréales sont cruciales pour l'homme et les animaux. Cependant, la contamination par les métaux lourds est l'un des facteurs clés limitant le rendement des céréalicultures, qui incluent diverses menaces liées à des facteurs abiotiques tels que les facteurs physico-chimiques du sol et les conditions climatiques, ainsi que des facteurs biotiques, en particulier les insectes ravageurs. Cette étude vise à évaluer l'impact de l'acétate de plomb sur quatre espèces de céréales (blé dur, blé tendre, orge et avoine). Les effets de différentes concentrations d'acétate de plomb (0 ; 0,15 ; 0,3 et 0,6 g/l) ont été évalués sur les paramètres de croissance des plantes afin de déterminer le stress métallique révélé pour chaque espèce en mesurant six paramètres biochimiques (chlorophylle *a*, chlorophylle *b*, chlorophylle totale, caroténoïdes, protéines totales, sucres solubles). Nos résultats ont indiqué que le stress métallique entraînait une diminution significative des teneurs chlorophylliennes (chlorophylle *a*, chlorophylle *b*, chlorophylle totale et caroténoïdes). Les génotypes étudiés étaient sensibles à ce stress, en particulier aux fortes concentrations d'acétate de plomb (0,6g/l), où une diminution très hautement significative et hautement significative des paramètres mesurés a été observée chez le blé dur et l'orge, respectivement. Les plantes de blé dur et d'orge traitées avec 0,6 g/l d'acétate de plomb ont enregistré une augmentation significative de la teneur en protéines totales. Le plomb a induit un stress oxydatif important au niveau de la feuille, de la tige et de la racine. Cela a été démontré par la diminution significative observées dans les concentrations de sucres solubles dans le blé dur, le blé tendre et l'orge lorsque de l'acétate de plomb a été appliquée à des concentrations élevées (0,6 puis 0,3g/l). Les réponses variables du système de défense des quatre espèces de céréales aux effets toxiques des métaux lourds nous amènent à conclure que le blé dur, le blé tendre et l'orge sont les cultures céréalières les plus sensibles à la présence de plomb dans le sol ; contre l'avoine qui est résistante au stress dû au plomb.

Mots clés : céréales, stress métallique, métaux lourds, croissance des plantes, paramètres biochimiques.

Liste des figures

Figure	Titre	Page
01	Devenir des polluants inorganiques en fonction de la méthode de phytoremédiation utilisée.	08
02	Dispositif expérimental.	13
03	Effets des différentes concentrations en Pb (CH ₃ COO) ₂ sur la teneur en chlorophylle a des quatre variétés des céréales.	17
04	Effets de la différente concentration en Pb (CH ₃ COO) ₂ sur la teneur en chlorophylle b des quatre variétés des céréales.	18
05	Effets des différentes concentrations en Pb (CH ₃ COO) ₂ sur la teneur en chlorophylle totale des quatre variétés des céréales.	20
06	Effets des différentes concentrations en Pb (CH ₃ COO) ₂ sur la teneur en caroténoïde des quatre variétés des céréales.	21
07	Effets des différentes concentration en Pb (CH ₃ COO) ₂ sur la teneur en protéines au niveau des feuilles des quatre variétés des céréales.	22
08	Effets des différentes concentrations en Pb (CH ₃ COO) ₂ sur la teneur en protéines au niveau des tiges des quatre variétés des céréales.	24
09	Effets des différentes concentrations en Pb (CH ₃ COO) ₂ sur la teneur en protéines au niveau des racines des quatre variétés des céréales.	25
10	Effets des différentes concentrations en Pb (CH ₃ COO) ₂ sur la teneur en sucres solubles au niveau des feuilles des quatre variétés des céréales.	26
11	Effets des différentes concentrations en Pb (CH ₃ COO) ₂ sur la teneur en sucres solubles au niveau des tiges des quatre variétés des céréales.	28
12	Effets des différentes concentrations en Pb (CH ₃ COO) ₂ sur la teneur en sucres solubles au niveau des racines des quatre variétés des céréales.	30
13	Analyse en composante principale de la bioconcentration des éléments biochimiques au niveau des parties aérienne et souterraine de céréales étudiés.	30
14	Les interactions possibles avec le plomb dans la photosynthèse.	32

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
01	Description des principales variétés de céréales étudiée.	10
02	Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle a (chl a) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	16
03	Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle b (chl b) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	18
04	Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle totale (chl t) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	19
05	Analyse de la variance de la teneur en caroténoïde des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	20
06	Analyse de la variance de la teneur en protéines au niveau des feuilles des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	22
07	Analyse de la variance de la teneur en protéines au niveau des tiges des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	23
08	Analyse de la variance de la teneur en protéines au niveau des racines des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	24
09	Analyse de la variance de la teneur en sucres solubles au niveau des feuilles des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	26
10	Analyse de la variance de la teneur en sucres solubles au niveau des tiges des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	27
11	Analyse de la variance de la teneur en sucres solubles au niveau des racines des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.	29

Liste des abréviations

ALAD : Acide aminolévulinique déshydratase.

APX: Ascorbate peroxydase.

As : Arsenic.

BBC : Bleu Brillant de Coomassie.

BD : Blé dur.

BSA : Sérum d'albumine bovine.

BT : Blé tendre.

CAT: Catalase.

Cd : Cadmium.

Chl : Chlorophylle.

Chl a : Chlorophylle a.

Chl b : Chlorophylle b.

Chl t : Chlorophylle totale.

Cr : Chrome.

Cu : Cuivre.

D : Dose.

D.S.A : Direction des Services Agricole.

ERO : Espèces oxygénées réactives.

ET : Eléments Traces.

ETM : Eléments en traces métalliques.

FAO : Organisation des Nations pour l'alimentation et l'agriculture (Food and Agriculture Organization).

HD : Hiddab.

Hg : Mercure.

ITGC : Institut technique des grandes cultures.

LEA: Late Embryogenesis Abundant.

MDA: Malondialdéhyde.

MF : Matière fraîche.

NADP : Nicotinamide Adénine Di nucléotide Phosphate

Ni : Nickel.

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales.

ORG : orge.

Pb (CH₃COO)₂ : acétate de plomb.

Pb: Plomb.

Pb (CH₂CH₃)₄ **4**: Plomb tétra éthyle.

Pb(CH₃)₄ : Plomb tétra méthyle.

PH : Potentiel hydrogène.

PMG : Poids de mille grains.

PS.I : Photosystème I.

PS.II : Photosystème II.

SAU : Superficie Agricole utile.

Se : Sélénium.

V : variétés.

Zn : zinc.

Table des matières

Remerciements

ملخص

Abstract

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Table des matières

I. Introduction générale	1
1. Contexte générale.....	1
2. Objectifs de l'étude.....	09
II. Matériel et méthodes	10
1. Matériel végétal.....	10
2. Protocole expérimental adopté.....	12
2.1. Condition de culture des graines.....	12
2.2. Essai de la croissance.....	12
3. Méthodes et mesures effectuées.....	13
3.1. Extraction et dosage des pigments assimilateurs.....	13
3.2. Dosage des protéines totaux.....	14
3.3. Dosage des sucres solubles.....	14
4. Traitement de données et analyse statistique.....	15
III. Résultats et Discussion	16
1. Résultats.....	16
1.1. Impact du plomb sur la teneur en pigments chlorophylliens foliaires	16
a. Au niveau de la teneur en chlorophylle <i>a</i>	16
b. Au niveau de la teneur en chlorophylle <i>b</i>	17
c. Au niveau de la teneur en chlorophylle totale	19
d. Au niveau de la teneur en caroténoïdes.....	20
1.2. Impact du plomb sur la teneur en protéines totaux.....	21

<i>a.</i> Au niveau des feuilles.....	21
<i>b.</i> Au niveau des tiges.....	23
<i>c.</i> Au niveau des racines.....	24
1.3. Impact du plomb sur la teneur en sucres solubles	26
<i>a.</i> Au niveau des feuilles.....	26
<i>b.</i> Au niveau des tiges.....	27
<i>c.</i> Au niveau des racines.....	28
1.4. Interprétation de l'accumulation des éléments biochimiques dans les céréales étudiés.....	29
2. Discussion.....	30
Conclusion générale.....	35
Références bibliographiques.....	36
Annexe.....	45

I. Introduction générale

1. Contexte générale

Depuis toujours, les céréales constituent une part importante des ressources alimentaires de l'homme et de l'animal. De plus la majeure partie de l'alimentation est fournie par les aliments engrain, dont 96% sont produit par les cultures céréalières tels que le blé, l'orge, le seigle, le riz, le maïs et le triticales (**Cherfia, 2010**).

Les céréales sont des espèces généralement cultivées pour leur grain, dont l'albumen amylicé, réduit en farine, est consommable par l'homme ou par les animaux domestiques (**Nedjah, 2015**).

Le terme « céréale » désigne spécifiquement les grains de ces plantes. Elles regroupent des plantes de la famille des *Poacées* (ou *Graminées*). Certaines graines d'autres familles botaniques sont parfois communément appelées céréales, telles que le sarrasin (*Polygonacées*), le quinoa et l'amarante (*Chénopodiacées*) ou le sésame (*Pédaliacées*). Toutefois, n'étant pas des *Poacées*, ces dernières ne sont pas des céréales au sens strict, et on leur donne souvent le nom de pseudo-céréales (**Belaid, 1986**).

En Algérie Les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Durant les deux périodes 2000-2009 et 2010-2017 la superficie des céréales occupe en moyenne annuelle 40% de la superficie Agricole utile (SAU).

La superficie en semencées en céréale durant la décennie 2000-2009 est évaluée à 3200 930 ha des quelles, le blé dur et l'orge occupent la majeure partie de cette superficie avec 74% du sol céréalière totale. Durant la période 2010-2017 cette superficie a atteint en moyenne 3385 560 ha en évolution de 6% par rapport à la période précédent, 2000-2009, la production réalisée des céréales au cours de la période 2010-2017 est estimé à 41,2Millions de quintaux en moyenne à 32,6Millions de quintaux. La production est constituée essentiellement du blé dur et de l'orge, qui représentent respectivement 51% et 29% de l'ensemble de la production de céréales en moyenne 2010-2017 (**FAO, 2017**).

Les céréales dans la wilaya de Tébessa occupent une superficie emblavées totale de 190000 d' ha avec une production obtenue totale de 625700 q et un rendement totale de 10.4 q/ha.et aussi une superficie récoltée totale 60000 ha dans l'année 2017/2018 (**D.S.A. de Tébessa, 2018**).

Parmi ces céréales :

Le blé est une plante herbacée monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Gramineae*. Les deux espèces dominantes sont le blé tendre « *Triticum aestivum* » et le blé dur« *Triticum durum*». Ce fruit sec est constitué d'une graine unique intimement soudée à l'enveloppe du fruit qui la contient .Sur l'épi, le grain est entouré d'enveloppes qui

n'adhèrent pas à la graine et qui sont éliminées au moment du battage (**Surget et Barron, 2005**).

Le blé dur (*Triticum durum*) est une espèce allo tétraploïde ($2n = 4x = 28$) possédant sept paires de chromosomes homologues associées à deux génomes différents A et B. Le génome A vient du blé sauvage *Triticum urartutum* plus connu sous le nom *einkorn* (*Triticum monococcum*) de constitution génomique diploïde AA. Par contre le génome B vient de l'espèce sauvage, diploïde elle aussi, *Aegilops speltoides Tausch* (**Schuhwerk, 2011**).

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

L'orge (*Hordeum vulgare*) est une monocotylédone, appartenant à la famille des *Poaceae*. Sa classification est basée sur la fertilité des épillets latéraux, la densité de l'épi et la présence ou l'absence des barbes de constitution génomique diploïde ($2n=14$), est une espèce dont les origines remontent à celles de l'agriculture elle-même (**Rasmusson, 1992**). L'orge est issue des formes sauvages de l'espèce *Hordeum spontaneum* que l'on trouve encore aujourd'hui au Moyen Orient. L'orge est l'une des céréales les plus importantes du monde. Elle est l'une des premières cultures domestiquées et a été utilisée pendant des siècles pour l'alimentation humaine (**Badr, 2000**). Leur système racinaire est fascicule bien que moins puissant que les autres céréales. Une caractéristique essentielle de cette espèce est son extraordinaire adaptation à des conditions extrême (**Bellebcir, 2008**). L'orge est une espèce très adaptée aux systèmes de cultures pratiqués en zones sèches. Cette adaptation est liée à un cycle de développement plus court et à une meilleure vitesse de croissance en début du cycle. La culture de l'orge s'insère bien dans les milieux caractérisés par une grande variabilité climatique où elle constitue avec l'élevage ovin l'essentiel de l'activité agricole (**Bouzerzour, 1998**).

L'avoine (*Avena sativa. L*) est une céréale des zones modérées, disparaît de plus en plus des terres Arables. C'est une plante rustique, cultivée dans les régions tempérée principalement comme fourrage vert (parties aériennes et paille), mais aussi pour son grain (en alimentation

humaine ou animale) (**Boumellal et Amrouche, 2017**). C'est une graminée (famille des *Poaceae*) annuelle, résistante au gel, adaptée à de nombreux types de sols, en particulier aux sols acides, elle possède un très bon contrôle des adventices par effets allélopathiques et couverture du sol, la culture de l'avoine assure une forte production de biomasse (jusqu'à plus de 10 t/ha) avec une forte fixation de carbone et bonne restructuration du sol, en particulier sur les horizons de surface, elle est considéré comme un excellent fourrage grâce à sa qualité nutritive élevée, elle peut être utilisé en vert ou après séchage (foin) (**Husson et al., 2012**). Deux autres espèces, *A. byzantina* (avoine rouge) et *A. nuda* sont mentionnées dans la littérature comme ayant été cultivées dans les premiers temps en Méditerranée orientale. Ces espèces possèdent des panicules peu denses et les caryopses ont tendance à se détacher à leur maturité. Ces taxons sont maintenant considérés comme faisant partie d'*Avena sativa* étant donné qu'ils partagent le même génome. Leur grande similarité génétique avec *A. sativane* justifie pas de leur donner un statut spécifique (**Sirodot, 2016**).

L'Algérie achète annuellement plus de 5% de la production céréalière mondiale, cette situation risque de se prolonger à plusieurs années, faute de rendements insuffisants et des besoins de consommation sans cesse croissants devant une forte évolution démographique (**Chellali, 2007**). Cette faiblesse de la production de blé en Algérie était souvent liée à des conditions environnementales défavorables qu'on peut dénommer « stress » (**Chaise et al., 2005**). Le stress est défini comme étant une force ou influence hostile qui tend empêcher un système normal de fonctionner (**Jones et al., 1989**). Selon **Dutuit et al., (1994)** le stress est un ensemble de conditions qui provoquent des changements de processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement. Plus tard, pour **Hopkins (2003)**, le stress est toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par contre, **Marouf et Reynaud (2007)** rapportent que le stress est l'ensemble des perturbations physiologiques ou pathologiques provoqués dans un organisme par des agents biotique ou abiotiques.

Toutefois, la céréaliculture est menacée par divers facteurs abiotiques, c'est à dire l'ensemble des facteurs physico-chimiques agissant sur la biocénose, et des facteurs biotiques plus particulièrement les insectes ravageurs capables également de transmettre des agents phytopathogènes (**Bouallégué, 2017**).

