



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة زيان عاشور-الجلفة
Université Ziane Achour –Djelfa
كلية علوم الطبيعة و الحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قسم العلوم الفلاحية و البيطرة
Département des Science Agronomiques et Vétérinaires

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Eau et Environnement

Etude de la phytoremédiation du chrome hexavalent par la plante spontanée *SilybumEburneum*

Présenté par: JAOUAF karima.

Devant le jury composé de :

M. Elahcène Omar	MCA- Université de Djelfa	Président
M. Hachi Mohamed	MCA- Université de Djelfa	Promoteur
M. Hamidi Mohamed	MCA- Université de Djelfa	Co-Promoteur
M. Nedjimi Bouzid	Professeur	Examineur
M. Rebhi A. E. M	MCB- Université de Djelfa	Examineur

Année Universitaire: 2020/2021

Remerciements

*Je remercie **Dieu** de m'avoir donné la santé, le courage, la patience et la force pour avoir terminé ce travail et exaucer les vœux de mon père.*

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidé lors de la rédaction de ce mémoire.

*Je voudrais dans un premier temps remercier, mon directeur de mémoire **M.HACHI MOHAMED**, Qui a été le premier à me faire découvrir le sujet qui a guidé mon mémoire. Et pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.*

*Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers monsieur **HAMIDI**, pour son aide et ses précieux conseils.*

*Je tiens à remercier les membres du jury, Monsieur **Elahcène Omar**, Monsieur **Nedjimi Bouzid** et Monsieur **Rebhi Abdelghani Elmahdaoui** pour la lecture attentive du mémoire ainsi que pour les remarques qu'ils m'adresseront lors de cette évaluation afin d'améliorer le manuscrit.*

*Un très grand et spécial mercîment à mon défunt père **ABD-ELHAMIDE** (que Dieu lui fasse miséricorde).*

Sans oublier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à mes recherches et à l'élaboration de ce mémoire. Enfin, je tiens à remercier ma chère maman, ma petite famille et mes amis pour leur soutien et leur affection continu sans lesquels je ne serais pas arrivé au bout de ce travail.

DIDICACE

Je dédie ce travail

A mes chers parents

À mon promoteur

A mon frère

A mes sœurs

A mes beaux-frères

A mes oncles Mustafa et Mabrouk

A mon ami Zahra Laid

ABREVIATIONS ET ACRONYMES

Cr : Chrome.

Cr(III) : Chrome trivalent.

Cr(VI) : Chrome hexavalent.

Cr²⁺: Chrome bivalent.

Cr³⁺: Chrome trivalent.

Cr⁶⁺: Chrome hexavalent.

As : Arsenic

Cd : Cadmium.

Cu :Cuivre.

Pb :Plomb.

Fe : Fer.

Ni : Nickel.

Zn: Zinc.

ETM: Éléments de Traces Métalliques.

MO: Matière Organique.

µm : Micromètre.

mg/L: Milligramme par litre.

°C: Degré Celsius

g : Gramme

M : Masse Molaire

mg : Magnésium

mg : Milligramme

min : Minute

ml : Millilitre

FT : Facteur De Translocation

FE : Facteur D'enrichissement

FB : Facteur De Bioaccumulation

V:Volume

C : Concentration

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°1: Composés du chrome.....	5
Tableau N°2: Avantages et inconvénients des techniques de dépollution.....	15
Tableau N°3: Domaine d'application de la phytoextraction en fonction de l'état physique de la pollution.....	17
Tableau N°4: Domaine d'application de la phytodégradation en fonction de l'état physique de la pollution.....	17
Tableau N°5: Domaine d'application de la phytostabilisation en fonction de l'état physique de la pollution.....	19
Tableau N°6 : La classification de <i>Silybum Eburneum</i>	20
Tableau N°7: Résultats de l'analyse des solutions standards du chrome hexavalent.....	39
Tableau N°8 : Concentrations et taux en chrome hexavalent dans le sol.....	41
Tableau N°9 : Illustre les valeurs de concentration et de taux du Cr(VI) dans les racines.....	42
Tableau N°10: Concentrations et taux du chrome hexavalent dans les feuilles.....	43
Tableau N°11 : Facteur de bioaccumulation (BF), facteur de translocation (TF) et facteur d'enrichissement (FE).....	45

LISTE DES FIGURES

Figure N° 1: Cycle de contamination du chrome dans les sols et les plans d'eau.....	09
Figure N°2: La dépollution en dehors du site.....	12
Figure N°3: La dépollution sur le site après avoir excavé les terres	12
Figure N°4: La dépollution en place.....	13
Figure N°5: La pollution par confinement.....	13
Figure N°6: Les mécanismes de phytoremédiation.....	16
Figure N°7: <i>Silybum Eburneum</i>	20
Figure N°8: Localisation de la wilaya de Djelfa dans l'Algérie.....	25
Figure N°9: Echantillons de plantes <i>Silybum Eburneum</i> avant traitement.....	27
Figure N°10: Extraction du chrome hexavalent à partir des échantillons de plantes.....	31
Figure N°11: Echantillons de <i>Silybum Eburneum</i> (après 12 jours d'irrigation avec le chrome hexavalent).....	36
Figure N°12: Les échantillons(A) du sol , (B) des racines et (C) des feuilles après 48h de séchage.....	37
Figure N°13: Solution du sol et/ou de plante après filtration et centrifugation.....	38
Figure N°14: Echantillons Après Coloration Par Le 1.5 Diphenylcarbazine.....	39
Figure N°15: Courbe d'étalonnage de l'analyse du chrome hexavalent.....	40
Figure N°16 : Les différents résultats de concentration en chrome hexavalent dans les différents échantillons.....	44
Figure N°17 : Résultats de taux en chrome hexavalent dans les différents échantillons.....	44
Figure N°18 : Résultats des facteurs de bioaccumulation (BF), facteur de translocation (TF) et facteur d'enrichissement (FE).....	45

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

INTRODUCTION GENERALE..... 1

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I: POLLUTION DES SOLS PAR LE CHROME

HEXA VALENT

1.1. Introduction	3
1.2. Les sources du chrome.....	3
1.2.1. Les sources naturelles.....	3
1.2.2. Les sources anthropiques.....	3
1.3. Spéciation du chrome dans l'environnement et utilisation	4
1.3.1. Le chrome trivalent (Cr(III)).....	4
1.3.2. Le chrome hexavalent(VI).....	4
1.4. Présence dans l'environnement.....	5
1.4.1. Phénomènes d'oxydoréduction.....	5
1.4.1.A. Oxydation du Cr(III).....	6
1.4.1.B. Réduction du Cr(VI).....	6
1.5. Les mécanismes de transport des rejets industriels vers le sol.....	6
1.5.1. Par ruissellement.....	6
1.5.2. Par infiltration.....	7
1.5.3. Par volatilisation.....	7
1.6. Toxicité du chrome	7
1.6.1. Chez l'homme et les animaux	8
1.6.2. Chez les végétaux.....	8
1.7. Normes de rejets des eaux usées industrielles.....	9
1.8. Conclusion.....	10

CHAPITRE II:REMEDIATION DES SOLS POLLUÉS PAR LE CHROME.

2.1. Introduction.....	10
2.2. Remédiation des sols contaminés par le chrome.....	10
2.2.1. Classement selon la nature du processus.....	11
2.2.1.1.Procédés physiques.....	11
2.2.1.2.Procédés thermiques.....	11
2.2.1.3.Les procédés chimiques	11
2.2.1.4.Procédés biologiques.....	11
2.2. 2.Clasement Selon le lieu du traitement.....	11
2.2.2.1.Traitements hors site (ex situ).....	11
2.2.2.2. Traitements sur site (on site).....	12
2.2.2.3. Traitements in site (en place).....	12
2.2.2.4. Confinement.....	13
2.2.3.Clasement selon le devenir des polluants.....	13
2.2.3.1. Immobilisation.....	13
2.2.3.2.Modification du polluant	13
2.2.3.3.Modification du milieu récepteur.....	14
2.2.3.4.Destruction.....	14
2. 3.Le choix du procédé dépend.....	14
2.3.1. Le coût d'investissement	14
2.3.2.Le niveau de pollution	14
2.3.3. La nature du sol	14
2.3.4. Les contraintes liées au site.....	14
2.3.5. La génération de pollution secondaire.....	14
2.4. Les avantages et inconvénients des techniques de dépollution.....	14
2.5.La phytoremédiation du chrome hexavalent.....	16
2.5.1.Définition de la phytoremédiation.....	16
2.5.2. Les différents mécanismes de phytoremédiation.....	16
2.5.2.1. Phytoextraction.....	17
2.5.2.2. Phytodégradation.....	17
2.5.2.3.Phytovolatilisation.....	18
2.5.2.4. Phytotransformation.....	18

5.2.5. Phytofiltration.....	18
2.5.2.6. Phytostabilisation.....	18
2.5.3. Choix des espèces végétales phytoremédiation.....	19
2.6. Présentation de l'espèce utilisée pour la phytoremédiation du chrome hexavalent (<i>Silybum Eburneum</i>).....	20
2.6.1. Morphologie.....	20
2.6.2. La classification.....	20
2.6.3. Cycle de vie	21
2.7. Conclusion.....	21

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III: MATERIEL ET METHODES.

3.1. Introduction.....	23
3.2. Matériel.....	23
3.2.1. Objectif.....	23
3.2.2. Matériel utilisé	23
3.2.2.1. Verreries	23
3.2.2.2. Appareillage.....	23
3.2.2.3. Produits.....	24
3.2.2.4. Autres.....	24
3.2. Précautions de sécurité	25
3.3. Méthodes.....	25
3.3.1. Présentation de la zone d'étude.....	25
3.3.2. Situation géologique de la wilaya de Djelfa.....	25
3.3.3. Relief.....	26
3.3.4. Climat.....	26
3.3.5. Prélèvement de <i>Silybum Eburneum</i>	26
3.3.6. Description du mode opératoire de l'addition du chrome.....	28
3.3.7. Prélèvement.....	28
3.3.8. Remarque	28
3.3.9. Préparation des échantillons.....	28
3.3.9.1. Séchage.....	29

3.3.9.1.1. Sol.....	29
3.3.9.1.2. Racines et feuilles	29
3.3.8.2. Emottage des agrégats.....	29
3.3.9.3.Tamisage.....	29
3.3.10. Préparation des solutions réactives.....	29
3.3.10.1. Une solution de carbonate de sodium.....	29
3.3.10.2. Une solution d'hydroxyde de sodium.....	29
3.3.10.3. Préparation d'une solution d'acide sulfurique	30
3.3.10.4. Préparation D'une Solution Acide De 1.5-Diphenylcarbazide.....	30
3.3.10.5. Solution mère du chrome hexavalent a 1g/L.....	30
3.3.10.6. Solution fille étalon de chrome à 5 mg/L.....	30
3.3.11. Extraction du chrome hexavalent.....	30
3.3.11.1.Extraction du chrome hexavalent depuis les échantillons du sol.....	30
3.3.11.2. Extraction du chrome hexavalent a partir des échantillons de plantes.....	31
3.3.11.3. Filtration et centrifugation des échantillons liquides.....	31
3.3.12. Dosage du chrome hexavalent dans les solutions.....	32
3.3.12.1 Principe.....	32
3.3.12.2. Établissement de la courbe d'étalonnage.....	32
3.3.12.3. Dosage du chrome hexavalent dans les échantillons de sol et de plantes.....	33
3.3.13.Détermination des concentrations et des taux en chrome hexavalent dansles échantillons	33
3.3.13.1 Calcul des concentrations	33
3.3.13.2 Calcul des taux.....	33
3.3.14. Détermination des facteurs caractérisant la phytoremédiation.....	33
3.3.14.1. Facteur de bioaccumulation (FB).....	33
3.3.14.2. Facteur de translocation (FT).....	34
3.3.14.3. Facteur d'enrichissement (FE).....	34

CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Introduction.....	35
4.2. Prélèvement, préparation et analyse des échantillons de plante <i>Silybum Eburneum</i>	35
4.2.1. Prélèvement des échantillons de plante et de sol	35
4.2.2 Préparation des échantillons de plante et de sol	37
4.3. Extraction du chrome hexavalent a partir des échantillons du sol et de plante.....	38
4.3.1. Elaboration de la courbe d'étalonnage.....	39
4.4. Analyse du chrome hexavalent dans les solutions du sol et/ou de plante	40
4.5. Détermination des concentrations et des taux en chrome hexavalent dans les échantillons	40
4.5.1. Concentration et taux du Cr(VI) dans le sol	41
4.5.2. Concentration et taux du Cr(VI) dans les racines	42
4.5.3. Concentration et taux du Cr(VI) dans les feuilles	43
4.6. Facteurs de caractérisation du phénomène de phytoremédiation	46
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	48
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	49
RESUME.....	53

***INTRODUCTION
GENERALE***

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

La pollution par les métaux lourds est devenue un danger extrême pour l'environnement et la santé publique car les concentrations rejetées dans l'environnement par les procédés industriels dépassent souvent les niveaux admissibles. En raison de leurs propriétés de bioaccumulation et de persistance, les métaux lourds constituent un groupe d'intérêt de polluants (Vutukuru SS et al 2007).

Récemment, l'inquiétude concernant le Cr en tant que polluant environnemental s'est intensifiée en raison de son accumulation à des niveaux toxiques dans l'environnement à la suite de diverses activités industrielles. Le chrome est l'un des métaux toxiques largement répandus dans la nature. Souvent sous deux formes principales, le chrome trivalent et le chrome hexavalent, ce dernier est considéré comme la plus grande menace en raison de sa solubilité élevée, de sa capacité à pénétrer les membranes cellulaires et de sa forte capacité oxydative (Shankera et al 2005).

Dans la région de Djelfa, la principale source de pollution par le chrome hexavalent est la tannerie. Cet établissement a été créé en 1973 pour la transformation du cuir, cependant cette transformation provoque un rejet d'eau polluée chargée en déchets solides, matières organiques, sels utilisés pour la conservation des peaux et les excès de produits chimiques qui ne sont pas fixés sur la peau. En plus des effluents liquides, la tannerie génère plus de 570,5 kg / jour de déchets solides chargés de chrome hexavalent (Korichi, 2019).

Le chrome rejeté dans l'air, l'eau et le sol peut être transporté entre les divers milieux environnementaux par le biais de divers processus de transport intermédiaire. Une fois dans l'environnement, le chrome peut être absorbé par l'homme et d'autres récepteurs écologiques. Le chrome (VI) est fortement absorbé par les membranes cellulaires. Étant donné que la majeure partie de la biosphère est réductrice pour le chrome (VI), sa toxicité élevée, même à de faibles concentrations, entraîne des effets néfastes cumulatifs (Gao et al, 2007). La toxicité humaine comprend le cancer du poumon, les lésions hépatiques, rénales et gastriques, ainsi que l'irritation et la sensibilité épidermiques. La toxicité pour les plantes comprend des changements dans le processus de germination ainsi que dans la croissance des racines, des tiges et des feuilles. Elle peut entraîner la mort en cas d'ingestion à fortes doses (A. Leonard, R. R. Lauwerys ; 1980).

INTRODUCTION GENERALE

Il est donc impératif que des mesures correctives soient prises pour empêcher le chrome hexavalent de pénétrer dans les milieux terrestres, aériens et aquatiques et pour atténuer la pollution des sols (Gerhardt et al, 2017). À ce jour, diverses méthodes de traitement ont été développées pour restaurer les sols contaminés par des métaux lourds. Ces mesures sont principalement basées sur des techniques mécaniques ou physico-chimiques, telles que l'incinération du sol, le forage, la mise en décharge, le lavage du sol, la solidification et l'application dans le domaine électrique (Sheoran et al, 2011). Cependant, il existe des limites signalées concernant ces méthodes physico-chimique, telles que le coût élevé, l'inefficacité lorsque les polluants sont présents en faibles concentrations et les changements irréversibles des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, conduisant à la dégradation de l'écosystème du sol et l'introduction de pollution secondaire (DalCorso et al., 2019). Par conséquent, il est nécessaire de développer des technologies de traitement à la fois rentables, efficaces et respectueuses de l'environnement pour remédier les sols contaminés par le chrome hexavalent.

