

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn Badis-
Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN BIOLOGIE

Spécialité : Biodiversité et Environnement

THÈME

Effet du plomb sur les paramètres anatomiques de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)

PRÉSENTÉ PAR :

Ghali Kheira

Ferhi Chahrazed

DEVANT LE JURY :

Président : Mr. Bekada Ahmed Med Ali

Pr

U.Mostaganem.

Rapporteur : Mr. Tahri Miloud

MCB

U.Mostaganem.

Examineur : Mr. Nebbache Salim

MCB

U.Mostaganem.

Thème réalisé au laboratoire de biologie végétale de l'Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

Année Universitaire 2019-2020

Dédicace

Tout ce travail n'aurait pu voir le jour sans les encouragements, l'aide et le soutien inconditionnel de mes familles Ferhi, Lamraoui et Damene.

Merci de m'avoir accompagné, soutenu et essayé de comprendre mes travaux. Un immense merci à mon père, ma mère et ma grande mère et ma tante Khadra et mon frère M'hamed Ali et ma sœur Hanane.

Merci pour votre confiance, votre gentillesse et votre compréhension....

Chahrazad

Dédicace

C'est avec tout l'ardeur de mes sentiments que je dédie ce mémoire :

*Aux êtres les plus chères de ma vie, mon père et ma mère, leur amour a fait de moi ce que je suis
aujourd'hui.*

A mes chères sœurs et mon petit frère et mon fiancé.

*A tous mes amis de promotion de 2^{ème} année Master biodiversité et environnement et toute personne qui
occupe une place dans mon cœur.*

*A tous les membres de ma famille et toutes personnes qui porte le nom GHALI et MEZADJA, je dédie ce
travail à tous ceux qui ont participé à ma réussite.*

Kheira

Remerciement

Au terme de ce travail, On tient à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.

J'ai l'honneur et le plaisir de présenter ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à Notre encadreur Mr. Tahri Miloud, pour sa précieuse aide, ces orientations et le temps qu'elle m'a accordé pour mon encadrement.

Nous remercions par ailleurs vivement les membres du jury de nous avoir fait l'honneur de juger notre travail et d'assister à la soutenance.

Et nous remercions aussi tous les membres du laboratoire de biologie végétale de l'université de Mostaganem.

Et toute la promotion Master 2 Biodiversité et environnement (2019 / 2020).

Finalement, nous remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.

Résumé

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

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

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est d'étudier la potentialité de la *Lycopersicon esculentum* Mill de résister à des doses importantes de plomb et sa capacité de dépolluer un sol contaminé par le plomb. L'étude porte sur l'application de quatre doses de plomb (0 ; 0,03 ; 0,3 ; 3,3g) aux plantes.

L'analyse morphologique de l'application des doses croissantes de plomb au *Lycopersicon esculentum* Mill révèle que ce dernier exerce un effet négatif sur les plantes et qui se traduit par une inhibition de la croissance, où on a enregistré une réduction de la longueur des racines et une diminution de la hauteur des tiges.

Mots clés : plomb, phytoremédiation, Tomate, *Lycopersicon esculentum* Mill, paramètres morphologique.

summary

Lead currently poses significant environmental contamination problems. Plants, due to their immobility, are particularly vulnerable to the deleterious effect of this contaminant.

In recent years, the development of effective techniques for decontaminating polluted sites has become essential. One of them is phytoremediation, which exploits the properties of certain plants to tolerate and accumulate large amounts of heavy metals.

In this context, the objective of this work is to study the potential of *Lycopersicum esculentum* Mill to resist high doses of lead and to clean up soil contaminated with lead. The study focuses on the application of four additional doses of lead (0; 0.03; 0.3; 3.3g) to plants

Morphological analysis of the application of increasing doses of lead to *lycopersicum esculentum* Mill reveals that the latter exerts a negative effect on plants and which results in inhibition of growth, where a reduction in root length was recorded. and a decrease in the height of the stems.

Key words: lead, phytoremediation, *lycopersicum esculentum* Mill, morphological parameters.

ملخص

يشكل الرصاص حاليًا مشاكل تلوث بيئية كبيرة. النباتات ، بسبب عدم حركتها ، معرضة بشكل خاص للتأثير الضار لهذا الملوث.

في السنوات الأخيرة ، أصبح تطوير تقنيات فعالة لإزالة التلوث من المواقع الملوثة أمرًا ضروريًا. أحدها هو المعالجة النباتية ، التي تستغل خصائص بعض النباتات لتحمل وتراكم كميات كبيرة من المعادن الثقيلة.

في هذا السياق ، الهدف من هذا العمل هو دراسة إمكانات *Lycopersicum esculentum* Mill لمقاومة الجرعات العالية من الرصاص وتنظيف التربة الملوثة بالرصاص. تركز الدراسة على تطبيق أربع جرعات إضافية من الرصاص (0 ؛ 0.03 ؛ 0.3 ؛ 3.3 جرام) على النباتات.

يكشف التحليل المورفولوجي لتطبيق جرعات متزايدة من الرصاص على *lycopersicum esculentum* Mill أن الأخير له تأثير سلبي على النباتات مما يؤدي إلى تثبيط النمو ، حيث تم تسجيل انخفاض في طول الجذر. وانخفاض في ارتفاع السيقان.

الكلمات المفتاحية: الرصاص ، المعالجة النباتية ، *Lycopersicum esculentum* Mill ، المعلمات المورفولوجية.

Liste d'abréviations

Al	:	Aluminium
Ca	:	Calcium
Cd	:	Cadmium
Cm	:	Centimètre
Cu	:	Cuivre
Fe	:	Fer
FAO	:	Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
Fig.	:	Figure
g	:	Gramme.
Hg	:	Mercure
Km	:	Kilomètre
Kg	:	Kilogramme
Mn	:	Manganèse
Mm	:	Millimètre
mg	:	Milligramme.
Ni	:	Nickel
Pb	:	Plomb
Zn	:	Zinc
°C	:	Degré Celsius
%	:	pourcent

Liste des tableaux

Tableau 01 : Classification périodique des éléments métalliques analysés	05
Tableau 02 : Principales propriétés physico – chimiques du plomb	08
Tableau 03 : Maladies et parasites de la tomate	18
Tableau 04 : principaux pays producteurs de tomate	19
Tableau 05 : Les résultats moyens de l'évolution de la longueur des tiges (cm) de <i>(Lycopersicon esculentum Mill)</i> en fonction des doses de plomb	34

Liste des figures

Figure 01 : Site d'expérimentation	21
Figure 02 : Graines de la tomate Rio Grand (<i>Lycopersicum esculentum Mill</i>)	21
Figure 03 : Les étapes de la préparation du substrat	22
Figure 04 : Remplissage des pots par le substrat	23
Figure 05 : Dispositif expérimental	23
Figure 06 : les graines mis à germer dans une boîte pétrie	24
Figure 07 : Semis dans des plateaux alvéolés	24
Figure 08 : Le taux de germination des graines de <i>Lycopersicum esculentum Mill</i> (Témoin)	26
Figure 09 : La longueur des tiges de <i>Lycopersicum esculentum Mill</i> (Témoin)	26
Figure 10 : Les longueurs des tiges(Témoin)	27
Figure 11 : L'effet du plomb sur la longueur des tiges de <i>(Lycopersicum esculentum Mill)</i>	28
Figure 12 : Le taux de germination en dose 0,03 g/l du plomb	28
Figure 13 : Les longueurs des tiges en dose 0,03 g/l du plomb	29
Figure 14 : L'effet du plomb sur la longueur des tiges de (<i>Lycopersicum esculentum Mill</i>) En dose 0,3 g/l de plomb	30
Figure 15 : Le taux de germination en dose 0,3 g/l du plomb	30
Figure 16 : Les longueurs des tiges de en dose 0,3 g/l du plomb	31
Figure 17 :L'effet du plomb sur la longueur des tiges de (<i>Lycopersicum esculentum Mill</i>) en dose 3,3 g/l de plomb	32
Figure 18 : Le taux de germination en dose 3,3 g/l du plomb	32
Figure 19 : Les longueurs des tiges en dose 3,3 g du plomb	33

Sommaire

Résumé	
Remerciement	
Dédicaces	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale	01
Chapitre I : Métaux lourds le cas de plomb	
I.1. Généralités sur les métaux lourds.....	04
I.2. Définition des métaux lourds	04
I.3. Origine des métaux présents dans le sol	05
I.3.1. Sources naturelle	05
I.3.2. Sources anthropiques	06
I.4. Répartition des métaux lourds dans l'environnement	06
I.4.1. Contamination des sols	06
I.4.2. Le processus de transfert	06
I.4.3. Répartition des métaux lourds dans les sols	07
I.5. Généralité sur le plomb	07
I.6. Propriétés physico-chimiques du plomb	08
I.7. Origines de la pollution par le plomb	08

I.8. Le plomb dans le sol	09
I.8.1. Bioaccumulation du plomb dans les végétaux	09
I.8.2. Absorption	10
I.8.3. Translocations du plomb des racines vers les parties aériennes	10

Chapitre II : Effets du plomb sur le couvert végétal

II. 1. Mobilité du Plomb dans sol	12
II. 2.Principaux effets du plomb sur les plantes	12
II.2.1. Croissance et morphogénèse	12
II.2.2. Photosynthèse	13
II.2.3. Effets sur la nutrition minérale	13
II.2.4. Stress hydrique	14

Chapitre III : La Tomate

III. 1. Généralité sur la tomate	16
III. 2. Classification botaniques	16
III.3. Histoire	17
III. 4. Culture	17
III. 5. Maladies et parasites de la tomate	18
III.6. Récolte et rendement	18
III. 7. Production	19

Chapitre VI: Matériel et Méthodes

VI.1. Site expérimental	21
VI. 2. Objectif	21

VI. 3. Matériel végétal	21
VI. 4. Dispositif expérimental	22
VI. 5. Conduite de l'essai	24
VI. 5.1. Germination	24
VI. 5.2. Semis	24

Chapitre V : Résultats et Discussions

V.1.a. Taux de germination	26
V.1.b. La longueur des tiges	26
V.2. Effet du plomb sur les paramètres morphologiques de la tomate	28
V.2.1. dose 0.03g/l du plomb	28
V.2.2. dose 0.3g/l du plomb	30
V.2.3. dose 3.3g/l du plomb	32
Conclusion	36

Références bibliographiques.

