

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 والحياة

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

**SADEG ABED ALI**

**BELHADRI ABDALLAH**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES**

**Spécialité : Biodiversité et Environnement**

**THÈME**

Effet du Plomb sur la Germination et la Croissance et  
la Biomasse de l'Haricot (*Phaseolus vulgaris* L.)

DEVANT LE JURY

Président	Dr. Douas Bengoud	MCB	U. Mostaganem
Encadreur	Dr. Belabed-Kribi.S	MCB	U. Mostaganem
Examineur	Dr. Abdelkader Mekhaldi	PR	U. Mostaganem

*Laboratoire de biologie végétale*

2021 / 2022

## **REMERCIEMENTS**

*Avant tout nous remercions ALLAH tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et la patience pour terminer ce mémoire.*

*Nous remercions notre encadreur de son grand aide durant la réalisation de ce travail, elle nous a orientés vers le succès avec ses connaissances et son encouragement. Elle été présente à tout moment qu'on besoin d'elle Mme Belabed-Kribi.S*

*Nous remercions les membres de jury d'avoir d'accepté d'examiner et de juger notre travail Mr Abdelkader Mekhaldi , Mme Douas Bengoud.*

*L'ensemble des enseignants de l'université Abdelhamid ben Badis de Mostaganem qui ont contribué à ma formation durant les 5 années particulièrement ceux de l'option biologie chacun son nom.*

*Toute personne qui m'a aidé de loin ou de près afin de réaliser ce travail.*

*Merci à mes camarades de promotion.*

## *Dédicaces*

*Avant tout je remercie mon DIEU le tout puissant qui m'a  
donné la ténacité pour achever ce travail*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes très chers parents qui ont été toujours à mes côtés, pour  
leur générosité leurs sacrifices et le courage qu'ils m'ont  
donné pour terminer mes études. Grand merci, Je vous aime  
beaucoup.*

*A toutes mes frères et ma sœur.*

*A tous mes collègues d'études.*

*Sans oublier mon binôm pour son soutien moral, sa  
patience et sa compréhension tout au long de ce projet*

*Tahia EL Djazair*  

**ABED ALI**

## **Dédicaces**

*A ma très chère maman Pour la décrire il me faudra quelque chose de plus que des mots, car quelque soit le terme et quelque soit l'expression, rien ne saura la tracer à mes yeux telle que mon cœur la voit et l'aperçois. Celle qui me donne la force et la volonté*

*Au meilleur des pères Que ce modeste travail, soit l'expression des vœux que tu n'as cessé de formuler dans tes prières. Que Dieu vous préserve santé et longue vie. Qu'ils trouvent en moi la source de leur fierté A qui je dois tout A mes Frères et mes sœurs A mes amis qui ma beaucoup soutenue et qui n'a pas hésité à m'offrir son aide. A tous les gens qui m'aiment*

**ABDELLAH**

## **Listes des abréviations**

**Cd** : cadmium

**Cu** : cuivre

**Zn** : zinc

**Pb** : plomb

**Fer** : fer

**Hg** : mercure

**Ni** : nickel

**Se** : selenium

**Cr** : chrome

**ETM** : Element Trace Métallique

**PbS** : galène

**PbCO<sub>3</sub>** : cérussite

**PbSO<sub>4</sub>** : anglésite

## Listes des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Caractères d'essentialité et de toxicité de quelques éléments traces.....	6
<b>Tableau 2</b> : Liste non exhaustive de la provenance des métaux lourds et métalloïdes dans l'environnement.....	7
<b>Tableau 3</b> : Propriétés physico-chimique du plomb.....	13
<b>Tableau 4</b> : Concentrations en métaux et métalloïdes définissant les limites de qualité d'une eau potable (Législation Algérienne, Organisation Mondiale de la Santé (OMS).....	20
<b>Tableau 5</b> : La composition chimique d'haricot vert (Torres., 2004 ; Couplan., 1998).....	36
<b>Tableau 6</b> :comporte et résume la systématique de cette espèce légumineuse parmi le règne végétal.....	38
<b>Tableau 7</b> : Les différentes variétés de Phaseolus vulgaris L .....	46
<b>Tableau 8</b> : Concentrations calculées pour la solution d'irrigation riche en plomb .....	48
<b>Tableau 9</b> : Résumé de préparation des sols pour la croissance.....	52

## Listes des figures

<b>Figure. 1 :</b> Origine et distribution des éléments traces .....	6
<b>Figure. 2 :</b> Localisation (spéciation) des éléments en traces métalliques (ETM) dans le sol.....	8
<b>Figure. 3 :</b> pollution des sols et phytodisponibilité.....	9
<b>Figure. 4 :</b> Sources anthropiques de la pollution en plomb .....	15
<b>Figure .5 :</b> Sources des élément nutritifs (UNIFA) .....	33
<b>Figure.6 :</b> l'haricot <i>Phaseolus vulgaris</i> L.....	38
<b>Figure.7 :</b> le cycle de développement d'une graine de haricot.....	40
<b>Figure .8 :</b> Stades phénologiques de <i>Phaseolus vulgaris</i> L.....	40
<b>Figure .9 :</b> Localisation de Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et la ferme de Ain tadles Mostaganem - (Google earth 2022). .....	44
<b>Figure .10:</b> l'haricot ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) .....	45
<b>Figure .11 :</b> Graines de <i>phaseolus vulgaris</i> .L (variété : Coco Rose). .....	45
<b>Figure.12 :</b> traitement des graines avec l'hypochlorite de sodium 8° .....	47
<b>Figure. 13 :</b> Rinçage et Imbibition des graines dans l'eau distillée.....	47
<b>Figure.14:</b> dispositif expérimental des graines de l'haricot mises à germer .....	49
<b>Figure 15:</b> Germination des graines de haricot ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) à l'étuve.....	49
<b>Figure 16:</b> l'aspect général des pots.....	50
<b>Figure 17:</b> Préparation de semis .....	51
<b>Figure .18.</b> Le pourcentage (%) du pouvoir germinatif (A) et d'inhibition de germination (B) des graines de <i>Phaseolus vulgaris</i> L sous le stress métallique du plomb (Témoin et 50 ppm) .....	55
<b>Figure.19 :</b> Le pourcentage (%) du pouvoir germinatif (A) et d'inhibition de germination (B) des graines de <i>Phaseolus vulgaris</i> L sous le stress métallique du plomb (Témoin et 150ppm) .....	55
<b>Figure.20 :</b> Le pourcentage (%) du pouvoir germinatif (A) et d'inhibition de germination (B) des graines de <i>Phaseolus vulgaris</i> L sous le stress métallique du plomb (Témoin et 200ppm).....	56
<b>Figure. 21:</b> Germination des grains de (stress métallique à 50_150_200 ppm).....	56
<b>Figure. 22 :</b> Longueur de la tige en fonction de la durée de croissance ( Témoin et 50ppm ).....	58
<b>Figure. 23:</b> La longueur de la tige en fonction de la durée de croissance (Témoin et 150 ppm) ...	58
<b>Figure. 24 :</b> La longueur de la tige en fonction de durée de croissance (Témoin et 200 ppm).....	58
<b>Figure 25 :</b> La biometrie de la tige apres 7 semaine de croissance ...	59

<b>Figure. 26 :</b> Nombre de feuilles en relation avec la durée de croissance (témoin et 50 ppm).....	60
<b>Figure. 27 :</b> Nombre de feuilles en relation avec la durée de croissance (témoin et 150 ppm) .....	60
<b>Figure. 28 :</b> Nombre de feuilles en relation avec la durée de croissance (témoin et 200 ppm) .....	60
<b>Figure. 29 :</b> Nombre de feuilles en relation avec la croissance à la 7 semaine .....	61
<b>Figure. 30 :</b> La biométrie des racines à la septième semaine de croissance.....	62
<b>Figure. 31 :</b> La biométrie des racines à la septième semaine de croissance.....	62
<b>Figure. 32 :</b> la biomasse de la partie aérienne à la septième semaine de croissance.....	63
<b>Figure. 33 :</b> la biomasse de la partie aérienne à la septième semaine de croissance .....	63

## Résumé

Cette étude s'inscrit dans le domaine de la protection environnementale et plus particulièrement la normalisation des sols cultivés et la végétation

Dans le but de tester la sensibilité de l'Haricot contre la toxicité aux métaux lourds, le test de germination des graines dans des boîtes de pétri sur papier filtre ainsi que l'évaluation des paramètres de croissance à savoir, la biométrie des tiges et racines, nombre des feuilles et la biomasse des parties aériennes ont été déterminés dans un stress métallique de plomb à différentes concentrations ( 50, 150, 200 ppm).

Les résultats révèlent que le pourcentage du pouvoir germinatif est positif vis-à-vis de l'ensemble des concentrations avec une légère sensibilité à la concentration au Pb de 200ppm dont le pourcentage du pouvoir d'inhibition de germination est de 15%. Les valeurs moyennes sur la biométrie des tiges montrent que la croissance n'est pas affectée. Cependant cette croissance est retardée en comparant avec les témoins pour une durée de croissance de 7 semaines. Le nombre moyen des feuilles diminue légèrement en fonction des concentrations supérieures (23 contre 26 chez les témoins). La moyenne de la longueur des racines nous indiquent que *Phaseolus vulgaris* se comporte différemment par rapport aux parties aériennes car la sensibilité des racines au plomb est modérée selon les concentrations dont la résistance est élevée pour la concentration 50 ppm de Pb. Les données de la biomasse nous confirme que *Phaseolus vulgaris* tolèrent les concentrations du Pb mis à l'exposition. Au-delà de 200 ppm la sensibilité se déclenche.

L'accumulation du Pb au niveau *Phaseolus vulgaris* doit être vérifiée au niveau des parties consommables afin d'estimer la toxicité chez le consommateur de l'haricot à long terme.

**Mots-clés:** *Phaseolus vulgaris* L ; Le plomb ; Germination ; Croissance ; Tolérance

## **Abstract**

This study is part of the field of environmental protection and more particularly the standardization of cultivated soils and vegetable

In order to test the sensitivity of the bean against toxicity to heavy metals, the seed of sprouting test in petri dishes on filter paper as well as the evaluation of the growth parameters, namely the biometrics of the stems and roots , leaf number and aerial part biomass were determined in lead metal stress at different concentrations (50, 150, 200 ppm).

The results reveal that the percentage of the sprouting power is positive with respect to all the concentrations with a slight sensitivity to the Pb concentration of 200 ppm, the percentage of the sprouting inhibition power of which is 15%. The average values on the biometrics of the stems show that the growth is not affected. However, this growth is delayed when compared with the controls for a growth period of 7 weeks. The average number of leaves decreases slightly with higher concentrations (23 against 26 in the controls). The average of the length of the roots indicates to us that *Phaseolus vulgaris* behaves differently compared to the aerial part because the sensitivity of the roots to lead is moderate according to the concentrations whose resistance is high for the concentration 50 ppm of Pb. Biomass data confirms to us that *Phaseolus vulgaris* tolerate the concentrations of Pb put to the exposure. Beyond 200 ppm the sensitivity is triggered.

The accumulation of Pb at the *Phaseolus vulgaris* level must be checked at the level of the consumable parts in order to estimate the toxicity in the consumer of the bean in the long term

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L; The lead; sprouting; Growth; Tolerance.

## المخلص

هذه الدراسة هي جزء من مجال حماية البيئة وعلى وجه الخصوص توحيد التربة المزروعة والغطاء النباتي.

من أجل اختبار حساسية الفول ضد السمية للمعادن الثقيلة، اختبار إنبات البذور في أطباق بتري على ورق الترشيح وكذلك تقييم معطيات النمو، وهي القياسات الحيوية للسيقان والجذور، وعدد الأوراق والكتلة الحيوية للجزء الهوائي تم تحديدها في إجهاد معدن الرصاص بتركيزات مختلفة (50، 150، 200 جزء في المليون)

أظهرت النتائج أن النسبة المئوية لقوة الإنبات موجبة بالنسبة لجميع التركيزات مع البالغ 200 جزء في المليون ، ونسبة قوة تثبيط الإنبات منها Pb حساسية طفيفة لتركيز 15٪. تظهر القيم المتوسطة على القياسات الحيوية للسيقان أن النمو لا يتأثر. ومع ذلك ، فإن هذا النمو يتأخر بالمقارنة مع الشواهد لفترة نمو 7 أسابيع. ينخفض متوسط عدد الأوراق بشكل طفيف مع تركيزات أعلى (23 مقابل 26 في الشاهد). يشير متوسط طول يتصرف بشكل مختلف مقارنة بالجزء الهوائي لأن *Phaseolus vulgaris* الجذور إلى أن حساسية الجذور للرصاص معتدلة وفقاً للتركيزات التي تكون مقاومتها عالية لتركيز 50 يتحمل *Phaseolus vulgaris* جزء في المليون من الرصاص. تؤكد لنا بيانات الكتلة أن المشكلة للتعرض. بعد 200 جزء في المليون تبدأ الحساسية Pb. تركيزات

يجب فحص تراكم الرصاص على مستوى *Phaseolus vulgaris* على مستوى الأجزاء المستهلكة لتقدير السمية عند استهلاك الفول على المدى.

الكلمات المفتاحية: الرصاص ؛ انتشار ؛ نمو ؛ مقاومة؛ *Phaseolus vulgaris* L

# TABLE DES MATIERES

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale.....	1

## *Partie I Synthèse bibliographique*

### **Chapitre I : Métaux lourds**

<b>I.1.</b> Généralités sur les métaux lourds .....	5
<b>I.2.</b> Définition .....	5
<b>I.3.</b> Origines des métaux présents dans le sol.....	5
<b>I.3.1.</b> Sources naturelles.....	7
<b>1.3.2.</b> Sources anthropiques.....	7
<b>I.4.</b> Spéciation, mobilité et biodisponibilité des métaux lourds .....	8
<b>I.4.1.</b> Spéciation .....	8
<b>1.4.2.</b> Mobilité.....	9
<b>1.4.3.</b> Biodisponibilité.....	9
<b>I.5.</b> Facteurs modifiant la mobilité des métaux lourds .....	9
<b>I.5.1.</b> Potentiel hydrogène (pH) .....	9
<b>1.5.2.</b> Potentiel redox (Eh) .....	9
<b>I.5.3.</b> Activité biologique.....	10
<b>a-</b> Solubilisation.....	10
<b>b-</b> Insolubilisation.....	10
<b>c-</b> Volatilisation.....	11
<b>I.5.4.</b> Température .....	11

I.5.5. Matière organique.....	11
1.5.6. Texture et la structure du sol .....	11
1.5.7. Capacité d'échange cationique (CEC).....	12
I.6. Plomb .....	12
I.6.1. Généralité sur le plomb .....	12
I.6.2. Propriétés physico-chimiques du plomb.....	12
I.6.3. Isotopes de plomb .....	12
I.6.4. Utilisation du plomb.....	13
I.7. Origines de la pollution par le plomb.....	13
I.7. 1. Sources anthropique du plomb.....	14
I.8. Plomb dans le sol.....	15
I.8.1. Biodisponibilité du plomb.....	16
I.9. Effets du plomb.....	17
I.9.1. Effets sur les végétaux.....	17
I.9.2. Effets sur la germination et la croissance.....	17
I.9.3. Effet sur la Photosynthèse.....	18
I.9.4. Effets sur la nutrition minérale.....	18
I.9.5. Effets toxiques chez l'homme.....	19

## **Chapitre II : Relation sol - végétal**

II.1. Introduction.....	22
II.2. Définition d'un sol.....	23
II.2.1. Selon les agronomes.....	23
II.2.2. Selon les pédologues.....	23
II.3. La fertilité d'un sol.....	23
II.4. Nutrition végétale.....	23
II.4.1. Rôles des éléments dans la plante.....	24
II.4.1.2. Les éléments nutritifs et leurs importances pour les plantes.....	24
II.4.1.3. Les macro-éléments.....	25

a-	Les macro-éléments secondaires.....	25
b-	Les macro-éléments primaires.....	25

### **Chapitre III : L'haricot**

<b>III.1.</b>	Généralités.....	35
<b>III.2.</b>	. Composition et valeur nutritive d'haricot vert.....	35
<b>III.3.</b>	Origine et répartition géographique.....	36
<b>III.4.</b>	Description morpho physiologiques.....	36
<b>III.4.1.</b>	Partie souterraine.....	37
<b>III.4.1.1.</b>	Racines.....	37
<b>III.4.2.</b>	Partie aérienne.....	37
<b>III.4.2.1.</b>	Tige.....	37
<b>III.4.2.2.</b>	Ramifications et feuilles.....	37
<b>III.4.2.3.</b>	Fleurs.....	37
<b>III.4.2.4.</b>	Fruits.....	37
<b>III.4.2.5.</b>	Graines.....	38
<b>III.5.</b>	Description botanique (systématique) et noms vernaculaires.....	38
<b>III.5.1.</b>	Systématique de <i>Phaseolus vulgaris</i> .....	38
<b>III.6.</b>	Cycle de végétation.....	39
<b>III.6.1.</b>	Phase de germination.....	39
<b>III.6.2.</b>	Phase de croissance.....	39
<b>III.6.3.</b>	Phase floraison.....	39
<b>III.6.4.</b>	Phase maturation.....	39
<b>III.6.5.</b>	Récolte.....	41
<b>III.6.6.</b>	Rendements potentiels.....	41
<b>III.7.</b>	Exigences climatiques du Haricots.....	41
<b>III.7. a.</b>	La lumière.....	41
<b>III.7. b.</b>	La température.....	41
<b>III.7. c.</b>	L'eau.....	42
<b>III.7. d.</b>	Le vent.....	42

## ***Partie II : Matériel et méthodes***

<b>I. Matériel et méthodes</b> .....	44
<b>I.1. Site d'étude : Site expérimental</b> .....	44
<b>II. Matériel végétal</b> .....	45
<b>II.1. Origine des variétés</b> .....	46
<b>III. Matériel pratiques</b> .....	46
<b>III.1. Pour la germination</b> . .....	46
<b>III.2. pour la préparation de la solution d'irrigation</b> .....	46
<b>III.3. Pour la croissance</b> .....	47
<b>III.4. Pour la biomasse</b> .....	47
<b>IV. Protocole expérimental</b> .....	47
<b>IV.1. Germination -Traitement des graines</b> .....	47
<b>IV.2. La croissance</b> .....	50
<b>IV.3. La biomasse</b> .....	52

## ***Partie III Résultats et discussion***

<b>III. Résultats et Interprétations</b> ... ..	54
<b>III.1. Effet du plomb sur la germination et la croissance de l'haricot (Phaseolus vulgaris L.)</b> .54	
➤ Sur la germination .....	54
➤ Sur la croissance .....	57
<b>III.2. Discussion générale</b> .....	65
Conclusion.....	68
Références... ..	71
Annexes	

# *Introduction*

### **Introduction :**

La pollution de l'environnement est devenue de nos jours une préoccupation mondiale majeure vue ses effets directs sur les ressources naturelles en général et la santé de l'homme en particulier.

Les métaux lourds tels que Le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le chrome (Cr) et d'autres ne peuvent pas être biodégradables et donc persistent dans l'environnement pendant de longues périodes. De plus, ils sont continuellement rajoutés dans les sols par diverses activités à savoir, en agriculture par l'application des boues d'épuration ou par voie de l'industrie métallurgique ou par divers déchets et sous-produits des activités humaines. Ces activités induisent des modifications du sol et dans certains cas une production de sols fortement anthropisés (**Barles et al, 1999 ; Wong et al, 2006**). Les plantes sont directement exposées à ces éléments dont le potentiel toxique est indéniable et passe à l'homme à travers la chaîne alimentaire (**Sharma and Dietz, 2009**)

Parmi l'ensemble des métaux lourds, une vingtaine d'entre eux sont indispensables aux processus physiologiques majeurs en particulier la respiration, la photosynthèse ou l'assimilation des macronutriments (e.g azote, soufre) (**kabata-Pendias and Pendias, 2001**).

Le premier effet des métaux lourds observable chez les végétaux est une inhibition de la croissance. Celle-ci s'accompagne très souvent de nombreux autres indices de dysfonctionnement : chlorose foliaire, importantes lésions nécrotiques, jaunissement progressif, repliement ou dessèchement du feuillage... A l'heure actuelle, les bases moléculaires de ces perturbations sont encore mal connues, mais on admet généralement qu'elles résultent d'un stress oxydatif, dû à la production d'espèces réactives de l'oxygène ou « Réactive Oxygen Species » (ROS). Cette dernière altèrent toute une série de substrats biologiques importants, avec comme conséquence la modification des domaines fonctionnels des biomolécules : inhibition de l'activité enzymatique, perturbation du métabolisme végétal (notamment la photosynthèse et la respiration), oxydation de protéines, altération des membranes cellulaires via l'induction de phénomènes de peroxydation lipidique, apparition de cassures au sein de l'ADN, pouvant conduire à la mort cellulaire (**Dietz et al., 1999 ; Cheng, 2003**). Pour éviter ces inconvénients, des systèmes de stockage ou de détoxication des métaux accumulés ont été sélectionnés chez certains végétaux. D'efficacité variée selon les espèces, il semble à l'heure actuelle que trois mécanismes, encore mal compris, soient largement prépondérants : la modification de la perméabilité membranaire, qui permet de

réduire l'entrée des métaux dans la cellule, le système antioxydant, qui limite les dégâts des espèces réactives de l'oxygène et la chélation intracellulaire, qui empêche l'activité de l'ion métallique.

Les métaux lourds, modifient considérablement la composition floristique de site ne permettant l'installation que d'un nombre limité d'espèces car les éléments métalliques à forte concentration dans le sol agissent comme un facteur de stress qui entraîne une modification de la réaction physiologique dont le terme « sensibilité ». Les effets du stress peuvent aller jusqu'à la mort de la plante. Par opposition, le terme résistance fait référence à la réaction de la plante qui lui permet de survivre face au stress métallique et d'assurer sa descendance (**Levitt, 1980**) ce type de plante tolère les fortes teneurs en métaux grâce aux stratégies d'adaptation tels que la détoxification, l'immobilisation et l'absorption d'où l'accumulation de ces métaux.

Les métaux lourds n'ont pas tous une fonction connue à ce jour dans le métabolisme de la plante, et malgré la grande diversité des besoins et des niveaux de tolérance aux métaux lourds chez les plantes, certains restent considérés comme des poisons cellulaires pour lesquels les doses admissibles sont très faibles. On retrouve parmi les plus toxiques, Hg, Cr, Ni, Pb et Cd (**Kabata-Pendias and Pendias, 2001**).

L'accumulation des éléments métalliques dans les sols cultivés provoque des effets nuisibles sur la croissance des plantes ainsi que sur la qualité des produits agricoles. (**Sridhara et al., 2008**) . C'est dans ce contexte que notre étude est réalisée dans l'objectif de tester la sensibilité ou la résistance d'une plante culinaire représentant l'aliment de base pour chaque consommateur à travers le monde qui est l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L)

Notre mémoire est répartie en trois parties :

✓ Partie bibliographique regroupe trois chapitres sur les caractéristiques des métaux lourds notamment le plomb et l'impact sur la végétation, sur la relation sol et végétation et sur la présentation de l'haricot et l'espèce *Phaseolus vulgaris* L

✓ Partie Matériel et méthodes traite l'ensemble des techniques et Protocoles expérimentaux de test de sensibilité de germination et croissance vis-à-vis des concentrations en Plomb

✓ Partie Résultats et interprétations qui regroupe les évaluations en relation avec la croissance et la germination identifiées à base de calculs de la biométrie des parties aériennes et souterraines ainsi que la biomasse. Cette partie se termine par une discussion générale et une conclusion

# *Partie I*

## *Synthèse bibliographique*

# *Chapitre I*

## *Métaux lourds*

## I. Métaux lourds

### 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 géo-génétiques (**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

Le terme 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 supérieur à 20 (**Raskin et al., 1994**). Les métaux lourds sont définis comme étant des éléments chimiques toxiques ayant une densité supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup> (**Elmsley, 2001**).

On distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxique: métaux essentiels et métaux toxiques.

- **Métaux essentiels** sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (**Loué, 1993**). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe) (**Kabata et Pendias, 2005**).
- **Métaux toxiques** ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd). (**Huynh, 2009**).

