



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministre de l'Enseignement Supérieur et

de la Recherche Scientifique

Université Ziane Achour-Djelfa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques et Vétérinaires

**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE**

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : ACQ

**Thème :**

**Contrôle de la qualité**

**du blé dur cultivé en milieu contaminé**

**par le Chrome hexavalent**

**Présentée par :**



Chouiha Chorouk



Ben kouider Zouina

**Devant le jury composé de :**

	MCA-Université de Djelfa	Président
M. Hachi Mohamed	MCA-Université de Djelfa	Promoteur
M. Hamidi Mohamed	MCA-Université de Djelfa	Co-Promoteur
	MCA-Université de Djelfa	Examineur
	MCA-Université de Djelfa	Examineur

AU : 2021-2022



**Remerciements:**

*Tous nos remerciements et notre gratitude à Dieu Tout-Puissant, qui nous a donné la patience et la volonté de mener à bien ce travail*

*Tout d'abord, nous voudrions exprimer nos remerciements, notre respect et notre appréciation à notre professeur et promoteur, M. Hachi Mohamed, pour ses conseils et ses orientations, qui nous ont beaucoup aidés à mener à bien ce modeste travail.*

*Enfin, nous exprimons notre sincère gratitude aux membres du jury et à tous ceux qui ont contribué et aidé à l'élaboration de ce travail.*

*Toute gratitude à chaque enseignant a contribué à notre formation et à notre éducation, et nous espérons que notre travail a atteint son sens et apporté un remède à un problème réel.*



## *Dédicace :*



*Je dédie cette modeste réalisation :*

- *A mes chers père et mère, que Dieu prolonge leur vie, et je les remercie pour leur soutien moral et financier.*
- *A mes chers frères "Fahed", "Hakim", "Mohamed" et "Khaled".*
- *A ma sœur " Djihane".*
- *A toute la famille.*
- *A tous mes amis, en particulier mon amie et deuxième sœur "Ben Kouider zouina".*
- *Et à tous ceux qui m'ont soutenu et encouragé pendant la durant de mes études.*

*Chorouk*









## *Dédicace :*

*Je dédie mon travail*

- *A mes chers père et mère, que Dieu prolonge leur vie et les bénisse.*
  - *A mes frères : Khaled, Mohamed et Youssef.*
  - *A mes sœurs : Fatima, Samira et Chaima.*
  - *Aux femmes de mes frères Khaira et Manal.*
  - *A ma famille.*
  - *Et je voudrais exprimer mes remerciements à ma chère, mon âme et ma sœur, Chouiha Chorouk, et j'espère que notre relation continuera et se renforcera avec le temps.*
  - *Sans oublier mon fiancé.*
- Enfin, à tous ceux qui m'ont soutenu pendant mes études.*

*Zouina*





# **SOMMAIRE**

## SOMMAIRE

Liste d'abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1
<b>CHAPITRE I : POLLUTION DE SOLS PAR LE CHROME HEXAVALENT</b>	
1/Introduction.....	2
2/ Nature et comportement des contaminants.....	2
3/Effets sur la santé.....	3
4/ Pollution des sols par le chrome hexavalent.....	3
4.1/Historique.....	3
4.2/Abondance du chrome (VI).....	3
4.3/Chimie du chrome (VI).....	4
4.4/Domaines d'application du chrome (VI).....	4
4.5/Problèmes posés par le chrome (VI).....	5
5/Transfert et dispersion du chrome dans l'environnement.....	6
5.1/Transfert et Toxicologie chez le Vivant.....	6
5.1.1/Chez les plantes.....	6
5.1.2/Dans les microorganismes.....	6
5.1.3/Avec des animaux.....	7
6/Méthodes d'élimination du chrome hexavalent dans les sols pollués.....	7
6.1/Le choix du procédé dépend de plusieurs paramètres contrôlent la méthode de décontamination, à savoir.....	7
7/La phytoremédiation du chrome hexavalent.....	10

7.1/Définition de la phytoremédiation.....	10
7.2/ Diverses techniques de phytoremédiation.....	10
7.2.1/Phytoextraction.....	10
7.2.2/Phytodégradation.....	11
7.2.3/Phytovolatisation.....	11
7.2.4/Rhizofiltration (Phytofiltration).....	11
7.2.5/Phytostabilisation.....	12
8/Critères de choix des espèces végétales pour la phytoremédiation.....	12
<b>CHAPITRE II : BLE DUR</b>	
9/Introduction.....	14
10/Définition du blé.....	14
11/Les caractéristiques et la composition du blé tendre et du blé dur.....	15
12/Origines génétique et classification du blé dur.....	16
12.1/Origines génétique du blé dur.....	16
13/Les appellations des blés durs.....	17
14/L'application de blé dur dans l'industrie agroalimentaire et Importance en Algérie.....	18
15/Utilisation du blé dans la phytoremédiation des éléments métalliques.....	19
<b>CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES</b>	
16/ Introduction.....	20
17/ Matériel.....	20
17.1/ Appareillage.....	20
17.2 / Verrerie.....	20
17.3/ Petit matériel et consommables.....	20
17.4/ Produits utilisés.....	21
18/ La méthode.....	21

18.1/ Implantation et arrosage avec le Chrome hexavalent.....	21
18.1.1/ Tamisage et sélection.....	21
18.1.2 / La préparation de la solution du chrome hexavalent, et l'arrosage.....	22
18.1.2.1/ L'arrosage avec le chrome hexavalent.....	22
18.2/ Extraction du chrome hexavalent.....	24
18.2.1/ Séparation des feuilles, racines et du sol.....	24
18.2.2/ Extraction du chrome hexavalent à partir du sol, feuilles et racines.....	25
18.2.2.1 / Extraction du chrome hexavalent à partir des plantes.....	25
18.2.3/ Extraction du chrome à partir du sol.....	25
18.2.3.1/ Préparation des solutions basiques.....	25
18.3 / Analyse du chrome hexavalent par spectrophotométrie UV-Visible.....	26
18.3.1 / Courbe d'étalonnage.....	27
18.3.1.1/ Préparation des solutions.....	27
18.3.1.2/ établissement de la courbe d'étalonnage.....	27
19/ Les facteurs caractérisant le phénomène de phytoremédiation.....	29
19.1/Facteur de translocation.....	29
19.2/Facteur d'enrichissement.....	29
19.3/Le facteur de bioaccumulation.....	30
20/Etude statistique.....	30
20.1/ Définition de l'étude statistique ANOVA.....	30
<b>CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSIONS</b>	
21/Introduction.....	31
22/Morphologie du blé dur avant et après contact avec le chrome hexavalent.....	31
23/Résultats d'analyse du chrome hexavalent dans les échantillons de sol et de plantes.....	32
23.1/ Les courbes d'étalonnage.....	32

23.2/Présence du chrome dans les échantillons du sol et de plantes.....	33
23.2.1/Chrome hexavalent dans les feuilles.....	33
23.2.1.1/Chrome hexavalent dans les deux types de blé dur utilisés (FASSI ; BELIONE) au niveau feuille.....	35
23.2.2/Chrome hexavalent dans les racines.....	36
23.2.2.1/Comparaison entre les teneurs du chrome dans les racines des deux variétés.....	38
23.2.3/Comparaison des taux du Cr hexavalent dans les feuilles et les Racines.....	39
23.2.4/Chrome hexavalent dans le sol.....	39
23.2.4.1/Comparaison entre les taux du chrome dans le sol pour les deux types de blé dur utilisés (FASSI ; BELIONI).....	40
23.3 /Facteurs de caractérisation du phénomène de phytoremédiation.....	41
Les facteurs en fonction du volume du chrome ajouté.....	41
Les facteurs en fonction du temps.....	42
Les facteurs en fonction de la variété du blé 43	
Conclusion.....	43
Conclusion générale et perspective.....	44
Références bibliographiques.....	45
Annexes.....	55
Résumé	



## Liste des abréviations utilisées :

1. **Cr(III)** : Chrome trivalent.
2. **Cr(VI)** : Chrome hexavalent.
3. **BTEX** : le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, les xylènes.
4. **COV** : composés organiques halogénés volatils.
5. **HAP** : hydrocarbures aromatiques polycycliques.
6. **PCB** : polychlorobiphényles.
7. **FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>** : La chromite.
8. **PbCrO<sub>4</sub>** : La crocinite.
9. **(NH<sub>4</sub>) Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>** : Le dichromate d'ammonium.
10. **CaCrO<sub>4</sub>** : Chromate de calcium.
11. **CrO<sub>3</sub>** : Le trioxyde de chrome.
12. **PbCrO<sub>4</sub>** : Chromate de plomb.
13. **K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>** : Le chromate de potassium.
14. **K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>** : Le bichromate de potassium.
15. **Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>** : Chromate de sodium.
16. **SrCrO<sub>4</sub>** : Le chromate de strontium.
17. **ZnCrO<sub>4</sub>** : Le chromate de zinc.
18. **Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : Oxyde chromique.
19. **OMS** : L'Organisation mondiale de la santé.
20. **UE** : L'Union européenne.
21. **K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>** : Dichromate de potassium.
22. **Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>** : Carbonate de sodium.
23. **NaOH** : Hydroxyde de sodium.
24. **HCl** : L'acide chlorhydrique.
25. **FT** : Facteur de translocation.
26. **FE** : Facteur d'enrichissement.
27. **FB** : Facteur de bioaccumulation.

## Liste de figures :

1. **Figure 01:** Divers mécanismes impliqués dans la phytoremédiation des métaux lourds (Dixit R, Wasiulah et al ,2015).
2. **Figure 02 :** Composition histologique du grain de blé (Bounneche, 2015).
3. **Figure 03 :** Origines génétique du blé dur(RVALIS Institut du Végétal)  
Classification du blé dur .
4. **Figure 04 :** Mélange du sable, sol et de tourbe.
5. **Figure 05 :** Plants du blé dur : 5 jours après l'implantation.
6. **Figure 06 :** Plants de blé dur après 7 jours d'arrosage avec le chrome hexavalent.
7. **Figure 07 :** Séparation du sol,des racines et des feuilles.
8. **Figure 08 :** Extraction du chrome à partir du sol.
9. **Figure 09 :** Tubes contenant des échantillons de racines, de feuilles (après ajout d'acide chlorhydrique), et de sol (après ajout de NaOH et NaHCO<sub>3</sub>).
10. **Figure 10 :** Addition d'acide 1,5-diphénylcarbazine aux solutions étalon.
11. **Figure 11 :**Etablissement de la courbe d'étalonnage avec le spectrophotomètre UV-Vis.
12. **Figure 12 :**Morphologie du blé dur avant et après contact avec le chrome hexavalent.
13. **Figure 13 :** Solutions standard de chrome hexavalent après contact avec 1.5 Diphénylcarbazine.
14. **Figure 14 :** Courbe d'étalonnage de date 09/06/2022.
15. **Figure 15 :** Longueurs des feuilles en fonction du volume de chrome ajouté.
16. **Figure 16 :** Le taux du chrome dans les feuilles en fonction du volume de chrome ajouté.
17. **Figure 17 :** Le taux du chrome dans les feuilles en fonction du temps.
18. **Figure 18 :** Le taux de chrome dans les feuilles dans chaque type de blé séparément en fonction du temps.
19. **Figure 19 :** Le taux de chrome dans les feuilles dans chaque type de blé séparément en fonction du volume de chrome ajouté.
20. **Figure 20 :** Taux du chrome dans les racines en fonction du volume de chrome ajouté.
21. **Figure 21 :** Taux du chrome dans les racines en fonction du temps.
22. **Figure 22 :** Le taux de chrome dans les racines dans chaque type de blé séparément en fonction du temps.