Les plantes ont longtemps été une source d'énergie, puis elles ont été appréciées pour leurs aspects esthétiques et thérapeutiques. Ce n'est que récemment que les chercheurs ont découvert l'importance de leur capacité exceptionnelle à stocker, dégrader ou accumuler des polluants, tels que les éléments métalliques (K. Cho-ruk et al ,2006).

De nombreux types de plantes ont réussi à absorber le Cr (VI) du sol. Les capacités d'élimination sont variables selon l'espèce et la teneur en métal dans le sol. Selon les travaux de Korichi (2019), l'espèce *Silybum Eburneum* a une forte capacité d'accumulation du chrome hexavalent. Pour cette raison, nous avons testé la capacité de cette espèce d'accumuler le chrome hexavalent dans des conditions contrôlées.

Tout d'abord, nos travaux ont commencé par un aperçu théorique de la source et des transformations du Cr(VI) dans le sol, suivi par une étude de son impact sur la santé humaine, animale et végétale. En deuxième lieu, nous avons effectué une description des méthodes utilisées pour lutter contre ce problème, dont la plus importante est la phytoremédiation. La troisième partie est consacrée à la méthodologie des expérimentations effectuées, ce qui contient l'échantillonnage des plantes, la culture en présence du Cr(VI), et la détermination des taux de chrome dans les plantes et les sols. Cette partie a été suivie par une partie de résultats et discussions et une conclusion générale avec perspectives.

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I
POLLUTION DU SOL PAR
LE CHROME
HEXAVALENT

1.1. Introduction:

Le chrome a été découvert dans l'Oural à Beresovsk dans du minerai de plomb rouge (crocoïte) à la fin du XVII^{ème} siècle par le chimiste français Nicolas Louis Vauquelin (1763-1829) (Trifi, 2012). Ce métal fut nommé ainsi à cause des couleurs éclatantes qu'il donne à certains de ses composés (khrôma en grec signifie couleur). Le chrome fut utilisé au début du XIX^{ème} siècle dans les procédés de pigmentation aux bicarbonates, mis au point par Alphonse Louis Poitevin, pour la photographie. Le chrome a aujourd'hui trouvé un grand nombre d'applications industrielles qui exploitent ses couleurs mais aussi un grand nombre de ses autres qualités qui sont la solidité, la dureté et la résistance à la corrosion. Il n'est pas surprenant, compte tenu de ses qualités, que de grandes quantités de chrome soient utilisées dans différents procédés industriels et qu'en conséquence de grandes quantités de déchets chromés soient produites et éventuellement rejetées dans l'environnement. Bien que le chrome en très faible quantité, soit essentiel pour la vie humaine, l'exposition répétée et régulière aux composés chromés peut entraîner des effets néfastes sur la santé. Par ailleurs, les quantités très importantes de chrome rejetées par certaines activités industrielles présentent aussi un réel danger pour les écosystèmes (Stellman, 2000).

1.2. Sources du chrome:***1.2.1. Sources naturelles:***

Le chrome est le 21^{ème} élément le plus abondant dans les roches de la croûte terrestre avec une concentration moyenne de 100 mg/kg de roche. Il est largement présent dans les roches ignées Jusqu'à 3400 mg/kg) où il est souvent en substitution du fer (rayons ioniques très proches: Fe(III) = 0,067 nm et Cr(III) = 0,064 nm). Le chrome (III) remplace Fe³⁺ ou Al³⁺ dans d'autres minéraux comme les tourmalines, micas et grenats. Les traces de chrome présentes dans ces minéraux sont souvent responsables de leur couleur: le vert de l'émeraude ou le rouge du rubis (Alloway, 1995). L'altération et l'érosion de ces roches est une source importante de libération du chrome dans l'environnement.

1.2.2. Sources anthropiques:

Les industries utilisant le chrome sont multiples. Le chrome est, le plus souvent, extrait d'un minerai de type oxyde mixte FeCr₂O₄ : la chromite. Dans l'eau, la forme trivalent et hexavalent du chrome coexistent à une concentration comprise entre 1 et 10 µg/l. Pour le chrome VI, les rejets industriels sont la principale cause (Loyaux-La WS., 1999).

Le chrome est utilisé dans l'industrie chimique (en tant que catalyseur ou pour produire d'autres composés chromés), le secteur des traitements de surface métalliques ou plastiques, l'industrie du bois (conservation), la fabrication de pigments et colorants (teintures, peintures, cosmétiques, céramiques,...), le tannage du cuir, la fabrication de bandes magnétiques ou encore la fabrication de vitamines. Sous certaines conditions environnementales, le chrome III peut se transformer en chrome VI et inversement (Alloway, 1995).

1.3. Spéciation du chrome dans l'environnement et utilisation :

Le chrome est un élément métallique naturel de la croûte terrestre. Possède neuf états d'oxydation de -2 à +6, mais seules deux formes sont stables: [Cr(III)] et [Cr(VI)]. Ces deux formes du chrome ont une toxicité et des propriétés chimiques différentes (Fendorf, 1995). Les états les plus stables sont +3 et +6 dits trivalents et hexavalent, sont retrouvés de manière significative dans l'environnement (CERTU, 2007).

1.3.1. Chrome trivalent (Cr(III)):

Il est présent sous forme cationique stable en conditions réductrices. Dans les conditions physico-chimiques des sols, le chrome trivalent est présent sous plusieurs formes: Cr^{3+} , $\text{Cr}(\text{OH}_2^+)$, $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$ et $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Dans les sols, le Cr(III) est peu mobile et peu disponible, étant donné sa faible solubilité ($K_s(\text{Cr}(\text{OH})_3) = 6,7 \times 10^{-31}$) (Oze et al., 2007). Il représente un micronutriment essentiel pour la synthèse de l'acide Cr(III)-picolinique, indispensable dans le métabolisme du sucre humain (Barlett et James, 1996).

1.3.2. Chrome hexavalent(VI) :

Le chrome est l'un des métaux les plus largement employés dans l'industrie grâce à la solidité (Gode. F et al., 2005) La forme hexavalent du chrome est un oxy-anion, il est présent sous plusieurs formes ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, HCrO_4^- et CrO_4^{2-}). Cette forme est connue d'être la plus toxique, réactive et soluble dans l'eau. Cette solubilité lui confère une grande mobilité dans les écosystèmes (Torresdey et al, 2000). Le chrome peut être libéré dans l'environnement par diverses industries, y compris l'industrie du finissage des métaux, la sidérurgie et la production de produits chimiques inorganiques (Gao et al, 2007).

Comme d'autres métaux de transition, il existe de nombreux composés du chrome suivant le nombre de valences. Les plus importants sont les composés de l'état II (chromeux),

de l'état III (chromiques) et de l'état VI (chromates)(Tableau 1) ; l'état II est basique, l'état III est amphotère et l'état VI est acide et basique. Cependant seuls les états d'oxydation (III) et (VI) sont présents dans l'environnement. En effet, l'état chromeux Cr (II) est instable et passe facilement à l'état chromique Cr (III) par oxydation. Cette instabilité limite l'utilisation des composés chromeux. Les composés chromiques, par contre, sont très stables (Trifi, 2012).

Tableau N°1: Composés du chrome.

Composés du Cr(III)	Composés du Cr(VI)
Sulfate de chrome basique $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$	Chromate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4$
Acétate de chrome $\text{Cr}(\text{OCOH})_3$	Dichromate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
Chlorure de chrome CrCl_3	Chromate de baryum BaCrO_4
Hydroxyde de chrome $\text{Cr}(\text{OH})_3$	Chromate de calcium CaCrO_4
Nitrate de chrome $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$	Chlorure de chrome Cr Cl
Oxyde de chrome Cr_2O_3	Trioxyde de chrome CrO_3
Perchlorate de chrome $\text{Cr}(\text{ClO}_4)_3$	Chlorure de chromyle CrO_2Cl_2
Phosphate de chrome CrPO_4	Chromate de plomb PbCrO_4
Sulfate de chrome $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$	Rouge de chromate, de molybdate et de sulfate de Pb
Chromite $\text{Cr}_2\text{O}_3.\text{FeO}$	$\text{PbMoO}_4.\text{PbCrO}_4.\text{PbSO}_4$
Chromate de nickel NiCrO_4	Chromate de potassium K_2CrO_4
Sulfate de chrome et de potassium $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$	Dichromate de potassium $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
	Chromate de sodium Na_2CrO_4
	Dichromate de sodium $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
	Chromate de strontium SrCrO_4
	Chromate de zinc ZnCrO_4

1.4. Présence du chrome dans l'environnement :

1.4.1. Phénomènes d'oxydoréduction :

Le devenir et la mobilité du chrome dans les sédiments de surface sont en partie contrôlés par des réactions redox. Les couples redox qui sont généralement soupçonnés d'avoir un impact sur la spéciation redox du Cr sont: $\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}$, $\text{Mn}(\text{IV}) / \text{Mn}(\text{II})$ [y compris les espèces métastables $\text{Mn}(\text{III})$], $\text{NO}_3^- / \text{N}_2$, $\text{NO}_3^- / \text{NO}_2^-$, $\text{Fe}(\text{III}) / \text{Fe}(\text{II})$ et $\text{SO}_4^{2-} / \text{HS}$.

A. Oxydation du Cr(III) :

Dans les sédiments, et plus particulièrement à proximité de l'interface eau-sédiment, de nombreux oxydants sont potentiellement capables d'oxyder le Cr(III) en Cr(VI). Cependant, il a été prouvé que l'oxygène dissous n'est pas un oxydant actif en raison d'une cinétique d'oxydation lente (Schroeder et Lee, 1975). Les nitrates et les nitrites ne sont jamais cités comme oxydants potentiels bien que des réactions redox semblent thermodynamiquement possibles pour ces deux espèces. Concernant les sulfates, sa réduction par Cr(III) n'est pas envisageable thermodynamiquement. Enfin, seuls les (hydr)-oxydes de manganèse (Fendorf, 1995) semblent capables d'oxyder de manière significative les espèces Cr(III) présentes à la fois dans les phases liquide et solide.

- a. Oxydation par l'oxygène dissous.
- b. Oxydation par les (hydr)-oxydes de manganèse.
- c. Le rôle du cycle du manganèse dans les sédiments de surface.
- d. Activité bactérienne.

B. Réduction du Cr(VI) :

Dans les systèmes naturels, on identifie les principaux réducteurs du Cr(VI) comme étant les porteurs de Fe(II) ou les ions ferreux en solution, les composés soufrés réducteurs et les composés organiques tels que les acides fulviques et humiques. De plus, la réduction du Cr(VI) peut également avoir lieu par des voies biologiques ou photochimiques.

1.5. Mécanismes de transport des rejets industriels vers le sol :

Il existe plusieurs mécanismes de transfert du chrome vers les couches du sol, on peut citer entre autres, le ruissellement, l'infiltration et la volatilisation.

1.5.1. Par ruissellement :

Le ruissellement est en grande partie responsable du départ des produits vers les eaux superficielles. Il est lié à la conjonction de plusieurs facteurs favorables à sa mise en place tels que la topographie, l'intensité des précipitations, la nature et la structure du sol, la nature du couvert végétal. Le transfert des rejets industriels par ruissellement peut s'opérer soit en solution, c'est-à-dire sous forme dissoute, soit par l'intermédiaire des matières en suspension dans l'eau.

1.5.1. Par infiltration:

C'est le transfert vertical dans le sol, dit encore lixiviation, est à l'origine de la contamination de sol et la nappe souterraine.

1.5.2. Par volatilisation:

Est le passage des substances du sol, de l'eau ou des végétaux vers l'atmosphère. Ce phénomène dépend des propriétés physico-chimiques des molécules (constante de volatilisation ou constante de Henry), des conditions climatiques (vent, température de l'air) et des pratiques agricoles (incorporation ou non des produits dans les couches superficielles des sols).

La présente étude se focalise sur l'évolution des concentrations de pesticides et matières en suspension (MES) lors du ruissellement, sans réalisation de bilan de matière à l'échelle du bassin versant.

1.6. Toxicité du chrome :

La forme trivalent (Cr (III)) et hexavalent (Cr(VI)) n'ont pas la même toxicité, et agissent différemment sur les organismes. Le chrome (III) est un nutriment essentiel pour l'homme, par contre le chrome (VI) est très toxique et présente divers conséquences sur la santé, sur la faune et la flore (Shanker et A. K et al, 2005). Les effets néfastes connus du chrome hexavalent sur la santé sont la nécrose du foie, les allergies cutanées et le cancer des poumons (Leonard A, Lauwerys R. R; 1980). Ces maladies résultent souvent de l'ingestion des sels de chrome par voie orale, d'une simple dose de chrome hexavalent à 10mg/kg de poids corporel (Figure N° 01).

Les composés hexavalent du chrome sont absorbés plus facilement que les composés trivalents. Les données chez l'animal suggèrent une absorption pulmonaire de 53 à 85 % et de 5 à 30 % pour les particules inhalables de Cr(VI) et de Cr(III) respectivement (Barceloux ,D.G ;1999).

1.6.1. Chez l'homme et les animaux:

Le chrome (trivalent) est un nutriment essentiel qui aide le corps à utiliser le sucre, les protéines et les graisses.

En outre, l'inhalation de niveaux élevés de chrome (hexavalent) peut provoquer une irritation de la muqueuse du nez, des ulcères et un écoulement nasal, ainsi que des problèmes respiratoires tels que l'asthme, la toux et l'essoufflement. Les concentrations de chrome dans l'air qui peuvent provoquer ces effets peuvent varier pour les différents types de composés du chrome, sachant que les effets se produisent à des proportions légèrement inférieures dans le cas du chrome (hexavalent) par rapport à ceux dans le cas du chrome (trivalent)(Marie,2011).

Les principaux problèmes de santé observés chez les animaux après avoir consommé exposés du chrome (hexavalent) sont l'irritation et les ulcères de l'estomac et de l'intestin grêle et l'anémie. Les composés de chrome (trivalents) sont beaucoup moins toxiques et ne semblent pas causer ces problèmes (Bourrelier et Berthelin, 1998).

Le contact cutané avec certains composés du chrome (hexavalent) peut également provoquer des ulcères cutanés. Certaines personnes présentent une hypersensibilité au chrome (hexavalent) ou au chrome (trivalent). Des réactions allergiques ont été observées, notamment une rougeur et un gonflement sévères de la peau (Shanker et al., 2005).

1.6.2. Chez les végétaux :

Le chrome ne semble pas être essentiel à la vie des plantes. Sa toxicité vis-à-vis du règne végétal est rare dans les systèmes naturels. Certaines plantes poussent sur des sites hautement contaminés en chrome. Certains auteurs s'accordent à dire qu'il n'y a pas d'absorption du chrome par les végétaux ou seulement une absorption racinaire sans passage vers les autres parties de la plante (Losi et al. 1994).

