



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université
de Larbi tebessi -Tébessa-

Faculté **des Sciences exactes et des Sciences de la Nature et de la vie.**
Département **Des êtres vivants.**

MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie végétale

Thème :

**Potentialité des techniques de bioaugmentation sur
quelques propriétés physiologiques d'une
légumineuse.**

Sous la direction de :

Dr. SOUABI Hana

Présenté par :

RAIS Haythem
BOUAKKAZ Oussama

Devant le jury :

Dr. FATMI Hindel

MCB

Université de Tébessa

Président

Dr. SOUABI Hana

MCA

Université de Tébessa

Promotrice

Mm. GUEDABNIA Karima

MAA

Université de Tébessa

Examinatrice

L'année universitaire : 2021/2022

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail
À la mémoire de ma chère Yama qui aurait été fière de ma réussite.
À mes chers parents ma mère et mon papa
Je vous remercie pour
Tout le soutien et l'amour que vous me portez
Depuis mon enfance et j'espère que votre
Bénédictioin m'accompagne toujours.
Et à mes deux chères sœurs
À mon petit frère Hamza,
À mon binôme, Oussama
À qui je souhaite un avenir radieux plein de
Réussite.*

RAIS Haythem

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail
À la mémoire de ma chère mère qui aurait été fière de me voir réussir.
Qui a consacré toute sa vie pour ma réussite.
Je la remercie pour
Tout le soutien et l'amour qu'elle m'apporté
Depuis mon enfance et j'espère qu'Allah lui accorde son vaste paradis.
A toute ma famille
A mon binôme, Haythem
A qui je souhaite un avenir radieux plein de
Réussite.*

BOUAKKAZ Oussama

Remerciements :

Au terme de ce travail, nous remercions Allah de nous avoir donné la Bonne santé, la force et le courage de mener à bien ce modeste travail et de finir nos Cours universitaires dans de bonnes conditions.

Nous tenons à exprimer toutes nos reconnaissances à notre directrice de mémoire, Madame **Dr. Souahi Hana**. Nous la remercions de nous avoir encadrés, orientés, aidés et conseillés.

Nous adressons nos sincères remerciements à Monsieur **Dr. Ahmed Dekak**.

Nos remerciements s'adressent également à nos chers doctorants Rania, Khawla et Abdel razak, et à nos collègues Hiba, Asma et Aya pour leur soutien quotidien.

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

Finalemant, nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de répondre à nos questions durant nos recherches.

Résumé

La technique de bioaugmentation est une voie possible de dépollution de ces matrices contaminées soit directement soit en fin de traitement. L'objectif de cette étude est l'identifier une symbiose légumineuse-bactéries bénéfiques isolée de la rhizosphère de *Peganum harmala* pour la bio-augmentation du sol contaminé par les métaux lourds, l'amélioration de la fertilité et de la qualité de ces sols. Nous avons planté le *Cicer arietinum L* dans des sols contaminés par le plomb (800ppm), et le cadmium (12 ppm), inoculées par des souches bactériennes isolées depuis le sol, et les racines de *Peganum harmala*. Les résultats ont montré que l'effet bénéfique des souches sur les ramifications des tiges, des racines, la croissance de la partie aérienne et la partie racinaire des plantules de pois chiches et ce même sous stress métallique. D'un autre part, l'effet stimulateur de la croissance agit sur la biomasse végétale, la surface foliaire et la teneur totale des protéines et du sucre.

Mots clés : Légumineuse, bactéries, bio-augmentation, *Piganum harmala*, métaux lourds, stress métallique.

Abstract

The technique of bioaugmentation is a possible remediation of these contaminated matrices either directly or at the end of treatment. The objective of this study is to identify a beneficial legume-bacterial symbiosis isolated from the rhizosphere of *Piganum harmala* for the purpose of bio-augmentation of soil contaminated by heavy metals, improvement of the fertility and quality of these soils. *Cicer arietinum L* was planted in soils contaminated with lead (800ppm), and cadmium (12ppm), inoculated with bacterial strains isolated from the soil, and the roots of *Piganum harmala*. The results showed that the beneficial effect of the strains on the ramifications of the stems, the roots, the growth of the aerial part and the root part of the seedlings of chickpeas and this even under metal stress. On the other hand, the growth-stimulating effect affects plant biomass, leaf area and total protein and sugar content.

Key words: Legumes, bacteria, bio-augmentation, *Piganum harmala*, heavy metals, stress in metals.

ملخص

تقنية الزيادة الحيوية هي طريقة ممكنة لتنظيف هذه الاوساط الملوثة إما مباشرة أو في نهاية العلاج. الهدف من هذه الدراسة هو تحديد التعايش المفيد بين البقوليات و بعض البكتيريا لغرض الزيادة الحيوية للتربة الملوثة بالمعادن الثقيلة، وتحسين خصوبة ونوعية هذه التربة. تم زرع بذور الحمص في تربة ملوثة بالرصاص (800 جزء في المليون)، و الكاديوم (12 جزء في المليون)، تم تلقيحه بسلاسل بكتيرية معزولة عن التربة، وجذور نبات الحرمل . أظهرت النتائج أن التأثير المفيد للسلاسل على تداعيات السيقان والجذور ونمو الجزء الجوي والجزء الجذري من شتلات الحمص وهذا حتى تحت الإجهاد المعدني. من ناحية أخرى فان تأثير البكتيريا يكمن في تحفيز النمو يعود على الكتلة الحيوية النباتية, حجم الأوراق وإجمالي محتوى البروتين والسكر.

الكلمات المفتاحية: البقوليات، البكتيريا، الزيادة الحيوية، الحرمل، المعادن الثقيلة، الإجهاد المعدني.

Liste des figures

Figure	Titre	Page
01	Classification périodique des éléments métalliques.	23
02	Bio-remédiation des polluants environnementaux.	25
03	Localisation géographique et les types de climat de la wilaya de Tébessa selon UNESCO 1963	29
04	La position géographique de Mesloula, El Aouinet.	29
05	Paysage de site, Mesloula (sol pollué par les déchets miniers).	30
06	La plante de <i>Peganum harmala</i> L.	31
07	La plante de <i>Cicer arietinum</i> L.	34
08	Chlorophylle-mètre CCM-200.	36
09	La lecture du pH et la conductivité par pH-mètre.	37
10	Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur le nombre des tiges secondaires de plante de <i>Cicer arietinum</i> L, cultivées dans des conditions contrôlées	41
11	Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur le nombre des racines secondaires de plante de <i>Cicer arietinum</i> L, cultivées dans des conditions contrôlées	42
12	Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur la longueur de la partie aérienne de plante de <i>Cicer arietinum</i> L, cultivées dans des conditions contrôlées	43
13	Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur la longueur de la partie racinaire de plante de <i>Cicer arietinum</i> L, cultivées dans des conditions contrôlées.	45
14	Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur la surface foliaire de plante de <i>Cicer arietinum</i> L cultivées dans des conditions contrôlées	46
15	Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur le poids frais de plante de <i>Cicer arietinum</i> L, cultivées dans des conditions contrôlées	48

16	Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur le poids secs de plante de <i>Cicer arietinum</i> L, cultivées dans des conditions contrôlées.	49
17	Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur la biomasse végétale de plante de <i>Cicer arietinum</i> L, cultivées dans des conditions contrôlées	51
18	Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur la teneur en chlorophylle de plante de <i>Cicer arietinum</i> L, cultivées dans des conditions contrôlées.	52
19	Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur la teneur en protéines solubles de plante de <i>Cicer arietinum</i> L, cultivées dans des conditions contrôlées	54
20	Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur la teneur en sucres solubles de plante de <i>Cicer arietinum</i> L, cultivées dans des conditions contrôlées.	55

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
01	Dispositif expérimental de bioremédiation	33
02	L'analyse de la variance du nombre des tiges de plante de <i>Cicer arietinum</i> <i>L</i> sur l'effet de plomb	40
03	Test de Kruskal-Wallis de nombre des tiges de plante de <i>Cicer arietinum</i> <i>L</i> sur l'effet du cadmium	40
04	L'analyse de la variance du nombre des racines secondaires de plante de <i>Cicer arietinum L</i>	41
05	L'analyse de la variance de la longueur de la partie aérienne de plante de <i>Cicer arietinum L</i>	43
06	L'analyse de la variance de la longueur de la partie racinaire de plante de <i>Cicer arietinum L</i> sur l'effet de plomb	44
07	Test de Kruskal-Wallis de la longueur de la partie racinaire de plante de <i>Cicer arietinum L</i> sur l'effet du cadmium	44
08	L'analyse de la variance de la surface foliaire de la plante de <i>Cicer</i> <i>arietinum L</i>	45
09	L'analyse de la variance du poids frais de plante de <i>Cicer arietinum L</i>	47
10	L'analyse de la variance du poids sec de plante de <i>Cicer arietinum L</i>	48
11	L'analyse de la variance de la biomasse végétale de plante de <i>Cicer</i> <i>arietinum L</i>	50
12	L'analyse de la variance de la teneur en chlorophylle de plante de <i>Cicer</i> <i>arietinum L</i> sur l'effet de plomb	51
13	Test de Kruskal-Wallis de la teneur en chlorophylle de plante de <i>Cicer</i> <i>arietinum L</i> sur l'effet du cadmium	52
14	L'analyse de la variance de la teneur en protéine soluble de plante de <i>Cicer arietinum L</i>	53
15	L'analyse de la variance de la teneur en sucre soluble de plante de <i>Cicer</i> <i>arietinum L</i> sur l'effet de plomb	54

16	Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur le PH et la conductivité de plante de <i>Cicer arietinum</i> L sous l'impact de plomb.	56
17	Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur le PH et la conductivité du sol	56

Liste d'abréviations

PCBs : polychlorobiphényles.

PAHs : hydrocarbures polycycliques aromatiques.

ETM : Les éléments traces métallique

PPM : Partie par million.

PH : Le potentiel hydrogène.

CCI : Displays Chlorophyll Content Index.

°C : degré Celsius.

BBC : bleu brillant de Coomassie

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Généralité sur les légumineuses.....	19
1.1. Définition des légumineuses.....	19
1.2. Taxonomie et origine	19
1.3. Morphologie	19
1.3.1. Partie aérien.....	19
1.3.2. Partie racinaire.....	20
1.4. L'importance e la production de légumineuse.....	20
1.4.1. Dans le monde	20
1.4.2. En Algérie.....	20
1.5. Intérêt nutritif des légumineuses	21
2. La pollution du sol.....	21
2.1. Définition du sol.....	21
2.2. La contamination des sols	21
2.2. Les causes de la contamination	22

2.3. Les éléments traces métallique.....	22
2.3.1. Définition d'ETM.....	22
2.3.2. La mobilité et la biodisponibilité d'ETM.....	23
2.3.3. L'effet d'ETM sur les plantes	24
3. La dépollution du sol	24
3.1. La bio-remédiation.....	24
3.1.1. Définition de la bioremédiation.....	24
3.1.2. Les techniques de la bioremédiation.....	25
3.1.2.1. La bio-augmentation.....	25
3.1.2.2. La biolixiviation	25
3.1.2.3. La bio-stimulation.....	26
3.1.2.4. La bio-filtration.....	26
3.1.2.5. Le compostage	26

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

1. Présentation de matériel végétal.....	28.
1.1. <i>Cicer arietinum L.</i>	28
1.2. Classification systématique de <i>Cicer arietinum L.</i>	28
2. Présentation de la zone du prélèvement (Tébessa)	28
3. Sites choisis pour le prélèvement	29
4. Prélèvement des échantillons du sol et des racines.....	30
4.1. <i>Peganum harmala L.</i>	30
4.2 Classification systématique	31
5. Protocole expérimental.....	32

5.1. Localisations de l'essai	32
5.2. Préparation des souches	32
5.3. Condition de culture des graines	32
5.4 Tests de toxicité.	32
5.5. L'essai de germination	33
6. Méthodes mesurées et effectuées.....	33
6.1. Paramètres morphologiques.....	33
6.1.1. Surface foliaire.....	33
6-1.2. La longueur de la partie aérienne et la partie racinaire.....	34
6.1.3. Le nombre des tiges secondaires et les racines secondaires.....	34
6.1.4. La biomasse végétale.....	35
6.1.4.1. Le poids frais	35
6.1.4.2. Le poids sec	35
6.2. Paramètres biochimiques	35
6.2.1. La teneur en chlorophylle.....	35
6.2.2. Dosage de protéines totales.....	36
6.2.3. Dosage des sucres solubles.....	37
6.3. Paramètres physico-chimiques.....	37
6.3.1. Mesure PH et la conductivité.....	37
7. Traitement de donnés et analyse statistique	38

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Résultats	40
1.1. Paramètres morphologiques.....	40

a. Au niveau de nombre des tiges secondaires.....	40
b. Au niveau des racines secondaires.....	41
c. Au niveau de la longueur de la partie aérienne.....	42
d. Au niveau de la longueur de la partie racinaire.....	43
e. Au niveau de la surface foliaire.....	45
f. Au niveau du poids frais.....	46
g. Au niveau du poids sec.....	48
h. Au niveau de la biomasse végétale.....	49
1.2. Paramètres biochimiques	51
a. Au niveau de la teneur en chlorophylle	51
b. Au niveau de la teneur en protéine soluble.....	53
c. Au niveau de la teneur en sucre soluble.....	54
1.3. Paramètres physicochimique.....	55
a. Au niveau de PH et la conductivité électrique.....	55
2. Discussion.....	57
Conclusion	63
Références bibliographiques	64

Introduction

Au fil des siècles, les activités anthropiques telles que les procédés métallurgiques, la combustion de combustibles fossiles, la production industrielle, les activités agricoles et l'exploitation minière ont entraîné une élévation des teneurs en métaux lourds. Donc, une vaste contamination qui menace le bien-être de l'environnement mondial d'aujourd'hui.

Pour les pays émergents, le problème de la pollution des sols est aujourd'hui très préoccupant, car considéré comme une menace pour la production végétale et les cultures agricoles (**Jean-Noël, 2003**). Métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le cuivre, le zinc et le mercure. Non biodégradable, il peut donc persister longtemps dans l'environnement. De plus, ils sont continuellement ajoutés au sol par diverses activités (**Sophie, 2010**).

Il existe plusieurs technologies de décontamination des sols contaminés par les métaux lourds, néanmoins toutes ne sont pas applicables dans toutes les conditions (**Nouri et al., 2016**). Parmi ces technologies figurent, les techniques de bio-augmentation telles que l'exploitation des propriétés de décontamination par des micro-organismes endogènes ou exogènes (principalement des bactéries, mais aussi des champignons) dans les terres contaminées (**Boupathy, 2000**), où ces micro-organismes jouent un rôle dans la croissance des plantes et maintiennent leur santé (PGPR), car elles ont des mécanismes directs pour favoriser l'absorption des éléments nutritifs par les plantes ou augmenter l'utilisation des éléments nutritifs par la fixation de l'azote, la minéralisation des composés organiques, la dissolution des éléments nutritifs minéraux et la production de phytohormones (**Ahmari, 2021**)

Dans cette étude, nous cherchons les effets des techniques de bio-augmentation sur la décontamination et la dépollution des sols contaminés par les éléments traces métallique, nous avons cultivé la plante *Cicer arietinum* L variété Flip90 dans un sol contaminé par du plomb (800 ppm) et du cadmium (12 ppm) inoculé avec des bactéries que nous avons isolées du sol et des racines de la plante de *Peganum harmala* puis on a analysé quelques paramètres morphologiques, biochimique et physicochimique du cette plante.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Généralité sur les légumineuses

1.1. Définition de la légumineuse

Les légumineuses, de leur nom latin leguminosous, sont issues du mot legumen qui signifie « légume ». Ainsi, en botanique, « légumineuse » désigne une variété particulière de légume. Comme pour les légumes, les légumineuses se cultivent dans la terre. Elles ont des grains qui font partie de la famille des Leguminosae ou Fabaceae. Le terme « légumineuses à grains » fait généralement référence aux espèces de plantes qu'on cultive principalement pour leurs grains séchés et qu'on utilise pour la consommation humaine ou animale (**Parthiba, 2013**). Une des plus importantes familles de dicotylédones, c'est la famille végétale qui fournit le plus grand nombre d'espèces utiles à l'homme, qu'elles soient alimentaires, industrielles ou médicinales, parmi lesquelles les herbes, les arbres, les arbustes ou la vigne. Cette famille regroupe une importante variété d'espèces végétales cultivées partout dans le monde : le soja, l'arachide, le haricot, les pois, les fèves et les lentilles. Sont les légumineuses les plus cultivées (**Fernand, 1967**).

