



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministre de l'Enseignement Supérieur et  
de la Recherche Scientifique  
Université Ziane Achour-Djelfa  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Agronomiques et Vétérinaires  
**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE**  
En vue de l'obtention du diplôme de Master  
Filière : Sciences Alimentaires  
Spécialité : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité  
**Sous le thème :**

# **Contribution à l'amélioration de la Tolérance au Cr(VI) de l'orge cultivé dans un sol contaminé**

**Présentée par :**

- ✓ Elouka Siham
- ✓ Mebsout Oum El Khir

**Soutenu devant le jury composé de :**

M. Hachi Mohamed	MCA – Université de Djelfa	Encadrant
M. Ben Amara Nail Elmebrouk	Doctorant – Université de Djelfa	Co-Encadrant
M. Chieb Tayab	MCB – Université de Djelfa	Président
Mm. Brahimi Saliha	MAA – Université de Djelfa	Examinatrice

**Année Universitaire :2022/2023**

# Remerciement

Loué soit Dieu qui nous a aidés et guidés vers cela et qui a complété nos pas avec patience, constance et une foi totale en accomplissant ce travail de la meilleure façon. Mais après les paroles aimables : Ô toi qui as eu le premier dans la poursuite de la connaissance et son enseignement, ceux qui ont déployé vos efforts auprès de nous et n'attendaient de nous que du succès, nous vous dédions les plus hautes expressions de gratitude, d'appréciation et de gratitude et nous sommes tous fiers de ce que vous nous avez donné. Dr Hashi Muhamed, qui a approfondi ses connaissances et nous a donné de son temps précieux, il a fait en sorte de rester avec nous par sa présence constante malgré ses nombreux engagements et son raisonnement avec ses précieux conseils, ainsi que M. Nayel, qui à son tour nous a soutenus et suivi nos pas. Avec leur grâce après Dieu, nous avons terminé ce travail et avons tenu à le présenter d'une manière décente. Nous adressons également nos remerciements, avec beaucoup de respect et d'appréciation, aux membres de jury, qui leur ont donné leur temps précieux pour examiner nos recherches scientifiques expérimentales et nous faire profiter de leur expérience.



# Dédicaces

*Louange à Dieu, cela suffit, et les prières soient sur l'Élu Bien-Aimé, sur sa famille et sur ceux qui lui sont fidèles. Quant à ce qui suit :*

*Louange à Dieu, qui m'a permis de valoriser ce moment et de conclure mon parcours universitaire, ce qui était évident dans ce mémoire de fin d'études, beaucoup d'efforts, de succès et de lutte pendant de nombreuses années. Et comme tout succès a des piliers et des fondations, avec la grâce de Dieu, je le dédie à mon père... mon père vertueux, Elouka Omar, dont je porte le nom avec une grande fierté, et ma mère, Elouka Fatihah, ma couronne et mon joyau caché... mon paradis sur terre et mon ciel... et comment pourrait-il ne pas l'être, alors qu'il était et c'est toujours le plus grand cadeau que Dieu m'a fait... ainsi qu'à mes frères et sœurs, qui ont eu une grande influence sur moi en surmontant beaucoup de... Obstacles et difficultés... vous avez été ma force et ma motivation. .. tu étais mon modèle et mon meilleur soutien... mes frères 9... et je n'oublierai jamais les bourgeons de mon cœur et les enfants de mes sœurs et de mon frère 5. Puisses-tu toujours être à moi... aussi longtemps comme je vis... et à ma partenaire de travail, Umm Al-Khair. Nous avons partagé les épreuves et les avons surmontées ensemble... et mes paroles ne s'arrêteront pas. Sauf pour mentionner celle qui s'est distinguée par sa fraternité, en donnant, et fidélité... sa compagne, Amal Bahri*

ELOUKASIHAM



# Dédicaces

*Je dédie ma graduation sous ses pieds, le paradis, puisque j'ai réussi, et Dieu soit loué, je lèverai ma plume et dédierai ces mots exprimant mon amour et ma gratitude à ma chère mère et mon père, grâce à eux et à leur aide dans la réalisation réussite et excellence Dans la réussite, étudiez bien, optimisme et patience. Et debout à côté de moi financièrement et moralement, et mes remerciements pour mon soutien dans la vie, mes frères et mon partenaire dans ce travail, que je considère comme le meilleur partenaire, et je n'oublierai pas tous ceux qui m'ont enseigné une lettre de gratitude*



## Sommaire :

<i>Remerciement</i> .....	2
<i>Dédicaces</i> .....	3
<i>Dédicaces</i> .....	4
<b>Introduction Générale :</b> .....	1
<b>Chapitre I :Synthèse Bibliographique</b> .....	2
<b>Introduction</b> .....	3
<b>Généralité de chrome :</b> .....	3
<b>1 – 2Le Chrome (VI) :</b> .....	3
<b>1 – 2 – 1 Sources de contamination par le Chrome (VI) :</b> .....	3
<b>Effets biologiques de Chrome :</b> .....	3
<b>Effet du chrome sur l’homme :</b> .....	4
<b>1 – 2 – 2 Problématique de traitement :</b> .....	4
<b>1 – 3 Dynamique du chrome dans le sol :</b> .....	4
<b>1 – 3 – 1 Oxydation du chrome trivalent :</b> .....	4
<b>1 – 3 – 2 Réduction du chrome hexavalent :</b> .....	4
<b>1 – 4 Propriétés physiques et chimiques du Chrome :</b> .....	5
<b>2 – 1 Définition de Phytoremédiation :</b> .....	5
<b>2 – 2 Principes de la Phytoremédiation :</b> .....	6
<b>2 – 3 les différentes techniques de la phytoremédiation :</b> .....	6
<b>2 – 4 Avantages et limite de la phytoremédiation :</b> .....	9
<b>3– 1 L’orge commune (<i>Hordeum vulgare</i>) :</b> .....	10
<b>3 – 2 Classification de l’orge :</b> .....	10
<b>3 – 3 Croissance et développement :</b> .....	11
<b>3 – 4 Caractère morphologique :</b> .....	11
<b>3 – 5 Biologie et physiologie de l’orge :</b> .....	12
<b>CHAPITRE II: MATERIEL ET Méthodes</b> .....	14
<b>Introduction :</b> .....	15
<b>1/Matériel Utilisé :</b> .....	15

1,1-Verreries: .....	15
1,2-Appareillage:.....	15
1.3-Produits: .....	15
1.4-Autres: .....	16
2/Méthodes:.....	16
2,1/Préparation Des Echantillons Du Sol : .....	16
2.3/Prélevement Est Séchage : .....	18
2.4 /Préparation des solutions réactives : .....	18
2.5/Extraction du chrome à partir du sol : .....	20
2.6/Extraction du chrome à partir de la plantes :.....	20
2.7/Dosage du chrome hexavalent:.....	21
2.8 /Dosage du chrome hexavalent dans les échantillons de et de plantes :.....	21
3/ Les facteurs caractérisant le phénomène de phytoremédiation : .....	22
3.1/Facteur de translocation : .....	22
3.2/Facteur d'enrichissement :.....	22
3.3/Le facteur de bioaccumulation :.....	23
4/Etude statistique :.....	23
<b>CHAPITRE III : .....</b>	<b>26</b>
<b>RESULTATS ET DISCUSSIONS.....</b>	<b>26</b>
Introduction :.....	27
2/La morphologie de l'orge avant et après contact avec le chrome hexavalent : .....	27
3/Chrome hexavalent dans le sol : .....	27
4/Chrome hexavalent dans les racines :.....	29
5/Chrome hexavalent dans les feuilles:.....	32
6/Facteurs de caractérisation du phénomène de phytoremédiation :.....	34
6.1/Les facteurs en fonction du type de microorganismes :.....	34
6.2/Les facteurs en fonction du tempes de culture : .....	35
Conclusion générale.....	36

## **Liste des figures :**

<b>Figure 1 :</b> Différentes techniques de phytoremédiation .....	6
<b>Figure 2 :</b> Représentation schématique du processus de Phytoextraction des ETM.....	7
<b>Figure 3:</b> Processus de la phytostabilisation des contaminants au niveau du sol.....	7
<b>Figure 4 :</b> Architecture d'une plantule d'orge au stade juvénile et au stade adulte .....	11
<b>Figure 5 :</b> Préparation des échantillons du sol avant homogénéisation.....	17
<b>Figure 6 :</b> Inoculation des actinobactérie dans l'orge nu.....	17
<b>Figure 7 :</b> Séparation des feuilles et des racines. ....	18
<b>Figure 8 :</b> Extraction du chrome hexavalent à partir des échantillons de sol. ....	20
<b>Figure 9:</b> Calcination les racines et feuilles dans un four à 550°C.....	21
<b>Figure 10 :</b> Dosage du Cr(VI) par spectrophotométrie UV-Visible.....	22
<b>Figure 11 :</b> Morphologie de la plante avant (a) et après 28 jours de contact avec le chrome hexavalent (b).....	27
<b>Figure 12:</b> Taux du Cr(VI) dans le sol en fonction du volume de chrome ajouté. ....	28
<b>Figure 13:</b> Taux du Cr(VI) dans le sol en fonction du type de micro-organisme. ....	29
<b>Figure 14:</b> Taux du Cr(VI) dans les racines en fonction du volume de chrome ajouté. ....	30
<b>Figure 15 :</b> Taux du Cr(VI) dans les racines en fonction du type de micro-organisme. ....	31
<b>Figure 16 :</b> Taux du Cr(VI) dans les racines en fonction du temps de culture.....	31
<b>Figure 17:</b> Taux du Cr(VI) dans les feuilles en fonction du type de micro-organisme.....	32
<b>Figure 18 :</b> Taux du Cr (VI) dans les feuilles en fonction du temps de culture.....	33
<b>Figure 19:</b> les facteurs (FT, FE, FB) en fonction du type de microorganisme .....	35
<b>Figure 20:</b> les facteurs (FT, FE, FB) en fonction du temps de culture.....	36

## **Liste des abréviations :**

Cr : Chrome.

Cr (III) : Chrome trivalent.

Cr (VI) : Chrome hexavalent.

Cr<sup>2+</sup>: Chrome bivalent.

Cr<sup>3+</sup>: Chrome trivalent.

Cr<sup>6+</sup>: Chrome hexavalent.

As : Arsenic

Fe : Fer.

Zn: Zinc.

Ca : Calcium

Mn : Manganèse

Se : Sélénium

ETM: Éléments de Traces Métalliques.

MO: Matière Organique.

µm : Micromètre.

mg/L: Milligramme par litre.

°C: Degré celsius

g: Gramme

M : Masse molaire

mg: Milligramme

min: Minute

ml: Millilitre

FT : Facteur de translocation

FE : Facteur d'enrichissement

FB : Facteur de bioaccumulation



## **Liste de tableaux :**

<b>Tableau 1</b> : Quelques propriétés physico-chimiques de Chrome. ....	5
<b>Tableau 2</b> : Classification de l'orge.....	10
<b>Tableau 3</b> : Etablissement de la courbe d'étalonnage.....	20
<b>Tableau 4</b> : Facteurs statistique qui caractérisent le système de phytoremédiation du Cr(VI) par l'orge nu . ....	33
<b>Tableau 5</b> : Les facteurs statistiques pour la phytoremédiation du Cr(VI) sur l'orge nu.....	36

# **Introduction Générale**



## Introduction Générale :

En principe, un sol contaminé est un sol qui contient des substances inhérentes à l'activité humaine. L'apport de ces substances peut se faire directement ou indirectement et il se peut que les sols soient contaminés depuis très longtemps ou que la contamination soit en train de se produire. Il s'agit d'un problème grave dès lors qu'il existe une possibilité que des êtres humains soient exposés aux contaminants du sol. Il est difficile de décontaminer les sols et le coût de la décontamination est souvent très élevé, il existe différentes sources de contamination, mais les activités industrielles du passé sont probablement les principales sources de contamination. Ces activités ont gravement contaminé les sols, principalement avec des métaux, du goudron et d'autres substances connexes [1]. Aussi, leur origine historique signifie qu'elles existent depuis l'Antiquité, liée aux déchets lourds.

Le chrome est classé parmi les ETM les plus dangereux pour la santé humaine. C'est l'un des ions métalliques de forme cristalline hexagonale, et il se classe au dixième rang des éléments les plus abondants de la croûte terrestre. Ce dernier est utilisé dans de nombreuses industries telles que le tannage du cuir et le revêtement métallique...etc. Cet élément est caractérisé par plusieurs états d'oxydation qui se varient entre -2 et + 6, ce dernier est le plus stable dans la plupart des environnements de surface, contrairement au chrome trivalent qui est moins disponible [2].

Afin de lutter contre ces problèmes environnementaux, des technologies scientifiques modernes ont connu un développement significatif afin de les réduire, parmi ces méthodes, nous trouvons les méthodes chimiques, physiques et biologique [2]. La recherche a développée afin d'obtenir une technologie à la fois efficace et respectueuse de l'environnement pour éliminer les polluants organiques et inorganiques. L'élimination biologique a attiré une attention particulière, grâce à sa versatilité, biocompatibilité et son coût réduit [3]. La phytoremédiation est une technique biologique de traitement des sols contaminés utilisant des plantes et des microorganismes qui leur sont associées [4]. Nous nous sommes appuyés sur cette technologie en utilisant l'orge, qui est considérée comme l'un des grains les plus anciens, qui s'est développée après avoir domestiqué les céréales et le fourrage, en plus d'être d'une grande importance en raison de sa moyenne au cinquième rang parmi toutes les cultures en termes de matériaux de séchage dans le monde aujourd'hui, 192 millions de tonnes (2002-2005), après le maïs, le blé et le Soya [5]. Pour améliorer cette technique et obtenir des résultats plus efficacement, nous avons inoculer deux types de actinobactérie.

# **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

## Introduction

Parmi les contaminants chimiques les plus dangereux figurent les ETM, et particulièrement le chrome. La pollution provient de nombreux endroits différents. En conséquence, la majorité des minéraux découverts dans le sol urbain proviennent des activités industrielles, notamment les mines, les industries galvanométriques, les tanneries qui utilisent le chrome pour le traitement du cuir [6].

### 1. Généralité sur le chrome :

#### 1 – 1 Le Chrome métallique :

L'un des ETM liés aux notions de pollution et de toxicité est le chrome.

En 1797, Louis Nicolas Vauquelin fait la découverte du chrome à partir du « plomb rouge de Sibérie », une forme naturelle de chromate de plomb aujourd'hui connue sous le nom de crocoïte. Avec l'avènement des pigments en France, en Allemagne et en Angleterre vers l'an 1800, ses premières applications ont émergé [7].

Les composés de chrome ont été employés tout au long des 25 années qui ont suivi pour tanner le cuir et teindre les textiles. La consommation a augmenté depuis [8].