Introduction générale

Les sols contaminés par le plomb sont très nombreux car cet élément a été utilisé dans des secteurs industriels variés depuis des siècles : canalisations anciennes de distribution des eaux, extraction minière, carburants automobiles, peintures, installations de transformation ou recyclage des déchets, accumulateurs, soudures, sertissage, protection contre les rayonnements, tir et chasse, etc...

La présence de plomb dans les déchets en particulier, peut entraîner une contamination des sols et la réduction des possibilités de valorisation et de recyclage des déchets (compostage de déchets, épandage des boues, valorisation des mâchefers ensortied'incinération...) (**Aghm,1996; Miquel, 2001**). Ce phénomène pose un problème environnemental, car le plomb est classé parmi les métaux potentiellement toxiques (anémie, hypertension artérielle, saturnisme, etc.) pour l'homme (**Pichard, 2002**) et cet élément persistant s'accumule dans les sols (**Baize, 1997**). Une fois le sol contaminé, le plomb peut être transféré aux écosystèmes et donc représenter un danger pour la santé humaine.

La mobilité du plomb dans le sol est généralement considérée comme faible, mais elle dépend des conditions bio-physico-chimiques du milieu: un sol acide et la présence de ligands organiques peuvent favoriser son transfert vers les plantes. En raison de la complexité du système sol-plante des interrogations demeurent encore concernant la compréhension des mécanismes qui gouvernent la mobilité du plomb dans les sols et son absorption par les plantes.

Le plomb accumulé dans le sol de surface peut donc être prélevé par les plantes, et par conséquent contaminer l'homme via la chaîne alimentaire, ce qui constitue un problème sanitaire majeur. En effet, les hommes sont encouragés à consommer de plus en plus de fruits et légumes. Ceux-ci sont riches en vitamines, en éléments minéraux mais surtout en fibres et autres molécules antioxydants qui ont des effets bénéfiques sur la santé humaine. Des travaux de recherche sont donc nécessaires pour répondre aux attentes dans les domaines de la phytoremédiation des sols (**Cunningham et Berti, 1993**) et surtout de la sécurité alimentaire (plantes potagères cultivées dans des jardins proches d'installations industrielles par exemple). En effet, il faut pouvoir s'assurer de l'innocuité des végétaux destinés à être consommés par les êtres humains.

En raison de sa toxicité, les rejets de plomb sont contrôlés de nos jours et les principales utilisations (essence et peinture) sont interdites. Mais le plomb est toujours utilisé pour la

fabrication des batteries et de plus cet élément persistant s'est accumulé dans les horizons de surface des sols en raison de la forte affinité du Pb pour les matières organiques (**Harter et Naidu, 1995; Matos et al. , 2001**). Dans les sols, le plomb peut induire une dégradation de l'activité biologique (**Dumat et al. , 2006**) et de la qualité des eaux et des plantes. En comparaison avec d'autres éléments plus mobiles (Zn et Cu), seulement quelques études concernent les mécanismes du transfert sol-plante du Pb et la phytoremédiation des sols contaminés par le plomb.

Dans ce cadre s'inscrit notre travail qui vise à évaluer l'effet des métaux lourds de cas de plomb su les paramètres anatomiques de la tomate (***Lycopersicum esculentum* Mill.**).

CHAPITRE I

Métaux lourds le cas de plomb

I.1. Généralités sur les métaux lourds

La contamination des sols agricoles par les métaux lourds tels que le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) est de nos jours une question de santé publique et de conservation de l'environnement. Ces métaux sont présents dans les sols à la suite des activités géogéniques (**Baize, 1997**) ou anthropiques telles que le raffinage, la combustion de combustibles fossiles, l'application d'engrais phosphatés, et des boues d'épuration aux sols (**Kabata-pendias, 2001**). Les métaux ne sont pas biodégradables et donc peuvent persister dans le sol pendant de longues périodes. Le Zn, Cu et Pb sont toxiques pour les végétaux et les animaux y compris l'homme (**Kabata-pendias, 2001**).

I.2. Définition des métaux lourds

Le terme de métaux lourds est arbitraire et imprécis. Il est utilisé pour des raisons de simplicité et il recouvre des éléments ayant des propriétés métalliques (ductilité, conductivité, densité, stabilité des cations, spécificité de ligand...) et un numéro atomique > 20 (**Raskin et al. , 1994**). Les métaux lourds sont définis comme étant des éléments chimiques toxiques ayant une densité supérieure à 5g/cm^3 (**Elmsley, 2001**). Sous cette appellation figurent des éléments qui, pour certains, sont effectivement des métaux tels que Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Al... mais aussi des métalloïdes tels que As et Se. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces. Les plus toxiques d'entre eux sont le cadmium, l'arsenic, le plomb et le mercure. Ces éléments sont présents naturellement dans la croûte terrestre et dans tout organisme vivant, à des concentrations variables suivant les milieux et les organismes. Selon les textes législatifs, la pollution par les métaux toxiques (METOX) regroupe huit métaux et un métalloïde (chrome, zinc, cuivre, nickel, plomb, arsenic, cadmium et mercure) (**Koller, 2004**).

Tableau. 1. Classification périodique des éléments métalliques analysés (Belabed, 2010)

CLASSIFICATION PERIODIQUE DES ELEMENTS

- Métaux
- Semi-conducteurs
- Non-métaux
- Gaz nobles
- Lanthanides et actinides

- Li : Solide à 25°C, sous 1 bar
- He : Gaz à 25°C, sous 1 bar
- Br : Liquide à 25°C, sous 1 bar
- Tc : Obtenu par synthèse

	I																	VIII
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Eh	Hs	Mt	Uu	Uu	Uub						

Série des Lanthanides

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70

Série des Actinides

Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102

I.3. Origine des métaux présents dans le sol

Le problème principal avec les métaux lourds comme le plomb, le cadmium, le cuivre et le mercure est qu'ils ne peuvent pas être biodégradés, et donc persistent pendant de longues périodes dans des sols. Leur présence dans les sols peut être naturelle ou anthropogénique.

I.3.1. Sources naturelle

Les métaux lourds sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique (Bourellier et Berthelin, 2009). La concentration naturelle de ces métaux lourds dans les sols varie selon la nature de la roche, sa localisation et son âge. (Baize, 2000). Ce fond pédo-géochimiques local résulte des phénomènes naturels géologiques.

I.3.2. Sources anthropiques

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes. Parmi les activités qui contribuent à l'apport des concentrations dans l'environnement on a: activités pétrochimiques, utilisation de combustibles, transport, incinération de déchet, produits (interrupteurs électriques, amalgames dentaires, éclairages fluorescents), déchets urbains (eaux usées, boues d'épuration, ordures ménagères), agricoles, activités minières, déchets industriels (Monna, 2008)

I.4. Répartition des métaux lourds dans l'environnement

I. 4.1. Contamination des sols

Tous les sols contiennent naturellement des éléments traces métalliques. On parle de contamination d'un sol lorsque sa teneur en élément trace est supérieure à la concentration naturelle, mais sans influence sur la qualité du sol.

La concentration naturelle de l'élément trace dans le sol résulte de son évolution à partir de la roche initiale. On parle de pollution des sols par un élément trace lorsque l'élément trace est présent à une dose constituant une menace pour l'activité biologique ou les fonctions du sol. Les contaminations diffuses, qui affectent les niveaux superficiels des sols, résultent de phénomènes naturels tels que les retombées atmosphériques d'aérosols d'origine volcanique, ou d'actions anthropiques intentionnelles ou non : poussières et dépôts atmosphériques, fertilisants minéraux (cuivre contenu dans les phosphates), pesticides, lisiers et fumiers, boues de stations d'épuration, activités minières, déchets industriel (bâtiments) ou urbains, transports, etc.

I. 4.2. Le processus de transfert

Les précipitations et l'irrigation sont les principales sources d'eau des sols. Une partie est évacuée par évaporation ou ruissellement de surface. Une partie pénètre dans le sol et se dirige alors soit vers les racines des plantes, soit, par gravité, vers les horizons profonds et les nappes phréatiques. Au cours de ces transports, l'eau se charge en éléments en traces dissous.

I.4.3. Répartition des métaux lourds dans les sols

L'étude de la répartition d'un élément trace métallique entre les composants solides s'appelle la spéciation appréhendée par une technique qui porte le nom « d'extraction séquentielle ». La variable déterminante de cette répartition est le degré de solubilité du métal.

- si le métal est soluble, il va passer dans les nappes ou dans la plante.
- s'il est insoluble, il va rester dans le sol.