**Tableau 1** : Caractères d'essentialité et de toxicité de quelques éléments traces. (**Garnaud et al., 2001**)

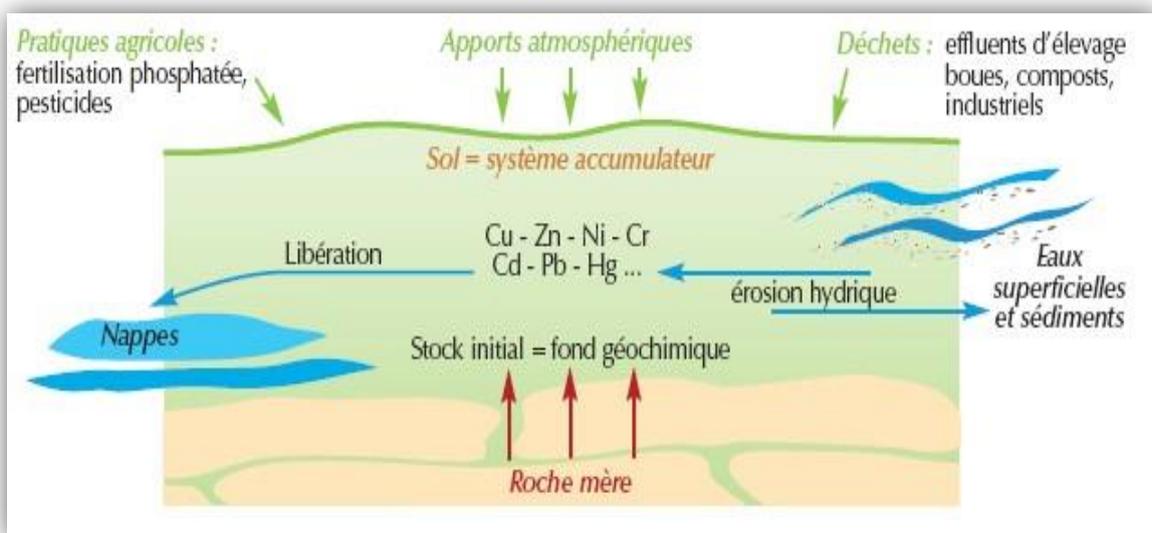
Elément	Indispensables FC			Toxic FC			Commentaires
	Plantes	Animaux	Hommes	Plantes	Animaux	Hommes	
Cadmium	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Phytotoxique
Chrome	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Toxiques
Cuivre	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Immobile dans le sol, peu toxique
Fer	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Phytotoxique à pH acide
Plomb	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Peu phytotoxique
Zinc	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Peu toxique

FC : faible concentration.

### I.3. Origines 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 (**Miquel, 2001**), La distribution dans l'environnement procède de deux origines :

L'une, naturelle est le résultat de processus géogéniques comme l'érosion, les précipitations géochimiques de roches et de l'eau de source, l'activité volcanique et bactérienne, et l'autre, relève des activités anthropogéniques tel que les activités industrielles, les fertilisants et les pesticides, ... etc (voir figure1) (**Baize et Sterckeman, 2001**).

**Figure 1** : Origine et distribution des éléments traces (**Robert et Juste, 1997**).

### 1.3.1. Sources naturelles

Les métaux lourds sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique. La concentration naturelle des métaux lourds dans les sols varie selon la nature de la roche, sa localisation et son âge. (Bourrelier et Berthelin, 1998).

### 1.3.2. Sources anthropiques

Les teneurs les plus élevées en éléments inorganiques rencontrées dans les sols sont fortement liées à l'activité humaine. Les principales activités sont les suivantes: (Alloway, 1995).

- Pratiques agricoles due aux épandages d'insecticides, de fongicides, d'engrais, de boues résiduaires urbaines ou de composts d'ordures ménagères,... etc.
- Pollution dues aux retombées atmosphériques telle que l'industrie extractive et métallurgique, pratiques liées à l'incération, utilisation des énergies fossiles, essence au plomb, etc.
- Stockage de déchets urbains ou industriels dues aux résidus des activités de mines et de fonderies de métaux, installations de stockage de déchets,... etc . (Alloway, 1995).

**Tableau 2:** Liste non exhaustive de la provenance des métaux lourds et métalloïdes dans l'environnement (Sparks, 1998).

Elément	Sources
As	Sous-produit minier, pesticides, déchets chimiques, préservateur de bois
Cd	Extraction et fonderie du plomb et du zinc, décharges industrielles, déchets miniers
Cr	Additif des eaux de refroidissement
Cu	Déchets domestiques et industriels, mine, lixiviation de minéraux
Hg	Déchets industriels, mines, pesticides, charbon
Ni	Sources géologiques naturelles, industrie, mine
Pb	Industrie, mines, plomberie, charbon, essence
Se	Sources géologiques naturelles, charbon
Zn	Déchets industriels, plomberie

## 1.4. Spéciation, mobilité et biodisponibilité des métaux lourds

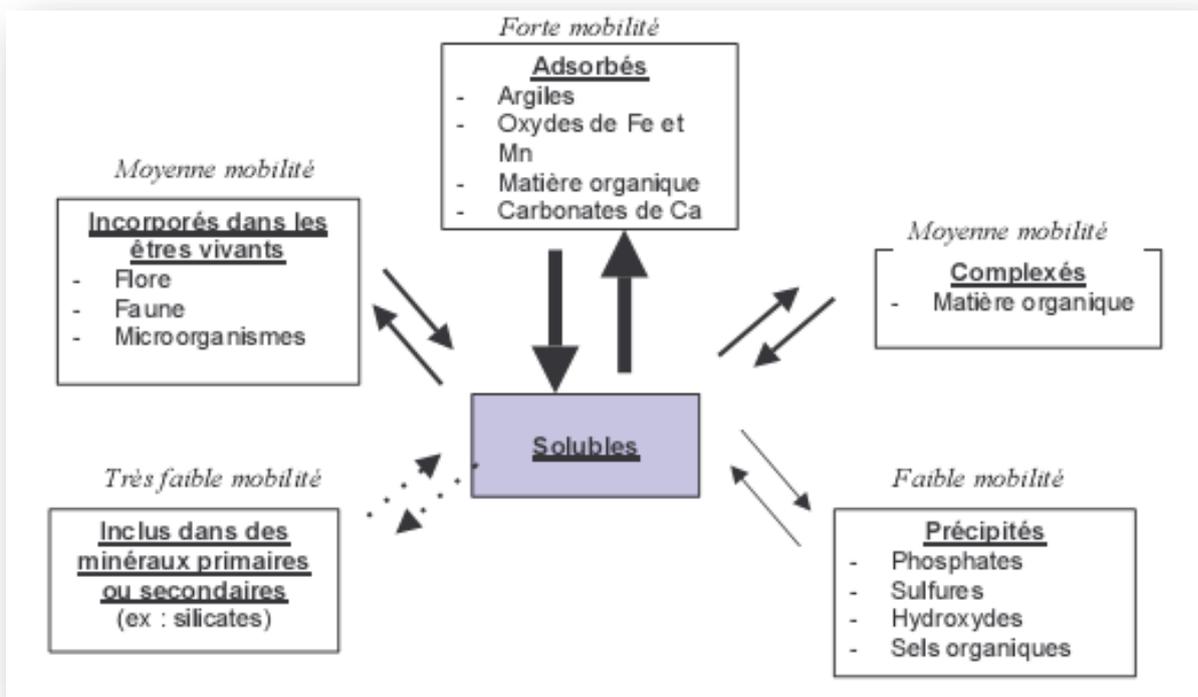
### 1.4.1. Spéciation

La spéciation est définie comme la distribution des espèces chimiques d'un élément au sein d'un système, solide ou liquide (Ponthieu *et al.*, 2016).

Ces espèces sont différenciées selon leur composition isotopique, leur structure électronique, leur état d'oxydation, et/ou leur structure moléculaire.

Cependant, le terme de spéciation d'un élément dans un sol est souvent utilisé dans un sens plus large englobant la distribution ou les processus d'identification des différentes phases d'un élément dans le milieu solide ou liquide (Foreau, 2009).

Les ions métalliques libres et les espèces neutres, sont les formes les plus réactives, car plus facilement assimilables par les organismes vivants (Baba Ahmed, 2012).



**Figure 2** : Localisation (spéciation) des éléments en traces métalliques (ETM) dans le sol (Prassad, 2004).

### 1.4.2. Mobilité

La forme chimique des ETM affecte leur mobilité dans les sols et leur capacité de transfert dans les différents compartiments environnementaux. La mobilité correspond à l'aptitude d'un élément à passer d'un compartiment du sol où il est retenu avec une certaine

énergie vers un autre compartiment où il est retenu avec une énergie moindre (Anju *et al.*, 2012).

Elle peut être étudiée au travers du changement de phase porteuse d'un élément, à l'échelle d'un sol, la mobilité d'un élément peut être évaluée en étudiant sa distribution verticale ou latérale (Bissou *et al.*, 2012).

### 1.4.3. Biodisponibilité

La notion de biodisponibilité des ETM est définie par le passage d'un élément au travers d'une membrane biologique, végétale ou animale (Dubal, 2004). Elle dépend d'une part, de la fraction de l'élément qui peut être mobilisée physicochimiques dans le sol et d'autre part, de la capacité d'une espèce donnée à l'absorber (Girard *et al.*, 2011).

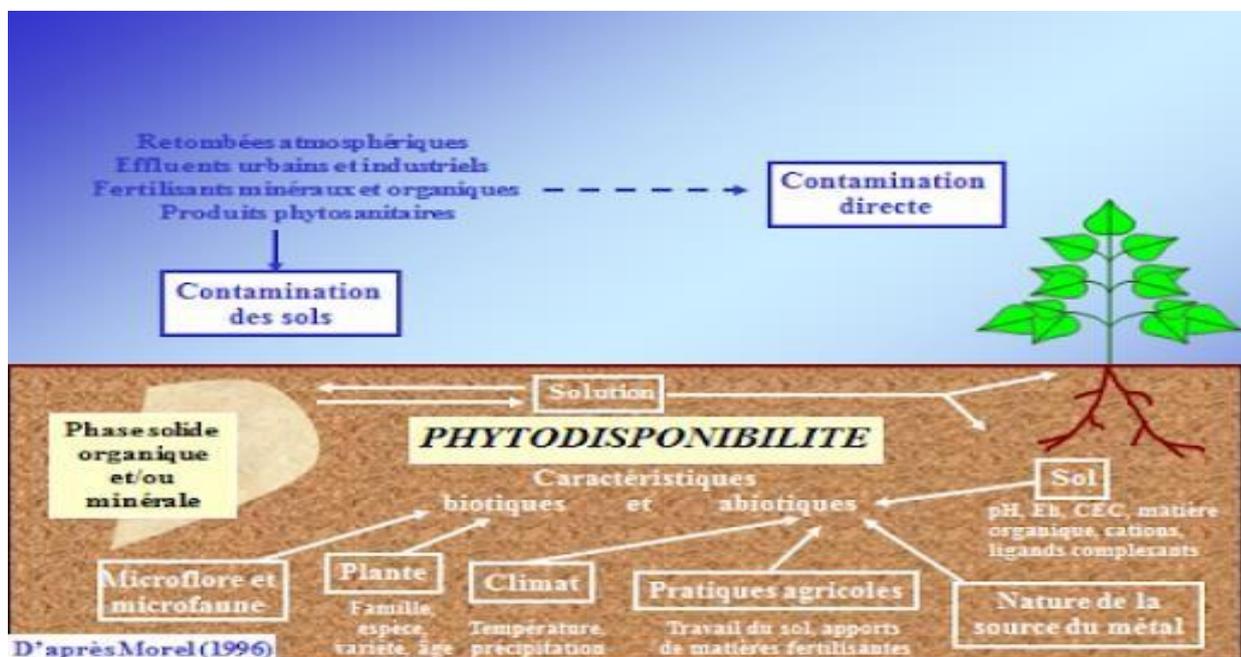


Figure 3 : pollution des sols et phytodisponibilité (Morel, 1996).

## I.5. Facteurs modifiant la mobilité des métaux lourds

### I.5.1. Potentiel hydrogène (pH)

A pH faible, la solubilité de la plupart des métaux est plus élevée (Alloway, 1995).

### I.5.2. Potentiel redox (Eh)

En conditions réduites, la mobilité des métaux lourds est plus faible. Le potentiel redox est fortement lié au pH puisqu'il augmente quand celui-ci diminue (Alloway, 1995).

### I.5.3. Activité biologique

La compréhension globale des phénomènes biologiques jouant sur la solubilité des métaux lourds dans les sols est rendue difficile par la multiplicité des actions et interactions à tous les niveaux. Les végétaux supérieurs étant au centre de notre étude, et les microorganismes ayant une influence sur l'ensemble du milieu aux échelles de temps et d'espace considérées, nous attacherons à développer principalement l'action des microorganismes et des plantes. Les principaux phénomènes d'action sur la mobilité des polluants métalliques sont la solubilisation, l'insolubilisation et la volatilisation (**Deneux-Mustinet al., 2003**).

#### a- Solubilisation

Provient de la production de composés acides tels que les acides carboxyliques, phénoliques, aliphatiques, nitrique et sulfurique. Certaines bactéries chimiolithotrophes (*Thiobacillus*, *Leptospirillum*, *Galionella*) oxydent les formes réduites du fer et du soufre contenues dans les sulfures et produisent de l'acide sulfurique, susceptible de dissoudre les silicates, les phosphates, les oxydes et les sulfures, libérant ainsi les métaux lourds contenus. Les champignons et les racines des plantes excrètent eux aussi des acides afin d'augmenter leur absorption de nutriments, ou tout simplement comme déchets métaboliques (**Foy et al., 1978 ; Chaignon, 2001 ; Deneux-Mustinet al., 2003**).

#### b- Insolubilisation

Constitue le phénomène opposé. Bien que le phénomène de détoxification externe des métaux lourds par des exsudats racinaires n'ait jamais été démontré (**Baker et Walker, 1990**), certains acides organiques de faible masse moléculaire, comme les acides oxalique, citrique ou fumarique qui interviennent dans la complexation intracellulaire d'éléments nutritifs, peuvent être sécrétés dans le milieu extérieur. Ils limiteraient ainsi les transferts par des processus de complexation (**Baker et Walker, 1990**).

#### c- Volatilisation

Repose sur l'action directe de certains microorganismes sur le degré d'oxydation de l'espèce métallique. C'est le cas du mercure, de l'arsenic et du sélénium (Se). La biométhylation permet le transfert de groupements méthyl directement aux atomes, Pb, Sn (étain), As, Sb (antimoine) et Se, permettant leur volatilisation dans l'atmosphère. (**Baker et Walker, 1990**).

#### I.5.4. Température

La température du sol dépend en premier lieu du climat, mais elle est également liée à l'activité biologique et influence rétroactivement la formation de complexes avec des ligands inorganiques, en modifiant l'activité de l'élément en solution. La température a un impact direct sur la mobilité des éléments métalliques en déplaçant les équilibres des réactions de dissolution-précipitation et Co-précipitation, et un impact indirect, en modifiant la teneur en eau du sol, le pH ou le potentiel redox (Eh). ( **Deneux-Mustin, 2003**).

#### I.5.5. Matière organique

Elle se compose de deux fractions:

- ✓ La fraction vivante (micro-organisme, faune épilithique, rhizosphère des végétaux supérieurs, animaux fousseurs). Son influence sur la fixation des éléments trace est importante, elle modifie le potentiel redox ou le pH.( **Kabata-Pendias , 2001**).
- ✓ La fraction morte (débris végétaux et animaux plus ou moins décomposés en humus, carbone rapporté). (**Kabata-Pendias, 2001**).

#### 1.5.6. Texture et la structure du sol

La texture et la structure du sol sont des facteurs intervenant dans la mobilité des ETM. Dans un sol structuré, la vitesse de l'eau et des composés solubles est plus grande que dans une matrice constituée de micropores. Le transport par les colloïdes du sol (particules d'argile, matière organique soluble, biomasse) peut augmenter la mobilité des métaux associés à ces solides. Les pratiques culturales peuvent influencer la mobilité des métaux en modifiant les propriétés du sol et les conditions physico-chimiques, à la suite par exemple de l'apport de matière organique (boues chaulées ou non, composts, déjections animales, déchets divers) (**AFNOR, 2003**). La nature et le mode d'application des fertilisants, la rotation des cultures et le labour jouent aussi un rôle important. L'oxygène étant l'anion structural dominant, aussi bien dans l'eau que dans les constituants solides du sol, la spéciation des ETM est dominée par leur interaction avec l'oxygène des molécules d'eau, des anions hydroxyde OH<sup>-</sup> ou oxyde O<sup>2-</sup>. Ainsi, plus un sol est aéré, moins le Cd est biodisponible. Or, le travail du sol entraîne alors une meilleure aération du sol ; inversement, le passage répété d'engins agricoles qui tassent le sol la réduit. Le degré d'aération du sol est aussi déterminé par les pratiques culturales (irrigation, apport de matière organique biodégradable donc consommatrice d'oxygène mais qui peut aussi améliorer l'aération du sol grâce à une meilleure structuration)

et par les événements climatiques (précipitations massives entraînant une réduction de l'aération du sol) (Morel, 1997).

### 1.5.7. Capacité d'échange cationique (CEC)

Caractérise la capacité d'un sol à stocker et à restituer les éléments minéraux : les particules fines d'argile, à forte CEC, sont chargées négativement et adsorbent donc les particules de charges opposées. De ce fait, les cations métalliques peuvent se fixer à la surface des particules d'argile par échange de protons  $H^+$ , entraînant une baisse de leur disponibilité (Alloway, 1995).

## I.6. Plomb

### I.6.1. Généralité sur le plomb

Le plomb est un métal gris-bleu grisant à l'air humide, facilement malléable et qui résiste à la corrosion. Sa présence dans la croûte terrestre est ubiquitaire (entre 15 mg/kg et 20 mg/kg). Il y est relativement accessible bien qu'il y soit peu présent sous sa forme métallique (Pb0). En effet, parmi ses trois états d'oxydation, le Pb(II) est le plus fréquent, le Pb (IV) étant presque inexistant sous des conditions normales. Le plomb métallique n'est pas soluble dans l'eau, mais plusieurs de ses composés le sont tels le bromure et le chlorure de plomb ainsi que le nitrate de plomb (ATSDR, 2007).

### I.6.2. Propriétés physico-chimiques du plomb

Le plomb est un métal dense ( $d=11,34$  à  $20^{\circ}C$ ), de couleur bleu-gris argenté qui se trouve sur la croûte terrestre en petites quantités (0.002%). Il se trouve associé à plusieurs minerais (plus de 200 minerais de plomb) seulement les plus communes sont : la galène (PbS), la cérussite ( $PbCO_3$ ) et l'anglésite ( $PbSO_4$ ) (Adriano, 2001).

Le plomb métallique est malléable, il forme divers alliages fusibles, il est peu soluble dans l'eau froide, l'eau chaude et les acides dilués, mais il se dissout facilement dans les acides forts. L'eau chargée d'oxygène dissous attaque par contre le plomb, et produit l'hydroxyde de plomb  $Pb(OH)_2$  qui est très toxique (OMS, 1978).

Le plomb est classé parmi les métaux lourds et se caractérise selon Cecchi, (2008) par :

- Une forte affinité au soufre.
- Il ne se détruit pas, il se transporte et change de forme en donnant des sels.
- Il a une conductivité élevée, ce qui explique son utilisation dans de nombreuses industries.

- Il présente une certaine toxicité entraînant des lésions plus ou moins graves.

**Tableau 3** : Propriétés physico-chimique du plomb. (Cecchi, 2008).

Symbole	N°atomique	Poids atomique	Densité	Points de fusion	Point d'ébullition
Pb	82	207,2	11,34	327,43 °C	1740 °C

### I.6.3. Isotopes de plomb

Le plomb est un métal gris bleuâtre malléable. Il en existe quatre isotopes naturels  $^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  et  $^{208}\text{Pb}$ . Les principaux minerais sont la galène (sulfure), la cérusite (carbonate) et l'anglésite (sulfate). Le plomb élémentaire a une faible conductivité électrique et sa masse élevée lui confère un important pouvoir d'absorption des rayonnements X, et électromagnétiques (Garnier, 2005).

### I.6.4. Utilisation du plomb

Le plomb est un métal largement utilisé dans les batteries de voiture au plomb, sous forme de tôles plombées dans le secteur de la construction, dans le plastique PVC, dans les munitions, dans le cristal et la céramique, dans les ceintures de lest pour la plongée, dans les plombs pour la pêche, sous forme d'écran contre les radiations, etc. Auparavant, le plomb était utilisé comme pigment dans les peintures et comme antidétonant dans l'essence. Ces utilisations sont interdites dans l'Union européenne depuis les années 1990. (BRGM, 2003).

L'utilisation passée du plomb dans l'essence et les émissions historiques par les producteurs de métaux non-ferreux a entraîné une augmentation des concentrations de plomb dans le sol, l'eau et l'air. Le plomb étant fortement lié aux caractéristiques du sol, son absorption racinaire est très faible et la majeure partie du plomb présent dans les parties des plantes situées hors du sol provient de dépôts atmosphériques de plomb (BRGM, 2004).

### 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 (Nriagu, 1978; Baize, 2002).

Le plomb est naturellement présent en moyenne à 0,002% dans la croûte terrestre (36ème élément de la croûte terrestre), généralement sous forme peu soluble.

Des dérivés inorganiques sont présents dans les eaux, les sédiments, les sols, l'atmosphère et éventuellement en micro-traces chez les organismes vivants. Les sols non contaminés contiendraient de 10 à 30 mg.kg<sup>-1</sup> (Nriagu, 1978; Baize, 2002). A l'état naturel, le Pb se retrouve dans l'environnement sous forme de galène (sulfure de Pb), de cérusite

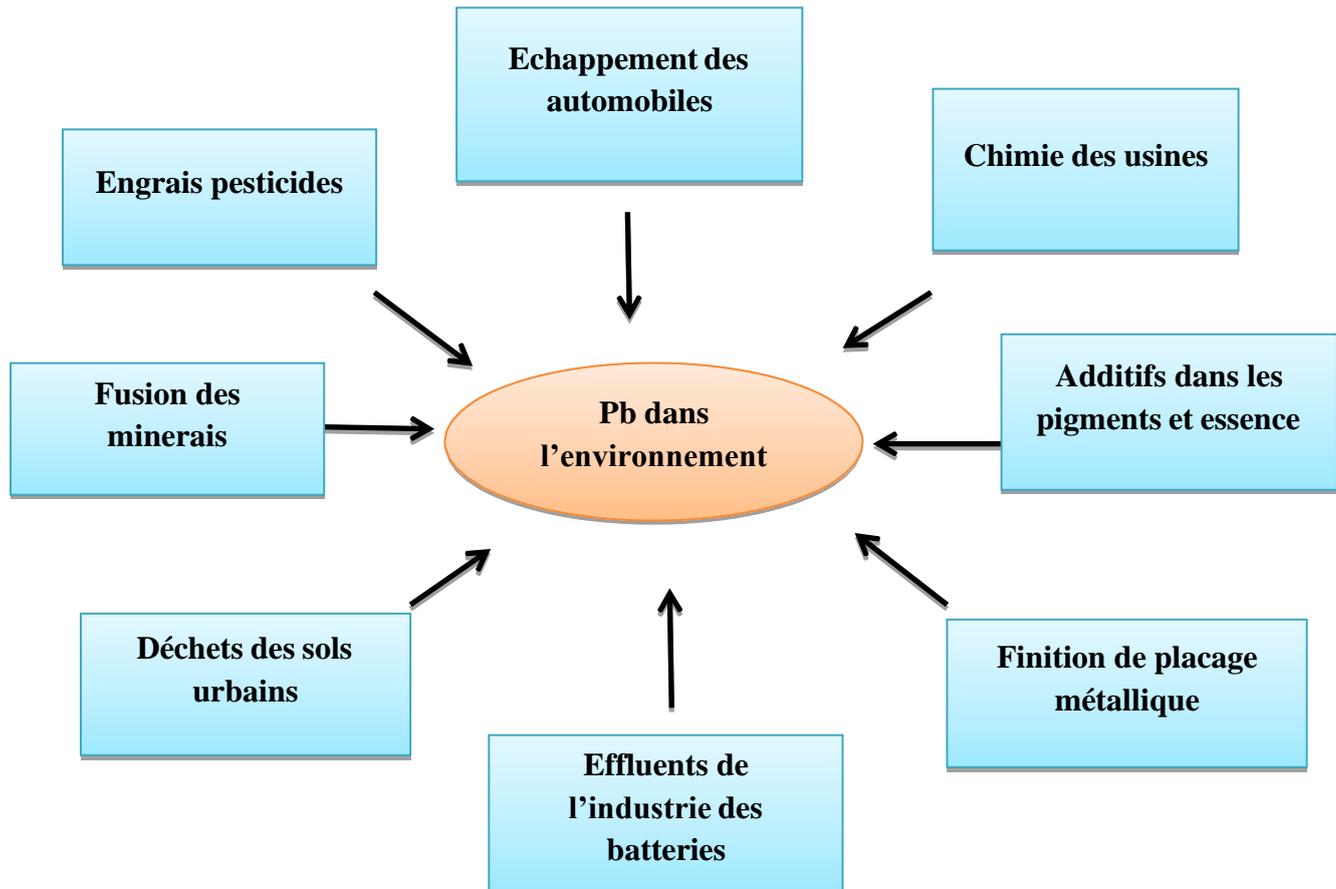
(carbonate de Pb), et d'anglésite (sulfate de Pb). La forme la plus abondante est la galène, la cérusite et l'anglésite apparaissent lors de l'oxydation de la galène (**Brunet, 2008**).