#### 1 – 2 Le Chrome hexavalent :

Dans le milieu naturel, le Cr(VI) est fortement mobile dû à sa hydrosolubilité élevée, il est essentiellement sous la forme:  $\text{CrO}_4^{2-}$  et  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ . Du fait de sa forme anionique, Cr(VI) a alors une faible affinité pour les charges négatives des colloïdes du sol. L'adsorption de Cr(VI) dépend du pH. Aux pH compris entre 2 et 7, les hydroxydes de Fe et de Al présentent une affinité potentielle pour Cr(VI). La réduction de Cr(VI) en Cr(III) est possible en présence de matière organique, de Fe(II) et de sulfites [9].

#### 1 – 2 – 1 Sources de contamination par le chrome (VI) :

Le chrome est un élément que l'on retrouve principalement à l'état trivalent ou hexavalent dans l'environnement. Chacune de ces formes possède des caractéristiques uniques, telles que la solubilité, la toxicité, etc. Son utilisation répandue dans de nombreux processus industriels, y compris la métallurgie, la pharmacie, la fabrication d'aciers inoxydables et réfractaires, les pigments, la préservation du bois et le tannage du cuir [10].

Avec une production annuelle de 10 millions de tonnes, le chrome est l'un des métaux les plus utilisés au monde. Elle se classe au quatrième rang en termes de tonnage. On prévoyait en 1994 que plus de 5 000 tonnes de déchets sous diverses formes contenant du chrome étaient éliminés chaque année au Canada. 830 tonnes de chrome étaient présentes dans les cendres produites par les incinérateurs en 1988, partiellement rejetées dans le sol [11].

#### ➤ Effets biologiques du chrome :

Les quantités d'oligo-éléments nécessaires au fonctionnement des êtres vivants et celles qui perturbent leur fonctionnement sont de nature délicatement équilibrée. Pour se développer, tous les êtres vivants ont besoin d'une quantité minimale particulière de certains éléments (Fe, Zn, Ca, Co, Mn, Cr). Lorsqu'ils sont présents en excès, ces mêmes métaux provoquent une toxicité principalement par inhibition catalytique ou dénaturation. Ils agissent comme cofacteurs dans les enzymes ou comme composants actifs dans les réactions biochimiques (redox, hydrolyse, condensation, etc.) pour influencer les processus

métaboliques à tous les niveaux, les composés de chrome trivalent sont moins capables de passer à travers les tissus vivants [12].

### ➤ Effet du chrome sur l'homme :

Les chercheurs se sont penchés sur la cancérogénicité des composés de chrome dans une variété de groupes exposés à l'extérieur ou au travail. L'exposition au chrome et les tumeurs malignes du système respiratoire et des reins ont toujours été liées, selon les recherches. En plus d'être cancérogène, le chrome irrite également la peau, les yeux et provoque des ulcères et des diarrhées sévères, la dégénérescence cellulaire, les maladies physiques et mentales, l'anémie, les problèmes dermatologiques et la fertilité sont des exemples de contaminations chroniques produites chez l'homme [13].

### ➤ Effet du Chrome sur le sol et les végétaux

Le chrome hexavalent est principalement à blâmer pour les effets qu'il a sur les micro-organismes du sol, y compris les changements dans l'abondance des espèces, la transformation altérée de l'azote et l'activité enzymatique altérée. Selon des études, le chrome hexavalent est plus dangereux pour les plantes que le chrome trivalent. Cependant, les espèces végétales sensibles peuvent connaître une inhibition de la croissance lorsqu'il y a une teneur en chrome trivalent dans le sol d'au moins 150 microgrammes par plage de poids sec [14].

## 1 – 2 – 2 Problématique de traitement

Pour l'optimisation d'un traitement efficace et économique, certains facteurs doivent être contrôlés, dont la présence de matière organique, d'oxydes métalliques, le potentiel redox et le pH, pourraient affecter la spéciation du Cr. Le chrome ne peut pas être détruit à la valence VI, il doit être abaissé pour transiter vers la valence III. Le moyen le plus simple de traiter le chrome des effluents industriels est d'abaisser le pH à environ 2 à 3 pour la réduction acide du chrome (VI), puis remonter le pH pour précipiter le chrome (III) sous forme de  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ . Cependant, ce procédé n'élimine pas complètement le chrome [15].

## 1 – 3 Dynamique du chrome dans le sol :

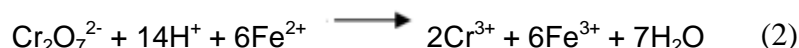
### 1 – 3 – 1 Oxydation du chrome trivalent :

L'oxydation du Cr(III) par l'oxygène dissous est très lente et n'est pas considérée comme pertinente. La seule espèce suffisamment puissante pour convertir le Cr(III) en Cr(VI) est l'oxyde de manganèse ( $\text{MnO}_2$ ). L'oxydation apparaît d'autant plus efficacement que l'oxyde de Mn(IV) s'enrichit, et la capacité de cohésion dépend de la surface spécifique de l'oxyde. Ces facteurs affectent tous le processus. Le pH de la suspension affecte également la réaction. Il diminue avec l'augmentation du pH et culmine à  $\text{pH} = 5$ . La concentration de Cr(III) disponible est un paramètre crucial, comme attendu. En présence de Birnessite, la chromite s'oxyde pour former du Cr(VI) selon la réaction dans l'équation 1 [16].



### 1 – 3 – 2 Réduction du chrome hexavalent :

Le Cr (VI) peut être réduit en présence de nombreux composants du sol : matière organique, y compris l'acide fulvique, les sulfures et les minéraux contenant du Fe(II), ainsi que par l'activité bactérienne [17] (équation 2).



### 1 – 4 Propriétés physiques et chimiques du Chrome :

Le Chrome appartient aux éléments de transition de la première série (groupe VI B). Sa configuration électronique est  $[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$  et, comme tous les éléments de transition, il existe sous plusieurs états d'oxydation depuis Cr(0), la forme métallique, jusqu'à Cr(VI). Cependant Cr(I), Cr(II), Cr(IV) et Cr(V) ne se situent pas à des valences stables et sont donc rencontrés très rarement dans l'environnement [18].

Le Chrome est extrêmement résistant à la corrosion. Il est soluble dans les acides minéraux non oxydants, mais insoluble à froid dans l'eau ou  $\text{HNO}_3$  [19].

Symbole chimique		Cr
Aspect		Métal blanc, brillant, dur et cassant
Masse molaire		51.996 g/mol
Numéro atomique		23
Point de fusion		1875 °C
Point d'ébullition		2672°C
Densité (20 °C)		7,2
Isotopes stables	50	04,31%
	52	83,76%
	53	09,55%
	54	02.38%
Minerais d'origine		Le Chromite : minérale de Fer et de Chrome

**Tableau 1 : Quelques propriétés physico-chimiques du Chrome. [20]**

### 3–3 –1 Méthodes de traitement des sols contaminés par le chrome :

#### 2Phytoremédiation

#### 2 – 1 Définition de Phytoremédiation :

La phytoremédiation est une technologie de dépollution qui semble efficace pour un large spectre de polluants organiques et inorganiques. Elle peut être utilisée sur des substrats solides, liquides ou gazeux. La phytoremédiation est une option qui est largement étudiée au cours de ces dernières années pour remédier ce type de contamination dans des lieux étendus où l'excavation est impossible au vu des volumes considérés [21].



La phytoremédiation est une technique à faible coût comparablement aux techniques conventionnelles. Elle permet de plus de conserver le potentiel écologique du site et possède une très bonne efficacité. Son principal défaut est sa vitesse lente d'élimination de pollution, qui peut s'étendre aux dizaines d'années [22].

## 2 – 2 Principes de la Phytoremédiation :

Cette méthode consiste à utiliser des plantes et des microorganismes qui leur sont associées. La phytoremédiation est subdivisée suivant le mécanisme de remédiation appliqué auprès des polluants : on retrouve la phytostabilisation, la phytoextraction, la Phytodégradation, la Phytovolatilisation et la rhizofiltration. Ces trois dernières notions concernent exclusivement les sols contaminés avec des éléments organiques. Leurs principes se basent sur une dégradation des polluants en composés plus simples et moins toxiques qui pourront ensuite être utilisés par la plante elle-même ou par des microorganismes qui leur sont associés (Figure 1) [23].

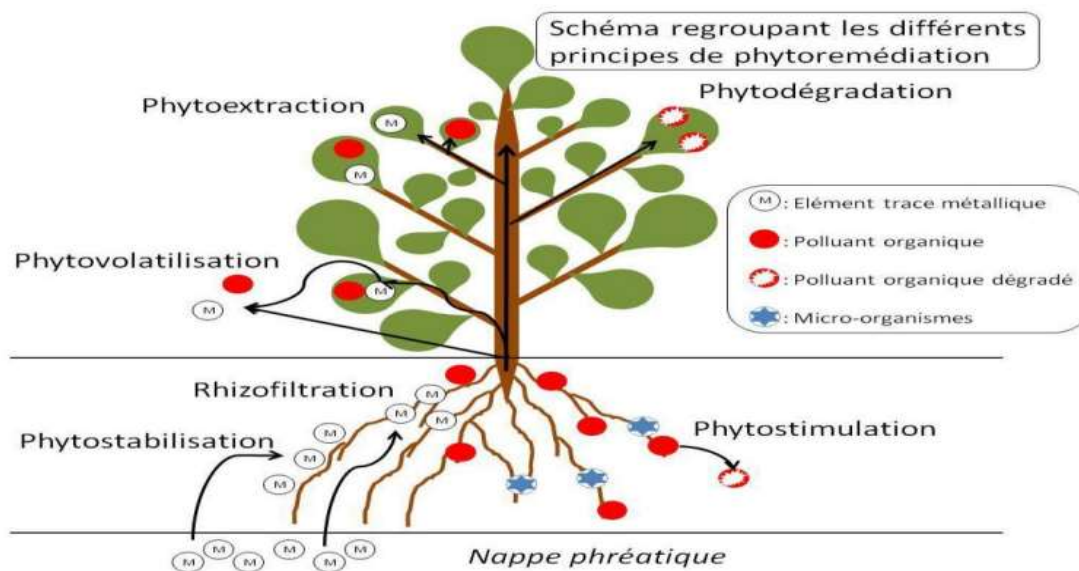


Figure 1 : Différentes techniques de phytoremédiation [24].

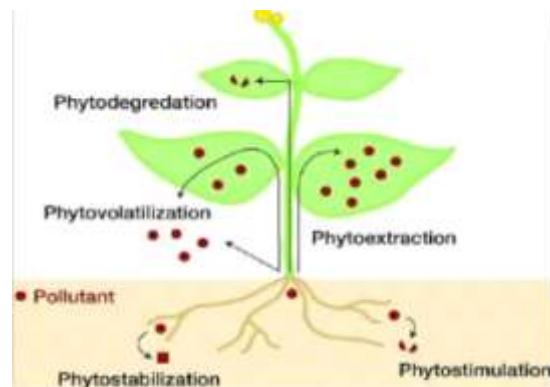
## 2 – 3 Les différentes techniques de la phytoremédiation :

La phytoremédiation regroupe différentes méthodes qui sont appliquées selon la contamination et les objectifs de remédiation, qui peuvent mener à la dégradation du contaminant, enlèvement (par accumulation ou dissipation), ou immobilisation. Actuellement, la phytoremédiation se divise en cinq domaines d'application différents [25].

### 2 – 3 – 1 Phytoextraction :

La phytoextraction est une technique de remédiation qui repose sur la capacité des plantes à éliminer des contaminants du sol (ou de l'eau) par les racines, puis les transférer et accumuler dans les parties aériennes. Cette technique est particulièrement adaptée aux sols présentant une pollution diffuse, où les polluants sont présents en proportion modérée et en surface. Cette méthode peut être accompagnée d'une addition d'un agent chélateur pour augmenter la mobilité et l'absorption des éléments dans la plante [26].

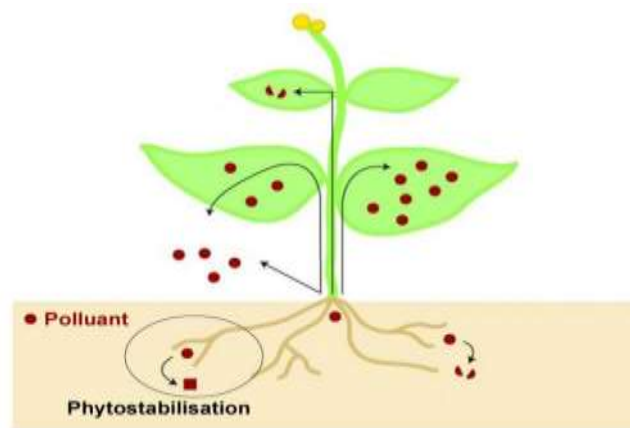
La phytoextraction est influencée par les caractéristiques physiologiques et génétiques des plantes. De récentes observations soulignent l'importance du choix des plantes qui doivent notamment respecter certains critères, en l'occurrence, avoir une croissance rapide et une forte production de biomasse, être tolérantes aux métaux, pouvoir accumuler une grande quantité de métaux dans leurs parties aériennes, posséder un système racinaire profond et étendu, s'adapter aux caractéristiques du sol à traiter (plantes natives ou adaptées), et nécessiter peu d'entretien. Peu ou pas de plantes répondent à l'ensemble de ces critères [27].



**Figure 2** : Représentation schématique du processus de Phytoextraction des ETM [28].

### 2 – 3 – 2 Phytostabilisation :

La phytostabilisation vise à végétaliser un sol pollué dans le but d'immobiliser les ETM dans le sol. Cette technique permet la diminution du transfert des polluants vers les nappes phréatiques et vers l'atmosphère. De plus, la présence du couvert végétal limite d'une part l'érosion hydrique et éolienne, et d'autre part le contact direct avec les animaux et les hommes. Les ETM sont immobilisés dans la rhizosphère grâce à différents mécanismes dont l'adsorption au niveau des racines, la précipitation dans la rhizosphère, la complexation ou le changement de l'état de valence du métal. Le choix de la plante et l'apport d'un amendement (agents alcalins, phosphates, matière organique) sont deux critères importants dans la réussite de la remédiation. En particulier, le choix de la plante doit tenir compte des critères suivants : être tolérante aux ETM présents dans le sol, avoir une croissance rapide avec une grande capacité de couverture du sol et un système racinaire étendu et abondant, pouvoir retenir les polluants au niveau des racines ou de la rhizosphère, avoir une faible capacité à accumuler les polluants, nécessiter un entretien réduit, et avoir une longévité importante (figure). Contrairement à la phytoextraction, les polluants ne sont pas extraits du sol, ce qui nécessite un monitoring permanent afin de veiller au maintien des conditions stabilisantes [29].



**Figure 3:** Processus de la phytostabilisation des contaminants au niveau du sol [30].

### 2 – 3 – 3 Rhizofiltration :

Ce dernier cas ressemble beaucoup au précédent. Nous restons ici sur un traitement de pollution organique. Selon Sterckeman T. : « La rhizodégradation désigne la dégradation des contaminants, pour la plupart des polluants organiques, sous l'action des racines et des micro-organismes associés. ». Les plantes utilisées ne sont pas dans la capacité de faire passer les éléments toxiques dans leurs organismes. L'efficacité de cette méthode dépendra donc de l'importance de la vie microbienne présente au sein de l'appareil racinaire. Tout comme la Phytodégradation, le but ici est de dégrader les polluants en substances moins toxiques, pour les réintégrer dans les cycles de matières. Les facteurs limitants sont les mêmes que pour la Phytodégradation : la concentration en molécules toxiques et surtout la vie microbienne du sol. Des plantes comme la luzerne (*Medicago Sativa*) mais aussi le trèfle rampant (*Trifolium repens*) peut être utilisé dans cette technique [31].