A l'heure actuelle et à l'échelle mondiale, on assiste à une intensification des activités industrielles et agricoles ainsi qu'à une augmentation rapide de la population (**Gold, 2002**), qui sont à l'origine d'une contamination de notre environnement par les métaux lourds et les polluants organiques (**Vavasseur et al., 2003**). Ces substances ont des répercussions néfastes sur l'environnement, mais aussi sur la santé humaine. Dans certains écosystèmes, ces produits

chimiques peuvent être à l'origine de la disparition de certaines espèces animales et/ou végétales et par conséquent, entraînent le dysfonctionnement de la chaîne trophique (faible biodiversité) (**Gold, 2002**).

Les principaux métaux lourds émis dans l'atmosphère par les activités humaines sont le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le chrome (Cr), le sélénium (Se), l'arsenic (As), le mercure (Hg) et le cadmium (Cd). Le mercure, le plomb et le cadmium font l'objet d'une attention particulière, car ils sont très toxiques (effets sur le système nerveux) et ont une durée de vie très longue (**Fabrégat, 2010**).

La pollution par Le plomb peut se trouver dans différents milieux naturels (air, eau, sols) mais également dans l'eau de consommation, dans certains éléments de l'habitat et dans l'alimentation (**Boukrah, 2008**). Cependant, dans certaines régions durement touchées par la pollution, les aliments cultivés sur place renferment parfois de grandes quantités de contaminants toxiques (**Bellows, 1999**), ils peuvent donc représenter un danger grave pour l'alimentation humaine puisque certains métaux lourds, tels que le plomb, le cadmium et le mercure, ont été reconnus comme étant potentiellement toxiques au-delà de valeurs limites spécifiques (**Becker et Kumplainen, 1991**).

Lock (2000), considère que ces effets chroniques sur la santé pouvant résulter de la consommation de très faibles quantités de métaux lourds pendant de longues périodes. L'ingestion de métaux lourds est potentiellement pathogène pour l'homme (**Berland et Lassus, 1997**). Les maladies chroniques ont été associées aux résidus se trouvant dans les aliments du fait de la concentration en substances agrochimiques de la chaîne alimentaire, et plus particulièrement dans les légumes, la viande rouge, la volaille et les œufs. Des résidus peuvent être présents également dans le lait humain (**Iretskaya et Chien, 1999**).

Pour être incorporés par les organismes vivants, végétaux ou animaux, les métaux lourds doivent traverser les membranes cellulaires, ainsi que la barrière intestinale dans le cas des animaux. C'est sous forme d'ions ou de composés métalliques que les transferts ont lieu. Parce que la solubilité des métaux dépend du pH, leur incorporation par les organismes augmente avec l'acidité du milieu (**Blaize, 1997**), ces composés métalliques s'accumulent dans les cellules, où ils s'avèrent toxiques à terme (**Berland et Lassus, 1997**), ces polluants majeurs de l'environnement sont considérés d'être cytotoxiques (**Hadjiliadis, 1997**), carcinogènes et mutagène (**Iretskaya et Chien, 1999**). Il a également été prouvé, par de nombreuses recherches et expériences, que les métaux lourds peuvent contribuer à des pathologies immunologiques telles que la sclérose en plaques ou d'autres défauts du système immunitaire (inflammations chroniques, effets immunosuppresseurs et allergies). Ils ont aussi tendance à perturber les systèmes reproducteurs et endocriniens (comprenant tous les organes/glandes possédant une

fonction de sécrétion d'hormones). Des effets neurotoxiques surviennent directement quand les métaux lourds franchissent la barrière encéphalique, provoquant des atteintes du système nerveux central telles que les maladies de Parkinson et d'Alzheimer et chez le fœtus, un dérèglement du développement cérébral (**Kyung-Min Lim et al., 2010**).

Le plomb peut causer des effets graves sur la sensation des métaux. L'accumulation du plomb peut réduire la concentration de chlorophylle, le fer, l'activité de la réaction de Hill, l'activité des catalases, tandis que augmente la concentration des produits phosphorés, l'activité des peroxydases, la phosphatase acide et les ribonucléases dans les feuilles du radis (**Gopal et Reizvi, 2008**). Un sommaire des changements physiologiques dans la réponse au Pb sont présentés selon **Sharma et Dubey (2005)** :

- Absorption des nutriments : Altération dans l'absorption des cations (K^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+}) et des anions (NO_3^-)
- Régimes de l'eau : Diminution dans les composés maintenant la turgescence et la paroi cellulaire, le volume de cellules de garde, l'ouverture des stomates, le niveau de l'acide abscissique et la surface des feuilles.
- La photosynthèse des chloroplastes :
 - Altération de la composition des lipides des membranes des thylakoïdes.
 - Diminution dans la synthèse de chlorophylle, plastoquinone, caroténoïdes, activité de l'NADP oxydoréductase, le transport des électrons et l'activité des enzymes de cycle de Calvin.
- Irrégularités des mitotiques nucléaire : Augmentation dans les formes irrégulières, décomposition du matériel nucléaire, propriété collante des chromosomes, les ponts d'anaphase, c- mitose et la formation des micronucléus.
- La respiration des mitochondries : Diminution dans le transport des électrons, des protons et l'activité enzymatique du cycle de Krebs.

L'action du plomb sur la concentration totale en protéine n'est pas claire, bien que de fortes concentrations puissent diminuer le pool protéique (**Saxena et al., 2003; Mishra et al., 2006**).

Les plantes peuvent absorber le plomb présent dans le sol par l'intermédiaire de leurs racines. Une partie de ce métal, présent dans les retombées atmosphériques ou dans les amendements agricoles (impuretés), peut également être absorbée par leurs feuilles. Cependant, en dehors de zones proches d'installations générant la production de grandes quantités de plomb dans l'atmosphère, la plus grande partie du plomb absorbée par les plantes est par l'absorption racinaire (**Pourrut, 2008**).

Selon **Di Benedetto (1997)**, les effets biologiques, physiques et chimiques de ces particules sont fonction de leur taille, leur concentration et de leur composition, le paramètre le plus effectif sur l'environnement étant leur taille. En outre, dans l'air ambiant, on trouve de nombreux éléments tels le plomb, le cadmium, le zinc, le cuivre dont la concentration est d'autant plus élevée que les particules sont fines. Le cuivre est rejeté dans l'atmosphère sous forme particulaire d'oxyde, de sulfate ou de carbonate ou adsorbé à de la matière particulaire (**Dameron et Howe, 1998**). La vitesse et la distance de redéposition dépendent des caractéristiques de la source, de la taille des particules et de la vitesse du vent.

Les risques écotoxicologiques de la contamination par les métaux dans les sols, les ruisseaux et les eaux souterraines sont un grand problème de l'environnement et la santé humaine (**Martin, 1998**). Recourir à des techniques industrielles peut être utilisé efficacement pour nettoyer des sols contaminés mais la plupart de ces techniques exigent une technologie performante et sont par conséquent seulement chères et convenables pour des petites régions polluées (**Moffat, 1995**). Ces dernières années, le développement de techniques efficaces pour décontaminer les sites pollués est devenu indispensable. L'une d'elle, la phytoremédiation, exploite les propriétés de certaines plantes à accumuler de grandes quantités de métaux lourds (**Prabha et al., 2007**).

La phytoremédiation est une technique de réhabilitation environnementale qui utilise les capacités des plantes pour éliminer, contenir, ou rendre moins toxiques les polluants. L'idée d'utiliser les plantes pour la réhabilitation environnementale est ancienne, puisqu'il y a 300 ans les hommes utilisaient déjà les plantes pour le traitement de l'eau. Cependant, ce n'est que récemment que l'utilisation des plantes pour la réhabilitation des sols a pris son essor (**Baker et Brooks, 1989 ; Salt et al., 1995**). La plante est en effet un système biologique de pompage et de filtration, actionné par le soleil, qui a des capacités inhérentes de chargement, dégradation et engorgement. Les racines peuvent trouver, altérer et « transloquer » ou déplacer des éléments et des composés contre des gradients chimiques importants. Les surfaces des racines supportent des bio-films bactériens actifs et des extensions fongiques qui augmentent significativement la surface de contact avec le sol et les capacités métaboliques de la plante. Au cours de l'évolution, les plantes ont développé des mécanismes pour s'adapter et se multiplier dans des conditions hostiles (**Kirpichtchikova, 2009**).

Les plantes peuvent agir de façon directe en absorbant le polluant ou de façon indirecte en activant sa dégradation dans la rhizosphère. Cette technologie émergente et prometteuse peut être appliquée aux métaux, aux hydrocarbures, aux pesticides, aux composés nitro aromatiques et aux solvants chlorés (**Susarla et al., 2002**).

Certaines plantes ont adopté des mécanismes racinaires qui permettent d'immobiliser les métaux au niveau des racines et de diminuer leur transfert vers les feuilles où les métaux seraient toxiques. D'autres plantes ont développé des mécanismes complexes pour tolérer, absorber et accumuler dans leurs tissus des quantités significatives de métaux. Les techniques de phytoremédiation apparaissent alors comme des méthodes alternatives ou des méthodes complémentaires aux méthodes conventionnelles, moins coûteuses, plus extensives et plus respectueuses de l'environnement. **(Kirpichtchikova, 2009)**.

Il existe plusieurs techniques de phytoremédiation **(Bert et Deram, 1999 ; Mulligan et al., 2001)**. Parmi celles-ci, celles qui s'appliquent le plus souvent aux sols sont **(Figure 01)**:

La phytoextraction: elle utilise des plantes capables de prélever les éléments traces toxiques et de les accumuler dans les parties aériennes qui seront ensuite récoltées puis incinérées **(Jemal et Ghorbal, 2002)**. Les espèces végétales concernées absorbent, concentrent et stockent les métaux toxiques du sol contaminé dans leurs organes aériens **(Gisbert et al., 2003)**, celle-ci nécessite une répétition de cycles de culture avec récolte de la biomasse à la fin de chaque cycle de manière à ne présenter aucun risque de contamination pour l'environnement **(Blaylock et Huang, 2000)**.

La Phytostabilisation : elle utilise un couvert végétal pour empêcher la dispersion des contaminants dans les eaux souterraines et l'habitat humain, donc pour les rendre peu mobiles dans les écosystèmes **(Krämer, 2005 ; Pilon-Smits, 2005)**. Certaines plantes immobilisent les contaminants par précipitation dans le sol par les exsudats racinaires ou par accumulation dans les racines **(Do Nascimento et Xing, 2006 ; Zheng et al., 2011)**.

La phytodégradation : est une méthode de décontamination des sols, consistant en la dégradation des polluants par les plantes cultivées. Les plantes peuvent croître sur un sol contaminé jusqu'à un certain seuil par des hydrocarbures **(Chaineau, 1995)**. Elle emploie des plantes en association avec des microorganismes pour dépolluer les polluants organiques du sol **(Vavasseur et al., 2003)**.

La rhizofiltration : est l'utilisation des racines des plantes pour extraire les contaminants des eaux. Elle est basée sur la capacité des systèmes racinaires de certains végétaux à prélever et/ou dégrader les polluants dans un milieu liquide. Cette méthode s'applique dans les zones humides, construites ou naturelles, et pour des plantes dont les racines supportent la vie en milieu aquatique et anaérobie **(Chaney et al., 1997 ; Wong, 2003 ; Remon, 2006)**.

La phytovolatilisation: cette technique utilise les plantes pour extraire les métaux lourds puis les éliminer par évapotranspiration via les stomates des feuilles ou les tiges. Parmi les métaux lourds, seuls le mercure et le sélénium sont adaptés à cette technique. La possibilité

d'y inclure l'arsenic n'est pas à écarter. Une fois volatilisé, les polluants se dispersent dans l'atmosphère à des concentrations qui, normalement, ne représentent plus un danger pour l'homme. La phytovolatilisation présente également l'avantage de ne pas nécessiter de récolter de la biomasse puisque les contaminants sont dispersés dans l'atmosphère (Bert et Deram, 1999 ; Dechamp et Meerts, 2003 ; Pilon-Smits, 2005).

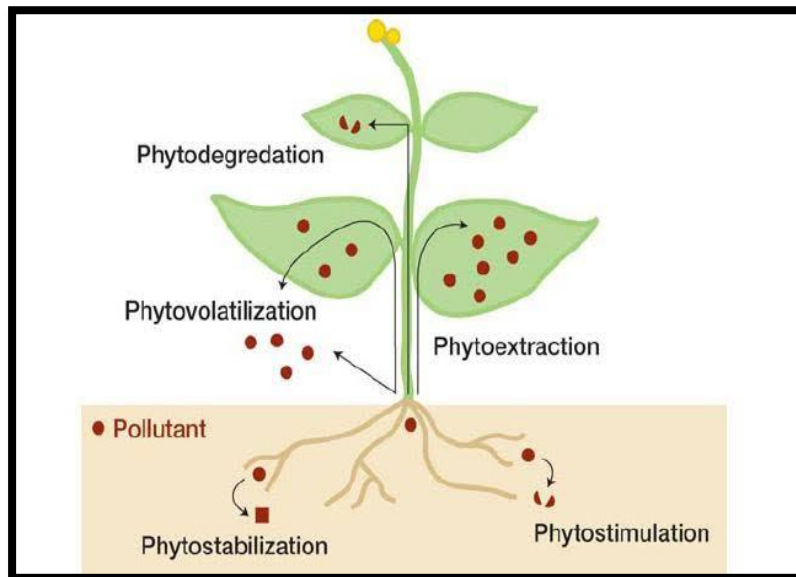


Figure 01 : Devenir des polluants inorganiques en fonction de la méthode de phytoremédiation utilisée (Pilon-Smits, 2005).

2. Objectifs de l'étude

En Algérie les cultures céréalières (tels que le blé, le riz, le maïs, le seigle, l'orge, l'avoine, le millet, sorgho et triticale) représentent la principale spéculation et englobe des activités de production et des activités de transformations en semoulerie en boulangerie dans l'industrie agro-alimentaire. Elles constituent également la base de l'alimentation et occupent une place privilégiée dans les habitudes alimentaires des populations aussi bien dans les milieux ruraux qu'urbains, La production céréalière nationale liée à un certain nombre de facteurs tant abiotique (irrégularité dans la précipitation pluviale, techniques agricole, etc.) que biotique (potentiel génétique, maladies et ravageurs). La contamination les plus répandus dans l'environnement, il est persistant et s'accumule dans le sol par les métaux lourds figure parmi les contraintes que subit la céréaliculture. Ces métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le cuivre, le zinc, et le mercure ne peuvent pas être biodégradés et donc persistent dans l'environnement pendant de longues périodes. De plus ils sont continuellement rajoutés dans les sols par diverses activités : en agriculture par l'application de boues d'épuration ou dans l'industrie métallurgique. La circulation croissante des métaux toxiques à travers les sols, l'eau et l'atmosphère, et leur passage inévitable dans la chaîne alimentaire humaine, constituent un problème qui entraîne des risques de santé pour les générations futures, et comme les organismes peuvent ou non s'adapter, résister et donc répondre différemment à la présence de ces contaminants sur tout que, l'effet potentiel des métaux sur les organismes vivants peut être à l'état de traces.