Dans l'air, les émissions de plomb provenant de poussières volcaniques véhiculées par le vent sont reconnues d'importance mineure (**Pichard, 2003**), 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. (**Brunet, 2008**).

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, 2003**).

### **I.7. 1.Sources anthropiques de plomb**

Les principales sources de contaminations en Pb sont les rejets anthropiques (figure 04), 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 (**Jeannot, 2001**). Dans les sols des concentrations en Pb supérieures à 110 ppm de sol traduisent l'existence d'une source polluante à proximité (**Juste et al., 1995**).



**Figure 4 :** Sources anthropiques de la pollution en plomb (Sharma et Dubey, 2005).

Les apports anthropiques de Pb résultent de cinq groupes d'activités (Baize, 1997) :

- ✓ Les sources principales sont liées à l'utilisation de composés organométalliques comme antidétonants dans les moteurs à explosion. Le métal est alors rejeté par les gaz d'échappement.
- ✓ Les sources industrielles : libération de Pb par les usines de traitement du minerai ou lors de recyclage des batteries.
- ✓ Les déblais des mines et les poussières des crassiers.
- ✓ Les boues de stations d'épuration.
- ✓ Certains pesticides étaient fabriqués à base de Pb.

### **I.8. Plomb dans le sol**

Le comportement du plomb dans un sol dépend de différents facteurs comme sa dynamique propre mais également des caractéristiques pédologiques et physicochimiques du sol (Baize, 1997). Il peut être soit sous forme liée aux particules de terre soit dans la phase

aqueuse. Dans les sols contaminés, la forme chimique initiale et la teneur en polluant apportée ont également une influence (**Hinsinger, 1996, Dumat et al., 2001 ; Ferrand et al., 2006**).

Le plomb va ainsi se retrouver :

- Inclus dans des minéraux primaires hérités de la roche-mère ou dans des minéraux secondaires suite à des précipitations ou co-précipitations notamment avec des oxydes (Fe, Al, Mn) (**BRGM, 2004**).
- Adsorbé à la surface de la matière organique du sol (**BRGM, 2004**).
- Adsorbé à la surface des méso et microorganisme du sol ou absorbé par eux (**BRGM, 2004**).
- Dans la solution du sol, associé à des colloïdes (**BRGM, 2004**).
- Dans la solution du sol, complexé par des molécules organiques ou sous forme libre. Les principales espèces du plomb présentes dans la solution du sol sont  $Pb^{2+}$  et  $PbCO_3$  (**BRGM, 2004**). Ces formes solubles, bien que très minoritaires, ont un rôle fondamental, puisque les racines prélèvent uniquement le plomb dans la solution du sol (**Bourelle and Berthelin, 1998**).

### I.8.1. Biodisponibilité du plomb

L'absorption racinaire du Pb est actuellement considérée comme passive. Elle est réduite par le chaulage et les basses températures. Bien que le Pb soit dans le sol un élément très peu soluble, il peut s'accumuler dans les racines et particulièrement dans les membranes cellulaires. En règle générale, les concentrations en Pb d'une plante sont étroitement corrélées aux concentrations en Pb du sol, mais cette corrélation doit être nuancée et tenir compte en particulier de l'organe (racines, tiges, feuilles, etc.). La translocation de Pb vers les parties épigées d'une plante est un phénomène très limité. Ce qui fait que le Pb n'est pas un toxique systématique en ce sens qu'il ne diffuse pas dans le système vasculaire de la plante, son absorption racinaire n'est effective qu'au-delà de 1000ppm dans le sol, elle dépend entre autres facteurs de la concentration totale dans le sol, de la concentration dans la solution du sol et de la spéciation (**Afnor, 1996**). La plante peut également absorber le Pb par les feuilles, Le maximum "normal" dans les plantes, selon **Mckenzie** est de 8ppm.

## I.9. Effets du plomb

### I.9.1. Effets sur les végétaux

La toxicité du plomb dépend de sa concentration dans le milieu, de sa spéciation, des propriétés du sol, et enfin de l'espèce végétale concernée. Les plantes mettent en place diverses barrières physiques pour se protéger, quand le plomb a réussi à passer à travers ces barrières de protection, il peut affecter de nombreux processus physiologiques de la plante. Les premiers effets ne provoquent pas de symptômes visibles, ceux-ci ne se manifestant qu'en cas de toxicité avancée (Cecchi, 2008).

La croissance, Celle-ci s'accompagne très souvent de nombreux autres indices de dysfonctionnement : chlorose foliaire, importantes lésions nécrotiques, jaunissement progressif, repliement ou dessèchement du feuillage, les bases moléculaires de ces perturbations sont encore mal connues, mais on admet généralement qu'elles résultent d'un stress oxydatif, dû à la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) ou « Réactive Oxygen Species » (ROS). Qui altèrent toute une série de substrats biologiques importants, et modifient les domaines fonctionnels des biomolécules pouvant conduire à la mort cellulaire (Cheng *et al.*, 2003).

### I.9.2. Effets sur la germination et la croissance

A l'échelle macroscopique, le plomb entraîne des effets néfastes sur les plantes. En premier lieu, la germination est fortement inhibée par les ions plomb ( $Pb^{2+}$ ) à très faibles concentrations (Mishra *et al.*, 1998; Tomulescu *et al.*, 2004). De plus fortes doses conduisent à une inhibition totale de la germination chez les espèces végétales, comme L'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) (Wierzbicka *et al.*, 1998). Le plomb réduit également fortement le développement de la plantule et des racelles (Mishra et Choudhuri, 1998). Un traitement à de faibles concentrations en plomb inhibe la croissance des racines et des parties aériennes (Makowski *et al.*, 2002 ; An, 2006). Cette inhibition est plus importante pour la racine, ce qui peut être corrélé à plus forte teneur en plomb de cette dernière. (Obroucheva *et al.*, 1998).

L'accroissement de biomasse végétale est diminué par de fortes doses de plomb (Xiong *et al.* 2006). Sur de longues durées, les traitements au plomb, même à des doses non-létales, peuvent conduire à l'apparition de nécroses au niveau des apex racinaires et des feuilles, ainsi que des chloroses foliaires (Liu *et al.*, 2000). L'ensemble des perturbations macroscopiques observées est la résultante :

- De l'interaction du plomb avec les différents composants cellulaires et les macromolécules (protéines, ADN...). (**Liu et al., 2000**).
- De la perturbation de nombreux processus physiologiques comme la régulation du statu hydrique, la nutrition minérale, la respiration ou la photosynthèse. (**Liu et al., 2000**).

### I.9.3. Effet sur la Photosynthèse

Chez les plantes, l'exposition au Pb conduit à une forte inhibition de la photosynthèse, du rendement photosynthétique, et à une limitation du taux d'assimilation de CO<sub>2</sub>. Le rendement photosynthétique, très sensible, peut chuter de plus de 50% (**Bazzaz et al., 1975 ; Poskuta et al., 1987**). Cette inhibition s'explique par la diminution des teneurs en chlorophylle et en caroténoïdes généralement constatée (**Chen et al., 2007 ; Gopal et al., 2008**).

La chlorophylle b semble plus sensible que la chlorophylle a (**Wozny et al., 1995 ; Vodnik et al., 1999**). Toutefois, ces effets varient en fonction des espèces végétales. Les mécanismes de réduction de la teneur pigmentaire sont, en partie, élucidés. Le plomb induit l'activité chlorophyllase dans les feuilles (**Drazkiewicz, 1994**), mais le mécanisme principal semble être l'inactivation de la synthèse de ces pigments. Le plomb interagit à ce niveau de deux façons :

- D'une façon directe, en se substituant aux ions divalents liés aux métalloenzymes. C'est notamment le cas avec l'-aminolevulinatase ou ALAD qui est à la base de la synthèse des chlorophylles et dont l'ion zinc (Zn<sup>2+</sup>) est remplacé par plomb (Pb<sup>2+</sup>) (**Foy et al., 1978**).
- D'une façon indirecte, en induisant une carence en ces ions divalents (**Foy et al., 1978**).

### I.9.4. 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<sup>2+</sup>, le Mn<sup>2+</sup>, le Ca<sup>2+</sup> et le Fe<sup>2+</sup> (**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<sup>+</sup>, 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**).

### **I.9.5. Effets toxiques chez l'homme**

Le plomb se diffuse rapidement vers les différents organes comme le cerveau, les dents, les os, par la circulation sanguine. La demi-vie du plomb dans les tissus mous et dans le sang est de 30 jours environ, mais elle passe de 1 à 10 ans dans les os (**Pichard, 2002**).

En général, le plomb dans le corps humain se répartit selon (**Pichard, 2002**) comme suit :

- 1 à 2 % dans le sang
- 5 à 10 % dans les tissus mous (rein, foie, rate)
- Plus de 90 % est fixé sur les os

L'élimination du plomb se fait majoritairement par les urines, puis par les fèces, la salive et la sueur, et enfin par les ongles et les cheveux. (**Pichard, 2002**).

Le plomb a de nombreux effets toxiques sur la santé, qui sont basés sur les niveaux de plomb dans le sang ou plombémie sanguine. En effet, il est responsable du saturnisme en cas d'exposition chronique. Il peut provoquer une grande fatigue, des troubles du comportement, de la mémoire, du sommeil, des systèmes immunitaires et reproducteurs, mais ses principaux organes cibles sont le système nerveux, les reins et le sang. En bloquant plusieurs enzymes nécessaires à la synthèse de l'hémoglobine, il entraîne une diminution du nombre de globules rouges et une anémie. De plus, le plomb passe facilement la barrière placentaire par diffusion, d'où un risque d'exposition prénatale (**Aoumeur, 2011**).

**Tableau 4** : Concentrations en métaux et métalloïdes définissant les limites de qualité d'une eau potable (Législation Algérienne, Organisation Mondiale de la Santé (OMS). ( **Décret exécutif n°14-96 du 2 Joumada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine**).

Elément	Décret n° 14-96	Recommandations OMS
Arsenic	10 µg/l	10 µg/l
Cadmium	3,0 µg/l	3,0 µg/l
Chrome total	50 µg/l	50 µg/l
Cuivre	2,0 mg/l	2,0 mg/l
Mercure	6,0µg/l (mercure total)	1,0 µg/l (mercure total)
Nickel	70 µg/l	20 µg/l
<b>Plomb</b>	<b>10 µg/l</b>	<b>10 µg/l</b>
Sélénium	10 µg/l	10 µg/l
Zinc	5 mg/l	Non précisé Pas d'effets néfastes sur la santé observés pour les teneurs généralement mesurées dans l'eau destinée à la consommation

## *Chapitre II*

### *Relation sol-végétation*

## II. Relation sol-végétation

### II.1. Introduction

Le sol est vraiment essentiel à la croissance des plantes car il fournit l'oxygène pour les plantes. Il permet l'ancrage des racines; il retient l'eau le temps nécessaire pour que les plantes puissent l'utiliser ; il stocke les éléments nutritifs nécessaires à la vie. Le sol abrite des microorganismes innombrables, qui accomplissent de multiples transformations biochimiques comme la fixation de l'azote atmosphérique et la décomposition des êtres vivants morts. Les sols abritent aussi des légions d'animaux, microscopiques et plus gros (vers de terre, fourmis, termites, taupes).

Les plantes restituent au sol l'ensemble des éléments fixés (carbone, azote, minéraux). Elles plongent leurs racines dans le sol, y secrètent certaines substances et le recouvrent de débris organiques qui contribuent à former l'humus. Elles fixent le sol et le protègent d'érosion. La composition chimique du sol est le résultat d'un équilibre Dynamique. Cette relation est présentée selon plusieurs aspects :

#### **\*Aspect pédo-génétique**

Elle est représentée par contribution de la végétation à la formation des sols par une action physique (dissociation par poussée de racines), chimique (corrosion de roche par les racines, et surtout apports organiques à la surface du sol) et microbiologique. (OZENDA. 1982)

#### **\*Aspect physiologique**

Equilibre entre le sol, la solution du sol et les racines des plantes ; compétition entre la plante et le sol pour certains éléments, (l'eau, etc.) (OZENDA. 1982)

#### **\*Aspect pédo-génétique**

Le sol influence la répartition des végétaux. En effet, l'influence des fonctions physiques se traduit par la liaison entre certaines plantes et un type donné de texture; espèces de roches (lithophytes), espèces psammophiles liées au sable (OZENDA. 1982)

## II.2. Définition d'un sol

Il existe plusieurs définitions du sol selon

**Selon les agronomes** les agronomes nomment parfois sol la partie arable (pellicule superficielle) homogénéisée par les labours et explorée par les racines des plantes. On considère qu'un bon sol agricole est constitué de 25 % d'eau, 25% d'air, 45% de matière minérale et de 5% de matière organique. Le tassement et la semelle de labour peuvent induire une perte de rendement de 10 à 30%. (**HERVE, 2006**).

**Selon les pédologues** les pédologues estiment que la partie arable ne constitue que la partie superficielle du sol. le pédologue (**GUILLOT.1977**) a défini le sol comme étant « la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants ».

Les responsables de l'aménagement du territoire distinguent les sols agricoles, les soles boisés, les soles bâtis et les autres soles. La science qui étudie les soles, leur formation, leur constitution et leur évolution, est la pédologie

## II.3. La fertilité d'un sol

Le concept de fertilité des sols, c'est-à-dire leur capacité à subvenir aux besoins des plantes (**SEBILOTTE, 1989**), fait partie des concepts classiques et importants de la science du sol et de l'agronomie, qui se sont attaché à comprendre les influences réciproques du milieu physique, et particulièrement du sol, du peuplement végétal et des interventions culturales.

La surexploitation des ressources en terres liée à la croissance démographique et des mauvaises pratiques de gestion en terres a entraîné l'incapacité des sols agricoles des pays du sud à fournir des éléments dont la plante a besoin. Cette incapacité se traduit donc par une dégradation du sol.

## II.4. Nutrition végétale

La nutrition végétale est l'ensemble des processus qui permettent aux végétaux d'absorber dans le milieu ambiant et d'assimiler les éléments nutritifs nécessaires à leurs différentes fonctions physiologiques : croissance, développement, reproduction. La nutrition fait appel à

des processus d'absorption de gaz et de Solutions minérales soit directement dans l'eau pour les végétaux inférieurs et les plantes aquatiques, soit dans le cas des végétaux vasculaires dans la solution nutritive du sol par les racines ou dans l'air par les feuilles.

Le principal élément nutritif intervenant dans la nutrition végétale est le carbone, tiré du dioxyde de carbone de l'air par les plantes autotrophes grâce au processus de la photosynthèse. Les plantes non chlorophylliennes, dite allotrophes ou hétérotrophes dépendent des organismes autotrophes pour leur nutrition carbonée. (**GERHARD. 1993**)

#### **II.4.1. Rôles des éléments dans la plante**

- azote(N) constituant fondamental des protéines et des chlorophylles.
- phosphore (P) : transport l'énergie, croissance, floraison, photosynthèse, respiration.
- potassium (K): résistance de la plante à la sécheresse et aux maladies, floraison et Fructification, améliore la saveur des fruits et la rigidité des tiges. (**FRANÇOIS.2003**)

#### **II.4.2. Les éléments nutritifs et leurs importances pour les plantes**

Selon ALDRICH et al, (1975); (1992); MENGEL et al (1987): on distingue habituellement seize éléments indispensables aux plantes.

Les éléments absorbés par les plantes ne viennent pas tous du sol (**ALDRICH et al, 1975; BERTRAND et al, 2000;**):

- Le carbone (C), contenu dans le CO<sub>2</sub>, provient de l'air,
- L'hydrogène (H) et l'oxygène (O), principaux constituants de l'eau;
- Une partie de l'azote provenant de la fixation atmosphérique et de quelques apports sur les feuilles par l'air ou l'eau de pluie.

Les éléments nutritifs, sont classés du point de vue agronomique sur l'importance quantitative et leurs rôles en :

- Eléments majeurs: N, P, K
- Eléments secondaires: Ca, Mg, S
- Et oligo-éléments: Fe, Z, Cu, B, Mo, Co

Considérés comme indispensables en quantité importante pour la croissance des plantes, les éléments minéraux sont limités par des quantités disponibles, leur étude dans la gestion et le maintien de la fertilité et par conséquent l'augmentation de la production grainière s'avère nécessaire.

### **II.4.3. Les macro-éléments**

#### **a\_ Les macro-éléments secondaires**

Ces éléments sont requis en moins grande quantité que les éléments

-Calcium (Ca): structure des végétaux (composition des cellules), présent dans les apex, développement racinaire, maturation des fruits et des graines.

-Magnésium (Mg) : Élément central de la chlorophylle, coloration et maturation des fruits, favorise l'absorption du phosphore, de l'azote et du soufre.

-Soufre(S): entre dans la composition des protéines, enzymes et vitamines, intervient dans la formation de la chlorophylle, favorise le transport du potassium, du calcium et du magnésium.(**GERHARD. 1993**)

#### **b\_Macroéléments primaires**

Sont des éléments nutritifs essentiels, fer, zinc, cuivre, bore, manganèse, molybdène... sont indispensables au fonctionnement des organismes à des concentrations faibles, mais peuvent être toxiques à des concentrations trop élevées. (**GERHARD. 1993**) \*Fer

Une petite quantité de fer est indispensable à la synthèse de la chlorophylle. Le fer est immobile dans la plante.

#### **Carence**

Les Symptômes de la carence en fer ressemblent à ceux de la carence en magnésium, mais se manifestent presque toujours sous forme de chlorose des jeunes feuilles en période de croissance rapide. Au début, les plus jeunes feuilles deviennent jaune-verts ou jaunes, mais les nervures restent vertes. Par la suite, la chlorose s'étend aux nervures, en commençant par les plus petites, puis les feuilles touchées prennent une couleur allant du jaune citron au blanc. Les tiges cessent ensuite de pousser, et la nécrose apparaît sur les feuilles qui ont perdu toute leur chlorophylle. Des symptômes se manifestent également sur les tiges latérales.

Comme la carence en calcium, la carence en fer est le plus souvent induit Les causes

indirectes de la carence en fer peuvent être les suivantes:

- un substrat /milieu trop alcalin
- un substrat trop riche en manganèse
- un substrat anaérobie
- une croissance insuffisante des racines
- la mort des racines par étouffement

### **Toxicité**

Une dose excessive de fer entraîne généralement une carence en manganèse , ce qui indique une fois de plus la forte concurrence entre le fer et le manganèse dans la plante.

### **Concentration**

La concentration normale de fer dans les tissus végétal aux est de 100à300 ppm dans le poids sec des feuilles complètement formées (cinquième feuille à partir du haut). Les symptômes de la carence se manifestent quand cette concentration passe au- dessus de 50ppm mais la chlorose peut également se produire quand la teneur en fer dépasse 100ppm. Cet écart est dû au fait que tout le fer qui se trouve dans les tissus végétaux n'est pas toujours physiologiquement actif.

### **Manganèse**

Les plantes ont besoin de manganèse, en très petites quantités, pour activer plusieurs enzymes, dont les plus importantes favorisent la photosynthèse et la production de l'homme végétale auxine. En l'absence de manganèse, le peroxyde d'hydrogène s'accumule dans les cellules et les endommage. Comme le fer, le manganèse est immobile dans la plante et s'accumule surtout dans les feuilles inférieures.

### **Carence**

Souvent confondue avec la carence en fer, la vraie carence en manganèse est rare. En fait, vu la concurrence habituelle entre le fer et le manganèse, une carence apparente en manganèse peut être l'expression d'un excès de fer. Les symptômes de la carence en manganèse se manifestent surtout sur les nouvelles parties de la plante. Il est souvent difficile d'établir la véritable nature d'un trouble nutritionnel, parce que les symptômes de la carence en

fer, de la toxicité du fer et de la carence en manganèse se ressemblent. Ce qui distingue le plus la carence en manganèse de la carence en fer est que les nervures restent vertes tandis que les bords et les zones internervales des feuilles deviennent progressivement vert- pâle, jaune -vert et jaunes. Par ailleurs, la carence en manganèse se manifeste dans les feuilles par l'apparition des taches nécrotiques ou de lésions caractéristiques. A un stade avancé, la feuille entière, à l'exception des nervures principales, devient jaune et des dépressions blanchâtres se forment entre les nervures. La carence en manganèse se produit dans les sols et milieux calcaires, dans la tourbe fortement chaulée ou dans les substrats sans sol nutritif où la solution nutritive ne contient pas de manganèse.

### **Toxicité**

C'est sur les plus vieilles feuilles qui se manifestent en premier les symptômes de la toxicité du manganèse : zones vert pâles et jaunes entre les nervures. Les nervures prennent une couleur rouge- brune, et de nombreuses taches violettes se forment sur les tiges, les pétioles et les nervures sur le dessus des feuilles.

### **Concentration**

La concentration normale de manganèse est de 30 à 60 ppm dans les jeunes feuilles et de 100 à 250 ppm dans les plus vieilles feuilles. Une baisse du rendement peut se produire quand la concentration passe au-dessous de 50 ppm dans les jeunes feuilles. Des symptômes de carence tendent à se manifester quand elle passe à 12 - 15 ppm. Des symptômes de toxicité apparaissent quand la teneur en manganèse atteint 500 ppm dans les jeunes feuilles et 800 ppm dans les vieilles feuilles. Il faut s'attendre à une forte baisse de la croissance si la concentration atteint 2000 ppm dans les jeunes feuilles et 5000 ppm dans les vieilles feuilles.

### **Cuivre**

Le cuivre agit comme activateur de plusieurs enzymes aux proximités et fonctions diverses, dont les enzymes qui interviennent dans la photosynthèse et la respiration. Bien qu'il soit mobile dans les plantes ou il est abondant, cet oligo- élément n'est bien moins dans les plantes où il est présent en quantité insuffisante. Il est donc probable qu'il existe un lien entre la concentration de cuivre dans les nouveaux tissus et l'état de la plante. Toutefois, l'analyse du milieu est plus utile que l'analyse des tissus pour repérer la carence en cuivre

### **Carence**

La carence en cuivre ralentit la croissance et entraîne la formation d'entre-neud

courts et de petites feuilles. Au début, des chloroses intervalles apparaissent sur les feuilles adultes, mais par la suite, les symptômes progressent vers le haut de la plante. Les feuilles finissent par prendre une couleur vert terne ou bronze, leurs bords se recroquevillent vers le bas et la plante reste rabougrie. La carence en cuivre est rare, en partie parce que les approvisionnements en cuivre sont suffisants dans la plupart des cas, vu l'emploi fréquent du cuivre dans les canalisations. Elle survient parfois quand les plantes sont cultivées dans de la tourbe et où la solution nutritive ne contient pas de cuivre. Un pH élevé du milieu réduit l'assimilabilité du cuivre, mais l'effet est bien moins important que dans le cas du manganèse, du fer et du bore.

### **Toxicité**

Bien que rare, la toxicité du cuivre peut entraîner des chloroses causées par une carence en fer quand le milieu est contaminé par le cuivre provenant de sources industrielles. L'emploi généralisé de canalisations en cuivre peut causer une contamination par le cuivre.