### 2 – 3 – 4 Phytodégradation :

Cette méthode concerne la pollution organique et non pas celle des ETM. Les plantes utilisées dans cette technique n'ont pas la capacité de stocker les polluants dans leurs organismes. Cependant, elles sont capables de dégrader les polluants organiques à l'intérieur des cellules de leurs appareils aériens et racinaires. Précédemment, nous avons vu que les éléments majeurs présentaient un danger lorsqu'ils formaient certaines molécules toxiques. Avec la Phytodégradation, les plantes utilisées absorbent les molécules nocives et sont capables de les dégrader en molécules moins toxiques. Les végétaux concernés sont donc capables de vivre dans des milieux saturés en polluants organiques. Ils absorbent les éléments polluants dans la solution du sol et les dégradent au sein de différents appareils. [32]

### 2 – 3 – 5 Phytovolatilization :

La Phytovolatilization utilise les plantes pour transférer les ETM du sol vers l'atmosphère. En effet, certains éléments (As, Hg et Se) peuvent être présents sous forme gazeuse dans l'environnement. Dans ce procédé, les ETM sont absorbés par les racines, transférés dans les parties aériennes où ils sont transformés sous une forme volatile avant d'être émis dans l'atmosphère. Cette technique a tout d'abord été utilisée pour la remédiation des sols contaminés par le mercure, les ions  $Hg^{2+}$  et le Hg organique peuvent être transformés en Hg. De la même façon, le Se peut être transformé en  $(CH_3)_2Se$  qui est volatile [33].

**2 – 4 Avantages et limite de la phytoremédiation :****➤ Avantages :**

Le choix d'utilisation de la phytoremédiation dans le traitement des sols contaminés est basé sur les nombreux avantages qu'elle possède en comparaison aux autres techniques de remédiation. En plus, dans les milieux agricoles, les avantages qu'elle confère sont d'autant plus bénéfiques. Elle présente une excellente alternative pour les méthodes conventionnelles pour ces raisons [34] :

- En étant une technique hautement utilisée de manière in situ, la phytoremédiation, comparativement aux autres techniques d'extraction du substrat (ex situ), à une perturbation minimale dans l'environnement où elle est réalisée.
- Elle est la technique la moins coûteuse des processus de remédiation.
- Elle est aussi la plus simple d'application.
- Elle ne nécessite aucun personnel spécialisé pour son fonctionnement, seules les pratiques agronomes conventionnelles doivent être employées.
- Elle peut s'appliquer sur des terres éloignées et difficiles d'accès. - Aucune énergie supplémentaire n'est nécessaire ou ne doit être incorporée au système pour son fonctionnement.
- Elle peut traiter de nombreux polluants simultanément, qu'ils soient organiques ou inorganiques.
- Lorsque les plantes ont traité les polluants et qu'aucune manipulation subséquente n'est nécessaire, de la biomasse est incorporée à l'environnement [35].

**➤ Limites de la phytoremédiation :**

Malgré les nombreux avantages qu'elle confère, la phytoremédiation a toutefois quelques contraintes qui peuvent freiner son utilisation et son efficacité. Ces limites se doivent d'être explicitées pour en arriver à une meilleure compréhension des problématiques auxquelles se heurté la phytoremédiation, et ce, dans le but que des solutions soient proposées pour en atténuer les désavantages et permettre une optimisation de l'utilisation de la méthode [36].

- D'abord, la première contrainte à la phytoremédiation est que le contaminant doit se retrouver dans la zone racinaire des plantes pour être traité, sans quoi, il n'y a aucun effet. Pour cela, les plantes doivent être en mesure d'entraîner leurs racines jusqu'aux contaminants ou bien les contaminants doivent être déplacés jusqu'aux racines. De plus, il faut considérer la profondeur du système racinaire qui varie selon les espèces, les conditions climatiques et celles du sol. Les arbres, par exemple, peuvent étendre leurs racines jusqu'à environ 4,5 mètres, tandis que les espèces graminées peuvent le faire jusqu'à environ 1,2 mètre [37].
- De plus, la phytoremédiation s'opère principalement dans les sols peu profonds, les ruisseaux et les eaux souterraines.
- Dans le même ordre d'idées, les conditions climatiques ou saisonnières peuvent limiter la croissance des plantes et augmenter la période pour la décontamination d'un site.
- La phytoremédiation fonctionne mieux lorsque les sols sont faiblement à moyennement affectés par les contaminants. Ainsi, un site contenant de fortes concentrations de contaminants peut limiter la croissance des plantes et limiter son traitement par la phytoremédiation.
- Une extraction des plantes doit être réalisée lorsque celles-ci accumulent le contaminant dans ses tissus sans les dégrader [38].

Dans une stratégie de phytoremédiation de sites contaminés, il est très utile de choisir des plantes qui les ont spontanément colonisés (plantes indigènes), car ces plantes sont souvent mieux adaptées en termes de survie, de croissance et de reproduction en situation de stress environnemental, et qui sont bien adaptées à ces environnements pollués, dans notre étude, nous avons sélectionné la plante d'orge car c'est une plante locale et réputée d'être un bon accumulateur d'ETM [38].

#### 4-4-1 Généralité sur L'orge

### 3 – 1 L'orge commune (*Hordeum vulgare*) :

L'orge est une plante annuelle de la classe des monocotylédones, céréale à paille qui appartient à la famille des poacées (graminées). Elle a été l'une des premières cultures domestiquées il y a 10 000 ans dans le croissant fertile du moyen-orient.

En Algérie, l'orge occupe la troisième place en importance parmi les céréales à paille, elle est une espèce rustique qui peut être cultivée dans des zones où le blé ne peut être rentable. Cette espèce est assez intéressante, elle peut être cultivée sur des sols plus ou moins pauvres et elle est tolérante au sel et à la sécheresse. C'est une espèce adaptée aux systèmes de culture pratiqués en zones arides où elle constitue avec l'élevage ovin l'essentiel de l'activité agricole. Bien que l'orge ait des potentialités voisines de celle du blé, elle est considérée comme une céréale secondaire. L'importance et les multiples usages de cette céréale lui confèrent une valeur stratégique dans l'alimentation animale comme plante fourragère et céréalière [39].

### 3 – 2 Classification de l'orge :

D'après littérature, l'orge cultivée appartient à la classification botanique suivante :

<b>Règne</b>	<i>Plantae</i>
<b>Division</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Classe</b>	<i>Liliopsida</i>
<b>Sous classe</b>	<i>Commelinidae</i>
<b>Ordre</b>	<i>Poale</i>
<b>Famille</b>	<i>Poaceae</i>
<b>Sous famille</b>	<i>Hordeoideae</i>
<b>Tribu</b>	<i>Hordeae</i>
<b>Sous tribu</b>	<i>Hordeinae</i>
<b>Genre</b>	<i>Hordeum</i>
<b>Espèce</b>	<i>Hordeumvulgare L</i>

Tableau 2 : Classification de l'orge [40]

L'orge est aussi classée en suivant la fertilité des épillets et la densité de l'épi en deux groupes

- Les orges à six rangs, dont les épillets médians et latéraux sont fertiles.
- Les orges à deux rangs, seuls les épillets médians sont fertiles.

Il peut aussi être classé selon leur milieu de culture en 3 groupes :

- L'orge d'hiver.
- L'orge de printemps.
- L'orge alternatives [41]

### 3 – 3 Croissance et développement :

En général, l'orge est peu sensible à la sécheresse ; ses besoins en eau varient de 450 à 500 mm, et ils sont sensiblement plus élevés lors de son premier développement. On pense que sa culture est meilleure entre la mi-novembre et la mi-décembre.

Après la germination, la plantule apparaît après 5–6 jours. Jusqu'à l'apparition de la fleur, des talles se forment sur la tige principale. La densité de plantation, le cultivar et les conditions environnementales affectent tous le nombre de talles par plante. Alors qu'une seule plante produit généralement de 1 à 6 tiges, de faibles densités de plantation peuvent augmenter ce nombre de manière significative.

Bien que le moment de l'initiation florale varie selon les cultivars, l'orge fleurit souvent avant le blé. Lorsque la photopériode est plus longue, les espèces de jours longs fleurissent plus tôt; néanmoins, d'un cultivar à l'autre, la sensibilité à la photopériode varie, allant d'extrêmement sensible à presque insensible. Les fleurs s'autopollinisent principalement, mais il peut y avoir jusqu'à 10% de pollinisation croisée. En 10 à 20 jours, le grain mûrit [42,43].

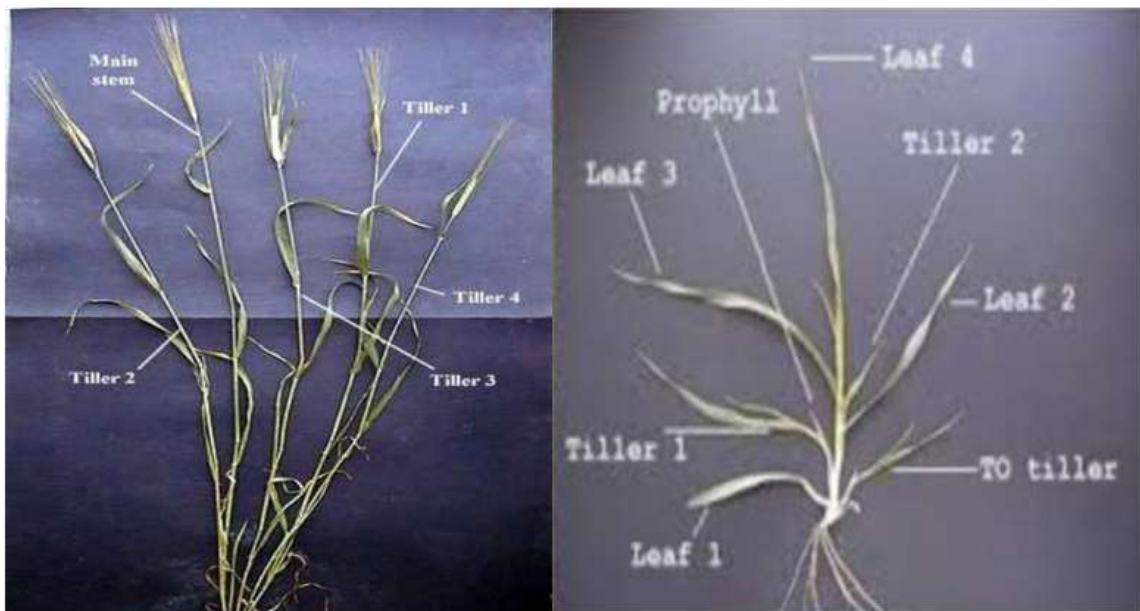


Figure 4 : Architecture d'une plantule d'orge au stade juvénile et au stade adulte [44]

### 3 – 4 Caractère morphologique :

Une nervure médiane et deux nervures latérales dorsales peuvent être trouvées dans le grain d'orge. Il a une barbe qui le prolonge. Pour que la lemme (figure 4) corresponde à la face ventrale du grain. Cela comporte une rainure ou une dépression à la base dans laquelle une tige est placée. Il comprend plusieurs composants distincts [45].

#### ➤ L'embryon :

Le grain d'orge est constitué d'un embryon (germe) placé en grande partie sur la face dorsale du grain, et d'une couche féculente délimitée à l'extérieur par de nombreuses couches consécutives. L'embryon est séparé de l'endosperme par le scutellum, qui a une fonction sécrétoire et permet la diffusion des enzymes hydrologiques de l'embryon qui représente le siège des activités vitales de la graine, notamment grâce aux enzymes, contient un substrat respiratoire qui est le saccharose, les lipides et les protéines structurales. Il est riche en protéines, lipides, minéraux et vitamines (E tocophérols). Elle seule possède la plus grande proportion de lipides. Les principaux sucres de l'embryon sont le saccharose et le fructose. Ils représentent 25% du poids sec de l'embryon [46].

### **3 – 5 Biologie et physiologie de l'orge :**

Les caractéristiques morphologiques de l'orge sont celles d'un plant de graminées. C'est une céréale qui a beaucoup de caractères communs avec le blé. Le système racinaire est superficiel et la majeure partie des racines se trouve dans une couche superficielle de 50cm. Ce pendant quelques racines peuvent dépasser 150 cm de profondeur [47].

Les tiges sont généralement creuses et sont minces chez les orges à deux rangs que chez les orges à six rangs et ont donc plus tendance à verser il y a généralement cinq à sept nœuds par tige et un plant moyen produit 2 à 6 talles dans les conditions normal semis mécaniques.

L'inflorescence de l'orge est un épi composé d'un axe central sur lequel s'attachent les épillets. Chaque épillet se compose d'une fleur et de deux glumes. La fleur est entourée de deux glumelles et comporte un pistil et 3 étamines [48].

Chez l'orge le grain est un caryopse à glumelles adhérentes. Le grain peut-être détaché des glumelles comme chez les orges nues ou bien les glumelles sont directement collées en grain comme si le cas de la majorité des orges.

Les couches externes du grain (péricarpe) et les glumelles peuvent contenir des pigments spécifiques qui donnent une coloration au grain : (jaune, noire, violet, blanc) Les deux composantes du grain sont l'embryon (plantule au stade dormant) et l'albumen qui forme les réserves de nourriture pour la jeune plantule lors et après la germination [49].

# **CHAPITRE II**

## **MATERIEL ET**

## **MÉTHODES**



## Introduction :

Ce chapitre représente l'aspect pratique de notre travail, commençant par la préparation d'échantillons représentés par la plante, les actinobactéries, l'orge et le sol de culture. Suivi par la mesure de l'absorption du chrome hexavalent par la plante après inoculation d'actinobactéries dans différents intervalles de temps.

Lors de nos différentes manipulations nous avons utilisé le matériel et les produits décrits dans la partie suivante.