23. **Figure 23** : Le taux de chrome dans les racines dans chaque type de blé séparément en fonction du volume de chrome ajouté.
24. **Figure 24** : Taux du chrome dans le sol en fonction du volume de chrome ajouté.
25. **Figure 25** : Taux du chrome dans le sol en fonction du temps.
26. **Figure 26**: Le taux de chrome dans les feuilles dans chaque type de blé séparément en fonction du temps.
27. **Figure 27** : les facteurs (FT, FE, FB) en fonction du volume du Cr hexavalent ajouté.
28. **Figure 28** : les facteurs (FT, FE, FB) en fonction du temps.
29. **Figure 29** : les facteurs (FT, FE, FB) en fonction de la variété de blé dur utilisée.
30. **Figure 30** : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 01/06/2022.
31. **Figure 31** : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 02/06/2022.
32. **Figure 32** : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 05/06/2022.
33. **Figure 33** : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 06/06/2022.
34. **Figure 34** : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 07/06/2022.
35. **Figure 35** : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 08/06/2022.
36. **Figure 36** : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 09/06/2022.
37. **Figure37** : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 06/07/2022.

## **Liste de tableaux :**

1. **Tableau 1** : Avantages et inconvénients des techniques de dépollution (AdemeetBrgm, 2013).
2. **Tableau 02** : Caractéristique du blé tendre et du blé dur (Aidani, 2015).
3. **Tableau 03** : Classification botanique du blé dur (Bonjean et Picard, 1990).
4. **Tableau 04** : Quelques noms du blé dur en Algérie(J. Erroux, 1991).
5. **Tableau 05** : Evolution de la superficie récoltée, de la production et du rendement du blé dur durant la période 1995 – 2006 (Ministère de l’agriculture 2006).
6. **Tableau 06** : Laméthode utilisée pour irriguer le blé dur avec du chrome hexavalent.
7. **Tableau 07** : établissement de la courbe d’étalonnage.

**INTRODUCTION**  
**GENERALE**

***Introduction générale :***

La pollution de l'environnement est un problème majeur de santé publique, car elle provoque de nombreuses maladies graves dans le monde (Briggs D, 2003). C'est le cas depuis le début du développement industriel, et la multiplicité des activités humaines a amorcé la pollution des sols et des eaux et la détérioration de l'environnement et de la santé (Girard, 2005), résultant du transfert de particules et d'éléments métalliques vers les nappes phréatiques et chaîne alimentaire (Gabt, 2004) La pollution de l'environnement par les éléments métalliques est un problème à priorité, car ils sont toxiques. Leur libération sans traitement représente une menace sérieuse pour la santé publique à cause de leur persistance (Decker M. et DossoO, 2006).

La phytoremédiation est utilisée dans le processus de traitement des sols contre la contamination minérale. L'amélioration de ce type de processus nécessite une meilleure compréhension des processus de mobilisation, d'absorption et de séquestration des minéraux par les plantes. La phytoremédiation offre une bonne combinaison d'un point de vue économique et de respect de l'environnement (Schnorr, 2003).

Le chrome est connu pour intervenir dans différentes réactions chimiques et biologiques qui peuvent modifier sa spéciation et par conséquent son comportement dans l'environnement. Le chrome est présent dans trois parties de l'environnement : l'eau, l'air et le sol(Desjardin V., 2002). Il peut se trouver principalement sous deux formes, trivalent et hexavalent. La forme hexavalente est plus toxique et plus cancérogène que la forme trivalente.

Le blé est un candidat intéressant, car il contribue à la sécurité alimentaire et, selon des études liées à la phytoremédiation, a montré sa capacité à nettoyer les sols contaminés des éléments minéraux tels que Fe, Zn et Mn (Fabienne Baraud, 2004).

Dans ce modeste travail, on s'intéresse à l'utilisation de deux variétés de blé dur (*Triticum durum*) dans la phytoremédiation du chrome hexavalent, pour cela notre manuscrit est divisé en quatre chapitres, le premier s'intéresse à la pollution par les éléments métalliques et particulièrement le chrome hexavalent, le deuxième chapitre est consacré à une description de l'espèce végétale utilisée, le troisième chapitre englobe le matériel utilisé et les méthodes appliquées et le dernier chapitre contient les résultats trouvés ainsi les discussions correspondantes.

**CHAPITRE I :**  
**POLLUTION DE SOLS**  
**PAR LE CHROME**  
**HEXA VALENT**

### **1/Introduction :**

Les sols ont une variété de structures, de textures et d'activités biologiques qui leur permettent de convertir de grandes quantités de débris et de déchets en composés organiques et minéraux qui recyclent les ressources dont dépend la vie sur Terre. Le sol est un environnement idéal pour la survie des plantes, et aucun autre milieu naturel ne peut supporter une aussi grande biodiversité aux mêmes échelles temporelles et spatiales. Les sols ont subi divers effets d'humanisation pendant des milliers d'années et un manque de compréhension des processus qui s'y déroulent a nui à leur conservation dans leur état naturel (Hartmann R. 1996). Les catastrophes naturelles, comme les éruptions volcaniques, les inondations, les incendies de forêt, de même que les phénomènes courants, tels l'altération atmosphérique, la combustion et l'érosion, libèrent des contaminants qui peuvent se répandre dans le sol. Dans la plupart des cas, la contamination locale des sols est un vestige du passé, lorsque peu ou pas de considération a été accordée à l'impact possible des activités humaines sur l'environnement. Les sources de cette pollution sont multiples : elles concernent bien sûr l'étape de la production industrielle ou de l'extraction minière, mais aussi l'étape de l'élimination des déchets. À ces sources s'ajoutent d'autres sources, notamment celles liées aux activités de services- hôpitaux ; infrastructures de transport - voire certains faits imputables aux particuliers - fuites de réservoirs de carburant, utilisation de pesticides, stockage de produits dangereux (MAES 2007b : 500).

### **2/Nature et comportement des contaminants :**

Les contaminants sont très hétérogènes, généralement divisés en deux catégories : les produits chimiques organiques et les produits chimiques inorganiques. La première catégorie comprend de nombreux composés, notamment le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, les xylènes (BTEX), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les composés organiques halogénés volatils (COV) et les biphénylspolychlorés (PCB). La deuxième catégorie comprend principalement les éléments métalliques, tels que le cadmium, le cuivre, le nickel, le plomb, le zinc, le chrome ou l'arsenic. Tous ces polluants ont leurs propres caractéristiques et se comportent différemment dans l'environnement, avec une faible dégradation ou une migration vers d'autres composants de l'environnement, comme vers l'atmosphère lors de l'évaporation, vers les plantes lors de l'absorption ou vers les eaux de surface lors du ruissellement. (EL YAMANI M. 2006)

### **3/Effets sur la santé :**

On pense que de nombreuses maladies trouvent leur origine dans l'environnement, en particulier dans les contaminants présents dans le sol. Par ingestion ou inhalation, plusieurs éléments métalliques sont connus pour être neurotoxiques (par exemple le plomb) ou cancérogènes (par exemple l'arsenic, le chrome VI ou le cadmium).(Damien Francenne, et al .2008).

### **4/Pollution des sols par le chrome hexavalent :**

#### **4.1/Historique :**

Le chrome a été découvert dans l'Oural à Beresovsk dans du minerai de plomb rouge (crocoïte) à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle par le chimiste français Nicolas Louis Vauquelin (1763-1829). Ce métal fut nommé ainsi à cause des couleurs éclatantes qu'il donne à certains de ses composés (khrôma en grec signifie couleur). Les couleurs du rubis et de l'émeraude par exemple sont dues à la présence du Cr (III). Le chrome fut utilisé au début du XIX<sup>e</sup> 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. Aussi l'exposition répétée et régulière aux composés chromés peut entraîner des effets néfastes sur la santé (DESJARDIN, 2002).

#### **4.2/Abondance du chrome (VI) :**

Dans la nature, l'élément chrome Cr ne se trouve pas à l'état libre (Shupak, 1991), il est plutôt trouvé sous forme de complexes avec l'oxygène, le fer ou le plomb, formant des oxydes comme la chromite ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) et la crocoïte ( $\text{PbCrO}_4$ ) (Williams, 1988). Le chrome (VI) utilisé dans différentes d'applications industrielles est présent dans de nombreux composés tels que le dichromate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), chromate de calcium ( $\text{CaCrO}_4$ ), le

trioxyde de chrome ( $\text{CrO}_3$ ), chromate de plomb ( $\text{PbCrO}_4$ ), le chromate de potassium ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ), le bichromate de potassium ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), le chromate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ), le chromate de strontium ( $\text{SrCrO}_4$ ) et le chromate de zinc ( $\text{ZnCrO}_4$ ). On n'exploite industriellement que les minerais renfermant plus de 40% d'oxyde chromique ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). On extrait ce métal de mines souterraines ou à ciel ouvert (Stellman, 2000).

### **4.3/Chimie du chrome (VI) :**

L'isotope du chrome le plus abondant est le  $^{52}\text{Cr}_{24}$ . Comme les 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) ; 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 et entrent dans de nombreux produits aux multiples applications dans l'industrie. L'oxyde chromique et le sulfate basique de chrome sont les plus importants. Le chrome à l'état d'oxydation +6, Cr (VI), est présent dans les applications industrielles les plus nombreuses, par suite de ses propriétés acides et oxydantes, et de son aptitude à former des sels fortement colorés et insolubles. Les plus importants composés contenant du chrome hexavalent sont le dichromate de sodium, le dichromate de potassium et le trioxyde de chrome (IKHLASS MARZOUK TRIFI, 2012).