Dans ce contexte, la base de notre étude est d'évaluer l'impact d'acétate de plomb sur quatre variétés des céréales (blé dur, blé tendre, orge et l'avoine). En suivant le développement de ses graine à un stress métallique, à travers une majorité des paramètres biochimique tel que (le chlorophylle a, le chlorophylle b, le chlorophylle total, les caroténoïdes, les protéines et les sucre solubles), afin d'élucider l'action de différentes concentrations du plomb sur les quatre variétés étudiées.

II. Matériel et méthodes

1. Matériel végétal

Le présent travail a été réalisé au niveau du Laboratoire de Biologie Végétale, département Biologie des Etres Vivants, université Larbi Tébessi (Tébessa). Quatre variétés des céréales ont été utilisées pour les besoins de cette étude : blé dur (*Triticum durum*) ; blé tendre (*Triticum aestivum*) ; orge (*Hordeum vulgare*) et L'avoine (*Avena sativa.L*). Elles proviennent de d'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (OAIC) de Tébessa. Ces principales caractéristiques sont mentionnées dans le tableau 01.

Tableau 01 : Description des principales variétés de céréales étudiées (ITGC, 2018).

Espèce	Variété	Origine	Caractéristiques Agronomiques :
Blé dur <i>Triticum durum</i>	WAHA “S”	Syrie	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rendement : Elevé Caractéristiques technologiques : <ul style="list-style-type: none"> ➤ PMG : Elevé ➤ Teneur en protéines : 13.95% ➤ Qualité semoulière : très bonne ➤ Mitadinage : sensible Résistances aux maladies : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Oïdium feuille : Résistante ➤ Oïdium Epi : Résistante ➤ Rouille brune : Très sensible ➤ Septoriose : Moyennement sensible Type de développement : Hiver <ul style="list-style-type: none"> ➤ Graine : Forme Demi Allongée ➤ Epi : Compacité Moyenne ➤ Epi Forme en vue de profil : pyramidale ➤ Epi : Couleur (à maturité) faiblement coloré ➤ Barbes : Couleur noire ➤ Barbes pigmentation anthocyanique : Nulle à très faible ➤ Glume inférieur : Forme (Epillet au tiers moyen de l'épi) Allongée ➤ Plante hauteur (tige, épi et barbe) : Court ➤ Tige : pilosité du dernier nœud Nulle à très faible ➤ Coléoptiles pigmentation anthocyanique : Nulle à très faible ➤ Première feuille pigmentation anthocyanique : Nulle à très faible ➤ Plante port au tallage : Mi-dressé Mi-étalé

<p align="center">Blé tendre <i>Triticum aestivum</i></p>	<p align="center">HIDDAB (HDR1)</p>	<p align="center">Mexique</p>	<p>Caractéristiques Agronomiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Rendement : Elevé <p>Caractéristiques technologiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Teneur en protéines : 11.50% <p>Caractéristiques alvéographiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Force boulangère W : Moyenne ➤ Gonflement G : Moyenne <p>Résistances aux maladies :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Oïdium feuille : Résistante ➤ Rouille brune : Moyennement sensible ➤ Rouille Jaune : sensible ➤ Septoriose : Moyennement sensible <p>Type de développement : Hiver</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Epi : Compacité élevé ➤ Epi : Forme pyramidale ➤ Graine : Forme Allongée ➤ Coléoptiles pigmentation anthocyanique : Nulle à très faible ➤ Plante port au tallage : Mi-dressé ➤ Barbes pigmentation anthocyanique : Nulle à très faible ➤ Plante hauteur (tige, épi et barbe) : Larges
<p align="center">Orge <i>Hordeum vulgare</i></p>	<p align="center">RIHANE 03</p>	<p align="center">Syrie</p>	<p>Caractéristiques Agronomiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Rendement : Elevé <p>Caractéristiques technologiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ PMG : Elevé ➤ Teneur en protéines : 14.50% <p>Résistances aux maladies :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Oïdium feuille : Moyennement résistante ➤ Oïdium Epi : Résistante ➤ Helminthosporiose : Moyennement sensible <p>Type de développement : Hiver</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Epi : Forme pyramidale ➤ Epi : Nombre de range plus de deux ➤ Epi : Compacité très compact ➤ Plante hauteur (tige, épi et barbe) : Moyenne ➤ Plante : port au tallage Mi-dressé ➤ Barbes intensité de la pigmentation anthocyanique des pointes : Nulle à très faible ➤ Barbes pigmentation anthocyanique des pointes : présente ➤ Graine : pigmentation anthocyanique des nervures de la glumelle inferieur Nulle à très faible

<p style="text-align: center;">L'avoine <i>Avena sativa.L</i></p>	<p style="text-align: center;">AVONE</p>	<p style="text-align: center;">Australie</p>	<p>Caractéristiques Agronomiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Rendement : Elevé <p>Caractéristiques technologiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ PMG : Elevé <p>Résistances aux maladies :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Oïdium feuille : résistante ➤ Rouille brune : résistante ➤ Septoriose : résistante <p>Type de développement : Hiver</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Plante hauteur (tige, épi et barbe) : Larges ➤ Plante : port au tallage Mi-dressé ➤ Barbes : Couleur Jaune ➤ Barbes intensité de la pigmentation anthocyanique des pointes : Nulle à très faible ➤ Tige : pilosité du dernier nœud absenté ➤ Feuille de la base : pilosité de la gaine Moyenne ➤ Epi : Compacité Moyenne ➤ Epi : Glaucescence Très fort ➤ Graine : longueur des poils de la brosse vue dorsale Moyenne
--	---	---	--

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 la croissance

Dans cet essai, les variétés utilisées sont réparties selon le même dispositif expérimental de la germination (expérience aléatoire randomisée) avec trois répétitions (**R1, R2, R3**) Pour chaque variété (blé dur, blé tendre, orge et l'avoine), et quatre traitements (**0, 0.15, 0.3, 0.6g/l**) de l'acétate du plomb. Les semences sont mis dans des pots de 21 cm de diamètre et contiennent 1Kg de sol de texture équilibrée (**Figure 02**), elles sont irriguées à raison de 25ml par les solutions de l'acétate du plomb chaque 48heures. Les pots sont placés dans des conditions semi-contrôlées dans une serre. La température est de 26C° et une humidité de 30%.



Figure 02 : Dispositif expérimental

3. Méthodes et mesures effectuées

Les mesures ont été réalisées à la fin de l'expérimentation sur quelque paramètre biochimique au niveau de la partie aérienne et souterraine des plantes.

3.1. Extraction et dosage des pigments assimilateurs

L'extraction des pigments photosynthétiques est faite en présence d'acétone à 80% selon la méthode d'**Arnon (1949)**. Cent mg de matière fraîche sont coupés en fines lamelles en présence de 5 ml d'acétone à 80%. Le mélange est maintenu 72 heures dans l'obscurité totale et à 4°C. L'extrait obtenu sert aux dosages des chlorophylles « a » et « b » ainsi que des caroténoïdes. La détermination de la teneur foliaire en pigments photosynthétiques se fait à partir de la mesure simultanée de la densité optique à trois longueurs d'ondes différentes : 470 nm, 647 nm et 663 nm. Les teneurs des feuilles en pigments sont alors déterminées en se référant aux formules suivantes (**Lichtenthaler, 1987**) :

$$\text{Chlorophylles } a \text{ } (\mu\text{g/ml}) = (12,7 \times \text{DO663}) - (2,69 \times \text{DO647})$$

$$\text{Chlorophylles } b \text{ } (\mu\text{g/ml}) = (22,9 \times \text{DO647}) - (4,68 \times \text{DO663})$$

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

$$\text{Caroténoïdes } (\mu\text{g/ml}) = (5 \times \text{DO470}) + (2,846 \times \text{DO663}) - (14,876 \times \text{DO647})$$

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

3.2. Dosage de protéines totales

Les protéines sont dosées selon la méthode de **Bradford (1976)**, qui utilise le bleu brillant de Coomassie G250 (BSA) comme réactif et le sérum d'albumine bovine (BSA) comme standard. Le dosage s'effectue en 3 étapes :

- **Préparation de l'échantillon :** (0.1 g) de l'échantillon de chaque concentration est broyé dans un mortier avec 5 ml d'eau distillée, puis filtré et versé dans des tubes avec 5 autres contenant de l'eau distillée.
- **Préparation de réactif de Bradford :** pour préparer ce réactif, il faut prendre 0.1 g de BBC (Bleu brillant de Coomassie), lui ajouter 50 ml d'éthanol à 95% puis le placer sur un agitateur pendant 2 heures. Rajouter ensuite 100 ml d'acide ortho phosphorique à 85% et compléter à l'eau distillée jusqu'à 1 litre.
- **Le dosage :** dans des tubes à essai propres, on prélève 0.2 ml de l'échantillon végétal et 1.6 ml d'eau distillée (à l'aide d'une micropipette), 5 minutes avant la lecture on ajoute 0.2 ml du réactif de Bradford. Le dosage se fait par lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde 595 nm après l'étalonnage de l'appareil par la solution témoin (1.8 ml d'eau distillée + 0.2 ml du réactif de Bradford). La teneur en protéines des échantillons inconnus est déterminée également à l'aide d'une courbe standard faite à partir de concentrations connues de BSA (voir annexe).

3.3. Dosage des sucres solubles

Les sucres solubles sont dosés par la méthode **Shields et Burnett (1960)**, qui utilise l'anthrone en milieu sulfurique, l'extraction des sucres solubles se fait après macération de 0.1g de matière végétale dans 3 ml d'éthanol à 80% pendant 48 heures. Ensuite faire passer les tubes au rotavapor pour l'évaporation de l'éthanol, et mettre 20 ml d'eau distillée dans la totalité de l'extrait. On prélève 2 ml de l'extrait dans les tubes à essai puis on ajoute 4 ml du réactif à l'anthrone (0.2 g d'anthrone pur dans 100 ml d'acide sulfurique pur). On place les tubes au

bain-marie à 62C° pendant 8 minutes. Ensuite on les met dans un bain de glace pour les refroidir afin d'arrêter la réaction. Enfin, procéder à la lecture au spectrophotomètre à 585 nm après un repos de 30 minutes à l'obscurité. La détermination du contenu en sucres solubles est faite sur la base d'un courbe étalon réalisé avec des concentrations connues de glucose (voir annexe).

4. Traitement de données et analyse statistique

Les données sont calculées sous forme d'une moyenne de 3 répétitions à l'aide du tableur EXCEL 2007 et les graphiques également réalisés à l'aide du même tableur. Les données recueillies pour l'ensemble des caractères étudiés ont été soumises à une analyse de la variance avec le logiciel XLSTAT. L'analyse de la variance effectuée est à deux critères de classification (facteur traitement et facteur variétés). Les moyennes sont comparées à l'aide du test de Newman-Keuls, lorsque cela est nécessaire (différences au moins significatives). Finalement, des tests statistiques comme le coefficient de corrélation, ainsi que l'analyse en composante principale (ACP) sont appliqués sur les différents résultats de cette étude et qui permettront de mettre en évidence l'ensemble des paramètres pris en considération.

III. Résultats et discussion

1. Résultats

1.1 Impact du plomb sur la teneur en pigments chlorophylliens foliaires

a. Au niveau de la teneur en chlorophylle *a*

L'analyse de la variance (Tableau 02) de la teneur en chlorophylle *a* des feuilles révèle que l'élaboration de ce paramètre est grandement influencée par les facteurs d'étude à savoir, le traitement appliqué ($p < 0,05$) aussi son interaction, ce qui indique que ces variétés répondent de manières distinctes à la présence de la contrainte métallique imposée.

Tableau 02 : Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle *a* (chl *a*) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
Chl <i>a</i>	405,29	0,000	3,737	0,021	10,290	0,000

Les résultats présentés dans la figure 03 montrent que la teneur en chl *a* diminué substantiellement avec la concentration appliquée chez l'orge mais cette teneur augmente chez la variété d'avoine.

Dans les feuilles des plantes témoins de la variété Rihan de l'orge, une teneur moyenne en chl *a* de 0,889 mg/g MF est enregistrée. Cette quantité diminue progressivement et de manière significative avec la concentration 0,15g/l, hautement significative avec la concentration 0,3g/l et très hautement significative avec la concentration 0,6g/l pour atteindre 0,773 mg/l MF, 0,710 mg/l MF et 0,682 mg/l MF respectivement, soient des pourcentages de diminution de 13.04%, 20.13% et 23.28%.

Dans les feuilles des plantes témoins de l'avoine, la teneur moyenne en chl *a* est de 0,741mg/g MF. Cette quantité augmente progressivement et de manière très hautement significative pour atteindre 0,984mg/g MF, 1,007 mg/g MF et 1,020 mg/g MF chez les plantes soumises aux concentrations respectives 0.15g/l, 0.3g/l et 0.6g/l, soient des pourcentages d'augmentations de 32.79%, 35.89% et 37.65%.

Chez la variété Waha, la teneur moyenne en chl *a* est de 0,355 mg/g MF en présence de 0,15 g/l d'acétate du plomb, cette valeur est légèrement supérieure à celle enregistré chez les plantes témoins (0,211 mg/g MF) soit 40,56% d'augmentation (différence significative). Cette même observation est enregistré chez la variété HDR1 de blé tendre, mais pour la [0,6 g/l] d'acétate du plomb et avec un pourcentage d'augmentation de 30, 75%.

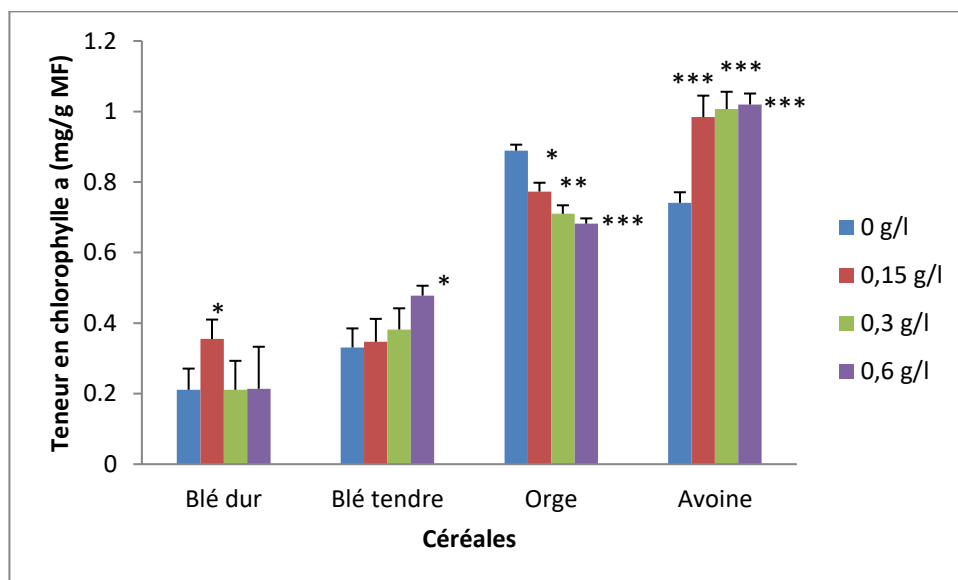


Figure 03 : Effets des différentes concentrations en Pb (CH₃COO)₂ sur la teneur en chlorophylle a des quatre variétés des céréales. *, **, * significatif à 0,1% ; 1% ; 5% respectivement.**

b. Au niveau de la teneur en chlorophylle b

L'analyse de la variance (Tableau 03) de la teneur en chlorophylle *b* des feuilles révèle que l'élaboration de ce paramètre est fortement influencée par la nature des variétés testés ($P = 0,000$). La contrainte de traitement de Pb (CH₃COO)₂ imposé influe d'une manière non significative sur cette variable ($P > 0,05$). Ainsi que l'interaction des deux paramètres reste très hautement significatif ($P = 0,000$). Ce résultat s'explique par une similarité de conduite des génotypes testés à l'expression de ce paramètre.