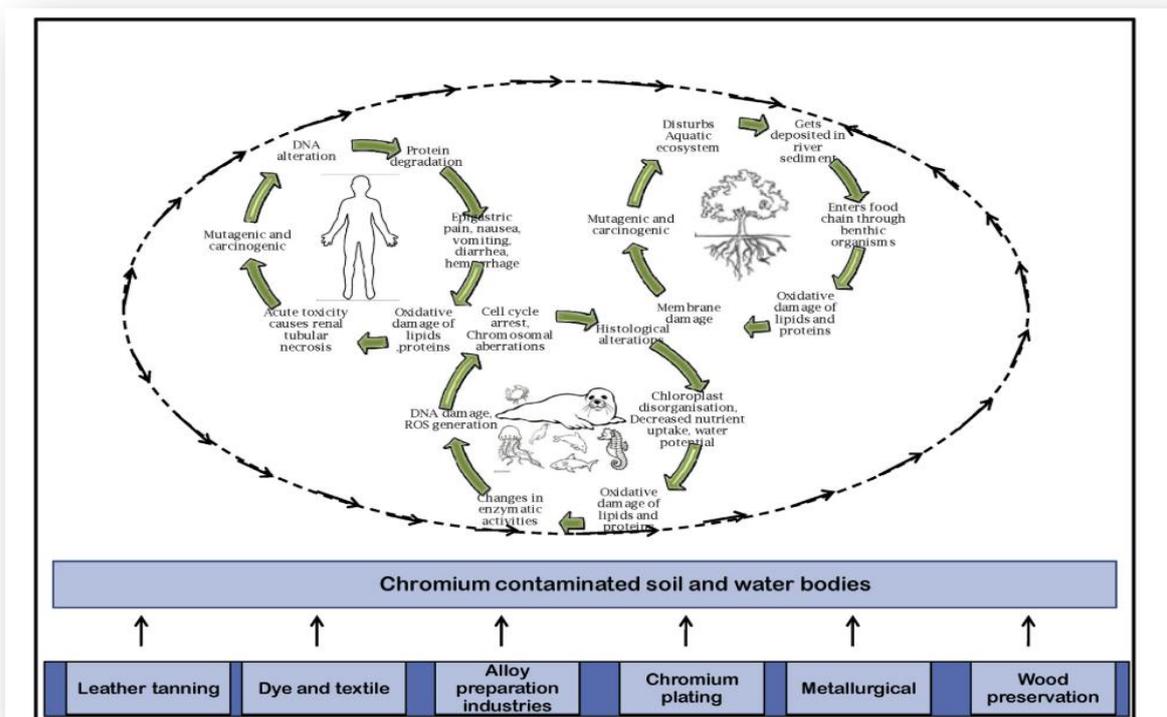


Figure N°01 : Cycle de contamination du chrome dans les sols et les plans d'eau (Korichi, 2019).

1.7. Normes de rejets des eaux usées industrielles :

Tous les rejets ne sont pas synonymes de pollution : lorsque les substances sont éliminées par les capacités naturelles d’auto-épuration du milieu, elles n’ont pas de conséquence sur l’environnement ou la santé. Mais à cause de toxicité élevée du chrome hexavalent, sa concentrations ne doivent pas dépasser certains seuils limites :

- Dans les eaux usées, le décret exécutif N°36 du 21/juin/2009 limite la valeur maximale de la teneur en chrome hexavalent des eaux usées à 0,1mg/L. Tandis que cette valeur est de l’ordre de 2 mg/L pour le chrome trivalent (JORADP,2009).
- Dans l’eau potable, l’organisation mondiale de la santé a proposé en 1993 une concentration limite de Cr total de l’ordre de 50 µg/L.
- Dans l’eau d’irrigation, les directives recommande une concentration limite de 8 µg L-1 afin de protéger les plantes des effets nocifs du Cr(VI) (Pawlisz et al., 1996).
- Dans le sol, les teneurs maximales du chrome dans le sol sont respectivement de 150 mg/kg de sol sec (NF U44-041, France 1985) et de 200 mg/kg de sol sec.

1.8. Conclusion :

Le chrome hexavalent est l'un des éléments les plus employés dans l'industrie grâce à la solidité, la dureté et la résistance à la corrosion qui le caractérise, Il a des effets négatif sur la faune, la flore et la santé humain. L'environnement est menacé par cet élément car il est toxique et il contamine les sols ainsi que les eaux, Pour ces raisons, son élimination est d'une grande importance socio-économique.

CHAPITRE II
REMEDIATION DES SOLS
POLLUÉS PAR Cr(VI)

2.1. Introduction:

Les milieux aquatiques ont une capacité d'auto-épuration limitée, sont naturellement capables d'intégrer ou éliminer une certaine quantité de chrome hexavalent sans qu'elles n'aient d'impacts sur leur fonctionnement. Ce phénomène repose sur divers mécanismes chimiques et/ou biologiques, dont l'efficacité est liée aux organismes vivants dans le milieu, mais aussi à des paramètres tels que la température ou la quantité d'oxygène dissous (Baylar et al., 2010). Toutefois, le chrome hexavalent introduit dans le milieu ne peut pas être éliminé naturellement, Parce que Cr(VI) est peu ou pas biodégradable, et les capacités d'auto-épuration des milieux sont limitées. En raison de son effet toxique sur les organismes vivants, avec comme conséquence de réduire fortement le phénomène d'auto-épuration global (Khdhiri H et al, 2014).

Le phénomène d'auto-épuration n'est plus suffisant, parce que le chrome hexavalent s'accumule rapidement dans le sol en raison des diverses activités humaines (industrielles). Comme il est peu biodégradable, et d'une toxicité élevée, il représente une grave menace pour la santé humaine et l'écosystème. Par conséquent, l'assainissement des terres contaminées par celui-ci est d'une importance sociale et économique primordiale. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées, dont l'efficacité dépend de la teneur en chrome.

La dépollution des sols contaminés peut être réalisée sur site, hors site ou in situ. Cela comporte des traitement chimiques (oxydo-réduction ou chélation) et/ou de processus physiques, tel que l'incinération, ou des processus biologiques à savoir la phytoremédiation (Sheoran et al., 2011).

2.2. Remédiation des sols contaminés par le chrome:

Le but de la dépollution des sols est de restituer les sites dans un état aussi proche que possible de l'état antérieur à la pollution. En outre, la ou les techniques de traitement des sols ne doivent pas être plus polluantes que le résultat de la dépollution. C'est-à-dire qu'il ne doit pas y avoir de transfert de pollution (Perch et G.T., 2008). Ce qui signifie désigne l'élimination des pollutions et des contaminations des milieux ambiants tels les sols, les nappes phréatiques, les sédiments ou les eaux de surface. Les enjeux de la dépollution sont souvent financiers, mais aussi d'intérêt général (protection de la santé publique et de l'environnement, ou par exemple dans le cas d'un site industriel ou commercial désaffecté, la réutilisation) (Guelton, S.1999). La dépollution doit généralement remplir un ensemble de

normes législatives ou sur l'évaluation des risques sanitaires et écologiques. Il existe de nombreux procédés de dépollution des sols et des eaux souterraines. Elles peuvent être classées comme suit:

2.2.1. Classement selon la nature du processus :

2.2.1.1. Procédés physiques :

Le principe consiste à utiliser des fluides (eau ou gaz), présents dans le sol ou injectés, comme vecteur pour transporter la pollution vers des points d'extraction ou pour l'immobiliser (Rebhi,2019).

2.2.1.2. Procédés thermiques :

Ils utilisent la chaleur pour détruire le polluant (ex : incinération), l'isoler (ex : désorption thermique, thermolyse, etc.), ou le rendre inerte (ex : vitrification, etc.) (Rebhi,2019).

2.2.1.3. Les Procédés chimiques :

Ils utilisent les propriétés chimiques des polluants pour, à l'aide de réactions appropriées, les rendre inertes (précipitation, etc.), les détruire (oxydation, etc.) ou les séparer du milieu pollué (surfactants, etc.) (Rebhi,2019).

2.2.1.4. Procédés biologiques :

Ils consistent à utiliser des micro-organismes, le plus souvent des bactéries (mais aussi des champignons et des végétaux), pour favoriser la dégradation totale ou partielle des polluants. Certains bioprocédés permettent aussi de fixer ou de solubiliser certains polluants (Rebhi,2019).

2.2.2. Classement selon le lieu du traitement :

Il en existe 4 types de méthodes :

2.2.2.1. Traitements hors site (ex situ) :

Excavation/extraction du milieu pollué (déchet, terre, eau) et évacuation vers un centre de traitement adapté (incinérateur, centre d'enfouissement technique,..Etc.) (Hakim A.B ;2015).



Figure N°02 : La dépollution en dehors du site (Rebhi, 2019).

2.2.2.2. Traitements Sur Site (on site) :

Excavation des terres ou des eaux polluées et traitements sur le site même (Hakim A.B ;2015).



Figure N°03: La dépollution sur le site après avoir excavé les terres (Rebhi, 2019).

2.2.2.3. Traitements in site (en place):

Traitement sans excavation : le sol et les eaux souterraines sont laissés en place. Il s'agit alors soit d'extraire le polluant seul, soit de le dégrader ou de le fixer dans le sol (Hakim A.B ;2015).



Figure N°04: La dépollution en place (Rebhi, 2019).

2.2.2.4. Confinement :

Il consiste à empêcher ou limiter la migration des polluants (Hakim A.B ;2015).



Figure N°05: La dépollution par confinement (Rebhi, 2019).

2.2.3. Classement selon le devenir des polluants :

2.2.3.1. Immobilisation : Elle met en jeu des techniques qui permettent de modifier la mobilité et / ou la toxicité des polluants par deux types de processus (Rebhi, 2019).

2.2.3.2. Modification du polluant :(changement du comportement, de la toxicité) en agissant sur le niveau d'oxydoréduction, la complexation, la précipitation (Rebhi, 2019).

2.2.3.3. Modification du milieu récepteur: Réduction de la perméabilité et de la porosité: par solidification ou stabilisation, par confinement (Rebhi, 2019).

2.2.3.4.Destruction :(totale ou partielle) par les procédés chimiques, thermiques, physiques et biologiques précédemment cités (Rebhi, 2019).

2.3. Le Choix du procédé dépend:

Il existe plusieurs paramètres qui contrôlent le choix de la méthode de dépollution :

2.3.1.Le Coût d'investissement : Les procédés chimiques semblent être plus coûteux par rapport aux méthodes physiques et biologiques (Rebhi, 2019).

2.3.2.Le Niveau de pollution : Les sols et/ou les eaux contiennent-ils une grande quantité de polluant ou non ? (Rebhi, 2019).

2.3.3. La nature du sol : On ne dépolluera pas de la même façon du sable et de l'argile.

2.3.4.Les contraintes liées au site : Le site est-il suffisamment grand pour accueillir une installation de dépollution ? Le site doit-il être libéré rapidement ? Faut-il excaver des terres pour les besoins de l'aménagement ultérieur ? (Rebhi, 2019).

2.3.5. La génération de pollution secondaire

2.4. Les avantages et inconvénients des techniques de dépollution :

Le choix de la méthode de remédiation est basé sur les avantages qui peuvent être gagnés en utilisant chaque processus, ces avantages et inconvénients sont regroupés dans le tableau N°2.

Tableau N°02: Avantages et inconvénients des techniques de dépollution (Ademe et Brgm , 2013).

Techniques d'éliminations	Avantages	Inconvénients
Technique physico-chimique	<ul style="list-style-type: none"> -Traitement de base pour la phase particulaire et les métaux, largement répandu. -Bonne reproductibilité des essais laboratoire à l'échelle industrielle. -Simplicité du principe de fonctionnement -Coûts d'investissements modérés. -Possibilité d'améliorer les performances en utilisant des agents insolubilisant. 	<ul style="list-style-type: none"> -En général inopérant sur les polluants à l'état dissous, sauf cas d'adsorption sur les floes formés ou sur du charbon actif en poudre. -Conditions de pH pouvant nécessiter une correction des eaux traitées avant rejet ou avant un traitement de finition complémentaire. -Risques de transfert dépollution (COV) vers l'atmosphère avec l'aéro-flottation. -Utilisation de réactifs dangereux (acides, bases), Difficile à maîtriser lorsque la qualité des effluents varie.
Technique biologique (phytoremédiation)	<ul style="list-style-type: none"> - Limiter l'érosion du sol. - Limiter l'envol de poussières. - Limiter le lessivage des éléments toxiques et leur transfert vers la nappe phréatique. - Maintenir ou restaurer une microflore et une microfaune adaptée, garants de la fonctionnalité des sols. - la limitation des transferts de polluants et des expositions. - Technique applicable in situ sur une large variété de sols pollués et en milieu rural et urbain. - Compétitivité en termes de coût par rapport aux techniques physico-chimiques - Possibilité de réaliser des traitements de décontamination de grande superficie en alternative ou en complément aux techniques conventionnelles. - Faible perturbation du milieu contaminé. - Technologie visuellement attractive. - Reconquête des activités de fonctionnalité des sols. - On peut récupérer les métaux à haute valeur ajoutée. 	<ul style="list-style-type: none"> - les durées de traitement sont importantes. - les concentrations élevées en polluants peuvent être rédhibitoires. - une partie des usages des sols et/ou des eaux souterraines doit être (gelée) (servitudes...) tout au long du traitement. - l'emploi d'une plante bien adaptée à un type de polluant n'est pas toujours possible.
Technique thermiques	<ul style="list-style-type: none"> - sa capacité de traitement importante. - sa vitesse de traitement. - la certitude du résultat. - une technique de recyclage des terres. - s'adapter sans cesse aux normes d'émissions de plus en plus strictes. - pas de pollution résiduelle. 	<ul style="list-style-type: none"> - une technologie robuste principalement par des polluants organiques. - le coût élevé de sa consommation énergétique importante. - l'obligation d'excaver les terres. - également inadaptée au traitement des métaux lourds.

2.5. La phytoremédiation du chrome hexavalent:

Récemment, les procédés basés sur les plantes vertes ont reçu une plus grande attention. Il y a longtemps que l'on sait que le cycle de vie d'une plante a des effets marqués sur les procédés chimiques, physiques et biologiques. En effet, dans le processus de croissance des racines et des tiges, l'acquisition de minéraux et d'eau, amènent les plantes à modifier l'environnement du sol et dans certains cas, permet une épuration du sol par dégradation ou recapture des contaminants par des plantes (Fournon D, 2017).

Donc la méthode biologique ou la phytoremédiation est le bon choix pour le traitement des sols, parce que s'adaptent bien à différents types de contaminants, sa facilité et son faible coût par rapport aux méthodes de traitement traditionnelles (incinération et lavage du sol) lui confèrent une attention particulière.

2.5.1. Définition de la phytoremédiation :

La phytoremédiation consiste à employer des plantes pour traiter les sols de subsurface par dégradation, transformation, volatilisation ou stabilisation. D'une manière générale, les composés inorganiques sont immobilisés ou extraits alors que les composés sont dégradés (S. Colombano et al, 2010).

2.5.2. Les différents mécanismes de phytoremédiation :

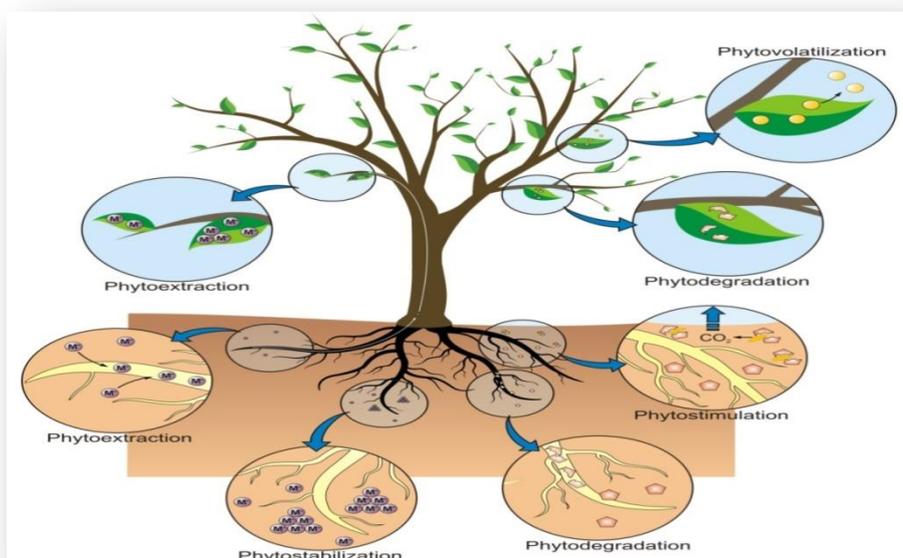


Figure N°06: Mécanisme de phytoremédiation (Rebhi, 2019).