### **4.4/Domaines d'application du chrome (VI) :**

Le chrome est l'un des métaux les plus largement employés dans l'industrie grâce à la solidité, la dureté et la résistance à la corrosion qui le caractérisent. Dans les industries chimiques, ce sont surtout les bichromates qui sont les plus employés. Les sels hexavalents, totalement solubles, sont utilisés en tannerie, dans la peinture et la teinture, les explosifs, la céramique, le traitement du bois de même que par l'industrie papetière. Les sels trivalents sont utilisés comme mordants en teinture, en céramique, en verrerie et en, photographie. Le chrome est utilisé à profusion dans l'industrie métallurgique pour la production d'alliages. Le chrome est aussi utilisé dans la fabrication de briques réfractaires. Un autre usage important du chrome est dans les applications chimiques comme la finition des métaux Cr (VI), le

contrôle de la corrosion Cr (III), le tannage Cr (III) et la finition du cuir, le traitement du bois Cr (VI) et la production de pigments Cr (VI) et Cr (III) (F. Gode et al., 2005 ; Langård, 1982; USEPA,1984b ; Nriagu, 1988)

### **4.5/Problèmes posés par le chrome (VI) :**

La forme hexavalente du chrome est la plus problématique ; le chrome (VI) est très toxique, mais aussi très soluble dans l'eau sous cette forme. Cette solubilité lui confère une grande mobilité dans les écosystèmes. Le chrome hexavalent a été considéré comme l'un des polluants les plus toxiques à cause de ses propriétés cancérigènes et tératogéniques sur l'être humain. Il est devenu un grave problème de santé (Torresdey et al., 2000 ; Karthikeyan et al., 2005). 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). La valeur maximale du chrome destinée à la consommation humaine est estimée à 0,1 mg/L selon U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). En outre, la norme nationale Algérienne a limité la concentration du Cr (VI) dans les eaux usées à 0,1 mg/L (Norme OMS, 1993 ; Norme UE, 1998). La toxicité du chrome dépend non seulement de sa concentration, mais aussi de son degré d'oxydation. En effet, il est communément admis que le chrome (VI) est beaucoup plus toxique que le chrome (III). Le chrome (III) est un nutriment essentiel pour les êtres vivants puisqu'il joue un rôle indispensable dans le métabolisme glucidique comme activateur de l'insuline (Alloway, 1995 ; DeFlora, 1989 ; Otabbong, 1990). Les dérivés du chrome peuvent conduire à des lésions caractéristiques appelées « pigeonneau » ou « rossignol ». Elles débutent par des fissures douloureuses qui s'accroissent progressivement et deviennent des ulcérations. Outre ces lésions typiques, on peut observer des dermatoses eczématiformes, et dans certains cas, le développement d'une dermatose de contact d'origine allergique, et plus rarement de l'acné (Haguenoer et al., 1981). L'ingestion d'un sel de chrome (VI) ou chrome (III) cause une nécrose sélective des cellules des tubes proximaux (Schubert, 1997). Le chrome (VI) est dangereux pour la santé, principalement pour les personnes travaillant dans l'industrie de l'acier et du textile. Le chrome (VI) peut avoir d'autres conséquences qui sont les éruptions cutanées, des problèmes respiratoires, l'affaiblissement du système immunitaire, il peut aussi altérer le matériel génétique et provoquer des cancers (Mohanty et al., 2005).

## **5/Transfert et dispersion du chrome dans l'environnement :**

Dans la plupart du temps, le chrome dans l'air se présente sous forme de minuscules particules d'un diamètre d'environ 1 µm. Ces particules, qui collent à la pluie ou à la neige, finissent par tomber au sol et se retrouvent dans les plans d'eau. Dans les sols et les sédiments, le chrome hexavalent est transformé en chrome trivalent de manière significative. Ce phénomène est d'autant plus essentiel que les sols sont riches en matière organique et que le pH est bas (Charenete M., 1993).

### **5.1/Transfert et Toxicologie chez le Vivant :**

#### **5.1.1/Chez les plantes :**

En raison de son adsorption sur les hydroxydes métalliques, le chrome est difficilement assimilable par les plantes. Cependant, avec la présence du chrome dans le sol, il y a une plus forte concentration de chrome dans la végétation, avec une concentration plus élevée dans les racines que dans les feuilles et les graines (Decker M. et Dosso O., 2006). Le chrome ne semble pas nécessaire à la survie des plantes. Dans les systèmes naturels, sa toxicité se manifeste en relation avec le règne végétal. Certaines plantes poussent dans des zones fortement contaminées par le chrome. Certains auteurs pensent que les plantes n'absorbent pas le chrome ou l'absorbent exclusivement par leurs racines, sans transit vers d'autres parties de la plante (Losi et al., 1994). Or, la jacinthe d'eau cultivée sur un milieu riche en chrome hexavalent a pu l'abaisser au niveau racinaire, selon une étude récente. Le Cr(III) est alors stocké sous forme libre ou complexé avec des oxalates dans ces tissus, ainsi que dans d'autres tissus comme les feuilles et les pétioles (Lytle et al, 1998).

#### **5.1.2/Dans les microorganismes :**

Le chrome n'est pas un métal essentiel pour la croissance microbienne. Le chrome a des effets toxiques sur les bactéries saprophytes et nitrifiantes, les champignons filamenteux, les algues et le phytoplancton. Le chrome (VI) altère le matériel cellulaire, le métabolisme et les réponses physiologiques (Desjar V., 2002)

### **5.1.3/Avec des animaux :**

Ils montrent la relation entre la quantité de chrome dans l'organisme et la quantité de chrome dans l'environnement. Chez les poissons, le chrome hexavalent ne s'accumule pas contrairement au chrome trivalent (Decker M. et Dosso O., 2006). Parce qu'elle est toxique et mutagène, la forme hexavalente n'est pas une source de nutrition. En théorie, les humains et les animaux obtiennent très peu de chrome par inhalation, mais ils en absorbent beaucoup par la nourriture et l'eau. Les composés de chrome d'origine alimentaire sont relativement sûrs, tandis que les chromates sont hautement toxiques. La structure chimique du chrome joue un rôle important dans l'absorption intestinale du chrome (Desjar V., 2002)

### **6/Méthodes d'élimination du chrome hexavalent dans les sols pollués :**

L'assainissement des sols a pour but de restituer le plus fidèlement possible le site à l'état d'avant la contamination. De plus, les technologies de traitement des sols ne doivent pas contaminer plus que les résultats de la décontamination. Autrement dit, la contamination ne peut pas être transférée (Perch et G.T., 2008). La pollution des sols par le chrome hexavalent a été reconnue comme un problème majeur depuis de nombreuses années notamment celle relative au chrome hexavalent. L'impact environnemental du chrome hexavalent persistant se manifeste à leurs effets toxiques, mutagènes et cancérigènes. Cela rend nécessaire la décontamination des sites concernés (Decker M. et Dosso O., 2006) (VANGRONSVELD et al., 2009). Ainsi plusieurs techniques de traitement ont vu le jour afin de tenter de restaurer les sites pollués classés dangereux pour les écosystèmes et la santé humaine (Ballerini et Vandecasteele, 1999).

#### **6.1/Le choix du procédé dépend de plusieurs paramètres contrôlent la méthode de décontamination, à savoir :**

- Le coût d'investissement : Par rapport aux méthodes physiques et biologiques, les procédés chimiques semblent être plus coûteux (Rebhi, 2019).
- Niveau de contamination : Le sol et/ou l'eau contiennent-ils des quantités importantes de contaminants (Rebhi, 2019).
- La nature du sol : On ne nettoie pas le sable et l'argile de la même façon.

- Surface du site : Le site est-il suffisamment grand pour accueillir des installations de contrôle de la pollution.

**Tableau 1 : Avantages et inconvénients des techniques de dépollution (AdemeetBrgm, 2013).**

Techniques d'éliminations	Avantages	Inconvénients
<b>Technique physico-chimique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bonne reproductibilité des essais laboratoire à l'échelle industrielle.</li> <li>-Simplicité du principe de fonctionnement</li> <li>-Coûts d'investissements modérés.</li> <li>-Possibilité d'améliorer les performances en utilisant des agents insolubilisant.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-inopérant sur les polluants à l'état dissous, sauf cas d'adsorption sur les floccs formés ou sur du charbon actif en poudre.</li> <li>-Conditions de pH pouvant nécessiter une correction des eaux traitées avant rejet ou Avant un traitement de finition complémentaire.</li> <li>-Risques de transfert dépollution (COV) vers l'atmosphère avec l'aéro-flottation.</li> <li>-Utilisation de réactifs dangereux (acides, bases), Difficile à maîtriser lorsque la qualité des effluents varie.</li> </ul>
<b>Technique biologique( phytoremédiation)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limiter l'érosion du sol.</li> <li>- Limiter l'envol de poussières.</li> <li>- Limiter le lessivage des éléments toxiques et leur transfert vers la nappe phréatique.</li> <li>- Maintenir ou restaurer une microflore et une microfaune adaptée, garants de la fonctionnalité des sols.</li> <li>- la limitation des transferts de polluants et des expositions.</li> <li>- Technique applicable in situ sur une</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les durées de traitement sont importantes.</li> <li>- les concentrations élevées en polluants peuvent être rédhibitoires.</li> <li>- l'emploi d'une plante bien adaptée à un type de polluant n'est pas toujours possible.</li> </ul>

	<p>large variété de sols pollués et en milieu rural et urbain.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compétitivité en termes de coût par rapport aux techniques physico-chimiques</li> <li>- Possibilité de réaliser des traitements de décontamination de grande superficie en alternative ou en complément aux techniques conventionnelles.</li> <li>- Faible perturbation du milieu contaminé.</li> <li>- Technologie visuellement attractive.</li> <li>- Reconquête des activités de fonctionnalité des sols.</li> <li>- On peut récupérer les métaux à haute valeur ajoutée.</li> </ul>	
<b>Technique thermiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sa capacité de traitement importante.</li> <li>- sa vitesse de traitement.</li> <li>- la certitude du résultat.</li> <li>- une technique de recyclage des terres.</li> <li>- pas de pollution résiduelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- une technologie robuste principalement par des polluants organiques.</li> <li>- le coût élevé de sa consommation énergétique importante.</li> <li>- l'obligation d'excaver les terres.</li> <li>- également inadaptée au traitement des métaux lourds</li> <li>-Nécessité d'utiliser du gaz et de l'eau</li> </ul>

D'après ce que nous avons vu dans le tableau 1, les techniques biologiques de remédiation des sols contaminés sont plus avantageuses par rapport aux autres techniques, grâce à son coût d'investissement réduit et son efficacité et biocompatibilité, pour ces raisons, on s'intéresse dans la partie suivante à l'élimination des éléments métalliques, particulièrement le chrome par des méthodes biologiques tel que la phytoremédiation.

## **7/La phytoremédiation du chrome hexavalent :**

Récemment, les méthodes à base de plantes vertes ont reçu plus d'attention. Il est bien connu que le cycle de vie des plantes a des effets profonds sur les processus chimiques, physiques et biologiques. En effet, l'acquisition de minéraux et d'eau lors de la croissance des racines et des tiges amène les plantes à modifier l'environnement du sol et, dans certains cas, à purifier le sol par le transfert ou la dégradation des polluants (Fournon D, 2017). Par conséquent, la bio ou la phytoremédiation est le bon choix pour le traitement des sols en raison de sa bonne adaptabilité aux différents types de polluants, de sa simplicité et de son faible coût par rapport aux méthodes de traitement traditionnelles (incinération et lavage des sols). Elle a fait l'objet d'une attention particulière.