La solubilité va dépendre de plusieurs facteurs, le plus important est l'acidité du sol.

- Un sol acide facilite la mobilisation. Les métaux lourds ne s'accumulent pas. Ils sont transférés vers les nappes phréatiques et les fleuves ou absorbés par les plantes et présentent alors un risque pour la santé.
- Un sol calcaire contribue à l'immobilisation de certains métaux (certains éléments réagissent différemment, notamment l'arsenic, plus mobile dans un sol calcaire). Il n'y a donc pas de risque immédiat pour la santé. Mais le sol est contaminé durablement et la concentration en métaux lourds augmente avec les années. Ces derniers sont susceptibles d'être rélargis quand l'environnement est modifié. Au niveau des sols, les risques sont divers (transfert vers les nappes phréatiques, biodisponibilité, écotoxicité), et dépendent principalement de la spéciation (degré d'oxydation, mode de complication avec les macromolécules organiques et les constituants minéraux du sol).

I.5. Généralité sur le plomb

Le plomb est présent naturellement dans l'environnement. Cependant, la plupart des concentrations en plomb que l'on trouve dans l'environnement sont le résultat des activités humaines. Il n'y a pas seulement l'essence au plomb qui augmente les concentrations dans l'environnement, d'autres activités telles que les procédés industriels et la combustion des déchets solides, y contribuent aussi (**Stoeckli et al, 1998**).

Le plomb est un élément réputé peu mobile par rapport à d'autres métaux en traces tel que le cadmium (**Bourelrier et Berthelin, 1998**). Son cycle biogéochimique dépend des caractéristiques physico-chimiques du sol. Le plomb tend à former des complexes particulièrement stables. En conséquence, il va être stocké en grande partie dans le sol. Toutefois, une fraction mobile peut être absorbée par les organismes vivants (micro-et méso organismes du sol, végétaux...) et rentrer ainsi dans la chaîne alimentaire.

I.6. Propriétés physico-chimiques du plomb

Le plomb, du latin plumbum, est un métal mou et gris, sans goût ni odeur caractéristique, se trouvant habituellement en petite quantité dans la croûte terrestre. Il appartient au groupe IV b de la classification périodique des éléments. Ses principales propriétés physico-chimiques sont présentées dans le tableau 2 (Sposito et al, 1982). Sa configuration électronique est [Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p² avec deux électrons non appariés sur la dernière couche. Cette configuration électronique autorise les degrés d'oxydation (+2) et (+4), en plus de la forme métal (0).

Tableau .2 . Principales propriétés physico – chimiques du plomb (Sposito et al, 1982)

Symbole	Pb
Numéro Atomique	82
Masse atomique	207,2 g.mol ⁻¹
Point de fusion	327°C
Point d'ébullition	1740°C
Densité	11,35
Configuration électronique	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²
Valence	0, +2, +4
Rayons ioniques	
Pb²⁺	0,94 à 1,49 Å
Pb⁴⁺	0,78 à 0,94 Å

I.7. Origines de la pollution par le plomb

Le plomb retrouvé dans l'environnement provient à la fois de sources naturelles et anthropiques. Le métal est présent dans le sol, eau et air. Le plomb est naturellement présent en moyenne à 0,002% dans la croûte terrestre (36^{ème} élément de la croûte terrestre). Les sols non contaminés contiendraient de 10 à 30 mg.kg⁻¹ (Nriagu, 1978 ; Baize, 2002). A l'état naturel, le Pb se retrouve dans l'environnement sous forme de galène (sulfure de Pb), de cérusite (carbonate de Pb), et d'anglésite (sulfate de Pb). La forme la plus abondante est la galène, la cérusite et l'anglésite apparaissent lors de l'oxydation de la galène (Brunet, 2008).

La majorité du plomb contenue dans l'air ambiante provient de la combustion de l'essence plombée, en milieu urbain environ 90% du plomb est émis dans l'atmosphère par le gaz d'échappement mais la pollution de l'air par le Pb a considérablement diminué depuis l'arrêt des essences plombées, (Source CITEPA traitement OPECST). A ce jour, les principales sources de contaminations en Pb sont les rejets anthropiques. Ils proviennent principalement

des industries qui extraient et purifient le Pb naturel et qui recyclent les composants contenant du Pb comme les batteries et leurs retombées atmosphériques contaminent les sols. A ceci s'ajoute les déchets industriels et la détérioration des peintures extérieures à base de Pb. Des rejets provenant des industries sidérurgiques ainsi que les réseaux de canalisations de distribution d'eau anciennes, contenant du Pb, contaminent les eaux (**Pichard, 2002**).

I.8. Le plomb dans le sol

On peut trouver le plomb dans le sol sous forme ionique, dissoute, ou liée plus ou moins fortement aux particules. Leur accumulation provenant des retombées atmosphériques, ou de déchets contaminés déposés sur le sol, se fait principalement dans les horizons de surface (**Sterckeman et al. , 2000**) et plus précisément dans les horizons riches en matières organiques.

Les teneurs en Pb diminuent, ensuite, plus en profondeur (**Abreu et al, 1998**), ceci s'explique par le fait que le Pb est peu mobile. Etant donné que le Pb⁺² se lie facilement aux particules du sol, les quantités de Pb⁺² accumulées dans les sols diffèrent selon la composition, notamment en argile, sable et matière organiques du sol (**Brunet., 2008**). Les sols non contaminés contiendraient de 10 à 30 mg Pb kg⁻¹ de sol sec ; des teneurs en plomb supérieures à 110 mg Pb kg⁻¹ sont considérées comme des anomalies (**Laperche et al, 2004**).

I.8.1. Bioaccumulation du plomb dans les végétaux

Le plomb est absorbé passivement par les racines et est rapidement immobilisé dans les vacuoles des cellules racinaires ou retenu par les parois des cellules de l'endoderme. Son accumulation depuis le sol est assez limitée (**Cobb et al. 2000**). La quantité de matière organique présente dans le sol et le pH du sol ont une certaine influence sur l'absorption du plomb par les plantes. L'excès de plomb dans les plantes induit des troubles physiologiques et biochimiques diminuant la photosynthèse et la transpiration induisant ainsi un retard de croissance (**Allowy, 1995**).

I.8.2. Absorption

Au départ, le Pb^{2+} présent dans la solution du sol se lie aux groupements carboxyle de l'acide uronique composant le mucilage autour des racines (**Sharma et Dubey, 2005**). Ce mucilage permet donc de restreindre le passage du plomb à l'intérieur des cellules racinaires, et constitue ainsi une protection du système racinaire. Une fois adsorbé à la surface des racines, la voie apoplastique pourrait être une voie importante pour le plomb qui peut être immobilisé par les charges négatives des parois cellulaires.

Il aurait donc tendance à s'accumuler dans l'espace libre, étant fortement lié aux groupements carboxyliques des composés pectocellulosiques des parois. Des études ont montré que le plomb est majoritairement présent dans l'apoplaste et que seule une faible proportion pénètre dans l'endoderme (**Tung et Temple, 1996**).

I.8.3. Translocations du plomb des racines vers les parties aériennes

Après l'absorption par les racines, la translocation correspond au transfert des éléments traces métalliques vers les parties aériennes. Elle peut varier considérablement en fonction du métal, mais également de l'espèce végétale. Pour être conduits vers les parties aériennes, les éléments prélevés dans le sol par les racines doivent être transportés dans le cortex puis déversés dans les vaisseaux du xylème (par circulation de la sève brute). Ce flux d'ions métalliques dans le xylème nécessite leur chélation à des acides organiques (tels que le citrate) ou à des acides aminés. Pour la plupart des espèces, la majorité du plomb absorbé par les plantes réside dans les racines, et seulement une faible proportion est transloquée vers les parties aériennes. Ce transport limité des racines vers les feuilles peut être expliqué par la barrière formée par l'endoderme des racines. (**Briat et Lebrun, 1999**).

CHAPITRE II

Effet du plomb sur le couvert végétal

II. 1. Mobilité du Plomb dans le sol

La mobilité du plomb dans le sol est généralement considérée comme faible, mais elle dépend des conditions bio-physico-chimiques du milieu: un sol acide et la présence de ligands organiques peuvent favoriser son transfert vers les plantes. En raison de la complexité du système sol-plante des interrogations demeurent encore concernant la compréhension des mécanismes qui gouvernent la mobilité du plomb dans les sols et son absorption par les plantes.

Le plomb accumulé dans le sol de surface peut donc être prélevé par les plantes, et par conséquent contaminer l'homme via la chaîne alimentaire, ce qui constitue un problème sanitaire majeur. En effet, les hommes sont encouragés à consommer de plus en plus de fruits et légumes. Ceux-ci sont riches en vitamines, en éléments minéraux mais surtout en fibres et autres molécules antioxydants qui ont des effets bénéfiques sur la santé humaine. Des travaux de recherche sont donc nécessaires pour répondre aux attentes dans les domaines de la phytoremédiation des sols (**Cunningham et Berti, 1993**) et surtout de la sécurité alimentaire (plantes potagères cultivées dans des jardins proches d'installations industrielles par exemple). En effet, il faut pouvoir s'assurer de l'innocuité des végétaux destinés à être consommés par les êtres humains.