## 1-Matériel utilisé :

### 1,1-Verreries :

- Bêchers de 10, 25 50, 100 et 250 ml ;
- Erlenmeyers de 50 et 250 ml ;
- Eprouvette de 100, 250 et 500mL ;
- Flacons de prélèvement ;
- Verre de montre ;
- Pipettes graduée 5 ml, 2ml et 0.5 ml avec poire.
- Tubes à essai en verre ;

### 1,2-Appareillage :

- Balance analytique de marque OHAUS de référence Pioneer ;
- Hotte ;
- Agitateur et plaque chauffante de marque STUART (modèle Heal-Stir SB162) ;
- Micropipette (100 et 200  $\mu$ L) de marque ISOLAB ;
- Spectrophotomètre de marque WPA de référence Lightwave II ;
- Four de marque Heal-Stir SBB569 ;
- Etuve de marque NÜVE FN400 ;

### 1.3-Produits :

- Acide sulfurique à 95-97% de Riedel de Haën ;
- Ethanol à 95% de Riedel de Haen ;
- 1,5-Diphénylcarbazine de Sigma-Aldrich ;

- Bichromate de potassium de Riedel-De-Haën ;
- Carbonate de sodium de Sigma-Aldrich ;
- Acide chlorhydrique (37%) de Riedel de Haën ;
- Eau minérale ;
- Eau distillée ;

## 1.4-Autres :

- Deux souches de bactéries actinomycètes (D15, IA1)
- Les grains l'orge nu vonete"0"
- Marqueur permanent ;
- Spatule (HSN 179-19) ;
- Pissette ;
- Cuvette en plastique pour UV-Visible;
- Bloc note ;
- Pelle ;
- Sacs en plastique ;
- Ciseaux ;
- Seringue ;
- Coton ;
- Tubes en plastique ;
- Porte tubes ;
- Lunettes, masques et gants de protection ;

## 2-Méthodes :

### 2,1-Préparation des échantillons du sol :

Afin de préparer des échantillons de sol, nous avons pris une quantité d'un tiers du sol agricole avec un tiers de tourbe car il contient des nutriments en plus d'un tiers du sable pour augmenter la porosité du mélange (Figure 5). Ce mélange a été mixé jusqu'à l'homogénéité, puis utilisé en tant que sol d'implantation.



**Figure 5 : Préparation des échantillons du sol avant homogénéisation.**

Selon le nombre de variables utilisé, nous en avons préparé 108 pots, après avoir percé leur base pour le drainage de l'excès de l'eau d'irrigation, nous les avons remplies avec le mélange de sol préparé.

#### **2.1.1-Inoculation de l'orge nu avec deux variétés d'actinobactéries :**

- Nous avons choisi parmi les graines, celle qui sont en bon état (taille et forme).
- Nous avons divisé les graines d'orge en trois groupes, chacun contenant 280 graines.
- Nous avons lavé chaque groupe avec de l'eau distillée puis, nous l'avons stérilisé avec de l'eau de javel, puis nous l'avons lavé à l'eau distillée plusieurs fois.
- Nous avons filtré ces graines et placé deux groupes d'entre eux dans deux suspensions contenant deux types d'actinomycètes (D15 et IA1) pendant une heure. Ce processus a été effectué sous la hotte dans un milieu stérile.



**Figure 6 : Inoculation des actinobactérie dans l'orge nu**

- Au bout d'une heure, nous avons procédé à l'implantation des grains selon trois variables : le temps, le volume du chrome hexavalent ajouté et la variété de micro-organisme utilisé.
- Après implantation, nous avons injecté une solution de chrome hexavalent à 100 ppm avec différents volumes : 0ml, 5ml, 10ml, 15ml, l'objectif était de savoir l'effet de la concentration en Cr(VI) sur la capacité de phytoremédiation de l'orge.

## 2.3-Prélevement et séchage des échantillons de feuilles, racines et de sol :

### 2.3.1- Prélèvement :

- Ce processus se déroule sur une base hebdomadaire, du jour 7 au jour 28.
- Après la fin de la première semaine, nous séparons la plante du sol de plantation, puis nous séparons la partie feuilles de la partie racines.
- En prenant soin des racines pour se débarrasser complètement de la terre restante.
- Nous mesurons la longueur des feuilles et des racines puis nous les pesons.
- Les échantillons ont été séchés à 105°C pendant 24h.
- Les échantillons secs ont été pesés pour déterminer le taux d'humidité.



**Figure 7 : Séparation des feuilles et des racines.**

## 2.4 /Préparation des solutions réactives :

Afin de réaliser nos différentes manipulations, plusieurs solutions ont été préparées avec des produits de grade analytique et l'eau distillée.

### 2.4.1/ Solutions de bicarbonate de sodium :

Dans une bouteille en verre, Nous avons mis 500 ml d'eau distillée avec 14,8 g de bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ), le mélange est agité jusqu'à l'homogénéité totale.

## 2.4.2/Solution d'hydroxyde de sodium :

Dans une bouteille en verre, Nous avons mis 500 ml d'eau distillée avec 10 g de soude, le mélange est agité jusqu'à l'homogénéité totale.

## 2.4.3/ Solution d'acide 1.5 Diphénylcarbazine :

- 1,5 Diphénylcarbazine (0.2g)
- 100 ml d'Alcool éthylique à 95%.
- 400 ml d'acide sulfurique à 176 g/l : 40ml acide (98%) + 360ml d'eau distillée.

## 2.4.4/ Solution mère étalon de chrome 1g/L :

- 2,8g de dichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ).
- Eau distillée 100ml.

## 2.4.5/ Solution étalon de chrome à 5mg/L :

- 0,5ml de solution mère.
- 100ml de l'eau distillée.

## 2.4.6/ Solutions étalons de Cr(VI) :

Pour établir une courbe d'étalonnage, on prépare des solutions étalons de Cr(VI). Cela se fait par dilutions de la solution mère à 5 mg/L (Tableau 3).

Numéro des fioles	Volume de la solution mère (Cr hexavalent 5mg/L) (ml)	Volume d'eau de dilution (ml)	Concentrations de solutions étalons de Cr(VI) (mg/L)
1	0,5	49,5	0,05
2	1	49	0,1
3	2	48	0,2
4	3	47	0,3
5	4	46	0,4
6	5	45	0,5

Tableau 3 : Solutions étalons du Cr(VI)

## 2.4.7/ Préparation de solution Aqua-regia:

Cette solution est composée de HCl 37% et HNO<sub>3</sub> 59%, cette préparation a été conduite sous la hotte dans un flacon de 500 ml, en mélangeant 150 ml d'acide chlorhydrique avec 50 ml d'acide nitrique et 200 ml d'eau distillée.

## 2.5/Extraction du chrome à partir du sol :

L'extraction du chrome à partir des échantillons de sol a été réalisée selon le protocole décrit par [50]. On pèse 0.4 g de sol séché, puis on le met dans un tube en plastique avec 4 ml de solution de soude et 4 ml de solution de bicarbonate de sodium. Le mélange est agité et chauffé à reflux à 100°C pendant une heure. Après refroidissement, le mélange est centrifugé et le surnageant est filtré et conservé dans des tubes en plastique afin d'être analysé.



**FIGURE 8 : Extraction du chrome hexavalent à partir des échantillons de sol.**

## 2.6/Extraction du chrome à partir des échantillons de plantes :

L'extraction du chrome hexavalent à partir des échantillons de feuilles et/ou de racines a été réalisée selon la méthode décrite par [51]. Les échantillons secs ont été calciné à 550°C pendant 4 heures, après refroidissement, les cendres ont été mise dans un tube en plastique avec 5 ml d'aqua-regia, le mélange a été laissé pendant 10 minutes puis filtré et analysé.



**Figure 9 : Calcination les racines et feuilles dans un four à 550°C**

## **2.7/Dosage du chrome hexavalent :**

### **2.7.1: Principe :**

Pour le dosage du chrome hexavalent, nous avons utilisé la méthode décrite par Rodier (2009) [52].

Dans une solution légèrement acide, le chrome hexavalent réagit avec le 1,5-Diphénylcarbazine pour former une couleur violette, qui peut être déterminée par spectroscopie d'absorption moléculaire.

Lors de l'analyse, les ions Cr(IV) oxydent le 1,5-Diphénylcarbazine et se réduits en chrome trivalent. La forme énonol de la carbamazone réagit avec les ions chrome trivalent pour former un complexe de couleur rouge-violette, susceptible d'être analysé par lumière UV-Vis à 540 nm [52]

Cette méthode permet de mesurer des concentrations de chrome comprises entre (5 µg/L à 0,5 mg/L), et pour mesurer des concentrations supérieures à cette limite, nous sommes appuyés sur la dilution des échantillons, nous avons utilisé les facteurs de dilution suivants : pour les racines et les feuilles F=1/5, et pour le sol F=1/10.

## **2.8 /Dosage du chrome hexavalent dans les échantillons de sol et de plantes :**

Le dosage du Cr(VI) a été réalisé en introduisant un échantillon de 5 ml avec 0,3ml d'acide 1,5-Diphénylcarbazine. Avant chaque série d'analyse, une courbe d'étalonnage est tracée et les concentrations son déterminée par extrapolation (Les courbes d'étalonnage sont présentées dans l'annexe).





**Figure 10 : Dosage du Cr(VI) par spectrophotométrie UV-Visible.**

### **3/ Les facteurs caractérisant le phénomène de phytoremédiation :**

#### **3.1/Facteur de translocation :**

L'estimation de la translocation est très importante. Le facteur de transfert reflète la relation entre la concentration du chrome dans les tissus végétaux et la concentration de chrome dans les tissus racinaires [53].

Où il est exprimé par la relation suivante :

$$FT = \frac{[Cr(IV)]_{\text{feuille}}}{[Cr(IV)]_{\text{racine}}}$$

$[Cr(IV)]_{\text{feuille}}$ : la quantité du chrome hexavalent dans les feuilles (mg/kg).

$[Cr(IV)]_{\text{racine}}$ : est la quantité du chrome hexavalent dans les racines (mg/kg).

Lorsque  $TF > 1$ , cela indique que la plante a efficacement transféré le chrome des racines vers les feuilles, ce qui la rend plus adaptée à la phytoremédiation car les minéraux stockés dans la partie supérieure peuvent être facilement éliminés [54].

#### **3.2/Facteur d'enrichissement :**

Il est défini par le rapport de la concentration de chrome hexavalent dans les feuilles sur sa concentration dans le sol [55].

Elle s'exprime par la relation suivante :

$$FE = \frac{[Cr(IV)]_{\text{feuille}}}{[Cr(IV)]_{\text{sol}}}$$

$[Cr(IV)]_{\text{feuille}}$ : la concentration du chrome hexavalent dans les feuilles (mg/kg).



$[\text{Cr(IV)}]_{\text{sol}}$ : la concentration du chrome hexavalent dans le sol (mg/kg).

Si  $\text{EF} < 1$ , l'espèce végétale est considérée comme un stabilisateur de chrome, tandis qu'une valeur  $\text{EF} > 1$  indique qu'il s'agit d'une espèce accumulatrice.

### 3.3/Le facteur de bioaccumulation :

Il est utilisé pour déterminer si la plante a la capacité d'accumuler des métaux lourds dans le sol.

Elle est exprimée comme un résultat de la division de concentration de chrome hexavalent dans les racines par sa concentration dans le sol.

Elle s'exprime par la relation suivante :

$$\text{FB} = [\text{Cr(IV)}]_{\text{racine}} / [\text{Cr(IV)}]_{\text{sol}}$$

$[\text{Cr(IV)}]_{\text{racine}}$ : la concentration du chrome hexavalent dans les racines (mg/kg).

$[\text{Cr(IV)}]_{\text{sol}}$ : la concentration du chrome hexavalent dans le sol (mg/kg).

Lorsque  $\text{FB} > 1$ , cela indique que la plante a accumulé du chrome et l'a fixé dans les racines [56].

### 4/Étude statistique :

Afin de déterminer les interactions entre le volume de chrome hexavalent ajouté à l'orge, le temps d'implantation et les types de microorganismes avec la quantité du Cr hexavalent dans le sol et la matière végétale. Nous avons réalisé une étude statistique de l'analyse de la variance à multi-facteur «ANOVA» cette étude a été réalisé par le logiciel STATISTICA version 8.0.

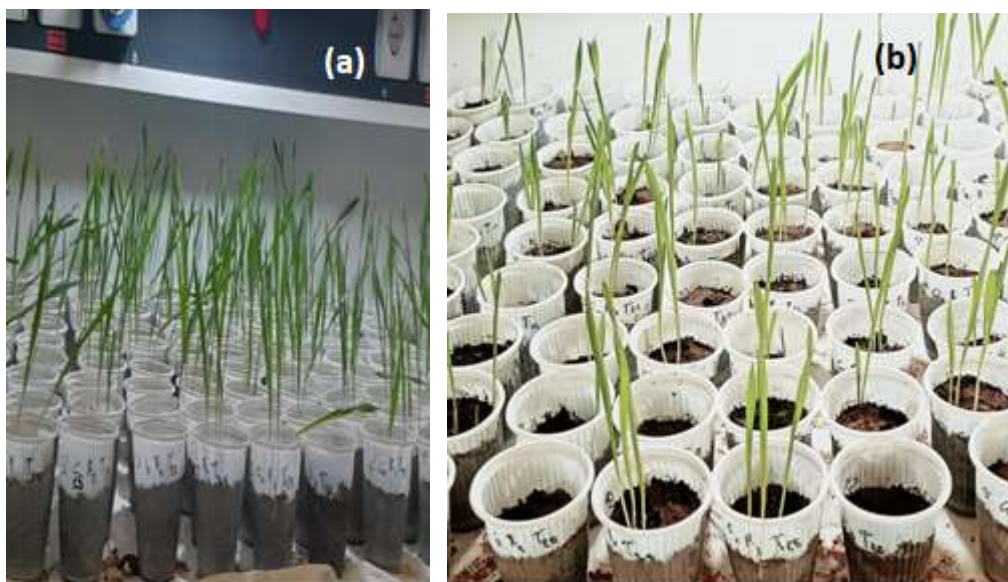
# **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

**Introduction :**

Dans ce chapitre, les résultats de nos travaux pratiques sont présentés. Cela comprend la quantité de chrome hexavalent au niveau des racines, des feuilles et du sol en fonction des différents variables (Volume de chrome, temps de culture, micro-organismes ). Nous discuterons et interpréterons également ces résultats obtenus en comparant avec les résultats trouvés dans la littérature ; Dans le but de connaître la capacité de la plante à tolérer et à traiter un sol contaminé par le chrome hexavalent et son effet sur ce dernier.