### **7.1/Définition de la phytoremédiation :**

" phyto" = végétal ; "remedium" = rétablissement de l'équilibre

La phytoremédiation est définie comme l'utilisation des plantes pour réduire, éliminer, dégrader ou fixer les contaminants présents dans le sol, les boues, les sédiments, les eaux de surface, les eaux souterraines et les eaux usées (Fournon D., 1999).

### **7.2/ Diverses techniques de phytoremédiation :**

Dans la section qui suit, nous décrivons les différentes techniques de phytoremédiation, qui sont basées sur différentes principales mécanismes d'action (extraction, stabilisation, dégradation, volatilisation ou filtration).Même si bien que nces processus ne sont pas mutuellement exclusifs et peuvent se dérouler si mutinement, il est important de bien distinguer le mode de fonctionnement leurs propre fonction(Anonyme, 2016).

#### **7.2.1/Phytoextraction :**

Cette méthode permet aux plantes ayant une grande capacité d'accumulation de toxines d'éliminer les polluants du sol, des eaux souterraines ou des eaux de surface (Susarla et al. 2002). Les plantes utilisées dans ce processus peuvent résister à des niveaux élevés de métaux organiques ou lourds. De plus, ils doivent créer beaucoup de biomasse et se développer

rapidement. La phytoextraction se divise en deux catégories : les processus déclenchés et les processus continus. (ADEME ., 2012)

### **7.2.2/Phytodégradation :**

Cette technique utilise des plantes qui produisent des enzymes qui accélèrent la dégradation des xénobiotiques (Newman et Reynolds, 2004). Chaque fois qu'une plante développe des enzymes qui sont sécrétées dans le sol de la zone racinaire, la phytodégradation peut avoir lieu à l'intérieur ou à l'extérieur de la plante (Gaskin, 2008). Selon Edwards et Dixon (2000) et Maecka et Tomaszewska (2005), cette méthode est employée pour le traitement des sols, des sédiments fluviaux et des boues ainsi que des eaux souterraines et de surface.

### **7.2.3/Phytovolatilisation :**

Dans cette méthode, les polluants sont absorbés par les plantes, traités par leur métabolisme, puis rejetés dans l'atmosphère sous une forme volatile et moins dangereuse. Selon plusieurs études (Burken et Schnoor 1999), ce mécanisme est principalement utilisé pour assainir les eaux et les sols qui ont été contaminés par du sélénium (Se), le mercure (Hg) ou l'arsenic (As), ainsi que des composés organiques comme le trichloroéthylène, le benzène, le nitrobenzène et le phénol.

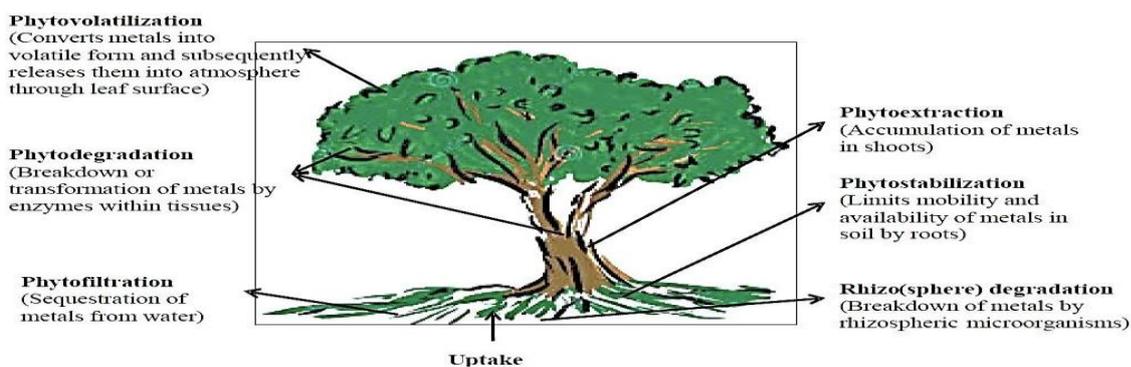
### **7.2.4/Rhizofiltration (Phytofiltration) :**

Les eaux usées de surface produites par l'industrie et l'agriculture sont traitées à l'aide de cette technologie. Les plantes sont soit immergées dans de l'eau purifiée, soit des eaux usées sont pulvérisées au-dessus de leurs racines. Pour cette raison, les plantes utilisées dans cette méthode doivent être très résistantes aux substances dangereuses, tolérantes à de faibles concentrations d'oxygène et équipées de racines larges qui se développent rapidement et produisent beaucoup de biomasse (Srivastava et al. 2014). Les éléments radioactifs et les métaux lourds, notamment le plomb (Pb), sont éliminés par rhizofiltration (Gajewska et al. 2006 ; Marecik et al. 2006).

### 7.2.5/Phytostabilisation :

Les racines des plantes sont utilisées dans cette procédure pour assainir le sol. Grâce à la phytostabilisation, les polluants sont empêchés de migrer vers les eaux souterraines, le sol de surface et plus loin avec le ruissellement des précipitations. Les caractéristiques suivantes devraient être présentes chez les plantes utilisées pour la phytostabilisation : un système racinaire très développé qui facilite l'adsorption, l'absorption et le stockage des polluants dans les tissus et leur conversion en produits chimiques moins solubles dans la rhizosphère (Segura et Ramos 2013). De plus, les plantes doivent être très résistantes aux changements de pH, de salinité et d'humidité du sol, ainsi qu'avoir une faible capacité à accumuler des contaminants dans leurs parties aériennes (Cunnigham et Berti 1993).

Les différents mécanismes d'élimination des polluants par les plantes sont illustrés dans la figure suivante :



**Figure 01: Divers mécanismes impliqués dans la phytoremédiation des métaux lourds (Dixit R, Wasiulah et al ,2015)**

### 8/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) :

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

Pour ces raisons, les espèces utilisées pour la phytoremédiation du chrome hexavalent doivent pouvoir supporter spontanément cette contamination et s'adapter aux propriétés des sols de la zone concernée. Le blé est un candidat intéressant, car il contribue à la sécurité alimentaire, et selon les études liées à la phytoremédiation, le blé dur est une espèce avec ces capacités élevées pour la décontamination des sols pollués par les éléments métalliques (Fabienne Baraud,2004).

# CHAPITRE II : LE BLE DUR

## **9/Introduction :**

La culture des céréales a contribué à l'essor de grandes civilisations, car elle a été l'une des premières activités agricoles. En fait, il y a plus de 3 millions d'années (Ruel, 2006). Actuellement, les bas prix des céréales associés aux changements dans les politiques environnementales et les programmes de soutien gouvernementaux ont fortement incité les producteurs à rechercher des opportunités de production alternatives qui valorisent la qualité du sol et de l'eau, l'environnement et stimulent les changements dans les systèmes de culture (Gan et al., 2003). À cet égard, l'accent est de plus en plus mis sur l'adoption de pratiques de travail du sol de conservation basées sur la minimisation des perturbations du sol et la maximisation de la couverture de résidus végétaux dans le but de maintenir des niveaux de rendement élevés, et en réduisant les coûts d'énergie et de main-d'œuvre et en améliorant la fertilité des sols pour créer un environnement sain (Hobbs, 2007; Hobbs et al., 2008). Le blé est l'une des cultures céréalières les plus importantes au monde en termes de superficie de terres arables (Wilcox et Makowski, 2014). Le blé est la première ressource de l'alimentation humaine et la principale source de protéines. Ils constituent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et diverses applications industrielles (Bonjean et Picard, 1990). La production mondiale de blé est d'environ 580 millions de tonnes couvrant 215 millions d'hectares (I.T.C.F., 2002).

## **10/Définition du blé :**

Le blé est une plante herbacée annuelle aux tiges dressées et aux inflorescences en épis linéaires, blé d'hiver (9\_11 mois) et le blé de printemps (3\_6 mois). Est une espèce qui appartient au genre *Triticum* et appartient donc à la famille des graminées. (Šramkova et al., 2009) se compose d'une graine et d'un tégument. Les graines se caractérisent par une forme ovoïde, plus ou moins allongée, de poids entre 20 et 50 mg, de longueur comprise entre 5 et 8 mm, de largeur entre 2 et 4 mm, et d'épaisseur entre 2,5 et 3,5 mm (Figure 02). De plus, il y a existé deux types de blé : le blé tendre tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*) (Calvel, 1984).

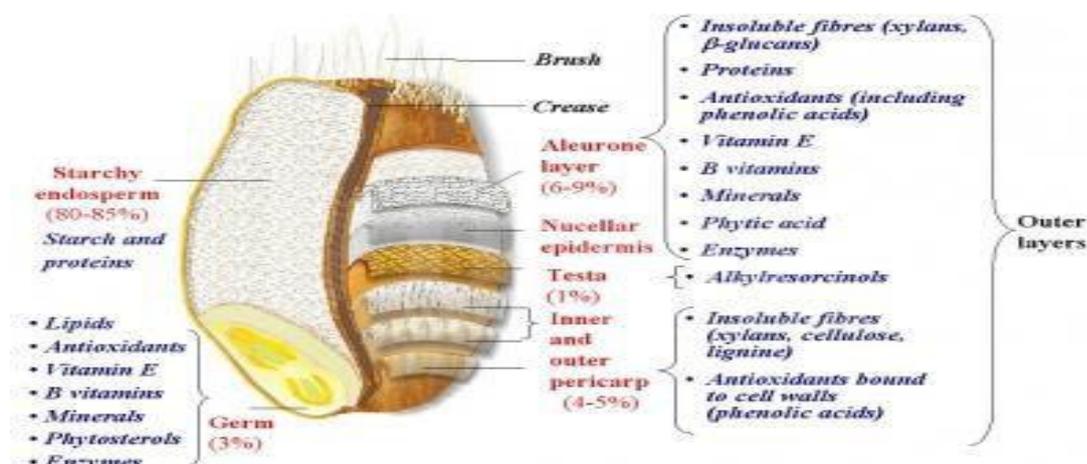


Figure 02 : Composition histologique du grain de blé (Bounneche, 2015).

### 11/Les caractéristiques et la composition du blé tendre et du blé dur :

sont regroupés dans le tableau 02 :

Tableau 02 : Caractéristique du blé tendre et du blé dur (Aidani, 2015).

Caractéristique	blé tendre ( <i>Triticumaestivum</i> )	blé dur ( <i>Triticumdurum</i> )
Prédominance	Amidon	Protéines
Forme	Texture opaque Structure de l'amande Farineuse	Texture vitreuse
Utilisation	Obtention de la farine utilisée dans la fabrication du pain et des biscuits	Obtention de la semoule à partir de laquelle on fabrique de la galette, du couscous et des pâtes alimentaires
Aspect génétique	Blé tétraploïde 2 génomes AA et BB 2n=28	Blé hexaploïde 3 génomes AA, BB, et DD 2n=28

12/Origines génétique et classification du blé dur :

12.1/Origines génétique du blé dur :

Le blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum* Desf.) est une espèce allotétraploïde (2n=28, AABB) qui résulte de croisements suivis de doublement chromosomique entre *Triticum monococcum*, apportant le génome A, tandis que *Egilops speltoides* croisant ce croisement à partir du génome B produira *Triticum dicoccoides*, qui va se différencier en *Triticum dicoccum* et *Triticum durum* (Moule, 1980).