2.5.2.1. Phytoextraction :

La Phytoextraction consiste à extraire des polluants présents dans le sol à l'aide d'espèces végétales, avec ou sans ajout d'amendements. Les plantes absorbent les polluants du sol vis leurs racines, transfèrent et accumulent les polluants dans leurs parties aériennes récoltables (tiges, feuilles), ce qui permet de réduire les concentrations de polluant dans les sols. Il s'agit d'une dépollution partielle car la plante n'a accès qu'à la fraction bio disponible des polluants

Tableau N°03: Domaine d'application de la phytoextraction en fonction de l'état physique de la pollution (Ademe et Brgm , 2013).

Les polluants sont :	En équilibre entre les phases solide dissoute et gazeuse du sol	Principalement présents dans la phase solide du sol	En équilibre entre les phases solide et dissoute du sol	En équilibre entre les phases solide et dissoute du sol	Principalement présents dans la phase liquide non aqueuse du sol	Dans un état physique insuffisamment défini
Phyto-extraction	⊗	☺	☺	⊗	⊗	☺

☺ Technique typiquement adaptée au traitement ☺ Technique pouvant être adaptée au traitement

⊗ Technique typiquement non adaptée au traitement

2.5.2.2. Phytodégradation :

La Phytodégradation est une technique de dépollution qui consiste à dégrader des polluants organiques en composés plus simples et moins toxiques à l'aide d'espèces végétales et de microorganismes, avec ou sans ajout d'amendements. Il s'agit d'une technique de dépollution partielle car seule la fraction dite «bio disponible» des polluants est accessible.

Tableau N°04: Domaine d'application de la phytodégradation en fonction de l'état physique de la pollution (Anonyme, 19 juin2021).

Les polluants sont :	En équilibre entre les phases solide ,dissoute et gazeuse du sol	Principalement présents dans la phase solide du sol	En équilibre entre les phases solide et dissoute du sol	Principalement présents dans la phase liquide non aqueuse du sol	Dans un état physique insuffisamment défini
Phyto-dégradation	☺	⊗	☺	⊗	☺

☺ Technique typiquement adaptée au traitement ☺ Technique pouvant être adaptée au traitement

⊗ Technique typiquement non adaptée au traitement

2.5.2.3. Phytovolatilisation :

la Phytovolatilisation c'est l'utilisation de plantes qui absorbent des contaminants organiques et autres produits toxiques, transformant ceux-ci en éléments volatiles peu ou pas toxiques et les relâchant dans l'atmosphère via leurs feuilles.

2.5.2.4. Phytotransformation :

La phytotransformation est la capacité des plantes à modifier la composition moléculaire de certains produits chimiques. Dans la plupart des cas, les plantes sont capables de créer une molécule non toxique à partir d'une molécule toxique. C'est une autre méthode dans laquelle la toxicité d'un environnement peut diminuer avec l'introduction de certaines espèces végétales.

2.5.2.5. Phytofiltration :

La phytofiltration (Rhizofiltration) est l'adsorption sur les racines des plantes ou l'absorption dans les racines des plantes de contaminants en solution autour de la zone racinaire (rhizosphère). La rhizofiltration est utilisée pour décontaminer les eaux souterraines. Les plantes sont cultivées dans des serres dans l'eau plutôt que dans la terre. L'eau contaminée du site est utilisée pour acclimater les plantes à l'environnement. Les plantes sont ensuite plantées sur le site d'eaux souterraines contaminées où les racines absorbent l'eau et les contaminants. Une fois que les racines sont saturées de contaminant, les plantes sont récoltées, y compris les racines.

2.5.2.6. Phytostabilisation :

La Phytostabilisation consiste à immobiliser des polluants inorganiques à l'aide d'espèces végétales, avec ou sans ajout d'amendements. Les plantes réduisent les transferts horizontaux et verticaux de polluants en diminuant leur mobilité dans le sol, les eaux et l'air. Ce n'est pas une technique de dépollution (les polluants restent en place). Il s'agit d'un mode de gestion destiné à limiter les risques sur le plan environnemental et sanitaire.

Tableau N°05: Domaine d'application de la phytostabilisation en fonction de l'état physique de la pollution (Ademe – Ineris (2012)).

Les polluants sont :	En équilibre entre les phases solide dissoute et gazeuse du sol	Principalement présents dans la phase solide du sol	En équilibre entre les phases solide et dissoute du sol	En équilibre entre les phases solide et dissoute du sol	Principalement présents dans la phase liquide non aqueuse du sol	Dans un état physique insuffisamment défini
Phytostabilisation	☺	☺	☺	☺	☺	☺

☺ Technique typiquement adaptée au traitement ☺ Technique pouvant être adaptée au traitement

☹ Techniquetypiquement non adaptée au traitement

2.5.3. Critères de choix des espèces végétales pour la phytoremédiation :

Le choix des espèces à utiliser pour fixer le chrome présent dans les sols dépend de plusieurs paramètres (Rebhi, 2019) :

1. Les caractéristiques physico-chimiques du sol.
2. La forme des polluants dans les sols.
3. Le degré de tolérance des végétaux choisis.
4. La production de biomasse et vitesse de croissance.
5. Les mécanismes d'absorption de la plante.
6. Adaptation au milieu.
7. Tolérance aux polluants.

Pour ces raisons, les espèces utilisées dans la phytoremédiation du chrome hexavalent doivent être à la fois tolérantes à cette pollution, spontanées et peuvent s'adapter à la nature du sol dans la région de Djelfa. D'après les études de Korichi (2019), parmi les espèces qui ont ces critères, on peut trouver la plante spontanées *Silybum Eburneum*.

2.6. Présentation de l'espèce utilisée pour la phytoremédiation du chrome hexavalent (*Silybum Eburneum*) :

2.6.1. Morphologie :

C'est une espèce à feuilles radicales hispides, épineuses à épines puissantes, à lobe terminal linéaire et nettement plus long que autres. Bractées externes de l'involucre sans acumen ; les moyennes terminées en forte épine (celle-ci atteint 6-7 cm et, de plus, elle est droite). Plante robuste comme la précédente, très épineuse dans le haut, à épines blanches mais dorées au sommet – steppes, pâturages sablonneux et lieux un peu humides – CCC : H, AS : Sud - / Ibéro-Maur./-« Noufourk » (Quezel . P et Santa .S, 1963).



Figure N°07 : *Silybum Eburneum*.

2.6.2. La classification :

Tableau N°06 : La classification de *Silybum Eburneum* (Anonyme, Le 5 avril 2021).

Royaume	<i>Plantae</i>
Phylum	<i>Tracheophyta</i>
Classer	<i>Magnoliopsida</i>
Ordre	<i>Asterales</i>
Famille	<i>Asteraceae</i>
Genre	<i>Silybum</i> Vaill. ex Adans
Espèces	<i>Silybum eburneum</i> ; <i>Mariana eburneum</i> ; <i>Silybum Eburneum sub sp. Eburneum</i> ; <i>Silybum Eburneum sub phispanicus</i> ; <i>Silybum eburneum vav eburneum</i> ; <i>Silybum eburneum var.</i> ; <i>Silybum eburneum var.</i> ; <i>Silybum hispanicum</i> .

2.6.3. Cycle De Vie :

L'identification des plantes spontanées urbaines (*Silybum Eburneum*) à des « mauvaises herbes » tient pour une bonne part à l'idée de place. On peut identifier les lieux de la ville où les plantes spontanées sont considérées comme n'étant pas à leur place : le long des trottoirs et de la voirie, au pied des arbres, le long des haies, dans les pelouses et les massifs, dans les terrains vagues et les friches, dans les boisements (Menozzi J, Marco A, Leonard S, 2011).

2.7. Conclusion :

Ces dernières années, de nombreuses études ont donc été menées sur des techniques de dépollution sur site des sols contaminés (sans excavation de terre), Parmi les techniques la technique biologiques/la phytoremédiation (utilisation de plantes spontanée), La phytoremédiation est une approche respectueuse de l'environnement qui pourrait être une mesure d'atténuation efficace pour régénérer les sols pollués par de Cr(VI) de manière rentable. Dans ce chapitre, nous décrivons les mécanismes de dépollution des sols par les plantes. Où nous concentrons sur les plantes spontanées (*Silybum Eburneum*) à titre d'exemple) et leurs capacités à remédier le chrome hexavalent.

PARTIE
EXPERIMENTALE

CHAPITRE III

MATERIEL ET

METHODES

3.1. Introduction :

Dans ce chapitre on présente la zone d'étude, puis on explique le travail expérimental qui a été divisé en trois étapes principales, l'échantillonnage, la préparation des échantillons et l'analyse du chrome hexavalent dans les trois compartiments, racine, feuilles et sols.

3.2. Matériel :**3.2.1. Objectif :**

Le but de ce travail est de connaître la capacité de la plante *Silybum Eburneum* à tolérer et/ou accumuler le chrome hexavalent (sol, feuille et racine), et par la suite déterminer le mécanisme de phytoremédiation impliqué. Cette espèce a été récoltée dans les périphéries de la ville de Djelfa.

3.2.2. Matériel utilisé :**3.2.2.1. Verreries:**

- ✓ Fioles de jaugee de différents volumes (50,100,500 et 1000mL) ;
- ✓ Bêchers de 10, 25 50, 100 et 250 ml ;
- ✓ Erlenmeyers de 50 et 250 ml ;
- ✓ Fiole jaugee de 500 ml ;
- ✓ Eprouvette de 100, 250 et 500mL ;
- ✓ Flacons de prélèvement ;
- ✓ Verre de montre ;
- ✓ Pipette graduée ;
- ✓ Tubes à essai en verre ;
- ✓ Poire ;

3.2.2.2. Appareillage :

- ✓ Balance analytique de marque OHAUS de référence Pioneer ;
- ✓ Hotte ;
- ✓ Agitateur et plaque chauffante de marque STUART (modèle heal-stir SB162) ;
- ✓ Centrifugeuse de marque IEC/Medispin ;
- ✓ Micro-pipete (100 et 200µL) de marque ISOLAB ;
- ✓ Spectrophotomètre de marque WPA de référence Lightwave II ;
- ✓ Logiciel OriginLab9.0 ;

- ✓ Spectrophotomètre de marque BIOCHROM (modèle Lightwave) ;
- ✓ Etuve de marque WISD (modèle WON-50) ;
- ✓ Appareille de séchage de marque NÜVE de référence FN400;

3.2.2.3. Produits :

- ✓ Acide sulfurique à 95-97% de Riedel de Haën ;
- ✓ Ethanol à 95% de Riedel de Haen ;
- ✓ 1,5-Diphénylcarbazide de SIGMA-ALDRICH ;
- ✓ Bichromate de potassium de Riedel-De-Haën ;
- ✓ Carbonate de sodium de Sigma-Aldrich ;
- ✓ Hydroxyde de sodium de Fluka.
- ✓ Eau distillée.

3.2.2.4. Autres :

- ✓ Papier Aluminium ;
- ✓ Marqueur permanent ;
- ✓ Spatule (HSN 179-19) ;
- ✓ Pissette ;
- ✓ Gants ;
- ✓ Cuvette ;
- ✓ Bloc note ;
- ✓ Pelle;
- ✓ Sacs en plastique ;
- ✓ Ciseaux ;
- ✓ Seringue ;
- ✓ Coton ;
- ✓ Tubes en plastique ;
- ✓ Porte tubes ;
- ✓ Lunettes de protection ;
- ✓ Barreaux magnétiques ;

3.2.3. Précautions de sécurité:

Des consignes de sécurité en laboratoire et d'environnement doivent être respectées. Cela implique la manipulation des solutions sous la hotte et avec le port du matériel de sécurité adéquat (blouse, gants et masques).

3.3.Méthodes :

3.3.1. Présentation de la zone d'étude:

La localisation de la wilaya de Djelfa est illustré dans la figure N°08

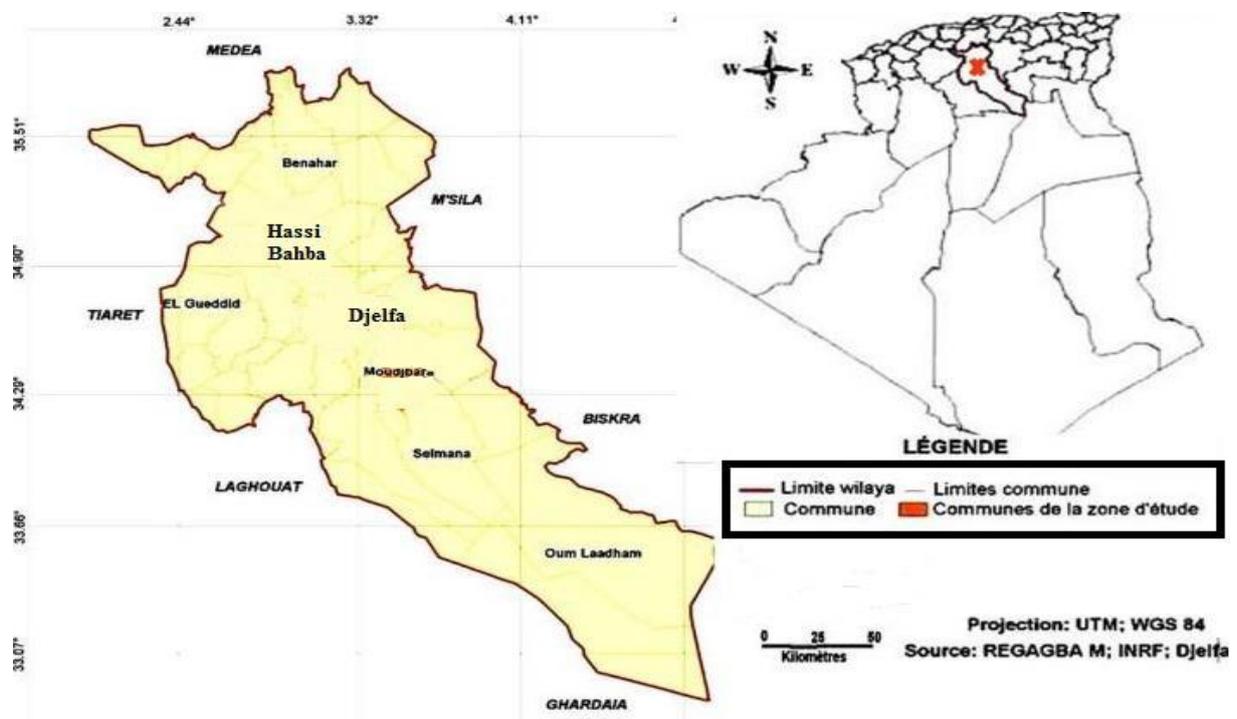


Figure N°08: Localisation de la wilaya de Djelfa dans l'Algérie (Sailaa N, 2018).

3.3.2. Situation géologique de la wilaya de Djelfa:

La wilaya de Djelfa est située dans la partie centrale de l'Algérie du Nord au-delà des piémonts Sud de l'Atlas Tellien en venant du Nord dont le chef-lieu de wilaya est à 300 kilomètre au sud de la capitale elle est compris entre 2°et 5°de longitude Est et entre 33°et 35° de latitude Nord, La wilaya de Djelfa est limitée :

- ✓ Au Nord par les wilayas de Médéa et de Tissemsilt
- ✓ A l'Est par les Wilayas de M'sila et Biskra

- ✓ A l'Ouest par les wilayas de Laghouat et de Tiaret
- ✓ Au Sud par les Wilayas de Ouergla, d'El Oued et de Ghardaia

3.3.3. Relief :

Le relief du territoire communal est généralement élevé, ses altitudes varient de 1020 m à 1489 m. L'oued Mellah traverse la ville de Djelfa du Sud-est vers le Nord, et rentre en contact avec le Trias du rocher de sel, d'où sa salure élevée (Kulke,1978).