**2/ Morphologie de l'orge avant et après contact avec le chrome hexavalent :**

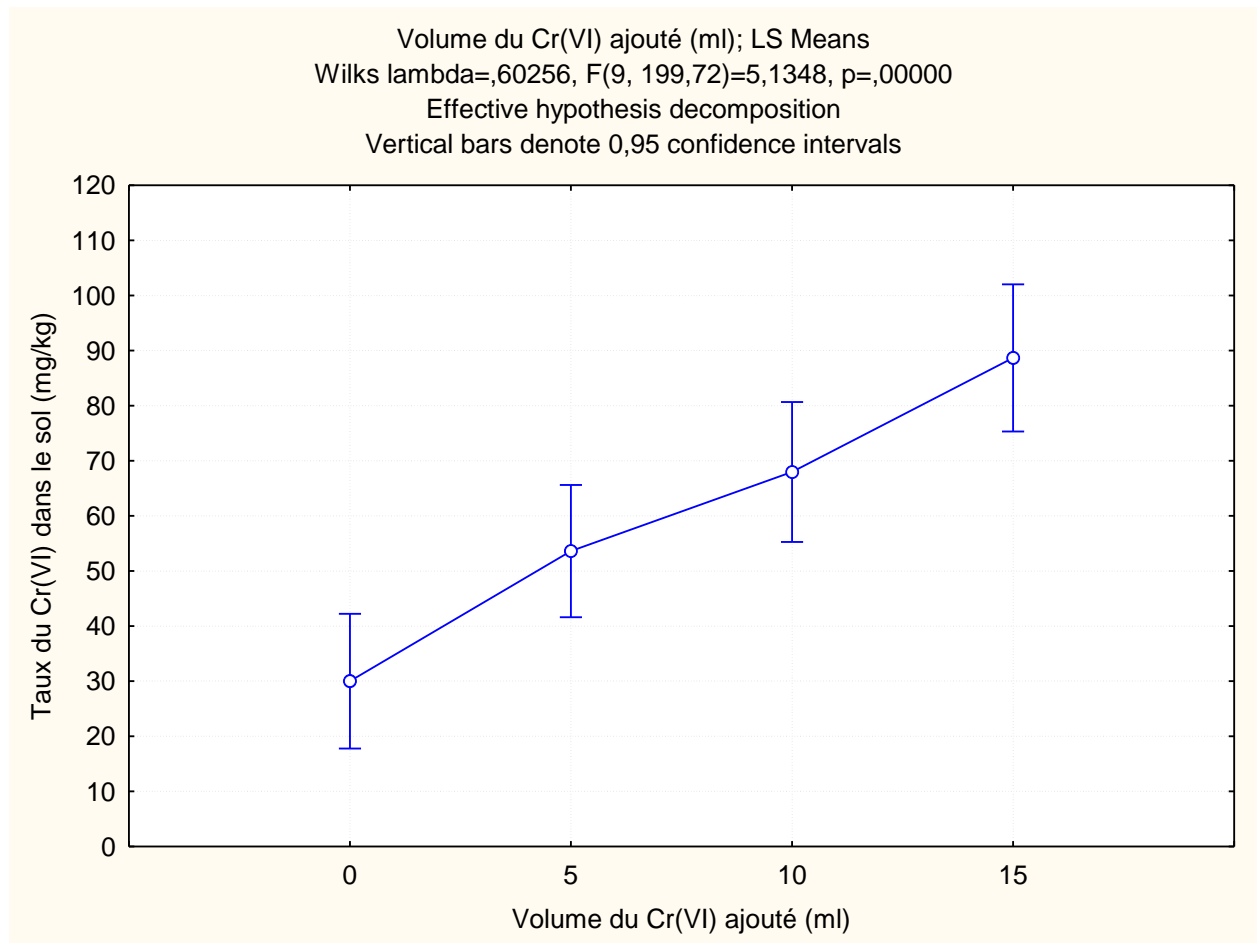
La figure 15 montre que la plante est affectée par le chrome hexavalent, ce qui ressort de la forme et de la couleur des feuilles avant et après l'ajout de chrome hexavalent (figures 11 (a et b)) ; Cela confirme que le chrome affecte négativement et entrave la croissance de la plante.



**Figure 11 : morphologie de la plante avant (a) et après 28 jours de contact avec le chrome hexavalent (b)**

**3/Chrome hexavalent dans le sol :**

D'après la figure 12 nous avons remarqué qu'il existe une relation directe entre la quantité du Cr(VI) dans le sol et le taux du Cr(VI) dans le sol, c'est-à-dire que plus le chrome est important, plus la quantité de chrome disponible pour la plante est importante. Des résultats similaires ont été constaté par Haiwei et al. (2019).



**Figure 12: Taux du Cr(VI) dans le sol en fonction du volume de chrome ajouté.**

La figure 13 représente le taux de chrome hexavalent dans le sol en fonction du type de microorganisme, Pour le microorganisme de type 1, on constate qu'il n'y a pas un grand effet sur le chrome dans le sol, par contre pour le deuxième microorganisme, on remarque une diminution significative du taux de chrome hexavalent dans le sol, et ceci explique que le micro-organisme de type II contribue efficacement à éliminer le chrome hexavalent du sol, et ceci explique que ce dernier aide à éliminer le chrome hexavalent du sol. On peut expliquer cela probablement par la contribution de l'actinobactérie de type 2 avec un mécanisme de réduction du Cr(VI), ceci a été observé auparavant dans d'autres travaux antérieurs [57, 58].

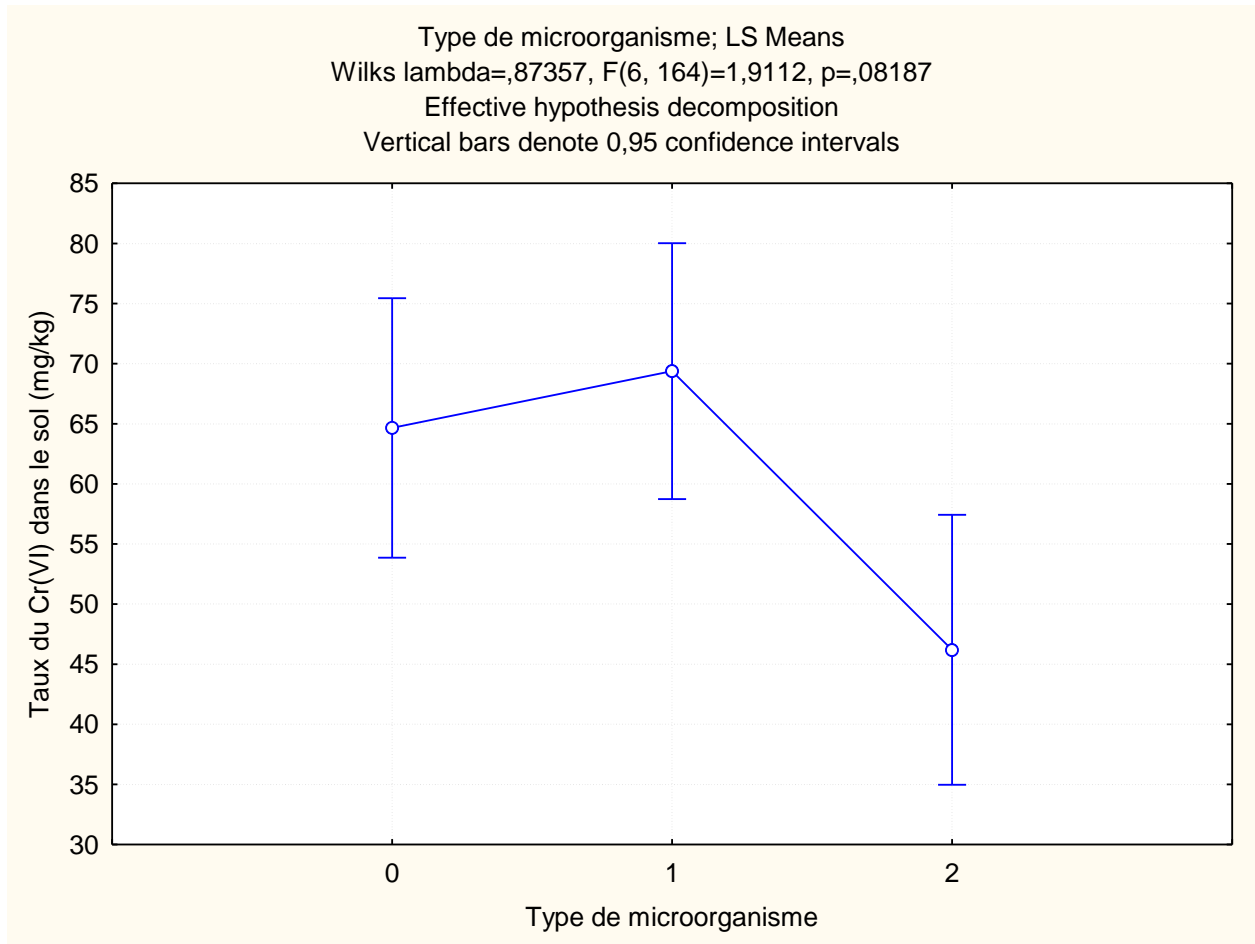
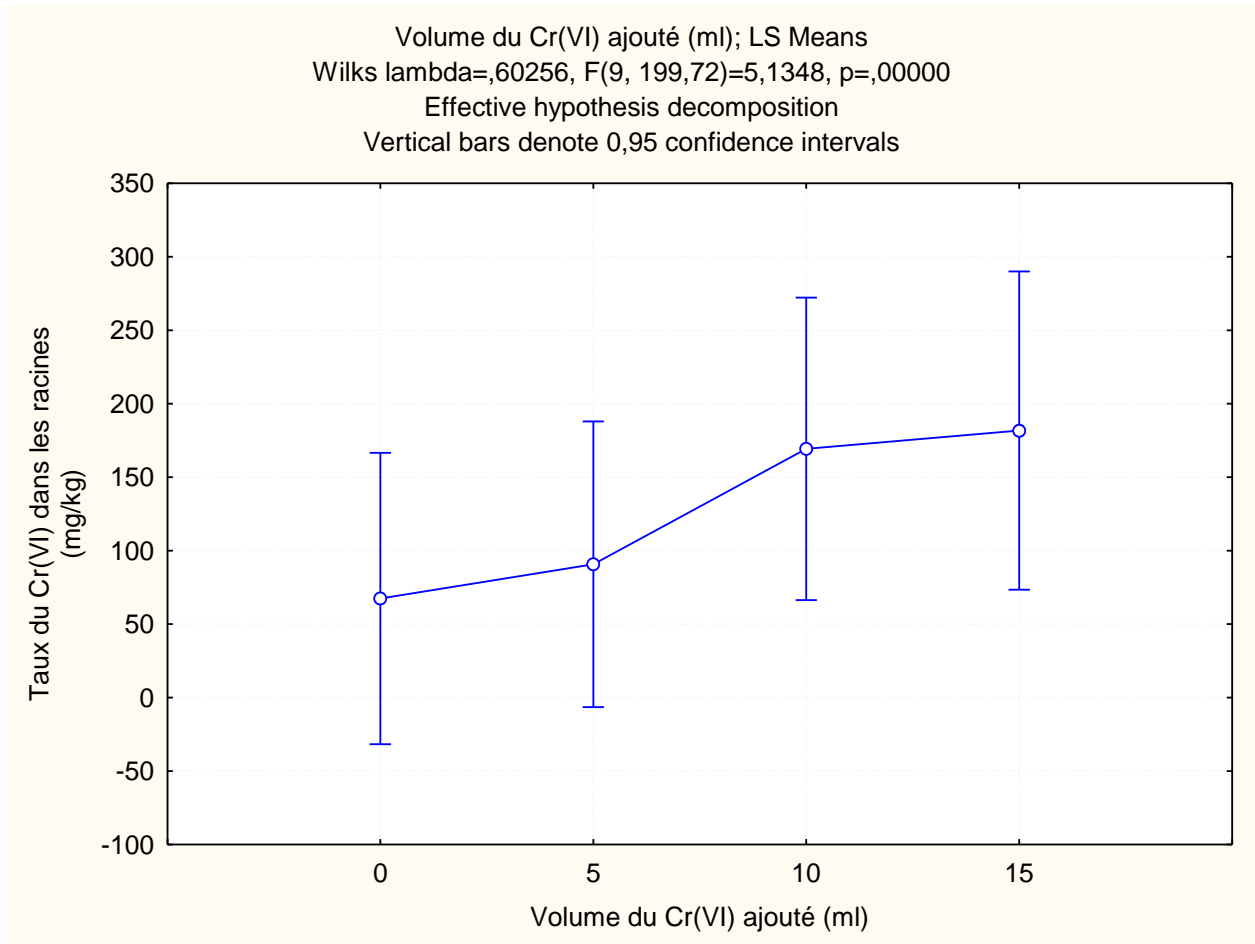


Figure 13: Taux du Cr(VI) dans le sol en fonction du type de micro-organisme.

**4/Chrome hexavalent dans les racines :**

La figure 14 illustre l'effet du volume ajouté du Cr(VI) sur sa concentration dans les racines. D'après cette figure, on constate une augmentation significative du taux de chrome dans les racines avec l'augmentation du volume ajouté du Cr(VI). Cela peut être expliqué par une absorption continue du chrome par le système racinaire, d'après la bibliographie, la plante absorbe le chrome à travers les canaux de transport de sulfates et de phosphate, car il existe une grande similitude entre ces ions et le chromate [59].



**Figure 14: Taux du Cr(VI) dans les racines en fonction du volume de chrome ajouté.**

La figure 15 représente le taux du chrome hexavalent en fonction des types de microorganismes, à travers la figure, on remarque que lorsqu'il n'y a pas de microorganismes, le taux de chrome hexavalent est élevé dans les racines, mais avec le microorganisme du type 1, on remarque une diminution notable du taux de chrome et le même constat par rapport au microorganisme du second type. Ceci peut s'expliquer par le fait que les deux actinobactéries ont un pouvoir d'élimination du chrome hexavalent, soit par réduction ou par transfert vers la

partie aérienne de la plante.