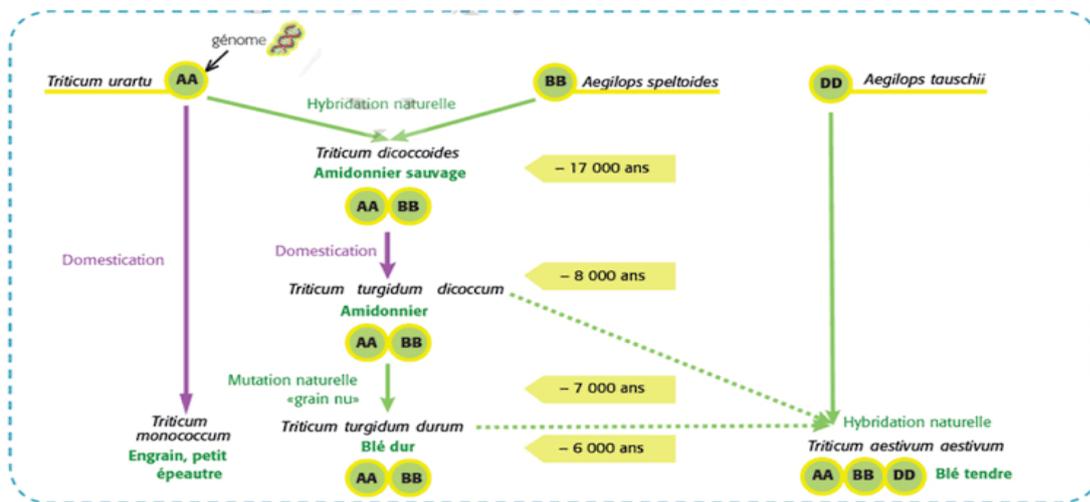


Figure 03 : Origines génétique du blé dur (RVALIS Institut du Végétal)  
Classification du blé dur.

Tableau 03 : Classification botanique du blé dur (Bonjean et Picard, 1990).

Règne	Plantae
Embranchement	Spermaphytes
sous embranchement	Angiospermes
class	Monocotylédones
ordre	Poales
famille	Poacée
Genre	<i>Triticum</i>

Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf.
--------	-----------------------------

### 13/ Les appellations des blés durs :

L'idée de la nomenclature originale du blé dur a été illustrée par (J. Erroux, 1991) où il a donné son idée qu'il existe de nombreux noms locaux, mais un prénom n'est pas lié à la variété exacte de la plante, mais au nom de toutes les plantes ayant la même couleur ou la même forme d'épi. Au lieu de cela, les locaux attribuent des noms différents aux formes que les botanistes regroupent au sein d'une même variété, influencés par diverses considérations (capacité de culture, résistance à la sécheresse, productivité, etc.). Enfin, le même nom s'applique à différents formulaires, selon votre région.

**Tableau 04 : Quelques noms du blé dur en Algérie (J. Erroux, 1991).**

Nom	Caractérisation
Belioni (beliwni)	Ce nom s'applique à des blés ayant soit un épi rouge lisse, soit un épi rouge velu, soit un épi blanc, mais toujours de forme allongée droite, de même largeur au sommet et à la base, barbes noires ou roussâtres. Le grain est gros.
Fassi	Ensemble de blés épi compact, blanc, velu, à barbes noires, à grain court, bossu, ambré. La compacité de l'épi rapproche ces blés de ceux qui sont appelés Adjini, Mahmoudi, Zedouni
Hamra (Hamira)	ce nom s'applique à des blés à épi rouge, velu, très allongé, légèrement aplati, lâche, à barbes noires, à grain translucide ambré
Merouani (merwani)	Il s'agit d'un blé de teinte sombre, souvent appelé aussi Kahla, en raison de sa couleur rouge noire, prulineuse. L'épi est de forme un peu ovale, légèrement aplati, le grain est ambré

### 14/L'application de blé dur dans l'industrie agroalimentaire et Importance en Algérie :

L'importance du blé dur réside dans le fait qu'il participe d'une façon importante à l'alimentation humaine, de sorte qu'il occupe donc une grande place importante dans l'industrie agro-alimentaire, notamment lorsque ces grains sont moulus en farine qui entre dans le travail des biscuits, du pain, des gâteaux galettes, des crêpes, des gaufrettes, des pâtes et d'autres aliments. En outre plus à de la superficie qu'il occupe une place principale dans la culture céréalière majeure (ITGC, 1999), le tableau 05 illustre les superficies et les rendements du blé dur en Algérie.

**Tableau 05 : Evolution de la superficie récoltée, de la production et du rendement du blé dur durant la période 1995 – 2006 (Ministère de l'agriculture 2006).**

Année	Superficie (ha)	Production (q)	Rendement (q/ha)
1995	1 175 860	11 886 700	10,1
1996	1 585 500	20 345 700	12,8
1997	590 920	4 554 640	7,7
1998	1 707 240	15 000 000	8,8
1999	889 090	9 000 000	10,1
2000	544 470	4 863 340	8,9
2001	1 112 180	12 388 650	11,1
2002	813 890	9 509 670	11,7
2003	1 265 370	18 022 930	14,2
2004	1 307 590	20 017 000	15,3
2005	1 042 894	15 687 090	15,0
2006	1 162 880	17 728 000	15,2

La production locale a considérablement stagné et les rendements moyens ne se sont pas sensiblement améliorés, mais la consommation a continué de croître rapidement. Ces deux facteurs production/consommation font de l'Algérie le premier importateur mondial du blé dur, avec un taux d'achat de 40% à 50% du volume échangé sur le marché mondial (25 à 2,5 millions de tonnes sur 50 à 6 millions de tonnes échangées), (Rachedi, 2003).

L'évolution de la superficie du rendement moyen du blé dur en Algérie a montré des fluctuations importantes d'une année à l'autre. Concernant la production, on peut dire qu'il est

faible, c'est-à-dire que le rendement moyen en 1995-2006 était de 11,74 q/ha. A noter que ces derniers sont légèrement augmentés passant de 11,1 q/ha en 2001 à environ 15 q/ha (2004, 2005 et 2006) (Tableau 05).

### **15/Utilisation du blé dans la phytoremédiation des éléments métalliques :**

Peu de travaux ont été trouvés sur l'utilisation du blé dur dans la phytoremédiation, on peut citer Farrag et al (2012) qui ont trouvé que la plante tolère la contamination par le chrome, avec un teneur élevé en chrome de l'ordre de 1978 mg/kg.

**CHAPITRE III :**  
**MATERIEL ET**  
**METHODES**

## **16/ Introduction :**

Dans ce chapitre, nous explorons la partie pratique de notre travail, qui consiste à planter le blé dur, à l'arroser avec du chrome hexavalent, à extraire le Cr(IV) de la plante et l'analyser afin de déterminer la capacité de phytoremédiation, la tolérance de la plante et de connaître le mécanisme de la remédiation impliqué par la plante (Blé dur).

Afin d'atteindre l'objectif souhaité, nous avons suivi la méthode de travail appropriée pour cela, et pour la mettre en œuvre, nous avons besoin de :

## **17/ Matériel :**

Afin de réaliser nos différentes manipulations, nous utilisons le matériel suivant :

Appareillage, Verrerie, produits chimiques.

### **17.1/ Appareillage :**

- Etuve de marque Nuve ; modèle FN400.
- Balance de précision de marque Dhaus ; modèle Pineer PA64.
- Hôte de marque Luckyjlass ; modèle DOT726 AS2M40 43-0028.
- Agitateur magnétique de marque Stuart ; modèle SB126.
- Centrifugeuses de type Medispin.
- Spectrophotomètre de marque Biochrom WPA lightrwave II.
- Micropipettes de volume 200 µl ; 100 µl.
- Four de marque .....

### **17.2 / Verrerie :**

- Bêchers de volumes 500 ml ; 250 ml ; 50 ml ; 5 ml.
- Tubes en verre pour l'ébullition à reflux.
- Erlenmeyers 250 ml.
- Verre de montre.
- Pipettes graduée 5 ml, 2ml et 0.5 ml avec poire.
- Eprouvettes 50 ml, 10 ml et 5 ml.

### **17.3/ Petit matériel et consommables :**

- Papier aluminium.
- Portoirs.

- Papier hygiénique.
- Coton.
- Seringues en plastique médical 5ml.
- Règle 50 Cm.
- Tuyau de sérum.
- Cuvettes en plastique (jetable).
- Tubes en plastique.
- Pissettes.
- Lunettes et gants de protection.
- Boîtes en aluminium.
- Spatule.
- Pots en plastique.

**17.4/ Produits utilisés :**

- Sol, Tourbe, Sable pour l'implantation.
- Blé dur *Tricum durum Desf* variétés BELIOUNI et FASSI.
- Dichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ).
- Eau distillée.
- Carbonate de sodium  $Na_2CO_3$  de Sigma-Aldrich.
- Hydroxyde de sodium NaOH de Sigma-Aldrich.
- L'acide chlorhydrique HCl de Sigma-Aldrich.
- 1,5 Diphenylcarbazine de Sigma-Aldrich.
- Acide sulfurique (37%) de Sigma-Aldrich.

**18/ La méthode :**

Notre travail expérimental se décompose en trois (03) étapes principales :

**18.1/ Implantation et arrosage avec le Chrome hexavalent :**

**18.1.1/ Tamisage et sélection :**

La première étape de notre travail expérimental consiste à planter les deux variétés de blé dur, et par conséquent, le sol approprié doit être préparé pour une bonne croissance du blé.

Nous avons commencé par la préparation du sol de plantation, en mélangeant adéquatement les composants suivants :

- Le sol : en raison de sa propriété qui permet la conservation d'eau et la nutrition des plantes.
- Le sable : qui améliore le drainage et l'aération du sol.

- La tourbe : pour fournir les nutriments nécessaires pour la croissance des racines et des feuilles.

Après avoir préparé le sol avec le sable, nous l'avons séché, ensuite nous avons éliminé la partie grossière avec un tamisage. Nous mélangeons les deux tiers avec un tiers de la tourbe (Figure 04) ; Puis nous les mettons dans 100 pots en plastique que nous avons préalablement perforés en bas pour faciliter l'évacuation de l'excès en eau d'arrosage.