3.3.4 Climat :

Le climat de la wilaya de Djelfa est distinctement semi-aride à aride avec une teinte continentale. En effet, le climat est semi-aride dans les zones situées dans les parties centrale et nord de la Wilaya avec une moyenne de 200 mm à 350 mm de précipitations par an et aride dans toute la zone au Sud de la Wilaya et reçoit moins de 200 mm de précipitations en moyenne par an. La ville de Djelfa a un climat semi-aride froid (classification climatique de Köppen BSk). En hiver, les précipitations sont plus importantes qu'en été. La température moyenne annuelle à Djelfa est de 13.4 °C. Environ 317 mm de précipitations tombent chaque année.

3.3.5 Prélèvement de *Silybum Eburneum*:

Des échantillons de plantes *Silybum Eburneum*(Figure N°09) ont été prélevés dans une zone située entre El Maalba et Faidh El Botma, la localisation GPS(34°34'09.3"N 3°39'54.4"E).

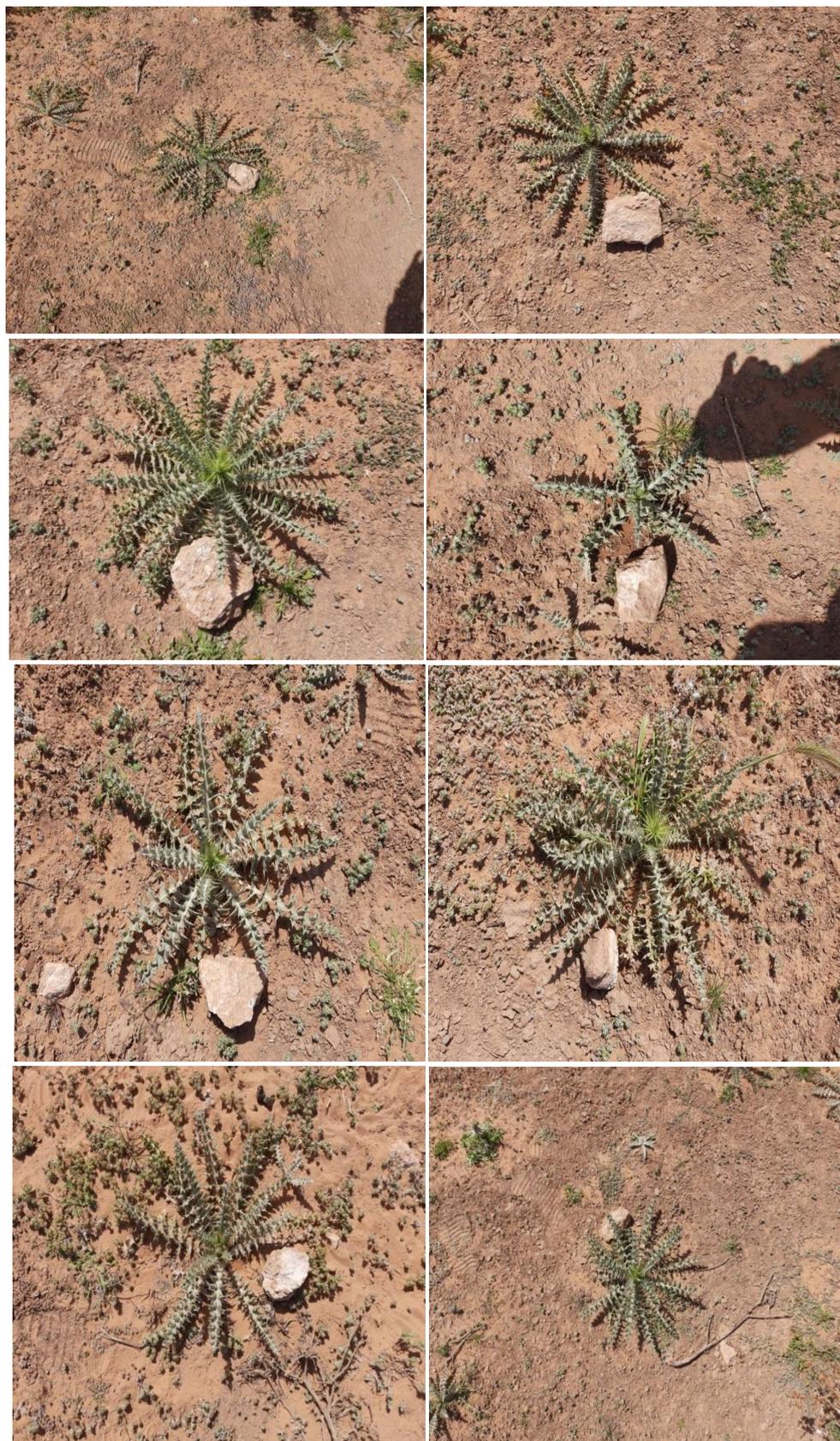


Figure N°09: Echantillons de plantes *Silybum Eburneum* avant traitement.

3.3.6. Description du mode opératoire de l'addition du chrome :

Les données de terrain liées à cette étude proviennent de 8 échantillons de plantes *Silybum Eburneum* répartis sur la zone d'étude. Ont été sélectionnées à taille à peu près égale. Ensuite, nous les avons marqués. Ces plantes ont été irriguées régulièrement avec 50 ml d'une solution de chrome hexavalent à 100 mg/L pendant 10 jours avec un intervalle régulier de 48 heures. Cette opération a été effectuée pendant le mois d'avril 2021.

3.3.7. Prélèvement :

Le douzième jour, les plantes ont été extraites de leur site en procédant comme suit:(le 22 avril 2021).

- ✓ Sélectionné La profondeur pour chaque échantillon est de 30 cm (maximale).
- ✓ Retirer complètement les plantes et préserver le sol adjacent aux racines
- ✓ Les échantillons sont placés dans des sacs en plastique et étiquetés.
- ✓ Prise de la position GPS de chaque échantillon.
- ✓ Sécher les plantes à l'air libre pendant 3 jours.
- ✓ Transférez les échantillons directement au laboratoire (26 avril 2021).

3.3.8. Remarque :

Plusieurs tentatives ont été faites pour prélever des échantillons de la plante et mener cette étude à l'extérieur du site, pour ne pas polluer la zone, mais cela n'a pas abouti, car elle meurt immédiatement après son extraction. On été dans l'obligation d'injecter une petite quantité de solution de chrome sur site pour pouvoir déterminer son effet sur la plante. La zone a été choisie car elle est libre de toute activité humaine ou animale.

3.3.9. Préparation des échantillons :

La préparation des échantillons fine est un passage obligatoire dans la réalisation des analyses. L'échantillon fin est un mélange statique considéré comme l'unité fondamentale de ces analyses permet d'émettre considérablement les agrégats et d'obtenir une poudre homogène (diamètre de particules <2 mm). Cette préparation est passée par trois phases: séchage, émottage et tamisage.

3.3.9.1. Séchage :**3.3.9.1.1. Sol:**

Nous avons pris une quantité de chaque échantillon de sol, ces quantités ont été mises dans l'étuve avec une température de 100°C pendant 24 heures.

3.3.9.1.2. Feuilles et racines:

De la même manière, les échantillons de feuilles et de racines ont été mises dans l'étuve avec une température de 100°C pendant mais 48 heures.

3.3.9.2. Emottage des agrégats :

L'objectif de cette opération est l'élimination des éléments grossiers et de réduire les agrégats en fragments <2 mm, cette opération a été effectuée à l'aide d'un mortier et un pilon en bois.

3.3.9.3. Tamisage

Cette phase consiste à faire passer les échantillons de sols à travers un tamis avec 2 mm de diamètre pour l'obtention d'une terre fine prête pour l'extraction du chrome hexavalent.

3.3.10. Préparation des solutions réactives:**3.3.10.1. Solution de carbonate de sodium :**

On a pesé une masse de 14,8 g de carbonate de sodium. Dans une fiole jaugée de 500mL, on introduit le carbonate de sodium, on remplit la fiole jaugée avec de l'eau distillée avec une agitation jusqu'à la dissolution totale du solide (Na_2CO_3), par la suite on ajuste le volume à 500 ml avec de l'eau distillée.

3.4.10.2. Solution d'hydroxyde de sodium :

Dans une fiole jaugée de 500ml on introduit les 10 grammes d'hydroxyde de sodium, et compléter avec de l'eau distillée toute en agitant. Après homogénéisation, la solution a été conservée dans un flacon.

3.4.10.3. Préparation d'une solution d'acide sulfurique :

Dans une fiole jaugée de 500 ml on met 50 ml d'eau distillé pour éviter le risque de projections acides, puis on ajoute 50 ml de l'acide sulfurique, ensuite on remplit la fiole avec de l'eau distillée jusqu'au volume de 500 ml.

3.4.10.4. Préparation d'une solution acide de 1.5-Diphenylcarbazine:

D'abord on pèse 0,2 g de 1.5-Diphenylcarbazine par une spatule et papier aluminium à l'aide d'une balance analytique. Ensuite par une pipette graduées on prélève 400 ml de la solution d'acide sulfurique à 176 g/L et les mettre dans une fiole jaugées de 500 ml, puis on complète la solution par 100 ml d'alcool éthylique sous une hotte aspirante toute en agitant. Enfin et après la dissolution totale du 1.5-Diphenylcarbazine on ajuste le volume à 500 ml avec l'éthanol (pour compenser la quantité d'alcool évaporée lors de la préparation). Cette solution a été conservée dans un flacon.

3.4.9.5. Solution mère du chrome hexavalent a 1g/L:

Pour la préparation de la solution mère du chrome hexavalent, on pèse 2,828 g de dichromate de potassium, on fait dissoudre cette quantité dans 100 ml de l'eau distillé à l'aide d'une fiole jaugée, puis on conserve cette solution dans un flacon.

3.4.10.6. Solution fille étalon de chrome a 5 Mg/L:

A l'aide d'un micro pipette de 0,1 ml on ajoute 0.5 ml de la solution mère de chrome dans une fiole jaugée de 100 ml qui contient le volume de 100 ml de l'eau distillé, puis on remplit cette solution dans des flacon.

3.3.11. Extraction du chrome hexavalent :**3.3.11.1. Extraction du chrome hexavalent depuis les échantillons du sol :**

L'extraction du chrome hexavalent a été réalisée selon la méthode d'extraction basique décrite dans Oliveira et al. (2013). Pour cela, nous avons mis 0,5 gramme de sol sec avec 8 ml de mélange de carbonate de sodium et d'hydroxyde de sodium (04 ml chacune) dans des tubes en verre numérotés. Ces tubes ont été placés dans un bain de marie à 100 C° pendant une heure.

3.3.11.2. *Extraction du chrome hexavalent à partir des échantillons de plantes :*

Afin de réaliser le dosage du chrome hexavalent dans les parties des plantes, nous avons suivi le protocole décrit par Riaz M et al., (2019), pour ce faire, nous avons pesé 0.5g de feuilles ou racines sec et on à ajoute 10 ml d'aquaregia dans des tubes en verre numérotés, le mélange a été placé dans un bain-marie à 100 C° pendant 2heure (Figure N°10). Ensuite, après refroidissement, les échantillons ont été filtrés, centrifugés et analysés par spectrophotomètre UV-Visible pour la détermination du taux de chrome hexavalent.



Figure N°10 : Extraction du chrome hexavalent à partir des échantillons de plantes.

3.3.11.3. *Filtration et centrifugation des échantillons liquides :*

La filtration est une étape importante avant le dosage, elle a comme objectif d'éliminer les matières en suspension dans les solutions de sols et/ou de plantes. La filtration a été réalisée avec un système de filtration à coton, puis les solutions filtrées ont été centrifugées à 1500 tr/min pendant 4 minutes.

3.3.12. Dosage du chrome hexavalent dans les solutions :

3.3.12.1. Principe:

Pour le dosage du chrome hexavalent, nous avons utilisé la méthode décrite par Rodier (2009). En solution légèrement acide, le chrome hexavalent réagit avec le 1,5-Diphenylcarbazide pour former une couleur rouge-violet qui peut être analysée dans le visible.

Les mesures principales sont basées sur l'oxydation du 1.5-Diphenylcarbazide en 1.5-Diphenylcarbazide par Cr (VI). La forme énolique de la carbazone réagit avec les ions chrome trivalent pour former un complexe à coloration Rouge-violet, ce complexe est susceptible d'être analysé par UV-Visible à 540nm (Rodier, 2009). Cette méthode permet la mesure de concentrations allant de 5 µg/L à 0,5 mg/L, dans le cas où l'intervalle de mesure est allongé nous avons procédé à des dilutions d'échantillons.

3.3.12.2. Établissement de la courbe d'étalonnage :

Dans des séries de fioles jaugées de 50ml numéroté, nous avons dilué la solution mère (5mg/l) pour obtenir les concentrations (0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 et 0.5 mg/L) avec précision en utilisant la loi de dilution : $C \cdot V = C' \cdot V'$

Les données : $C = 5$, $C' = 0.05 \text{ mg/l}$, $V' = 50 \text{ ml}$, et $V = ?$

Donc : $C \cdot V = C' \cdot V' \implies V = C' \cdot V' / C$

$$5 \cdot V = 0.05 \cdot 50 \implies V = 0.05 \cdot 50 / 5 \implies V = 0.5 \text{ ml.}$$

Cela signifie: nous mettons 0,5 de la solution concentrée (5 ml) dans un Fiole jaugée de 50 ml, et continuons par l'eau distillée jusqu'à le volume 50 ml, est donné une solution à une concentration de 0,05 mg/litre, même façon, Nous obtenons le reste des concentrations et en agitant après chaque addition. Ces solutions filles ont été conservées dans des flacons en plastique.

Dans des béchers on introduit 5ml de chaque solution et on a ajouté 0,3 ml de l'acide 1,5-Diphenylcarbazide, nous avons mélangé puis laissé au repos pendant 10 minutes pour permettre un développement complet de la coloration rouge-violette. Par la suite on procède à l'analyse par spectrophotométrie UV-Visible à 540 nm. Dans le cas où l'absorbance de

l'échantillon dépasse la limite de la courbe d'étalonnage, on procède à une dilution de l'échantillon avec de l'eau distillée.

3.3.12.3. Dosage du chrome hexavalent dans les échantillons de sol et de plantes :

Pour l'analyse des échantillons, les mêmes démarches comme pour l'élaboration de la courbe d'étalonnage ont été suivies, à savoir 5 ml d'échantillon avec 0.3 ml de solution acide de 1,5-Diphenylcarbazine après 10 min de repos, on procède à l'analyse par spectrophotométrie UV-Visible à 540 nm. Les concentrations en chrome hexavalent ont été déterminées par extrapolation dans la courbe d'étalonnage en utilisant l'équation de la régression linéaire.

3.3.13. Détermination des concentrations et des taux en chrome hexavalent dans les échantillons :

3.3.13.1. Calcul des concentrations :

La détermination des concentrations en chrome hexavalent a été réalisée par extrapolation dans la courbe d'étalonnage, nous avons calculé les concentrations du chrome hexavalent dans les échantillons de sol et de plante en utilisant l'équation suivante :

- $Abs = 0,545 * C - 0,01 \implies C = (ABS+0.01)/0.545 \dots \dots \dots eq(01).$

3.3.13.2. Calcul des taux :

Pour déterminer le taux d'adsorption du chrome hexavalent (en mg/kg) par le sol et la plante, nous avons calculé :

- $T = m_{Cr} / m_{écha}$
- $m_{Cr} = C * V \implies m_{Cr} = C * 8_{(sol)} * 10^{-3}(mg) \dots \dots \dots eq (02).$
 $\implies m_{Cr} = C * 10_{(plante)} * 10^{-3}(mg) \dots \dots \dots eq (03).$

3.3.14. Détermination des facteurs caractérisant la phytoremédiation

3.3.14. 1. Facteur de bioaccumulation (FB) :

Le FB peut être calculé en utilisant l'équation N°04 (Xu. J et al., 2020)

$\implies FB = \frac{[Cr(VI)]_{racine}}{[Cr(VI)]_{sol}} \dots \dots \dots eq (04).$

- Lorsque $FB > 1$, cela suggère que la plante est un bon accumulateur de chrome et est idéale pour la phytostabilisation liée à l'accumulation de chrome dans les racines (Xu et al., 2020).