1.2. Taxonomie et origine

Les légumineuses sont des plantes dicotylédones appartenant à la famille botanique des Fabacées, qui représente la troisième famille de plantes par le nombre d'espèces à savoir 18 000 référencées, après les Astéracées et les Orchidées. La plupart des légumineuses cultivées appartiennent aux deux sous-familles : les Faboideae et les Papilionoideae, et plus précisément aux tribus des Fabeae, des Phaseoleae et des Trifolieae (**Schneider, 2015**). Les légumineuses ont été parmi les premières espèces à être domestiquées. Le croissant fertile, qui contient encore quelques vestiges archéologiques datant d'environ 12 000 ans. Les anciens écrits romains rapportent de nombreux Les légumineuses céréalières dans les rations, qu'ils s'agissent de légumineuses, de lentilles ou pois (**Tivoli et al., 2010**).

1.3. Morphologie des légumineuses

1.3.1. Partie aérienne

Les feuilles des légumineuses sont constituées de plusieurs folioles avec des stipules à la base du pétiole. La plupart des genres impliqués dans la production fourragère sont des plantes à trois feuilles (luzerne, trèfle, etc.), à l'exception de la première feuille généralement plus simple (plantes à une seule feuille). Chaque légumineuse peut développer plusieurs

branches à partir de bourgeons situés au niveau du collet. Inflorescences en grappes ou capitules à nombreuses fleurs et fruits en gousses contenant plusieurs graines (**Doree, 2000**).

1.3.2. Partie racinaire

C'est généralement le type de rotation. Cette méthode d'enracinement garantit une bonne Colonisation des couches profondes du sol. Par exemple racine de luzerne Les sols peuvent être exploités jusqu'à une profondeur d'un mètre. Une des caractéristiques la plus distinctive des légumineuses est la présence des racines Nodules racinaires contenant des rhizobiums, bactéries qui vivent en symbiose avec les plantes (**Huyghe, 2005**). La symbiose rhizobium-légumineuse se produit lorsque des bactéries se forment Facteurs de nodulation que les plantes peuvent reconnaître (facteurs dits de nodulation) cette particularité permet la production d'aliments abondants Aucun apport d'azote par aucun engrais azoté (**Allumend et al., 2005**).

1.4. L'importance et la production de légumineuse

1.4.1. Dans le monde

Les légumineuses sont une culture qui est récoltée pour obtenir des grains secs. Représenté par environ 13 000 espèces réparties dans le monde. Malgré leur grand nombre, seules 12 000 espèces ont une valeur économique. La famille des papillons est la plus représentative (environ 10 000 espèces) est utilisée par l'homme (**Malekhessou, 2020**).

1.4.2. En Algérie

En Algérie, les légumineuses alimentaires font partie du paysage agricole depuis des millénaires. Les haricots secs, les lentilles et les pois sont les types des plus connus et les plus consommés (**Abdelguerfi, 2002**)

Malgré ça, la culture des légumineuses en Algérie n'a pas reçu une attention suffisante, car elle a atteint une superficie totale de 82 301 hectares dans les années entre 1993 et 2002. En conséquence, la production algérienne n'est pas suffisante pour répondre aux besoins nationaux de la population, environ 50-80% des besoins nationaux sont importés. (**Medoukali, 2016**)

1.5. L'intérêt nutritionnel de légumineuse

Les graines de légumineuses ont une haute densité énergétique et une haute densité nutritive. Ces aliments fournissent des fibres, des protéines, des glucides, Vitamines B, fer, cuivre, magnésium, manganèse, zinc et phosphore. En plus de répondre strictement aux besoins nutritionnels, les graines de légumineuses, en particulier Des légumes secs, aux bienfaits indéniables pour la santé (**Didier *et al.*, 2018**)

Les légumineuses contiennent d'ordinaire environ deux fois la quantité de protéines trouvée dans les céréales complètes. Lorsqu'elles sont associées à des aliments riches en vitamine C, les légumineuses, de par leur teneur élevée en fer, représentent des denrées essentielles pour reconstituer les réserves en fer, en particulier pour les femmes en âge de procréer, qui courent un risque plus élevée d'anémie ferriprive. Les légumineuses constituent également des sources non négligeables de vitamines, comme les folates qui aident à prévenir les anomalies du tube neural comme le Spina bifida chez les nouveau-nés. Du fait de leur faible indice glycémique, de leur faible teneur en lipides et de leur teneur élevée en fibres, les légumineuses sont particulièrement adaptées pour les personnes atteintes de diabète.(**FAO, 2016**).

2. La pollution des sols

2.1. Le sol

Le sol est la couche "terre" qui recouvre les continents. Une couverture mince, allant de quelques centimètres à quelques mètres, dans laquelle la vie est ancrée: les plantes prennent racine, de nombreux animaux trouvent refuge et les sociétés humaines y puisent nourriture, énergie et matériaux. De la naissance à la mort, le sol est le lieu de vie continue ou discontinue de milliards d'organismes végétaux et animaux. C'est aussi un lieu de morts, où la vie est ramenée à la vie (**Alain, 2010**). Il est constitué de particules minérales et de particules organiques. Il contient également de l'eau et de l'air. Les particules minérales sont le résultat de l'altération des roches en surface sous l'action des facteurs climatiques et facteurs biologiques. Les particules organiques sont le résultat du travail incessant de micro-organismes, d'invertébrés et de bactéries qui peuplent le sol et qui décomposent la matière organique morte (litière) (**Schulte-Bisping, 2017**).

2.2. La contamination du sol

La pollution a un impact sur la sécurité alimentaire en perturbant le métabolisme des plantes et donc en réduisant les rendements des récoltes et en rendant les cultures dangereuses

pour la consommation. Le sol contaminé avec des éléments dangereux (comme par exemple l'arsenic, le plomb, le cadmium), des produits chimiques organiques comme les PCBs (polychlorobiphényles) et les PAHs (hydrocarbures polycycliques aromatiques), ou des produits pharmaceutiques tels que des antibiotiques ou des perturbateurs endocriniens posent de graves risques pour la santé humaine (**Hannah et al., 2009**).

2.2.1. Les cause

Selon (**Hannah et al., 2009**) la Répartition des contaminants rejetés dans les sols par les activités humaines est liée à comment et où ils sont ajoutés, par exemple les installations industrielles dans le cas d'une fuite ou d'un accident peuvent provoquer une pollution du site.

- L'épandage des produits phytosanitaires et les rejets des bâtiments d'élevage, des exploitations agricoles sont également à l'origine de nombreuses pollutions des sols (notamment par l'azote et les phosphates), qui vont à leur tour amener la contamination des eaux de ruissellement, et par la suite les cours d'eaux.

- Les actions des collectivités territoriales peuvent également être à l'origine d'une pollution des sols : gestion des décharges et des stations d'épuration, utilisation de produits phytosanitaires par les services des espaces verts, gestion de jardins partagés (**Yves, 2011**).

2.3. Les éléments-traces métallique

2.3.1. Définition

Les métaux lourds sont généralement définis comme des éléments traces métalliques ETM (**Mesnoua, 2016**). Le terme plutôt imprécis "métal lourd" est basé sur la densité chimique Métaux, de masse volumique supérieure à 3,5 g/cm³ et Numéro atomique supérieur à 20. Les métaux lourds comprennent généralement Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cobalt (Co), Cuivre (Cu), Étain (Sn), Fer (Fe), Manganèse (Mn), Mercure (Hg), Molybdène (Mo), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Zinc (Zn). L'arsenic (As), qui est un métalloïde, et le sélénium (Se), mais pas Les métaux, en raison de leur toxicité, sont souvent classés comme métaux lourds.(Baize, 2009).Les éléments traces métalliques (ETM) correspondent à 68 éléments minéraux Faibles concentrations de composants de la croûte 0,1 %, seulement 0,6 % du total des éléments (**Krika, 2014**).

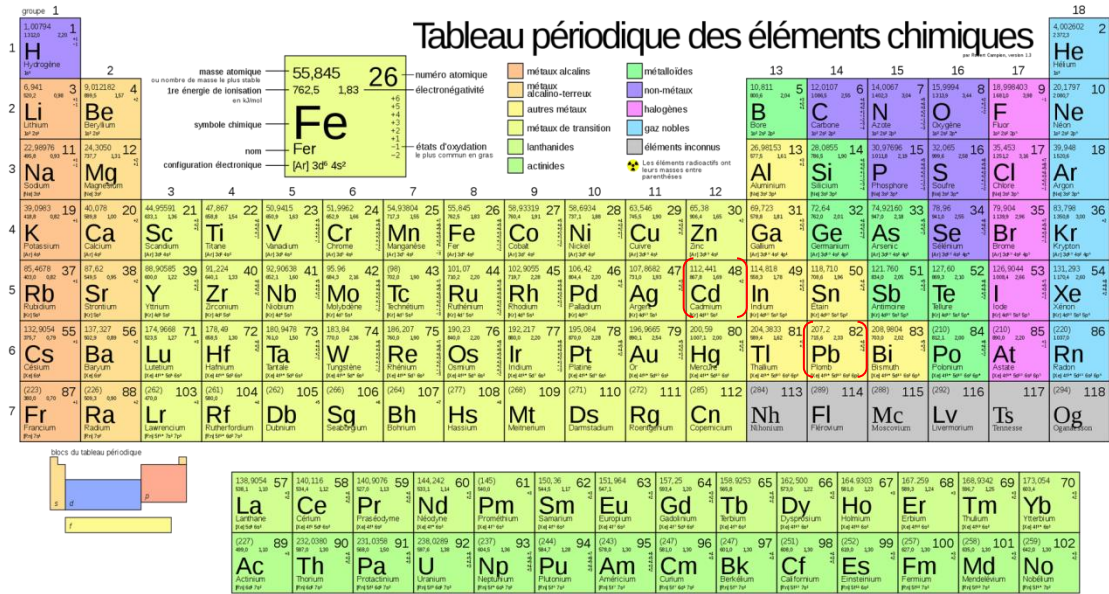


Figure 01 : Classification périodique des éléments.

2.3.2. La mobilité et la biodisponibilité

Le contenu total d'un élément donne une idée du "stock" total d'un élément temps donné, cependant cela ne fournit pas d'informations sur le danger réel les ETM sont liés à leur mobilité dans le sol et à leur biodisponibilité pour les organismes vivants (Baize, 1994).

- La mobilité d'un élément est sa capacité à passer d'un compartiment du sol à un autre (formes échangeables, minéraux, oxydes/hydroxydes, molécules organiques).
- La bio-disponibilité est la capacité de ce même élément à passer d'un compartiment du sol vers le vivant.

Par conséquent, la quantité totale d'un élément donné dans le sol peut être excessive, mais si la bio-disponibilité est limitée, le risque associé à l'absorption de cet élément par les plantes est réduit. De nombreux paramètres affectent la mobilité des métaux dans le sol. Les plus notoires sont le pH, le potentiel redox, la quantité et la composition de la matière organique, la capacité d'échange cationique, la température et l'activité microbienne. (Vanobberghen, 2010).

2.3.4. L'effet d'ETM sur les plantes

La toxicité des métaux dépend autant de leur qualité (forme chimique) que des facteurs environnementaux. Il est également toxique lorsqu'il est absorbé en excès (Babich, 1998)

Pour de nombreuses plantes, des concentrations élevées de métaux peuvent causer Troubles métaboliques, tels que le remplacement des ions essentiels par des ions non essentiels. Compétition de position nécessaire entre les ions métalliques et les métabolites Éléments essentiels, modifications de la perméabilité des cellules membranaires, etc. Les effets visibles de la toxicité varient selon les espèces, mais les symptômes les plus courants les taches chlorotiques ou brunes sur les feuilles, les racines brunes et endommagées, La nécrose et le rendement des cultures ont diminué de manière significative. Les autres effets sont moins visible, comme inhiber le système racinaire, réduire la photosynthèse, etc. Précède souvent ces symptômes (**Fanny, 2010**).

3. La dépollution des sols

3.1. La bio-remédiation

3.1.1. Définition

Ensemble de techniques consistant à augmenter la biodégradation ou la biotransformation de polluants dans l'environnement grâce à des processus biologiques (**Romdhane, 2011**) Le processus de bio-remédiation consiste à activer les capacités naturelles que possèdent les humains de nombreux organismes, principalement microscopiques (bactéries, micro algues champignons) qui dégradent les polluants en composés inertes tels que l'eau et les gaz carbonique. Ces organismes peuvent être indigènes (déjà présents dans la zone contaminée) ou Exogène (ajouté au milieu), ou prélevé sur un site contaminé, cultivé en laboratoire puis réintroduit dans le sol (**Abdelly, 2007**)

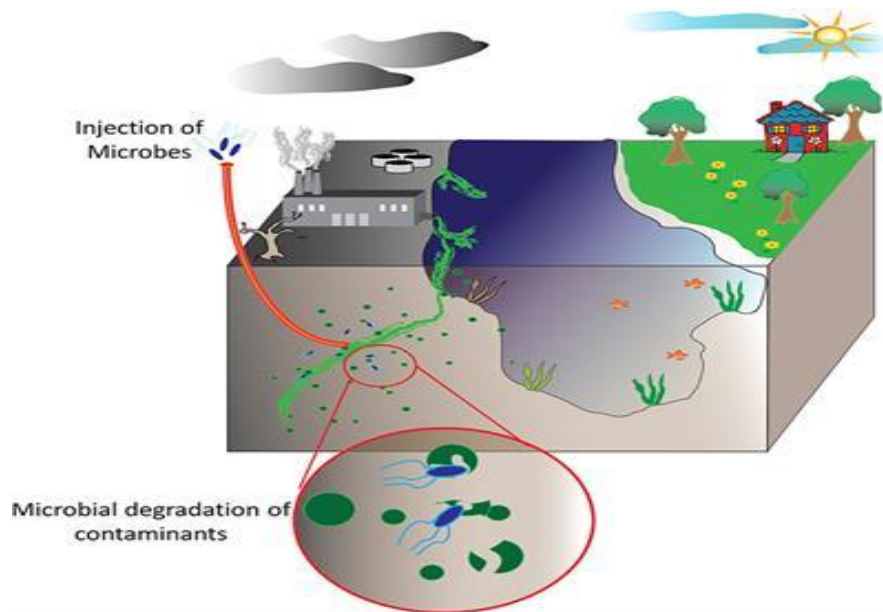


Figure 02 : Bioremédiation des polluants environnementaux (Thakur et al., 2019)

3.1.2. Les techniques de la bioremédiation

3.1.2.1. La bio-augmentation

La bio-augmentation est une technique de bioremédiation in situ qui implique l'introduction de micro-organismes indigènes ou exogènes (non indigènes) dans le sol ou les eaux souterraines pour augmenter ou remplacer les populations bactériennes déjà présentes sur le site (Marianne *et al.*, 2019). Et ceci en ajoutant des cultures microbiennes spécialisées dans la zone contaminée pour augmenter la biodégradation du contaminant, qui est généralement cultivés séparément dans des conditions bien définies (Da silva, 2010)

3.1.2.2. La biolixiviation

La biolixiviation est une Solubilisation et entraînement dans la phase aqueuse par les micro-organismes de polluants fixés ou piégés dans le sol. La technique de biolixiviation consiste à mettre à profit les métabolites produits par certaines bactéries endogènes, ou apportées artificiellement, pour mobiliser des métaux d'un sol ou d'un déchet. Les métaux présents dans la solution du sol peuvent alors être extraits par lessivage et récupérés en solution. Elle est une lixiviation biologique bactérienne. (Nouri *et al.*, 2016)

3.1.2.3. La bio-stimulation

La biorestauration consiste à utiliser des processus biologiques pour rétablir l'environnement dans son état initial. De façon plus réaliste, l'objectif de la biorestauration est de rendre l'environnement le moins toxique. le sens d'application le plus large, la bioremédiation comprend l'utilisation d'enzymes, de stimulants de croissance, bactéries, champignons ou plantes à dégrader, transformer, séquestrer, mobiliser ou contenir des contaminants les matières organiques, les matières inorganiques ou les métaux dans le sol, l'eau ou l'air (**Terry , 2009**).