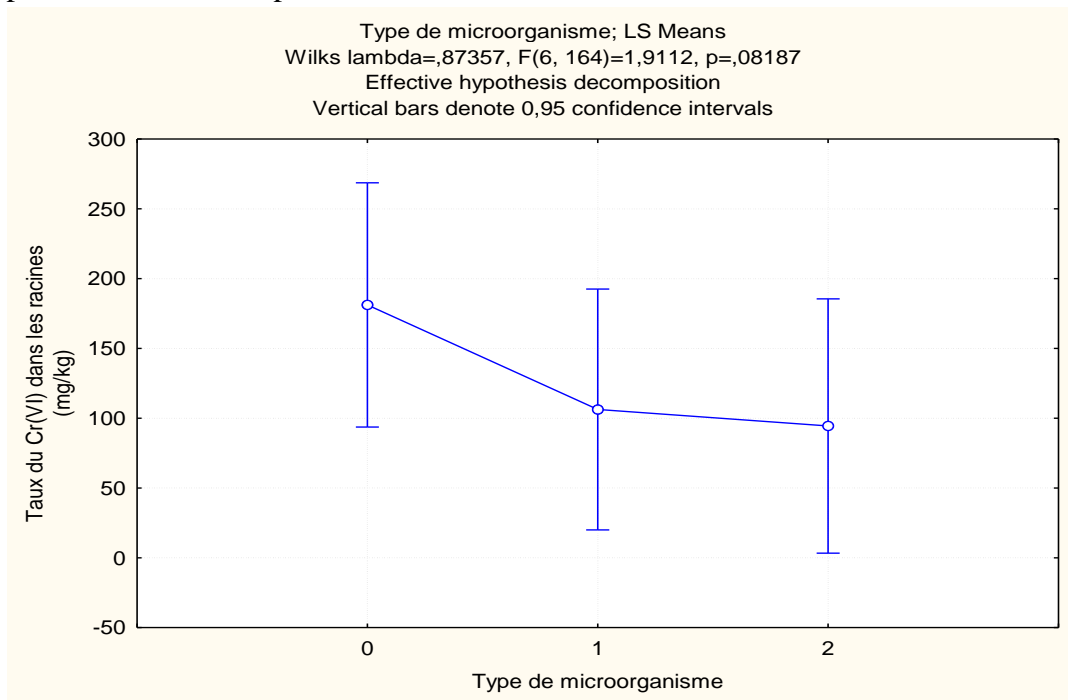
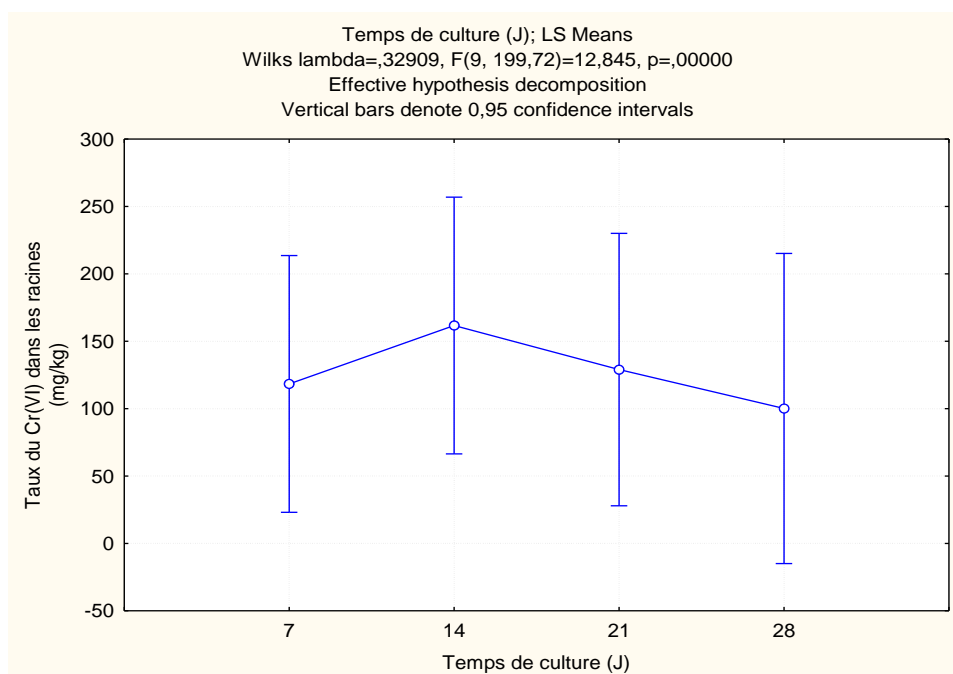


Figure 15 : Taux du Cr(VI) dans les racines en fonction du type de micro-organisme.

- La figure 16 représente le taux du chrome hexavalent dans les racines en fonction du temps de culture.

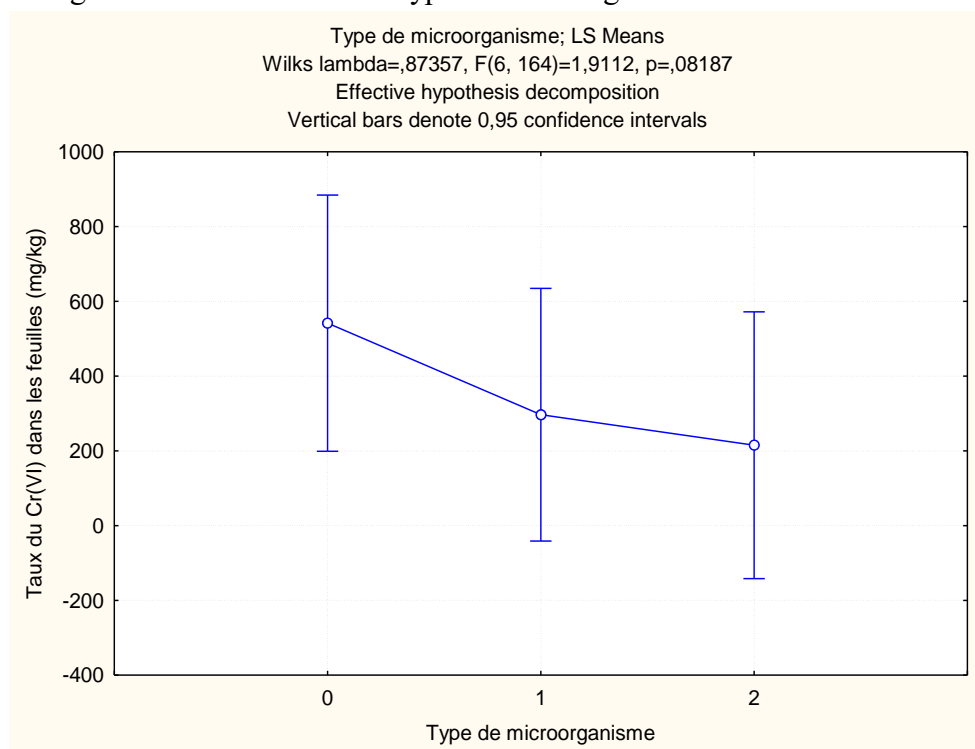


**Figure 16 : Taux du Cr(VI) dans les racines en fonction du temps de culture.**

D'après cette figure, on constate une légère augmentation du taux de chrome du 7<sup>ème</sup> au 14<sup>ème</sup> jour, et une diminution considérable à partir du 14<sup>ème</sup> jour, cela indique que le chrome s'est accumulé en premier temps dans les racines, puis il se déplace vers les feuilles. Ce phénomène indique que l'orge possède un mécanisme intéressant pour la dépollution du Cr(VI), car après phytoremédiation, il sera plus simple de récupérer le Cr(VI) à partir des feuilles qu'à partir des racines, ce phénomène a été observé auparavant lors de l'étude du mécanismes de transport des métaux lourds et d'absorption du silicone par les plantes [60].

### 5/ Chrome hexavalent dans les feuilles :

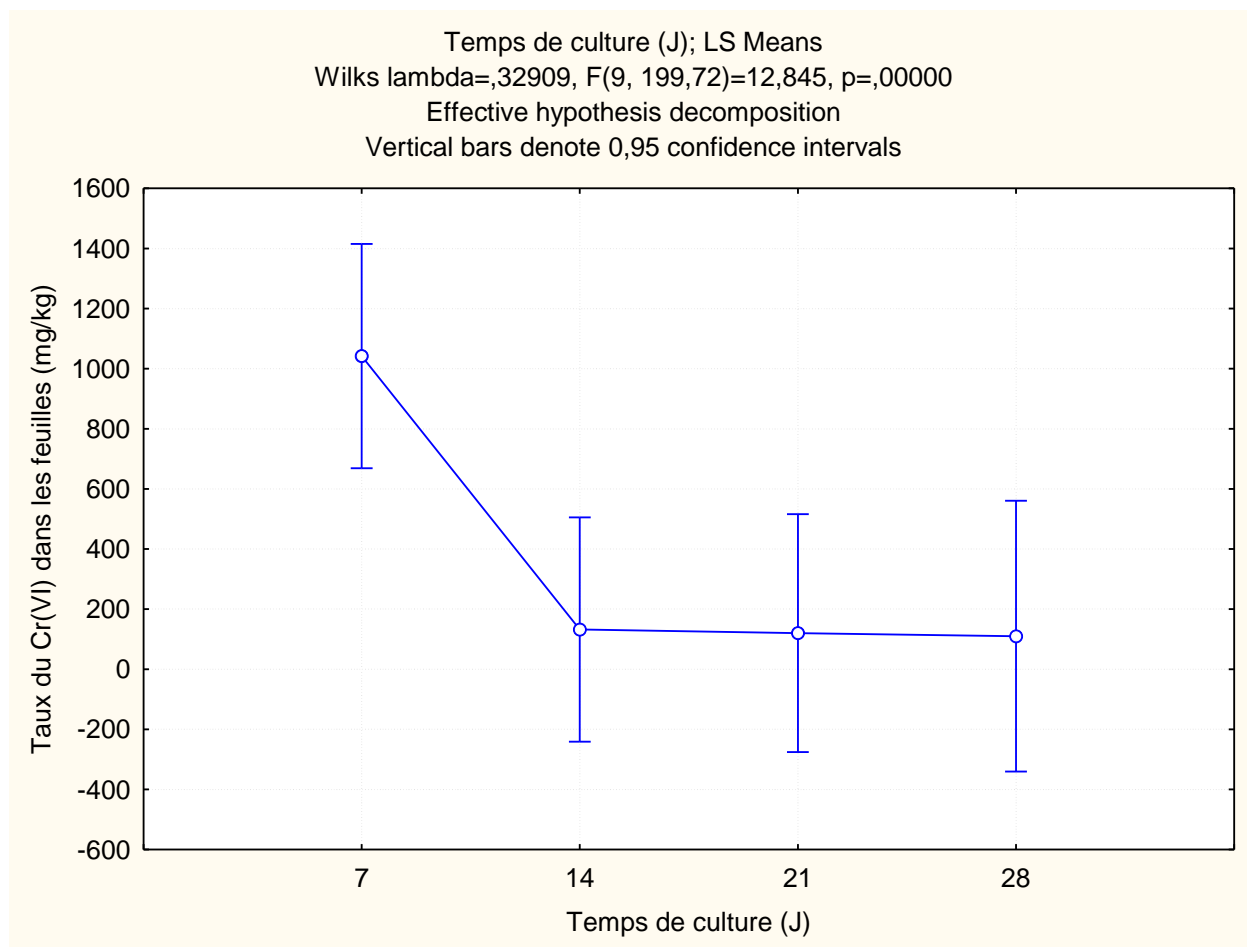
La figure 17 montre l'effet du type de microorganisme sur le taux du chrome dans les feuilles.

**Figure 17: Taux du Cr(VI) dans les feuilles en fonction du type de micro-organisme**

Comme il apparait dans la figure 17, en présence de microorganisme le taux du Cr(VI) est élevé, il peut atteindre des valeurs de l'ordre de 600 mg/kg, ce qui confirme que la plante possède un mécanisme de translocation du Cr(VI), tandis qu'en présence de souches d'actinomycètes, ce taux diminue considérablement pour atteindre une valeur de 200 mg/kg pour la deuxième bactérie, ce qui peut être expliqué par le fait que la bactérie contribue à la réduction du Cr(VI) en Cr(III), ce phénomène a été observé précédemment par Munees et al. (2015).



La figure 18 représente le taux de chrome hexavalent en termes de temps de culture.



**Figure 18 : Taux du Cr (VI) dans les feuilles en fonction du temps de culture**

Selon le graphe dans la figure 18, on constate une diminution considérable du taux de chrome hexavalent dans les feuilles après 7 jours de culture, puis une légère diminution après. Cela peut être due à une transformation progressive du chrome hexavalent par le chrome trivalent, dans un premier temps la plante est en bonne condition pour effectuer cette transformation, puis après le 7<sup>ème</sup> jours, la transformation diminue due à l'épuisement du Cr(VI) ou à la diminution de la capacité de réduction de cette dernière, un phénomène similaire a été observé par Munees et al. (2015) lors de l'élimination du Cr(VI) par la plante Okra (*Hibiscus Esculentus L.*) en présence de la bactérie PGPB [59].

Le tableau suivant regroupe les différents facteurs statistiques pour notre système :

**Tableau 4 Facteurs statistique qui caractérisent le système de phytoremédiation du Cr(VI) par l'orge nu**

Multivariate Tests of Significance (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
	Test	Value	F	Effect - df	Error - df	P
Intercept	Wilks	0.186491	119.2332	3	82.0000	0.000000
Type de microorganisme	Wilks	0.873568	1.9112	6	164.0000	0.081874
Volume du Cr(VI) ajout (ml)	Wilks	0.602557	5.1348	9	199.7171	0.000003
Temps de culture (J)	Wilks	0.329086	12.8445	9	199.7171	0.000000
Type de microorganisme*Volume du Cr(VI) ajout (ml)	Wilks	0.811526	0.9894	18	232.4163	0.472664
Type de microorganisme*Temps de culture (J)	Wilks	0.719244	1.5956	18	232.4163	0.062106
Volume du Cr(VI) ajout (ml)*Temps de culture (J)	Wilks	0.488222	2.4747	27	240.1246	0.000147
Type de microorganisme*Volume du Cr(VI) ajout (ml)*Temps de culture (J)	Wilks	0.555314	0.9908	54	245.1441	0.499213

D'après le tableau 4. D'après les valeurs de P, on constate que le volume ajouter influence significativement le système or que le temps de culture est très hautement significatif. La combinaison des paramètres n'est pas significatif.

**6/ Facteurs caractérisant la phytoremédiation :**

Pour déterminer le mécanisme de transformation et/ou d'accumulation du chrome hexavalent dans différentes parties de la plante, nous avons déterminé les facteurs de phytoremédiation, à savoir le facteur de translocation (TF), facteur d'enrichissement (EF) et facteur de bioaccumulation (FB). Les résultats de cette étude sont présentés dans la section qui suit.

**6-1/Les facteurs en fonction du type de microorganismes :**

La figure 19 regroupe les facteurs (FT, FE, FB) en termes de type de microorganismes. D'après cette figure, on remarque que le facteur de translocation augmente progressivement en présence de microorganisme 1 et 2, cela peut être expliqué par un effet positif de l'inoculation de l'orge sur ces capacités de transformer le chrome des racines vers les feuilles. Concernant le facteur de bioaccumulation, on remarque qu'ils sont presque stables avec une légère augmentation pour la première souche, ce qui est expliqué par le fait que les deux microorganismes sont actifs au niveau des feuilles mieux que dans les racines [61].