Tableau 03 : Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle *b* (chl *b*) des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
Chl <i>b</i>	308,106	0,000	1,769	0,173	13,762	0,000

Les résultats illustrés par la figure 04 montrent que la teneur en chl *b* conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb des plantes témoin de la variété Rihana de l'orge est de l'ordre de 0,592 mg/g MF, cette teneur s'abaisse progressivement et de manière très hautement significative pour toute la concentration comparativement au témoin, pour atteindre 0,335 mg/g MF, 0,276 mg/g MF et 0,262 mg/g MF chez les plantes stressées. Les pourcentages de réduction correspondant aux concentrations (0,15 ; 0,3g/l et 0,6g/l) sont respectivement 76.71%, 53.37% et 55.74%.

Pour la variété d'avoine, l'effet du métal sur la teneur en chl *b* ne se remarque qu'à partir des concentrations 0,3g/l et 0,6g/l. En effet, la teneur en chl *b* passe de 0,642 mg/g MF chez les plantes témoin à 0,815 mg/g MF et 0,863 mg/g MF chez les plantes stressées, soit une augmentation de 26,94% et 34,42% (différence très hautement significatives).

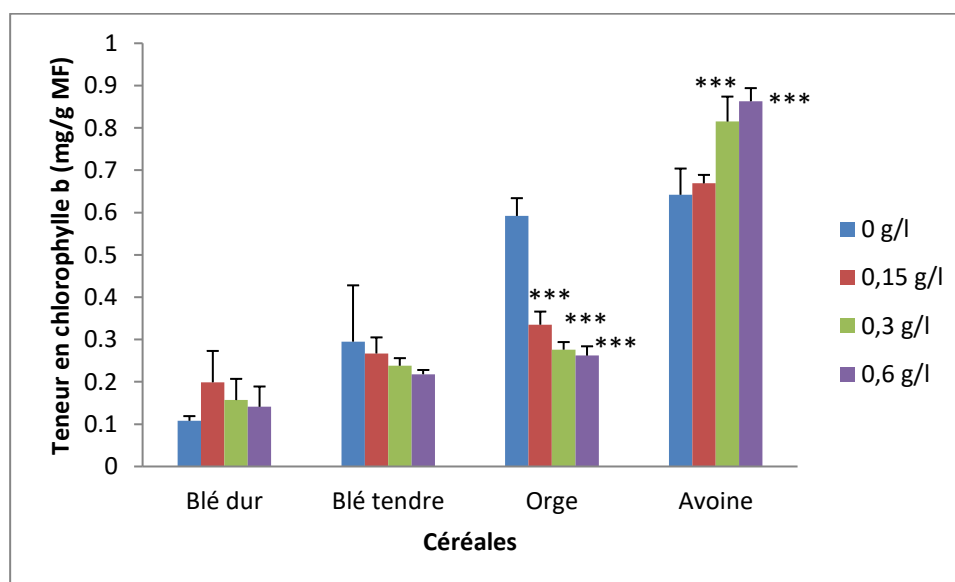


Figure 04 : Effets de la différente concentration en Pb (CH₃COO)₂ sur la teneur en chlorophylle *b* des quatre variétés des céréales.

c. Au niveau de la teneur en chlorophylle *t*

L'analyse de la variance (Tableau 04) de la teneur en chlorophylle totale des feuilles révèle que l'élaboration de ce paramètre sont fortement influencées par la nature des génotypes testés ($P < 0.01$), une différence non significative pour les différents traitements ($P = 0,768$), ainsi que pour l'interaction les deux facteurs d'étude exerce également des variations de grandeurs importantes sur cette caractéristique ($P < 0.05$). Ceci indique que les variétés testées réagissent de manières distinctes à la déclaration de la contrainte métallique imposée.

Tableau 04 : Analyse de la variance de chl *t* des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
Chl <i>t</i>	529,25	0,000	0,380	0,768	16,485	0,000

En présence de 0,15 g/l d'acétate du plomb (Figure 05), la teneur en chlorophylle totale des feuilles des plantes de la variété Waha est de 0,554 mg/g MF, cette valeur est légèrement supérieure à celle enregistré chez les plantes témoins (0,319 mg/g MF) soit 42,42% d'augmentation (différence significative).

Au niveau des feuilles des plants témoin de l'avoine, la teneur en chl *t* est de 1,384 mg/g MF, cette valeur s'élève à 1,653 mg/g MF, 1,822 mg/g MF et 1,883 mg/g MF, ce qui correspond à une augmentation de 16,27%, 24,04% et 26,50% respectivement aux concentrations 0,15 ; 0,3g/l et 0,6g/l. En comparaison avec le témoin, l'augmentation de la teneur en chl *t* est hautement significative pour la concentration 0,15 g/l et très hautement significative chez les plantes soumises aux (0,3 et 0,6) g/l de Pb (CH₃COO)₂.

Pour la variété Rihana, la teneur en chl *t* diminue de manière très hautement significative sous l'effet des différentes concentrations en Pb (0,15 ; 0,3 et 0,6) g/l, les variations observées correspondent respectivement à 25,13%, 33,39% et 36,28% de diminution par rapport au témoin.

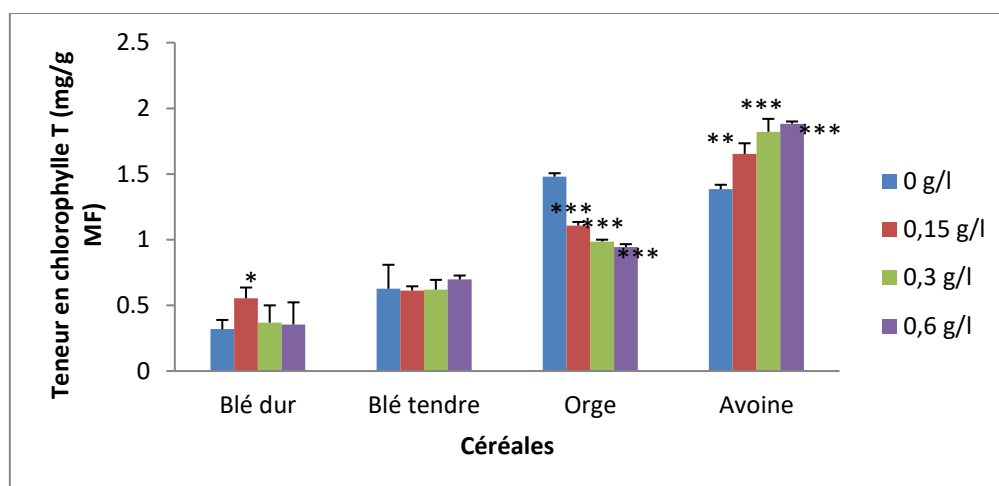


Figure 05 : Effets des différentes concentrations en Pb (CH₃COO)₂ sur la teneur en chlorophylle totale des quatre variétés des céréales.

d. Au niveau de la teneur en caroténoïde

L'étude statistique des résultats obtenus (Tableau 05) montre que la teneur en caroténoïde conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb est dépendant de la nature de matériel végétal utilisé (P = 0,000). Les caroténoïdes ont été affectés par la présence du plomb de manière très hautement significative et proportionnel à l'intensité du traitement appliqué (P = 0,000). En effet, l'interaction ne semble donnée aucune distinction entre les différents génotypes aux conditions du stress imposés pour l'évaluation de ce paramètre (P = 0,002).

Tableau 05 : Analyse de la variance de la teneur en caroténoïde des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
Caroténoïde	36,77	0,000	9,051	0,000	3,971	0,002

Les résultats mentionnés dans la figure 06 illustrent que la teneur en caroténoïde se passe de 0,158 mg/g MF chez les plantes témoin de blé dur à 0,272 mg/g de MF (différences significatives) chez les plantes traités avec les concentrations 0,15 g/l de Pb (CH₃COO)₂, ce qui correspond aux pourcentages d'augmentation de 41,91%. Les mêmes observations sont faites pour la variété d'avoine chez laquelle le plomb provoque une augmentation plus marqué et

significative de la teneur en caroténoïde des plantes témoins qui passe de 0,002 mg/g MF à 0,107 mg/g MF chez les plantes soumises à la concentration plus élevée (0,6g/l), soit un pourcentage d'augmentation de 98, 13%.

Chez la variété Rihan de l'orge, le plomb entraîne une augmentation hautement significative de la teneur en caroténoïde qui passe de 0,035 mg/g MF chez les plantes témoins à 0,158 mg/l MF, 0,164 mg/l MF et 0,181 mg/l MF chez les plantes soumises aux concentrations (0.15 g/l, 0.3 g/l et 0.6 g/l) respectivement.

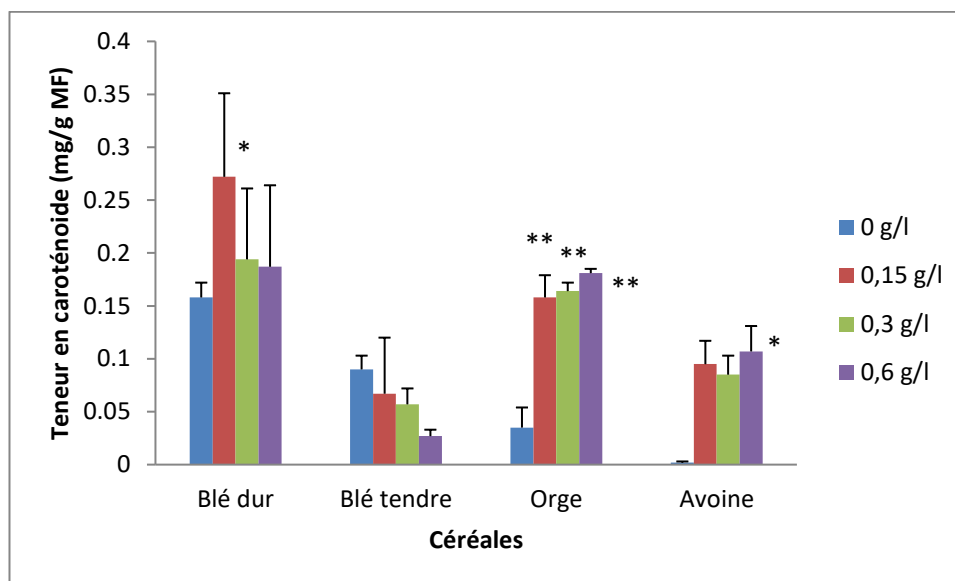


Figure 06 : Effets des différentes concentrations en Pb (CH₃COO)₂ sur la teneur en caroténoïde des quatre variétés des céréales.

1.2. Impact du plomb sur la teneur en protéines totales

a. Au niveau des feuilles

L'étude statistique des résultats obtenus (Tableau 06) montre que la teneur en protéines au niveau des feuilles est fortement influencée par la variabilité testée ($P < 0,05$). Le traitement de Pb (CH₃COO)₂ présente un effet très hautement significatif sur l'expression de ce paramètre ($P < 0,05$). L'interaction des deux facteurs d'étude exerce également des variations de grandeurs importantes sur cette caractéristique ($P < 0,05$). Ceci indique que les variétés testées réagissent de manières distinctes à la déclaration du traitement de Pb (CH₃COO)₂ imposée.

Tableau 06 : Analyses de la variance de la teneur en protéines au niveau des feuilles des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
Protéines	140,17	0,000	9,233	0,000	5,748	0,000

Les résultats illustrés par la figure 07 montrent que l'acétate de plomb a un effet marqué sur la teneur en protéine au niveau des feuilles qui augmente substantiellement avec les concentrations appliquées.

Dans les feuilles des plantes témoins de la variété Waha de blé dur, une teneur en protéine de 0,299 mg/g de MF est enregistrée. Cette quantité augmente progressivement et de manière significative pour atteindre 0,308 mg/g MF chez les plantes traitées avec la [0,15 g/l] d'acétate du plomb et de manière très hautement significative pour atteindre 0,336 mg/g de MF et 0,349 mg/g de MF chez les plantes soumises aux concentrations 0.3 g/l et 0.6 g/l, soient des pourcentages d'augmentations de 2,92%, 11,01% et 14,33% respectivement.

Les mêmes observations sont faites pour la variété Rihana de l'orge chez laquelle l'acétate de plomb provoque une augmentation très hautement significative de la teneur en protéine des plantes témoins au niveau des feuilles, qui passe de 0,136 mg/g de MF à 0,273 mg/g de MF pour les plantes traitées avec 0,6 g/l de Pb (CH₃COO)₂, soit un taux d'augmentation de 50,18%.

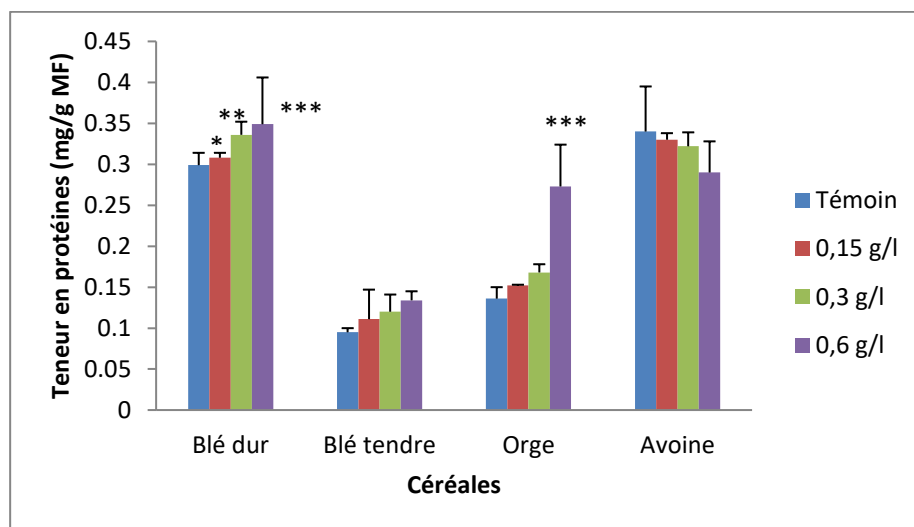


Figure 07 : Effets des différentes concentration en Pb (CH₃COO)₂ sur la teneur en protéines au niveau des feuilles des quatre variétés des céréales.

b. Au niveau des tiges

L'étude des résultats mentionnés dans le tableau 07, révèle que la teneur en protéines au niveau des tiges est fortement dépendante des quatre variétés des céréales ($P = 0,000$). L'interaction des deux facteurs d'étude exerce également des variations de grandeurs importantes sur cette caractéristique ($P < 0,05$). Ceci indique que les variétés testées réagissent de manières distinctes à la déclaration de la contrainte métallique imposée.