II. 2.Principaux effets du plomb sur les plantes

II. 2.1. Croissance et morphogénèse

Globalement, le plomb affecte la croissance et la morphogénèse des plantes, en perturbant de très nombreux mécanismes physiologiques. Il inhibe fortement la germination et la croissance des plantes (**Wierzbicka et al, 1998**), entraînant la formation de plantes de taille réduite (**Mishra et Chouduri, 1998**).Le plomb affecte considérablement la morphologie des racines, en diminuant la taille des racines primaires ainsi qu'en réduisant le nombre de racines secondaires.

L'inhibition de la division et de l'élongation cellulaire sont les phénomènes les plus souvent reportés pour expliquer ces effets du plomb sur les racines (**Seregin et Ivanov, 2001 ; Malkowski et al, 2002 ; Patra et al ,2004 ; Kopittke et al, 2007; Cecchi, 2008**).

II.2.2. Photosynthèse

L'inhibition de la photosynthèse est un des effets bien connus du Pb sur la plante (**Islam et al, 2008**). Parmi les causes de l'altération de la photosynthèse, on peut citer une augmentation de l'activité de la chlorophyllien et, par conséquent, une dégradation des pigments chlorophylliens, en particulier, de la chlorophylle b qui est plus sensible que la chlorophylle a (**Liu et al., 2009**). Il a été aussi montré qu'il existait une inhibition de la synthèse des pigments chlorophylliens (**Cenkci et al., 2010**). L'affinité du Pb pour les protéines de la membrane entraîne, à des concentrations en Pb élevées, une déformation et une destruction de l'ultra structure des chloroplastes (**Islam et al., 2008**).

De plus, parmi les facteurs qui vont inhiber la photosynthèse, on peut citer l'inhibition des enzymes du cycle de Calvin par le Pb (**Liu et al, 2008**) ainsi que le remplacement par le Pb d'ions essentiels tels que le Mn et le Fe (**Chatterjee et al, 2004 ; Cecchi, 2008**)

II. 2.3. Effets sur la nutrition minérale

Le plomb affecte la nutrition minérale, en perturbant le prélèvement et le transport des nutriments par la plante, tels que Ca, Fe, Mg, Mn, P et Zn en bloquant leur entrée ou en se liant à eux, les rendant indisponibles pour les plantes (**Xiong, 1997**). Il a été montré, chez plusieurs plantes exposées au Pb, une diminution dans les feuilles de la concentration en cations divalents comme le Zn^{2+} , le Mn^{2+} , le Ca^{2+} et le Fe^{2+} (**Seregin et al, 2004; Chatterjee, 2004 ; Kopyitke et al, 2007; Cecchi, 2008**). Cette diminution pourrait être due à une compétition entre le Pb et certains ions de taille équivalente au niveau des transporteurs membranaires. En effet, le Pb, qui a quasiment le même rayon que le K^+ , pourrait emprunter les canaux potassiques pour entrer dans la cellule (**Sharma et Dubey, 2005**).

Le plomb affecte aussi le métabolisme azoté en diminuant le prélèvement de nitrate et en perturbant le fonctionnement de la nitrate réductase (**Seregin et Ivanov, 2001; Cecchi, 2008**).

II. 2.4. Stress hydrique

Le plomb peut également affecter l'état hydrique de la plante, en provoquant un stress hydrique, notamment par la fermeture des stomates. Cette fermeture des stomates a un impact sur divers processus dans la cellule, tel que la photosynthèse, en induisant une déficience en CO₂.

Le stress hydrique s'exprime également par une réduction de la surface foliaire, ainsi que globalement de tous les organes sièges de la transpiration, afin de limiter les pertes en eau. On observe ensuite un flux transpiratoire diminué, une pression osmotique plus faible ou un potentiel hydrique réduit dans le xylème. Le plomb provoque une perte globale de turgescence et de plasticité, et enfin une réduction globale du contenu en eau de la plante (**Parys et al, 1998**).

CHAPITRE III

La Tomate

III. 1. Généralité sur la tomate

La tomate est une solanacée annuelle, buissonnante produisant des grappes de fruit rouges (quelque fois jaune), très demandé en toute saison de l'année pour la consommation fraîche et qui font l'objet d'une importante conserverie. La plante est cultivée, en plain champ ou sous abri, sous presque toutes les latitudes, sur une superficie d'environ trois millions d'hectares, ce qui représente près du tiers des surfaces mondiales consacrées aux légumes, (**Gonde et al. , 1968**).

III. 2. Classification botaniques

La tomate fait partie du :

Règne : Plantae

Sous règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous classe : Asteridae

Ordre : Solanales

Famille : Solanaceae

Genre : Solanum

Il existe des variétés diverses de tomate, nous citons quelques unes :

L'espèce **Solanum lycopersicum** compte plusieurs variétés botaniques, **Solanum lycopersicum esculentum** à gros fruits, c'est la tomate cultivée de laquelle découlent presque toutes les variétés trouvées sur le marché et **Solanum lycopersicum cerasiforme**, la tomate cerise, c'est la seule forme sauvage du genre rencontrée aussi en dehors de l'Amérique du sud (**Rick, 1986**). Connue dans les Antilles et en Guyane françaises sous le nom de tomadose il est possible que la tomate cultivée ait été domestiquée à partir de cette forme sauvage.

III.3. Histoire

La tomate est originaire des régions andines côtières du nord-ouest de l'Amérique du sud (Colombie, Equateur, Pérou, nord du Chili). C'est en effet seulement dans ces régions qu'on a retrouvé des plantes spontanées de diverses espèces de l'ancien genre *Lycopersicon*, notamment ***Solanum lycopersicon cerasiforme***, la tomate cerise. Cette dernière est actuellement répandue dans toutes les régions tropicales du globe mais il s'agit d'introductions récentes. La première domestication de la tomate à gros fruits est vraisemblablement intervenue dans le Mexique actuel, où l'ont trouvée les conquérants espagnols en 1519.

On ne sait pas comment la tomate a migré du Pérou au Mexique, peut-être par le truchement d'oiseaux migrateurs. Bernardino de Sahagun dans son histoire générale des choses de la Nouvelle-Espagne rapporte que les Aztèques préparaient une sauce associant les tomates avec du piment et des graines de courge (**Harlen, 1987**).

III. 4. Culture

La tomate est une plante de climat tempéré chaud. Sa température idéale de croissance se situe entre 15 °C (la nuit) et 25 °C (le jour). Elle craint le gel et ne supporte pas les températures inférieures à +2 °C, elle demande une hygrométrie moyenne, sa période de végétation est assez longue : il faut compter jusqu'à cinq à six mois entre le semis et la première récolte. La multiplication se fait par semis, opération qu'il faut faire assez tôt, vers février-mars, et donc sous abri en climat tempéré (en serre ou sous châssis vitré). Les jeunes plants obtenus sont à repiquer entre le 15 avril et le 15 mai, sitôt que la période des gelées est passée. Il est nécessaire de les tuteurer, sauf pour les variétés à croissance déterminée pour lesquelles on prévoit seulement un paillage. C'est une culture très exigeante, qui demande un sol profond et bien fumé, et la possibilité d'irrigation.

III. 5. Maladies et parasites de la tomate

Les cultures de tomates peuvent être affectées par diverses attaques de ravageurs (insectes, acariens, nématodes, etc.) et de maladies cryptogamiques, bactériennes ou virales, par la concurrence de mauvaises herbes et par des accidents de végétation ou des agressions abiotiques, dont l'importance varie selon le type de culture et les conditions climatiques. Ravageurs et maladies de la tomate sont souvent communs à d'autres espèces de solanacées cultivées, comme l'aubergine ou le tabac (Itcmi, 1994)

Tableau .3. Maladies et parasites de la tomate (Itcmi, 1994)

Désignation des maladies	Traitement et mesures à adopter	Produit et doses à utiliser
Botrytis Cinerea : Efflorescence grisâtre sur parties aériennes Tache circulaires sur les fruits	pulvérisation	Benomyl : 60gr/1.300gr/ha
Mildiou de la tomate	Pulvérisation préventive sur les jeunes plants et cultures	Manebe : 2kg/ha
Maladies à virus Mosaïque de la tomate et du tabac, mosaïque de pomme de terre	Lutte soignée contre les pucerons ; Ne pas cultiver les tomates au bord de pomme de terre, concombre et tabac	BROMOPKKOS1.51 à 21/ha
Parasite et insectes	pulvérisations	
Nématodes	Désinfection du sol, il existe des variétés résistantes	Dazomet:(500 à 600kg/ha)
Pucerons : déformation des feuilles	Pulvérisation	Methomyl : 700g/ha

III.6. Récolte et rendement

La cueillette se fait au fur et à mesure de la maturité, de juin-juillet on l'effectue à maturité complète pour consommation immédiate ou pour l'expédition quand le fruit est encore rose, les rendements sont de 40 à 60 tonnes par hectare. (Gonde et al. , 1968)

III. 7. Production

La tomate est cultivée dans de nombreux pays du monde (170 selon la FAO) et sous divers climats, y compris dans des régions relativement froides grâce au développement des cultures sous abri. La Chine est de loin le premier producteur mondial avec un peu plus du quart du total (33,6 millions de tonnes), production destinée essentiellement (environ 85%) au marché intérieur pour la consommation en frais. Sur la période 1961. 2007, la production mondiale a été multipliée par près de 4, passant de 27,6 à 102,2 millions de tonnes. Cette évolution a été particulièrement forte en Asie, ainsi la Chine a multiplié sa production par 7 dans la même période, l'Inde par 18,5. (Syngenta, 2009).