**Figure 04 : Mélange du sable, sol et de tourbe**

La préparation des grains de blé a été commencée par une sélection des grains les plus sains selon leurs tailles. Par la suite nous avons implanté directement les meilleures graines dans les pots (8 grains de blé dans chaque pot), l'implantation a été effectuée à environ 2 à 3 cm de profondeur, Ensuite, on les a arrosé avec de l'eau minérale (nous avons utilisé l'eau minérale pour que nous assurions un apport en sels minéraux nécessaires) ; nous avons mis les pots dans un milieu où les conditions de plantation sont réunies, à savoir l'air et la lumière du soleil, etc. ; les détails d'implantation sont illustrés dans le Tableau 06.

### **18.1.2 / La préparation de la solution du chrome hexavalent, et l'arrosage :**

Nous avons mélangé 0,1 g de Dichromate de potassium  $K_2Cr_2O_7$  avec 1 L de l'eau distillée et bien agité la solution pour qu'elle devienne homogène.

#### **18.1.2.1/ L'arrosage avec le chrome hexavalent :**

Nous avons attendu que les feuilles du blé dur poussent, cette étape nécessite environ 4 ou 5 jours (Figure 05), puis nous avons effectué l'arrosage de la plante par le chrome hexavalent à différents volumes, l'objectif était de savoir l'effet de la concentration en chrome dans le sol sur le comportement des plantes, ainsi la quantité du chrome dans les différentes parties de la plante. Chaque combinaison a été lancée dans deux pots identiques pour nous permettre de déterminer l'écart type et les erreurs de manipulation.

Les détails d'arrosage en fonction du volume de chrome et du nombre de jours sont résumés dans le tableau 06.



Figure 05 : Plants du blé dur : 5 jours après l'implantation.

Tableau 06 : La méthode utilisée pour irriguer le blé dur avec du chrome hexavalent.

Type du blé dur	Nombre des pots	Volume de Cr(IV) (ml)	Le temps (jour)	Nombre des pots total
<b>Bèlioni</b>	2	0	7	50
	2	0	14	
	2	0	21	
	2	0	28	
	2	0	35	
	2	5	7	
	2	5	14	
	2	5	21	
	2	5	28	
	2	5	35	
	2	10	7	
	2	10	14	
	2	10	21	
	2	10	28	
	2	10	35	
	2	15	7	
	2	15	14	
	2	15	21	
	2	15	28	
	2	15	35	
	2	20	7	
	2	20	14	
	2	20	21	
	2	20	28	
2	20	35		
	2	0	7	
	2	0	14	
	2	0	21	
	2	0	28	
	2	0	35	

<b>Fassi</b>	2	5	7	50
	2	5	14	
	2	5	21	
	2	5	28	
	2	5	35	
	2	10	7	
	2	10	14	
	2	10	21	
	2	10	28	
	2	10	35	
	2	15	7	
	2	15	14	
	2	15	21	
	2	15	28	
	2	15	35	
	2	20	7	
	2	20	14	
	2	20	21	
	2	20	28	
	2	20	35	

**18.2/ Extraction du chrome hexavalent :**

**18.2.1/ Séparation des feuilles, racines et du sol :**

Après passage de la durée adéquate après arrosage des plantes avec le Cr hexavalent (Figure 06), nous avons séparé les feuilles, les racines et le sol pour chaque pot(Figure07) ; Ensuite, nous avons mesuré la longueur de la feuille la plus longue de chaque pot.

On a lavé les racines avec de l'eau distillée, afin que le chrome hexavalent dans le sol n'affecte pas le pourcentage du chrome dans les racines.



**Figure 06 : Plants de blé dur après 7 jours d'arrosage avec le chrome hexavalent.**



Figure 07 : Séparation du sol, des racines et des feuilles.

### 18.2.2/ Extraction du chrome hexavalent à partir du sol, feuilles et racines :

#### Séchage des échantillons :

Nous avons séché tous les sols, les feuilles et les racines en les plaçant dans l'étuve à 75°C pendant 24 heures (pour obtenir la masse sèche de chaque échantillon), par la suite on a mesuré la masse de chaque échantillon de feuilles et de racines à l'aide d'une balance analytique.

Ensuite, nous avons placé les échantillons de feuilles et de racines dans un four à 500°C pendant 3 heures afin de minéraliser les échantillons (éliminer toute la matière organique) ; puis on les met dans des tubes en plastique de 5 ml.

#### 18.2.2.1 / Extraction du chrome hexavalent à partir des plantes :

L'extraction du chrome a été réalisée selon la méthode d'extraction acide des échantillons de plantes décryptée par RAI, D(1989). Dans un tube en plastique, on met l'échantillon de la plante (feuilles ou racines) et on ajoute 5 ml d'acide chlorhydrique à 20% ; ensuite, les échantillons ont été filtrés, par seringue jetable et coton, centrifugés pendant 5 minutes à 1500 tours/min.

Après la préparation, les échantillons des racines et des feuilles sont prêts pour l'analyse (Figure 09).

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

L'extraction du chrome dans les échantillons du sol a été réalisée selon la méthode d'extraction basique décrite par (Oliveira et al. 2012).

Nous devons préparer les solutions nécessaires pour extraire le chrome du sol (Figure 08).

#### 18.2.3.1/ Préparation des solutions basiques :

##### A/ L'hydroxyde de sodium (NaOH) :

- 10 g de NaOH
- 500 ml d'eau distillée

##### B / bicarbonate de sodium (NaHCO<sub>3</sub>) :

- 14,8 g de  $\text{NaHCO}_3$
- 500 ml d'eau distillée

On mélange les solutions avec l'agitateur jusqu'à l'homogénéité totale.

Donc, on pèse 0,4 g du sol sec dans un tube à essai, en ajoutant 4 ml de solution de bicarbonate et 4 ml de solution d'hydroxyde de sodium ; on met le mélange dans un bain mari à 100 °C pendant 60 min sous agitation (Figure 06) ; après refroidissement, on a filtré l'échantillon avec une seringue jetable et un coton ; centrifugés pendant 5 minutes à 1500 tours/min.

En fin, les échantillons du sol sont prêts pour le dosage du chrome hexavalent (figure 08).

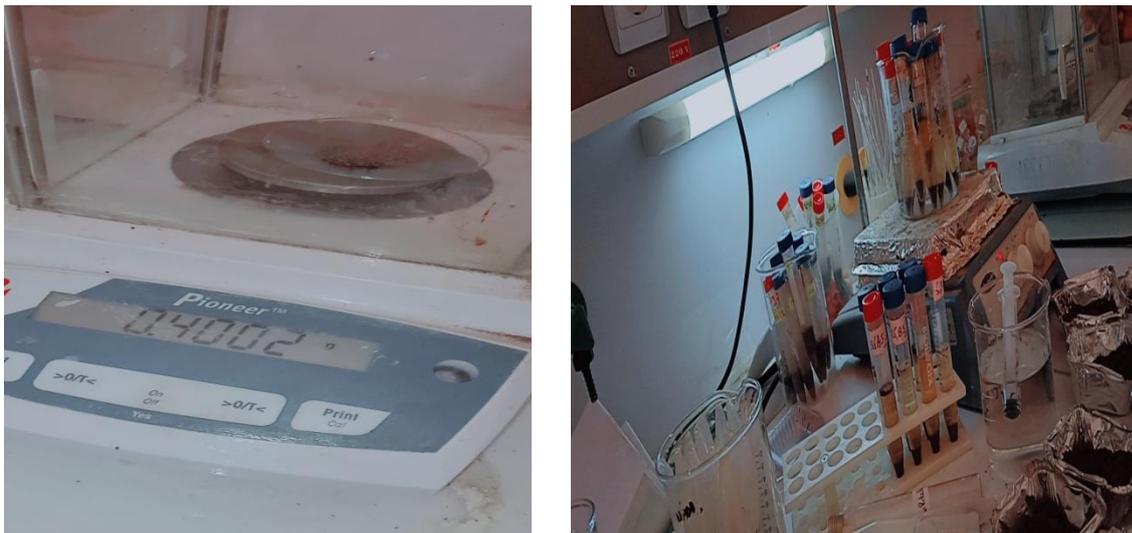


Figure 08 : Extraction du chrome à partir du sol.



Figure 09 : Tubes contenant des échantillons de racines, de feuilles (après ajout d'acide chlorhydrique), et de sol (après ajout de  $\text{NaOH}$  et  $\text{NaHCO}_3$ ).

### 18.3 / Analyse du chrome hexavalent par spectrophotométrie UV-Visible :

Pour le dosage du chrome hexavalent, nous avons utilisé la méthode décrite par Rodier J., 2009.

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

Lors de l'administration, les ions Cr(IV) oxydent le 1,5-diphénylcarbazine en 1,5-diphénylcarbazine et sont donc réduits en chrome trivalent. La forme éol de la carbamazone réagit avec les ions chrome trivalent pour former un complexe de couleur rouge-violette, susceptible d'être analysé par lumière UV-Vis à 540 nm (Rodier J., 2009).

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

### 18.3.1 / Courbe d'étalonnage :

#### 18.3.1.1/ Préparation des solutions :

##### ➤ A/ Préparation d'une solution mère étalon de chrome à 1 g/L :

- Dichromate de potassium (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) 2,8 g.
- Eau distillé q.s.p. 100mL.

##### ➤ B/ Préparation d'une solution acide de 1.5-Diphenylcarbazine :

- 1,5-Diphenylcarbazine chimiquement pure 0,2 g.
- Ethanol à 95 ° q.s.p.100 mL.
- Solution d'acide sulfurique à 176 g/L : 400 mL.

##### ➤ C/ Préparation de solution fille étalon de chrome à 5 mg/L :

- Solution mère étalon 0,5 mL.
- Eau distillé q.s.p. 100mL.

#### 18.3.1.2/ établissement de la courbe d'étalonnage :

Pour établir une courbe d'étalonnage, on commence à préparer les solutions filles. Cela se fait en diluant une solution mère à 5 mg/L (Tableau 07).

**Tableau 07 : établissement de la courbe d'étalonnage.**

Numéro des fioles	volume de la solution mère (Cr hexavalent 5mg/L) (ml)	volume d'eau de dilution (ml)	Concentrations de solutions diluées (Cr hexavalent) (mg/l)
1	0.5	49 ,5	0,005
2	1	49	0,1
3	2	48	0,2

4	3	47	0,3
5	4	46	0,4
6	5	45	0,5

Dans des tubes à essai, nous introduisons 5 ml de chaque solution (pour la solution blanche, on prend 5 ml d'eau distillée) et ajoutons 300 µl d'acide 1,5-Diphénylcarbazine en les mélangeons (figure 10).



**Figure 10 : Addition d'acide 1,5-diphénylcarbazine aux solutions étalon.**

Et les laisser pendant 5 minutes pour permettre le développement complet de la couleur rouge-violette (Figure 11).

Ensuite, nous analysons les solutions étalons de chrome hexavalent, en plaçant les échantillons dans les cuvettes jetable dans un spectrophotomètre UV-Visible à 540 nm ; Ensuite, nous élaborons une courbe d'étalonnage, nous avons réalisé cette courbe avant chaque série d'analyse.