Tableau 07 : Analyse de la variance de la teneur en protéines au niveau des tiges des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
Protéines	46,169	0,000	4,623	0,009	2,167	0,052

En fait l'impact du plomb sur la teneur en protéines au niveau des tiges ne se remarque que chez l'orge (variété Rihana). Les résultats mentionnés dans la figure 08, illustrent que cette teneur passe de 0,029 mg/g MF chez les plantes témoin à 0,043 mg/g MF (différence non significative) chez les plantes traitées avec [0,15 g/l] d'acétate du plomb, à 0,092 mg/g MF (différence hautement significative) chez les plantes traitées avec [0,3 g/l] et à 0,101 mg/g MF (différences très hautement significatives) chez les plantes traitées avec [0,6 g/l] de Pb ($(\text{CH}_3\text{COO})_2$), ce qui correspond aux pourcentages d'augmentation respectifs de 15,21%, 68,45% et 71,29%.

Une augmentation non significative de la teneur en protéine au niveau des tiges chez les deux espèces : blé dur et avoine est observée pour l'ensemble des concentrations utilisées.

Une diminution non significative de la teneur en protéine au niveau des tiges chez le blé tendre est aussi observée pour l'ensemble des concentrations utilisées.

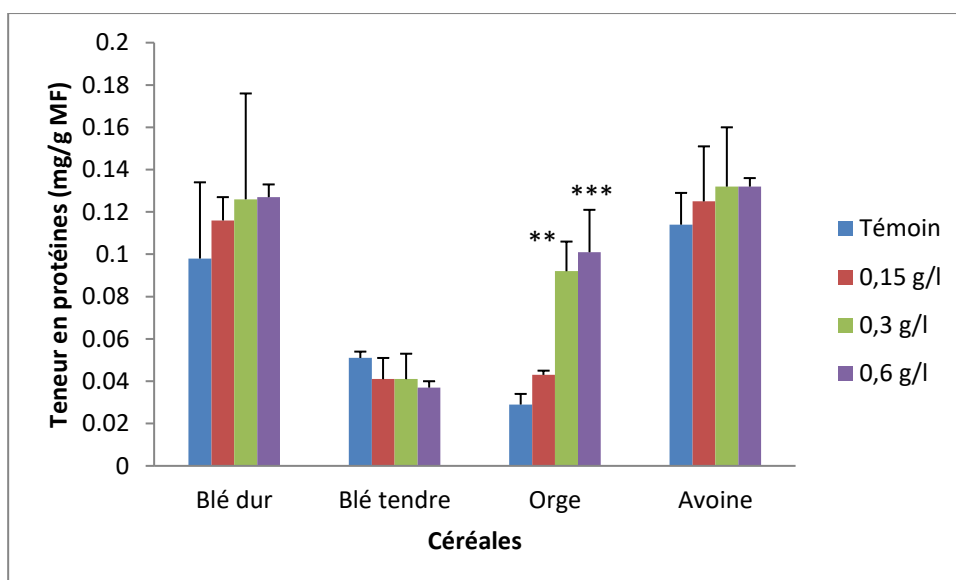


Figure 08 : Effets des différentes concentrations en Pb (CH₃COO)₂ sur la teneur en protéines au niveau des tiges des quatre variétés des céréales.

c. Au niveau des racines

L'analyse des résultats obtenus (Tableau 08) révèle que la teneur en protéines au niveau des racines est fortement conditionnée par la nature des variétés testées ($P < 0,05$) et les traitements appliqués ($P < 0,05$). L'interaction entre ces deux facteurs permet également des variations importantes ($P < 0,05$).

Tableau 08 : Analyse de la variance de la teneur en protéines au niveau des racines des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
Protéines	82,205	0,000	5,587	0,003	8,180	0,000

Les résultats présentés dans la figure 09 montrent que l'acétate du plomb a eu un effet marqué sur la teneur en protéine au niveau des racines de l'orge qui diminue de manière significative avec la concentration 0,6 g/l de Pb (CH₃COO)₂.

Chez les plantes témoins de la variété Waha de blé dur, cette teneur augmente progressivement et de manière très hautement significative avec la concentration 0,3g/l et 0,6g/l pour atteindre 0,073 mg/g MF et 0,087 mg/g MF respectivement, soient des pourcentages d'augmentation de 61,64% et 67,82%.

Une augmentation non significative de la teneur en protéine au niveau des racines chez les deux espèces : blé tendre et avoine est observée pour l'ensemble des concentrations utilisées.

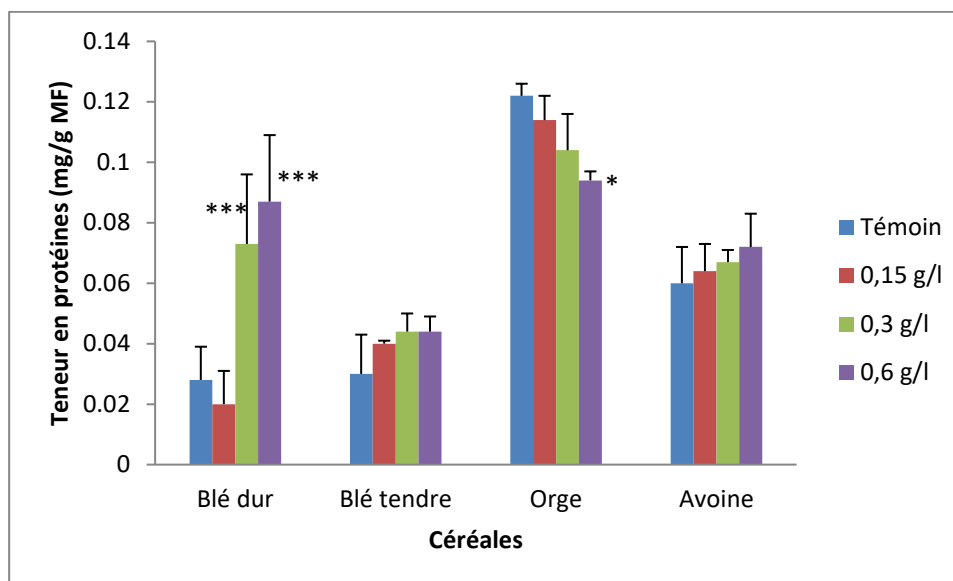


Figure 09 : Effets des différentes concentrations en Pb (CH₃COO)₂ sur la teneur en protéines au niveau des racines des quatre variétés des céréales.

1.3. Impact du plomb sur la teneur en sucres solubles

a. Au niveau des feuilles

L'analyse de la variance (Tableau 09) de la teneur en sucres solubles au niveau des feuilles montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les variétés ($P \leq 0.001$) et une différence non significative pour les différents traitements ($P = 0,489$). Ainsi que pour l'interaction on observe une différence très hautement significative, ce qui indique que ces variétés répondent de manières distinctes à la présence de la contrainte métallique imposée.

Tableau 09 : Analyse de la variance de la teneur en sucres solubles au niveau des feuilles des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
Sucres solubles	210,80	0,000	0,827	0,489	4,168	0,001

Les sucres sont les éléments carbonés primaires synthétisés et distribués dans toute la plante lors de la photosynthèse ; ils peuvent aussi agir en tant qu'osmo-régulateurs lors d'un stress.

Les résultats illustrés par la figure 10 montrent que chez le blé tendre, l'acétate de plomb entraîne une diminution de la teneur en sucres solubles des feuilles qui passe de 0,791 mg/g de MF chez les plantes témoins à 0,722 mg/g de MF (différence non significative), 0,601 mg/g MF (différence non significative) et à 0,409 mg/g MF (différence significative) chez les plantes soumises aux concentrations 0,15 g/l, 0,3 g/l et 0,6 g/l de Pb respectivement .

A un niveau de stress plus élevé chez la variété d'avoine, une augmentation significative à hautement significative de la teneur en sucres solubles est par contre enregistrée, cette dernière atteint 1,669 mg/g MF chez les plantes traitées avec 0,3 g/l de Pb (CH₃COO)₂ et 1,742 mg/g MF chez les plantes traitées avec 0,6 g/l de Pb (CH₃COO)₂. Soit un taux d'augmentation de 19,89% et 23,25% par rapport au témoin.

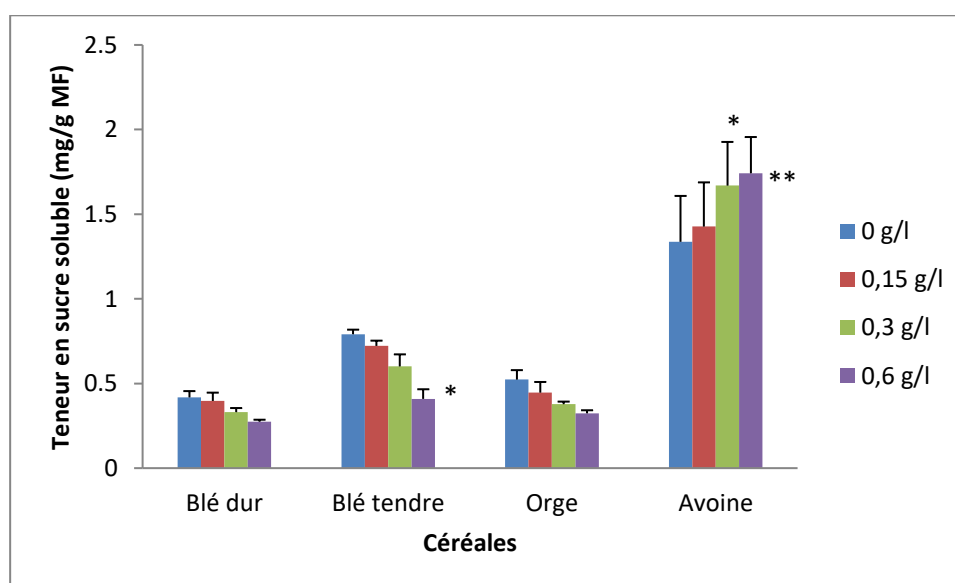


Figure 10 : Effets des différentes concentration en Pb (CH₃COO)₂ sur la teneur en sucres solubles au niveau des feuilles des quatre variétés des céréales.

b. Au niveau des tiges

L'analyse des résultats obtenus (Tableau 10) révèle que la teneur en sucres solubles au niveau des tiges est fortement conditionnée par la nature des variétés testées ($P < 0,05$) et les traitements appliqués ($P < 0,05$). L'interaction entre ces deux facteurs permet également des variations importantes ($P < 0,05$).

Tableau 10: Analyse de la variance de la teneur en sucres solubles au niveau des tiges des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
Sucres solubles	1097,657	0,000	4,966	0,006	18,17	0,000

Selon la figure 11, la teneur en sucres solubles au niveau des tiges diminue de 0,843 mg/g MF chez les plantes témoin de la variété HDR1 du blé tendre à 0,711 mg/g MF (différence significative), 0,649 mg/g MF (différences très hautement significatives) et 0,626 mg/g MF (différences très hautement significatives) chez les plantes traitées avec les concentrations 0,15 g/l, 0,3 g/l et 0,6 g/l de Pb (CH_3COO)₂ respectivement, ce qui correspond aux réductions respectives de 15,65%, 23,01% et 25,74%.

Les mêmes observations ont été notées chez la variété Rihan où le plomb a provoqué une diminution hautement significative à très hautement significative de la teneur en sucres solubles des tiges passant de 0,524 mg/g MF chez les plantes témoins, à 0,382 mg/g MF, 0,344 mg/g MF et 0,326 mg/g MF chez les plantes soumises aux concentrations 0,15 g/l, 0,3 g/l et 0,6 g/l de Pb (CH_3COO)₂ respectivement.

A des niveaux de stress plus élevés (0,3 g/l et 0,6 g/l de Pb (CH_3COO)₂), le plomb entraîne une augmentation hautement significative à très hautement significative de la teneur en sucres solubles au niveau des tiges chez les deux céréales : le blé dur et l'avoine.

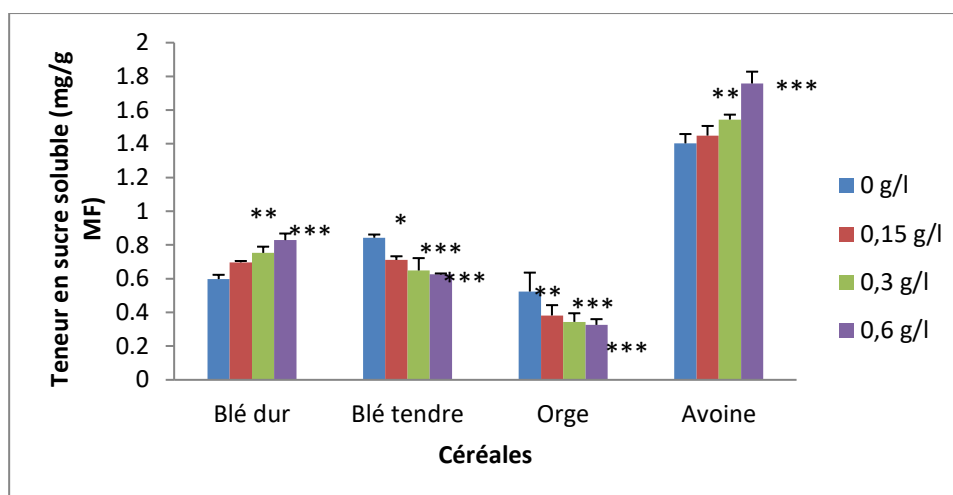


Figure 11 : Effets des différentes concentrations en Pb (CH₃COO)₂ sur la teneur en sucres solubles au niveau des tiges des quatre variétés des céréales.

c. Au niveau des racines

Un effet très hautement significatif de l'effet variété et l'effet traitement sur la teneur en sucres solubles au niveau des racines ont été décelé par l'analyse des résultats obtenus (Tableau 11). L'interaction, entre les deux facteurs d'études, présente des variations importantes pour l'élaboration de ce paramètre. En effet, une distinction est notée chez les variétés testées en relation avec les variations du stress métallique appliqué.

Tableau 11 : Analyse de la variance de la teneur en sucres solubles au niveau des racines des plantes des quatre céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb.

Paramètre	Effet variétés (V)		Effet dose (D)		Interaction (V*D)	
	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité	Test f	Probabilité
Sucres solubles	550,06	0,000	30,302	0,000	44,690	0,000

Les résultats exprimés dans la figure 12 montrent que les racines des plants témoin de la variété Waha de blé dur présentent une teneur en sucres solubles de 0,544 mg/g de MF, cette teneur augmente de façon très hautement significative lorsque les plantes sont traitées avec 0,15 g/l, 0,3 g/l et 0,6g/l pour atteindre respectivement 0,755 mg/g de MF, 0,823 mg/g de MF et 0,867mg/g de MF.