3.1.2.4. La bio-filtration

La bio-filtration est une technique biologique ayant fait l'objet de nombreuses applications industrielles pour la dépollution des gaz ou de l'eau. Le principe de la bio-filtration repose sur l'utilisation d'un matériau filtrant de type granulaire colonisé par une biomasse épuratrice et à travers lequel transite l'effluent à traiter (**Vincent *et al.*, 2008**)

3.1.2.5. Le compostage

Le terme compostage est le résultat du processus naturel de décomposition de la matière organique contenant du carbone et de l'azote sous l'action des micro-organismes, de l'air et de l'eau (**Tahirou *et al.*, 2012**).

Le compostage est un processus naturel de «dégradation» ou de décomposition de la matière organique par les micro-organismes dans des conditions bien définies. Les matières premières organiques, telles que les résidus de culture, les déchets animaux, les restes alimentaires, certains déchets urbains et les déchets industriels appropriés, peuvent être appliquées aux sols en tant que fertilisant, une fois le processus de compostage terminé (**Misra *et al.*, 2005**)

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

1. Présentation de matériel végétal

1.1. *Cicer arietinum* L

Le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) est une ancienne culture de légumineuses autofécondées dont on croit qu'elle est originaire du sud-est de la Turquie et de la partie adjacente de la Syrie (**Ranalli et al., 1997**), sur le plan botanique, il est décrit comme une plante herbacée annuelle, dressée ou rampante couverte de poils glanduleux. Sa germination est du type hypogé (les cotylédons restent souterrains). Ses racines peuvent atteindre un mètre de profondeur, mais la plupart se trouvent dans les premiers centimètres. Sa tige anguleuse a une hauteur de 0.20 à 1 mètre de haut. Ses feuilles se composent de 7 à 17 folioles ovales et dentées. Les fleurs peuvent être blanches, bleues ou violettes, solitaires et pédonculées. Les gousses sont renflées à 1 – 2 graines presque rondes. Le poids de 1000 grains varie de 200 à 600 gramme (**Vander, 1990**).

1.2. Classification systématique

Selon (**Mahiout, 2017**) Le pois chiche est classé comme suit:

Sous-règne : *Tracheobionta*

Division : *Magnoliophyta*

Classe : *Magnoliopsida*

Sous-classe : *Rosidae*

Ordre : *Fabales*

Famille : *Fabacées*

Espèce : *Cicer arietinum*

2. Présentation de la zone du prélèvement(Tébessa)

Tébessa est située dans la partie orientale des hauts plateaux et dans la partie nord-est l'Algérie « 35° 24 N, 8° 6 E » et compte une population estimée à la fin 2015 à 730. 306 habitants, (**Sbiki, 2016**) bordés à l'est par la République tunisienne, au nord par SOUKAHRAS, à l'ouest par la wilaya de UM AL-BOUAGHI, KHENCHELA et la wilaya de OUED au sud, d'une superficie totale estimée à 13 878 kilomètres carrés (**Djebabli et al., 2021**)

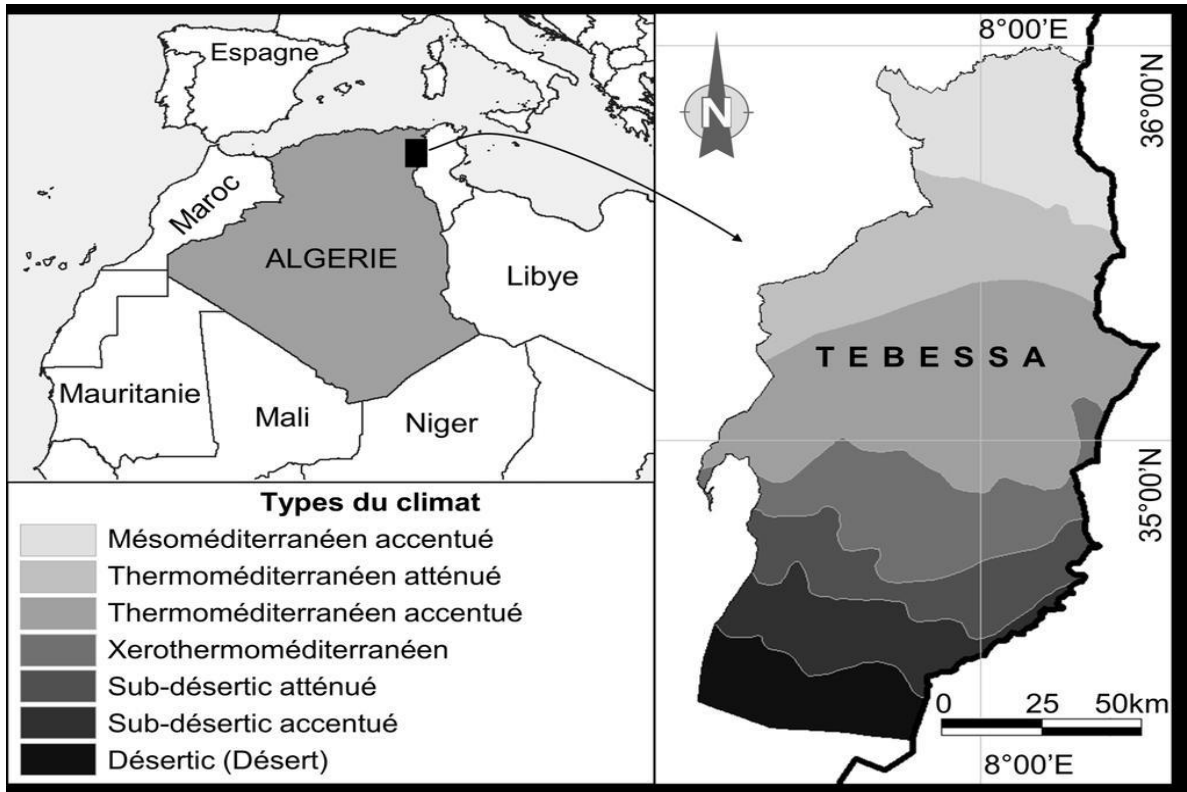


Figure 03 : Localisation géographique et les types de climat de la wilaya de Tébessa selon UNESCO 1963 (Sbiki, 2016)

3. Sites choisis pour le prélèvement



Figure 04 : La position géographique de Mesloula, El Aouinet



Figure 05 : Paysage de site, Mesloul (sol pollué par les déchets miniers) (Rais et Bouakkaz, 2022)

4. Prélèvement des échantillons du sol et des racines

La technique d'échantillonnage consiste à enfoncer une spatule stérile dans le sol à une profondeur de 10 à 20 cm près de la racine et placer l'échantillon dans un flacon stérile étiqueté spécifique au sol, puis coupez les racines avec des ciseaux stériles et placez-les dans des bouteilles stériles étiquetées. Nous l'avons répété 3 fois dans des zones différentes d'un même site.

4.1. *Peganum harmala* L.

Peganum harmala L. de la famille des Zygophyllaceae est une plante vivace glabre qui pousse spontanément dans des conditions semi-arides, des zones de steppe et des sols sableux, originaire de la région méditerranéenne orientale. C'est un arbuste de 0,3 à 0,8 m de haut avec de courtes racines rampantes, des fleurs blanches et des capsules de graines rondes portant

plus de 50 graines. La plante est largement distribuée et utilisée comme plante médicinale en Asie centrale, en Afrique du nord et au Moyen-Orient (**Pathan *et al.*, 2012**).

4.2. Classification systématique

La classification de cette espèce est comme suit :

Règne : *Plantas*

Embranchement : *Spermaphytes*

Sous embranchement : Angiospermes

Classe : Eudicots

Sous classe : Malvides

Ordre : Sapindales

Famille : zygophyllacées

Genre : *Peganum*

Espèce : *Peganumharmala*L. (**Imami *et al.*, 2016**)



Figure 06 : la plante de *Peganumharmala*L.

5. Protocole expérimental

5.1. Localisation de l'essai

Le présent travail a été réalisé au niveau du Laboratoire de Biologie Végétale et dans une serre, Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie département de Biologie des Etres Vivants, université Larbi Tébessi (Tébessa).

5.2. Préparation des souches

Après une sortie sur le terrain dans une zone poreuse, nous avons prélevé 3 échantillons sur les racines du harem et prélevé un échantillon de sol de chaque zone décapée. Enraciner horizontalement et le mettre dans la solution puis le mettre dans l'étuve pendant 72 heures.

En ce qui concerne le sol, nous avons fait une série de dilution parti 10^{-1} jusqu'à 10^{-4} après cela, et au moyen d'Anse de platine, nous avons prélevé un échantillon et l'avons essuyé sur la surface de la solution GN et l'avons laissé à l'intérieur de l'étuve pendant 3 jours pour obtenir finalement 17 bactéries de formes différentes, couleurs et tailles après les avoir vus au binoculaire.

5.3. Condition de culture des graines

Stérilisation des graines (**Fatarna, L., 2007**) on utilise le protocole de stérilisation suivant :

- Trempage dans un bain d'éthanol à 95% pendant quelques secondes.
- Trempage dans un bain d'eau de Javel à 50% pendant 15 minutes.
- Trois passages successifs dans des bains d'eau distillée stérile de 10 minutes chacun.

5.4. Tests de toxicité

Pour savoir l'auto-résistance des graines de *Cicer artinum L* variété flip90113 aux ETM, nous avons placé un groupe de cinq graines dans des boîtes de pétri (chaque boîte contient 5 graines) contenant de l'eau distillée stérile et différentes quantités de cadmium et de plomb : 400 ppm et 800 ppm pour le plomb, 10 ppm et 12 ppm pour le cadmium, puis laissé les graines pendant 48 h pour germer, pour déterminer la valeur de référence des ETM que nous allons utiliser dans notre expérience 800 ppm comme valeur de référence pour le plomb 12 ppm comme valeur de référence pour le cadmium.

5.5. L'essai de germination

Les graines de *Cicer arietinum*L sont mises en germination dans des pots en plastique, 10 graines pour chaque pot à 1 cm de profondeur. Des pots contenant de sol contaminé par le plomb (800 ppm) et d'autres pots contenant de sol contaminé par le cadmium (12 ppm). Le sol inoculé par des bactéries isolées de la rhizosphère de *Peganum harmala* avec trois répétitions pour chaque traitement selon le codage indiqué dans le tableau 01. Les graines ont été irriguées avec 100 ml de l'eau distillée chaque deux jour pendant un mois. L'essai a été réalisé dans une serre avec des conditions semi contrôlés.

Tableau 1 : Dispositif expérimental de bioremédiation.

Codage	Traitement
So	Sol + Eau distillé
SCd	Sol + Cadmium (12 ppm)
SCA	Sol + Consortium A (bactéries isolées des racines de <i>Peganum harmala</i>)
SCB	Sol + Consortium B (bactéries isolées du sol de <i>Peganum harmala</i>)
S _(CA x CB)	Sol + Consortium A + Consortium B
S _{CA+ Cd}	Sol + Consortium A + Cd
S _{CB+ Cd}	Sol + Consortium B + Cd
S _{(CA x CB) + Cd}	Sol + Consortium A + Consortium B + Cd
SPb	Sol + Plomb (800 ppm)
S _{CA+ Pb}	Sol + Consortium A + Pb
S _{CB+ Pb}	Sol + Consortium B + Pb
S _{(CA x CB) +Pb}	Sol + Consortium A + Consortium B + Pb

6. Méthodes et mesures effectuées

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

6.1. Paramètres morphologiques

6.1.1. La surface foliaire

L'estimation de la surface foliaire a été déterminée par la méthode d'utilisation d'instrument de mesure pied à coulisse qui consiste à mesurer la longueur et largeur de la feuille de *Cicer arietinum L* puis on applique la formule suivante (Dezzala, 2005)

$$\text{Surface foliaire} = \pi \times \text{longueur} \times \text{largeur} / 4$$

II : 3.14

Pour obtenir la mesure finale de la surface de la feuille.

6.1.2. La longueur de la partie aérienne et la partie racinaire

Pour mesurer la longueur de la partie aérienne, nous avons utilisé un réglet centimétrique, que nous avons mesurée la longueur de la tige principal. Et pour déterminer la mesure de la partie racinaire en mise en point la longueur de la racine principale.

6.1.3. Le nombre des tiges secondaires et les racines secondaires

- Sur la tige principale, on compte le nombre total des tiges secondaires
- Sur la racine pivotante, comptez le nombre total des racines indéfinies (secondaires)



Figure 07 : la plante de *Cicer arietinum L*

6.1.4. La biomasse végétale

6.1.4.1. Poids frais

Nous avons séparé la partie aérienne sur la partie racinaire avec un micro ciseaux, puis nous avons pesé chaque partie individuellement par une balance de précision.

6.1.4.2. Poids sec

Dans cette étape on passe le matériel végétal l'étuve à 80 C° pendant 48h, puis en utilisant une balance de précision pour la mesure du poids sèche. Et pour l'obtention de la biomasse végétale finale on utilise la formule de calcul suivante :

$$\text{Biomasse végétale} = \text{PS} \div \text{PF} \times 100$$

PS : pois sec

Pf : pois frais

6.2. Paramètres biochimiques

6.2.1. La teneur de chlorophylle

La chlorophylle était mesure par chlorophylle-mètre (figure 8) en plaçant la feuille au niveau de Levier de mesure (Cercle de 1 cm de diamètre) et on appuie dessus, pendant 2-3 seconde Le résultat apparaît à l'écran d'affichage.

La teneur en chlorophylle est exprimée dans l'ICC relatif (Indice de teneur en chlorophylle).