3.3.14.2. Facteur De Translocation (FT)

FT est calculé en appliquant l'équation N°05 (Nouri et al., 2009) sur nos données expérimentales

$$\Rightarrow FT = \frac{[Cr(VI)]_{\text{feuille}}}{[Cr(VI)]_{\text{racine}}} \dots \dots \dots \text{eq (05)}.$$

- Lorsque $FT > 1$, cela indique que la plante peut transférer efficacement le chrome de la racine à la pousse et peut être plus adaptée à la phytoremédiation (Xu, J et al., 2020).

3.3.14.3. Facteur d'enrichissement (FE)

FE est déterminé à l'aide de l'équation N°06 (Lorestani et al., 2011)

$$\Rightarrow EF = \frac{[Cr(VI)]_{\text{feuille}}}{[Cr(VI)]_{\text{sol}}} \dots \dots \dots \text{eq (06)}.$$

Où :

- Lorsque $FE < 1$, l'espèce végétale est considérée comme stabilisant du chrome, tandis que la valeur $FE > 1$, c'est un accumulateur.

CHAPITRE IV:
RESULTATS ET
DISCUSSIONS

4.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter les différents résultats obtenus à travers cette étude, et nous allons interpréter et discuter ces résultats.

4.2. Prélèvement, préparation et analyse des échantillons de plante *Silybum Eburneum*:

4.2.1. Prélèvement des échantillons de plante et de sol :

Le prélèvement des 8 échantillons de plantes (*Silybum Eburneum*) a été effectué dans une zone semi-aride entre El Maalba et Faidh El Botma, la plante a été trouvée dans une zone humide (chaaba) avec une densité de 5 plante par mètre carré, le sol a été trouvé sableux avec une texture fine et une couleur jaunâtre. Après arrosage des échantillons avec 50 ml d'une solution de chrome hexavalent à 100 mg/L, la figure N°11 montre les différents échantillons après contact avec le chrome hexavalent.



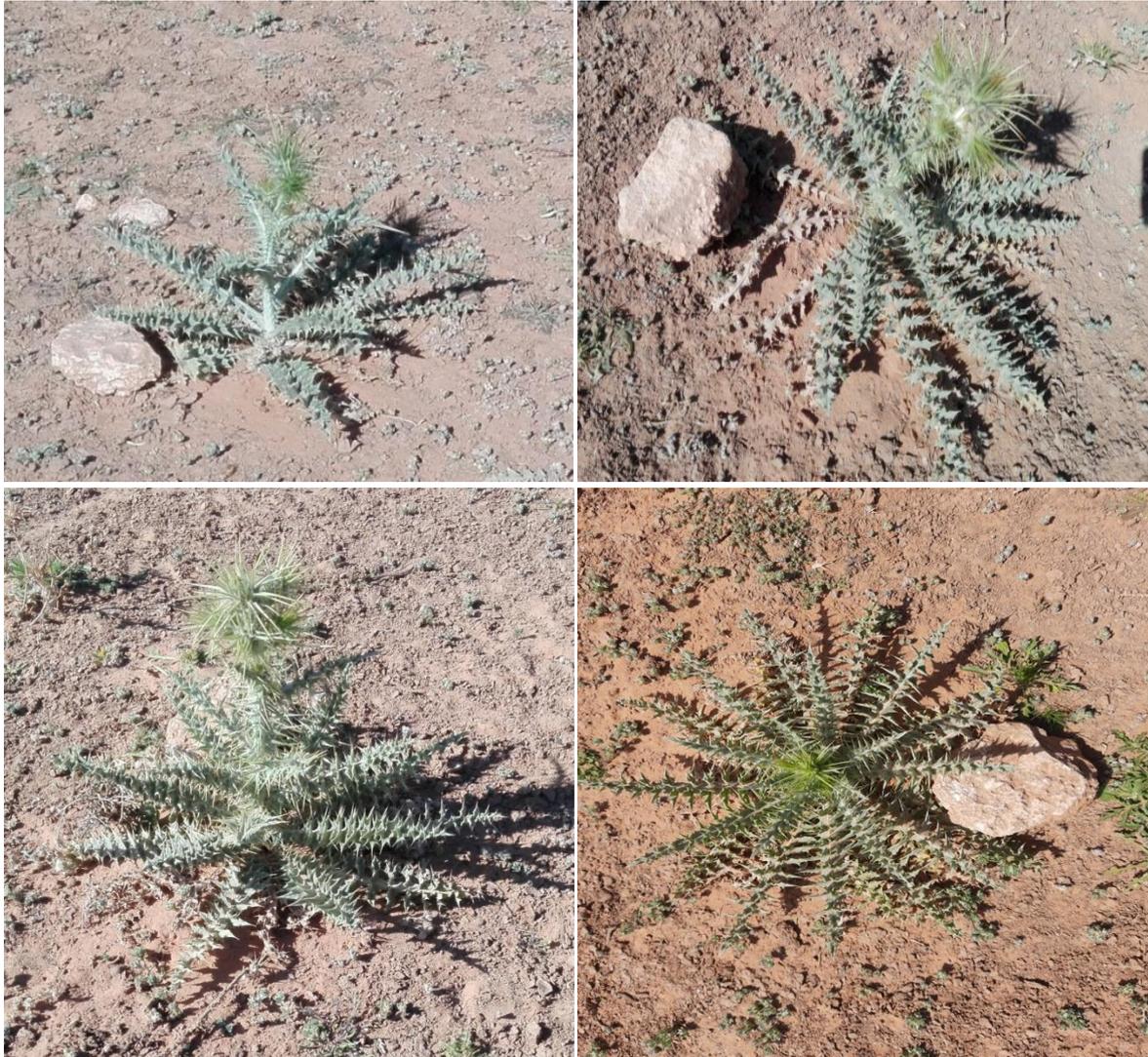


Figure N°11: Echantillons de *Silybum Eburneum* (après 12 jours d'irrigation avec le chrome hexavalent)

D'après la figure N°11, on constate que la morphologie de la plante *Silybum Eburneum* après contact avec le chrome n'a pas été trop influencée par le métal, ce qui confirme une certaine tolérance de cette espèce vis-à-vis le chrome hexavalent. Cette caractéristique est d'une grande importance, car dans la majorité des cas (à titre d'exemple pour l'espèce *Silybum Eburneum* une grande influence négative du métal sur la croissance de la plante *Avena Sativa* a été observée (Ghezal et Lebbaz 2021).

Ce résultat est encourageant pour l'utilisation de cette espèce dans la phytoremédiation du chrome hexavalent.

4.2.2. Préparation des échantillons de plante et de sol :

Les échantillons de sol et/ou de plante ont été séchés dans une étuve à 100°C, elles ont été ensuite utilisés pour l'extraction et à l'analyse du chrome hexavalent (Figures N°12).



Figure N°12« A »: les échantillons des sol après séchage.



Figure N°12« B »: les échantillons des racines après séchage.



Figure N°12 « C » :Opération de séchage d'échantillons de feuilles.

4.3. Extraction du chrome hexavalent à partir des échantillons de sol et de plante :

Selon le protocole décrit par Oliveira et al, (2013) et Riaz M et al, (2019), le chrome hexavalent a été extrait du sol et des plantes par digestion à reflux acide ou basique, après refroidissement, les solutions ont été filtrées et centrifugées pour éliminer toute matière en suspension (Figure N°13).

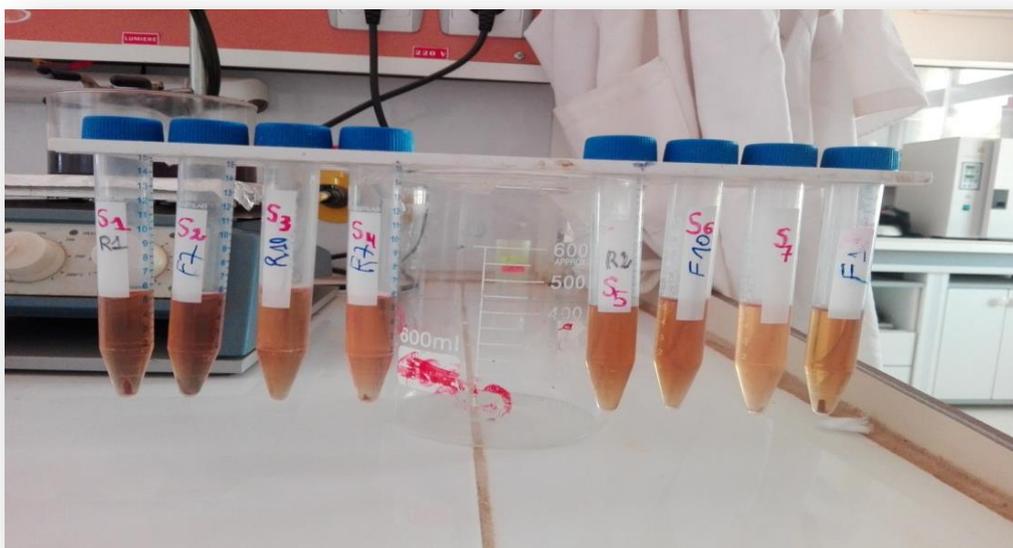


Figure N°13: Solution du sol et/ou de plante après filtration et centrifugation.

4.3.1. Elaboration De La Courbe D'étalonnage :

Les résultats de l'analyse des solutions standards en chrome hexavalent sont regroupés dans le tableau N°07 :

Tableau N°07 : Résultats de l'analyse des solutions standards du chrome hexavalent.

Numéro Des Fioles	1	2	3	4	5	6	7
Solution Etalon De Cr (Vi) A5mg/L (Ml)	0	0,5	1	2	3	4	5
Eau Permutée (Ml)	50	4,95	49,0	48,0	47	46	45
Correspondance En Mg/L De Cr(Vi)	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Volume Ajoute De 1.5-Diphenylcarbazide	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Absorbance à 540 nm	0	0.02	0.045	0.052	0.205	0.22	0.238

Les solutions standards en mélange avec le réactif 1.5-Diphenylcarbazide sont illustrées dans la figure N°14

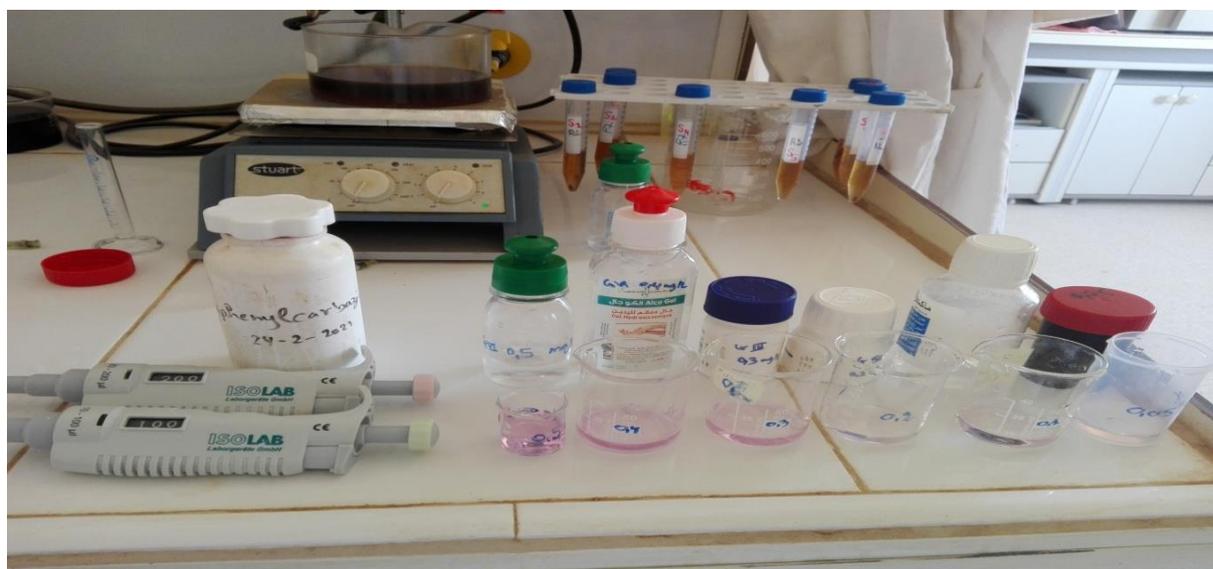
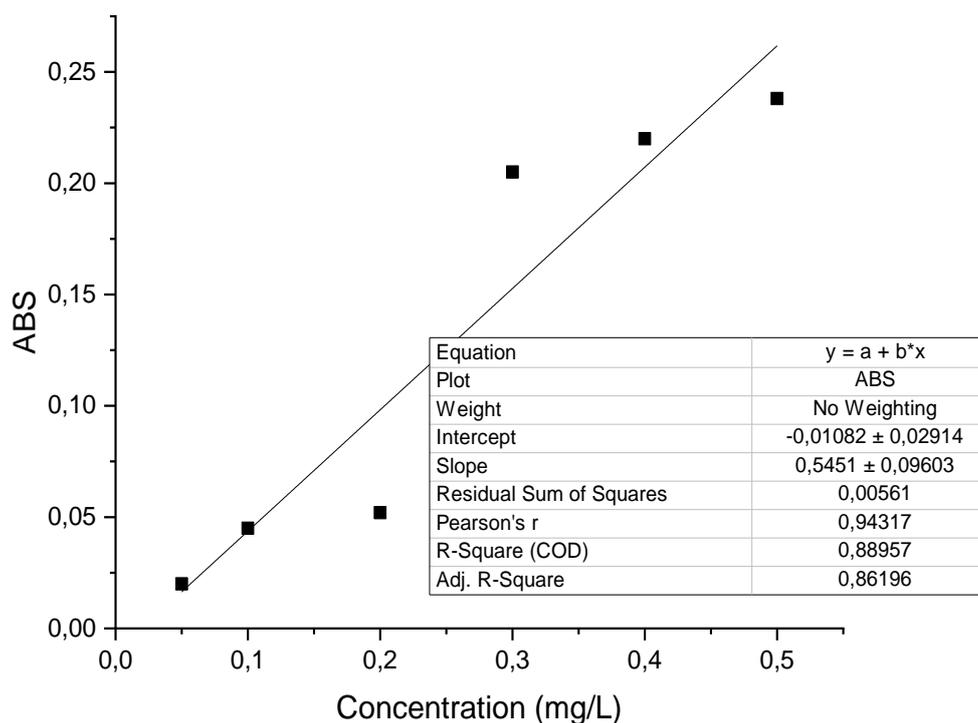


Figure N°14 :Echantillons après coloration par le 1.5-Diphenylcarbazide

L'élaboration de la courbe d'étalonnage a été réalisée en utilisant le logiciel OriginLab 9.0, cette courbe est présentée dans la figure N°15



**Figure N°15: Courbe d'étalonnage de l'analyse du chrome hexavalent
(Réalisée le 05/05/2021)**

4.4. Analyse du chrome hexavalent dans les solutions de sol et/ou de plante :

La détermination du chrome hexavalent a été effectuée par Spectrophotométrie UV-Visible à 540 nm, une courbe d'étalonnage a été réalisée avec des solutions standards de chrome hexavalent.

4.5. Détermination des concentrations et des taux en chrome hexavalent dans les échantillons :

Les tableaux N°08 et N°09 et N°10 montrent les concentrations et les taux en chrome hexavalent dans les échantillons de sols, de feuilles et de racines :

4.5.1. Concentration et taux en Cr(VI) dans le sol :

Le tableau N°08 regroupe les résultats des concentrations et des taux du Cr(VI) dans les échantillons de sol.

Tableau N°08 : Concentrations et taux en chrome hexavalent dans le sol.