### **Concentration**

La concentration normale de cuivre varie entre 8 et 20 ppm dans le poids sec de la première feuille complètement développée (cinquième feuille). Les symptômes de la carence commencent à se manifester quand la concentration de cuivre passe au-dessous de 7 ppm et deviennent graves quand elle se situe entre 0.8 et 2.0 ppm. La carence en cuivre peut provoquer une forte baisse du rendement (de 20 à 90%).

### **Bore**

On ne sait pas exactement quelle fonction biochimique le bore remplit dans les plantes, mais on tend à penser qu'il est indispensable à certains processus de division et de différenciation cellulaires dans les points de végétation. Le bore n'est pas mobile au sein de la plante. Une bonne croissance exige des approvisionnements continus de bore aux racines. L'assimilabilité du bore est la plus faible dans un milieu alcalin. La qualité de l'eau influe sur la teneur en bore des plantes.

### **Carence**

Les symptômes de la carence se manifestent dans les points de végétation et les organes reproducteurs. Les feuilles du milieu et du bas de la plante deviennent légèrement chlorosées et fragiles. Bien que l'effet le plus caractéristique de la carence en bore soit la nécrose du sommet de la tige (point de végétation), il se produit d'autres effets:

- croissance de bourgeons axillaires et ramification anormale des plantes
- malformation des jeunes feuilles, dont les nervures deviennent saillantes, et raidissement des vieilles feuilles, qui se recroquevillent vers le haut.
- feuilles fragiles, de taille réduite, incurvées vers le haut
- jaunissement marginale des feuilles inférieures, qui finissent par devenir brunes et par se recroqueviller vers le bas et le haut
- racines noircies aux extrémités hypertrophiées

### **Toxicité**

Le faible écart entre la carence et la toxicité est un problème particulier dans le cas du bore. De nombreuses plantes sont particulièrement sensibles à de fortes concentrations de bore dans le substrat ou dans l'eau (>1ppm). Vu que le bore tend à être immobile dans la plante, les premiers symptômes de la toxicité du bore se manifestent sur les vieilles feuilles. Un emploi imprudent d'engrais boratés provoque facilement la toxicité. Au début, les bords des vieilles feuilles deviennent jaune-vert, se recroquevillent vers le bas et les feuilles sont plus rondes que d'habitude. Par la suite, les symptômes progressent de la base vers le sommet de la plante et des taches nécrotiques se forment entre les nervures. La plante finit par se rabougrir, les feuilles supérieures restent petites..

### **Concentration**

La concentration normale de bore dans le poids sec des feuilles varie entre 30 et 120 ppm. Les symptômes de la carence apparaissent quand elle passe à 6-8 ppm. Dans le cas des feuilles supérieures ou au-dessous de 20ppm dans le cas des feuilles inférieures. Les symptômes de la toxicité se manifestent quand la teneur en bore dépasse 250-300ppm dans les feuilles supérieures et 500-1000 ppm dans les feuilles inférieures.

### **zinc**

Plusieurs enzymes présentes dans les plantes contiennent du zinc. De toutes les carences en oligo-éléments, la carence en zinc est celle qui a les effets les plus évidents sur la photosynthèse. Toutefois, cette carence est rare.

---

### **Carence**

La carence se produit quand la solution nutritive fournie aux plantes ne contient pas de zinc. La teneur normales des sols en zinc varie généralement entre 10 et 300 ppm. L'assimilabilité du zinc baisse quand le pH du milieu s'élève, en présence de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ , élément principal du KH). De forts apports de phosphore peuvent provoquer une carence en zinc, parce qu'il se forme des phosphates de zinc insolubles. Le cuivre et, peut-être, le fer, le manganèse, le magnésium et le calcium bloquent l'assimilabilité du zinc. Les symptômes de la carence ne sont pas bien définis, mais, en générale, une légère marbrure internervale se produit sur les feuilles inférieures et progresse vers le haut de la plante. Les entre-nœuds supérieurs restent courts. La principale caractéristique de la carence en zinc est la petite taille des feuilles. Dans les cas graves, les entre-nœuds courts donnent à la partie supérieure de la plante un aspect buissonnant. La croissance générale est ralentie et les feuilles prennent une couleur jaune-vert à jaune, à l'exception des nervures, qui restent vert foncé et bien définies.

### **Toxicité**

La toxicité du zinc peut être causée par des canalisations galvanisées. Elle peut aussi se produire dans les sols contaminés par des usines à zinc ou des mines de zinc voisines. La totalité du réseau nerval, normalement vert foncé, devient quelque peu noirci. L'aspect

noirâtre des nervures principales permet de distinguer la toxicité du zinc de la carence en manganèse, où les nervures restent vertes. Dans les cas graves de toxicité du zinc, les jeunes feuilles deviennent jaunes et les symptômes ressemblent à ceux de la carence en fer.

### **Concentration**

La concentration normale dans le poids sec de la cinquième feuille varie entre 40 et 100 ppm. Les symptômes de la carence se manifestent quand la concentration passe au-dessous de 20-25 ppm. La toxicité survient quand la concentration dépasse 150-180 ppm dans les feuilles âgées ou 900 ppm au sommet de la plante.

### **Molybdène**

Le molybdène intervient dans de nombreuses enzymes et joue un rôle important dans le métabolisme de l'azote. Les plantes ont besoin de modestes quantités de molybdène :

une moyenne de 0,2 ppm de molybdène disponible dans le sol suffit généralement. Contrairement à la plupart des autres oligo-éléments, qui sont présents sous forme de cations, le molybdène y est présent sous forme d'anions. Il se comporte comme le phosphate. L'assimilabilité du molybdène augmente avec l'alcalinité du milieu. La carence tend donc à se produire plus souvent dans les milieux acides.

### **Carence**

La carence en molybdène est rare, mais a été observée dans les plantes cultivées dans la tourbe (acidité). Au début, les feuilles deviennent vert pâle, surtout entre les nervures. Par la suite, elles peuvent jaunir et mourir. Parfois, certaines parties des feuilles adultes restent vertes, ce qui donne aux feuilles un aspect marbré. Les symptômes se manifestent d'abord sur les feuilles inférieures puis progressent vers le haut, mais les jeunes feuilles restent vertes. La croissance peut paraître normale. Les cas graves de carence dans la tourbe ou milieux très acides peuvent réduire de beaucoup la croissance mais, en relevant le pH (jusqu'à 6,7), cela permet de ramener la croissance à des niveaux presque normaux.

### **Toxicité**

Bien que l'assimilation de grandes quantités de molybdène n'ait aucun effet nuisible sur la croissance des plantes, il y a peut-être lieu de s'inquiéter des effets que cela pourrait avoir sur la santé de nos poissons lors d'une forte concentration de molybdène dans le milieu.

### **Concentration**

La concentration normale dans le poids sec des feuilles est de 0,8-5,0 ppm. Les plants carencés contiennent moins de 0,3 ppm de molybdène.

### **Chlore**

Le chlore est le dernier élément à avoir été ajouté à la liste des éléments jugés indispensables à la croissance des plantes. La carence en chlore n'a jamais été observée, si ce n'est dans des expériences contrôlées, vu la prévalence du chlore dans l'environnement sous forme de contaminant. Toutefois, si l'eau du bac provient d'un osmoseur et que les éléments nutritifs et minéraux ajoutés ne contiennent pas de chlore, une carence est à prévoir. De même, utiliser à outrance des produits de type aquasafe sont dangereux pour les plantes, et ce, pas seulement au niveau du chlore mais aussi au niveau des métaux nécessaires à la plante.

### **Toxicité**

Un excès de chlore est problème grave, notamment dans nos aquariums ou la solution nutritive est recyclée. Les plantes n'exigent que de petites quantités de chlore (comme le fer) pour une croissance normale, mais peuvent en assimiler davantage si les réserves de chlore sont abondantes. Ou dans l'eau du robinet peuvent facilement causer une accumulation toxique de chlore dans la solution nutritive recyclée.

### **Chrome**

Sous une forme adsorbée sur des hydroxydes métalliques, le chrome est peu disponible aux végétaux. La concentration en chrome des végétaux est donc principalement contrôlée par la concentration de chrome en solution dans le sol. Le chrome dans un sol neutre ou basique sera donc plus disponible vis-à-vis des plantes que dans un sol acide.

**(PICHARD,2005).**

La plupart des sols contiennent du chrome, mais sa disponibilité pour les plantes est très limitée. Cependant, l'addition de chrome au sol influence la teneur en chrome dans les plantes. Habituellement, une quantité plus importante en chrome est observée dans les racines, plutôt que dans les feuilles, tandis que la concentration la plus faible se trouve dans les graines **(KABATA, 1992)**

Les essais montrent une meilleure translocation du chrome vers la tige à partir d'une solution de chrome VI qu'avec une solution de chrome III. Les données rapportées dans la littérature concernent :

-soit des plantes cultivées sur des sols contenant du chrome, dans des atmosphères avec des concentrations en chrome non négligeables **(HARRISON, 1989),**

-soit des plantes cultivées sur des sols contaminés par des ajouts de boues **(DIEZ et ROSOPOULO, 1976),**

-soit des plantes cultivées nutritives sur des sols contaminés par des ajouts réguliers de solutions nutritives contenant du chrome **(CARY et al. 1977)**. Aucune de ces données n'est satisfaisante pour dériver des facteurs de bioconcentration du chrome depuis les sols.

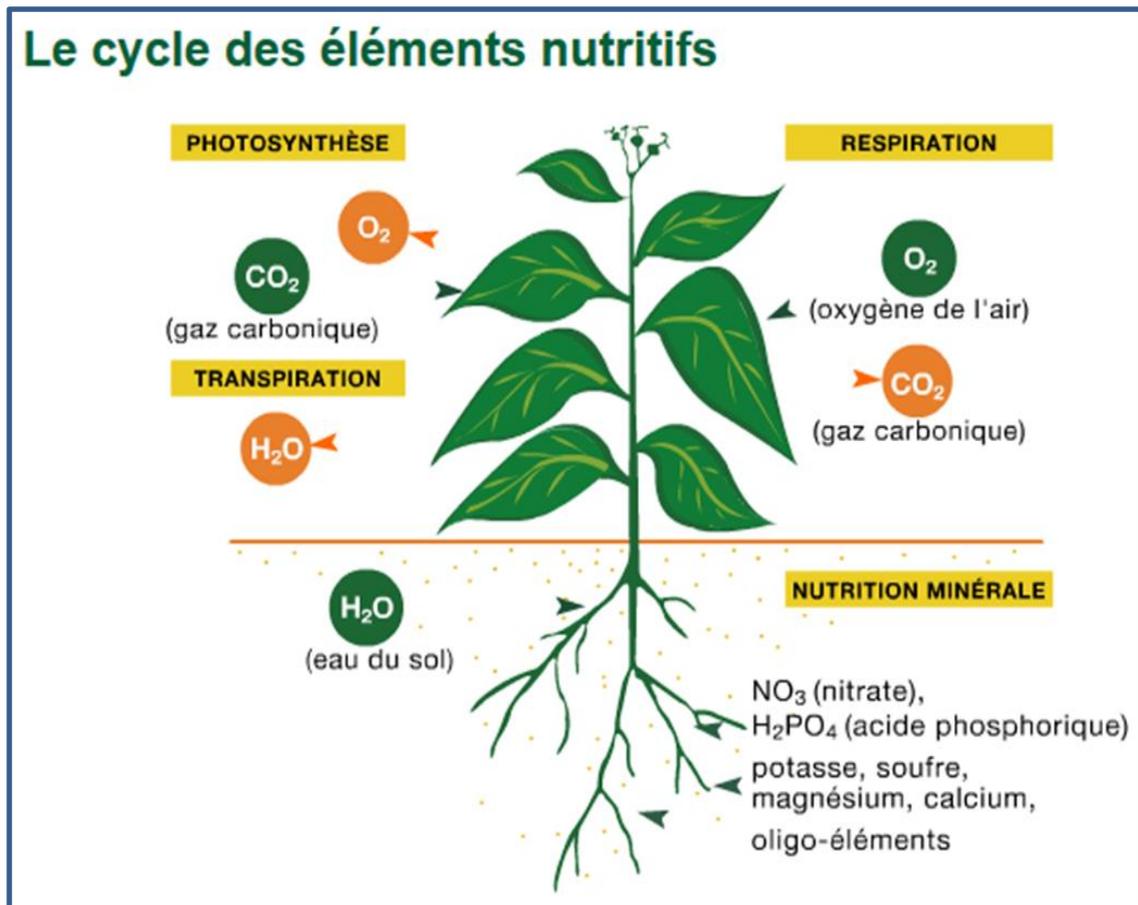


Figure 5 : Sources des élément nutritifs (UNIFA)

# *Chapitre III*

## *L'haricot*

### III. Présentation de l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L)

#### III.1. Généralités

L'haricot vert (*Phaseolus vulgaris* L,  $2n = 2x = 22$ ), est une légumineuse alimentaire appartenant à la famille des Fabaceae, originaire d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud (Gepts, 1990 ; Lemma, 2003 ; Brigide et al., 2014). Elle joue un rôle important dans l'alimentation humaine comme source de vitamines, de protéines, de fibres, de sels minéraux et dans la fixation biologique de l'azote (Fortin, 1996). Cette espèce se caractérise par sa capacité à fixer l'azote dans le sol (Amanuel et al., 2000), elle est utilisée pour améliorer les conditions du sol.

Cette caractéristique de pouvoir fixer de l'azote atmosphérique est très répandue chez les espèces légumineuses qui sont capables de produire leur propre azote et ne ont pas besoin d'être approvisionnées avec un apport de l'extérieur. Cette dernière particularité des légumineuses est grâce à certaines espèces de bactéries qui fixent de l'azote. À signaler que la quasi-totalité appartient au genre *Rhizobium* et vivent en symbiose avec les légumineuses dont certains chercheurs ont pu identifier plus de 44 différentes espèces.

Cette plante occupe une importance agro-économique mondiale avec une production annuelle de 20,4 millions de tonnes en 2008 pour une superficie cultivée de 26,47 millions d'hectares (Djeugap et al., 2014). Par ailleurs, la consommation de produits alimentaires peu transformés, prêts à consommer ou prêts à l'emploi, a augmenté dans le monde au cours de la dernière décennie en raison de leur aspect pratique, de leur fraîcheur et de leur qualité améliorée (Baskaran et al., 2007).

#### III.2. Composition et valeur nutritive d'haricot vert

Les haricots verts sont relativement riches en vitamines, en fibres, en sels minéraux, entre autres en iode, et en oligo-éléments (Broughton et al., 2003), qui sont présentés dans le tableau n° 5.

**Tableau 5:** La composition chimique d'haricot vert (Torres., 2004 ; Couplan., 1998).

Composés	Minéraux (mg/100g)	Vitamines
Eau (90g/100g)	Iode, I (0.0320)	Vitamine A (170UI/100g)
Protides (8g/100g)	Zinc, Zn (0.1-0.2)	Vitamine B1 (0.53mg/100g)
Lipides (0.5g/100g)	Calcium, Ca (37)	Vitamine B2 (0.1mg/100g)
Glucides (21g/100g)	Phosphore, P (38)	Vitamine B9 (61µg/100g)
Carotène (170UI/100g)	Fer, Fe (1)	Vitamine C (2mg/100g)
Calories (120Kcal/100g)	Sodium, Na (6/100)	Vitamine E (2.5mg/100g)
Fibres (0.07g/100g)	Potassium, K (208/100)	

### III.3. Origine et répartition géographique

L'haricot est un fruit d'une plante originaire d'Amérique centrale et d'Amérique de sud. Le mot « haricot » désigne à la fois le fruit, la graine et la plante qui les produit. Il est dérivé de « ayacolt », nom de ce légume en nahuatl, langue parlée par les aztèques (Fortin., 1996). L'haricot, connu sous l'appellation scientifique *Phaseolus vulgaris* L. est une légumineuse largement cultivée et consommée dans le monde (Kaplan., 1981).

Ce légume a été introduit en Europe au début du XVI<sup>e</sup> siècle, mais il demeurera pendant de nombreuses années consommé en grains. Au XVIII<sup>e</sup> siècle, ce sont les Italiens qui commencèrent à manger les gousses des haricots, cueillies avant la maturité, et ce sous forme de légume (Baudouin et al., 2001).

### III.4. Description morpho-physiologiques

#### III.4.1 Partie souterraine

##### III.4.1.1 Racines

La racine d'haricot se forme progressivement après le stade de germination, le système racinaire initial d'haricot se forme à partir de la radicule de l'embryon qui devient la racine primaire (Chaux et Foury., 1994).

Par ailleurs, la racine principale peut être facilement arrêtée par les obstacles du sol. Les racines latérales ont un développement qui peut dépasser celui de la racine principale

(**Guignar., 1998**). Le système racinaire pivotant qui peut descendre jusqu'à 1.2 m on trouve le plus grand nombre de racine entre 0.20 à 0.25 m de profondeur (**Barreto., 1983**).

### III.4.2 Partie aérienne

#### III.4.2.1 Tige

Les grandes tiges peuvent atteindre 2 à 3 m de long ; c'est l'haricot à rames courtes ne dépassent guère 30 40cm de longueur et l'haricot ayant de telles tiges est appelé haricot nain (**Dupont et Guignard., 1989**).

#### III.4.2.2 Ramifications et feuilles

La feuille d'haricot vert est entièrement occupée par trois veines à partir de la base. Cette plante contient deux types de feuilles et forme ; sur le deuxième nœud deux des premières feuilles appelées feuilles primaires. Les feuilles d'haricot typique débutent à partir du troisième nœud. Les deux premières feuilles sont simples et s'attachent face à face sur la tige tandis que le reste des feuilles sont trifoliolées mesurant entre 7.5 et 14 cm de long et entre 5.5 et à 10 cm de large (**Gallais et Bennfort., 1992**).

#### III.4.2.3 Fleurs

La famille Fabaceae est caractérisée par une architecture qu'elle offre des fleurs sous forme de grappe auxiliaires courtes comptant de 4 à 10 fleurs (**Chaux et Foury., 1994**). Chaque fleur a environ 2 cm de longueur et de couleur très variée ; rose, blanche, violette, rouge (**Bell, 1994**). Les fleurs d'haricot vert sont de forme papilionacées, et comprennent : 5 sépales, 2 pétales, 9 étamines soudées par leur base et une étamine libre, un ovaire avec une loge renfermant de 4 à 8 ovules.

#### III.4.2.4 Fruits

Solen Hubert (1978), ce sont des gousses allongées généralement droites, plus ou moins longues et terminées par un point. Leur largeur varie de 8 à 25 mm. Elles renferment en moyenne de 4 à 8 graines. Dans les parois de la gousse, appelée cosse, les faisceaux libéro-ligneux sont plus ou moins développés (**Goust et Seignobos., 1998**).

### III.4.2.5 Graines

Les graines sont réniformes, arrondies à ovales plus ou moins allongées. Elles sont riches en amidon et matières protéiques. Elles ressemblent au rein et présente une cicatrice ou hile sur le côté concave (**Chaux et foury. ,1994**). Le tégument peut être noir, blanc ou revêtis de différent nuances de jaune, brun, rouge ou rose selon les variétés (**Peron., 2006**).

## III.5. Description botanique (systématique) et noms vernaculaires

Le genre *Phaseolus* appartient à la famille des Fabaceae ou Papilionaceae. Il renferme environ 50 espèces, cinq (05) d'entre elles ont été domestiquées, et sont les plus importantes, à savoir ; *P. acutifolius*, *P. coccineus*, *P. lunatus*, *P. polyanthus* et *P. vulgaris*. Cette dernière, communément nommée haricot vert et fait partie de la chaîne trophique humaine (**Gepts, 1990**). *Phaseolus vulgaris* L. possède plusieurs noms vernaculaires : haricot vert, haricot mangetout (**Torres., 2004**).

### III.5.1. Systématique de *Phaseolus vulgaris* L

Le tableau (6) comporte et résume la systématique de cette espèce légumineuse parmi le règne végétal.

**Tableau 6** : la systématique de *Phaseolus vulgaris* L

Sous Embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotyledones
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae
Sous Famille	Papilionaceae
Genre	<i>Phaseolus</i>
Espèce	<i>Phaseolus vulgaris</i> L



**Figure 6** : l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L)

### III.6. Cycle de végétation

#### III.6.1. Phase de germination

La germination des graines nécessite une durée de 4 à 8 jours en fonction des conditions thermiques (**Hubert., 1978**). Les cotylédons sortent du sol plus tard et la première paire de feuilles apparaît (**Figure 8.A**)

#### III.6.2. Phase de croissance

Avant l'émergence de 3 à 4 jours, les cotylédons commencent à s'estomper (**Pitrat et Foury., 2003**) et ce 5 à 6 jours après l'apparition de la première feuille trifoliolée apparaît. De 5 à 6 jours après le début de la première feuille, la deuxième feuille trifoliolée commence à apparaître. Au bout d'un mois, le pied d'haricot possède une dizaine de feuilles trifoliolées et atteint sa hauteur définitive de 30 à 40 cm, au dessus du sol, pour les variétés naines (**Dupont et Guinard., 1989**). (**Figure 8.B**)

#### III.6.3. Phase floraison

Selon **Lecomte (1997)**, le processus de floraison commence environ, trois semaines à un mois après le semi et dure un mois et demi en fonction des conditions climatiques. La jeune gousse atteint sa taille définitive approximativement en une douzaine de jours. (**Figure 8.C**)

#### III.6.4. Phase maturation

Après que la taille définitive est atteinte, la durée de formation est de 15 à 30 jours et 20 à jours après, les gousses s'ouvrent d'elles-mêmes ; les graines étant mures. Le cycle végétatif complet d'haricot s'étale sur 75 à 130 jours (**Lecomte., 1997**). (**Figure 8.D**)

Le cycle de développement de le haricot à savoir, les phases de germination, de croissance, floraison, et maturation est résumé dans la **figure 7 (Lecomte., 1997)**.

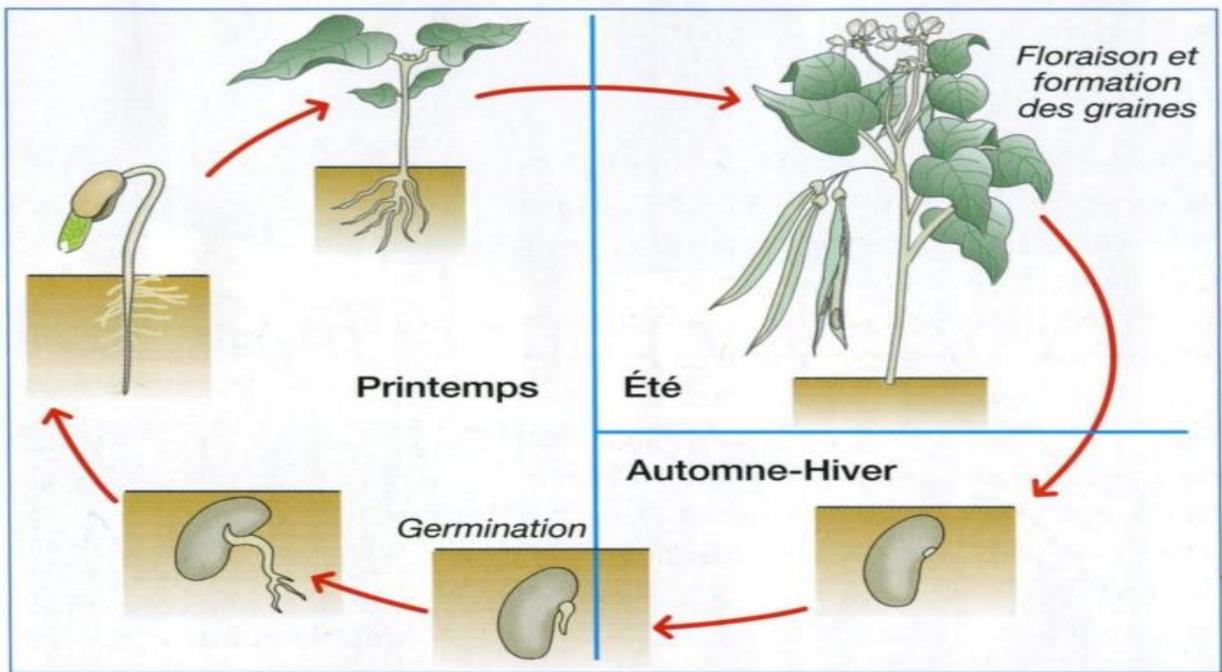


Figure 7: le cycle de développement d'une graine de haricot. (Lecomte., 1997).