Tableau. 4 .principaux pays producteurs de tomate (FAO STAT 2007 in Giove et Abis)

Année 2007	Surface cultivée (milliers d'hectares)	Rendement (Tonnes par hectare)	Production (milliers de tonnes)
Chine	1455	23,1	33645
Etats Unis	175	65,7	11500
Turquie	270	36,7	9920
Inde	479	17,9	8586
Egypte	194	37,9	7550
Italie	118	51,0	6026
Iran	140	35,7	5000
Espagne	56	65,0	3615
Brésil	57	59,4	3364
Mexique	130	22,3	2900
Russie	158	15,1	2393
Ukraine	80	19,0	1520
Grèce	27	54,7	1450
Ouzbékistan	57	23,2	1327
Chili	20	65,1	1270
Maroc	20	57,0	1140

CHAPITRE IV

Matériel et Méthodes

IV.1. Site expérimental

Le travail a été réalisé dans une serre en verre non contrôlée de l'atelier agricole de Mazagran, situé à environ 5 km de la ville de la wilaya de Mostaganem (Fig.1).



Figure.1. Site d'expérimentation.

IV. 2. Objectif

L'objectif de ce travail porté sur l'effet toxique des métaux lourds ; le cas du plomb sur les paramètres anatomiques de la tomate.

IV. 3. Matériel végétal

La variété de la tomate (**Lycopersicum esculentum Mill**) choisie dans notre travail est Rio Grand(Fig.2). Elle est utilisée par les agriculteurs de la région de Mostaganem.



Figure.2. Graines de la tomate Rio Grand (**Lycopersicum esculentum Mill**)

IV. 4. Dispositif expérimental

Le sable récupéré au bord de la plage de la wilaya de Mostaganem est tamisé préalablement par un tamis à maille de 2 mm après il a subit plusieurs traitements successifs. (Avec l'eau de robinet, HCl, Eau distillé.)(Fig.3)

Les pots utilisés ont 25 cm de hauteur et 15 cm de diamètre. Ils sont tapissés au fond par du gravier pour assurer le drainage suivi par un remplissage d'un substrat constitué d'un mélange de sable et de terreux à raison de 2 V/V respectivement. Les composants du substrat sont bien mélangés afin de les homogénéiser. (Fig.4.5)



(1) : Tamisage du sable



(2) : Traitement avec HCL



(3) : Rinçage à l'eau



(4) : Séchage du sable à l'air libre



(5) : Le substrat (le sable avec le terreau)

Figure.3. Les étapes de la préparation du substrat.



(1) : Tapisser le fond du pot par le gravier

(2) : Remplissage du pot par le substrat

Figure.4. Remplissage des pots par le substrat.



Figure.5. Dispositif expérimental

IV. 5. Conduite de l'essai

IV. 5.1. Germination

Les graines de la tomate sont désinfectées durant 5 min dans une solution à 50% d'hypochlorite de sodium. Puis elles sont mis à germer dans des boites de pétri tapissées de papier filtre imbibé d'eau distillé (témoin). La germination est réalisée à l'obscurité et à 25°C(**Fig.6**).

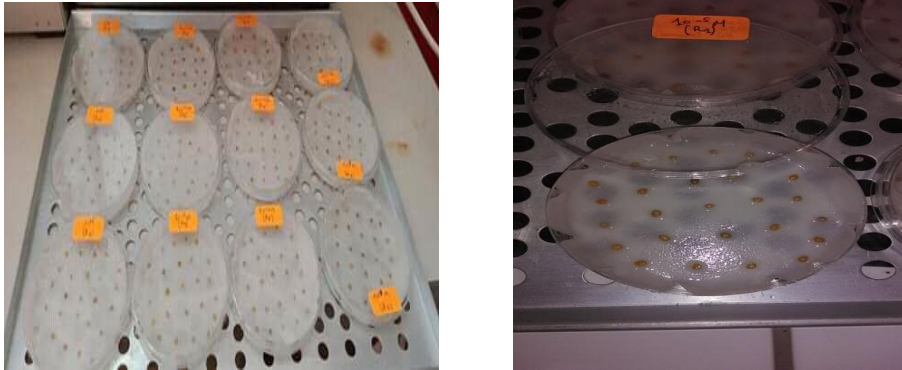


Figure.6.les graines mis à germer dans une boite pétri.

IV. 5.2. Semis

L'expérimentation a été menée dans une serre non contrôlée (Température, humidité).

Les graines sont semées dans des plateaux alvéolés (**Fig.7**) dans la tourbe à raison 1 plant/alvéole pendant une période de 20 jours à 25 °C pour assurer une bonne germination.



Figure.7. Semis dans des plateaux alvéolés

CHAPITRE V

Résultats et discussion

V. 1. a .Taux de germination

Le taux de germination est le rapport des graines germées sur les graines semées.

La figure(8) représente le taux de germination obtenu (38%) par les graines de la variété (*Lycopersicum esculentum Mill*)

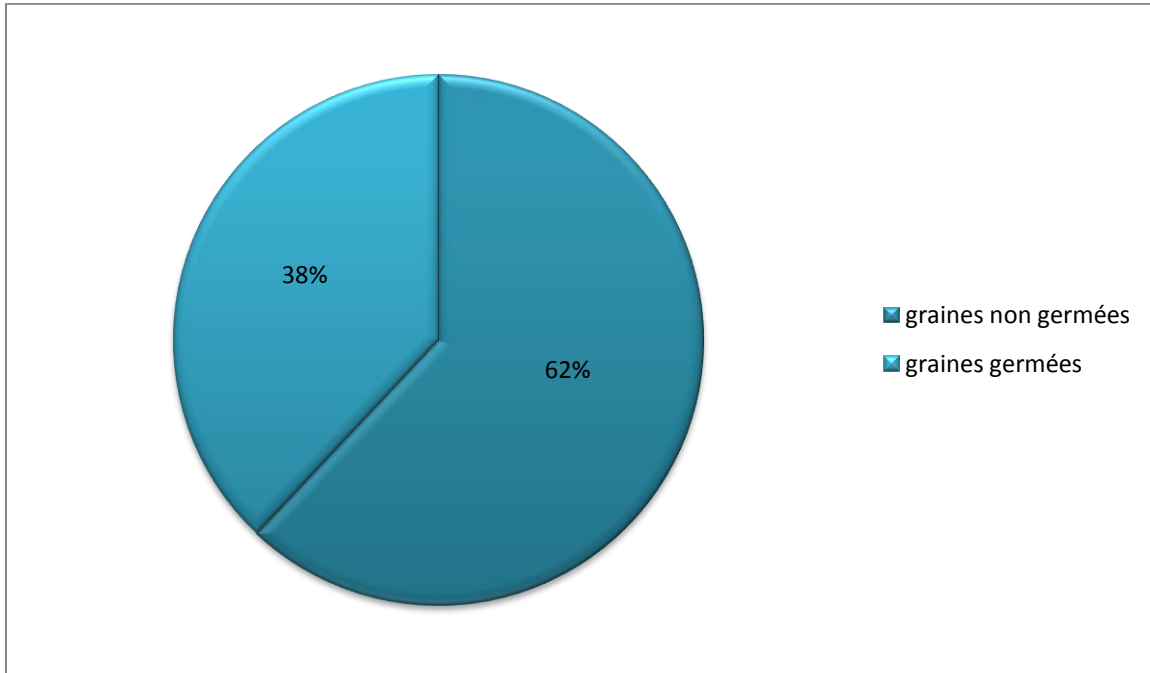


Figure. 8. Le taux de germination des graines de *Lycopersicum esculentum Mill* (Témoin).