<i>Echantillons de sols</i>	<i>Absorbance</i>	<i>Concentration(mg/l)</i>	<i>Taux (mg/kg)</i>
N°1	0.249	0,475	7,60
N°2	0.280	1.596	25,536
N°3	0.311	0,588	9,40
N°4	0.302	0,572	9,152
N°5	0.118	0.702	11,232
N°6	0.140	0.825	13,20
N°7	0.251	0,478	7,648
N°8	0.330	0,623	9.968
Les moyennes	/	0.732	11.717

Nous remarquons dans le tableau que la concentration du chrome hexavalent dans le sol varie entre 0,475 mg/L et 1,596 mg/L pour les échantillons 1 et 2 respectivement, et la concentration moyenne est de l'ordre de 0.732 mg/L.

Comme on peut le voir sur le tableau que le taux de Cr(VI) dans le sol est entre (7,60 et 25,536)mg/kg de même échantillons, Cette variation est probablement due à plusieurs facteurs, tels que la perméabilité du sol (la texture) car seul le sol adjacent aux racines de la plante a été prélevé, et/ou à la vitesse diffusion verticale dans le sol, et/ou la saturation de sol. et/ou probablement à la pente dans la zone où se trouvent ces échantillons. Dans une étude antérieure, le taux du sol a été trouvé entre 0.02 et 31.1mg/kg. Selon les auteurs, ceci est dû à la distance entre les points de prélèvement et la tannerie, la station d'épuration, et Oued Mellah (le sol très pollué) (berrabah, 2018). Pour ce qui concerne notre étude s'est déroulée dans des conditions où la concentration en Cr(VI) était contrôlée.

4.5.2. Concentration et taux en Cr(VI) dans les racines :

Les résultats de la concentration et du taux en Cr(VI) dans les racines sont montrés dans le tableau N°9 :

Tableau N°9 : Illustre les valeurs de concentration et de taux du Cr(VI) dans les racines.

<i>Echantillons de racines</i>	<i>Absorbance</i>	<i>Concentration (mg/l)</i>	<i>T(mg/kg)</i>
N°1	0.186	0,359	7,18
N°2	0.338	0,638	12,76
N°3	0.187	0,361	7,22
N°4	0.162	0,315	6,30
N°5	0.284	0,539	10,78
N°6	0.258	0,491	9,82
N°7	0.108	0,216	4,32
N°8	0.117	0.699	13,98
Les moyennes	/	0.452	9.045

Les concentrations en chrome hexavalent dans les racines variantes entre 0,216mg/L et 0,699mg/L et la concentration moyenne est de 0.452mg/L. Cette variation est due probablement à plusieurs paramètres, tels que la taille de la plante, la texture du sol ou encore la quantité du Cr dans le sol.

Le taux maximal en chrome hexavalent dans les racines a été trouvé d'être 13.98 mg/kg. Pour la même espèce, mais dans des conditions naturelles (proximité de Oued Mellah), (Korichi 2019) a trouvé un taux maximal de 9 mg/kg. Cela peut être expliqué par les concentrations en Cr(VI) trop élevée accumulée dans les racines de notre espèce.

On peut également noter que le *Silybum Eburneum* est plus accumulateur de chrome (dans les racines et feuilles) que les autres, par exemple le *Poivre Noir*, les *Clous de Girofle*, le *Cumin*, le *Fenugrec* (Rebhi, 2019) et plus que le *Sisymbrium Irio*, *Spinacia Oleracea* (Korichi, 2019), ce qui indique qu'il a une plus grande capacité à retenir le chrome , Et il pourrait avoir une capacité très intéressante en phytoremédiation des zones mourantes.

4.5.3. Concentration et taux en Cr(VI) dans les feuilles :

Les résultats de la concentration et du taux en Cr(VI) dans les feuilles sont montrés dans le tableau N°10 :

Tableau N°10 : Concentrations et taux du chrome hexavalent dans les feuilles.

<i>Echantillons de feuilles</i>	<i>Absorbance</i>	<i>Concentration (mg/l)</i>	<i>T(mg/kg)</i>
<i>N°1</i>	0.304	0,576	11,52
<i>N°2</i>	0.183	0,354	7,08
<i>N°3</i>	0.203	0,390	7,80
<i>N°4</i>	0.359	0,677	13,54
<i>N°5</i>	0.274	0,521	10,42
<i>N°6</i>	0.140	0,275	5,50
<i>N°7</i>	0.117	0,233	4,66
<i>N°8</i>	0.246	0,469	9,38
Les moyennes	/	0.436	8.74

D'après le tableau N°10 Nous remarquons que la concentration en chrome hexavalent dans les feuilles variantes entre 0,233mg/L et 0,677mg/L et la concentration moyenne est autour de 0.436mg/L. Cette variation est due à la quantité de Cr(VI) absorbée par le sol et à la rapidité du transfert à la partie aérienne de la plante. Ce qui représente un avantage très intéressant lors de l'utilisation de cette espèce dans la phytoremédiation du Cr(VI).

Nous observons la présence du Cr(VI) dans les feuilles avec un taux élevé de 13,54 mg/L. Cela indique que notre espèce est apte à accumuler le chrome dans les feuilles, cette capacité est d'une grande importance dans le processus de phytoremédiation.

Dans une étude antérieure, un taux de chrome de l'ordre de 7.6 mg/kg a été trouvé dans les feuilles de la même espèce (Korichi 2019), selon l'auteur, cette différence est due à l'emplacement de la plante et au nombre et au pourcentage de polluants qui ont été transférés du sol par le xylème.

Le graphe dans la figure N°16 englobe les différents résultats de concentration en chrome hexavalent dans les différents échantillons.

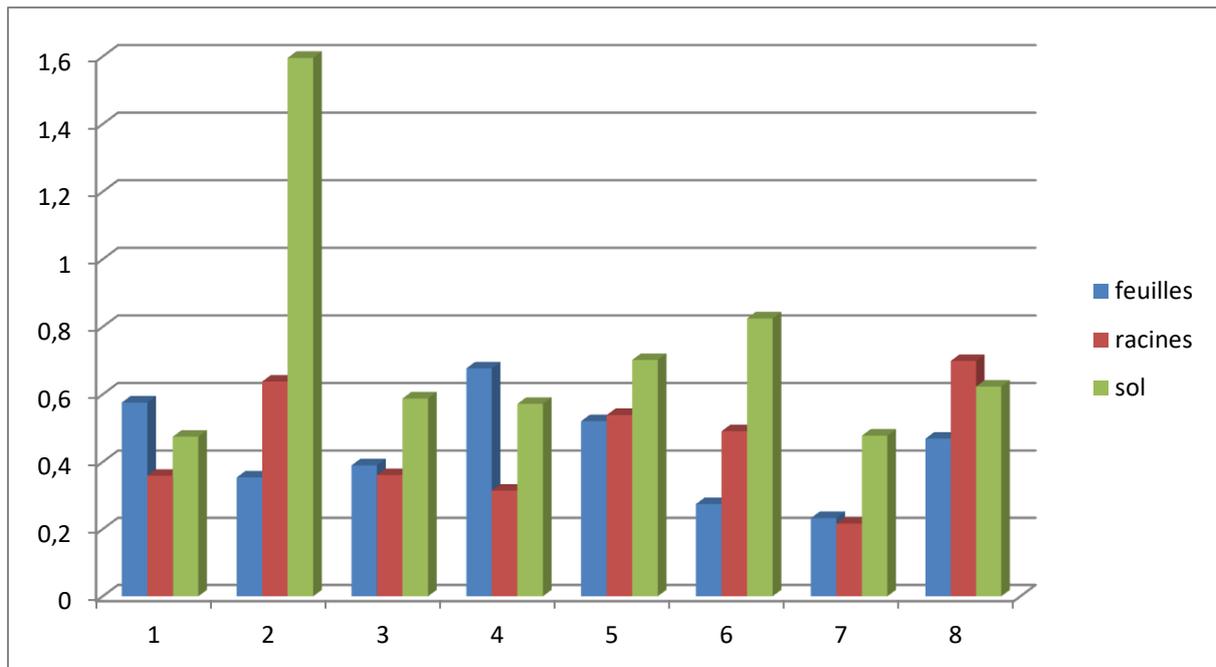


Figure N°16 : Résultats de concentration en chrome hexavalent dans les différents échantillons.

Le graphe dans la figure N°17 englobe les différents résultats de taux en chrome hexavalent dans les différents échantillons.

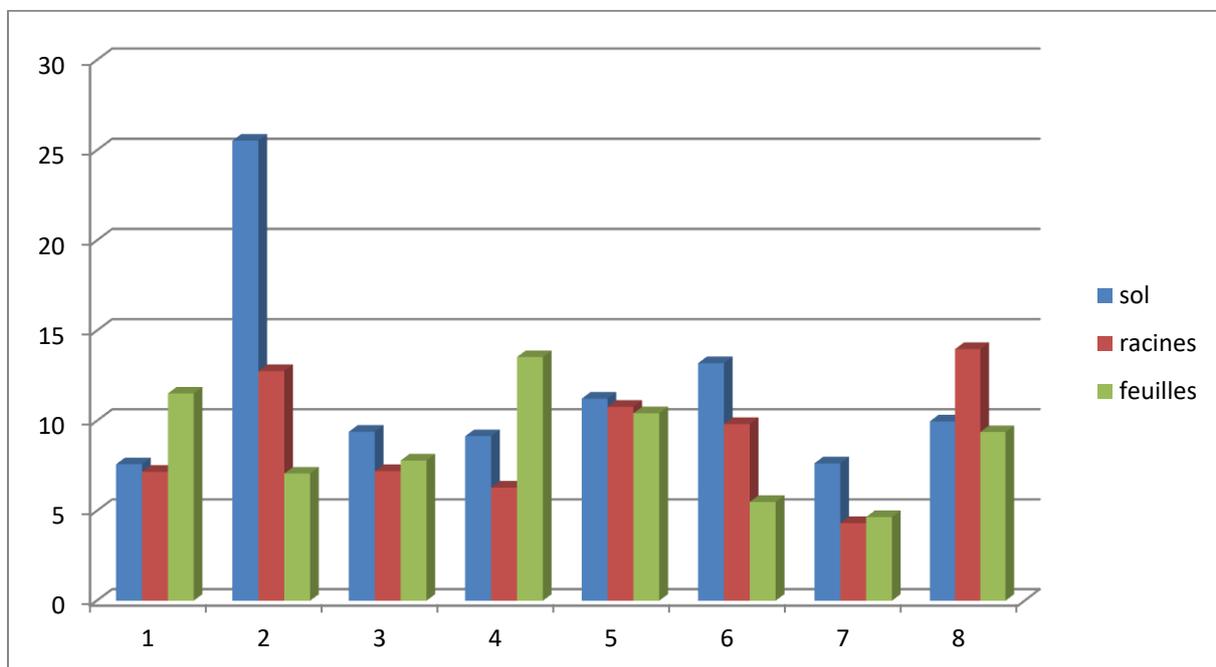


Figure N°17 : Résultats de taux en chrome hexavalent dans les différents échantillons.

4.6. Facteurs de caractérisation du phénomène de phytoremédiation :

Les résultats des Facteurs de bioaccumulation (BF), Facteurs de translocation (TF) et Facteurs d'enrichissement (FE) pour la plante *Silybum Eburneum* sont présentés dans le tableau N°11 et la Figure N°18 :

Tableau N°11 : Facteur de bioaccumulation (BF), facteur de translocation (TF) Et facteur d'enrichissement (FE)

Echantillons	01	02	03	04	05	06	07	08	Les moyennes
Facteur de bioaccumulation (FB)	0.94	0.49	0.76	0.68	0.95	0.74	0.56	1.40	0.815
Facteur de translocation (FT)	1.60	0.55	1.08	2.14	0.96	0.56	1.07	2.01	1.07
Facteur d'enrichissement (FE)	1.51	0.27	0.82	1.47	0.92	0.41	0.60	0.94	0.86

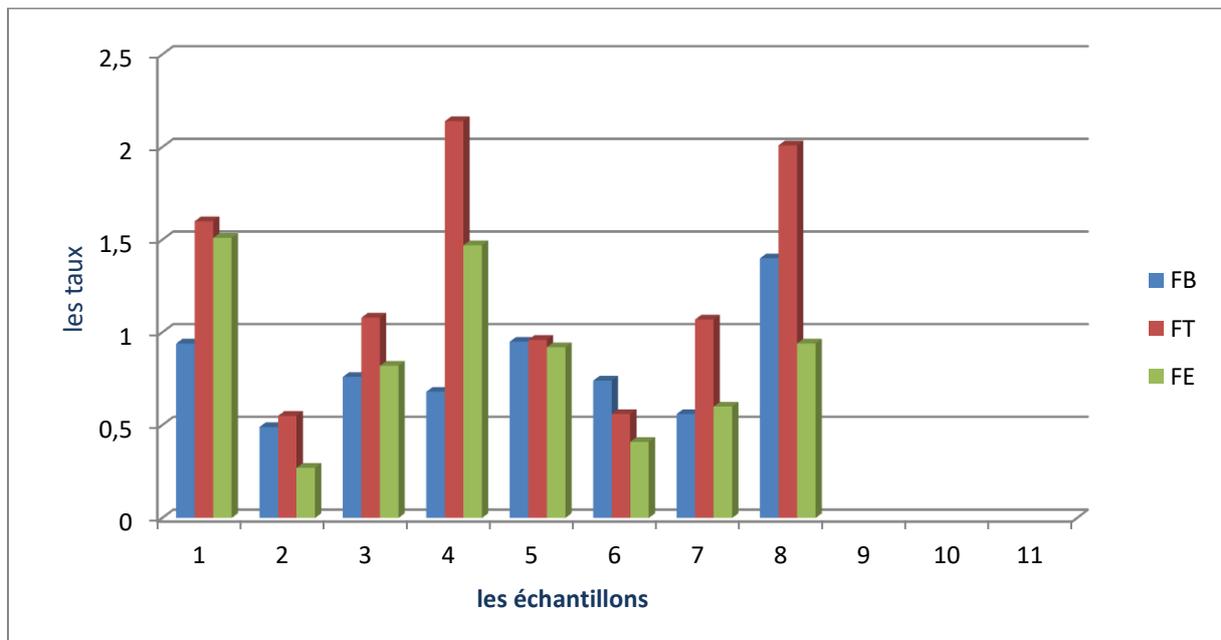


Figure N°18 : Résultats des facteur de bioaccumulation (BF), facteur de translocation (TF) et facteur d'enrichissement (FE).

D'après ces résultats on note que :

- Dans la majorité des échantillons, à savoir les échantillons 1, 2, 3, 4, 5, 6, et 7, nous avons constaté un $FB < 1$, tandis que l'échantillon N° 8 possède un $FB > 1$, Ce qui signifie que *Silybum Eburneum* n'est pas un bon accumulateur de chrome dans les racines.
- Dans les échantillons N° 1 et 4, le $FE > 1$. Signifie que *Silybum Eburneum* est un stabilisateur de chrome.
- Dans les échantillons 1, 3, 4, et 8, FT est supérieur à 1, cela indique que la plante peut transférer efficacement le chrome des racines vers les feuilles.
- En comparant avec des travaux antérieurs, en ce qui concerne le facteur de translocation moyen (FT) de 1,07, qui est supérieur à celui trouvé pour le zinc (Nyatwere D,2014). Ils ont trouvé des FT de l'ordre de 0,06, 0,07 et 0,21 mg/kg, ainsi des facteurs de translocation (FT) pour Cadmium 0.20 ; 0.04 ; 0.01 et à Le facteur de transfert (FT) pour Nickel 0.21 ; 0.41 ; 0.09, pour les espèces végétales *Cynanchum Tubulosum*(L. F.) Engl, *Eragrostis Aethiopica* Chiov et *Euphorbia Hirtal*, respectivement. Par rapport à ces plantes, nous constatons que la plante *Silybum Eburneum* est capable d'absorber et de tolérer des concentrations plus élevées de métal, ce qui représente un avantage encourageant pour leur utilisation dans les processus de phytoremédiation.
- Les résultats de l'accumulation de chrome (VI) par la plante ont indiqué la capacité des espèces *Silybum Eburneum* à contribuer à l'accumulation et/ou à l'extraction de chrome des sols contaminés.
- Où *Silybum Eburneum* peut être un bon accumulateur avec un BF maximum d'environ 2,46 qui a été trouvé par Korichi (2019). Cependant, à partir de nos résultats, nous confirmons que le *Silybum Eburneum* a la capacité de transférer efficacement le chrome de la racine vers les feuilles et peut être plus adapter à la phytoremédiation car les vignes stockées dans la partie aérienne sont amovibles ou simplement extraites (avec possibilité de réutilisation).