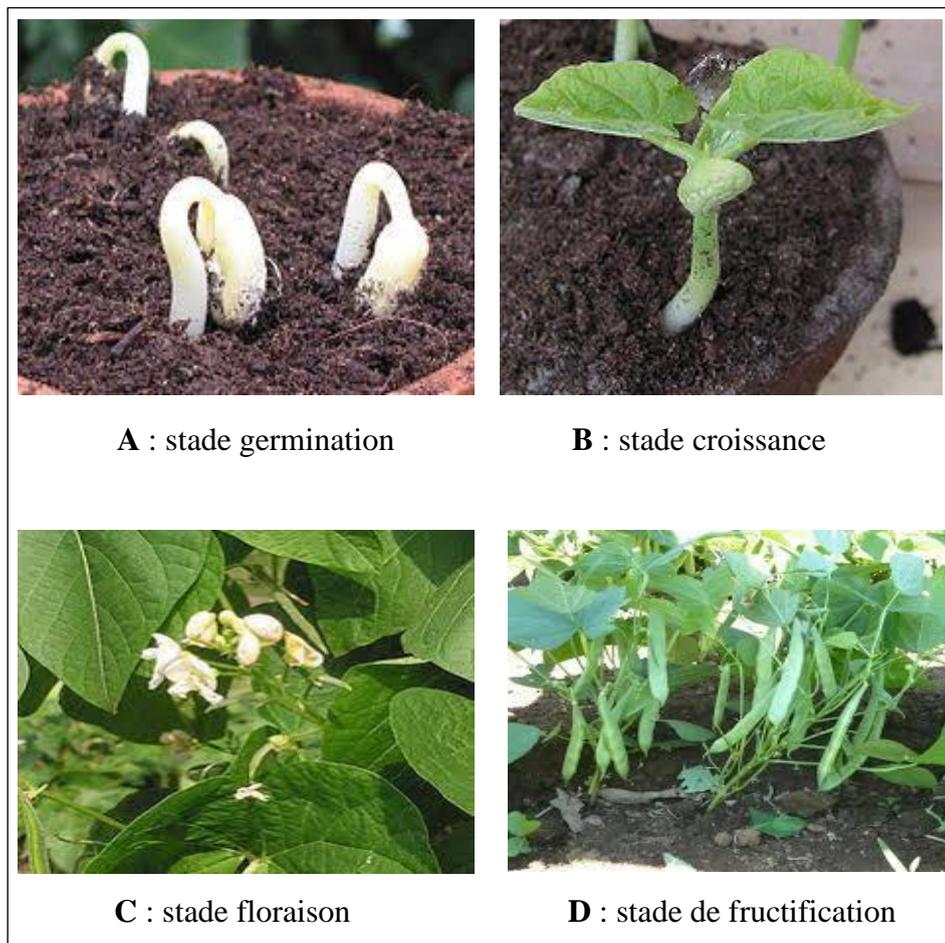


Figure 8: Stades phénologiques de Phaseolus vulgaris L. (Lecomte., 1997).

### III.6.5. Récolte

La fréquence des récoltes sera adaptée au type d'haricot exporté. Pour l'haricot extra fin (Kenya), les récoltes se feront tous les jours. Pour la variété Bobby, une récolte tous les trois à quatre jours est conseillée et tous les deux jours pour l'haricot filet. Il est nécessaire de garder ces fréquences de récolte tout au long de la production pour éviter de pénaliser les rendements commerciaux par des écarts de triage importants. Les produits seront récoltés manuellement et cueillis avec le pédoncule. Un soin particulier est nécessaire pour préserver la qualité de la récolte, à savoir :

- ne pas surcharger les caisses de récolte (risque d'écrasement) ;
- préserver la fraîcheur des produits en évitant de les laisser en plein soleil ;
- mettre les récoltes, le plus rapidement possible, en chambre froide, y compris avant le triage si ce dernier est différé.

Les récoltes se feront de préférence le matin, sauf si les plantes sont en état d'humidité élevée. Par ailleurs en ce qui concerne le personnel chargé de la récolte, il est utile de faire sensibiliser aux exigences qualitatives spécifiques à ce type de production.

### III.6.6. Rendements potentiels

Pour la culture d'haricot destinée pour la production et la consommation des gousses fraîches, les performances moyennes mondiales en termes de rendement sont aux alentours de 8.5 tonnes par hectare (FAO STAT, 2010). Cependant au niveau des pays en voie de développement, les performances moyennes sont limitées dans une fourchette qui varie de 2,4 à 4,3 tonnes par hectare (Soejono, 1992). En fait, ces rendements sont sensibles aux plusieurs facteurs du milieu ; la conduite de la culture, les conditions climatiques et édaphiques ainsi que selon le type du matériel génétiques considéré

## III.7. Exigences climatiques du Haricots

### ❖ La lumière :

C'est une plante qui a besoin de lumière mais cultivée à l'ombre, elle croît beaucoup et produit peu c'est à dire, elle met beaucoup de temps à produire des organes végétatifs.

❖ **La température :**

La croissance n'est rapide qu'au-dessus de 12 à 13°C pour les variétés naines et 14 à 15°C pour les variétés à rames. Le zéro de végétation est d'environ de 10°C. Le haricot supporte les températures élevées s'il est suffisamment humide. Le gel détruit la culture.

❖ **L'eau :**

La culture du haricot a besoin de 300 à 400 mm d'eau, régulièrement répartie, avec une période critique en début de floraison. La sécheresse provoque le flétrissement et la coulure des fleurs alors que l'humidité excessive favorise le développement des maladies cryptogamiques comme l'anthracnose et peut déclencher des chloroses en début du cycle.

❖ **Le vent :**

Les vents violents au moment de la floraison provoquent la coulure des fleurs et compromettent la production

## *Partie II*

### *Matériels et méthodes*

## I. Matériel et méthodes

### Objectif

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du plomb sur la germination, la croissance de l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), et la biométrie des racines. L'évaluation de la biomasse a été calculée pour mieux apprécier l'effet du stress (Pb) sur la plante

### I.1. Site expérimental

L'étape de germination a été effectuée au niveau de laboratoire de Botanique à l'Université de Mostaganem Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Tandis que l'étape de croissance a été réalisée dans la ferme située de Ain Tedles (Mostaganem) (**Figure 9**)



**Figure 9** : Localisation de Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et la ferme de Ain Tedles (Mostaganem) (Google Earth 2022).

## II. Matériel végétal

Le matériel biologique choisi pour l'étude est l'haricot. Son nom scientifique est *Phaseolus vulgaris* L. C'est une plante qui appartient à la famille des Fabacées. (Figure 10). Les graines de *phaseolus vulgaris* ont été achetées dans un magasin de vente des produits agricoles, le 01/03/2022, ( Figure11 )



Figure 10 : l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.



Figure 11 : Graines de *phaseolus vulgaris* .L (variété : Coco Rose).

## II.1. Origine des variétés

Les variétés de *P. vulgaris* ont été fournies par un agriculteur privé dont l'origine des variétés et leurs caractéristiques sont résumées dans le **tableau (7)**

**Tableau 7** : Les différentes variétés de *Phaseolus vulgaris* L

variété	origine	caractéristiques
anihiltor	USA	Les gousses sont de forme crochet de couleur blanc crème marbrée, le grain blanc cassée marbrée marron.
Coco rosa	USA	Grain blanc marbrées de marron, la gousse blanche
coco rose atlas	France	Gousse marbrées de rouge et des grains roses panachés de rouge.
haricot blanc	France	Les grains blancs et les gousses blanc cassé. Cette variété très utilisées
Aljadida	Italie	Grain marron foncée, gousse blanc crème, longue
coco rose Amélioré	France	Gousse blanc-crème marbrée de rouge, longue et large, grain blanc à peau fine. Excellente saveur

## III. Matériels pratiques

### III.1. Pour la germination

- boîtes de pétri
- papier filtre
- Etuve
- Marqueur et étiquettes

### III.2. Pour la préparation de la solution d'irrigation

- Nitrate de plomb : est un sel inorganique de plomb et d'acide nitrique c'est un cristal incolore ou une poudre blanche, et un oxydant stable et fort de Formule  $Pb(NO_3)_2$

- Bécher
- Agitateur
- L'eau distillée
- Fioles en verre
- la balance
- Entonnoirs

### III.3. Pour la croissance

- Les pots de 3 kg
- plaques de semis
- Sol agricole
- Une bassine
- Les gobelets
- Règle de mesure de longueur
- Nitrate de plomb  $Pb(NO_3)_2$

### III.4. Pour la biomasse

- La Balance
- règle de mesure de longueur
- Ciseaux
- récipients

## IV. Protocole expérimental

### IV.1. Germination

#### ❖ Traitement des graines

Les graines de l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) (Coco Rose) d'une taille moyenne (Figure 12), sont lavées avec l'hypochlorite de sodium à 8° pendant 10 min pour éliminer toute contamination fongique, puis rincées abondamment avec l'eau distillée 03 fois pour supprimer toutes traces de l'hypochlorite de sodium. Pour faciliter la germination, les graines sont imbibées dans de l'eau distillée pendant 24 heures,



**Figure 12 :** traitement des graines avec l'hypochlorite de sodium 8°.



**Figure 13:** Rinçage et Imbibition des graines dans l'eau distillée

### ❖ Préparation de solution

Pour préparer une solution aqueuse de nitrate de plomb  $Pb(NO_3)_2$  de masse molaire 331,2 g/mol, de différentes concentrations allant de 0 jusqu'à 200 ppm, il y a deux méthodes : par dissolution de cristaux ou par dilution d'une solution concentrée initiale.

Les métaux lourds ont été utilisés sous forme de sel de nitrates donc les concentrations citées dans le tableau ci-dessous ont été calculées selon la formule :

$$[C_2] = Mm \text{ sel} \times [C_1] / Mm \text{ métal}$$

**[C<sub>2</sub>]**: la concentration calculée pour la préparation de la solution d'irrigation

**[C<sub>1</sub>]**: la concentration prise pour notre étude (ex: Pb :50 ppm, Pb : 150 ppm .)

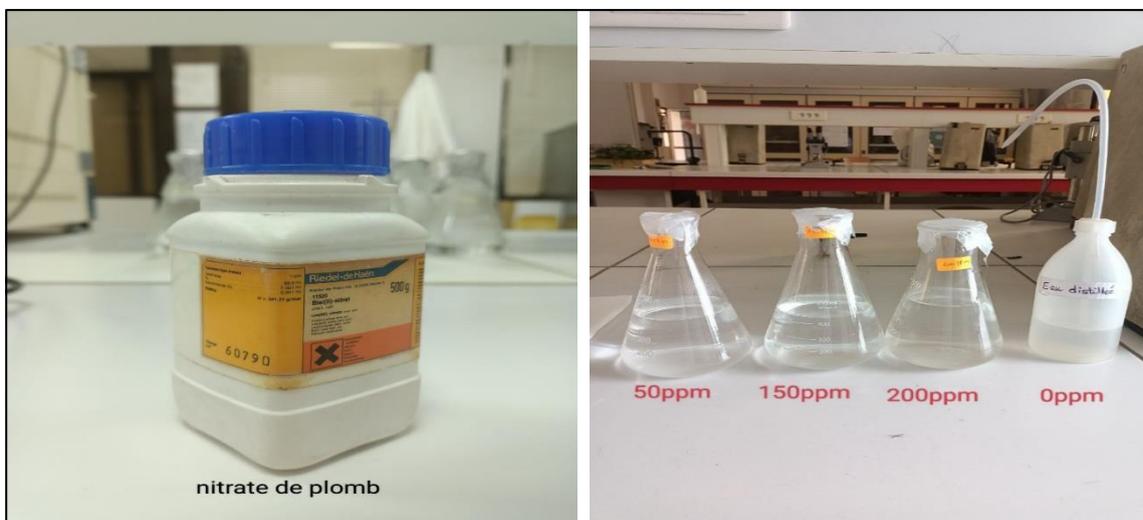
**Mm sel** : la masse molaire du sel du métal

**Mm** : la masse molaire du métal

Le tableau ci-dessous illustre les concentrations préparées du plomb pour l'irrigation à partir d'un poids initial de nitrate de plomb

**Tableau 8** : Concentrations calculées pour la solution d'irrigation riche en plomb

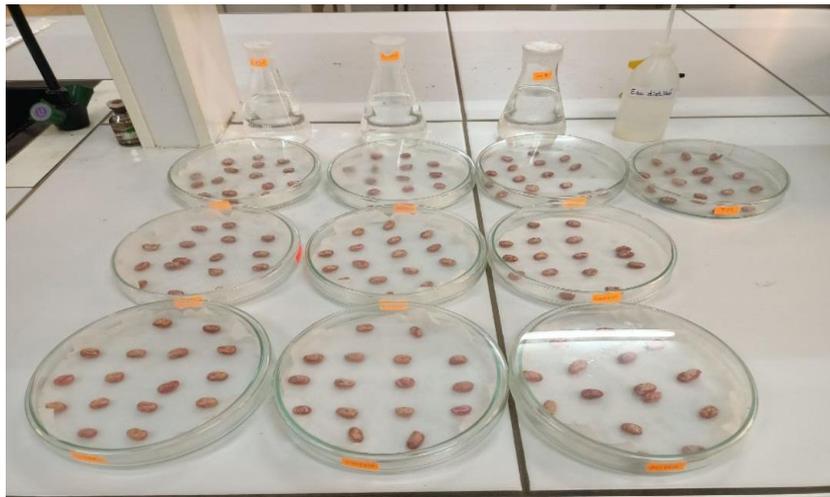
Métal	Concentration	Concentration d'irrigation
pb	50 ppm = 0,05 g/L	0,08 g/L
	150 ppm = 0,15 g/L	0,24 g/L
	200 ppm = 0,2 g/L	0,32 g/L



### ❖ Mise en germination

Après avoir été stérilisées, les graines ont été mises à germer dans des boîtes de Pétri de 19 cm de diamètre, munies d'une couche de papier filtre stérile à raison de 16 graines par boîte et trois répétitions par traitement (Figure 14). Chaque boîte a reçu 10 ml de l'eau distillée pour les graines témoins et le même volume pour les graines stressées par le plomb à différentes concentrations (50, 150, et 200 ppm). Ensuite les boîtes ont été placées à l'obscurité dans une étuve réglée à une température de 25°C (Figure 15). Les graines germées ont été comptées toutes les 24 h durant dix jours, et la moyenne des pourcentages de germination et de l'inhibition de germination a été calculée à base de trois répétitions par test.

Le critère de la percée de la radicule a été adopté pour évaluer la germination des graines. Dès que la radicule des graines de couleur blanchâtre sort hors du tégument, la graine est comptabilisée comme étant une graine germée. Ces dénombrements sont répétés chaque jour pendant toute la durée de l'expérimentation



**Figure 14** : dispositif expérimental des graines de l'haricot mises à germer



**Figure 15** : Germination des graines de l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) à l'étuve

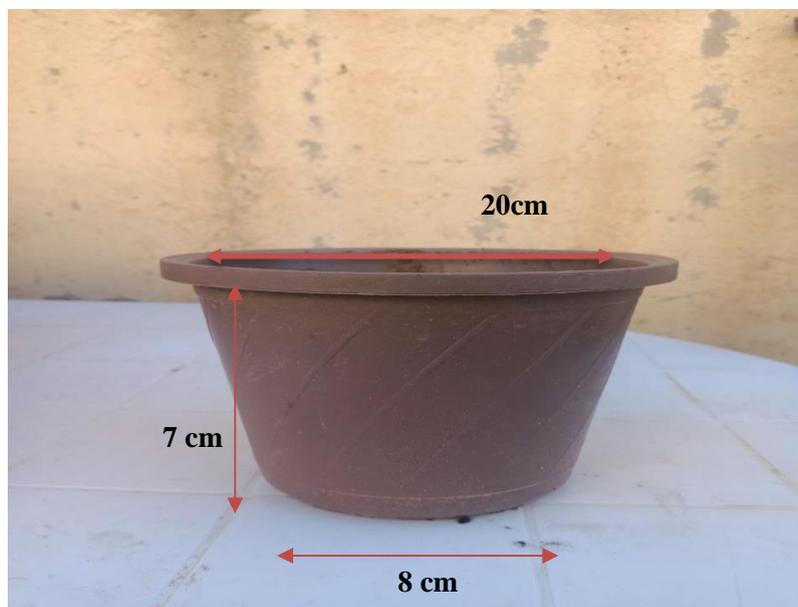
## IV.2. La Croissance

### ❖ Préparation du milieu de transplantation

Le sol constitué de substrat de culture a été prélevé de la ferme, il est tamisé avec un tamis de 2 mm afin d'éliminer les différents débris végétaux et animaux , pour obtenir une structure fine .

### ❖ Préparation des pots de culture

Nous avons préparé des pots de culture d'une capacité de 3 kg de sol ; et le poids du pot vide est 150 g , le diamètre supérieur maximum est de 20 cm .



**Figure 16** : l'aspect général des pots

Les pots utilisés pour les expérimentations ont bien été lavés et séchés puis remplis de sol de culture , ils sont répartie en 4 niveaux de traitement , D0 pour le lot témoin , et D1(50ppm) , D2 (150ppm) , D3 (200ppm) pour les lots traités avec le plomb. Chaque niveau de traitement est constitué de trois pots représentant les trois répétitions.

Pour la série des pots de test de croissance avec le stress métallique, nous avons prélevé de chaque pot 100 g de sol que nous avons mis dans des gobelets. Ces sol ont été traité avec la concentration métallique (50, 150, 200ppm) à sec (solide- solide). Ensuite nous avons irrigué ces gobelets avec de l'eau distillée jusqu'à saturation puis laisser sécher à l'air libre. Après 72 h, les sols des gobelets et après une dessiccation complète, ont été renversés dans une grande bassine en ajoutant la quantité du sol restante et après avoir bien mélangé les sols stressés à sec, le contenu des sols est remis dans les pots de croissance. L'ensemble des séries des pos a été

irrigué à l'eau de robinet jusqu'à la capacité au champ puis ont été conservé dans la ferme pour la préparation de la croissance

#### ❖ Etape de préparation des semences

- Des graines de *Phaseolus vulgaris* L ont été mises à germer dans des gobelets sur sol agricole non stressé par le pb, prélevé de la ferme à raison de deux graines par gobelet et irriguées à l'eau de robinet (**Figure 17**)

- Après huit jours de germination, les semences étaient prêtes à la transplantation dans les pots de croissances que nous avons préparé préalablement à raison de deux plantules par pot. La transplantation des semences a été réalisée délicatement afin de ne pas abimer les apex caulinaires et radiculaires

- En parallèle un lot de pots est préparé avec le sol agricole en absence du métal et réservé comme témoin pour l'étude comparative des résultats de la croissance de la plante. La figure (**17**) présente l'étape pré-germinative de l'espèce étudiée. Le tableau (8) résume la préparation du sol de croissance de l'haricot



**Figure 17 :** Préparation des semences

Après transplantation des semences (pots témoin et pots tests), la croissance des plantules a été étalée jusqu'à la septième semaine de croissance et l'irrigation a été faite à l'eau de robinet. Chaque 48 h la biométrie des tiges est calculée et le nombre de feuilles est compté.

**Tableau 9** : Résumé de préparation des sols pour la croissance

<b>D0 (le témoin )</b>	<b>D1 ( 50 ppm)</b>	<b>D2 ( 150ppm)</b>	<b>D3 ( 200ppm)</b>
<b>100g de sol de culture</b>	<b>100g de sol de culture + 0.24 g de plomb</b>	<b>100g de sol de culture+0.72g de plomb</b>	<b>100 g de sol de culture + 0.96 g de plomb</b>
<b>100g de sol de culture</b>	<b>100g de sol de culture + 0.24 g de plomb</b>	<b>100g de sol de culture +0.72g de plomb</b>	<b>100 g de sol de culture + 0.96 g de plomb</b>
<b>100g de sol de culture</b>	<b>100g de sol de culture + 0.24 g de plomb</b>	<b>100g de sol de culture+0.72g de plomb</b>	<b>100 g de sol de culture+ 0.96 g de plomb</b>

### IV.3. La Biomasse

Après sept semaines de croissance la partie aérienne de la plante de chaque pot (témoin et test) a été découpée et pesée à l'aide d'une balance de précision. Le poids en gramme (g) de la productivité fraîche a été calculé. Ce poids correspond à la biomasse de la plante étudiée après 7 semaines de croissance.

Sept semaines de croissance ( partie aérienne découpée)

#### ❖ La Biométrie des racines

Après que nous avons découpé les feuilles et les tiges pour calculer la biomasse, les racines ont été prélevées du sol, rincées à l'eau pour éliminer les particules du sol ensuite étalées et fixées sur une feuille blanche à l'aide de scotch. La moyenne de la biométrie des racines principales a été calculée.

L'évaluation de la sensibilité ou la résistance de *Phaseolus vulgaris* L par le phénomène de croissance sur sol agronomique stressé par le plomb (50,150, 200ppm) a été réalisée en se basant sur les paramètres de croissance à savoir, la longueur des tiges et racines, le nombre de feuilles et la biomasse. Les valeurs de ces paramètres ont été comparées aux valeurs des témoins dont le même protocole expérimental dépourvu de stress métallique

*Résultats*

*&*

*Interprétations*

### III. Résultats et Interprétations

Le recours aux méthodes biologiques telle que la germination et la croissance présente un avantage de réponse adaptée. Ces méthodes s'avèrent complémentaires aux analyses chimiques et biochimiques vu qu'elles permettent d'évaluer de façon relativement simple l'action directe des polluants métalliques sur l'organisme végétal

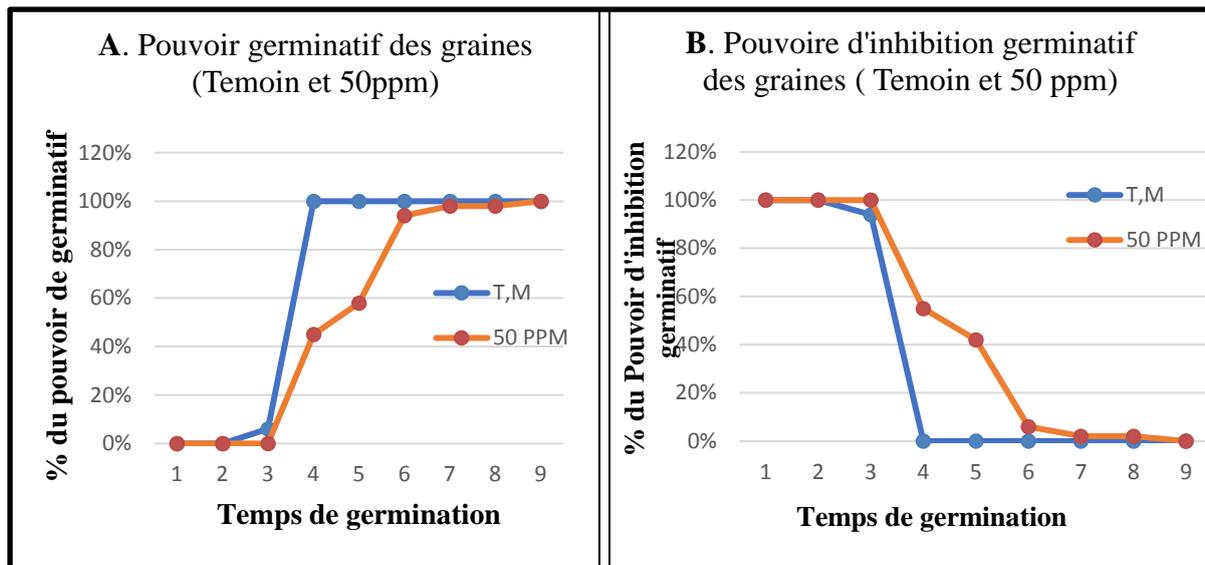
Le but de cette étude est de déterminer la toxicité par le plomb à différentes doses des graines de l'haricot au moyen de test de germination in vitro sur papier filtre et de croissance par des cultures en pot de plantules transplantées après une étape germinative préalable sur sol agronomique. Le test de la biomasse nous a été intéressant pour confirmer la tolérance ou la phyto-toxicité de l'haricot stressé par le plomb

L'ensemble des résultats obtenus permettra de révéler le comportement de l'espèce mise à l'étude vis-à-vis des différentes doses du plomb mis à l'exposition. Les résultats du pouvoir germinatif, de l'inhibition de germination de la croissance ainsi que de la biomasse sont présentés dans les **figures** (18.19.20.21.22.23.24.25.26.27.28.29.30.31.32.33)

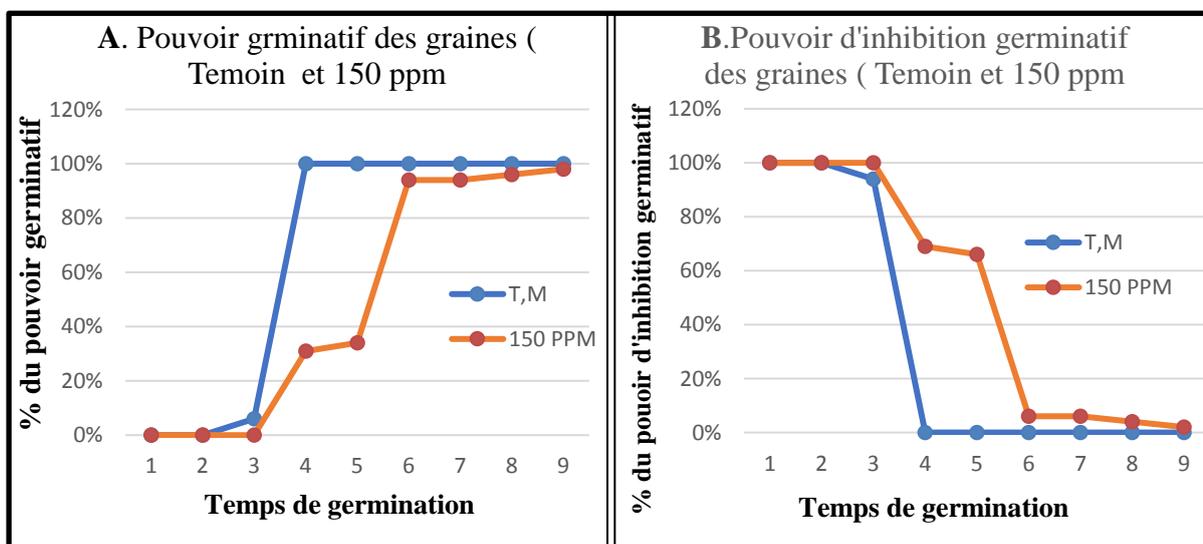
#### III. 1. Effet du plomb sur la germination et la croissance de l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.)