Les concentrations de chrome hexavalent ont été déterminées par extrapolation sur la courbe d'étalonnage. Par la suite, on a utilisé la masse solide correspondante pour calculer la teneur en chrome dans la matière sèche (mg/kg).



**Figure 11 :Etablissement de la courbe d'étalonnage avec le spectrophotomètre UV-Vis.**

**19/ Les facteurs caractérisant le phénomène de phytoremédiation :**

**19.1/Facteur de translocation :**

L'estimation de la translocation est très importante ; Le facteur de transfert reflète la relation entre la concentration de chrome dans les tissus végétaux et la concentration de chrome dans les tissus racinaires (Nouri et al., 2009).

Où il est exprimé par la relation suivante :

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

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

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

Lorsque  $TF > 1$ , cela indique que la plante a efficacement transféré le chrome des racines vers les feuilles, ce qui la rend plus adaptée à la phytoremédiation car les minéraux stockés dans la partie supérieure peuvent être facilement éliminés (Xu. J et al., 2020).

**19.2/Facteur d'enrichissement :**

Il est défini comme la concentration de chrome hexavalent dans les feuilles divisées par sa concentration dans le sol (Lorestani. B et al., 2011).

Elle s'exprime par la relation suivante :

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

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

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

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

### **19.3/Le facteur de bioaccumulation :**

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

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

Elle s'exprime par la relation suivante :

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

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

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

Lorsque  $FB > 1$ , cela indique que la plante a accumulé du chrome et l'a fixé dans les racines (Xu. J et al., 2020).

### **20/Etude statistique :**

Afin de déterminer les interactions entre le volume de chrome hexavalent ajouté à la plante, le temps de germination et les types de blé dur avec la quantité du Cr hexavalent et la longueur des feuilles. Nous avons réalisé une étude statistique de l'analyse de la variance à multifacteur «ANOVA».

#### **20.1/ Définition de l'étude statistique ANOVA :**

C'est l'une des techniques statistiques largement utilisées pour comparer des ensembles de mesures et est généralement utilisée pour déterminer les similitudes et les différences entre trois ensembles différents ou plus ; et pour connaître la variance d'un facteur par rapport à une variable dépendante quantitative, temporelle ou qualitative.

Pour réaliser l'étude, nous avons utilisé trois variables indépendantes qui sont : les deux types de blé dur (BELIONI, FASSI), le temps de germination et la quantité du chrome injectée ; Et une variable dépendante, qui est la quantité, pour les racines et le sol ; Et deux variables dépendantes pour les feuilles (la quantité du chrome et la longueur des feuilles) ; une deuxième étude statistique a été réalisée en considérant les variables dépendants FT, FB et FE.

Cette étude statistique a été réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA 8.0.

**CHAPITRE IV :**  
**RESULTATS ET**  
**DISCUSSIONS**

### 21/Introduction :

Dans ce chapitre, les résultats de notre travail expérimental sont présentés. Cela inclut la variation de la quantité du chrome hexavalent dans les racines, les feuilles et le sol en fonction des différentes variables.

Nous discuterons également ces résultats obtenus et les comparerons avec les résultats de travaux expérimentaux antérieurs ; Afin de connaître la capacité de la plante à tolérer et à remédier aux sols contaminés par le chrome hexavalent et son effet sur celui-ci.

### 22/Morphologie du blé dur avant et après contact avec le chrome hexavalent :

La figure 12 montre que la plante est affectée par le chrome hexavalent, ce qui ressort clairement de la forme et de la couleur des feuilles avant et après l'ajout du chrome hexavalent (les figures A et B); cela confirme que le chrome affecte négativement la viabilité des feuilles.



Figure A/ 5 jours après la plantation et avant ajout du Cr hexavalent



Figure B/ 35 jours après ajout du Cr hexavalent

**Figure 12 : Morphologie du blé dur avant et après contact avec le chrome hexavalent.**

Après avoir mesuré la longueur des feuilles après 35 jours d'ajout du chrome hexavalent, nous avons obtenu les résultats suivants :

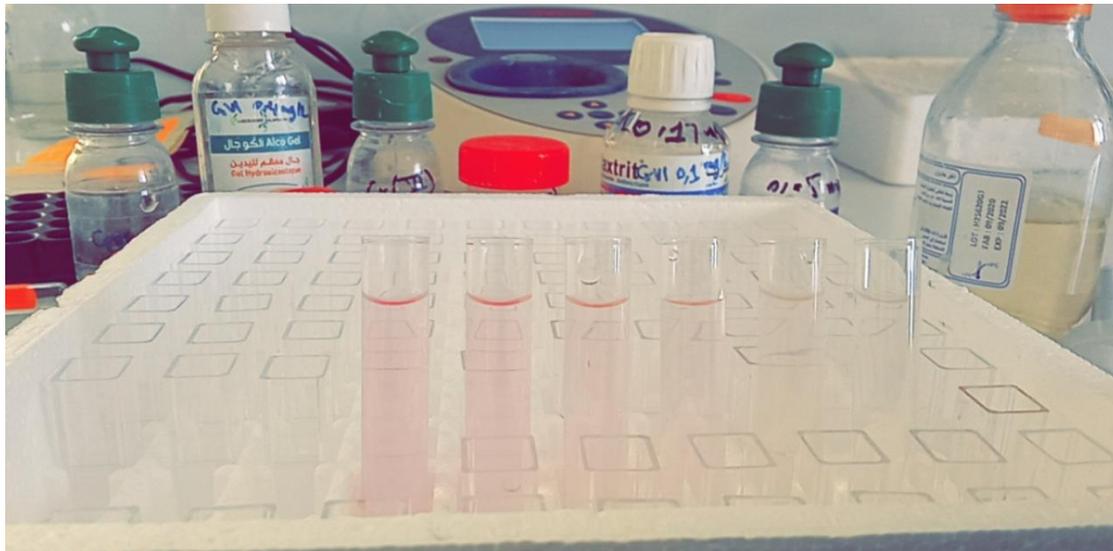
- **Blé dur FASSI:** Les longueurs des feuilles comprises entre 38 cm (pour un volume de chrome =0 ml) et 31,8 cm (pour un volume de chrome =20 ml).
- **Blé dur BELIONI:** Les longueurs des feuilles comprises entre 35 cm (pour un volume de chrome=0 ml) et 28.2 cm (pour un volume de chrome =20 ml).

Étant donné qu'à des concentrations plus élevées de chrome, les feuilles sont plus courtes, nous expliquons cela par le fait que le chrome affecte négativement la capacité de croissance de la plante.

### 23/Résultats d'analyse du chrome hexavalent dans les échantillons de sol et de plantes :

#### 23.1/ Les courbes d'étalonnage :

Afin de déterminer les concentrations de chrome hexavalent, nous avons élaboré des courbes d'étalonnage périodiquement. Où nous ajoutons 300µl d'acide 1.5-Diphénylcarbazine dans chaque solution d'étalonnage, en les laissant pendant 10 minutes pour permettre le développement complet de la couleur rouge violette (figure 13).



**Figure 13 : Solutions standard de chrome hexavalent après contact avec 1.5 - Diphénylcarbazine.**

Les échantillons colorés ont ensuite été dosés par un spectrophotomètre UV-Vis dans des cuvettes en plastique et l'absorbance a été mesurée à 540 nm ; puis, nous élaborons une courbe d'étalonnage, nous avons réalisé cette courbe avant chaque série d'analyse (figure14).

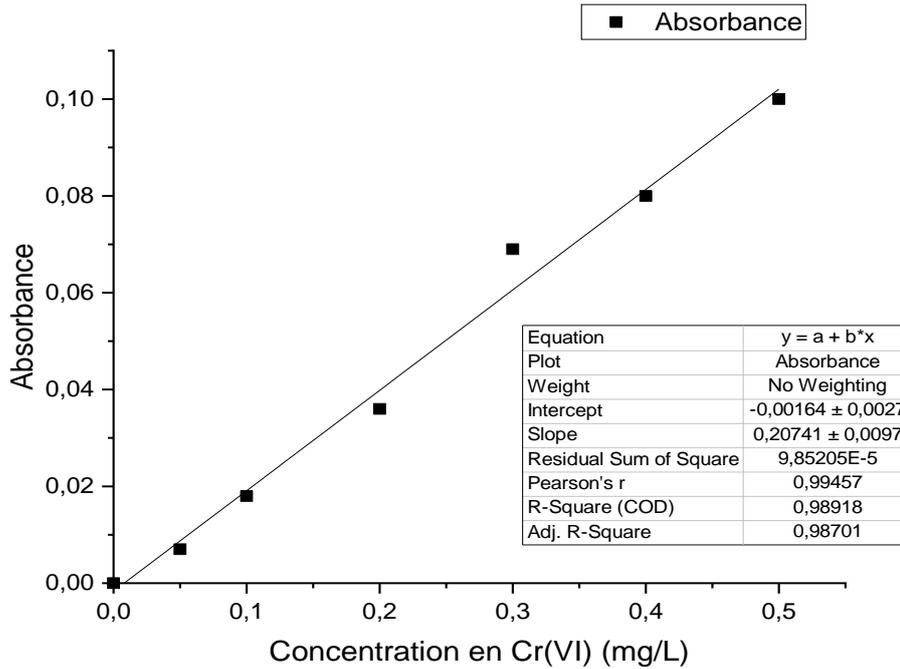


Figure 14: Courbe d'étalonnage de date 09/06/2022.