- D'après ces résultats, et en prenant en considération que la période d'expérimentation était seulement 10 jours, nous avons obtenus des résultats très satisfaisantes de points de vue élimination du chrome hexavalent, ce qui nous montre l'efficacité de cette méthode à remédier les sols contaminés par le chrome hexavalent en une période courte.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale et perspectives :

- ✓ Le premier objectif majeur de ce travail était d'étudier la capacité de *Silybum Eburneum* à tolérer et/ou accumuler le chrome hexavalent (sol, feuilles et racine).
- ✓ Et à travers cette étude nous pouvons conclure que le chrome représente un problème prioritaire dans la région de Djelfa, où les résultats ont montré que la quantité de chrome dans les plantes varie entre 4,32 à 13,54 mg/kg, ainsi que le sol de 7,60 à 25 536 mg/kg, sans affecter sa croissance. Ces dernières concentrations sont jugées trop élevées pour l'environnement, et cet écart entre les concentrations est dû à plusieurs facteurs, dont la pente, la saturation du sol et de la végétation (saison hivernale), la perméabilité du sol...etc.
- ✓ Le deuxième objectif principal de ce travail est de déterminer le mécanisme de la phytoremédiation. Sur la base de nos résultats ($FE > 1$), nous confirmons que *Silybum Eburneum* a une forte résistance au chrome hexavalent, car les résultats du facteur de transfert indiquent qu'il s'accumule principalement dans les feuilles, et peut être plus adapté à la phytoremédiation car le chrome stocké dans l'air une partie peut être retirée ou extraite. Simplement (avec possibilité de réutilisation). Ceci prouve que le mécanisme de phytoremédiation est de type (volatilisation, transformation ou extraction). Ce type peut être une bonne alternative à la phytoremédiation du chrome(VI).
- ✓ Ces résultats très satisfaisants ont été obtenus en seulement 10 jours, ce qui nous montre l'efficacité de cette méthode à remédier les sols contaminés par le chrome hexavalent en une période courte.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- Ademe, Ineris., 2012_ *Les phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués (État de l'art et guide de mise en œuvre)*. Rapport de L' ADEME et L' INERIS., France, 99 p.
- Ademe, Bragm , (En ligne). <https://www.selecdepol.fr/fiches-techniques/phytoremediation.22/12/2013> .
- Alloway B.J., 1995. Heavy metals in soils. Second edition. Blackie Academic and Professional, London., 368 p.
- Anonyme., (Page consultée le 5 avril 2021) – *Silybum Eburneum Coss. & Durieu*, [En ligne]. Adresse URL : <https://www.gbif.org/species/3145226>.
- Anonyme., (Page consultée le 19 mai 2021) – *Phytodégradation*, [En ligne]. Adresse URL : <https://www.selecdepol.fr/fiche-technique/phytodegradation>

B

- Barceloux D.G, *Clinical Toxicology*, 37(2) (1999)173-194.
- Bartlett J. R.; James B.R.; 1996.-*Chromium. In: Methods of Soil Analysis part. 3 Chemical Methods*, Soil Sci. Soc. Of Amer. Series, 25, 683-701p.
- Baylar A., Ozkan F., et Unsal, M. (2010). “Using venturi tubes in two-phase aeration processes.” *International Sustainable Water and Wastewater Management Symposium*, Konya, Turkey
- Berrabah Y.; 2018. *Etude de la pollution des sols par le chrome hexavalent Dans la ville de Djelfa* ; Ziane Achour. Djelfa.
- Bourrelier P. H.; Berthelin J.; 1998-*Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion*. In: Tec Doc Lavoisier, Paris, 440p.

C

- CERTU.; 2007 _ *Fourchettes de concentrations de polluants dans l'air en fonction des typologies de sites (rural, urbain, périurbain, trafic et industriel)*. Rapport de Certu., France, 86 p .
- Cho-Ruk K., Kurukote J., Supprung P., et Vetayasuporn S., “Perennial plants in the phytoremediation of lead-contaminated soils,” *Biotechnology*, vol. 5, no. 1, pp. 1–4, 2006.
- Colombano S., Saada A., Guerin V., Bellenfant P., Beranger S., Hube D., Blanc C., Zornig C. et Girardeau I.; *Quelles techniques pour quels traitements – Analyse coûts-bénéfices – Rapport final BRGM-RP-58609-FR. 2010. 403P.*

D

- DalCorso G., Fasani E., Manara A., Visioli G., and Furini A. (2019). Heavy metal pollutions: State of the art and innovation in phytoremediation. *Int. J. Mol. Sci.* 20:3412. doi: 10.3390/ijms20143412

F

- Fendorf S.E; 1995.-*Surface reactions of chromium in soils and waters*. *Geoderma*, 67, 55-71p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Fournon D.; 2017_ *La phytoremédiation*. Thèse Doctorat., Univ.grenoble. sci. Pharmacie , 114p.

G

- Gao H.; Liu Y.; Zeng G.; Xu W.; Li T.; Xia W., J. Hazard. Mater., 150 (2007) 446-452.
- Gerhardt K. E., Gerwing P. D., and Greenberg, B. M. (2017). Opinion: taking phytoremediation from proven technology to accepted practice. *Plant Sci.* 256, 170–185. doi: 10.1016/j.plantsci.2016.11.016.
- Ghezal M et Lebbaz N ,2021-*La phytoremédiation du chrome hexavalent par des plantes spontanées de la zone de Djelfa*. mém.Univ, Ziane Achour-Djelfa,50p.
- Gode F, Pehlivan E., J Hazard. Mater. 119 (2005) 175–182.
- Guelton S. (1999), *Les enjeux financiers de la dépollution des anciens sites industriels/Financial issues related to the cleaning up former industrial sites [archive]*, Revue de géographie de Lyon, 74(3), 233-241.

H

- Hakim A.B, 2015. *Projet de phytoremédiation d'une zone humide : élaboration d'un CCTP*. universitaires européennes. France : verlag, 127p.

J

- JORADP.; 2009: JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°36 le 27 JoumadaEthania 1430 21 juin 2009,18p.

K

- KhedhiriH , Pptier O, et Leclerc JP., 2014 _ Autoépuration en eau courante : évaluation de l'oxygénation dans les cascades en marches d'escalier Self-purification in running water: experimentalevaluation of the oxygenationcapacity of stepped cascade. *Revue des sciences de l'eau.* 27(2) : 11 p.
- Korichi A .; 2019-*Inventory of phytoremedium plant species of hexavalent chromium near the route of OuedMellah* .mém.Univ, ZianeAchour-Djelfa,50p.
- Kulke H « Le rocher de sel de Djelfa, Géologie et morphologie ». Géolosches Institut de Rubr. Universität Postfash, 1978.

L

- LeonardA, LauwerysR. R., Hazard Assessment of Chemicals, Volume 7(1980) 1990- 340.
- Losi M.E., AmrheinC.Jr, Frankenberg W.T., 1994. Environmental Biochemistry of Chromium.Reviews of Environ. Cont. and Toxic.,vol 136,pp 91-121.15.
- Lorestani B., Cheraghi M., Yousefi N., 2011. Phytoremediation potential of native plants growing on a heavy metals contaminated soil of copper mine in Iran. *World Acad Sci Eng Technol* 77, 377–382.
- Loyaux-LawniczakS., 1999_ *Mécanismes d'immobilisation fu du chrome dans les sols: diagnostic de la pollution d'une friche industrielle et réactivité des ions*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

chromates vis-à-vis fu fer divalen. Thèse Doctorat., Univ. HENRI POINCARÉ, sci. Chimie-Physique. , France, 207 p.

M

- Maria, 2011-*Risque du chrome hexavalent sur la santé humaine* .Therese Giorgio//www.atousante.com /faq/risqué du chrome-hexavalent-pour-la santé/(page consulté le 20/6/2018).
- MenozziJ , Marco A , Leonard S., 2011 _ *Les plantes spontanées en ville*. Plante & Cité, 20p.

N

- NF U44-041, France 1985 cité par stengel P, Gelin S ,1998-sol : *interface fragile p170*institut national de la recherche agronomique, paris.
- 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 phytoremediationpotential. Environ. Earth Sci. 59, 315–323. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0028-2>.
- Nyatwere D M.,2014 _ The Potential of Bioaccumulation and Translocation of Heavy Metals in Plant Species Growing around the Tailing Dam in Tanzania.*International Journal of Science and Technology*. 3(10) : 8 p.

O

- Oliveira Of, CanevariNt, Guerra Mbb, Perrira-FilhoEr (2013) proposition of simple method for chromium hexavalent determination in soils from remote places applying digital images: A case study from Brazilian Antarctic, *Microchem.J.*109:165-169.
- OZE C.; BIRD D.K.; FENDORF S.; 2007- *Genesis of hexavalent chromium from natural sources in soil and groundwater*. P. Natl. Acad. Sci., 104, 15, 6544-6549.

P

- Pawlisz A.V.E.; Kent W.A.; SCHNEIDER U.A.; JEFFERSON C.; 1996- *Canadian water quality guidelines for chromium*. Environ.Toxicol.WaterQual. 12, 185-193p.
- PerchetG.T.; Institut National Polytechnique de Toulouse, Thèse (2008).

Q

- Quezel P. Santa. S.; 1963 ;*Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (TOME II)* ; Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris ;571-1170.

R

- Rebhi A. E.; (2019). *Response of Artemisia herbaalba to hexavalent chromium pollution under arid and semi-arid conditions*. International Journal of Phytoremediation, 224-229.
- Rebhi A. E, 2019.Cours de Pollution et remédiation, Univ, ZianeAchour-Djelfa, 201p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Riaz M. T.; 2019; *Variations in morphological and physiological traits of wheat regulated by chromium species in long-term tannery effluent irrigated soils*; *Chemosphere*; 891-903.
- Rodier J.; 2009-*l'analyse de l'eau*. EdDunod, Paris, 262-263P.

S

- SailaaN.; 2018.- *La pollution des eaux naturelles et usées par le chrome hexavalent dans la ville de Djelfa*. mém.Univ, Ziane Achour-Djelfa, 50p.
- Shanker A. K., CervantesC., H. LozaTavera S. Avudainayagam, *Environment International*, 31 (2005)739-753.
- Sheoran V., Sheoran, A., and Poonia, P. (2011). Role of hyperaccumulators in phytoextraction of metals from contaminated mining sites: a review. *Crit. Rev. Env. Sci. Technol.* 41, 168–214. doi: 10.1080/10643380902718418.
- Schroeder D.C.; LeeG.F.; 1975- *Potential transformations of chromium in natural waters*. *Water, Air, Soil Pollution*,4, 355-365p.
- Stellman, 2000. consommateurs du chrome sont les Etats-Unis, la Russie, l'Allemagne, le Japon, la France et le Royaume-Uni .Thèse de Doctorat. On extrait ce métal de mines souterraines ou à ciel ouvert, Chapitre I.

T

- Torresdey J.L.G, Tiemann, K.J, Armendariz, V, J. *Hazard. Mater.*, 80 (1-3) (2000) 175-188.
- Trifi I-M.;2012. Étude de l'élimination du chrome VI par adsorption sur l'alumine activée par dialyse ionique croisée. Thèse de Doctorat, Université Paris-Est, 27p.

V

- Vutukuru SS, Prabhath NA, Raghavender M, Yerramilli A. Effect of arsenic and chromium on the serum amino-transferases activity in Indian major carp, *Labeorohita*. *Int J Environ Res Public Health*. 2007;4(3):224–227.

X

- 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.
- Xu T., Nan F., Jiang, X., Tang Y., Zeng Y., Zhang W., Shi B., 2020. Effect of soil pH on the transport, fractionation, and oxidation of chromium(III). *Ecotoxicol Env. Saf* 195, 110459. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110459>.

RESUME

Le but de ce travail est d'étudier et d'évaluer la réponse du *Silybum Eburneum* au chrome hexavalent dans le sol de la région de Djelfa. Ce polluant métallique a été choisi à cause de sa forte toxicité et sont présence dans les eaux usées de différentes industries, telle que les tanneries, cette dernière étant la principale source de cette pollution dans la zone d'étude.

Silybum Eburneum a été sélectionné dans une zone semi-aride entre El Maalba et Faidh El Botma, et son sol a été traité avec une solution de K_2CrO_7 pendant 10 jours à intervalle régulier de 48 heures. Les concentrations de chrome dans le sol et dans différentes parties de la plante ont été déterminées pour vérifier le transfert de ce polluant dans les différents compartiments de plante.

Les résultats de cette étude ont montrés que *Silybum Eburneum* a une forte résistance au chrome hexavalent. Une augmentation des concentrations de chrome est observée dans différentes parties de la plante, sans affecter sa croissance et son développement végétatif. Les résultats des facteurs de transfert du Cr(VI) ont également indiqué que ce dernier était principalement accumulé dans les feuilles. Ceci prouve que le mécanisme de phytoremédiation est de type volatilisation ou transformation ou extraction. Ce résultat montre la possibilité de remédier cette pollution par *Silybum Eburneum* pour protéger l'environnement à proximité.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة وتقييم استجابة *Silybum Eburneum* للكروم سداسي التكافؤ في تربة منطقة الجلفة. تم اختيار هذا الملوث المعدني بسبب سميته العالية وموجود في مياه الصرف الصحي من الصناعات المختلفة ، مثل المدابغ ، وهذا الأخير هو المصدر الرئيسي لهذا التلوث في منطقة الدراسة.

تم اختبار (*Silybum Eburneum*) من منطقة شبه قاحلة بين المعلبة و فيض البطمة بولاية الجلفة، وعولجت تربتها بمحلول الكروم السداسي لمدة 10 أيام على فترات منتظمة تفصل بينها 48 ساعة. تم تحديد تركيز الكروم في التربة وفي أجزاء مختلفة من النبات للتحقق من انتقال هذا الملوث في الأجزاء النباتية المختلفة.

أظهرت هذه الدراسة أن (*Silybum Eburneum*) لديه مقاومة قوية للكروم سداسي التكافؤ.

لوحظ زيادة في تركيزات الكروم في أجزاء مختلفة من النبات ، دون التأثير على نموه وتطوره. كما أشارت نتائج معامل انتقال الكروم إلى تراكم هذا الأخير بشكل أساسي في الأوراق. هذا يثبت أن آلية المعالجة النباتية هي من نوع التبخر أو التحويل أو الاستخلاص. تظهر هذه النتيجة إمكانية استخدام النبتة *Silybum Eburneum* لمعالجة هذا التلوث من أجل حماية البيئة الطبيعية.

ABSTRACT

The aim of this work was to study and evaluate *Silybum Eburneum* response to hexavalent chromium pollution in Djelfa region soil. This metallic pollutant was chosen because of its high toxicity and is present in the wastewater of different industries, such as tanneries, the latter being the main source of this pollution in the studied area.

Silybum Eburneum was selected from a semi-arid area between El Maalba and Faidh El Botma, and its soil was treated with K_2CrO_7 solution for 10 days at regular 48 hour intervals. The chromium concentrations in the soil and in different parts of the plant were determined; the objective was to verify the transfer of this pollutant in the different plant compartments.

This study showed that *Silybum Eburneum* has a strong resistance to hexavalent chromium. An increase in chromium concentrations is observed in different parts of the plant, without affecting its growth and vegetative development. Cr (VI) transfer factor results also indicated that Cr (VI) was mainly accumulated in the shoots. This proves that the phytoremediation mechanism was a volatilization, transformation or extraction in nature. These results show the possibility of remedying this pollution by *Silybum Eburneum* to protect the environment nearby.