##### ➤ Sur la germination

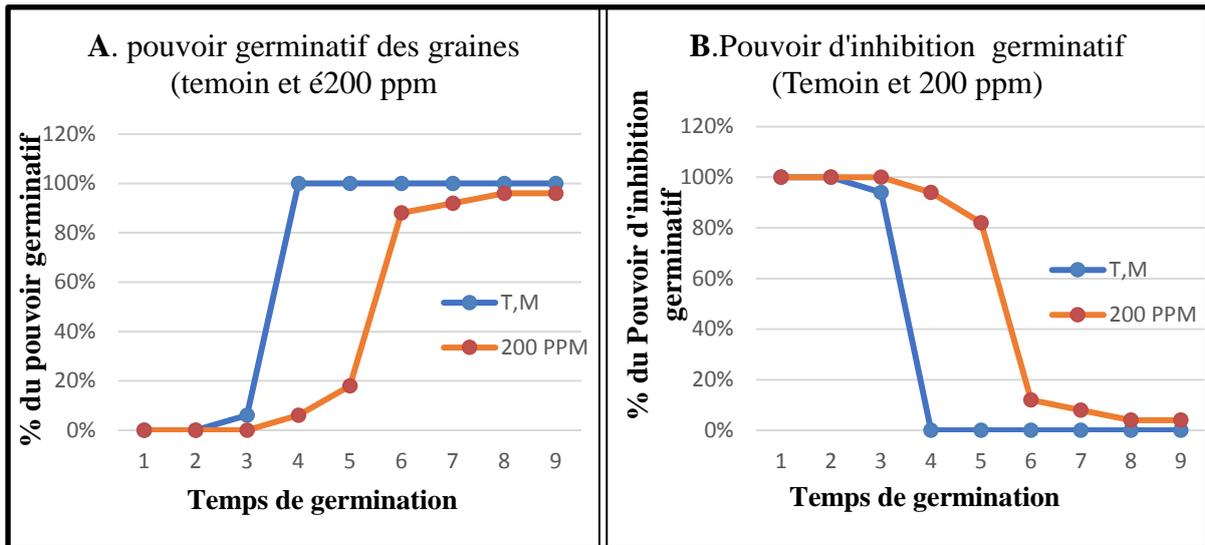
Au troisième jour de germination des graines sous le stress métallique par le plomb, nous avons enregistré des pourcentages du pouvoir germinatif qui sont de 41% pour 50 ppm, 38% pour 150 ppm et 14% pour 200 ppm (**Figure** 18,19,20(A)),(21). La germination des graines est accélérée à partir du sixième jour pour atteindre un pouvoir germinatif de 100% (témoin) ; 99% (50 ppm) ; 98% (150 ppm) et 85% (200 ppm). L'inhibition de la germination est très faible est proche du témoin pour 50 ppm (0.1%) ; elle est de 0.2% pour 150ppm Le pourcentage d'inhibition de germination et plus important (15%) pour la dose de 200ppm (**Figure** 18,19,20(A)),(21) Nous constatons que, en termes de germination les graines de *Phaseolus vulgaris* sont plus sensibles aux concentrations supérieures à 200ppm de plomb (pb)



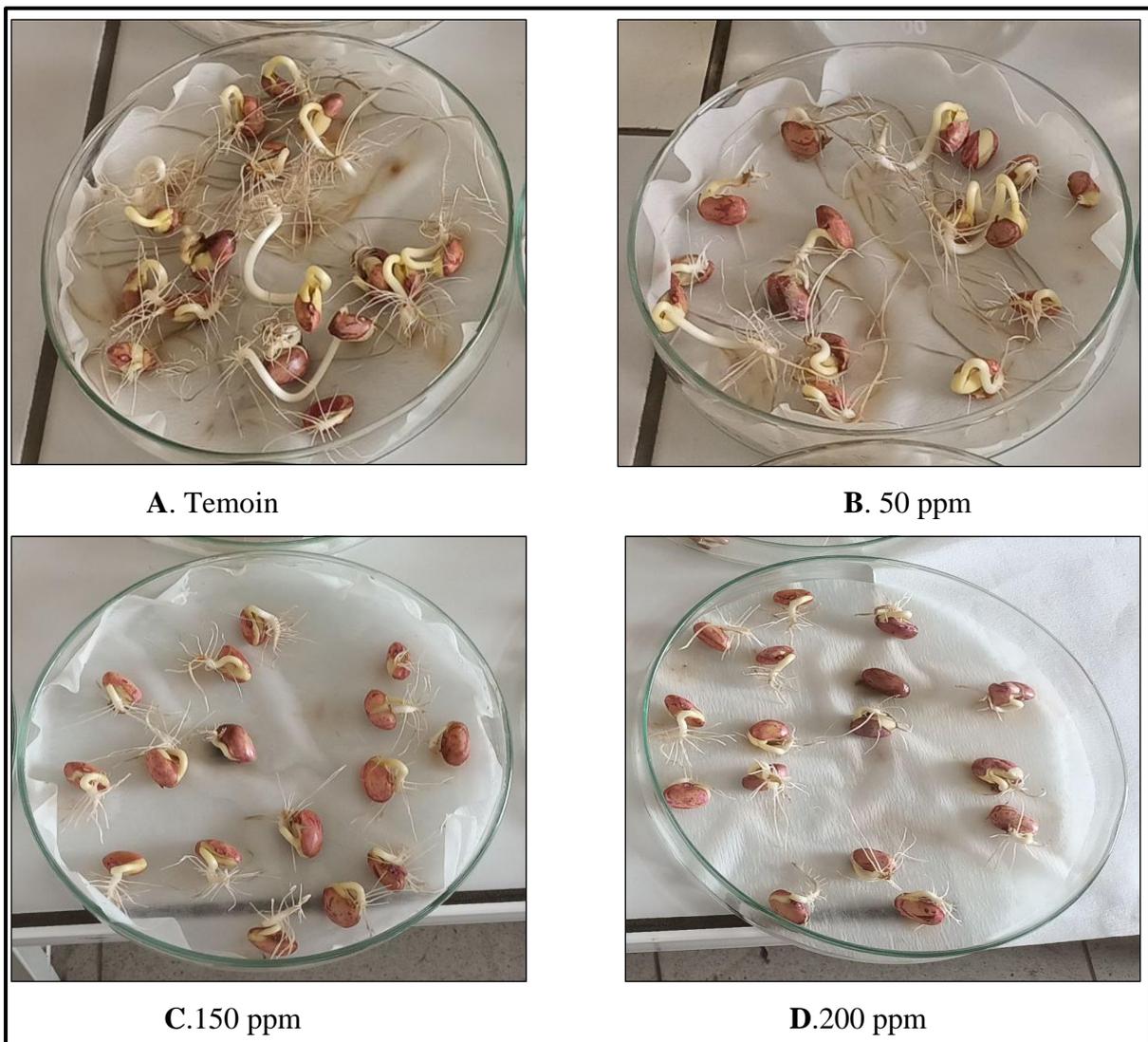
**Figure 18 :** Le pourcentage (%) du pouvoir germinatif (A) et d'inhibition de germination (B) des graines de *Phaseolus vulgaris* L sous le stress métallique du plomb (Témoin et 50 ppm)



**Figure 19:** Le pourcentage (%) du pouvoir germinatif (A) et d'inhibition de germination (B) des graines de *Phaseolus vulgaris* L sous le stress métallique du plomb (Témoin et 150ppm)



**Figure 20:** Le pourcentage (%) du pouvoir germinatif (A) et d'inhibition de germination (B) des graines de *Phaseolus vulgaris* L sous le stress métallique du plomb (Témoin et 200ppm)



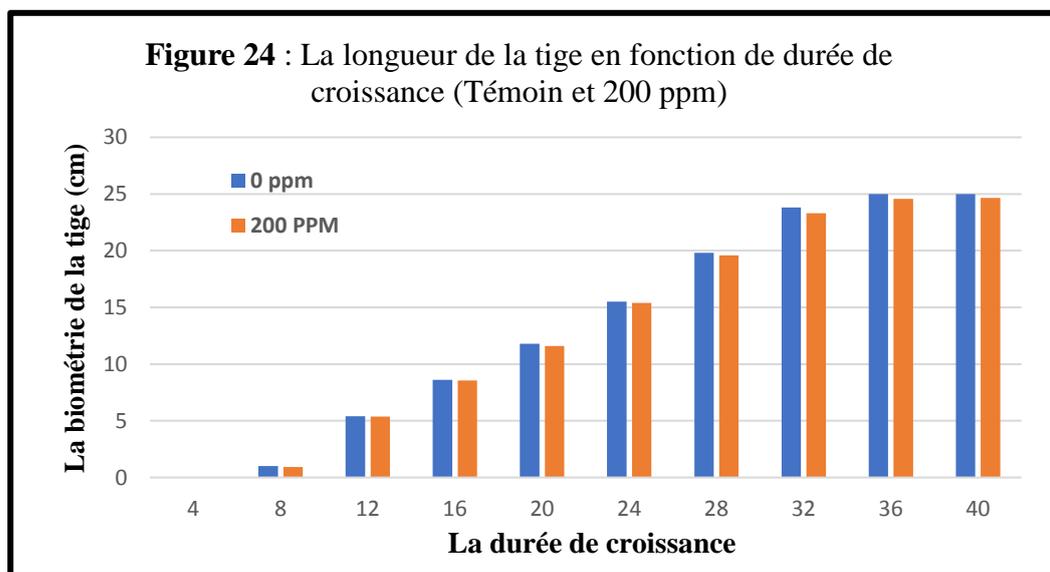
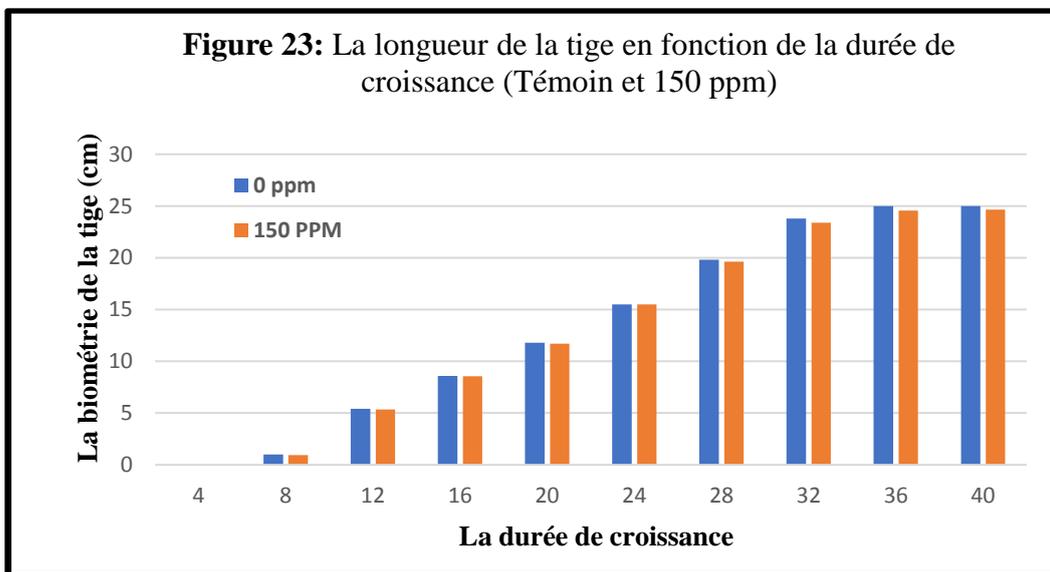
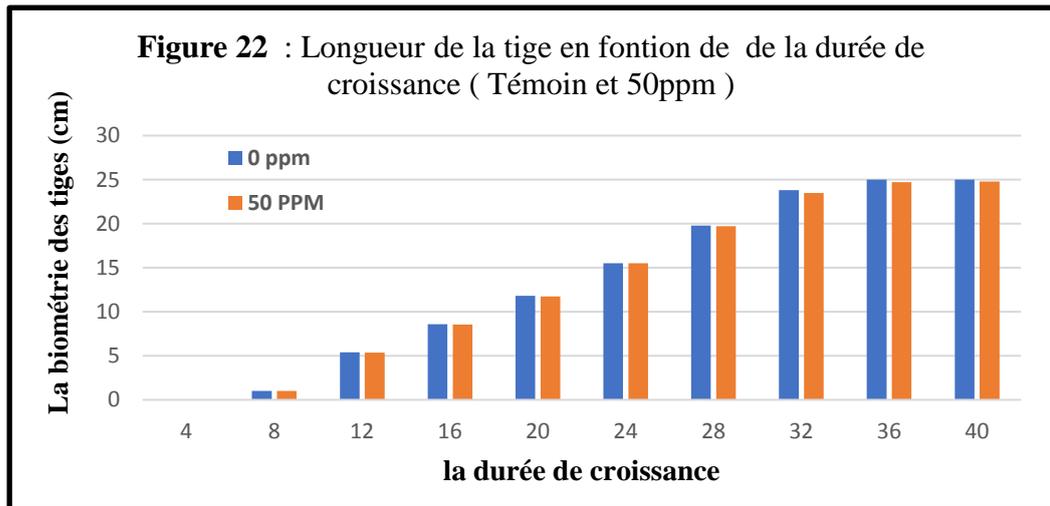
**Figure 21:** Germination des grains (Temoin , stress métallique à 50\_150\_200 ppm)

➤ **Sur la croissance**

Nous considérons qu'une plante à croissance luxurieuse c'est celle qui marque un développement climax important et une abondance en reproduction face à un stress métallique c'est à dire sa croissance n'est pas affectée. Ainsi les examens morphologiques qualitatifs et quantitatifs par les techniques de la biométrie des organes végétatifs ainsi que la pesée de la matière sèche ou fraîche sont des facteurs de base identifiant la tolérance et la sensibilité de la plante vis-à-vis d'un stress de pollution. Afin d'évaluer la croissance et le développement de l'espèce étudiée mise en exposition à un stress métallique de différentes concentrations à base de plomb, nous avons calculé la moyenne biométrique des tiges, des racines et la moyenne du nombre de feuilles, ainsi qu'une biomasse de la partie aérienne a été effectuée. Les résultats de la longueur des tiges, le nombre des feuilles, la biomasse **figures** (22,23,24), (25)

❖ Après huit jours de prégermination des graines, la transplantation des plantules de l'haricot dans les pots contenant un sol agronomique contaminé par le plomb a été effectuée. Les résultats de la biométrie des tiges révèlent une croissance normale en comparaison avec les témoins. Les valeurs de la longueur des tiges calculées pendant la période de croissance qui a duré 07 semaines indiquent une croissance positive pour l'ensemble des concentrations en plomb utilisées et qui varient légèrement selon les concentrations. En effet la moyenne de la biométrie des tiges est autour des 25 cm, 24,80 cm, 24,66 cm et 24,56 cm pour le témoin, 50ppm, 150ppm et 200ppm respectivement

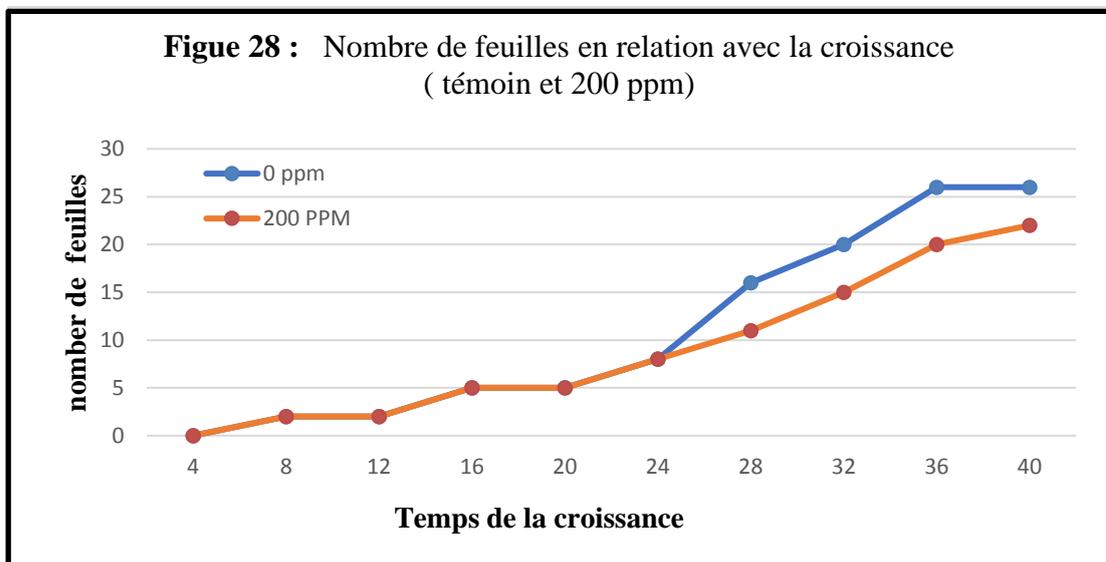
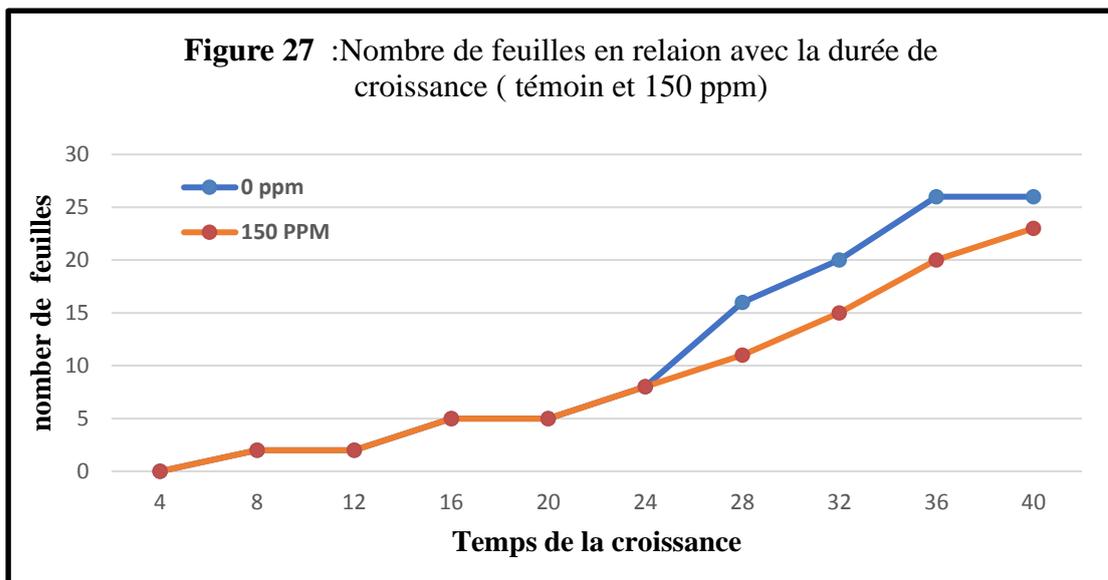
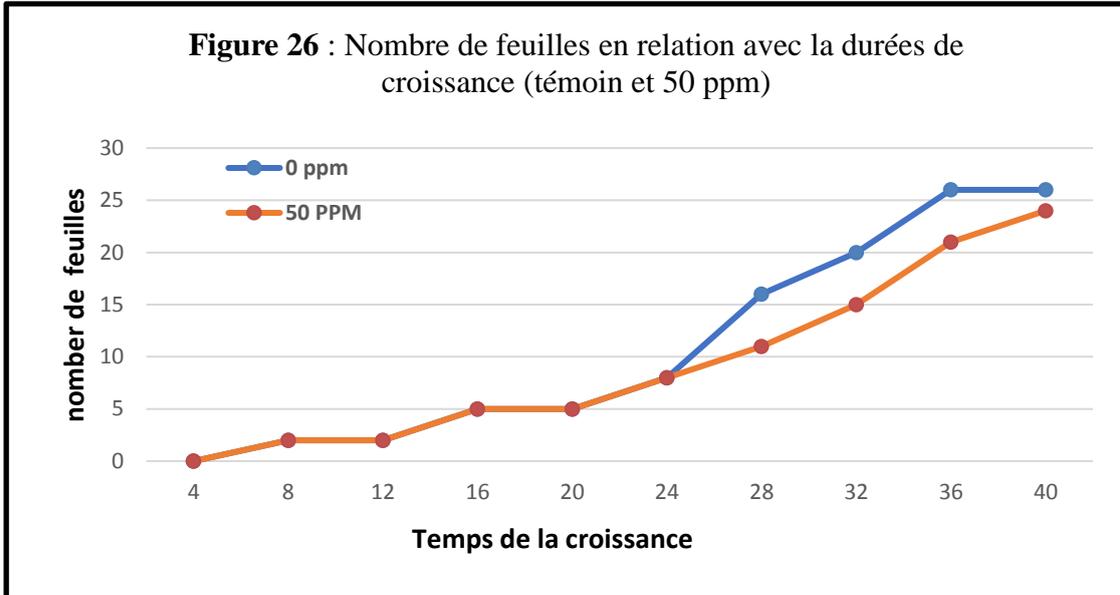
Il faut savoir que l'étape de croissance en pots est précédée d'une phase de germination des graines de l'haricot d'une semaine pour avoir des semences prêtes à être transplantées dans le milieu stressé par le plomb. Cette étape a été réalisée dans le sol agronomique non pollué par le plomb et irrigué à l'eau de robinet sous des conditions naturelles dans la ferme agronomique. L'étape de pré-germination a pour rôle de minimiser le choc physiologique causé par le stress métallique