Figure 08 : Chlorophylle-mètre CCM-200

6.2.2. Dosage de protéines totales

Les protéines sont mesurées selon la méthode de Bradford (1976), qui utilise du bleu brillant de CoomassieG250 (BBC) comme réactif et albumine de sérum bovin (BSA) comme la norme. Le dosage se déroule en 3 étapes :

- **Préparation des échantillons :** (0.1 g) de l'échantillon de chaque répétition Broyer au mortier avec 5 ml d'eau distillée, puis filtrer et verser dans des tubes a essai en plastique étiqueté.
- **Préparation du réactif de Bradford :** Pour préparer ce réactif, prélever 0,1 g BBC (bleu brillant coomassie), ajouter 50 ml d'éthanol à 95% et placer dans Mixer pendant 2 heures. Ajouter ensuite 100 ml d'acide orthophosphorique à 85% et terminer avec pas plus de 1 litre d'eau distillée.
- **Dosage :** dans des tubes eppendorf, prélever 0,1 ml d'échantillon de plante et 1 ml d'eau distillée (à l'aide d'une micropipette), 5 minutes avant la lecture, ajouter 0,2 ml de réactif de Bradford. La lecture de dosage se fait par un spectrophotomètre a la longueur d'onde 595 nm Après avoir calibré l'appareil avec la solution de référence (1 ml d'eau distillée + 0,2 ml de réactif de Bradford). La teneur en protéines est calculée par la formule suivante :

$$\text{La teneur en protéines} = (\text{DO} - 0.0143 / 0.0041) \times 10$$

DO : Dosage

6.2.3. Dosage des sucres solubles

Dosage des sucres solubles Les sucres solubles sont déterminés par la méthode de **(Robert. Shields *et al*., 1960)**, qui utilise l'Anthrone au milieu acide sulfurique, l'extraction des sucres solubles se fait après trempage de 0,1g Matériel végétal dans 3 ml d'éthanol à 80 % pendant 48 h. puis à travers le tube Évaporer l'éthanol à l'évaporateur rotatif, puis déposer 20 ml d'eau distillée dans l'ensemble du récipient l'extrait. Retirer 1 ml d'extrait du tube et ajouter 2 ml de réactif à Anthrone (0,2 g d'anthrone pur dans 100 ml d'acide sulfurique pur). Placer le tube dans un bain-marie à 62 ° C pendant 8 min. Puis on les met dans un bain de glace Refroidir pour arrêter la réaction. Enfin, après 30 minutes dans l'obscurité, prenons une lecture au spectrophotomètre à 585 nm. En utilisant la formule suivante pour calculer la teneur en sucres :

$$\text{La teneur en sucres} = (\text{DO} + 0.0332 / 0.0022) \times 30$$

DO : Dosage

6.3. Paramètres physico-chimiques

6.3.1. Mesure PH et la conductivité

La mesure de PH consiste à homogénéiser 10 g de sol dans 25 ml d'eau distillée, ensuite la filtration à l'aide de papier filtre puis la lecture par le PH-mètre (figure 09).



Figure 09 : La lecture du PH et la conductivité par PH-mètre

7- Traitement de donnés et analyse statistique

Les données sont calculées sous forme d'une moyenne de 3 répétitions à l'aide du tableur EXCEL 2007 et les graphiques également réalisés à l'aide du même tableur. Les données recueillies pour l'ensemble des caractères étudiés ont été soumises à une analyse de la variance avec le logiciel XLSTAT. L'analyse de la variance effectuée est à un critère de classification (facteur traitement) et à deux critères de classification (facteur traitement et facteur organe). Les moyennes sont comparées à l'aide du test de Dunett dans le cas de l'ANOVA 1 et à l'aide du test de Tukey dans le cas de l'ANOVA2, lorsque cela est nécessaire (différences au moins significatives).

CHAPITRES III : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Résultats

1.1. Paramètres morphologiques

a. Au niveau du nombre des tiges secondaires

L'analyse de la variance (tableau 02) montre que les nombres des tiges influencent de façon non significative pour les plantes traitées sur l'effet de plomb ($P > 0.05$), et de façon significative ($P < 0.05$) pour les plantes traitées sur l'effet de cadmium (Tableau 03)

Tableau 02 : L'analyse de la variance du nombre des tiges de plante de *Cicer arietinum* L sur l'effet du plomb

	DDL	Somme de carrés	Moyenne des carrés	F	Pr >F
N.D.T	7	34,550	4,936	1,288	0,334

Tableau 03 : Test de Kruskal-Wallis de nombre des tiges de plante de *Cicer arietinum* L sur l'effet du cadmium

	DDL	K (Valeur observée)	K (Valeur critique)	p-value (bilatérale)	alpha
N.D.T	7	14,242	14,067	0,047	0.05

Les résultats présentés dans la figure 10 (A) montrent une augmentation non significative de nombre des tiges des plantes avec tous les traitements par rapport au témoin de nombre moyen atteint à 7.667. On observe une augmentation non significative chez les plantes traitées avec le plomb, les plantes inoculées par les bactéries des racines et les plantes sous l'effet de plombe traitées avec les bactéries des racines.

D'après ces résultats (figure 10 B), il y a un effet significatif de nombre des tiges. Car On remarque une augmentation chez les plantes traitées avec les bactéries des racines de nombre moyen atteint à 11.333. Les plantes traitées avec l'interaction entre les bactéries du sol et les bactéries des racines le nombre moyen atteint à 11.667 et les plantes traitées avec les bactéries du sol sous l'effet du cadmium (11.333) comparativement au témoin où le nombre moyen atteint à 7.667.

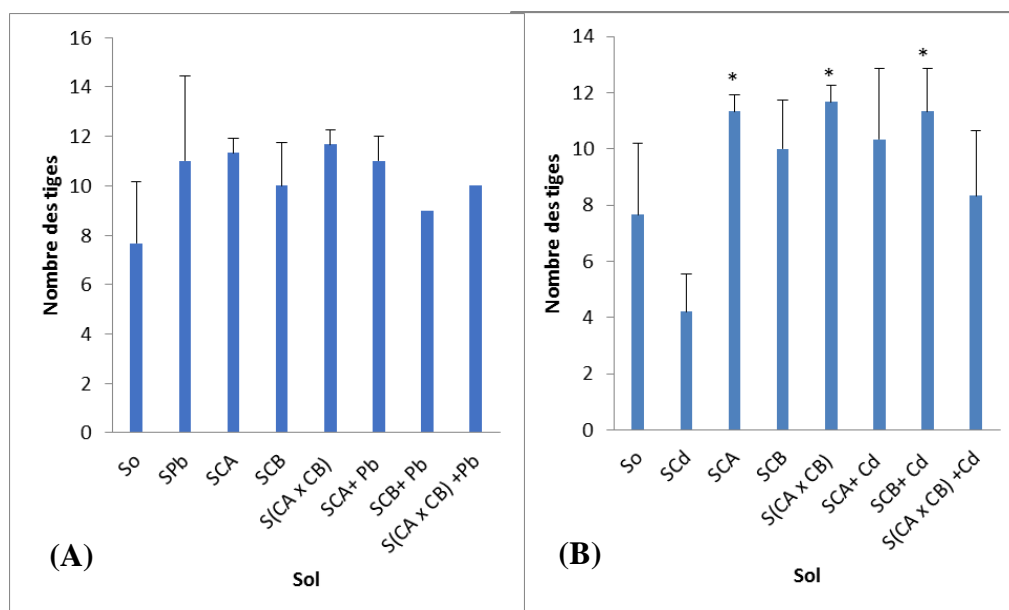


Figure 10 : Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur le nombre des tiges secondaires de plante de *Cicer arietinum*L, cultivées dans des conditions contrôlées.

b. Au niveau de nombre des racines secondaires

L'analyse des résultats obtenus (Tableau 04) révèle un l'effet significatif sur le nombre des racines secondaire ($P < 0.05$) pour les plantes sous l'impact de plomb et les plantes sous l'impact de cadmium.

Tableau 04 : l'Analyse de la variance du nombre des racines secondaires de plante de *Cicer arietinum* L.

	DDL	Somme de carrés	Moyenne des carrés	F	Pr >F
N.DR (Pb)	7	481,083	68,726	2,918	0,050
N.DR (Cd)	7	333,685	47,669	2,761	0,044

Selon la figure 11(A) le nombre des racines secondaires augmenté chez les plantes traitées avec l'interaction entre les bactéries du sol et des racines sous l'effet de plomb de nombre moyen atteint à 34 tiges comparativement avec le témoin (14.667). Par contre nous remarquons une diminution non significative de nombre des racines secondaires chez les

plantes traitées avec les bactéries de sol sous l'effet de plomb 14 tiges par rapport le témoin (14.667).

Selon ses résultats (figure 11) (B) nous remarquons une augmentation significative : chez les plantes traitées avec les bactéries du sol sous l'effet de cadmium de nombre moyen atteint à 25 tiges secondaires par rapport au témoin (14). Nous observons aussi une augmentation non significative chez les plantes traitées par l'interaction des bactéries qui était égal au témoin.

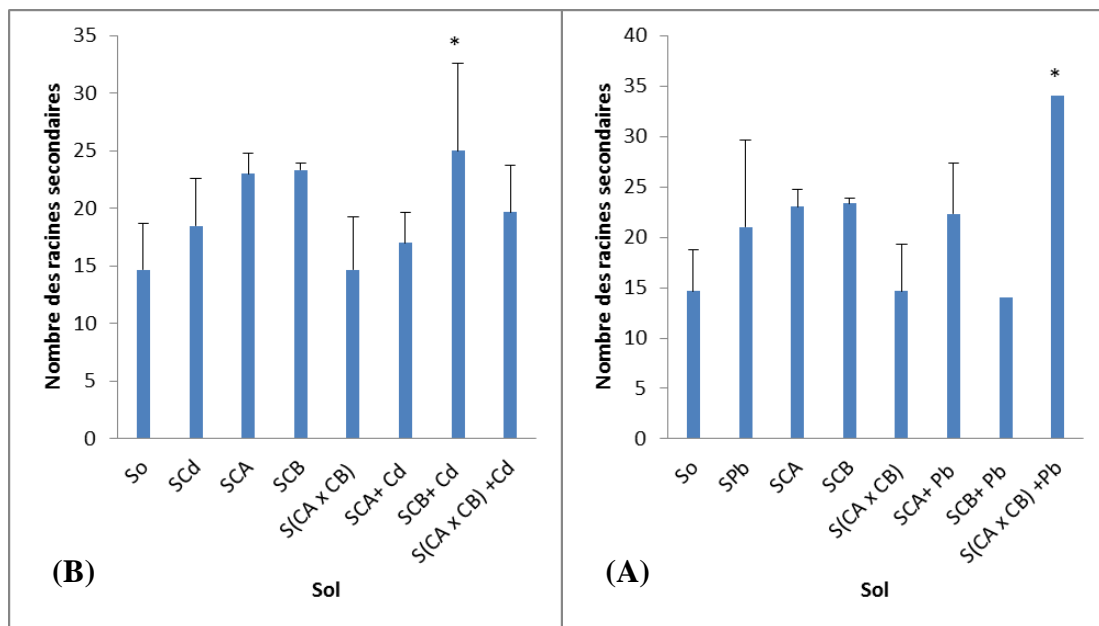


Figure 11 : Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur le nombre des racines secondaires de plante de *Cicer arietinum*L, cultivées dans des conditions contrôlées.

c. Au niveau de la longueur de la partie aérienne

L'étude des résultats mentionnés dans le tableau 05 de la longueur de la partie aérienne montre que il Ya un effet significatif (P<0.05) pour les plantes stressées avec le plomb.

Tableau 05 : L'Analyse de la variance de la longueur de la partie aérienne de plante de *Cicer arietinum*L.

	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
L.P.A	7	481,083	68,726	2,918	0,050

Les résultats illustrés par la figure 12 (A) montrent augmentation sur la longueur de la partie aérienne chez les plantes traitées avec les bactéries du sol de longueur moyen atteint à 29.667 cm, et une augmentation non significatif chez les plantes traitées avec l'interaction entre les bactéries du sol et les bactéries des racines sous l'impact de plomb comparativement avec le témoin de longueur moyenne atteint à 15 cm.

Selon les mêmes résultats (figure 12) (B) nous observons un effet non significatif. Car On remarque une faible augmentation sur la longueur chez les plantes traitées avec les bactéries du sol, les plantes traitées avec l'interaction des bactéries et les plantes traitées par les bactéries du sol sous l'impact de cadmium de longueur moyenne atteint à 29.667cm, 27.167cm et 25.167cm par apport au témoin (15.5 cm).

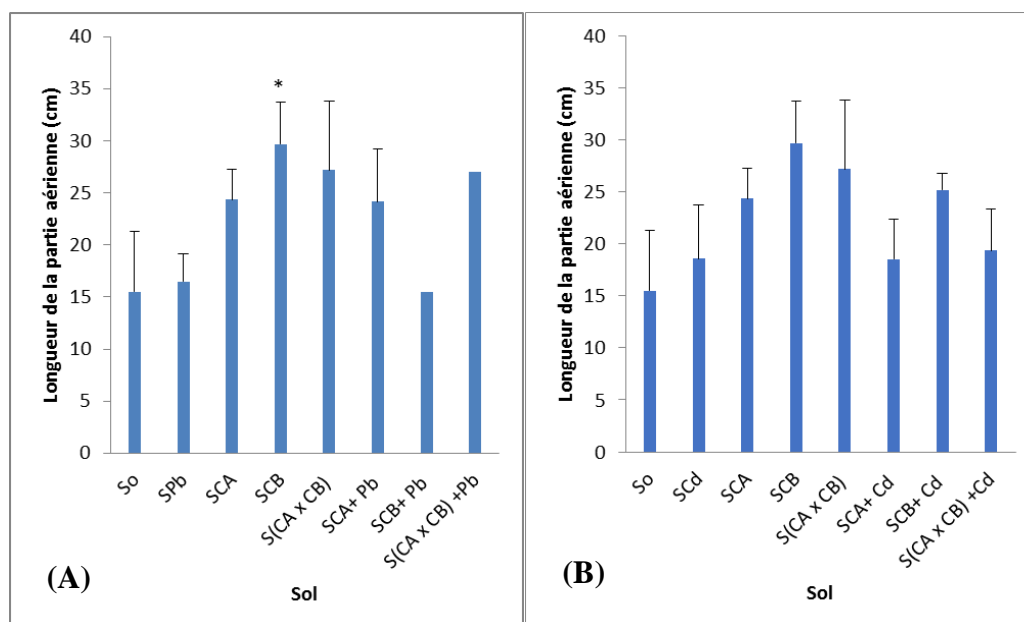


Figure 12 : Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur la longueur de la partie aérienne de plante de *Cicer arietinum*L, cultivées dans des conditions contrôlées.

d. Au niveau de la longueur de la partie racinaire

L'analyse de la variance (tableau 06) longueur de la partie racinaire montre que les différentes concentrations influent de façon hautement significative pour les plantes sous l'impact de plomb ($P < 0.01$), et de façon très hautement significative ($P < 0.001$) (tableau 07) avec les plantes sous l'impact de cadmium.

Tableau 06 : L'analyse de la variance de la longueur de la partie racinaire de plante de *Cicer arietinum* L. Stressé par la plombe

	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
L.P.R	7	127,546	18,221	8,725	0,001

Tableau 07 : Test de Kruskal-Wallis de la longueur de la partie racinaire de plante de *Cicer arietinum* L stressé par le cadmium.

	DDL	K (Valeur observée)	K (Valeur critique)	p-value (bilatérale)	alpha
L.P.R	7	13,128	14,067	0,069	0,05

Les résultats exprimés dans la figure 13 (A) montrent que la longueur de la partie racinaire augmente de façon très hautement significative chez les plantes inoculés par l'interaction des bactéries de longueur moyenne atteint à 14.5 cm, et de façon hautement significative chez les plantes sous l'effet de plomb et inoculé par l'interaction des bactéries allant jusqu'à 15 cm, comparativement au témoin (8.167cm) .Par contre nous remarquons une diminution non significative de longueur chez les plantes inoculées par les bactéries du sol sous l'effet de plomb, allant jusqu'à 5 cm.

Selon les ces résultats (figure 13) (B), on observe une augmentation de manière non significative chez les plantes stressées par le cadmium de longueur allant jusqu'à 13.667 cm, en remarquons aussi une augmentation de façon non significative chez les plantes inoculé par l'interaction entre les bactéries des racines et les bactéries du sol de longueur allant jusqu'à 14cm. Par contre pour les reste traitements on enregistre une très faible augmentation par rapport au témoin (8.167cm).