Les mêmes observations sont faites pour la variété d'avoine chez laquelle l'acétate de plomb provoque une augmentation plus marquée de la teneur en sucres solubles des plantes témoins qui passe de 0,740 mg/g de MF à 0,901 mg/g de MF, 1,208 mg/g de MF et 1,301 mg/g de MF chez les plantes soumises aux concentrations respectives 0,15 g/l, 0,3 g/l et 0,6 g/l, soient des pourcentages d'augmentations de 17,87%, 38,74% et 43,12%.

Chez la variété HDR1 du blé tendre, la teneur en sucres solubles des racines diminue de 0,756 mg/g MF chez les plantes témoin à 0,625 mg/g MF et 0,609 mg/g MF (différences hautement significatives) respectivement chez les plantes traitées avec les concentrations 0,3 g/l et 0,6 g/l de Pb (CH₃COO)₂, ce qui correspond aux réductions respectifs de 17,32% et 19,44%.

Pour la variété Rihana, la teneur en sucres solubles diminue de 0,424 mg/g MF chez les plantes témoin à 0,329 mg/g MF (différence hautement significative), 0,321 mg/g MF (différence significative) et 0,283 mg/g MF (différence très hautement significative) chez les plantes traitées avec les concentrations 0,15g/l, 0,3 g/l et 0,6 g/l de Pb(CH₃COO)₂ respectivement.

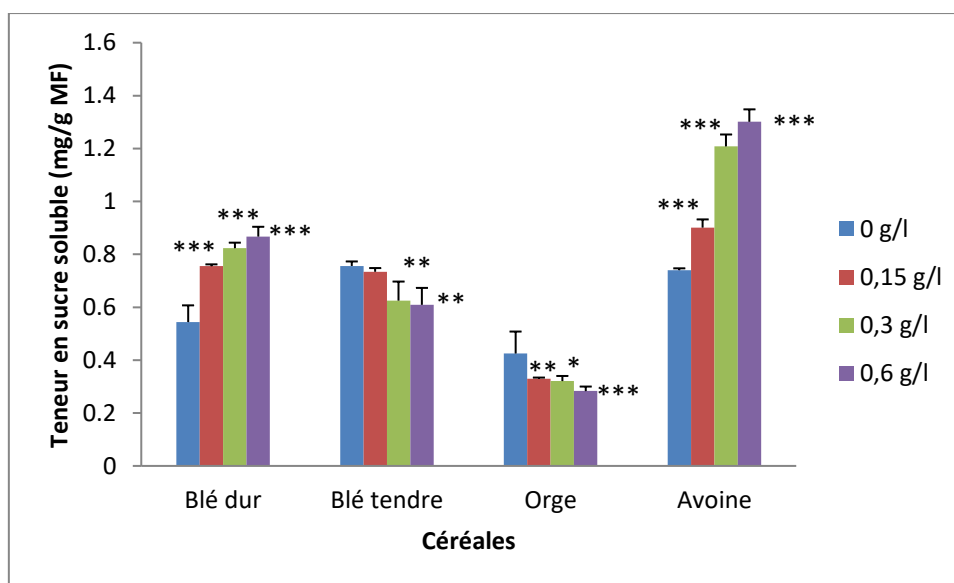


Figure 12 : Effets des différentes concentrations en Pb (CH₃COO)₂ sur la teneur en sucres solubles au niveau des racines des quatre variétés des céréales.

1.4. Interprétation de l'accumulation des éléments biochimiques dans les céréales étudiés

Les résultats de la distribution spatiale (ACP) révèlent une part de variabilité (**Figure 13**) définie par le plan factoriel 1 x 2 de 50,97% et 22,85% soit un total de 73,82%. Toutes les variables sont bien représentées sur ce plan factoriel à l'exception de la teneur en protéines au niveau des racines (Prot R).

Cette projection de coordonnées des variables fait apparaître leur affinité vis-à-vis de chacun de ces deux axes. Ce qui permet de repérer les tendances dominantes décrites par l'individualisation de trois groupes.

L'axe 1 est défini dans sa partie positive par les variables : la teneur en chl *a*, la teneur en chl *b*, la teneur en chl *t*, la teneur en sucres solubles au niveau des feuilles (Suc F), la teneur en sucres solubles au niveau des tiges (Suc T) et la teneur en sucres solubles au niveau des racines (Suc R). Tandis que, l'axe 2 est formé par les variables : la teneur en caroténoïde, la teneur en protéines au niveau des feuilles (Prot F) et au niveau des tiges (Prot T) dans sa partie positive et par la variable la teneur en protéines au niveau des racines (Prot R) dans sa partie négative.

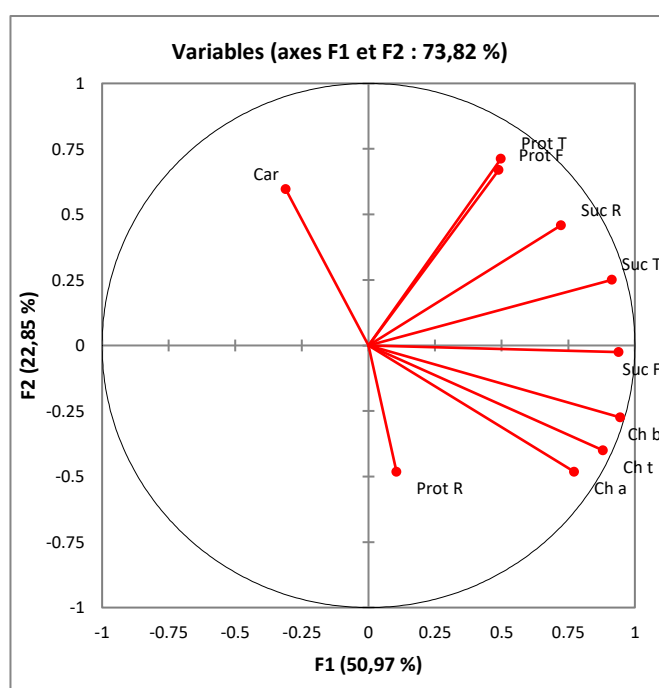


Figure 13 : Analyse en composante principale de la bioconcentration des éléments biochimiques au niveau des parties aérienne et souterraine de céréales étudiés.

2. Discussion

En premier lieu, nous avons étudié les réponses de quatre céréales (*Triticum durum*, *Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare* et *Avena sativa L.*) au stress oxydant induit par le plomb. Pour cela, nous avons évalué différents paramètres biochimiques au niveau la partie aérienne et la partie racinaire. L'exposition des plantes aux métaux lourds peut entraîner de nombreux troubles biochimiques. Ces troubles peuvent être considérées comme une réponse générale associée à la toxicité des métaux lourds (Kopyra et al., 2006). Dans notre travail, nous avons constaté que le plomb provoque une diminution significative du taux des pigments photosynthétiques, des protéines totaux et des sucres solubles des céréales.

Au niveau physiologique une exposition au plomb entraîne de nombreuses perturbations dans les parties aériennes, en particulier l'appareil photosynthétique (**Seregin et Ivanov, 2001; Sharma et Dubey, 2005**). Nos résultats montrent une diminution importante de la teneur en pigments chlorophyllien (Chl *a*, Chl *b*, Chl *t* et Caroténoïdes) des céréales exposées à différentes concentrations en Pb (0.15, 0.3 et 0.6 g/l) par rapport aux témoins. Cette diminution s'accroît avec l'augmentation de l'intensité du stress.

De ce fait plusieurs travaux (**Souahi, 2017 ; Nadjah, 2015 ; Aoumeur, 2012 ; Belarbi, 2018**) montrent que le plomb a une influence sur la réduction de la teneur en pigments chlorophylliens (chlorophylles et caroténoïdes). Ceci pourrait être attribué d'une part, au stress oxydatif qui provoque l'inhibition de l'acide amino lévulinique déshydratase (ALAD), une enzyme importante dans la biosynthèse de la chlorophylle (**Pereira et al., 2006**) et d'autre part, le plomb peut agir directement sur le transport des électrons et des enzymes du cycle de Calvin (**Figure 14**) et indirectement induit une diminution de la teneur en chlorophylle (**Chatterjee et Chatterjee, 2000**).

Par l'exposition aux MT, les surfaces foliaires sont réduites et du coup l'accumulation des pigments photosynthétiques est faible (**Patra et al., 2004**). En générale, la photosynthèse diminue (**Seregin et Ivanov, 2000**) et également le rendement photosynthétique peut chuter de plus de 50% (**Bazzaz et al., 1975**). Cette diminution est due à l'altération de l'appareil photosynthétique, qui est aussi capable d'altérer la structure et la composition des membranes des thylakoïdes (**Lidons et al., 1993**). En revanche, le plomb peut entraîner des changements de la composition lipidique membranaire et perturbe en particulier les flux de la chaîne photosynthétique de transport des électrons (**Pourrut, 2008**), conduisant ainsi à l'inhibition de la synthèse des pigments de la chlorophylle et des caroténoïdes (**Seregin et Ivanov, 2000**).

Le plomb, en induisant une fermeture des stomates, limite considérablement les flux gazeux entre les feuilles et le milieu extérieur. Cette limitation du flux de CO₂ entrant est considérée comme la cause principale de la forte réduction de la fixation du CO₂ (**Bazzaz et al., 1975 ; Parys et al., 1998**).

Les ions du plomb peuvent aussi être la cause principale de la détérioration de la structure et de la composition des thylakoïdes et des chloroplastes, ce qui a pour effet d'altérer les photosystèmes (**Yruela et al., 1996 ; Yruela, 2005**).

L'effet des différentes concentrations de (Pb) ne semble pas identique sur les deux types de chlorophylle a et b, les résultats obtenus montrent que la chlorophylle a est plus sensible que la chlorophylle b à l'intoxication (**Aoumeur, 2012**).

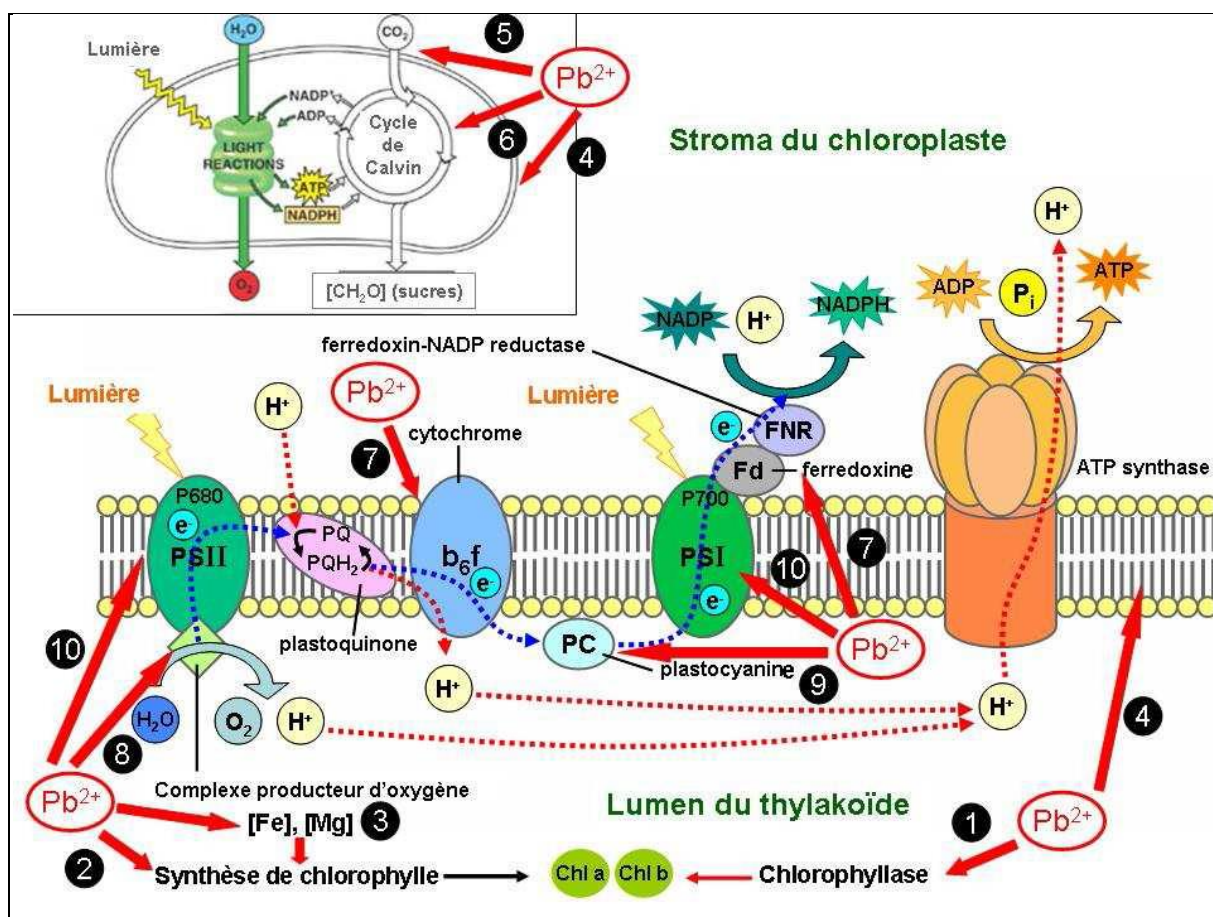


Figure 14: Les interactions possibles avec le plomb dans la photosynthèse (Pourrut, 2008).

Le traitement sous différentes concentrations de l'acétate du plomb montre une corrélation positive (Tableau 1 en annexe) des protéines totales solubles foliaires ($r=0,226$), aussi au niveau des tiges ($r=0,226$) et des racines ($r=0,226$). Toutefois, les effets du stress sur le métabolisme azoté ont été fréquemment étudiés chez les plantes à métabolisme azoté, montrant ainsi un accroissement de la dégradation protéique, une inhibition de la synthèse protéique et une accumulation et/ou une diminution des protéines et des acides aminés non protéiques chez plusieurs plantes monocotylédones et dicotylédones (Gilbert *et al.*, 1997).

Comme les autres ETM, le plomb présent dans le cytoplasme interagit avec les protéines. Il peut diminuer le pool protéique (Saxena *et al.*, 2003 ; Mishra *et al.*, 2006). Cette diminution quantitative de la teneur en protéines totales apparaît comme la résultante de plusieurs conséquences de l'action du plomb :

- Modification de l'expression génique (Kovalchuk *et al.*, 2005) et augmentation de l'activité ribonucléasique (Jana et Choudhuri, 1982 ; Gopal et Rizvi, 2008).
- Stimulation de l'activité protéasique (Jana et Choudhuri, 1982).
- Diminution de la teneur en acides aminés libres (Xiong *et al.*, 2006).

Cependant, l'accumulation des sels de plomb dans les plantes peut augmenter la teneur en protéines totales, ce qui fait partie de la stratégie moléculaire de la tolérance au stress (**Mishra et al., 2006**). Cette accumulation protéique, pourrait être la conséquence d'induction des gènes codant pour la biosynthèse, de protéines de défense contre ce stress métallique, parmi ces protéines, nous trouvons ceux qui sont riches en proline, l'acide aminé le plus important et le plus accumulé en cas de stress, avec notamment des protéines pouvant avoir un rôle de protection tel que les protéines Late Embryogenesis Abundant (LEA) chez *Atriplex halimus* (**Mouffak, 2008**).