**Figure 25** : La biometrie de la tige apres 7 semaine de croissance

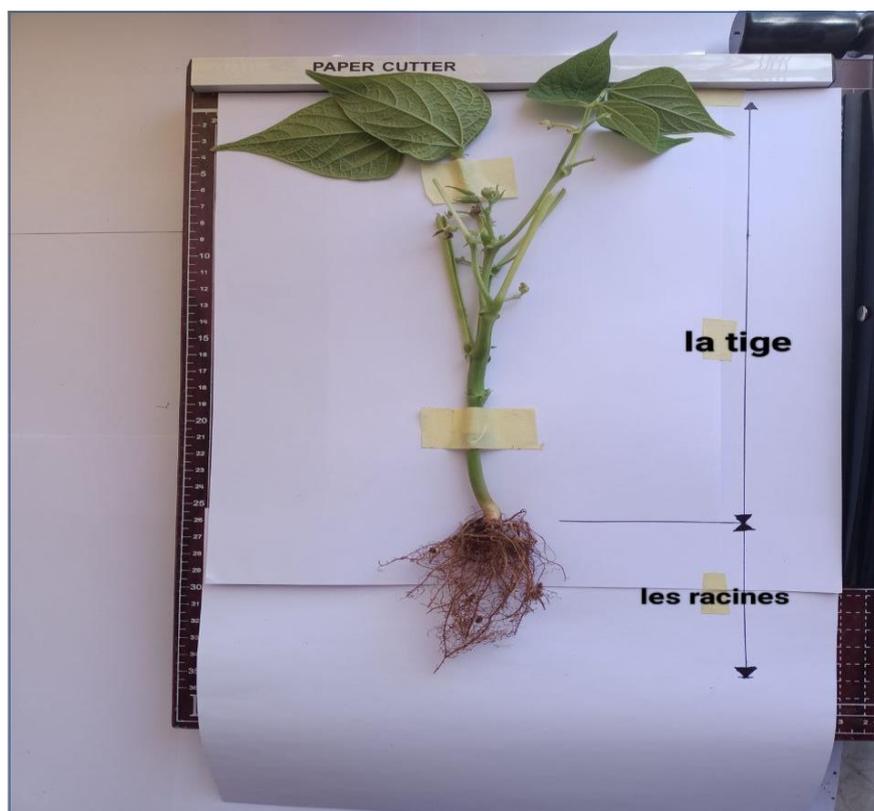
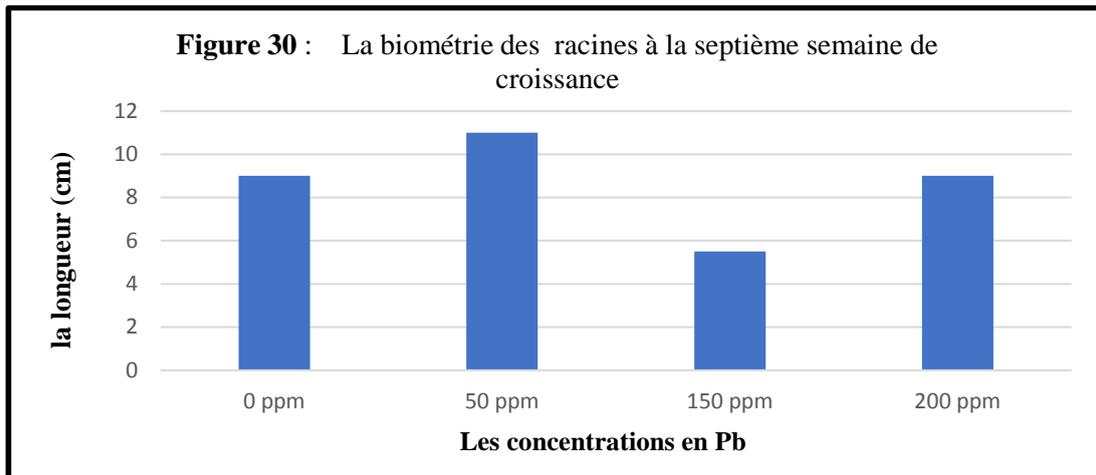
❖ Le nombre de feuilles a été compté en même temps que la biométrie des tiges et les résultats des **figures** ( 26.27.28 ) (29) montrent que les feuilles se développent en relation avec la croissance de l'haricot en longueur pour atteindre un nombre maximal moyen de 26 feuilles chez le témoin contre 24 , 23 et 22 feuilles chez l'haricot soumis à des concentrations de 50, 150 et 200 ppm plomb respectivement, enregistrés à la septième semaine de croissance. Nous avons noté un ralentissement de développement des feuilles pour les concentrations élevée du Pb (200ppm) et donc une sensibilité de croissance est exprimée.





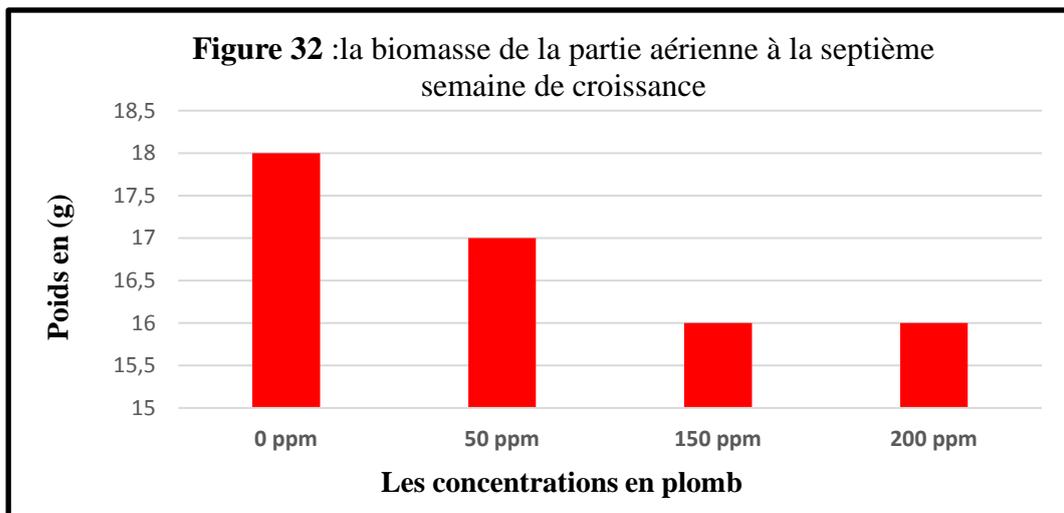
**Figure 29:** Nombre de feuilles en relation avec la croissance à la 7 semaine

❖ La croissance des racines de *Phaseolus vulgaris* L a été évaluée par le calcul de la biométrie moyenne racinaire à la septième semaine de croissance. Les résultats des **figures** ( 27 ) montrent que la biométrie la plus basse des racines est enregistrée pour les concentrations de 150ppm (5,5 cm) . Ce paramètre est plus élevé pour des concentrations en Pb de 50ppm (11cm), dépassant ainsi la biométrie au niveau des témoins (9cm). Pour 200 ppm de Pb les valeurs de biométrie sont les mêmes que celles enregistrées pour les témoins (9 cm). Nous constatons que la croissance des racines de l'haricot est affectée à 150 ppm, cependant cette croissance est accélérée à 50 ppm. Cette différence de croissance marquée est peut être en relation avec la mobilité et la spéciation de d'autres éléments métallique au niveau du sol et par l'effet combiné peuvent agir en présence du plomb à la concentration 50ppm comme inducteurs de la croissance des parties souterraines. Cette hypothèse reste à vérifier et étudier.



**Figure 31:** La biométrie des racines à la septième semaine de croissance

❖ En complément aux résultats de la biométrie des tiges et racines ainsi que le nombre des feuilles, la biomasse des parties aériennes a été évaluée afin de confirmer la tolérance ou la sensibilité de *Phaseolus vulgaris* au stress métallique par le plomb. Les résultats de production moyenne de la biomasse qui sont regroupés dans les **figures** (32),(33) révèlent que les moyennes de biomasse aérienne produites sont de l'ordre de 18g, 17g , 16g et 16 g pour le témoin, 50ppm ; 150ppm et 200ppm respectivement. Nous constatons une diminution de production et une légère sensibilité de la plante vis-à-vis du plomb (200 ppm) par rapport au témoin



**Figure 33**: la biomasse de la partie aérienne à la septième semaine de croissance

*Discussion*  
*générale*

## Discussion générale

L'accumulation des métaux lourds dans l'environnement peut se répercuter sur la santé des végétaux, des animaux et des êtres humains (Wang et al., 2003). En effet les sols contaminés constituent un risque potentiel de transfert des métaux aux plantes cultivées et leur bioaccumulation le long des chaînes alimentaires (Nejmeddine et al., 2003).

Les métaux lourds n'ont pas tous une fonction connue à ce jour dans le métabolisme de la plante, et malgré la grande diversité des besoins et des niveaux de tolérance aux métaux lourds chez les plantes, certains restent considérés comme des poisons cellulaires pour lesquels les doses admissibles sont très faibles. On retrouve parmi les plus toxiques, Hg, Cr, Ni, Pb et Cd (Kabata-Pendias and Pendias, 2001).

Les plantes peuvent absorber du plomb à partir des racines, mais également à partir des organes aériens, ou bien par l'intermédiaire des deux.

Les résultats de l'inhibition de la germination montrent que le plomb a diminué la germination des graines proportionnellement à leurs concentrations en effet *Phaseolus vulgaris* est plus sensible à 200 ppm de Pb. Selon (Shalini, 2003 ce métal présente une affinité vis-à-vis les protéines cellulaires, notamment les enzymes qui contrôlent le processus de la germination. L'effet inhibiteur du nitrate de plomb sur la germination à des concentrations élevées de plomb chez *Phaseolus vulgaris* a été souligné par plusieurs auteurs (Rouibi, 1992 ; Xiong, 1997). Ce métal déshydrate les tissus (Rouibi, 1992).

Il a été démontré que les métaux lourds affectent de nombreux processus morphologiques, physiologiques et biochimiques chez les plantes (Sobkowiak and Deckert, 2003). La réduction de croissance est une des réponses les plus fréquentes et la première observable lorsque des plantes sont soumises à un stress (Appenroth, 2010)

Les tests utilisant les plantes sont considérés comme étant un bon moyen pour estimer la toxicité des polluants. Ces tests permettent de recréer totalement un système métal-sol-plante. Ainsi, le haricot est couramment utilisé comme plante-test. Sa réponse aux métaux contenus dans le sol (signe de phytotoxicité) permet alors d'estimer le risque de contamination de la chaîne alimentaire (Kong et al., 1995). Les valeurs de la biométrie des tiges calculées pendant la période de croissance qui a duré 07 semaines montrent qu'en termes de croissance le haricot résiste à des concentrations testées au plomb avec une légère sensibilité à la concentration 200 ppm en comparaison avec le témoin et les autres concentrations. Les travaux de L'ane et Martin (1977) ; Souahi et al., (2017) ont révélé que le plomb, après s'être fixé au rhizoderme, pénètre dans le système racinaire de façon passive et suivait le système de conduction de l'eau

**(Seregin et al., 2004).**

Les résultats de la biométrie des racines de l'haricot révèlent une résistance modérée pour l'ensemble des concentrations, à 200 ppm de Pb les valeurs de biométrie sont les mêmes que celles enregistrées pour les témoins. Les quantités des métaux absorbées par les racines dépendent de la concentration et de la solubilité du métal dans la solution de sol, mais également de ses capacités de migration du sol vers la surface des racines (**Patra et al., 2004 ; Zheng et al., 2011**). La toxicité dépend fortement à des interactions de cet élément métallique avec les espèces végétales considérées et également du mode de culture et des facteurs environnementaux. Dans notre étude la résistance de la croissance racinaire au stress au plomb est en relation avec la spéciation la mobilité du métal ainsi qu'à des caractéristiques propre à la plante. Nos résultats ne s'accordent pas avec ceux enregistrés par **Kopittke et al (2007)** sur la corneille (une plante de la famille des Fabaceae, proche du haricot) a montré que les racines sont plus sensibles que les parties aériennes à l'exposition au plomb. **Liu et al., (2003)** ont démontré que la sensibilité ou la tolérance des plantes au plomb était cultivar-dépendante. En effet, leurs travaux réalisés sur différents cultivars de riz mettent en évidence des retards de croissance et de développement, mais uniquement pour certains cultivars, d'autres n'y étant pas sensibles. D'une manière générale le phénomène de résistance implique deux stratégies principales à savoir, la stratégie d'évitement ou la plante limite l'absorption des éléments métalliques et la stratégie de tolérance ou la plante résiste au stress métalliques en limitant les effets néfastes grâce aux phénomènes physiologiques.

# *Conclusion*

### Conclusion générale

Le plomb accumulé dans le sol de surface peut être prélevé par les plantes, et par conséquent contaminer l'homme via la chaîne alimentaire, ce qui constitue un problème sanitaire majeur. Des travaux de recherche sont donc nécessaires pour répondre aux attentes dans les domaines 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. C'est dans ce contexte que notre projet d'étude s'est orienté vers l'étude du comportement de l'haricot vis-à-vis des concentrations en plomb dans le sol.

L'objectif de cette étude est de déterminer la toxicité par le plomb des graines de l'haricot au moyen de test de germination *in vitro* sur des boîtes de pétri à base de papier filtre et de croissance par des cultures en pot de semences transplantées après une étape germinative préalable sur sol agronomique.

En termes de germination des graines de *Phaseolus vulgaris* les résultats ont révélé une sensibilité de germination aux concentrations supérieures à 200 ppm de plomb (pb) avec un pourcentage d'inhibition de germination de 15% pour la dose de 200ppm. Pour les autres concentrations (50 ppm et 150 ppm), le pouvoir germinatif des graines est satisfaisant et proche du témoin (98% et 99% respectivement)

Les examens morphologiques quantitatifs par les techniques de la biométrie des organes végétatifs ainsi que la pesée de la matière sèche ou fraîche sont des facteurs de base pour identifier la tolérance et la sensibilité de la plante vis-à-vis d'un stress de pollution. Nous avons calculé la moyenne biométrique des tiges, des racines et la moyenne du nombre de feuilles, ainsi que la biomasse de la partie aérienne à la septième semaine de croissance.

Les résultats des valeurs de la longueur des tiges calculées pendant la période de croissance qui a duré 07 semaines indiquent une croissance positive pour l'ensemble des concentrations en plomb utilisées et qui varient légèrement selon les concentrations. En effet la moyenne de la biométrie des tiges est autour des 25 cm, 24,80 en comparant avec le témoin

Les feuilles se développent en longueur en relation avec la croissance de l'haricot pour atteindre un nombre maximal moyen de 26 feuilles chez le témoin contre 24, 23 et 22 feuilles chez l'haricot soumis à des concentrations de 50, 150 et 200 ppm de plomb respectivement, enregistrés à la sixième semaine de croissance. Cela explique le ralentissement de développement des feuilles pour les concentrations élevées du Pb (200ppm) et donc une sensibilité de croissance est exprimée.

Les résultats de la biométrie des racines au septième semaine de croissance indiquent une sensibilité pour la concentrations de 150 ppm (5,5 cm) . Ce paramètre est plus élevé pour des concentrations en Pb de 50 ppm (11cm), dépassant ainsi la biométrie au niveau des témoins (9cm).

Les résultats de production moyenne de la biomasse révèlent une diminution de production et une légère sensibilité de la plante vis-à-vis du plomb (200 ppm) par rapport au témoin

Les différents paramètres testés sur les plantes de *Phaseolus vulgaris* L ont permis de montrer, que le plomb induit des effets variables sur la partie aérienne et aussi au niveau des racines selon les concentrations.et que cette espèce tolère les concentration inférieures à 200 ppm

*Cette étude mérite d'être approfondie, il est nécessaire :*

- *d'analyser quantitativement le plomb au niveau des parties végétatives pour voir s'il y a une translocation vers les parties consommables*
- *Identifier l'haricot dans la classe des accumulateurs ou hyper-accumulateurs ou sensible*
- *Evaluer l'indice de risque sur la santé humaine en consommant cette espèce à long terme en étant une plante accumulatrice de polluant.*

*Références  
bibliographiques*

## Références bibliographiques

- **Anju M, Banerjee D K. (2012).** Multi variate statistical analysis of heavy metals in soils of a Pb-Zn mining area, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 184: 4191-4206.
- **ISO ,N F.(1996).** 10390-Indice de classement: X31-117. Qualité du sol. Détermination du pH. Paris, France. p12.
- **Appenroth, K J. (2010).** Definition of “heavy metals” and the irrole in biologicalsystems, in:Soil Heavy Metals. Springer, pp. 19–29
- **Adriano D C. (2001).** Trace elements in terrestrialenvironments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of metals. Springer-verlag, New York, USA. 867p
- **ADTSDR. (2007).** Toxicological profile for lead, US. Department of health and human services. Public health service, Agency for Toxic Substances and DiseaseRegistry ; 582p
- **Alloway B J. (1995).** Heavy Metals in Soils. Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, London, p 368
- **Anzala F J. (2006).** Contrôle de la vitesse de germination chez le maïs (zeamays) : étude de la voie biosynthèse des acides aminés issus de l’aspartate et recherche de QTLs. Thèse de doctorat. Université’Angers.148p.
- **Aoumeur H. (2012).** The stressfuleffect of lead on radishgrowthRaphanussativus (L.) physiological, biochemicalresponse and potential phytoremediation efficiency. Doctoral thesis. University of Oran 1, Algeria.
- **Amanuel G S, Kihne R F, Tanner D G, Vlek P L G. (2000).** Biological nitrogen fixation in fababean (*Vicia faba* L.) in the Ethiopian highlands as affected by P fertilization and inoculation. *Biol. Fertil. Soils.* 32, 353-359.
- **Baize D. (1997).** "Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France)." INRA

- **Baizeet Sterckeman T. (2001).** Importance de la détermination du fond pédogéochimique pour évaluer la pollution des sols par des métaux. L'exemple du site de Dornach. Rencontre nationale de la recherche sur les sites et sols pollués. Paris. ADEME, p6
- **Bourelrier P, Berthelin J. (1998).** "Contamination des sols par les éléments traces : les risques et leur gestion." Rapport de l'Académie des sciences Ed. Lavoisier, Paris. 42 pp
- **Baba Ahmed A. (2012).** Etude de contamination et d'accumulation de quelques métaux lourds dans des céréales, des légumes, des sols agricoles irrigués par des eaux usées de la ville de Hammam Boughrara, Thèse de magistère, p56.
- **Bisson M, Bureau J, Houeix N, Jolibois B, Gay G, Lefevre J P, Tack K. (2012).** Manganèse et ses dérivés - fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. INERIS
- **Baker A J M, Walker P L. (1990).** Ecophysiology of metal up take by tolerant plants. In J.Shaw (Ed). Heavy MetalTolerance in plants:Evolutionary aspects. CRC Press, Boca Raton
- **Brgm. (2004).** "Guide méthodologique du plomb appliqué à la gestion des sites et des sols pollués. Rapport final, BRGM/RP-52881-FR".
- **Brunet J, Reppelin A, Varralult G, Terryn N et Zuily-Fodil Y. (2008).**"Lead accumulation in the roots of grasspea ( Lathyrus sativus L.)". C.R.Biologies 331 : 859864.
- **Bazzaz F A, Carlson R W, Rolfe G L. (1975).** "Inhibition of Corn and Sunflowerphotosynthesis by lead. "physiologiplantarum 34 :326-329.
- **Brigide P, Canniatt-Brazaca S G, Silva O. (2014).** Nutritional characteristics of biofortifiedcommonbeans. Food Science and Technology (Campinas.), 34(3), 493-500. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457x.6245>.

- **Baskaran R, Usha Devi A, Nayak C A, Kudachikar V B, Keshava Prakash M N, Prakash M, Ramana K V R, Rastogi N K. (2007).** Effect of low-dose  $\gamma$ -irradiation on the shelf life and quality characteristics of minimally processed potato cubes under modified atmosphere packaging. *Radiation Physics and Chemistry*, 76(6), 1042-1049. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2006.10.004>.
- **Broughton W J. (2003).** *Roses by Other Names: Taxonomy of the Rhizobiaceae.* *Journal of Bacteriology*. 185: 2975-79.
- **Baudouin J P, Vanderborcht T, Kimani P M, Mwangombe A W. (2001).** Légumes à grains : Haricot, Q *Agriculture en Afrique Tropicale.* Bruxelles. 337 – 355.
- **Barreto M M, (1983).** Etude expérimentale du développement des racines adventives de la tige de *Phaseolus vulgaris* L. Mémoire de D.E.A. Université de Dakar, Sén., 67 p). (BOUKHELLOUT S., 2009 ).
- **Bell A. (1994).** *La morphologie descriptive et dynamique des plantes à fleurs.* Edition. Masson. Paris 340p.
- **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. 215 : 12-35.
- **Cheng C, Motohashi R, Tsuchimoto S, Fukuta Y, Ohtsubo H, Ohtsubo E. (2003).** Polyphyletic origin of cultivated rice: based on the interspersed pattern of SINEs. *Mol.*
- **Chen J, Zhu C, Li LP, Sun Z Y et XB. (2007).** "Effects of exogenous salicylic acid on growth and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-metabolizing enzymes in rice seedling under lead stress." *Journal of Environmental Sciences* 19 :44-49
- **Chatterjee C, Dube B K, Sinha P, Srivastava P. (2004).** Detrimental effects of lead phytotoxicity on growth, yield and metabolism of rice. *Soil Science and Plant Analysis*, 35, 255-265.
- **CARY ET AL , 1997 ,** control of chromium concentrations food plants . 2. Chemistry of chromium in soils and its availability to plants <https://fertilisation-edu.fr/nutrition-des-plantes.html>

- **Chaux C, Foury C. (1994).** Maitrise de facteurs de production, qualité et traitement des semences, mise en culture par semis en place en production légumière. Tome 1. Généralité. Tec et Doc. Lavoisier. Pp277-431-445.
- **Cauplan F. (1998).** Guide nutritionnel des plantes sauvages et cultivées. Ed : Delachaux et Niestle. Paris. France. 111p
- **Dudal Y. (2004)**Accounting for natural organic matter in aqueouschemicalequilibriummodels: areview of the theories and applications. Earth-Science Reviews66: 199-216.
- **Deneux-Mustin S, Roussel-Debet S, Mustin C, Henner P, Munoe-Lamy C, Colle C. Berthelin J, Garnier-LapalaceJ, Leyval C. (2003).** Mobilité et transfert racinaires des éléments en traces : influence des micro-organismes du sol. TEC & DOC, Paris.
- **Dumat C, Chiquet A, Goody D, Aubry E, Morin G, Juillot F, Benedetti M. (2001).** Metal ion geochemistry in smelterimpactedsoils and soil solutions. Bulletin de la Société Géologique de France 172: 539-548.
- **Drazkiewicz M. (1994).** "Chlorophyll-occurrence, functions, mechanism of action, effects of internal and externalfactors. "Photosynthetica 30 : 321-331.
- **Diez T, Rosopulo A. (1976).** Schwermetallgehalte in bodenundpflanzenNachextremehohenklarschlammgaben .
- **Djeugap F J, Mefire M h, Nguetack J N, Gueguim M, Fontem D A. (2014).** Effet variétal et du traitement fongicide sur la sévérité de la maladie des taches angulaires et le rendement du haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) à l'Ouest-Cameroun. International Journal of Biological and chemicalsciencse. 8(3): 1221-1233.
- **Dupont F, Guignard J. (1989).** Haricot nain (Bulletin des variétés). Edit. Masson Collection : Abrégés pharma. Paris .510p.
- **Elmsley J. (2001).** Nature's Building Blocks.A-Z guide to the elements. Oxford UniversityPress, Oxford, UK.
- **Foreau B, Mauboussin T. (2009)** Métal Blanc - Bourg-Fidèle (08) Interprétation de l'état des milieux. ArcaGée
- **Foy CD, Chaney RL, White MC. (1978).** "The Physiology of MetalToxicity in Plants. " AnnualReview of Plant Physiology 29 :511-566

- **Ferrand E, Dumat C, Leclerc-Cessac E, Benedetti M. (2006).** Phytoavailability of zirconium in relation to its initial added form and soil characteristics. *Plant Soil* 287: 313-325.
- **Foy C D, Chaney R L, White M C. (1978).** "The Physiology of Metal Toxicity in Plants." *Annual Review of Plant Physiology* 29 :511-566
- **François J. (2003).** les besoins nutritifs des plantes. Dossier du Plantymag n ° 13 du mois d'aout 2002 .
- **Fortin J. (1996).** Le guide des aliments. (Eds.), Québec Amérique Inc, canada. 137-139.
- **Faostat T. (2010).** Food and Agricultural Commodities Production; <http://faostat.fao.org> (accessed 30 may 2019).
- **Foy C D, Chaney R L, White M C. (1978).** "The Physiology of Metal Toxicity in Plants." *Annual Review of Plant Physiology* 29 :511-566.
- **Garnaud J, Mouchel G, Chebbo D, Thévenot. (2001).** Caractérisation des retombées atmosphériques de métaux traces en milieu urbain. *Techniques Sciences Méthodes*, 5 :30–39, 2001. 30, 106, 107, 114p
- **Girard M C, Walter C, Rémy J C, Berthelin J, Morel J L. (2011).** Sols et environnement - 2e édition. Dunod. Paris, France
- **Garnier R. (2005).** Toxicité du plomb et de ses dérivés, EMC (Elsevier Masson SAS) Pathologie Professionnelle et de l'Environnement; p. 67-88.
- 
- **Gopal R et Rizvi A H. (2008).** "Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish." *Chemosphere* 70 :1539-1544.
- **Guillot L. (1977).** l'avenir de l'agriculture biologique en France. La documentation française 247 p INRA - SAE 2 - GLI , ECOAGRI 702 , INRA - SAE2 - REN , ER 2521.
- **Gerhard R. (1993).** Métabolisme des végétaux : physiologie et biochimie France.
- **Gepts P. (1990).** Biochemical Evidence Bearing on the Domestication of *Phaseolus* (Fabaceae) Beans. *I Economic Botan.* 44(3): 28-38.