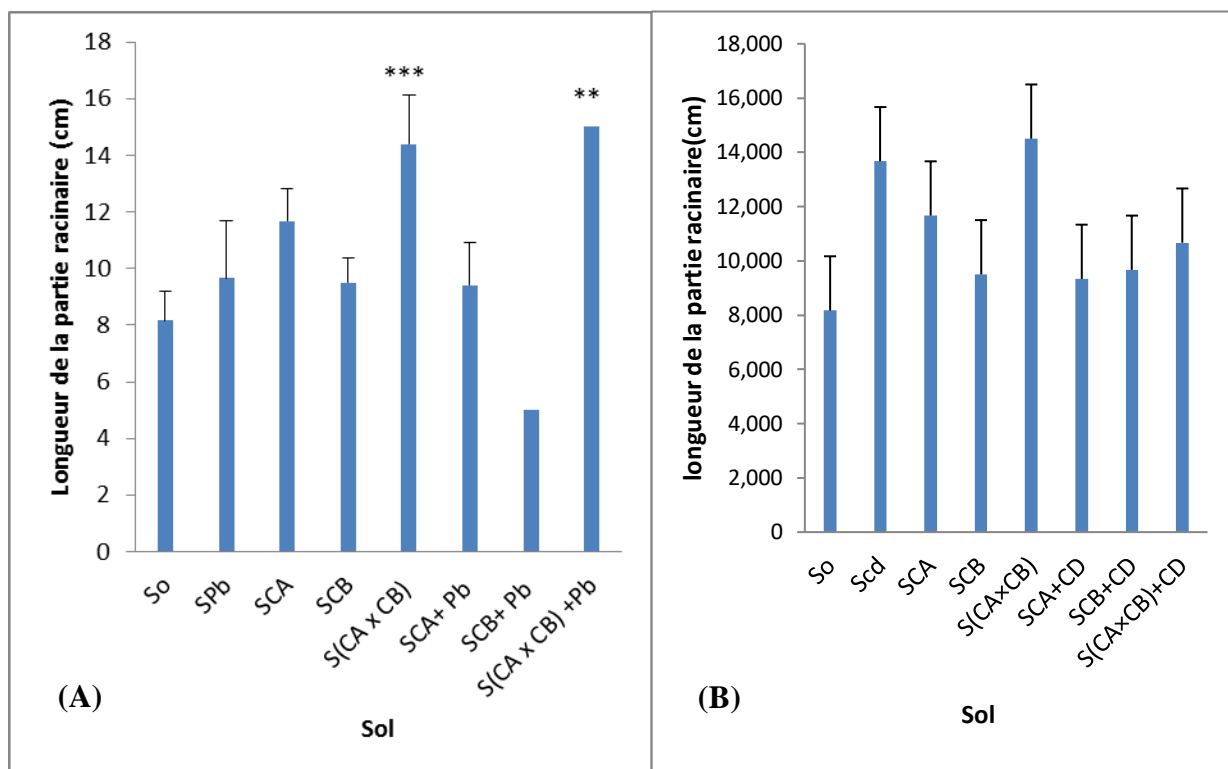


Figure 13 : Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur la longueur de la partie racinaire de plante de *Cicer arietinum*L, cultivées dans des conditions contrôlées.

e. Au niveau de la surface foliaire

L'analyse de la variance (tableau 08) de la surface foliaire révèle un effet de manière hautement significatif ($P < 0.01$) chez les plantes stressées par le plomb, et un effet de manière non significative chez les plantes cultivées sous l'impact du cadmium ($P > 0.05$).

Tableau 08 : L'analyse de la variance de la surface foliaire de plante de *Cicer arietinum*L.

	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Surface foliaire	7	0,234	0,033	4,341	0,013
Surface foliaire	7	0,254	0,036	1,934	0,130

Les résultats mentionnés dans la figure 14(A) illustrent que la surface foliaire augmenter de façon hautement significative chez les plantes sous l'influence du plomb sans bactérie de surface presque 0.9 cm² par rapport au témoin (0.0596cm²). On observe aussi une faible augmentation chez les plantes inoculé avec Consortium A et Consortium B de surface atteint à 0.728cm² et 0.630cm².

D'après ces résultats (Figure 14) (B) , nous marquons une augmentation de façon non significative chez les plantes traitées avec les bactéries des racines, de surface moyenne attient 0.728 cm², et chez les plantes traitées avec l'interaction entre les bactéries des racines et les bactéries du sol sous l'effet de cadmium de surface moyenne allant jusqu'à 0.690 cm² en comparaison avec le témoin (0.576 cm²)

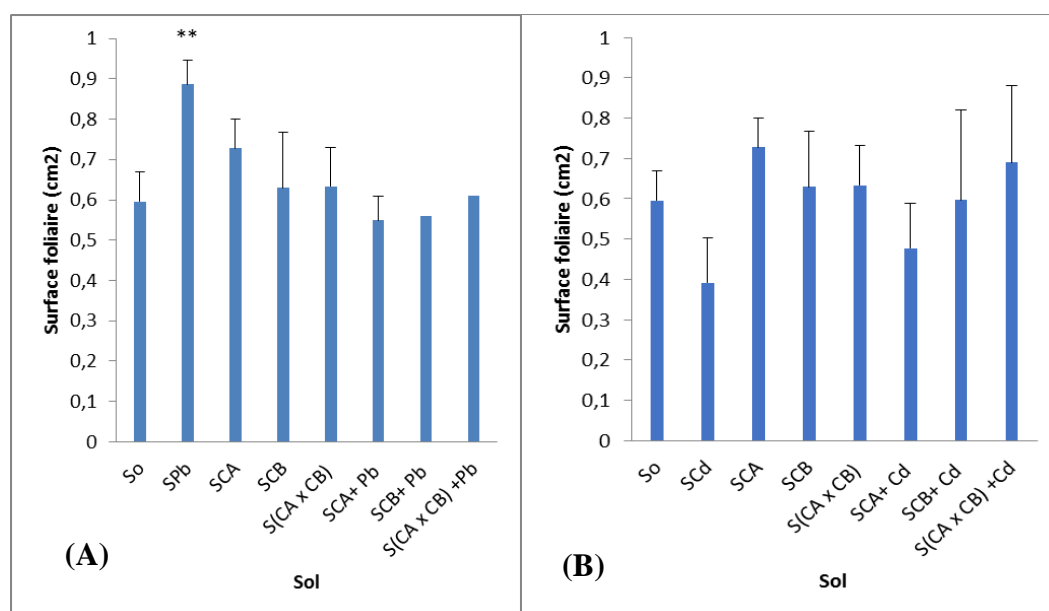


Figure 14 : Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur la surface foliaire de plante de *Cicer arietinum*L, cultivées dans des conditions contrôlées.

f. Au niveau du poids frais

L'analyse de variance (tableau 09) du poids frais monter que il y a un effet significatif très hautement significatif avec les plantes stressées par le cadmium et le plomb (P<0.01).

Tableau 09 : L'analyse de la variance de poids frais de plante de *Cicer arietinum*L.

		DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Poids frais (Pb)	feuillie	7	3,473	0,496	7,250	0,000
	Racine	1	7,468	7,468	109,120	< 0,0001
Poids frais (Cd)	Feuillie	7	3,335	0,476	8,461	< 0,0001
	Racine	1	7,935	7,935	140,923	< 0,0001

Les résultats présentés dans la figure 15 (A) affichent au niveau des feuilles qu'il y a une augmentation heureusement significative chez les plantes traitées avec l'interaction des bactéries du sol et les bactéries des racines de poids moyen atteint 2.046g, et un autre effet significatif chez les plantes traitées par les bactéries du sol de poids moyen allant jusqu'à 1.83g, en comparaison avec le témoin (0.89g). Par contre nous remarquons au niveau des racines une faible diminution chez les plantes sous l'impact du plomb, traitées par les bactéries du sol de poids moyen allant jusqu'à 0.17g par rapport au témoin (0.17g).

Selon la même figure (figure 15)(B) on observe au niveau des feuilles une augmentation de façon très hautement significative chez les plantes traitées avec l'interaction entre les bactéries, de poids moyen atteint à 2.046g, et une augmentation hautement significative chez les plantes traitées avec les bactéries du sol, de poids moyen allant jusqu'à 1.836g, et une autre augmentation significative chez les plantes traitées par les bactéries du sol sous l'effet de cadmium, de poids moyenne allant à 1.617g comparativement au témoin(0.897g). Au niveau des racines nous n'enregistrons aucun effet significatif avec tous les traitements par rapport au témoin.

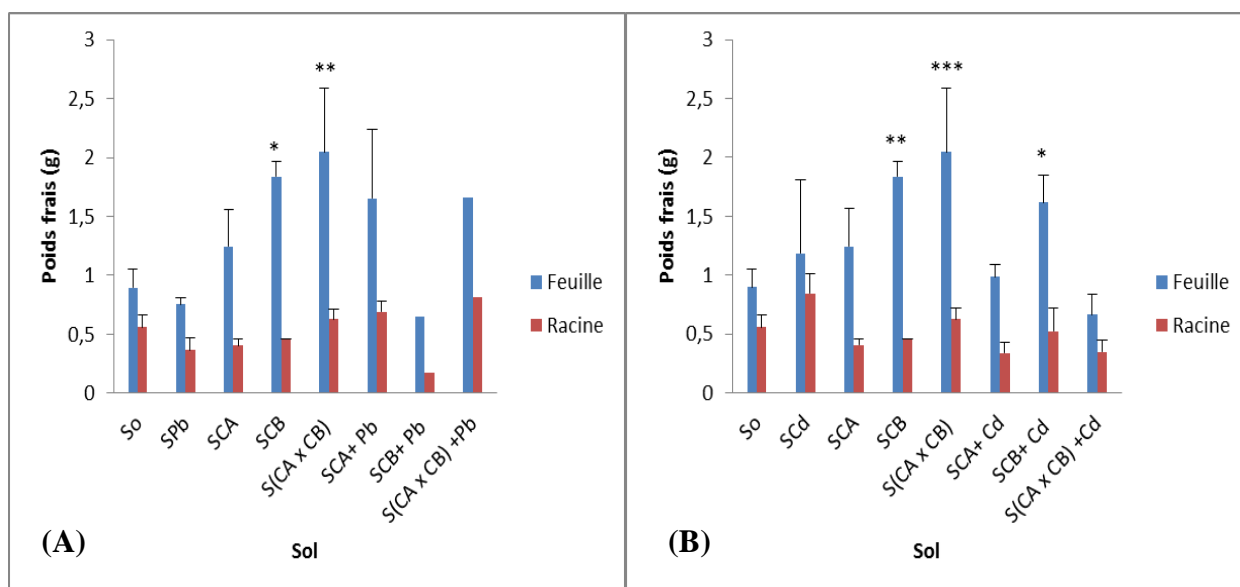


Figure 15 : Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur le poids frais de plante de *Cicer arietinum*L, cultivées dans des conditions contrôlées.

g. Au niveau du poids sec

L'étude statistique des résultats obtenus (tableau 10) montre qu'il y a un effet très hautement significatif ($P < 0.001$) sur le poids sec des plantes stressées par le cadmium et les plantes stressées par le plomb.

Tableau 10 : L'analyse de la variance du poids sec de plante de *Cicer arietinum*L.

		DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Poids sec (Pb)	feuille	7	2,798	0,400	18,252	< 0,0001
	Racine	1	1,799	1,799	82,135	< 0,0001
Poids sec (Cd)	Feuille	7	3,168	0,453	27,307	< 0,0001
	Racine	1	1,850	1,850	111,642	< 0,0001

Les résultats exprimés dans la figure 16 (A) montrent au niveau des feuilles qu'il y a une augmentation très hautement significative chez les plantes traitées, avec les bactéries du sol et les plantes traitées avec l'interaction des bactéries du sol et des racines de poids moyen

atteint à 1.14g, 1.18g. On observe aussi une augmentation significative chez les plantes inoculées avec les bactéries des racines sous l'effet du plomb de poids moyen allant jusqu'à 0.94g, en comparaison avec témoin (0.11g). Par contre nous remarquons au niveau des racines une diminution non significative allant jusqu'à 0.03g avec les plantes stressées par le plomb inoculé par les bactéries du sol, et une faible augmentation avec les plantes traitées par l'interaction des bactéries du sol et des racines (0.27g) par rapport au témoin de poids moyen qui atteint à 0.063g.

D'après ces résultats (figure16) (B), nous enregistrons au niveau des feuilles une augmentation de manière très hautement significative chez les plantes inoculées par les bactéries du sol, les plantes inoculées avec l'interaction des bactéries et les plantes traitées avec les bactéries du sol sous l'effet de cadmium de poids moyenne allant jusqu'à 1.14g, 1.18g et 0.92g comparative au témoin 0.118 g. Quant aux racines on n'observe aucun effet significatif avec les différents traitements par rapport au témoin (0.063 g).

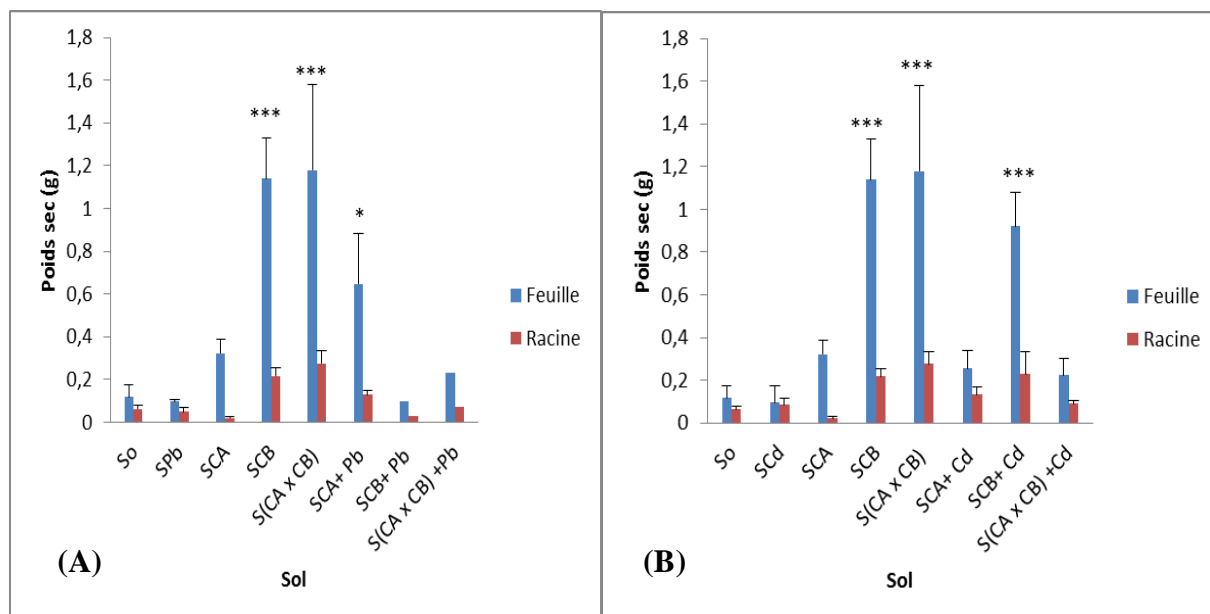


Figure 16 : Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur le poids sec de plante de *Cicer arietinum*L, cultivées dans des conditions contrôlées.

h. Au niveau de la biomasse végétale

L'analyse des résultats obtenus (Tableau 11) révèle un effet très hautement significatif sur la biomasse végétale ($P < 0.001$) avec les plantes influencées avec le plomb, et un effet significatif ($P < 0.05$) avec les plantes influencées par le cadmium.