D'autres acides aminés comme l'ascorbate interviennent dans le maintien du statut redox de la cellule ou dans la séquestration du métal (GSH et PC) (**Pourrut, 2008**). Le plomb peut aussi agir sur la composition qualitative des protéines cellulaires. Il modifie le profil protéique des cellules racinaires exposées au plomb (**Beltagi, 2005**).

Au niveau des feuilles, des tiges et des racines, les protéines des trois céréales (*Triticum durum*, *Triticum aestivum* et *Avena sativa*) ont constaté une augmentation dans le contenu des protéines avec la dose 0,3 et 0,6 g/l de Pb et une réduction des protéines totales au niveau des racines avec la dose 0,6 g/l de Pb chez l'orge. Plusieurs auteurs ont signalé que les stress environnementaux peuvent provoquer une diminution des protéines totales (**Rai et al., 1983 ; Kumar et Singh, 1991**). La réduction des protéines à cause des métaux lourds peut être expliqué par des réactions de protéolyse et libération d'acides aminées (**Berlett et Stadtman, 1997 ; Siedlecka et Krupa, 2002 ; Hsu et Kao, 2003 ; Pena et al., 2006 ; Sharma et Dietz, 2006**). D'autres auteurs comme (**Shraddha Singh et al., 2004**) ont trouvé une accumulation nette des protéines dans les racines et les feuilles de tomate, proportionnelle à la concentration du métal étudié. En revanche et d'une manière générale, (**Stalt et al., 2003**) ont indiqué que l'exposition des plantes à différentes concentrations de cadmium a tendance à stimuler la synthèse des protéines particulièrement, les phytochélatines dont le rôle est la détoxification. Nos résultats montrent aussi une accumulation des sucres solubles totaux, dans les différents organes des plantes traitées au Pb. Ce résultat semble être en parfait accord avec ceux trouvés par **Pourrut (2008)**. En effet, les glucides s'accumulent même sous l'effet d'autres métaux comme le cadmium (**Costa et Spitz, 1997 ; Aoun, 2009**), l'arsenic (**Jha et Dubey, 2004**). En outre, cette teneur est corrélée positivement au stress métallique dans deux organes, les racines ($r=0,2000$) et les tiges ($r=0,036$), par contre au niveau des feuilles cette corrélation est négative ($r=- 0,054$).

L'accumulation des sucres solubles totaux chez les plantes a été largement reportée comme une réponse à la salinité et à la sécheresse, souvent accompagnée par une décroissance significative concernant la vitesse d'assimilation de CO₂ (**Ashraf et Basher, 2004**). Ils ont une

importance particulière à cause de leur relation directe avec des processus physiologiques comme la photosynthèse, la translocation et la respiration ; en plus, ils ont un rôle potentiel dans l'adaptation des stress (**Ildiko et Gabor, 2000**). Parmi les rôles attribués aux sucres est la vitrification du cytoplasme, protection des protéines et protection des membranes (**Wingler, 2002**).

Les sucres totaux solubles incluent les sucres simples comme le saccharose, le glucose, le fructane, le fructose et le tréhalose et les sucres complexes comme la famille des raffinose oligosaccharides (RFOs) et les polyols qui ont les propriétés d'osmoprotecteur et d'antioxydant (**Wingler, 2002 ; Leatherwood, 2005; Ottow et al., 2005 ; Basia et Arie., 2005**).

Les sucres solubles peuvent jouer un rôle dans la protection des chlorophylles et des caroténoïdes contre l'agressivité du stress métallique (**Azouz et al., 2011**). Ceci est prouvé par la corrélation significative entre la teneur en sucre et le taux des différents pigments chlorophylliens.

Conclusion générale

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

Un des objectifs de ce travail a été donc d'étudier les effets de l'acétate de plomb sur quatre variétés des céréales très consommées en Algérie: blé dur (variété Waha), blé tendre (variété HD 1220), orge (variété Rihana) et l'avoine (Avon) et leurs capacités de tolérance. Pour répondre à cet objectif, la démarche adoptée dans le cadre de ce travail, a donc consisté à rechercher chez nos modèles biologiques les réponses biochimiques, aussi les mécanismes de résistance et de tolérance aux métaux lourds.

Les résultats obtenus indiquent que l'exposition au plomb provoque une perturbation qui affecte les processus biochimiques des céréales.

L'excès de plomb peut affecter la plante de la céréale par une diminution de la teneur en pigments chlorophylliens foliaires (Chl *a*, Chl *b*, Chl *t*) à différentes concentrations du plomb, pour les pigments caroténoïdes, les résultats obtenus ont mis en évidence un effet dépressif du plomb sur la synthèse et /ou la libération des caroténoïdes pour les quatre variétés étudiées pendant la phase de la croissance.

De plus la présence du plomb à forte concentration (0,6g/l et 0,3g/l) entraîne une augmentation importante de la teneur en protéines dans les tiges et les racines par rapport aux plantes témoins, mais cette teneur augmente lorsque le stress est sévère.

Les teneurs des sucres solubles ont diminué à différentes concentrations en raison du stress métallique. La présente étude a montré que chez la céréale traitée au Pb, les sucres s'accumulent davantage, au niveau des racines et des tiges, avec des concentrations élevées, dans les quatre variétés. Signalons par ailleurs, que la biomasse racinaire a été plus sensible au plomb, par rapport à la biomasse aérienne, parce qu'elle constitue les premiers organes au sol en contact avec le polluant, touchés par la contamination, les variétés présentent donc une sensibilité vis-à-vis le plomb qui se traduit par des modifications biochimiques importantes mais nous remarquons que la variété Avon de l'avoine est plus tolérante que les trois autres variétés.

Les Références Bibliographiques

A

Aoun, M. 2009. Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne *Brassica juncea* (L.) néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines. Thèse de Doctotrat, Univ de Bretagne Occidentale. 135P.

Azzouz, F. 2011. Effet de l'interaction plomb-salinité sur les réponses physiologiques et biochimiques d'une halophyte (*Atriplex halimus* L.) et d'une glycophyte (*Vicia faba* L.). Mémoire de magistère. Université Senia Oran Algérie. 65 p.

Ashraf, M et Basher, A. 2004. Salt stress induced changes in some organic metabolites and ionic relations in nodules and plant parts of two crop legumes differing in salt tolerance. *Flora-Morphology, Distribution , Functional , Ecology Of Plants*. V198, issue 6, p 486-498.

B

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

Baker, A J M., et Brooks, R R. 1989 - Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements: A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*.1: 81-126.

BAsia, V et Arie, A. 2005. Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievement and limitations. *Review Of Current Opinion In Biotechnology*. V16, p 123-132.

Bazzaz, F.A., Carlson, R.W., et Rolfe, G.L. 1975. Inhibition of Corn and Sunflower Photosynthesis by Lead. *Physiologia Plantarum*, Vol. 34 (4): 326-329.

Becker, W., et Kumplainen, J. 1991. Contents of essential and toxic mineral Elements in Swedish Market-Baskets diets in 1987. *British Journal of Nutrition*, Vol. 66: 151-160.

Belaid, D. 1986 : Aspect de la céréaliculture algérienne, Ed- O.P.U. 217p.

Belarbi. 2018 Etude des paramètres morphologiques et physiologiques de résistance à la sécheresse chez la fève *Vicia faba* L.

Bellebcir, L. 2008. Etude des composés phénoliques en tant Que marqueurs de biodiversité chez les céréales. Thèse de Magister En Biodiversité et production végétale. Université Mentouri de Constantine département de biologie et écologie.

Bellows, A. 1999. The praxis and production of food security: urban agriculture in Silesia, Thèse de doctorat. Department of Geography. Pologne, New Brunswick (N-J, É-U), Rutgers University. 61 p.

- Beltagi, MS. 2005.** " Phytotoxicity of lead (Pb) to SDS-PAGE protein profile in root nodules of faba bean (*Vicia faba* L.) Plants. Pakistan Journal of Biological Sciences. 8 : 687-690.
- Berland, B., et Lassus, P. 1997.** Efflorescences toxiques des eaux côtières françaises: écologie, écophysiole, toxicologie. Ifremer. 32-33.
- Berlett, B.S., et Stadtman, E.R. 1997.** Protein oxidation in aging, disease and oxidative stress. Am. Soc. Biochem. Biol. Mol. 272: 20313-20316.
- Bert, V., et Deram, A. 1999.** Guide des phytotechnologies : utilisation des plantes dans la dépollution et la réhabilitation des sites contaminés par les métaux lourds, France, Environnement et Développement alternatif.
- Blaize Denis, D. 1997.** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols de France, éd. INRA.
- Blaylock, M J., et Huang, J W. 2000.** Phytoextraction of metals. In I Raskin, BD Ensley, eds, Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment. John Wiley and Sons, New York. P53–70.
- Bouallégue, M. 2017.** Plasticité des génomes des pucerons des céréales et de leur plante hôte : Recherche *in silico* et *in vitro* des éléments transposables des superfamilles *Tc1-mariner-IS630* et *piggyBac*
- Boulkrah, H. 2008.** Etude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants. Mémoire de Magister. P39.
- Boumellal, W., Amrouche, M. 2017.** L'effet de la date de semis sur la culture de l'avoine (*Avena sativa*.L) sur quelques paramètres de croissance et de production dans la région de Khemis-Miliana.
- Bouzerzour, H., Djekoun, A., Benmahammed, A., Hassous, K.L. 1998.** Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement grain de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone d'altitude. *Cahiers de l'Agriculture*. 8:133-137
- Brunet, J., Repellin, A., Varrault, G., Terryn, N., et Zuily-Fodil, Y. 2008.** Lead accumulation in the roots of grass pea (*Lathyrus sativus* L.): a novel plant for phytoremediation systems? C. R. Biol. 331859–864.

C

- Carsignol, J., et Calovi, L. 2004** - La pollution des sols et des végétaux à proximité des routes. Les éléments traces métalliques (ETM). Note d'information, Économie Environnement Conception. P 73.
- Cecchi, M. 2008.** "Devenir du plomb dans le système Sol-Plante: Cas d'un sol contaminé par une usine de recyclage du plomb et de deux plantes potagères (Fève et Tomate)." Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse. P. 217

Chaineau. 1995. Microbial dégradation in soil microcosms of fuel oil hydrocarbons from drilling cuttings. *Environmental science and technology*, vol. 29, 1615-1621.

Chaise, L., Ferla, A. J., Honore, A., & Moukhli, R. 2005. L'impact du changement climatique sur l'agriculture en Afrique. Atelier Changement Climatique. ENPC.

Chaney, RL., Malik, M., Li YM Brown, SL., Brewer, EP., Angle, JS., et Baker, AJM. 1997. Phytoremediation of soil metals. *Current Opinion in Biotechnology*. 8: 279-284.

Chapman, G.P. 2009. Grass evolution and domestication. *Grass evolution and domestication*, xviii + 390 pp.

Chatterjee, J., et Chatterjee, C. 2003. Management of phytotoxicity of cobalt in tomato by chemical measures. *Plant Science*. 64: 793-801.

Chellali, B. 2007. Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghreb.dz.com/admin/folder01/une.pdf>.

Chen, P.D., & Gill, B.S., 1984. The origin of chromosome 4A and the B and G genomes of tetraploid wheat. *Acta Agronomica Sinica*. 10: 146-153.

Cherfia, R. 2010. Etude de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*Triticum durum* Desf.).

Chiffolleau, J F., Claisse, D., Cossa, D., Ficht, A., Gonzalez, J L., Guyot, T., Michel, P., Miramand, P., Oger, C., et Petit, F. 2001. La contamination métallique. Programme scientifique Seine-Aval, IFREMER edit. 8, 1-39.

Costa, G., et Spitz, E. 1997. Influence of cadmium on soluble carbohydrate, free amino acids, protein content of in vitro cultured *Lupinus albus*. *Plant Sci.*, Vol. 128: 131-140.

D

Dameron, C., et Howe, P.D. 1998. Copper Environmental Health criteria N°200, World Health Organization. Geneva.

De Abreu, C A., De Abreu, M F., et Andrade, J C. 1998. Distribution of lead in the soil profil evaluated by DTPA and Mehlich-3 solution. *Bragantia*. 57, 185-882.

Dechamp, C., Meerts, P. 2003. La phytoremédiation : Panacée pour l'environnement ou menace pour la biodiversité ?, *Les Naturalistes belges*, n°82, pp. 135-148.

Di Benedetto, M. 1997. Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation. Dossier SAM 1997. Les métaux lourds. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne. P 49.

Do Nascimento, CWA., et Xing, B. 2006 Phytoextraction: a review on enhanced metal availability and plant accumulation. *Scientia Agricola*. 63: 299-311.

DSA., 2018. Rapport de l'activité agricole de la direction des services agricoles de la wilaya de tébessa.

Dutuit, P., Pourrat, Y., et Dutuit, J M. 1994. La notion de stress de la cellule à l'écosystème. Sécheresse, Vol. 5, N°. 1: 23- 31.

F

Fabrégat, S. 2010. Les métaux lourds : une pollution de long terme : l'air à bout de souffle.

FAO., 2017. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture.

G

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

Gisbert, C., Ros, R., De Haro, A., Walker, DJ., Pilar Bernal, M., Serrano, R., et Navarro-Avino, J. 2003. A plant genetically modified that accumulates Pb is especially promising for phytoremediation. Biochemical and Biophysical Research Communications 303: 440- 445.

Gold, C. 2002. Etude des effets de la pollution métallique (Cd/Zn) sur la structure des communautés de diatomées périphytiques des cours d'eau. Approches expérimentales in situ et en laboratoire. Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I. P. 175.

Gopal, R., et Rizvi, A. 2008. Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. Chemosphere. 70(9): 1539-1544.

H

Hadjiliadis, N. D. 1997. Cytotoxicity, mutagenicity and carcinogenic potential of heavy metals related to human environment. Ed. NATO-ASI Ser. 2. Environment. Vol. 26. Dordrecht.

Holleman, A F et Wiberg, E. 1985. Lehrbuch der Anorganischen Chemie. Berlin-New York. 568-570.

Hopkins, W G. 2003. Physiologie Végétale. Traduction de le 2ème édition américaine par Serge .R. Ed. de Boeck. P 66-81.

Hsu, Y.T et Kao, C.H. 2003. Changes in protein and amino acid contents in two cultivars of rice seedlings with different apparent tolerance to cadmium. Plant Growth Regul.40: 147-155.

Husson, O., Charpentier, H., Michellon, R., Razanamparany, C., Moussa, N., Enjalric, F.K.N., Rakotondramanana., et Seguy, L. 2012. Avoine *Avena sativa* et *Avena strigosa*. Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Volume 3. Chapitre 3.

I

Ildiko, K et Gabor, G. 2000. Osmotic and salt stress induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. Crop Sciences .V40, p 482-487.

Iretskaya, S.N., et Chien, S.H. 1999. Comparison of cadmium intake by five different food grain crops grown on three soils of varying pH. Comm. Soil Sci. Plant Anal., Vol. 30: 441-448.

J

Jana, S., et M, Choudhuri. 1982. "Senescence in submerged aquatic angiosperms: effects of heavy metals." *New Phytologist*. 90: 477-484.