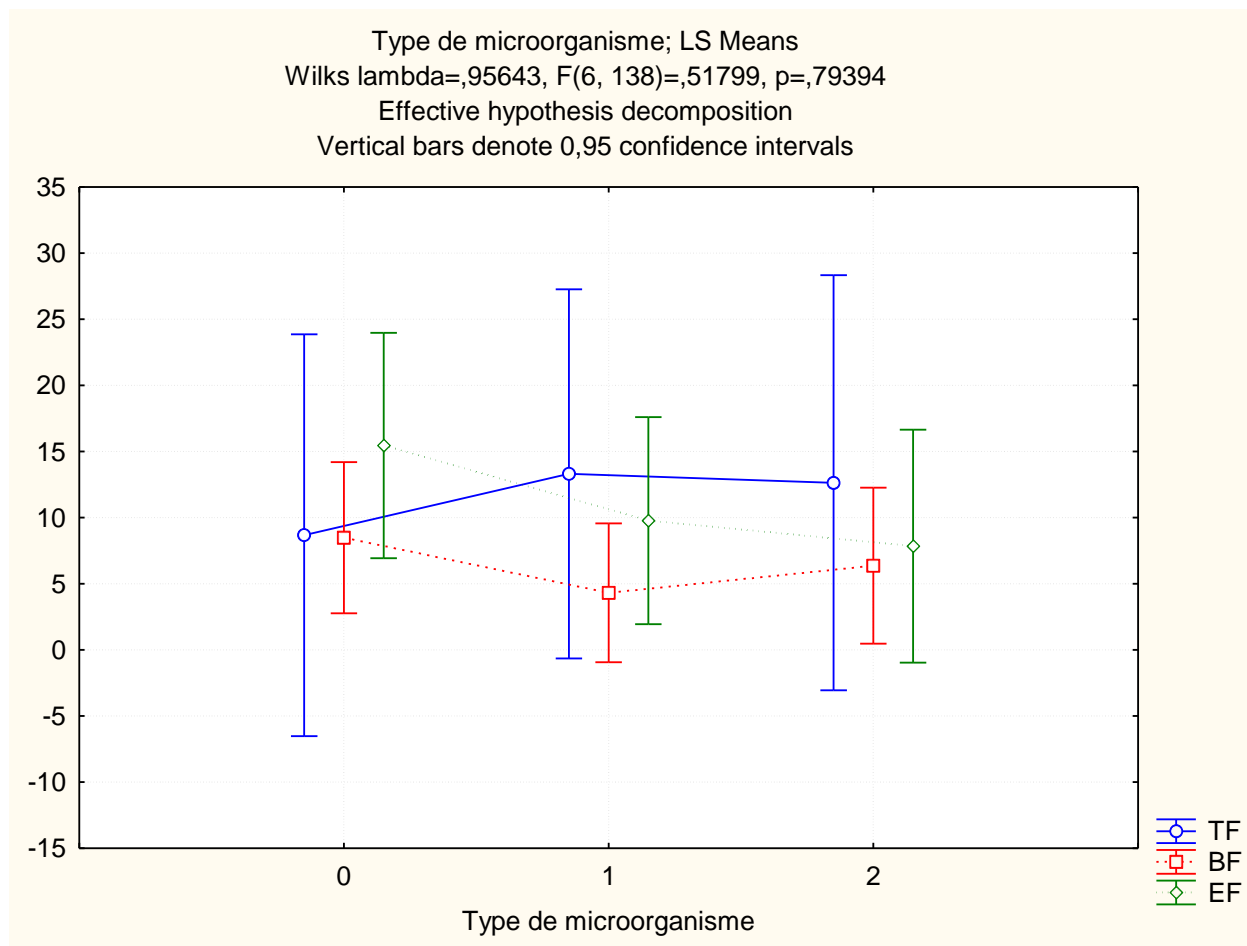


Figure 19: les facteurs (FT, FE, FB) en fonction du type de microorganismes

**6-2/Les facteurs en fonction du temps de culture :**

La figure 20 représente les facteurs (FT, FE, FB) en termes de temps de culture. A travers ces résultats on observe que le FT diminue considérablement avec le temps de culture. Cela peut être expliqué par une capacité de translocation limitée dans la première semaine, ce qui est en accord avec les résultats de l'effet du temps de culture sur le taux du chrome dans les feuilles. Ces données nous permettent de confirmer que la plante en présence d'actinobactérie contribue significativement à la réduction du chrome dans les feuilles. Des résultats similaires ont été trouvés dans des travaux antérieurs avec des bactéries de type *Bacillus* lors de l'élimination du chrome [62].

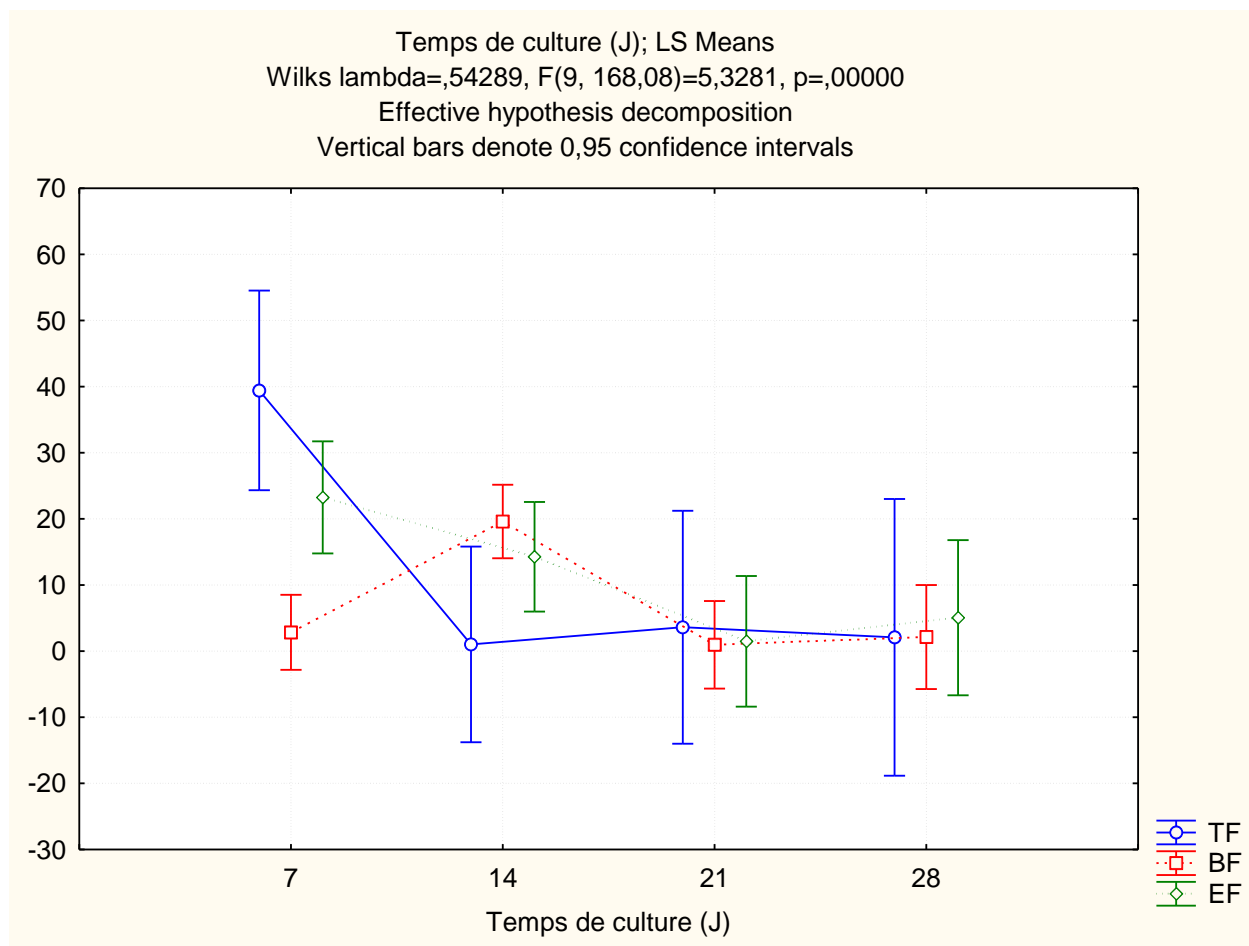


Figure 20: les facteurs (FT, FE, FB) en fonction du temps de culture

Le tableau 5 représente les paramètres statistiques pour l'effet des variables indépendants sur les facteurs de phytoremédiation du Cr(VI) sur l'orge nu.

**Tableau 5 Les facteurs statistiques pour la phytoremédiation du Cr(VI) sur l'orge nu**

Multivariate Tests of Significance (Spreadsheet1 - Copie) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
	Test	Value	F	Effect - df	Error - df	P
<b>Intercept</b>	Wilks	0.711584	9.322273	3	69.0000	0.000030
<b>Type de microorganisme</b>	Wilks	0.956435	0.517989	6	138.0000	0.793936
<b>Volume du Cr(VI) ajout (ml)</b>	Wilks	0.837775	1.408873	9	168.0785	0.187785
<b>Temps de culture (J)</b>	Wilks	0.542888	5.328122	9	168.0785	0.000002
<b>Type de microorganisme*Volume du Cr(VI) ajout (ml)</b>	Wilks	0.835766	0.711771	18	195.6468	0.796865
<b>Type de microorganisme*Temps de culture (J)</b>	Wilks	0.759112	1.112436	18	195.6468	0.342418
<b>Volume du Cr(VI) ajout (ml)*Temps de culture (J)</b>	Wilks	0.609939	1.381084	27	202.1579	0.109219
<b>Type de microorganisme*Volume du Cr(VI) ajout (ml)*Temps de culture (J)</b>	Wilks	0.648128	0.598854	54	206.4092	0.986259

D'après le tableau ci-dessus on constate que seulement le temps de culture est hautement significatif, ce qui nous permet de conclure que si on augmente le temps de traitement, l'efficacité sera plus appréciable.

# Conclusion générale

## Conclusion générale

### CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES :

En conclusion de cette étude expérimentale, nous constatons que l'orge nu inoculé par des actinobactérie possède des capacité intéressantes pour l'élimination du Cr(VI) contenant dans le sol. Son absorption commence par les racines, puis rapidement au bout de 7 jours de culture le Cr(VI) se transforme au feuilles, cela est suivie par sa réduction en Cr(III). L'actinobactéries améliore la capacité ainsi la vitesse d'élimination du métal. Enfin, nous pouvons déduire que l'inoculation de l'orge par l'actinobactérie est une bonne solution pour traiter le sol contaminé par le chrome hexavalent. Le Cr(VI) est majoritairement stocké dans les feuilles, ce qui facilite sa récupération par une simple récolte de la partie aérienne.

Les travaux peuvent se poursuivent afin de comprendre mieux le mécanisme de transformation du Cr(VI), ainsi le traitement d'un sol contaminé par plusieurs éléments métalliques.

## Références Bibliographiques :

- [1] <https://www.eea.europa.eu/fr/signaux/signaux-2019/articles/entretien-2013-contamination-des-sols> (Consulté le 17/6/2023).
- [2] Rumpa Saha, Rumki Nandi Bidyut Saha (2011), Sources and toxicity of hexavalent Chromium, *JURNAL OF COORDINATION CHEMISTRY* 64.10, 1782 -1806  
– 713104, WB, India: <http://dx.doi.org/10.1080/00958972.2011.583646>
- [3] Baik, B. K., & Ullrich, S. E. (2008). Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of cereal science*, 48(2), 233-242.
- [4] Mench, M., Lepp, N., Bert, V., Schwitzguébel, J. P., Gawronski, S. W., Schröder, P., & Vangronsveld, J. (2010). Successes and limitations of phytotechnologies at field scale: outcomes, assessment and outlook from COST Action 859. *Journal of Soils and Sediments*, 10, 1039-1070.
- [5] Dietz, A. C., & Schnoor, J. L. (2001). Advances in phytoremediation. *Environmental health perspectives*, 109(suppl 1), 163-168.
- [6] Sossna, M., Hollas, M., Schaper, J., & Scheper, T. (2007). Structural development of asymmetric cellulose acetate microfiltration membranes prepared by a single-layer dry-casting method. *Journal of Membrane Science*, 289(1-2), 7-14.
- [7] Munin, A., & Edwards-Lévy, F. (2011). Encapsulation of natural polyphenolic compounds; a review. *Pharmaceutics*, 3(4), 793-829.
- [8] Arshady, R., & Ledwith, A. (1983). Suspension polymerisation and its application to the preparation of polymer supports. *Reactive Polymers, Ion Exchangers, Sorbents*, 1(3), 159-174.
- [9] Guertin, J. (2004). Toxicity and health effects of chromium (all oxidation states). *Chromium (VI) handbook*, 215-234.
- [10] Chiffolleau, J. F. (1994). Le chrome en milieu marin. *Repères océans*, (8).
- [11] Djeddi, F., & Meftah, L. (2017). *Substitution de collagène-étude paramétriques* (Doctoral dissertation, UMMTO).
- [12] Barnhart, J. (1997). Occurrences, uses, and properties of chromium. *Regulatory toxicology and pharmacology*, 26(1), S3-S7.
- [13] Costa, M. (2003). Potential hazards of hexavalent chromate in our drinking water. *Toxicology and applied pharmacology*, 188(1), 1-5.



- [14] Abraham, T. E. (2001). Biosorption of Cr (VI) from aqueous solution by *Rhizopus nigricans*. *Bioresource technology*, 79(1), 73-81.
- [15] Zongo, I. (2009). Etude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation: application au traitement de deux effluents textiles et d'un effluent simulé de tannerie. *Institut National Polytechnique de Lorraine, Spécialité: Génie des procédés et des produits*, 226.
- [16] JEAN-MARC.B .(2015)CHROME ET SES COMPOSES INERIS - Données Technico-Economiques Sur Les Substances Chimiques ;Rev ;Vol : 1 -104 P
- [17] Marie, D., & Olivier, D. (2005). Evaluation et gestion durisque sanitaire lié au dépassement de la limite de qualité du chrome dans l'eau de distribution
- [18] Chiffolleau, J. F. (1994). Le chrome en milieu marin. *Repères océans*, (8).
- [19] Cardot, C. (1999). Les traitements de l'eau. Procédés physico-chimiques et biologiques, Ed. Ellipse. Paris. *Marketing SA France*, 256.
- [20] W John Thomas, F., & Crittenden, B. (1998). *Adsorption technology and design*. Butterworth-H.
- [21] Janssen, J., Weyens, N., Croes, S., Beckers, B., Meiresonne, L., Van Peteghem, P., ... & Vangronsveld, J. (2015). Phytoremediation of metal contaminated soil using willow: exploiting plant-associated bacteria to improve biomass production and metal uptake. *International journal of phytoremediation*, 17(11), 1123-1136.
- [22] Macci, C., Peruzzi, E., Doni, S., Poggio, G., & Masciandaro, G. (2016). The phytoremediation of an organic and inorganic polluted soil: A real scale experience. *International journal of phytoremediation*, 18(4), 378-386.
- [23] Bert, V., Hadj-Sahraoui, A., Leyval, C., Fontaine, J., & Ouvrard, S. (2012). *Les phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués. État de l'art et guide de mise en œuvre* (pp. 86-p). EDP Sciences ADEME Editions.
- [24] Touvron, V. (2018). Etude de l'impact paysager des projets de phytoremédiation concernant les friches industrielles.
- [25] Chalot, M., Blaudez, D., Rogaume, Y., Provent, A. S., & Pascual, C. (2012). Fate of trace elements during the combustion of phytoremediation wood. *Environmental science & technology*, 46(24), 13361-13369.
- [26] Mahar, A., Wang, P., Ali, A., Awasthi, M. K., Lahori, A. H., Wang, Q., ... & Zhang, Z. (2016). Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 126, 111-121.
- [27] Cheynier, V., & Sarni-Manchado, P. (2006). Structures phénoliques et goût. *Les polyphénols en agroalimentaire*. Lavoisier, 398.