Tableau 11 : L'analyse de la variance de la biomasse végétale de plante de *Cicer arietinum*L

		DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Biomasse végétale (Pb)	feuillie	7	11784,629	1683,518	90,665	< 0,0001
	Racine	1	1141,865	1141,865	61,495	< 0,0001
Biomasse végétale (Cd)	Feuillie	5	52,498	10,500	10,382	< 0,0001
	Racine	1	2,262	2,262	2,236	0,148

Selon la figure 17(A), nous avons noté l'existence d'un effet d'augmentation sur la biomasse végétale chez les plantes traitées avec les bactéries du sol (61,77g), les plantes traitées avec interaction entre les bactéries du sol et les bactérie des racines (56,73g) et les plantes traitées avec les bactéries des racines sous l'effet du plomb (39,52g) par rapport au témoin (12,86g), on peut considérer cet effet comme un effet très hautement significatif. Dans le cas des racines on a observé un effet chez les plantes traitées avec les bactéries du sol et les plantes traitées avec l'interaction entre les bactéries du sol et des racines avec une biomasse végétale de (47,31g) pour SCB et (43,85g) pour S(CA×CB) par rapport au résultat de témoin qui a une biomasse de 11,41g, cet effet est un effet très hautement significatif.

D'après les mêmes résultats (figure 17) (B), on a remarqué au niveau des feuilles une augmentation très hautement significative avec les quatre traitements suivants SCB, S(CA*CB), SCB+CD et S(CA*CB)+CD de biomasse allant jusqu'à (61,77g, 56,73g, 56,70g et 33,18g) en comparaison au témoin de biomasse atteint à 12,84g. Chez les racines, on a noté un effet d'augmentation très hautement significatif par rapport le témoignage (11,47g) avec les plantes inoculées par les bactéries du sol(47,31g) , les plantes traitées par l'interaction entre les bactéries du sol et des racines (43,85g),les plantes traitées avec les bactéries des racines sous l'effet de cadmium (39,45g) et les plantes traitées avec les bactéries du sol sous l'effet de cadmium (43,13g), puis on observe une augmentation significative de la biomasse végétale chez les plantes traitées avec l'interaction des bactéries sous l'effet de cadmium (26,40g) comparé avec le témoin.(11,47g).

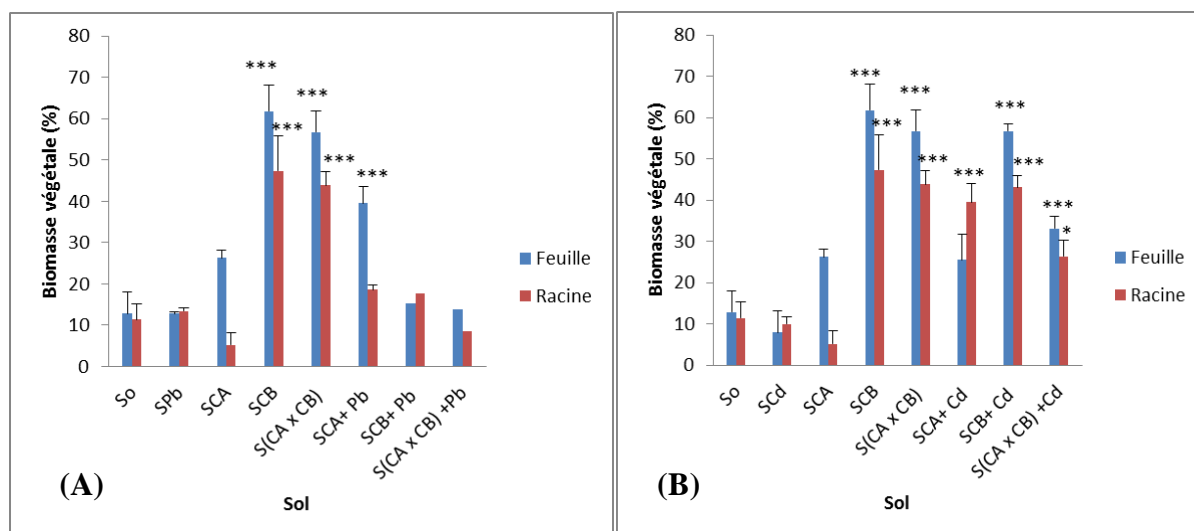


Figure 17 : Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur la biomasse végétale de plante de *Cicer arietinum*L, cultivées dans des conditions contrôlées.

1.2. Paramètres biochimiques

a. Au niveau de la teneur en chlorophylle

L'analyse de la variance (Tableau 12) de la teneur en chlorophylle montre un effet hautement significatif ($P < 0.01$) pour les plantes sous l'impact du plomb.

L'analyse de la variance (Tableau 13) montre un effet significatif ($P < 0.05$) sur le teneur en chlorophylle des plantes sous l'impact de cadmium.

Tableau 12 : L'analyse de la variance de la teneur en chlorophylle de plante de *Cicer arietinum* L sous l'effet du plomb

	DDL	Somme de carrés	Moyenne des carrés	F	Pr >F
La teneur en chlorophylle	7	6,591	0,942	3,614	0,025

Tableau 13 : Test de Kruskal-Wallis de la teneur en chlorophylle de plante de *Cicer arietinum L* sous l'impact de cadmium.

	DDL	K (Valeur observée)	K (Valeur critique)	p-value (bilatérale)	alpha
La teneur en chlorophylle	7	6,594	14,067	0,472	0,05

Les résultats illustrés par la figure 18 (A), montrent une diminution de la teneur de chlorophylle de façon hautement significative pour les plantes inoculées avec l'interaction entre les bactéries du sol et les bactéries des racines de teneur moyenne atteint à 1.6 CC, et une diminution significative pour les plantes inoculées avec les bactéries du sol et les bactéries des racines de teneur moyenne atteint à 2.067 CCI, 2.167 CCI comparativement au témoin de teneur moyenne atteint à 3.567 CCI.

D'après ces résultats (figure 18) (B) on observe une faible diminution de la teneur de chlorophylle avec les plantes traitées par l'interaction entre les bactéries (1.6 CCI), et une diminution non significative avec tous les traitements par rapport au témoin (3.1 CCI).

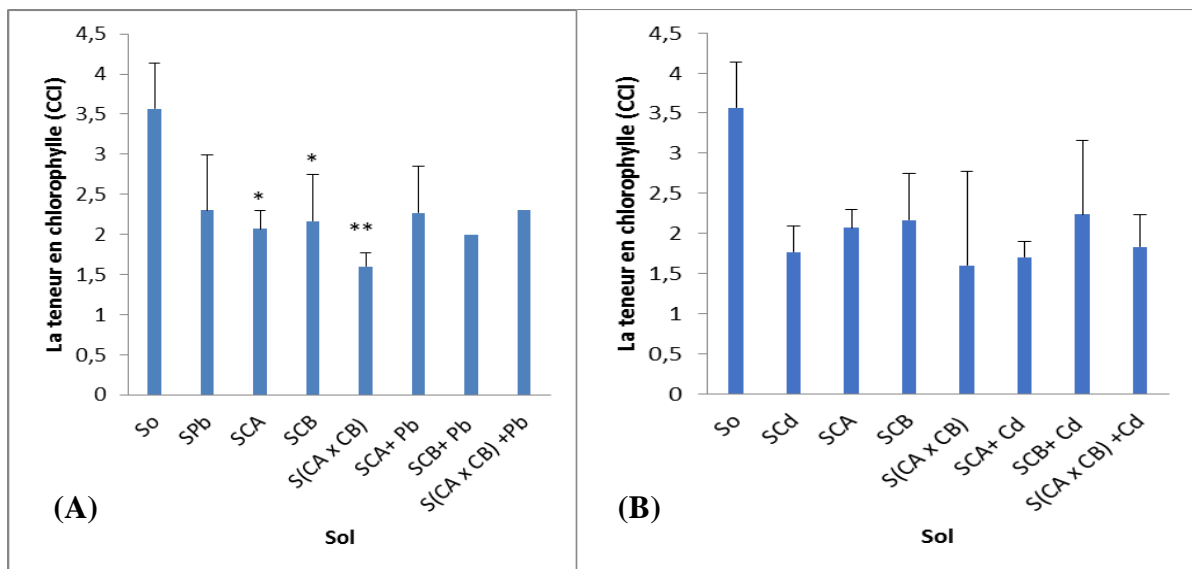


Figure 18 : Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur la teneur en chlorophylle de plante de *Cicer arietinum L*, cultivées dans des conditions contrôlées

b. Au niveau de la teneur en protéine soluble

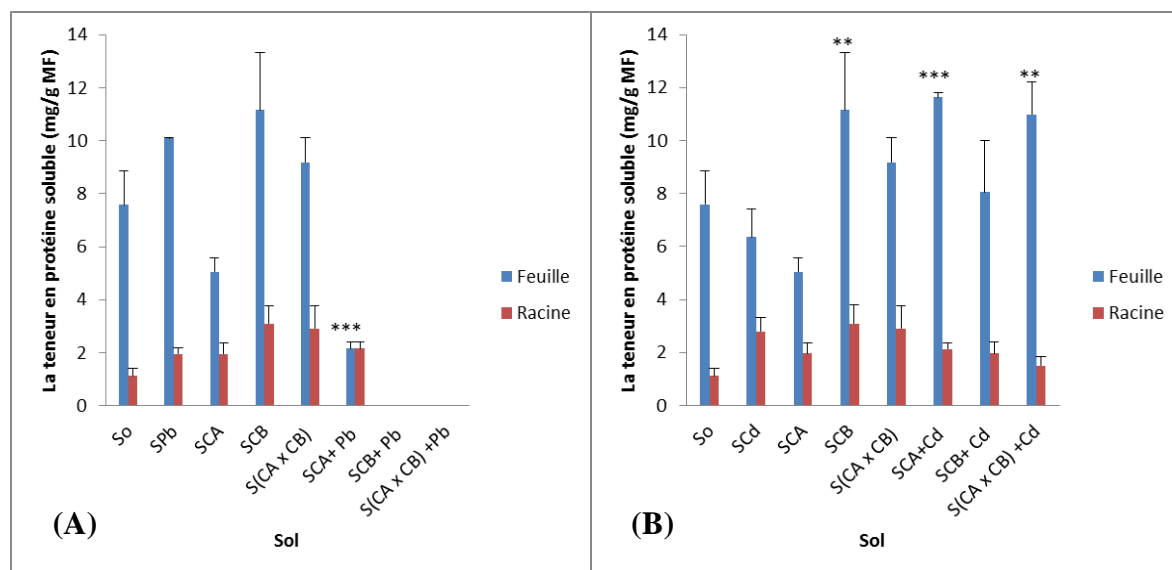
L'étude statistique des résultats obtenus (Tableau 14) montre que la teneur en protéine est fortement influencée par les traitements de manière très hautement significative ($P < 0.001$) pour les plantes stressées avec le plomb et les plantes stressées avec le cadmium.

Tableau 14 : L'analyse de la variance la teneur en protéine soluble de plante de *Cicer arietinum L*

		DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
T.P.S (Pb)	feuille	5	103,684	20,737	27,326	< 0,0001
	Racine	1	256,154	256,154	337,551	< 0,0001
T.P.S (Cd)	Feuille	7	70,867	10,124	11,292	< 0,0001
	Racine	1	517,306	517,306	576,994	< 0,0001

Les résultats obtenus dans la figure 19 (A) révèlent au niveau des feuilles une augmentation non significative de la teneur des protéines des feuilles des plantes inoculées avec les bactéries du sol de atteindre à (11 mg/g MF) et les plantes traitées avec l'interaction entre les bactéries du sol et les bactéries des racines atteinte à (9.175 mg/g MF) par contre on observe une diminution très hautement significative pour les plantes qui sont sous l'effet du plomb et inoculées avec les bactérie racinaire (2.15 mg/g MF) comparé au témoin (7.58 mg/g MF). La teneur de la protéine des racines du témoin est à valeur 1.1mg/g MF cette valeur augmente non significativement pour les plantes traitées uniquement avec les bactéries racinaires et les plantes traitées avec bactéries su sol de valeur (1.95 mg/g MF) (3.09 mg/g MF).

D'après ces résultats (figure 19) (B) la teneur en protéines des feuilles des plantes traitées uniquement avec les bactéries du sol est augmentée de manière hautement significative. Atteint à (11.15 mg/g MF). On observe une augmentation très hautement significative de cette teneur pour les feuilles des plantes traitées sous l'effet du cadmium, et bactéries racinaire et une augmentation hautement significative pour celles traitées avec l'interaction entre les bactéries des racines et sol atteinte à (11.63 mg/g MF) (11.65 mg/g MF) respectivement comparativement au témoin. La teneur en protéine des racines s'élève non significativement pour tous les différents traitements par rapport au témoin.



. *Figure 19 : Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur La teneur en protéine soluble de plante de Cicer arietinum L, cultivées dans des conditions contrôlées.*

c. Au niveau de la teneur en sucre soluble

L'analyse de la variance La teneur en sucre soluble (tableau 15) montre un effet très hautement significatif pour les plantes sous l'effet de plomb ($P < 0.001$), et un effet significatif ($P < 0.05$) pour les plantes sous l'effet de cadmium.

Tableau 15 : L'analyse de la variance de la teneur en sucre soluble de plante de Cicer arietinum L

		DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
T.S.S (Pb)	feuille	5	52,498	10,500	10,382	< 0,0001
	Racine	1	2,262	2,262	2,236	0,148
T.S.S (Cd)	Feuille	7	22,650	3,236	3,786	0,004
	Racine	1	1,337	1,337	1,565	0,220

Les résultats illustrés dans la figure 20 (A) révèlent une diminution non significative de la teneur en sucre des feuilles des plantes traitées avec les bactéries du sol atteint à 3.62 mg/g M et les plantes traitées avec les bactéries des racines atteignent à 2.64 mg/g MF par rapport

au témoin (5.29 mg/g MF). Par contre on observe sur le teneur de sucre des racines une augmentation de façon très hautement significative avec les plantes sous l'effet du plomb de teneur allant jusqu'à (7.42 mg/g MF) en comparaison avec le témoin (3.19 mg/g MF).

D'après ces résultats (figure 20) (B). Sur la teneur en sucre des feuilles, nous remarquons une diminution significative avec les plantes inoculées par les bactéries du sol de teneur atteint à 2.4 mg/g MF, et une diminution non significative chez les plantes inoculées par les bactéries des racines par rapport au témoin (5.29 mg/g MF). La teneur de sucre des racines de témoin de valeur 3.19 mg/g MF, cette valeur augmente non significativement pour les plantes sous l'effet du cadmium et les plantes traitées par l'interaction entre les bactéries du sol et les bactéries des racines de teneur allant jusqu'à 5.12 mg/g MF, 5.51 mg/g MF.

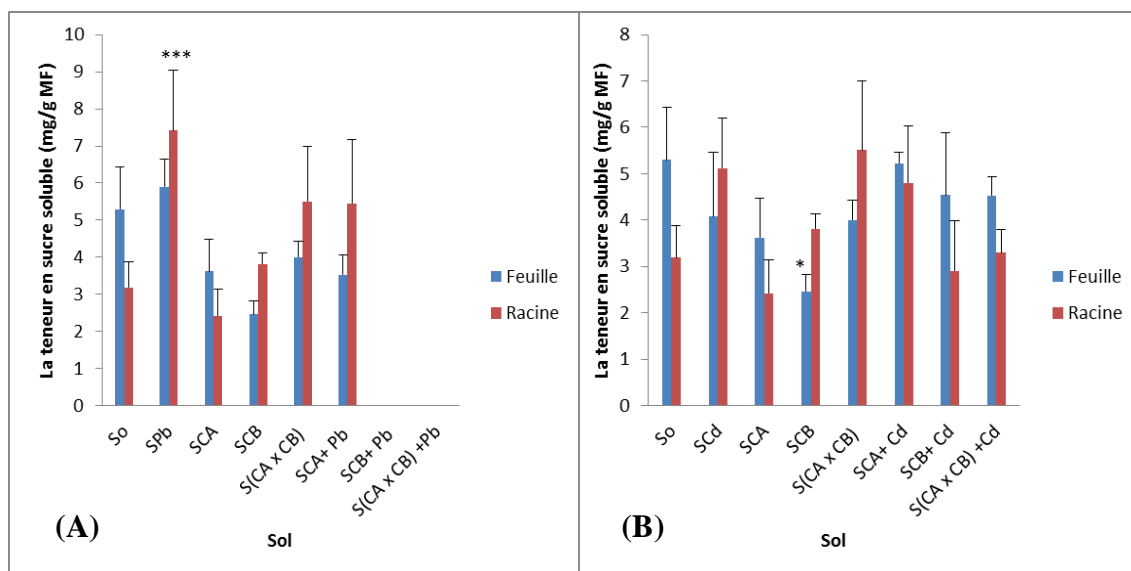


Figure 20 : Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur la teneur en sucre soluble de plante de Cicer arietinumL, cultivées dans des conditions contrôlées.