- **Guignard J L. (1998).** Botanique. Les familles de plantes (Eds). Masson, 159.
- **Gallas A, Bennfort H. (1992).** Amélioration des espèces végétales cultivées, objectifs et critères de la sélection- Paris. Ed : INRA. PP75-142.
- **Goust J, Seignobos. (1998).** Le haricot vert, Edit, Arles/ Actes Sud, Paris. 92P.
- **Huynh M. (2009).** Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante / ver de terre / microflore tellurique; thèse de Doctorat. Université Paris Est 169 p.
- **Hinsinger P. (1996).** Mobilisation of phosphates rock and alumina-sorbed phosphate by roots of ryegrass and clover as related to rhizosphere pH. European Journal of Soil Science 47: 53-544.
- **Herve M. (2006).** « L'Afrique agricole » dans le journal Le Monde du 9 juin.
- **Harrison R, Chirwagl M. (1989).** The assessment of air and soil as grown plants. Contributors of some trace metals to vegetable plants Sci Total Environ, 83, 47-62.
- **Hubert. (1978).** Recueil de fiches techniques d'agriculture spéciale à l'usage des lycées agricoles à Madagascar Antananarivo, BDPA.
- **Jeannot R, Lemièrre B, Chiron S, Augustin F, Darmendrail D. (2001).** Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués, Ed : BRGM p 19.
- **Kabata P. (2001).** Trace Elements in Soils and Plants, Third Edition CRC Press, Boca Raton, USA.
- **Kabata P A, Pendias H. (2001).** Trace elements in soils and plants. 3rd CRC Press , Boca Raton , London , New - York , Washington D.C.
- **Kopittke P M, Asher C J, Kopittke R A, Menzies N W. (2007).** Toxic effects of Pb<sup>2+</sup> on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). Environ Poll. 150: 280-287.
- **Kong I C, Bitton G, Koopman B, Jung K H J. (1995).** -Heavy metal toxicity testing in environment samples. Revue of Environment Contamination and Toxicology. 142,119-147.
- **Loué A. (1993).** Oligo-Éléments en Agriculture. SCPA, Nathan, Paris, P 577.

- **Liu D, Jiang W, Liu C, Xin C, Hou W. (2000).** "Uptake and accumulation of lead by roots, hypocotyls and shoots of Indian [ *Brassica juncea* (L.)]. "Bio resource Technology 71 :273-277.
- **Lemma D, Yayeh Z, Helath E. (2003).** Agronomic studies on Tomato and Capsicum. p.153. In: E. Helath and Lemma Dessalegne (Eds). Horticultural Research and Development in Ethiopia. Proceedings of the second Horticultural work shop of Ethiopia, 1-3 December, 1992. Addis Abeba, Ethiopia.
- **Lecomte B. (1997).** Etude du développement embryonnaire in vivo et in vitro dans le genre *Phaseolus* L. Thésedoct .Sci .Agron .Gembloux, Belgique : Faculté universitaire des Science agronomiques de Gembloux , 186p.
- **Liu H Y, Probst A, Liao B H. (2003).** Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead zinc mine spill (Hunan, China). The Science of the Total Environment, 339, 153-166.
- **L'ane S D, Martin E S. (1977).** A histochemical investigation of lead uptake on *Raphanussativus*. New phyto. 79 (2): 281-286.
- **Makowski E, Kita A, Galas W, Karcz W, Kuperberg J M. (2002).** "Lead distribution in corn seedlings (*Zeamays* L.) and its effect on growth and the concentration of potassium and calcium." Plant Growth Regulation 37 :69-76.
- **Mishra A, Choudhuri M A. (1998).** "Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants. " *Biologia plantarum* 41 :469- 473.
- **Morel J L. (1997).** Bioavailability of Trace Elements to Terrestrial Plants. Tarradellas J Bitton D. (Eds), *J. Soileco toxicology*. CRC. Lewis Publishers, Boca Raton. 6 . 141175.
- **Morel G M. (1996).** Producing virus- free cymbidiums. American Orchid Society Bulletin. 29.
- **.Miquel M G. (2001).** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la sante, rapport de l'office parlementaire des choix scientifiques (Sénat).
- **Nriagu J O. (1989).** A global assessment of naturel source of atmospheric trace metals. *Nature*; 338: 47-49.

- **Nejmeddine A, Echab A, Fars S, Hafidi M. (2003).** Accumulation des éléments traces métalliques par le ray-grass (*Lolium perenne*) cultivé sur des sols amendés par des boues de stations d'épuration. *Cahiers Agricultura*, 12: 33-38.
- **O M S. (1978).** Plomb, critères d'hygiène de l'environnement. Rapp. P.N.U.E., 172p.
- **Ozenda P. (1982).** flore du Sahara septentrional et central. CNRS, ED, France, 486 P.
- **Ponthieu M, Pourret O, Marin B, Schneider A R, Morvan X, Conreux A, Cancès B. (2016).** Evaluation of the impact of organic matter composition on metal speciation in calcareous soil solution: comparison of Model VI and NICA-Donnan. *Journal of Geochemical Exploration* 165: 1-7.
- **Pichard A. (2002).** Plomb et ses dérivés, institut national de l'environnement. 90 p, P7 Potential role of NADPH-oxidase in early steps of lead-induced oxidative burst in *Vicia faba* roots. *J. Plant Physiol.* 165, 571-579.
- **Poskuta J W, Parys E, Romanowska E. (1987).** The effects of lead on the gaseous exchange and photosynthetic carbon metabolism of pea seedlings. *Acta Soc. Bot. Pol* 56 : 127-137.
- **Pichard A. (2002).** Plomb et ses dérivés, institut national de l'environnement. 90 p, P7 Potential role of NADPH-oxidase in early steps of lead-induced oxidative burst in *Vicia faba* roots. *J. Plant Physiol.* 165, 571-579.
- **Patra M, Bhowmick N, Bandopadhyay B, Sharma A. (2004).** Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 52: 199-223.
- **Pichard D. (2005).** chrome et ses dérivés INERIS fiche de données toxicologique et environnemental des substances chimiques. INERIS - DRC - 01-05590-00 PDF 253.
- **Peron J Y. (2006).** Productions légumières. 2ème édition. Lavoisier. 389 p.
- **Raskin I, Kumar P B A N, Dushenkov S, Salt D E. (1994).** Bioconcentration of heavy metals by plants. *Curr. Opin. Biotechnol* , p90.

- **Rouibi A. (1992).** Etude des effets du nitrate de plomb sur la germination et la productivité primaire nette chez *Phaseolus vulgaris*. Thème de Magister en Ecotoxicologie Université d'Annaba Algérie.
  - **Soejono I. (1992).** Production of snap beans versus yardlongbeans in Indonesia. In: G. Henry and W. Janssen (eds.), Snap beans in the developing world: Proceedings of an international conference held in Cali, Colombia, 16-20 October 1989. CIAT Publication No. 195: 277-293.
  - **Seregin I V, Ivaniov V B. (2001).** Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. Russian Journal of Plant Physiology 48: 523-544 et 606-630.
  - **Sharma P, Dubey R S. (2005).** Lead toxicity in plants. Braz J Plant Physio. 17 (1): 3552.
  - **Sparks D L. (1998).** Environmental soil chemistry. Academic Press, 267 p.
  - **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.
  - **Seregin I V, Schpigon L K, Ivanov V B. (2004).** Redistribution and toxic effects of cadmium and lead on maize roots ; Russian Journal of Plant Physiology 51 (4): 525 – 533.
  - **Sobkowiak R, Deckert J. (2003).** Cadmium-induced changes in growth and cell cycle gene expression in suspension-culture cells of soybean. Plant Physiol. Biochem. 41, 767–772.
  - **Shalini R S. (2003).** Lead toxicity induces lipid peroxidation and the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. Plant Science, 645-655.
  - **Tomulescu I, Radoviciu E, Merca V, Tuduce A. (2004).** "Effect of Copper, Zinc and Lead and Their Combinations on the Germination Capacity of Two Cereals" journal of agricultural sciences 15 : 3.
- Torres M. (2004).** Légumes et céréales. (Eds.), Delville, Paris, 104-108.

- **Vodnik D, Jentschke G, Fritz E, Gogala N, Godbold D L. (1999).** "Root-applied cytokinin reduces lead uptake and affects its distribution in norway spruce seedling. " *Physiologia Plantarum* 106:75-81.
- **Wozng A, Schneider J, Gwozdz E A. (1995).** "The effects of lead and kinetin on greening barley leaves. " *Biologia Platarum* 37: 541-552.
- **Wang X, Liu Y, Zeng G, Chai L, Xiao X, Song X, Min Z. (2008).** Pedological characteristics of Mn mine tailings and metal accumulation by native plants. *Chemosphere*, 72: 1260-126.
- **Wierzbicka M, Obidzinska J. (1998).** "The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. " *plant Science* 137 :155-171.
- **Xiong Z, Zhao F, Li M. (2006).** "Lead toxicity in *Brassica pekinensis* Rupr: Effect on nitrate assimilation and growth. " *Environment Toxicology* 21:147-153.
- **Xiong Z T (1997).** Bioaccumulation and physiological effects of excess lead in a roadside pioneer species *Sonchus oleraceus* L. *Environmental Pollution* 97 : 275–279.
- **Xiong Z T.(1997).** Lead uptake and effects on seed germination and plant growth in a Pb hyperaccumulator *Brassica pekinensis* Rupr. Department of Environmental Science, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072. People's Republic of China. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* (1998) 60 :285-291.
- **Zheng N, Liu J, Wang Q, Liang Z. (2011)-** Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, Northeast of China. *The Science of the Total Environment*, 408: 726–733.

# *Annexes*

## germination 12/03/2022( l'haricot)

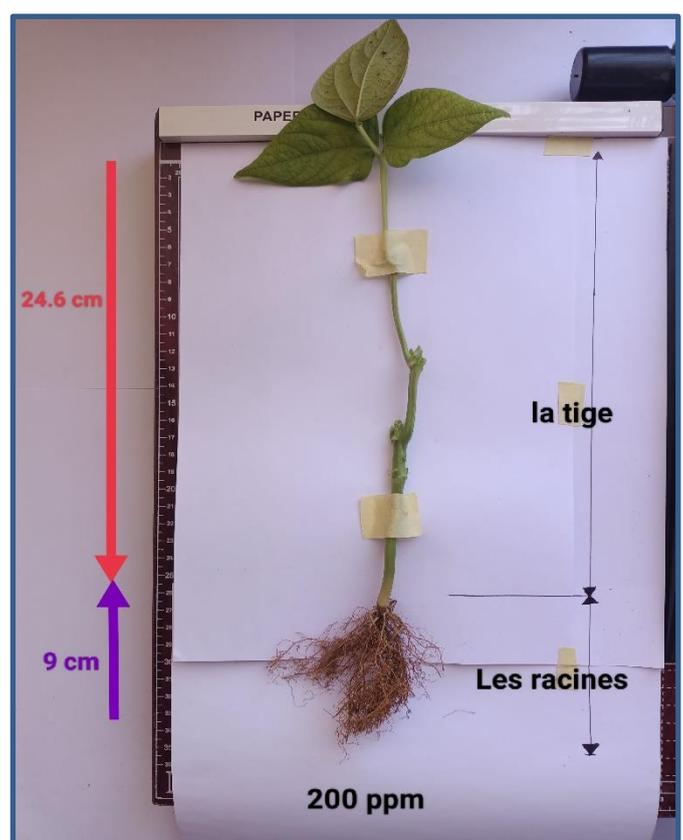
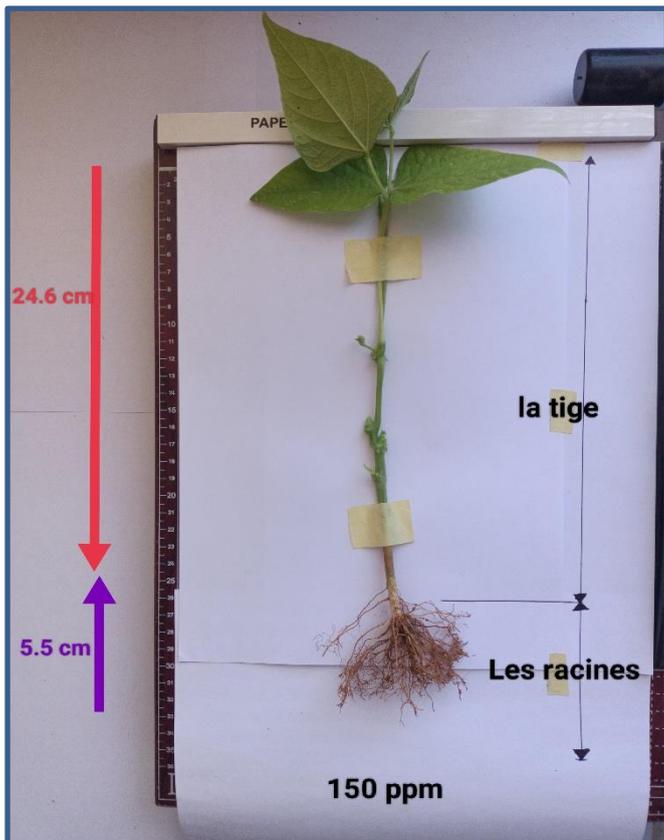
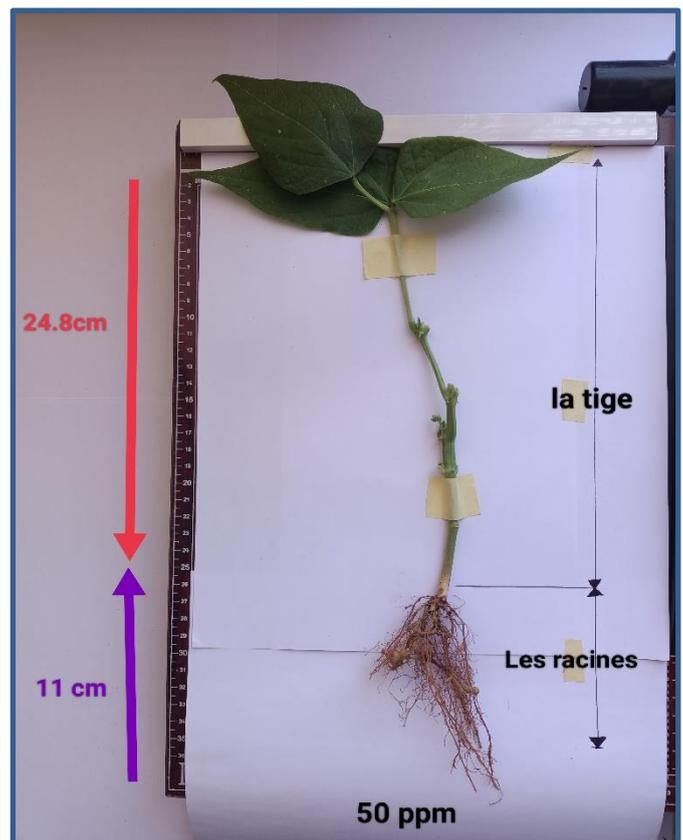
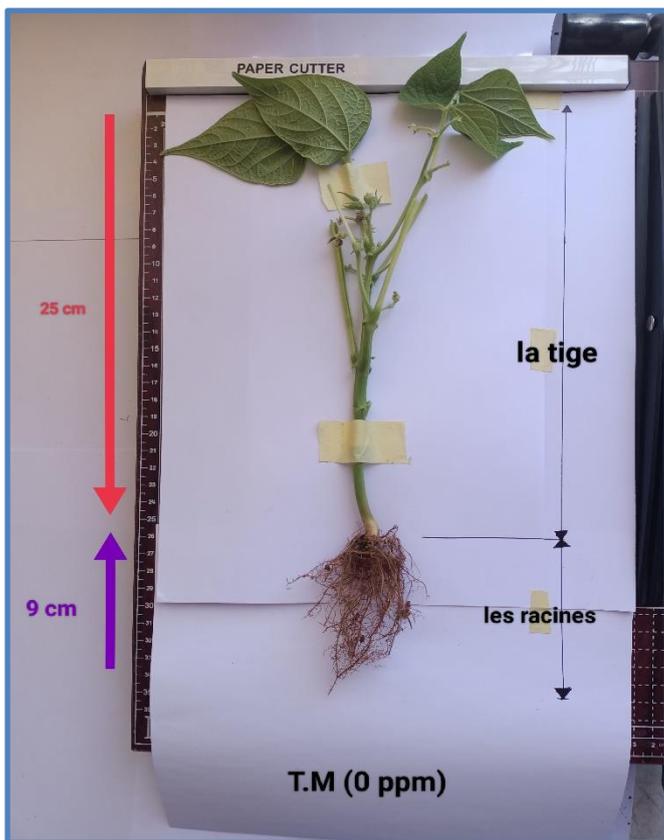
jour	Oppm			50 ppm			150 ppm			200 ppm		
1 jour	eau distillée											
2 jour	eau distillée			solution			solution			solution		
3 répétition	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 jour	6%			0%			0%			0%		
3 répétition	16	16	16	13	6	3	0	7	8	0	0	3
4 jour	100%			45%			31%			6%		
3 répétition	16	16	16	15	8	5	3	7	8	0	8	3
5 jour	100%			58%			38%			18%		
3 répétition	16	16	16	16	15	14	16	14	15	15	13	14
6 jour	100%			94%			94%			88%		
3 répétition	16	16	16	16	16	15	16	14	15	15	15	14
7 jour	100%			98%			94%			92%		
3 répétition	16	16	16	16	16	15	16	15	15	16	15	15
8 jour	100%			98%			96%			96%		
3 répétition	16	16	16	16	16	16	16	16	15	16	15	15
9 jour	100%			100%			98%			96%		

JOUR	T,M	50 PPM	JOUR	T,M	150 PPM	JOUR	T,M	200 PPM
1	0%	0%	1	0%	0%	1	0%	0%
2	0%	0%	2	0%	0%	2	0%	0%
3	6%	0%	3	6%	0%	3	6%	0%
4	100%	45%	4	100%	31%	4	100%	6%
5	100%	58%	5	100%	34%	5	100%	18%
6	100%	94%	6	100%	94%	6	100%	88%
7	100%	98%	7	100%	94%	7	100%	92%
8	100%	98%	8	100%	96%	8	100%	96%
9	100%	100%	9	100%	98%	9	100%	96%

## la croissance 12/03/2022( l'haricot)

jour	T, 0ppm			50 ppm			150 ppm			200 ppm		
2 jour	germination (plaque de semis)											
4 jour	germination (plaque de semis)											
6 jour - longueur(cm)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
moyenne trois répétition	0,6			0,6			0,6			0,6		
nombre feuilles	0			0			0			0		
8 jour - longueur(cm)	1	1	1	1	1	1	1	0,8	1	0,8	1	1
moyenne trois répétition	1			1			0,93			0,93		
nombre feuilles	2			2			2			2		
10 jour - longueur(cm)	3	3	3	2,9	3	3	3	2,9	3	2,8	3	3
moyenne trois répétition	3			2,96			2,96			2,93		
nombre feuilles	2			2			2			2		
12 jour - longueur(cm)	5,4	5,4	5,4	5,3	5,4	5,4	5,3	5,4	5,4	5,4	5,4	5,3
moyenne trois répétition	5,4			5,36			5,36			5,36		
nombre feuilles	2			2			2			2		
14 jour - longueur(cm)	7	7	7	7	7	7	6,9	7	7	7	7	6,9
moyenne trois répétition	7			7			6,96			6,96		
nombre feuilles	5			2			2			2		
16 jour - longueur(cm)	8,6	8,6	8,6	8,6	8,5	8,6	8,4	8,6	8,6	8,6	8,6	8,5
moyenne trois répétition	8,6			8,56			8,56			8,56		
nombre feuilles	5			5			5			5		
18 jour - longueur(cm)	10,2	10,2	10,2	10,1	10,2	10,2	10	10,2	10,2	10,2	10,1	10
moyenne trois répétition	10,2			10,16			10,13			10,1		
nombre feuilles	5			5			5			5		
20 jour - longueur(cm)	11,8	11,8	11,8	11,7	11,7	11,8	11,5	11,8	11,8	11,7	11,8	11,5
moyenne trois répétition	11,8			11,73			11,7			11,6		
nombre feuilles	5			5			5			5		

22 jour - longueur(cm)	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,4	13,3	13,5	13,5	13,5	13,4	13,3
moyenne trois répétition	13,5			13,45			13,43			13,4		
nombre feuilles	8			5			5			5		
24 jour - longueur(cm)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15,9	16
moyenne trois répétition	15,5			15,5			15,5			15,4		
nombre feuilles	8			8			8			8		
26 jour - longueur(cm)	19	19	19	19	18,8	19	18,8	19	19	19	18,8	19
moyenne trois répétition	17,5			17,4			17,4			17,3		
nombre feuilles	11			8			8			8		
28 jour - longueur(cm)	19,8	19,8	19,8	19,8	19,5	19,8	19,8	19,4	19,7	19,8	19,4	19,6
moyenne trois répétition	19,8			19,7			19,633333			19,6		
nombre feuilles	16			11			11			11		
30 jour - longueur(cm)	22	22	22	21,9	21,5	21,7	21,5	21,9	21,4	21,9	21,4	21
moyenne trois répétition	22			21,7			21,6			21,433333		
nombre feuilles	18			16			16			16		
32 jour - longueur(cm)	23,8	23,8	23,8	23,7	23,3	23,5	23,3	23,7	23,2	23,7	23,2	23
moyenne trois répétition	23,8			23,5			23,4			23,3		
nombre feuilles	20			18			18			18		
34 jour - longueur(cm)	24,5	24,5	24,5	24,4	24	24,2	24	24,4	24	24,4	24	24
moyenne trois répétition	24,5			24,2			24,133333			24,133333		
nombre feuilles	23			21			21			21		
36 jour - longueur(cm)	25	25	25	24,9	24,5	24,7	24,4	24,9	24,4	24,8	24,4	24,5
moyenne trois répétition	25			24,7			24,566667			24,566667		
nombre feuilles	26			23			23			23		
38 jour - longueur(cm)	25	25	25	25	24,6	24,8	24,5	25	24,5	24,9	24,5	24,6
moyenne trois répétition	25			24,8			24,666667			24,666667		
nombre feuilles	26			23			23			23		
40 jour - longueur(cm)	25	25	25	25	24,6	24,8	24,5	25	24,5	24,9	24,5	24,6
moyenne trois répétition	25			24,8			24,666667			24,666667		
nombre feuilles	26			23			23			23		



La biométrie des racines à la septième semaine de croissance