V.1.b. La longueur des tigelles

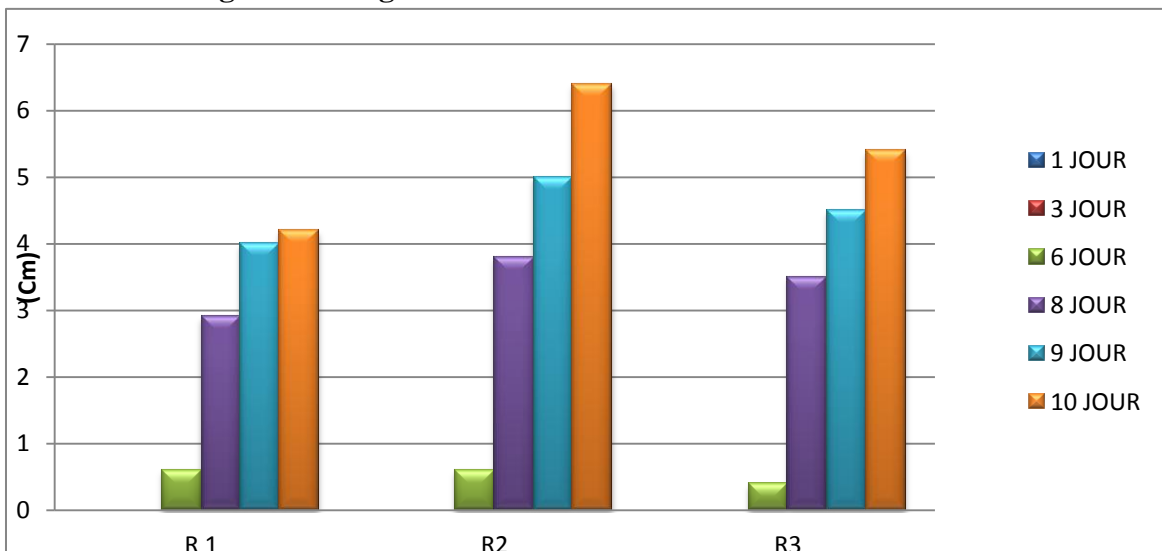


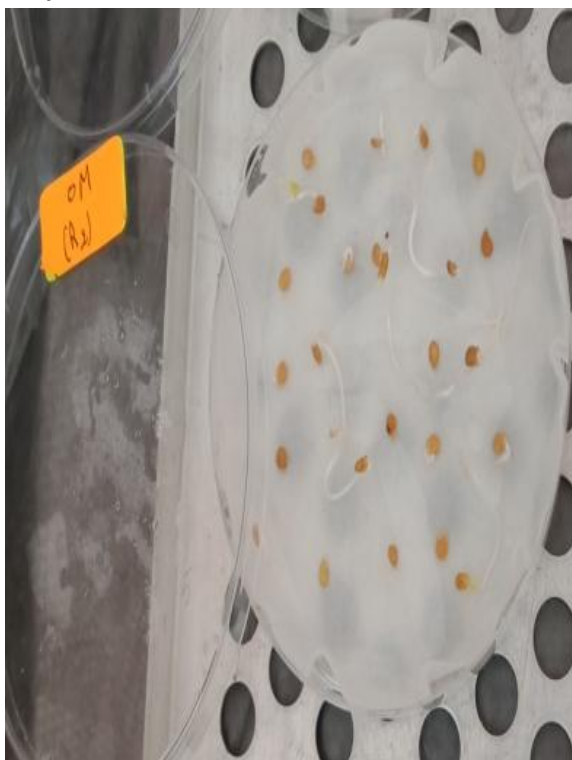
Figure. 9 .La longueur des tigelles de *Lycopersicum esculentum Mill* (Témoin).



6^{ém} jour



8^{ém} jour



9^{ém} jour



10^{ém} jour

Figure. 10 .les longueurs des tiges (témoins).

V.2. Effet du plomb sur les paramètres morphologiques de la tomate

V.2.1. dose 0.03g/l du plomb

a. La longueur des tiges

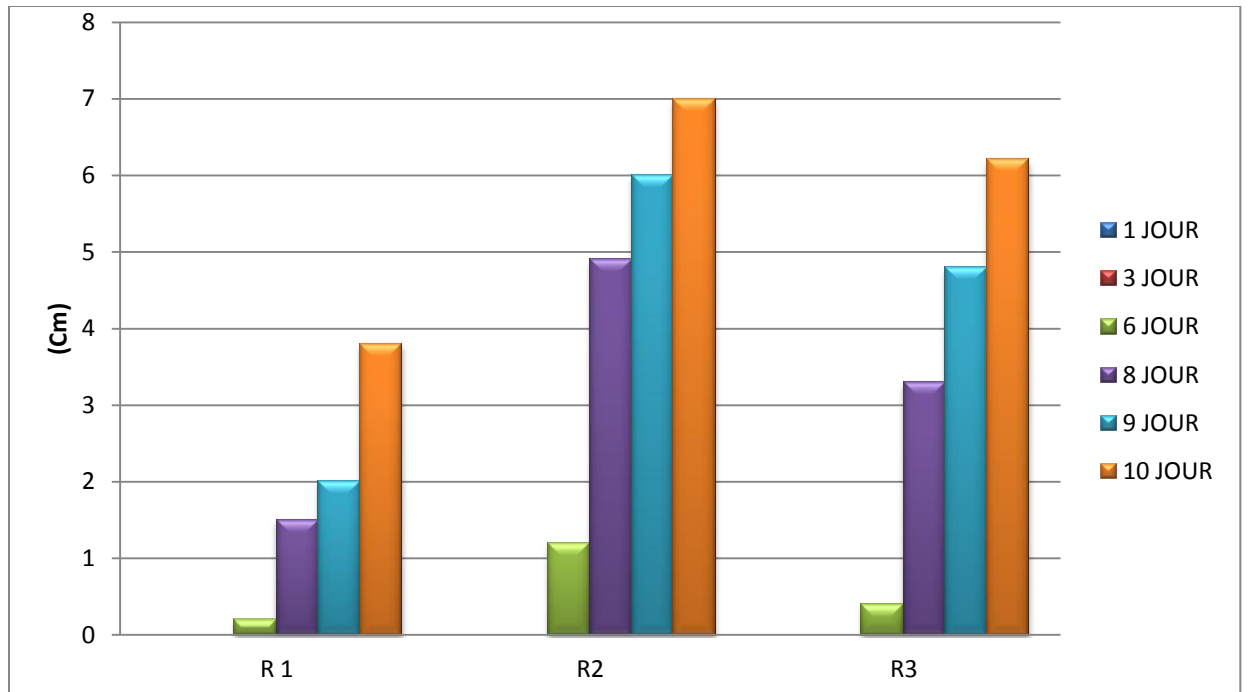


Figure. 11. L'effet du plomb sur la longueur des tiges de *Lycopersicum esculentum* Mill en dose 0.03 g/l de plomb.

- Selon la figure (11) on remarque que la longueur des tiges sous l'effet du plomb a enregistré une diminution avec une légère augmentation par rapport au témoin pour la dose de 0,03 g/l.
- Et le taux des graines germées sous l'effet de 0.03g/l du plomb est diminué par rapport au graines témoins.

b. Taux de germination

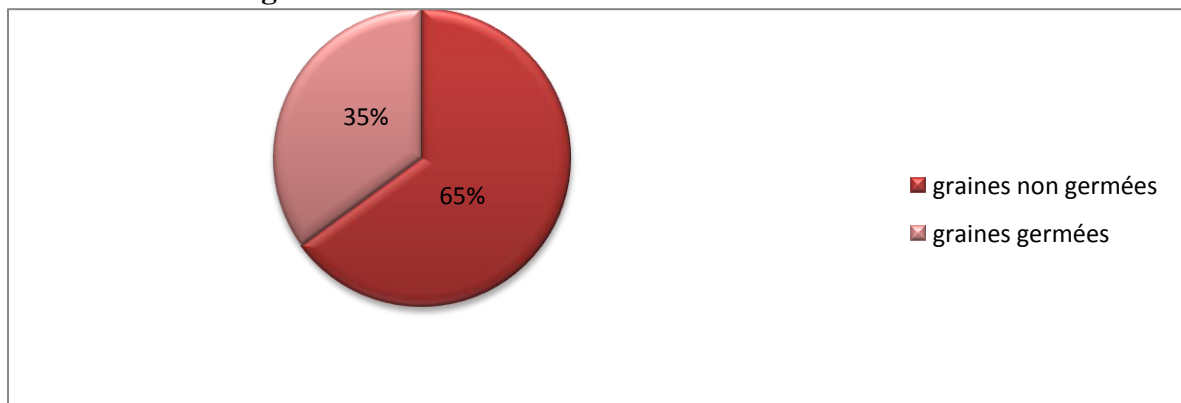


Figure. 12. le taux de germination en dose 0,03 g/l du plomb.



6^{em} jour



8^{em} jour



9^{em} jour



10^{em} jour

Figure. 13. les longueurs des tigelles en dose 0,03 g/l du plomb.

V.2.2. dose 0.3g/l du plomb

a. La longueur des tigelles

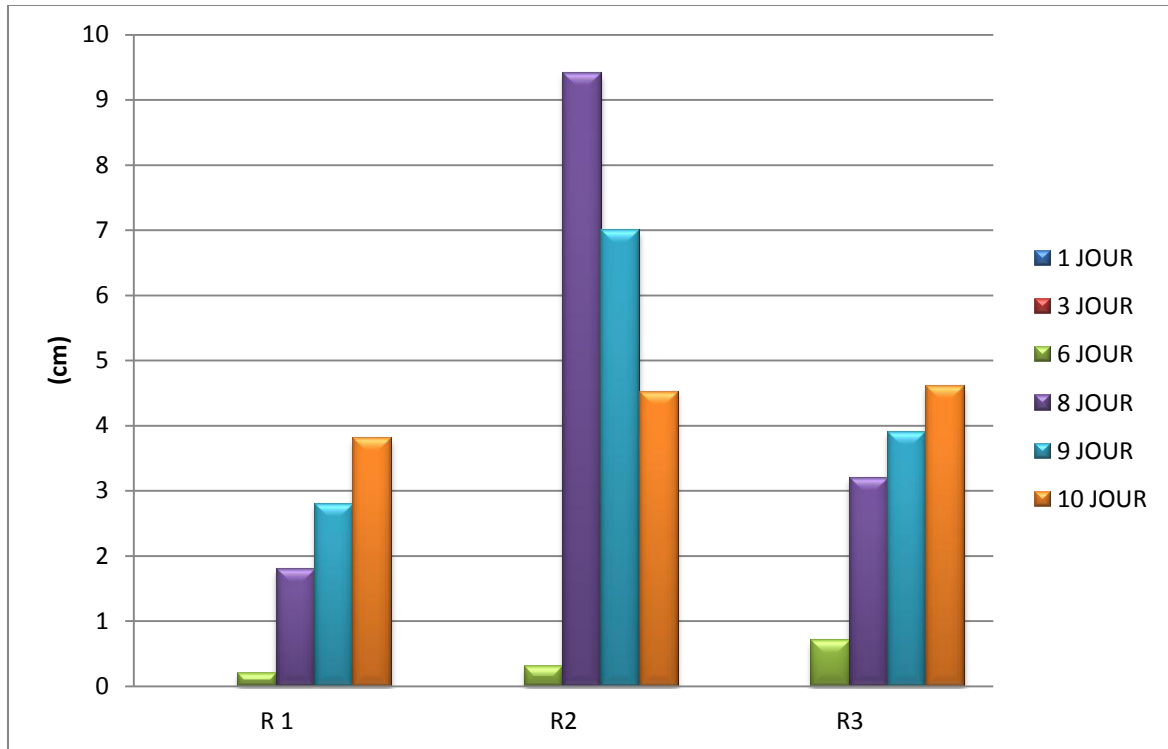


Figure. 14. L'effet du plomb sur la longueur des tigelles de *Lycopersicum esculentum* Mill en dose 0.3 g/l du plomb.