Jemal, F et Ghorbal, M.H. 2002. Phytoremediation, *Revue H.T.E*, n°122. P. 49-60.

Jha, A.B et Dubey, R.S. 2004. Carbohydrate metabolism in growing rice seedlings under arsenic toxicity. *Plant Physiol*. 123: 1029-1036.

Jones, H G., Flowers, T J et Jones, M B. 1989. *Plants under stress*. Cambridge, Cambridge University Press.

G

Gilbert, G., Gadush, M., Wilson, C., Madore, M., 1997. Amino acid accumulation in sink and source tissues of *coleus blumei* benth during salinity stress. *Oxford Journal Of Experimental Botany* .V 49, n° 318, p 107-114.

K

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

Kirpichtchikova, T. 2009. Phytoremédiation par Jardins Filtrants d'un sol pollué par des métaux lourds : Approche de la phytoremédiation dans des casiers végétalisés par des plantes de milieux humides et étude des mécanismes de remobilisation/immobilisation du zinc et du cuivre. Thèse de doctorat. Univ Joseph Fourier - Grenoble I.

Kovalchuk, I., Titov, V., Hohn, B., et Kovalchuk, O. 2005. Transcriptome profiling reveals similarities and differences in plant responses to cadmium and lead. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. 570: 149-161.

Kramer, U. 2005. Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils. *Current opinion in Biotechnology*, Vol. 16: 133-141.

Kumar, P.K., et Singh, R.A. 1991. Germination and metabolism in susceptible and tolerantmung bean genotypes under moisture stress. *Indian J. Plant Physiol*. 34: 267.

Kyung-Min, L., Sujin, K., Ji-Yoon, N., Keunyoung, K., Won-Hee, J., Ok-Nam, B., Seung-Min, C.H., et Jin-Ho, C. 2010. Low-level Mercury Can Enhance Procoagulant Activity of Erythrocytes: A New Contributing Factor for Mercury-related Thrombotic Disease. *Environmental Health Perspectives*. National Institutes of Health U.S. Department of Health and Human Services, College of Pharmacy, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea. P. 32.

L

- Laperche, V., Dictor, MC., Clozel-Leloup, B., et Baranger, Ph. 2004.** Guide méthodologique du plomb, appliqué à la gestion des sites et sols pollués. BRGM/RP-52881-FR.
- Leatherwood, W.R. 2005.** Influence of salt stress on germination, root elongation and carbohydrate content of five salt tolerant and sensitive taxa. A thesis submitted requirements for the degree of master of science. Faculty of North Carolina State University. p13-15.
- Lichtenthaler, H.K. 1987.** Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. P. 148, 350-382.
- Lock, K. 2000.** Health and peri-urban natural resource production. *Environment and Urbanisation*, Vol. 10 (1): 89-106.

M

- Marouf, A., et Reynaud, J. 2007.** La botanique de A à Z. 1662 définitions. Ed Dunod. P. 286.
- Martin, S. 1998.** Sol interface fragile, chapitre : les sources de pollution des sols, INRA. Paris. P. 151, 155.
- Maryem, B. 2017.** Plasticité des génomes pucerons des céréales et de leur plante hôte : Recherche *in silico* et *in vitro* des éléments transposables des superfamilles *Tcl-mariner-IS630-* et *piggyBac*.
- Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, RD., Govindarajan, R., Kuriakose, SV., et Prasad, MNV. 2006.** "Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L[lozenge]. *Plant Physiology and Biochemistry*. P. 44: 25-37.
- Moffat, A.S. 1995.** Plants proving their worth in toxic metal cleanup. *Science* (Washington, DC) 269:302-303.
- Mouffak, AA. 2008.** Etude de la variabilité de la proline sous stress salin chez *Vigna radiata* L. Mémoire de magister. Univ Es-Senia. Oran.
- Mulligan, C.N., Yong, R.N., and Gibbs, B.F. 2001.** Remediation technologies for metalcontaminated soils and ground water: an evaluation, *Engineering Geology*, Vol. 60. P. 193- 207.

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 3emcycle. Biologie Végétale et Environnement, Université Badji Mokhtar – Annaba. P.1.

O

Ottow, E.A., Brinker, M., Teichman, T., Friz, E., Kaiser, W., Brosché, M., Kangasjarvi, J., Jiang, X., Pollé, A. 2005. *Populus euphratica* Displays Apoplastic Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases in Calcium and Soluble Carbohydrates, and Develops Leaf Succulence under Salt Stress. *Plant Physiology* .V139, p 1762-1772.

P

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

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*. P. 52: 199-223.

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

Pena, L.B., Pasquini, L.A., Tomaro, M.L., et Gallego, S.M. 2006. Proteolytic system in sunflower (*Helianthus annuus*L.) leaves under cadmium stress. *Plant Sci*. 171: 531-537.

Pereira, L.B., Tabaldi, L.A., Gonçalves, J.F., Jucoski, J.O., Pauletto, M.M., Weis, S.N., Nicoloso, F.T., Borher, D., Rocha, J.B.T., et Schetinger, M.R.C. 2006. Effect of aluminum on δ -aminolevulinic acid dehydratase (ALAD) and the development of cucumber (*Cucumis sativus*). *Environ Exp Bot*.Vol. 57: 106-115.

Pilon-Smits, E. 2005. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, Vol. 56: 15-39.

Pourrut, B. 2008. Implication du stress oxydatif dans la toxicité du plomb sur une plante modèle *Vicia faba*. Thèse de Doctotrat, Univ de Toulouse. 177P.

Prabha, K., Padmavathiamma, and Loretta, Y. 2007. Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants. *Water Air Soil Pollut*. P.184, 105–126.

R

Rai, V.K., Singh, G., Thakur, P.S., et Banyal, S. 1983. Protein and amino-acid relationship during water stress in relation to drought resistance. *Plant Physiol. Biochem.*, (Suppl.). 10: 161.

Rasmusson, D.C. 1992. Barley breeding at present and in the future. *In Munck L (ed.): Barley Genetics VI, vol. II.* Munksgaard Int. Publ. Ltd., Copenhagen. P. 865-877.

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

Remon, E. 2006. Tolérance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée des friches métallurgiques : vers de nouvelles méthodes de bio-dépollution. Thèse de doctorat. Univ JEAN MONNET.

S

Salt, DE., Blaylock, M., Kumar, NPBA., Dushenkov, V., Ensley, BD., Chet, I., et Raskin, I. 1995. Phytoremediation : a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants of outstanding interest. *Bio-Technology* 13 : 468-474.

Salt, DE., Smith, RD., et Raskin, I. 1998. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Phys* 49: 643-668.

Saxena, A., Saxena, DK., Srivastava, HS. 2003. The Influence of Glutathione on Physiological Effects of Lead and its Accumulation in Moss *Sphagnum squarrosum*. *Water, Air, & Soil Pollution*. 143 : 351-361.

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.

Seregin, IV et Ivanov, VB. 2001. Physiological Aspects of Cadmium and Lead Toxic Effects on Higher Plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 48 : 523-544.

Sharma, P et Dubey, RS. 2005. Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 17 : 35-52.

Sharma, S et Dietz, K. 2006. The significance of amino acids and amino-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. *J. Exp. Bot.* 57: 711-726.

Shraddha, S., Sarita, S., Rohit, S., Kavita, P., Kavita, B., 2004. Translocation of metals and its effects in the tomato plants grown on various amendments of tannery waste: evidence for involvement of antioxidants. *Chemosphere*. 57: 91-99.

Siedlecka, A., et Krupa, Z. 2002. Functions of enzymes in heavy metal treated plants. *In*: *Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants*. Prasad M.N.V. et Strzalka K. (Eds), Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp. 303-324.

Sirodot, g-e. 2016. L'avoine, description, classification, Etude du grain des variétés Françaises et Etrangères, culture.

Souahi, H., Ahlem, G., Zina, G. 2017. Growth and physiological responses of cereals species under lead stress. *International Journal of Biosciences*. 11(1): 266-273.

Stadtman, ER., et Levine, RL. 2000. "Protein Oxidation." *Annals of NY Academy of Science* 899 : 191-208.

Stalt, J.P., Sneller, E.C., Bryngelson, T., Bryngelsson, T., Lundborg, T., Schat, H. 2003. Phytochelatin and cadmium accumulation in wheat. *Environmental and Experimental Botany*. 49: 21- 28.

Sterckeman, T., Douay, F., Proix, N., et Fourrier, H. 2000. Vertical distribution of Cd, Pb, and Zn in soils near smelters in the North of France. *Environmental Pollution* 107: 377- 389.

Surget, A., et Barron, C. 2005. Histologie du grain de blé. *Industrie des céréales*, n. 145, pp. 4-7.

V

Vavasseur, A., Peltier, G., et Bourguignon, J. 2003. Biodépollution, Bioremédiation. Des plantes pour nettoyer les sols et les eaux. *CLEFS CEA.*, Vol. 48: 85-88.

Vavasseur, A., Peltier, G., et bourguignon, J. 2003. Biodépollution, Bioremédiation. Des plantes pour nettoyer les sols et les eaux. *CLEFS CEA- N° 48.* 85-88.

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

W

Wingler, A. 2002. The function of trehalose biosynthesis in plants; *photochemistry* 60: 437-440.

Wong, MH. 2003. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere* 50: 775-780.

X

Xiong, Z., Zhao, F., et Li, M. 2006. "Lead toxicity in *Brassica pekinensis* Rupr: Effect on nitrate assimilation and growth. *Environmental Toxicology* 21: 147-153.

Y

Yruela, I. 2005. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Braz. J. Plant Physiol* 17 : 145-156.

Z

Zheng, L.J., Liu, X.M., Lutz, U., et Peer, T. 2011. Effects of lead and EDTA-assisted lead onbiomass, lead uptake and mineral nutrients in *Lespedeza chinensis* and *Lespedeza davidii*. *Water Air Soil Poll* 220 : 57-68.

Annexe

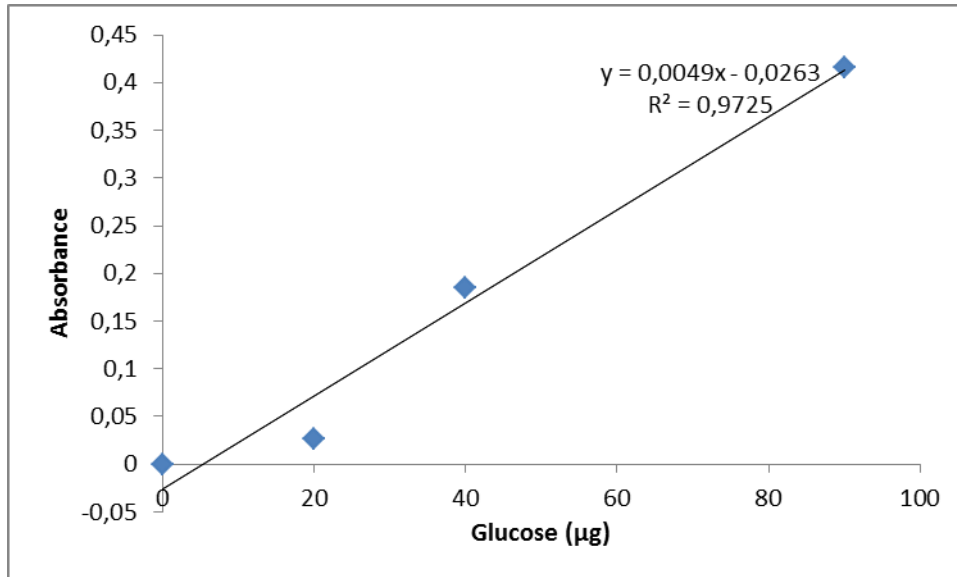


Figure 1. Dosage des échantillons biologiques (sucre foliaire): courbe de référence (droite étalon) exprimant l'absorbance en fonction de la quantité de glucose.

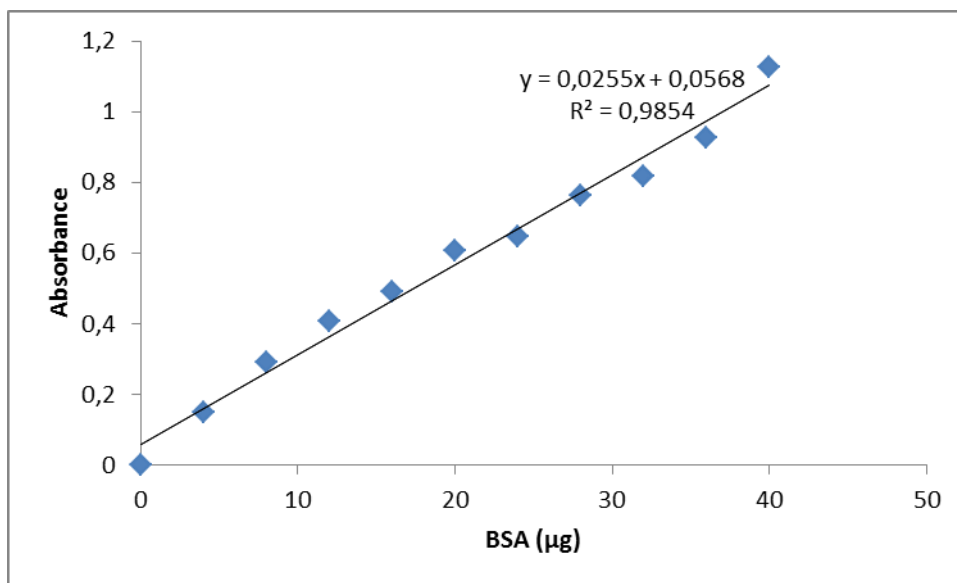


Figure 2. Dosage des échantillons biologiques (protéines foliaires) : courbe de référence (droite étalon) exprimant l'absorbance à 595 nm en fonction de la quantité d'Albumine.

Tableau 1. Matrice de corrélation représentant le coefficient de similarité existant entre les variables étudiés

	Traitement	Ch a	Ch b	Ch t	Car	Prot F	Prot T	Prot R
Ch a	0,049 0,740							
Ch b	-0,051 0,732	0,868 0,000						
Ch t	0,004 0,979	0,969 0,000	0,961 0,000					
Car	0,201 0,171	-0,284 0,051	-0,406 0,004	-0,347 0,016				
Prot F	0,226 0,123	0,157 0,287	0,270 0,064	0,214 0,144	0,328 0,023			
Prot T	0,251 0,085	0,154 0,295	0,285 0,050	0,220 0,132	0,405 0,004	0,813 0,000		
Prot R	0,196 0,182	0,480 0,001	0,239 0,101	0,383 0,007	0,031 0,832	0,040 0,788	-0,025 0,867	
Suc F	-0,054 0,716	0,664 0,000	0,877 0,000	0,789 0,000	-0,402 0,005	0,333 0,021	0,356 0,013	-0,090 0,541
Suc T	0,036 0,808	0,475 0,001	0,781 0,000	0,634 0,000	-0,308 0,033	0,522 0,000	0,528 0,000	-0,198 0,177
Suc R	0,200 0,172	0,195 0,184	0,545 0,000	0,367 0,010	-0,101 0,493	0,475 0,001	0,511 0,000	-0,325 0,024
Suc T	Suc F 0,906 0,000	Suc T						