1.3. Paramètres physicochimiques

a. PH et la conductivité électrique

Tableau 16 : Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur le PH et la conductivité de de plante de *Cicer arietinum*L sous l'impact du plomb.

traitement	PH moyenne	Type du sol	Conductivité moyenne	Qualité du sol
S0	7.013	NEUTRE	1175,000	SALE
Spb	6.667	NEUTRE	730,333	Légèrement salé
SCA	6.807	NEUTRE	1141,000	Salé
SCB	6.753	NEUTRE	1267,667	Salé
S (CA*CB)	6.780	NEUTRE	1204,000	Salé
SCA+pb	6.763	NEUTRE	1171,000	Salé
SCB+pb	6.720	NEUTRE	705,000	Légèrement salé
S (CA*CB) +pb	7.130	NEUTRE	952,333	Légèrement salé

Tableau 17 : Effet de la co-inoculation avec des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sur le PH et la conductivité de plante de *Cicer arietinum*L sous l'impact de cadmium.

traitement	PH moyenne	Type du sol	Conductivité moyenne	Qualité du sol
S0	7,013	Neutre	1175,000	Salé
Scd	6,840	Neutre	865,889	Légèrement salé
SCA	6,807	Neutre	1141,000	Salé
SCB	6,753	Neutre	1267,667	Salé
S (CA*CB)	6,780	Neutre	1204,000	Salé
SCA+cd	7,080	Neutre	691,333	Légèrement salé
SCB+cd	7,040	Neutre	1042,333	Salé
S (CA*CB) +cd	7,313	Neutre	1011,667	salé

2. Discussion

Dans cette étude, nous avons étudié la réponse d'une légumineuse (*Cicer arietinum L* variété Flip90) au stress oxydant induit par le plomb et le cadmium dans le cas de présence d'une inoculation du sol avec des consortiums bactérien isolé des racines et sol de *Peganum harmala*. Pour cela, nous avons évalué différents paramètres morphologiques, biochimiques et physicochimique.

Au niveau physiologique une exposition au plomb entraîne de nombreuses perturbations (Souahi *et al.*, 2017). Les techniques biologiques utilisées dans notre travail pour minimiser ces effets négatifs montrent :

Au niveau de nombre des tiges les résultats montrent un effet d'augmentation non-significative avec tous les traitements soit les plantes traitées avec le Pb seul ou les plantes traitées avec le Pb plus les consortiums bactérien par rapport au témoignage. D'après les travaux de Belarbi, (2018). Les plantes cultivées dans un milieu contaminé par le Pb présentent un ralentissement de leur développement et une inhibition de la croissance des racines et des parties aériennes. On a observé un relèvement du nombre des tiges chez les plantes traitées avec les bactéries des racines, les plantes traitées avec l'interaction entre les bactéries des racines et les bactéries du sol, et cela peut s'expliquer par Les PGPRs qui produisent différentes phytohormones comme : l'AIA (Acide indole acétique, auxines) l'acide gibbérellique et les cytokinine ; ce sont des petites molécules de signal produites en très faible concentration influençant les processus biochimiques, physiologiques et morphologiques dans les plantes (Bendjida *et al.*, 2019). Selon Cherif, (2014) Les cytokinines jouent un rôle-clé dans un grand nombre de processus physiologiques tels que la promotion de la ramification. Dans le cas des plantes traitées avec les bactéries du sol en présence du Cd, en augmentation dans le nombre des tiges une stimulation de la longueur des racines et des tiges par des inoculations microbiennes a également été observé sous stress Cd (Kanika *et al.*, 2019). Au niveau de nombre des racines secondaires, nos résultats montrent une augmentation de nombre des racines secondaires chez les plantes inoculées par l'interaction entre les bactéries des racines et du sol sous l'effet du plomb car diverses espèces bactériennes ont la capacité de produire de l'AIA. Environ 80 % des bactéries qui colonisent la rhizosphère le synthétisent (Bahlouli *et al.*, 2021). d'après Ahmari *et al.*, 2021 L'auxine est une phytohormone importante, essentielle au développement et à la croissance des plantes. Elle a un effet positif sur l'initiation de la croissance et l'élongation des racinaires. Elle

augmente également la ramification des racines et améliore l'absorption de minéraux et d'eau (**Bendjida et al., 2019**). Puis on a noté aucun effet pour tous les traitements soit en présence de notre consortiums des bactéries des racines et du sol seul, soit avec la présence de l'effet de Pb, parce-que le Pb et les métaux lourds en général ralentissent la croissance racinaire. Ce ralentissement peut résulter d'une inhibition de la division cellulaire et de l'élongation des cellules (**Belarbi, 2018**). Sauf une diminution légère dans le nombre des racines secondaires chez les plantes traitées avec les bactéries du sol en présence du plomb peut être divers PGPR synthétisent des cytokinine (**Ahmari et al., 2021**) Depuis de nombreuses PGPR y compris Azotobacter, azospirillum, Rhizobium et Pseudomonas spp. Sont productrices de cette hormone La cytokinine à un effet inhibiteur sur la croissance des racines. En remarquant une augmentation dans le nombre des racines secondaires cher les plantes inoculées par le consortium d'interaction bactérien racine/sol sous l'effet du plomb et chez les plantes traitées avec les bactéries du sol, en présence du cadmium, parce que l'inoculation peut favoriser l'allongement de la racine le développement des racines latérales et adventives les poils absorbants, et la ramification des poils racinaires. Ces réponses de développement de la morphologie racinaire sont déclenchées par des phytohormones synthétisées par les rhizobactéries (**Bahlouli et al., 2021**).

Au niveau de la longueur de partie aérienne, les résultats pour ce paramètre ont montré que la longueur des parties aériennes des plantes traitées avec les bactéries du sol augmentait par rapport au témoin, tandis que les plantes traitées avec l'interaction entre les bactéries du sol et les bactéries des racines étaient sous l'influence du plomb Il n'y avait pas d'augmentation significative. Selon les travaux de **M. Moustaine et al.,(2019)**, l'utilisation des PGPR comme inoculant de graines de blé dans les sols salés, améliore la hauteur des plantes. **Olaréwadgou et al.,(2018)** affirme que l'action principale des PGPR est souvent la stimulation de la croissance de la plante hôte. Cette croissance peut s'expliquer par la solubilisation des phosphates, la fixation de l'azote et la production de l'acide indole acétique. Selon les mêmes résultats, nous avons observé un effet non significatif, car nous avons remarqué une légère augmentation de la longueur des plantes traitées, avec des bactéries du sol, des plantes traitées avec une interaction bactérienne et des plantes traitées avec des bactéries du sol sous l'influence du cadmium par rapport aux témoins; une stimulation de la longueur des tiges dans le cas d'inoculation par les micro-organismes sous l'effet de stress de cadmium a été observé par **Kanika et al., (2019)**.

Au niveau de la longueur de la partie racinaire, les résultats ont montré que la longueur des racines augmentait de manière très hautement significative chez les plantes traitées par interaction bactérienne, alors que chez les plantes traitées au plomb et inoculées par interaction bactérienne la longueur des racines augmentait de manière très hautement significative par rapport aux témoins, d'après **Bahlouli et al., (2021)** l'inoculation peut favoriser l'allongement de la racine, cela permet à la plante de développer un système racinaire abondant, en lui permettant notamment de coloniser une plus grande surface de sol. Il permet également améliorer l'état nutritionnel des plantes (**Kias et ouadi, 2017**) le développement des racines latérales et adventives (**Bahlouli et al., 2021**) ces rhizobactéries améliorent le développement des systèmes racinaires (**Kias et ouadi, 2017**). En revanche nous n'avons pas constaté une réduction non significative de la longueur des plantes inoculées avec des bactéries du sol sous l'influence du plomb comparé aux témoins ; la présence de Pb joue un rôle d'inhibiteur de la croissance des racines des plantes. Le Pb est un ralentisseur de croissance de partie racinaire (**Belarbi, 2018**) la réduction de l'élongation racinaire peut être causée par une inhibition de la division cellulaire et de la synthèse des polysaccharides pariétaux (**Aoun, 2008**)

Au niveau de la surface foliaire Les résultats ont montré que sous l'influence du plomb sans bactéries de surface, la surface foliaire des plantes augmentait hautement significativement de près de 0,9 cm² par rapport au témoin (0,0596 cm²). Nous avons également observé une légère augmentation de la surface des plantes inoculées avec Consortium A et Consortium B à 0,728 cm² et 0,630 cm², D'après ces résultats, nous n'avons remarqué aucune augmentation significative des plantes traitées avec des bactéries racinaires, avec une surface moyenne de 0,728 cm², tandis que chez les plantes traitées avec des interactions bactéries racinaires et bactéries du sol sous l'effet du cadmium par rapport aux témoins (0,576 cm²). Avec une surface moyenne, allant jusqu'à 0,690 cm². Ces résultats corroborent ceux de **Ferhat et al (2014)** ayant montré que L'inoculation des graines de blé par *Bacillus* sp. Et/ou *P. agglomerans* sous contrainte saline améliorent nettement les paramètres morphologiques de la plante (poids frais et secs des racines et des feuilles, de l'allongement racinaire et de l'élongation de la plante). Les PGPR pourraient favoriser l'absorption des nutriments, aussi réduire la nécessité de l'apport d'engrais et prévenir l'accumulation de nitrates et de phosphates dans les sols agricoles. Le phosphore et l'azote sont les nutriments majeur-clé limitant la croissance des plantes (**Cherif, 2014**)

Au niveau de la biomasse végétale, nous avons noté l'effet d'augmentation sur la biomasse végétale des plantes traitées avec les bactéries du sol (61,77 g), celles traitées avec l'interaction bactéries du sol et des (56,73 g), et celles traitées avec les bactéries du sol à l'influence du plomb (39,52 g) par rapport à le témoin (12,86 g). Cet effet peut être considéré comme un effet très hautement significatif. Les études réalisées par **Olaréwadgou *et al.*,(2018)** ont rapporté que les rhizobactéries et *P. fluorescens* (PF9 et PF20) sont à l'origine de l'augmentation de la biomasse des plantes de pomme de terre. Dans le cas des racines des effets ont été observés chez les plantes traitées avec les bactéries du sol et chez les plantes traitées avec l'interaction entre les bactéries du sol et les racines, où la biomasse végétale était de (47,31 g) pour SCB, et (47,31 g) pour S(CA x CB) était (43,85 g) cet effet était un effet très hautement significatif par rapport au résultat témoin avec une biomasse de 11,41 g. Selon **Cherif,(2014)** les traitements avec les PGPR augmentent le pourcentage de germination, la vigueur des plantules, l'émergence, le développement des racines et des tiges ; la biomasse totale des plantes, le poids des semences, la floraison précoce et les rendements de fruits et des graines. Selon les mêmes résultats une augmentation très hautement significative de la biomasse a été observée pour les quatre traitements suivants SCB, S(CA*CB), SCB+CD et S(CA*CB)+CD, atteignant (61,77 g, 56,73 g, 56,70 g et 33,18 g) en comparaison au témoin de biomasse attient a 12.84 g, chez les racines on a noté un effet d'augmentation très hautement significatif par rapport au témoignage (11,47 g), avec les plantes inoculées par les bactéries du sol(47,31 g) , les plantes traitées par l'interaction entre les bactéries du sol et des racines (43,85 g),les plantes traitées avec les bactéries des racines sous l'effet de cadmium (39,45 g) et les plantes traitées avec les bactéries du sol sous l'effet de cadmium (43,13 g). Puis on observe une augmentation significative de la biomasse végétale chez les plantes traitées avec l'interaction des bactéries sous l'effet de cadmium (26,40 g) comparé avec le témoin.(11.47 g). **Kanika *et al.*, (2019)** dit que la réduction de la biomasse végétale pendant le stress lié au Cd est principalement due à ses effets néfastes sur l'absorption de minéraux, la photosynthèse, la synthèse de chlorophylle, l'altération de l'eau et l'équilibre hormonal. Le cd est d'abord exposé à des racines qui plus tard, une voie apoplastique peut entrer dans le système et perturber le métabolisme complet de la plante. En outre, il a été constaté que le poids frais des racines et des pousses était abaissé dans la souche russe qui est traitée au cd. Il existe une corrélation directe entre la croissance et la biomasse des plantes et les rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPRs). Qui s'est avéré être augmenté après une augmentation des PGPRs sous la toxicité Cd.

Au niveau de la teneur en chlorophylle, les résultats ont montré que les plantes dans lesquelles les bactéries du sol interagissaient avec les bactéries des racines avec une teneur moyenne de 1,6 CCI avaient une teneur en chlorophylle significativement plus faible que celles inoculées avec cette plante. La teneur du milieu en bactéries du sol et en bactéries racinaires a atteint 2,067 CCI, 2,167 CCI par rapport à la teneur en milieu témoin de 3,567 ; aussi on a observé une réduction de la chlorophylle chez les plantes sous l'effet de pb selon **Messaoud *et al.*, (2019)** au niveau physiologique une exposition au plomb entraîne de nombreuses perturbations dans les parties aériennes, en particulier l'appareil photosynthétique **Belarbi, (2018)** montre que l'accumulation du plomb peut réduire la concentration de chlorophylle, le fer, l'activité des catalases. Ainsi, augmente la concentration des produits phosphorés, l'activité peroxydases, la phosphatase acide et les ribonucléases dans les feuilles du radis. **Messaoud *et al.*, (2019)** Ceci pourrait être attribuer d'une part, au stress oxydatif qui provoque l'inhibition de l'acide amino lévulinique déshydratase (ALAD), une enzyme importante dans la biosynthèse de la chlorophylle, et d'autre part, le plomb peut agir directement sur le transport des électrons et des enzymes du cycle de Calvin et indirectement induit une diminution de la teneur en chlorophylle). Une légère diminution de la teneur en chlorophylle (1,6 CCI) a été observée chez les plantes traitées par l'interaction entre bactéries et une diminution non significative de la teneur en chlorophylle a été observée dans tous les traitements par les bactéries sol/racines sous la présence et l'absence de l'effet du Cd par rapport au témoin (3,1 CCI). La réduction de la teneur en chlorophylle induite par le cadmium, s'ajoute une inhibition directe de l'activité des photosystèmes et de l'assimilation du CO₂ par la Rubisco (**Aoun, 2008**) de nombreux autres métaux lourds, tels que le Cd entraîne un empêchement des enzymes, comme le rubisco, la chlorophylle synthase, la protochlorophyllide réductase et la déshydratase de l'acide δ -aminolévulinique impliqués dans la synthèse de la chlorophylle, l'amélioration des pigments photosynthétiques pourrait se produire en présence des PGPR qui augmentent l'absorption des nutriments dans les plantes à travers la solubilisation au phosphate et les substances essentielles exsudantes, qui jouent un rôle crucial dans la synthèse des pigments photosynthétiques requis pour la complexe de la récolte légère et son photo assimilation (**Kanika *et al.*, 2019**).