- D'après la figure (14) on remarque que la longueur des tigelles sous l'effet du plomb a enregistré une diminution avec une augmentation (9.4cm) par rapport au témoin pour la dose de 0.3g/l.
- comparativement aux graines témoins, les graines stressées au 0.3g/l du plomb enregistrent un taux de germination élevé (40%).

b. Taux de germination

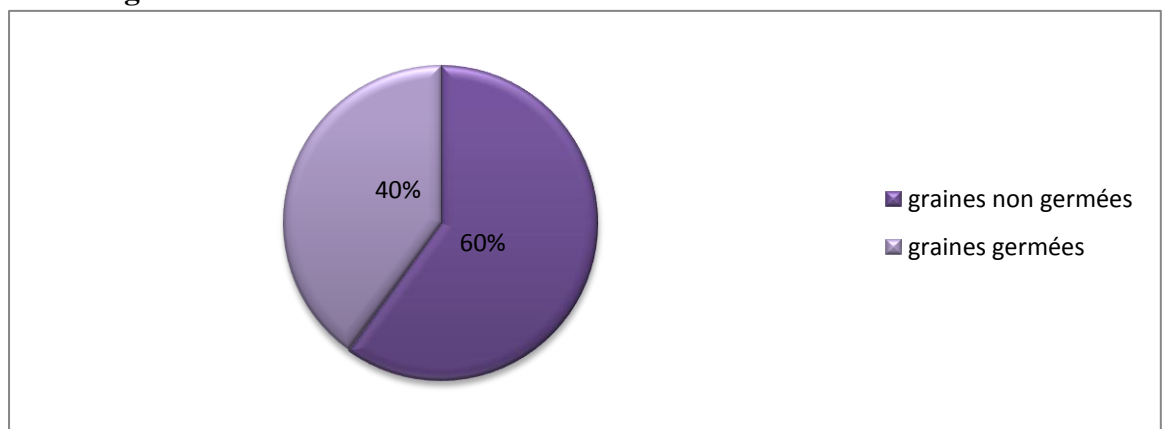


Figure. 15. le taux de germination en dose 0,3g/l du plomb.



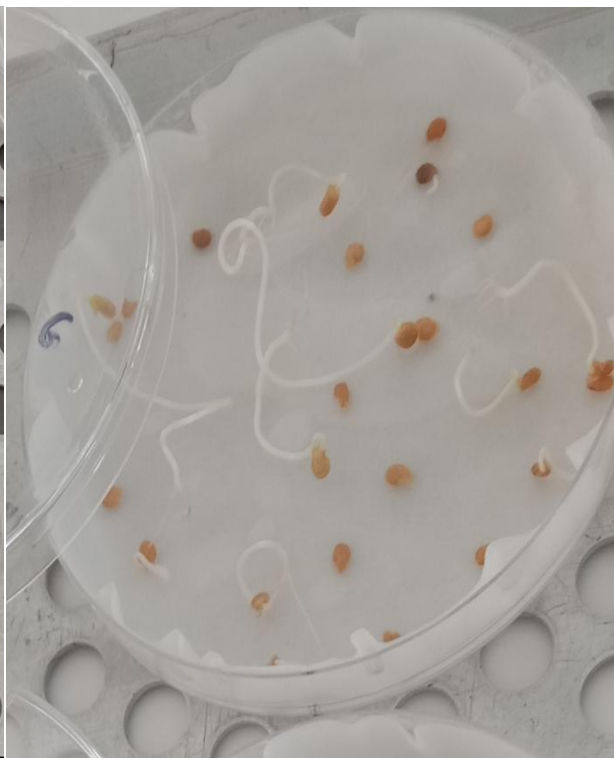
6^{em} jour



8^{em} jour



9^{em} jour



10^{em} jour

Figure. 16. Les longueurs des tigelles a dose 0,3g/l du plomb.

V.2.3. dose 3.3g/l du plomb

a. La longueur des tiges

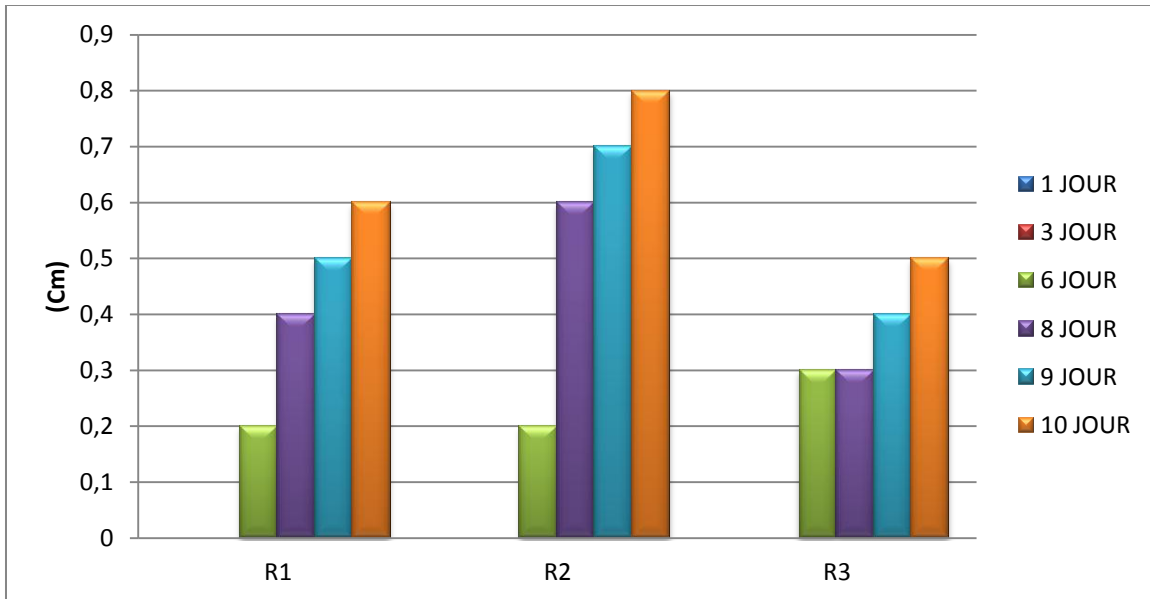


Figure.17. L'effet du plomb sur la longueur des tiges de *Lycopersicum esculentum* Mill en dose 3.3 g/l de plomb.

- L'analyse de la **figure (17)** montre que la longueur des tiges sous l'effet du plomb a enregistré une grande diminution (0.8cm) par rapport au témoin pour la dose de 3.3g/l du plomb.
- De plus, le taux de germination a beaucoup diminué par rapport au témoin pour la dose de 3.3g/l du plomb.

b. Taux de germination

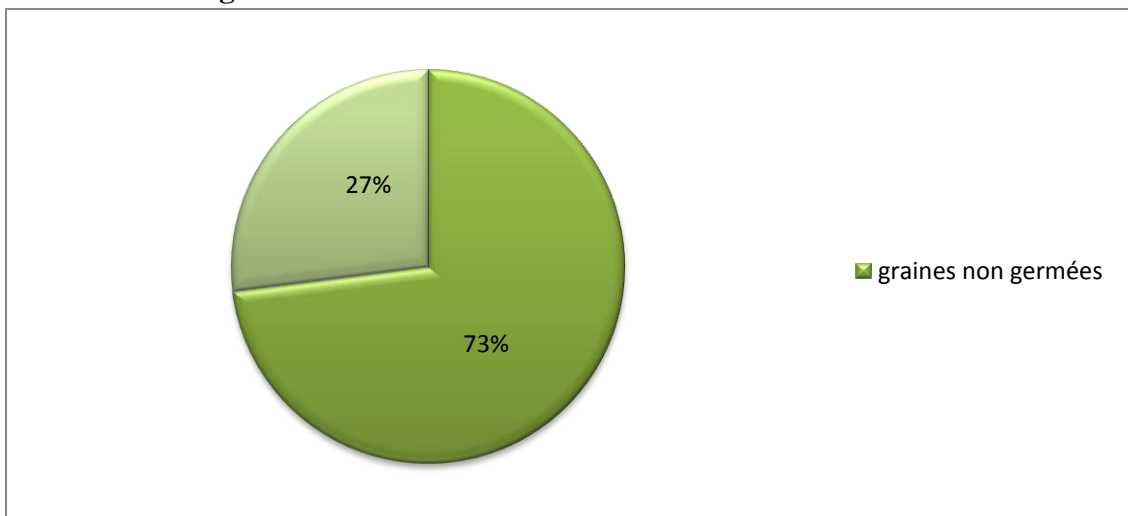


Figure. 18. Le taux de germination en dose 3,3 g/l du plomb.