- [28] Bolan, N. S., Park, J. H., Robinson, B., Naidu, R., & Huh, K. Y. (2011). Phytostabilization: a green approach to contaminant containment. *Advances in agronomy*, 112, 145-204.
- [29] Phielers, R., Voit, A., & Kothe, E. (2014). Microbially supported phytoremediation of heavy metal contaminated soils: strategies and applications. *Geobiotechnology I: Metal-related issues*, 211-235.
- [30] Pilon-Smits, E. A. H. (2005). Phytoremediation., Annual Review of Plant Biology.
- [31] Bert, V., Hadj-Sahraoui, A., Leyval, C., Fontaine, J., & Ouvrard, S. (2012). *Les phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués. État de l'art et guide de mise en œuvre* (pp. 86-p). EDP Sciences ADEME Editions.
- [32] Dabouineau, L., Lamy, Y., & Collas, P. (2005). Phytoremédiation et phytorestauration ou l'utilisation des plantes pour la dépollution et l'épuration des eaux usées. *Le rôle d'eau*, 124, 8-15.
- [33] Meharg, A. A. (2011). Trace Elements in Soils and Plants. By A. Kabata-Pendias. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group (2010), pp. 548, US \$159.95. ISBN 9781420093681. *Experimental Agriculture*, 47(4), 739-739.
- [34] Lux, A., Vaculík, M., Martinka, M., Lišková, D., Kulkarni, M. G., Stirk, W. A., & Van Staden, J. (2011). Cadmium induces hypodermal periderm formation in the roots of the monocotyledonous medicinal plant *Merwillia plumbea*. *Annals of Botany*, 107(2), 285-292.
- [35] Azab, E., Hegazy, A. K., El-Sharnouby, M. E., & Abd Elsalam, H. E. (2016). Phytoremediation of the organic Xenobiotic simazine by p450-1a2 transgenic *Arabidopsis thaliana* plants. *International journal of phytoremediation*, 18(7), 738-746.
- [36] Sun, B. Y., Kan, S. H., Zhang, Y. Z., Deng, S. H., Wu, J., Yuan, H., ... & Li, Y. W. (2010). Certain antioxidant enzymes and lipid peroxidation of radish (*Raphanus sativus* L.) as early warning biomarkers of soil copper exposure. *Journal of Hazardous Materials*, 183(1-3), 833-838.
- [37] Toselli, M., Baldi, E., Marcolini, G., Malaguti, D., Quartieri, M., Sorrenti, G., & Marangoni, B. (2009). Response of potted grapevines to increasing soil copper concentration. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 15(1), 85-92.
- [38] Wardlaw, I. F., & Moncur, L. J. F. P. B. (1995). The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling. *Functional Plant Biology*, 22(3), 391-397.
- [39] Oudjani, W. (2009). Diversité de 25 géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.): étude des caractères de production et d'adaptation. *Mémoire de magistère*, 113.
- [40] Stanca, A. M., Gianinetti, A., Rizza, F., & Terzi, V. (2016). Barley: an overview of a versatile cereal grain with many food and feed uses.

- [41] Zeng, Z., Huang, H., Han, N., Huang, C. Y., Langridge, P., Bian, H., & Zhu, M. (2017). Endopolyploidy levels in barley vary in different root types and significantly decrease under phosphorus deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, *118*, 11-21.
- [42] Elahi, A., Arooj, I., Bukhari, D. A., & Rehman, A. (2020). Successive use of microorganisms to remove chromium from wastewater. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *104*, 3729-3743.
- [43] Cite Internet : <https://www.tradeindia.com/fp222342/minolta-chlorophyllmeter.html>
- [44] Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Ruttens, ... & Mench, M. (2009). Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. *Environmental Science and Pollution Research*, *16*, 765-794.
- [45] Vavasseur, A., Peltier, G., Pignol, D., Bourguignon, J., & Coves, J. (2003). Bio-depollution, bio-remediation. *Clefs CEA*, 85-88.
- [46] Daneri-Castro, S. N., Svensson, B., & Roberts, T. H. (2016). Barley germination: spatio-temporal considerations for designing and interpreting 'omics' experiments. *Journal of Cereal Science*, *70*, 29-37.
- [47] Savin, R., Slafer, G. A., Cossani, C. M., Abeledo, L. G., & Sadras, V. O. (2015). Cereal yield in Mediterranean-type environments: challenging the paradigms on terminal drought, the adaptability of barley vs wheat and the role of nitrogen fertilization. In *Crop physiology* (pp. 141-158). Academic Press.
- [48] Harris, L. J., Balcerzak, M., Johnston, A., Schneiderman, D., & Ouellet, T. (2016). Host-preferential *Fusarium graminearum* gene expression during infection of wheat, barley, and maize. *Fungal Biology*, *120*(1), 111-123.
- [49] Blake, T., Blake, V. C., Bowman, J. G., & Abdel-Haleem, H. (2011). Barley feed uses and quality improvement. *Barley: production, improvement, and uses*, 522-531.
- [50] Mekkaoui A., 1989 : Etude De L'influence De La Date Et La Densité De Semis Sur Le Rendement Et Ses Composante D'une Orge (*Hordeum Vulgare* ,L) Variétés Ascad 176 Dans La Région De Batna. Mémoire Ing. Univ. Batna. 69 P.
- [51] Oliveira, L. F., Canevari, N. T., Guerra, M. B. B., Pereira, F. M. V., Schaefer, C. E. G. R., & Pereira-Filho, E. R. (2013). Proposition of a simple method for chromium (VI) determination in soils from remote places applying digital images: A case study from Brazilian Antarctic Station. *Microchemical Journal*, *109*, 165-169.
- [52] Rodier J., 2009-l'analyse de l'eau. Ed. Dunod. P. Paris.
- [53] Nouri, J., Khorasani, N., Lorestani, B., Karami, M., Hassani, A. H., & Yousefi, N. (2009). Accumulation of heavy metals in soil and uptake by plant species with phytoremediation potential. *Environmental Earth Sciences*, *59*, 315-323.

- [54] Xu, J., Zheng, L., Xu, L., & Wang, X. (2020). Uptake and allocation of selected metals by dominant vegetation in Poyang Lake wetland: From rhizosphere to plant tissues. *Catena*, 189, 104477.
- [55] Lorestani, B., Cheraghi, M., & Yousefi, N. (2011). Phytoremediation potential of native plants growing on a heavy metals contaminated soil of copper mine in Iran. *International Journal of Geological and Environmental Engineering*, 5(5), 299-304
- [56] Liu, H., Wang, H., Zhang, Y., Wang, H., Yang, J., Liu, J., & Shi, Y. (2019). Comparison of heavy metal accumulation and cadmium phytoextraction rates among ten leading tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) cultivars in China. *International journal of phytoremediation*, 21(7), 699-706.
- [57] Xinxin, M. O., Siebecker, M. G., Wenxian, G. O. U., Ling, L. I., & Wei, L. I. (2021). A review of cadmium sorption mechanisms on soil mineral surfaces revealed from synchrotron-based X-ray absorption fine structure spectroscopy: Implications for soil remediation. *Pedosphere*, 31(1), 11-27.
- [58] Ahemad, M. (2015). Enhancing phytoremediation of chromium-stressed soils through plant-growth-promoting bacteria. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 13(1), 51-58.
- [59] Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy
- [60] Imtiaz, M., Rizwan, M. S., Mushtaq, M. A., Ashraf, M., Shahzad, S. M., Yousaf, B., ... & Tu, S. (2016). Silicon occurrence, uptake, transport and mechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: a review. *Journal of environmental management*, 183, 521-529.
- [61] Tischner, R. (2000). Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. *Plant, Cell & Environment*, 23(10), 1005-1024.
- [62] Lloyd, J. R. (2002). Bioremediation of metals; the application of micro-organisms that make and break minerals. *interactions*, 2, M2..

## ملخص:

الهدف من عملنا التجريبي هو دراسة تأثير الكروم سداسي التكافؤ على الشعير في وجود البكتيريا الشعاعية ، وقدرتها على امتصاص أو تحويل Cr (VI).

قمنا بزراع أنواع مختلفة من الشعير تم تقسيمها إلى ثلاث مجموعات. الأول كان شعيرًا خاليًا من الكائنات الحية الدقيقة ، والثاني والثالث عبارة عن شعير مع نوعين من البكتيريا الشعاعية ، وتفاوتت حجم الكروم (VI) من 0 إلى 15 مل ، تم تغيير فترة أخذ العينات على مدار 28 يومًا بمتوسط أسبوع واحد لكل عينة. لقد درسنا تطور معدل الكروم (VI) في أجزاء مختلفة من النظام (التربة والجذور والأوراق).

لاحظنا وجود علاقة وثيقة بين تراكيز الكروم في أجزاء النبات والكميات المضافة إلى التربة وفترة الإنبات، ولكن هذا يؤثر سلباً على نمو وتطور الشعير. تُظهر المقارنة بين هذه المعلمات في وجود البكتيريا الشعاعية وغيابها أن النوع 2 له تأثير إيجابي على النبات، حيث أن آلية القضاء على Cr (VI) بواسطة الشعير هي إرجاع مع إمكانية تقليل Cr (VI) و تحويله إلى Cr (III).

**كلمات مفتاحية:** الكروم سداسي التكافؤ ، الشعير، الاكتينوبكتيريا، المعالجة النباتية.

## Abstract:

The aim of our experimental work was to study the effect of hexavalent chromium on barley in the presence of actinobacteria, and their ability to absorb or transform Cr(VI).

We planted a variety of barley which was divided into three groups. The first was barley without microorganisms, the second and the third were barley with two varieties of actinobacteria, the volume of Cr(VI) varied from 0 to 15 ml, the culture period was spread over 28 days with an average of one week per sampling. We have studied the evolution of the rate of Cr(VI) in different parts of the system (soil, roots and leaves).

We noticed a close relationship between the chromium concentrations in the plant parts and the amounts added to the soil and the germination period, although, it's negatively affecting the growth and development of barley. The comparison between these parameters in the presence and in the absence of actinobacteria shows that the second specie has a positive effect on the plant, the mechanism of elimination of Cr(VI) by barley is found to be a translocation with possibility of reduction of Cr(VI) and conversion to Cr(III).

**Key words:** hexavalent chromium, barley, actinobacteria, phytoremediation.

## RESUMÉ :

Le but de notre travail expérimental était d'étudier l'effet du chrome hexavalent sur l'orge en présence d'actinobactérie, et leur capacité d'absorber ou de transformer le Cr(VI).

Nous avons planté une variété d'orge qui a été divisée en trois groupes. Le premier était l'orge sans micro-organismes, le deuxième et le troisième sont de l'orge avec deux variétés d'actinobactéries, le volume de Cr(VI) a été varié de 0 à 15 ml, la période de culture est étalée sur 28 jours par moyenne d'une semaine par prélèvement. Nous avons étudié l'évolution du taux de Cr(VI) dans différentes parties du système (sol, racines et feuilles).

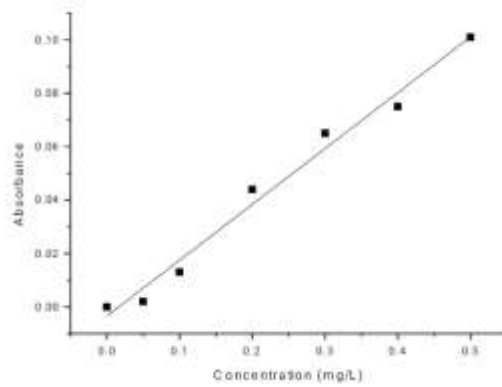
Nous avons remarqué une relation étroite entre les concentrations de chrome dans les parties de la plante et les quantités ajoutées dans le sol et la période de germination, mais cela affecte négativement la croissance et le développement de l'orge. La comparaison entre ces paramètres en présence et en absence d'actinobactérie montre que l'espèce 2 possède un effet positif sur la plante, le mécanisme d'élimination du Cr(VI) par l'orge est trouvé d'être une translocation avec possibilité de réduction du Cr(VI) et transformation en Cr(III).

**Mots clé :** Chrome hexavalent, orge nu, phytoremédiation, actinobactérie.

# **Annex**

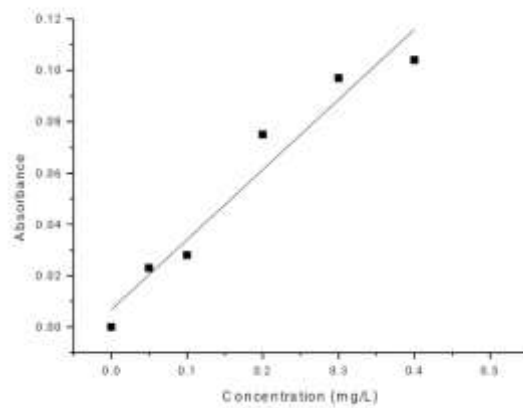
## Annexe : Courbes d'étalonnage

Les courbes d'étalonnage de l'analyse du chrome hexavalent sont représentées dans les

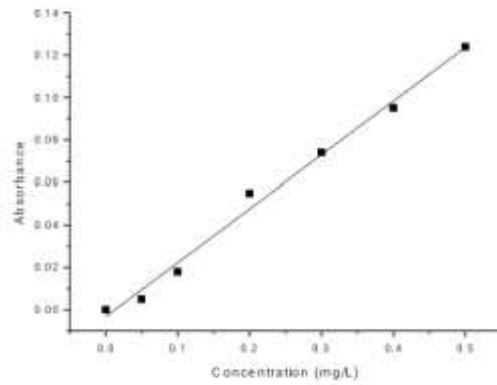


figures suivantes :

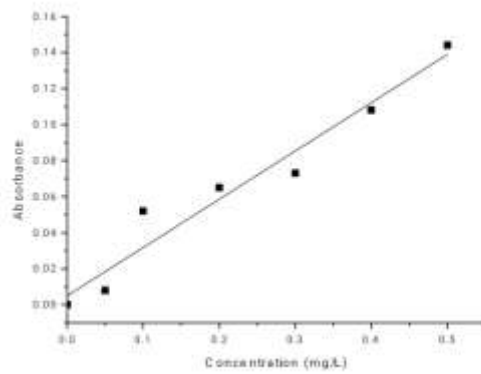
**Figure A1: Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 09/03/2023**



**Figure A2: Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 15/03/2023**

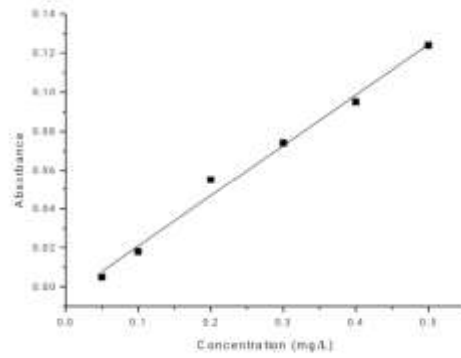


**Figure A3: Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 20/03/2023**

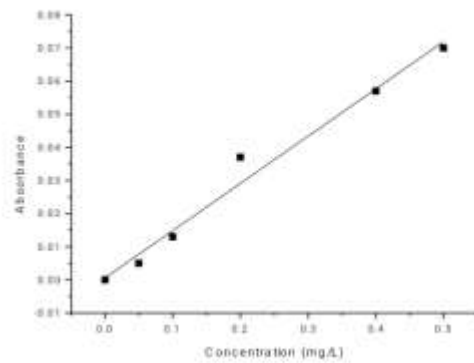


**Figure A4: Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 21/03/2023**





**Figure A5: Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 21/03/2023**



**Figure A6: Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 11/04/2023**