Au niveau de la teneur en protéines solubles, les résultats ont montré que la teneur en protéines foliaires des plantes inoculées avec les bactéries du sol n'augmentait pas significativement jusqu'à (11 mg/g MF), alors que les plantes traitées avec l'interaction bactéries du sol et bactéries racinaires atteignaient à (9,175 mg/g MF) D'autre part, une

diminution très significative a été observée chez les plantes inoculées avec des bactéries racinaires (2,15 mg/g MF) sous l'influence du plomb par rapport au témoin (7,58 mg/g MF). La teneur en protéines des racines témoins était de 1,1 mg/g MF, ce qui n'était pas significativement augmenté pour les plantes traitées avec des bactéries racinaires seules et avec des bactéries sur le sol (1,95 mg/g MF) (3,09 mg/g MF). Le premier effet des métaux lourds observable dans les plantes est d'inhiber grandir. Cela s'accompagne souvent de nombreux autres signes de dysfonctionnement : Chlorose foliaire, lésions nécrotiques étendues, jaunissement progressif, plissement ou dessèchement des feuilles. Actuellement, la base moléculaire de ces perturbations est encore méconnue, mais on pense que ces perturbations peuvent être causées par le stress oxydatif, dû à Des espèces réactives de l'oxygène ou "espèces réactives de l'oxygène" (ROS) sont produites. Les ROS modifient une série de substrats biologiques importants, conduisant à la modification de domaines fonctionnels de biomolécules : inhibition de l'activité enzymatique, perturbation du métabolisme des plantes (dont la photosynthèse et la respiration), oxydation des protéines (**Esteban, 2009**). Selon ces résultats la teneur en protéines des feuilles de plantes traitées uniquement avec des bactéries du sol, a été significativement augmentée atteint à (11,15 mg/g MF). Une augmentation très significative de cette teneur a été observée dans les feuilles des plantes traitées au cadmium et aux rhizobactéries, et dans les feuilles des plantes traitées aux rhizobactéries et au sol atteint une interaction. (11,63 mg/g MF) (11,65 mg/g MF) par rapport au témoin, respectivement. Selon (**Jennifer et al., 2018**) après l'inoculation de PGPR, les ajustements physiologiques mentionnés ci-dessus, étaient accompagnés d'une augmentation de la teneur en protéines solubles végétales, qui reflète généralement un bon état physiologique végétal. Dans les pousses, ce fait pourrait être lié à l'amélioration des paramètres photosynthétiques observés dans nos recherches précédentes, étant donné l'importance probable de certaines quantités de protéines, telles que Rubisco, dans la détermination de la capacité de la pulsionynique.

Conclusion

Cette étude a été réalisée dans le but d'identifier une symbiose *Cicer arietinum L*-bactéries bénéfiques isolée de la rhizosphère de *Peganum harmala*, pour l'objectif de la bio-remédiation du sol contaminé par le plomb et le cadmium pour l'amélioration de la fertilité et de la qualité de ces sols. En effet, la gesse commune (*Cicer arietinum L*) est une légumineuse qui a été choisie dans notre étude en raison de ses intérêts nutritifs et économiques. Les graines de *Cicer arietinum L* mettent en culture dans des sols contaminés par les ETM (Pb/Cd) inoculées par des souches bactériennes isolées du sol et des racines de *Peganum harmala*. Cette culture a été réalisé sous serre, et au niveau de laboratoire, elle montre l'effet bénéfique de ses souches sur les ramifications des tiges et des racines et la croissance de la partie aérienne et la partie racinaire des plantules de pois chiches et ce même sous stress oxydant. D'un autre part, l'effet stimulateur de la croissance agit sur la biomasse végétale, la surface foliaire et la teneur totale des protéines et du sucre.

Cette étude préliminaire a montré clairement la capacité des bactéries à favoriser la croissance de la plante de *Cicer arietinum L*. Comme perspective, on propose :

- Mettre en évidence des substances favorisant la croissance des plantes.
- Poursuivre la protection de la plante de la toxicité des ETM par les dégradations et l'élimination de ses substrats depuis le sol.
- Assurer les conditions d'hygiène nécessaires à la croissance et au développement de la plante par certains processus comme (phytonutriments : phosphate, azote, potassium...), l'amélioration de la nutrition des plantes et aussi la régulation par les phytohormones.

Cela nous mène à penser que ces différents modes d'action peuvent conduire à un meilleur développement des plantes et des meilleurs rendements.

Références bibliographiques

A

Abdelguerfi-Laouar M, Bouzid L, Zine F, Hamdi N, Bouzid H, Zidouni F. (2002).Evaluation de quelques cultivars locaux de pois chiche dans la région de Bejaia. *Recherche Agronomique (INRA)* 9: 31-42.

Abdelly Chedly. (2007). Bioremédiation / Phytoremédiation. Université de Tunis. Institut supérieur de l'éducation et de la formation continue.05 p.

Ahmari Nada, Mesrane Ines, Zaimi Oumnia. (2021). L'effet PGPR chez les rhizobiums nodulant les légumineuses ainsi que chez les non rhizobiums.

Allumend C.J., Murchex Fleurit A. (2005). Les composés phénologiques des Végétaux: Un exemple de métabolite secondaire. Ed. PPVR Presses Polytechnique, 191p.

Alain Ruellan. (2010). Des sols et des hommes .chapitre1. Le sol : un milieu original IRD édition.

Aoun Michel. (2009). Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne [Brassica juncea (L.) Czern] néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines. Hal open science.

C

Cherif Hafsa .(2014). Amélioration de la croissance du blé dur en milieu salin par inoculation avec Bacillus sp. et Pantoea agglomerans isolées de sols arides. Université Ferhat Abbas Sétif.

B

Baize D. (2009). Éléments en traces dans les sols : fonds géochimiques; fonds pédo-Géochimiques et teneurs agricoles habituelles. Définitions et utilités. *Courr. Environ. INRA*, 57, 63-72.

Baize D. (1994). Teneurs totales en métaux lourds dans les sols français premiers. *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°39, février 2000. Résultats du programme ASPITET. *Courr. Environ. INRA*, 22, 37-46.

Babich, H.and Stotzky, G. (1980). Environmental factors that influence the toxicity of heavy metals and gaseous pollutants to microorganisms, *Crit. Rev. Microbiol.* 8, 99-145.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Belarbi amira. (2018). Etude physiologique et phytochimique de la tolérance aux métaux lourds "Pb, Cr(III) et Cr(VI)" par *l'Atriplex halimus L.* UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM.

Bendjida Habiba, Aouadi Salma. (2019). Effet promoteur des bactéries PGPR sur la croissance de la fève (*vicia faba L.*). Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued.

Boopathy.R. (2000). International Biodeterioration and Biodegradation, 46, 29-36

Bryan Vicent. (2018). Contribution de la symbiose fixatrice d'azote dans l'adaptation d'une légumineuse à des sols contrastés : le modèle *Acacia spirorbis* et les contraintes édaphiques extrêmes rencontrées en Nouvelle-Calédonie. Ecole Doctorale GAÏA.

D

Didier Remond, Stéphane Walrand. (2018). Les graines de légumineuses: caractéristiques Nutritionnelles et effets sur la santé. Innovations Agronomiques 60, 133-144.

Doree A. (2000). Flore pastorale de montagne ; les graminées et d'autre plante fourragères clé de détermination au stade végétative description et qualitésfourragères. Ed. Quae, Paris. 227p.

Djebabli Rabab, Mecheri Raoula.(2021). Isolement et caracterisation des bacteries endophytes et associées a la Rhizosphere d'elgtaf *Atriplex Halimus*. Université de Larbi Tébessi –Tébessa- 23p.

E

Estiban Remon(2009). Tolérance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée des friches métallurgiques : vers de nouvelles méthodes de bio-dépollutio.

F

Fanny, VANOBERGHEM. (2010). a phytoremédiation en Wallonie Evaluation du potentiel d'assainissement des sols. Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire. Université Libre de Bruxelles. 05p.

FAO. (2021). Les avantages nutritionnels des légumineuses. I5384FR/2/02.21.

Fernand Watman. (1967). fleurs du bassin méditerranéen. Paris VI édition.

H

H. Schulte-Bisping. (2017). Soil, Definition, Function, and Utilization of Soil.Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. DOI: 10.1002/14356007.b07_613.pub2

Hannah Shayler, Murray McBride, Ellen Harrison. (2009). Sources and Impacts of Contaminants in Soils. Cornell Waste Management Institute.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Huyghe C. (2005). Un point sur la flore des prairies et culture fourragères en France Entre logique de production et enjeux territoriaux. Ed. Quae, Paris. 202p.

I

Imami Loubna, Touriat Aïcha. (2016). Contribution a l'étude phytochimique (les polyphénols) de deux espèces *pimpinella anisum L et peganum harmala L*. Université des Frères Mentouri Constantine1, 08p, 06p.

J

Jennifer Mesa-Marín¹ *, Néstor Fernández Del-Saz , Ignacio D. Rodríguez-Llorente , Susana Redondo-Gómez¹ , Eloísa Pajuelo , Miquel Ribas-Carbó and Enrique Mateos-Naranjo.(2018). PGPR Reduce Root Respiration and Oxidative Stress Enhancing *Spartina maritima* Root Growth and Heavy Metal Rhizoaccumulation. vol09. article 1500.

Jean-Noël Salomon. (2003). Danger pollutions. Presses Universitaires de Bordeaux, 11-12p.

K

Kanika Khanna, Vijay Lakshmi Jamwal, Sumit G. Gandhi, Puja Ohri et Renu Bhardwaj. (2019). Metal resistant PGPR lowered Cd uptake and expression of metal transporter genes with improved growth and photosynthetic pigments in *Lycopersicon esculentum* under metal toxicity. Scientific reports.

Kias Nassima, Ouadi Chahrazed. (2017). Effet PGPR de quelques Streptomyces. Impact sur les caractères morpho-biochimiques de la tomate *Lycopersicon esculentum*. Université des Frères Mentouri Constantine.

KRIKA Abderrezak . (2016). Etude de la distribution des métaux lourds dans les ripisylves de l'oued Rhumel. Université Constantine 1.

M

MAHIOUT Djamel. (2017). Contribution à la caractérisation de *Ascochyta rabiei* (Pass.) Labr., agent causal de l'antracnose du pois chiche (*Cicer arietinum L.*) et étude de son interaction avec *Medicago truncatula Gaertn.* Université Abd El Hamid Ibn Badis de Mostaganem, 11p.

Marianne Brien, P.Eng., Christian Gosselin, P.Eng., M.Eng., Golder Associés Ltée. (2019). La bioaugmentation. Gouvernement du Canada.

MEDOUKALI Imane. (2016). Les genres *Medicago L.* et *Trifolium L.* en Algérie : Diversité morphologique, biochimique et moléculaire. Université des Frères MENTOURI Constantine .11p.

MELAKHESSOU ZOHRA. (2020). Etude de l'effet des mauvaises herbes sur les caractéristiques morphologiques, agronomiques, et leurs

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Pouvoirs allélopathiques sur blé dur (*Triticum durum* Desf.). Université Mohamed Khider – Biskra-. 04p.

Meghna Thakir, Igor L. Medintz, Scott A. Walper. (2019). Enzymatic Bioremediation of Organophosphate Compounds—Progress and Remaining Challenges.

MESNOUA Mohammed. (2016). Stress abiotiques sur Atriplex halimus L : Effet des métaux lourds et caractérisation. Université Abdelhamid Ben Badis-Mostaganem. 01p.

Misra R.V., R.N Roy, H.Hiraoka. (2005). Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE Rome.

M. L. B. da Silva. P. J. J. Alvarez. (2010). La bioaugmentation. Department of Civil and Environmental Engineering, Rice University, Houston, TX, USA. DOI:10.1007/978-3-540-77587-4_356.

M.Moustaine, R, Elkahkahi, A. Benbouzza, R. Benkirane and E. H. Achbani. (2019). BENEFICIAL EFFECTS OF PLANT GROWTH PROMOTING RHIZOBACTERIA (PGPR) IN IMPROVING THE GROWTH OF SALT- GROWN SOFT WHEAT IN MOROCCO.

N

Najla El Aafi. (2016). Potentialités de bioremédiation par l'utilisation des associations rhizobactéries métallo-résistantes / légumineuses : vers une nouvelle approche de rhizoremédiation des sols contaminés par les métaux. Université Mohamed 5, Faculté des sciences, rabat.

Nouri Mohamed, Haddioui Abdelmajid. (2016). Les techniques de dépollution des sols contaminés par les métaux lourds: une revue. Maghrebien journal of pure and applied science Sci., 2 N° 2 47-58

O

Olaréwadjou amogou. (2018). Impact de l'utilisation des Rhizobactéries Promotrices de la Croissance des Plantes (PGPR) en combinaison avec le chitosane sur la croissance et le rendement du maïs (*Zea mays* L.).ResearchGate.

P

Pathan Aslam R1*, Vадnere Gautam P1, Singhai Abhay K2, Kulkarni Bharti U1.(2012) Peganum harmala: A Phyto-pharmacological Review. 01

R

Ranalli paolo , Peter H. Graham. (1997). Chickpea (*Cicer arietinum* L.). Field Crops Research, vol. 53: 161-170

Robert. Shields, William. Burnett.(1960). Determiration of Protein-Bound Carbohydrate in Serum by Modified Anthrone Method.

Romdhane Marwa.(2011). Immobilisation des bactéries isolées à partir des zones minières sur des supports polymériques pour la bioremédiation. Université de la Manouba. 02 p.

S

Schneider, A., & Huyghe, C. (2015). Les légumineuses pour des systèmes agricoles et Alimentaires durables. Éditions Quae, 512p.

Sbiki Majda. (2016). Contribution à l'étude du régime alimentaire et de la biologie de reproduction de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*, Aves, Ciconiidae) et du Héron garde - bœufs (*Ardea ibis*, Aves, Ardeidae) dans la région de Tébessa. Université Batna 2, 27p, 28p.

Souahi H, Gharbi A, Gassarellil Z (2017). Growth and physiological responses of cereals species under lead stress. International Journal of Biosciences 11(1): 266-273.

Souahi H, Gassarellil Z, Gharbi A, Meksem Amara L (2021). Comparative growth of cereal species under lead stress. In: Ksibi M. et al. (eds) Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions (2nd Edition). EMCEI 2019. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham.

Souahi H, Chebout A, Akrouit K, Massaoud N, Gacem R (2021). Physiological responses to lead exposure in wheat, barley and oat. Environmental challenge 4: 100079.

Souahi H (2021). Impact of lead on the amount of chlorophyll and carotenoids in the leaves of *Triticum durum* and *T. aestivum*, *Hordeum vulgare* and *Avena sativa*. Biosystems Diversity 29(3): 207-210.

Sophie Fabrégat.(2010). Les métaux lourds : une pollution de long terme. Actue envirenement.

T

Tahirou Tangara, Adama Coulibaly, Seydou Sidibe, John S. Caldwell. (2012). Technique de compostage. INSTITUT D'ECONOMIE RURALE. 01p.

Terry C. Hazen. (2009). Biostimulation. Lawrence Berkeley national laboratory. Berkeley, California USA.01p.

Tivoli, B., Jeuffroy, M. H., & Duc, G. (2011). Les légumineuses protéagineuses pour

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Améliorer les bilans environnementaux en grandes cultures: principaux travaux de l'INRA qui ont accompagné la naissance de la filière et les perspectives. *Innovations Agronomiques*, 12,157-180.

V

Vander W. (1990). The origin of chickpea (*Cicer arietinum L.*): karyotype and nuclear DNA amount. *Heredity* 66 367-372.

Vincent Rocher, Catherine Paffoni, Alexandre Gonçalves, Sam Azimi et Michel

Gousailles. (2008). La biofiltration des eaux résiduaires urbaines : retour d'expérience du SIAAP. *Revue des sciences de l'eau*, vol 21 (4) 475- 485.

Y

Yves le corfec. (2011). *Sites et sols pollués : Gestion des passifs environnementaux* .Dunod.