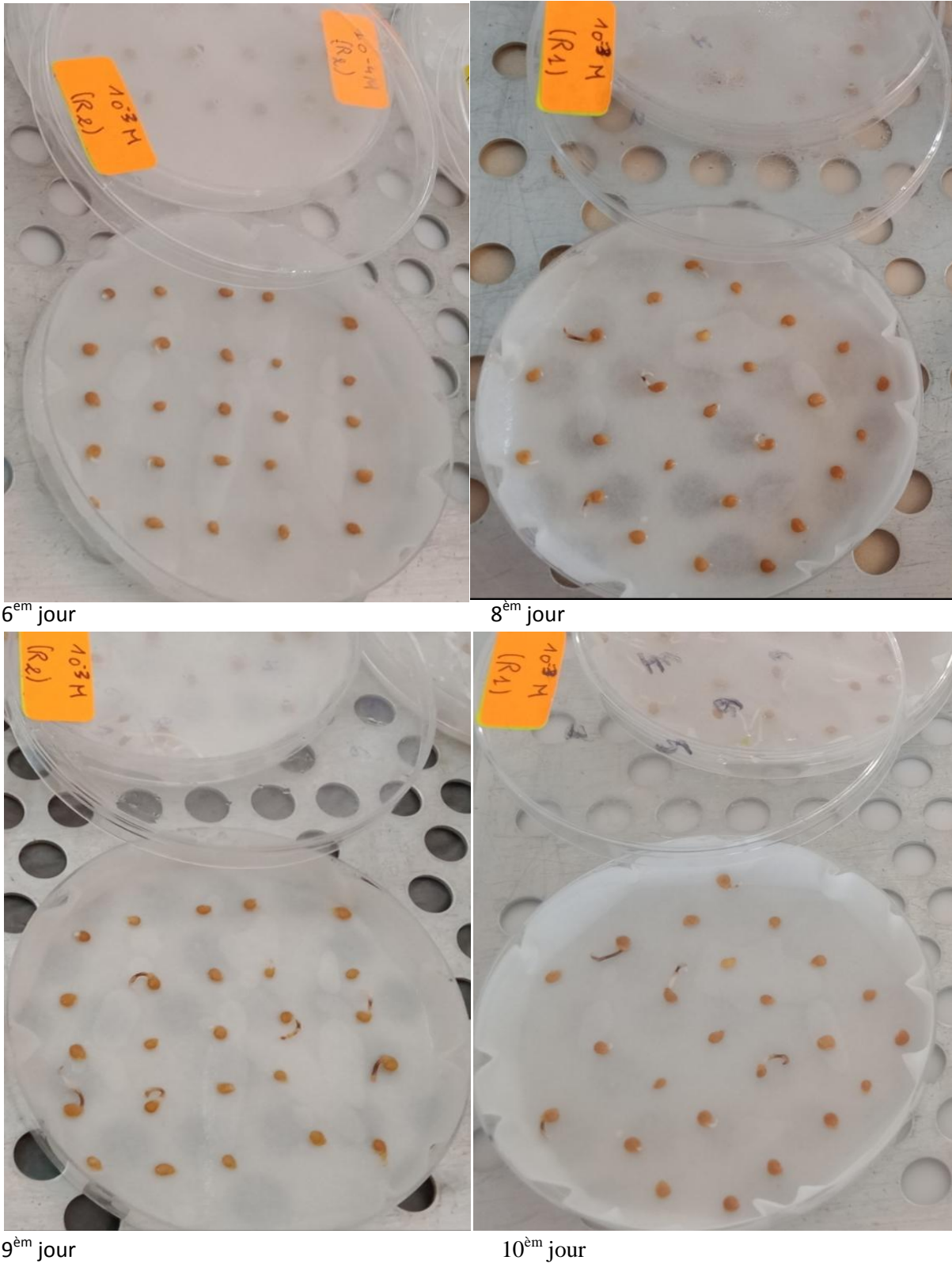


Figure. 19. Les longueurs des tiges en dose 3,3g/l du plomb.

Tableau .5. Les résultats moyens de l'évolution de la longueur des tiges (cm) de *Lycopersicum esculentum Mill* en fonction des doses de plomb.

Doses du plomb	Témoin	0.03g/l	0.3g/l	3.3g/l
Longueur des tiges (cm)	6.4	7	9.4	0.8

Les données de l'analyse statistiques indique que l'effet du plomb ($g < 0,03$) sur les longueurs des tiges se révèlent très hautement significatifs avec (PROB =0,00001) (**Annexe1**).

Conclusion

Cette étude expérimentale a été entreprise dans le but d'étudier l'effet du plomb sur les paramètres morphologiques de la tomate *Lycopersicon esculentum* Mill.

En conclusion, l'ensemble des résultats obtenus dans notre travail comparé à ceux rapportés dans la littérature nous permettent de suggérer l'hypothèse suivante :

Le taux de germination obtenu par les graines de la variété de *Lycopersicon esculentum* Mill est de l'ordre de 35%.

La réduction de croissance est généralement observée lorsque des plantes sont soumises à un stress à différentes doses pour le plomb (0,03 ; 0,3 ; 3,3g/l) comparés aux plantes témoin non traités.

L'influence du stress provoqué par les métaux se traduit par une diminution de la croissance des parties aériennes (la hauteur des tiges) et racinaire (la longueur racinaire).

L'effet des doses appliquées dont on remarque que la dose 0,03 g/l provoque un effet de diminution sur les paramètres morphologiques pour le plomb jusqu'à 3,3 g/l qui présente la dose la plus élevée et qui a donné l'effet le plus toxique. Alors que l'application du plomb sur les paramètres morphologiques a achevé cette diminution par une augmentation à la dose de 0,3 g/l qui au dessus de la quelle l'effet diminue. Dans ce cas la dose de 0,3 g/l a présenté un effet bénéfique pour les paramètres morphologiques.

Les analyses de variance ont révélé un effet hautement significatif exercé par le plomb sur les paramètres étudiés.

Pour une meilleure appréciation de ce travail, il serait intéressant de le compléter et de l'enrichir par:

- Etude de l'effet combiné du plomb sur la tomate.
- Dosage du plomb dans le sol et les parties aérienne et racinaire de la plante.

Références Bibliographie

- **A**

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.

Alloway , B. (1995).Heavy metals in soils, Blackie Academic and Professional. 2nd Ed.

- **B**

Baize , D. (1997)."Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). "INRA Editions, Paris, 408 pp.

Bourelrier, P., J, Berthelin. (1998)."Contamination des sols par les éléments traces : Les risques et leur gestion." Rapport de l'Académie des sciences Ed. Lavoisier, Paris

Baize, D. (2000).Guide des analyses en pédologie.2ème éd. INRA. Paris .257 p.

Baize, D. (2002).Les éléments traces métalliques dans les sols. INRA éditions

Brunet, J., Reppelin, A., Varralult, G., Terryn, N. et Zuily-Fodil, Y. (2008)."Lead accumulation in the roots of grass pea (*Lathyrus sativus* L.)". *C.R.Biologies* 331 : 859-864.

- **C**

Cobb, G.P., Sands, K., Waters, M., Wixson, B.G. and Dorward-King,

E.(2000).Accumulation of heavy metals by vegetables grown in mine wastes. *Environ Toxicol Chem*, 19, 3, 600-607.

- **E**

Elmsley, J. (2001). Nature's Building Blocks. A-Z guide to the elements. Oxford University Press, Oxford, UK.

- **G**

Gonde, H., Gonde, R., Carre, G., et Jussiaux, P. (1968). Cours d'agriculture moderne, édition N°379 6 France pp278 et 279-980.

Giove et Abis. (2007) ; place de la méditerranée dans la production mondiale de fruits et légumes. Ed. Institut Agronomique Méditerranéen de Bari, 22p.

- **H**

Hare, P.D., Cress, W.A. and Vanstaden, J. (1998). Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress plant cell Environ 21, 535 – 553.

- **I**

Itcni. (1994) . Guide pratique ; la culture de la tomate industrielle S.ACHABANE ; Imp Elouafak.

- **K**

Kabata-Pendias, A et Pendias, H. (2001). "Trace elements in soils and plants." CRC Press, Boca Raton, Florida, 2nd Edition, 209 p.

Koller, E. (2004) . Traitement des pollutions industrielles, Ed. Dunod, Paris, pp 424.

- **L**

Laperche, V., Dictor, M.C., Clozel-Leloup, B et Baranger, Ph. (2004).Guide méthodologique du plomb, appliqué à la gestion des sites et sols pollués. BRGM/RP-52881-FR.

- **M**

Monna, F. (2008). Cycles biogéochimiques des éléments traces métalliques aux Interfaces de l'environnement. Thèse de doctorat : Sciences de la terre et de l'environnement : université de Bourgogne, 181 p.

- **N**

Nriagu, J.O. (1978).The biogeochemistry of lead in the environment. Ed JO Nriagu, Elsevier Biomedical Press, Amsterdam.

- **P**

Pichard ,A. (2002) .Plomb et ses dérivés. Fiche INERIS

- **R**

Raskin, I., Kumar, P.B.A.N., Dushenkov, S., Salt, D.E. (1994).Bioconcentration of heavy metals by plants.Curr.Opin.Biotechnol. 5: 285-90.

- **S**

Sposito, G., Lund, L.J et Chang, A.C. (1982).Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge : In Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Sci SociAme J. 46 (2): 260-264.

Salt, D.E., Smith, R.D. and Raskin, I. (1998).Phytoremediation. *Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49, 643–68.

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.

Syngenta.(2009). World tomato export have increased by 30 per cent over the last 5 years.