### 23.2/Présence du chrome dans les échantillons du sol et de plantes :

#### 23.2.1/Chrome hexavalent dans les feuilles :

Après ajout du chrome, on constate que le blé a été influencé négativement par la présence du Cr, les résultats de la longueur de feuille et de taux de chrome sont regroupés dans la figure 15:

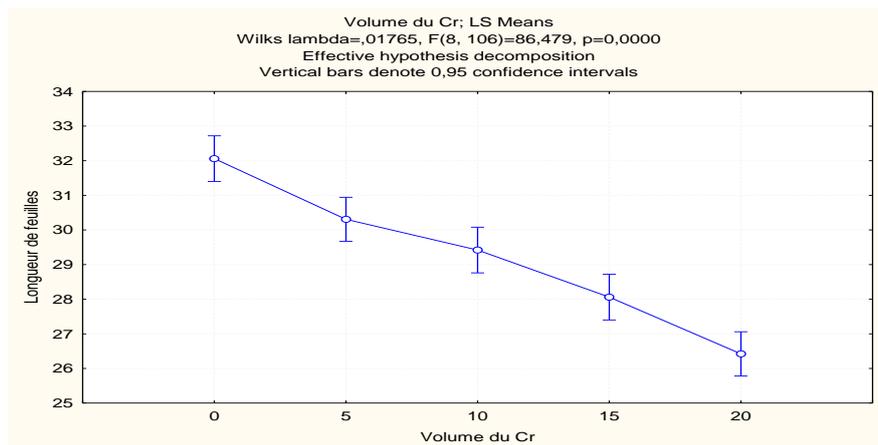


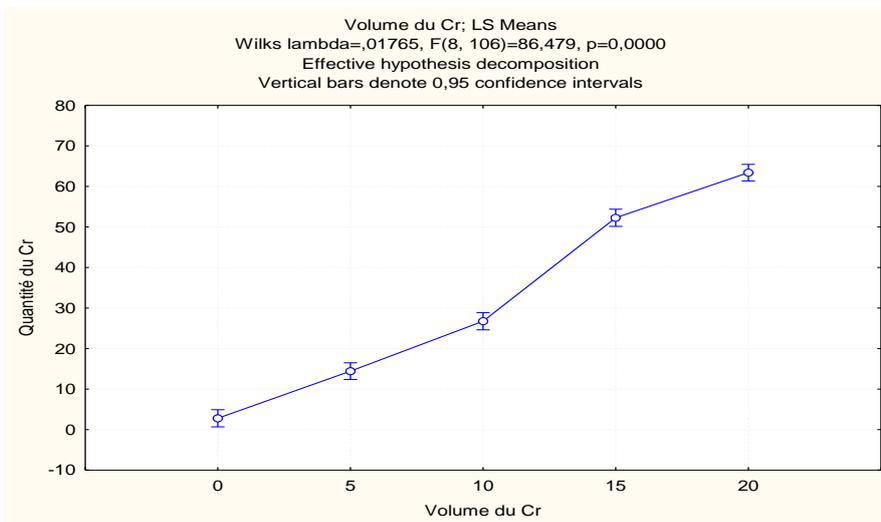
Figure 15: Longueurs des feuilles en fonction du volume de chrome ajouté.

A travers cette figure, nous avons remarqué qu'il existe une relation inverse entre la longueur des feuilles et la concentration du chrome ajoutée, car plus le volume de chrome ajouté dans le sol est élevé, plus la longueur des feuilles est faible ; donc, le chrome affecte négativement la croissance de la plante.

Pour pouvoir expliquer cela, Nous interprétons les résultats du taux du chrome dans feuilles, ce qui peut expliquer pourquoi les feuilles sont affectées par le chrome surtout à hautes concentrations.

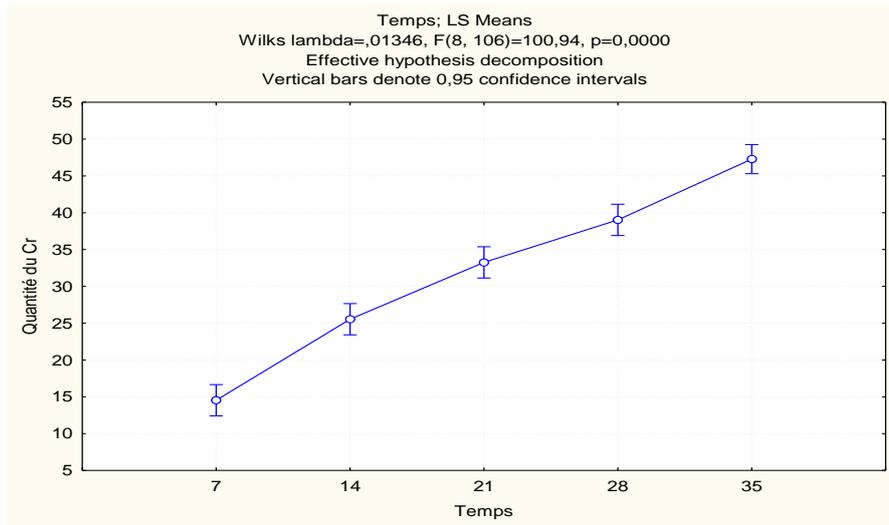
Après avoir calculé les taux de chrome dans les feuilles (Résultats des taux de chrome pour les échantillons dont la période de germination était de 35 jours):

- **Blé dur FASSI:** Les taux de chrome dans les feuilles variantes entre 3,46 mg/kg (pour un volume de chrome=0 ml); nous expliquons cela que peut-être le sol que nous avons utilisé pour la plantation a été apporté d'un endroit précédemment contaminé par du chrome hexavalent), et 97,82 mg/kg (pour un volume de chrome =20 ml).
- **Blé dur BELIONI:** Les taux de chrome dans les feuilles variantes entre 4,55 mg/kg (pour un volume de chrome=0 ml) et 89,92 mg/kg (pour un volume de chrome =20 ml).



**Figure 16 : Le taux du chrome dans les feuilles en fonction du volume de chrome ajouté.**

À travers les résultats des taux de chrome dans les feuilles et à travers la figure 16, nous avons remarqué qu'avec l'augmentation de la concentration du chrome ajouté, le taux du chrome dans les feuilles augmentait, les résultats obtenus dans cette étude sont cohérents avec les résultats d'un autre travail expérimental, qui a indiqué que la concentration de cadmium (Cédérom), de chrome (Cr) et de plomb (Pb) dans les parties végétatives de l'orge a augmenté avec l'augmentation de l'utilisation du métal dans l'eau d'arrosage (Marwan . H et al., 2021) ; ce qui signifie que la plante a la capacité d'absorber le Cr hexavalent à des concentrations élevées et faibles, et l'absorption augmente avec l'augmentation de la concentration du Cr dans le sol ; ce qui explique le fort effet négatif du chrome sur les feuilles, mais cela a un rôle positif pour la phytoremédiation, car la plante absorbe plus de chrome dans des concentrations élevées.

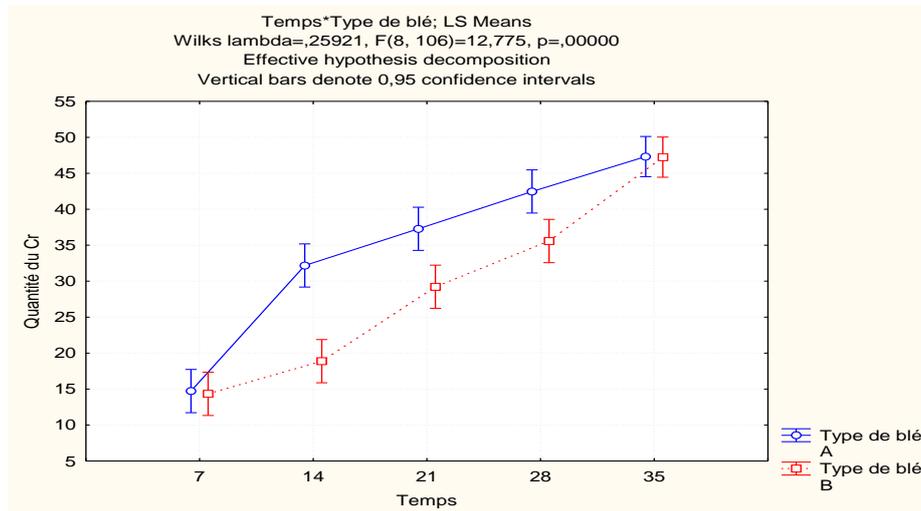


**Figure 17 : Le taux du chrome dans les feuilles en fonction du temps.**

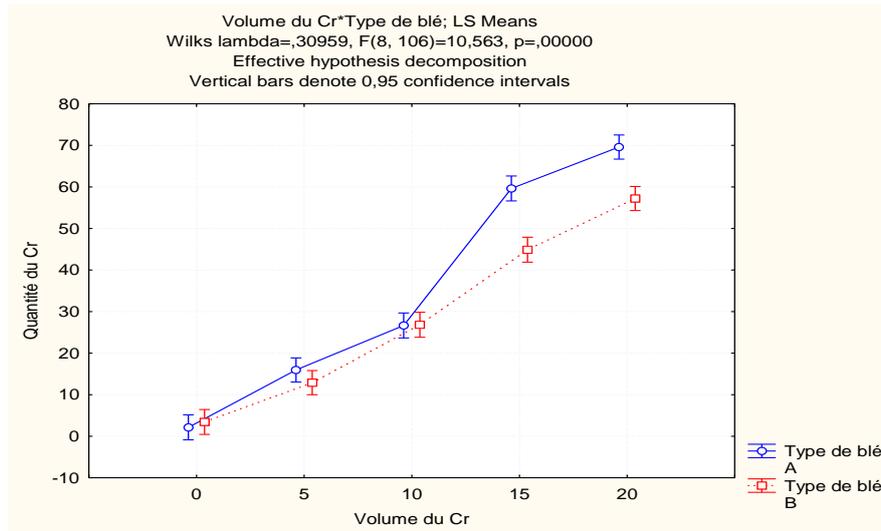
Selon la figure 17, nous avons remarqué que le taux du chrome dans les feuilles augmente avec l'augmentation de la période de germination, ce qui signifie que la plante absorbe constamment le chrome du sol, cela indique que la plante est une espèce d'une grande importance dans le processus de phytoremédiation.

**23.2.1.1/Chrome hexavalent dans les deux types de blé dur utilisés (FASSI ; BELIONE) au niveau feuille :**

Les quantités du chrome dans les feuilles en fonction du temps de culture et en fonction du volume du chrome ajouté sont présentées dans les figures 16 et 17 respectivement.



**Figure 18: Le taux de chrome dans les feuilles dans chaque type de blé séparément en fonction du temps.**



**Figure 19: Le taux de chrome dans les feuilles dans chaque type de blé séparément en fonction du volume de chrome ajouté.**

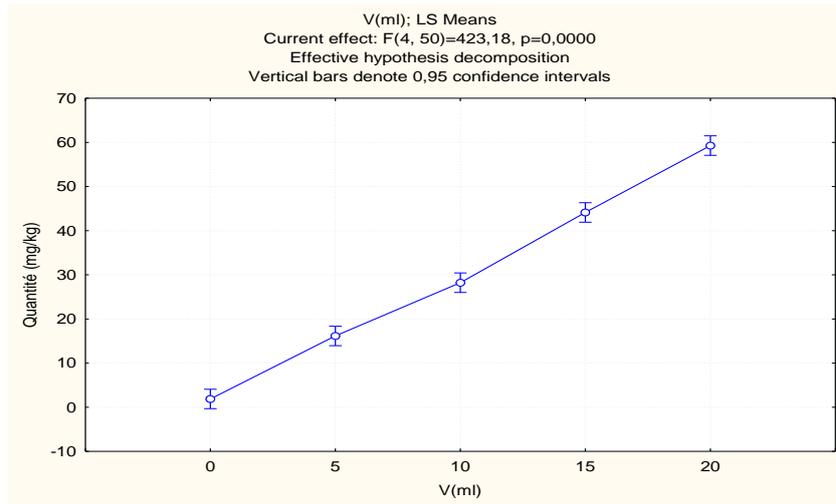
à travers les figures (18 et 19), nous avons remarqué que le blé dur FASSI(A) absorbe plus de chrome hexavalent que le blé dur BELIONI (B), cela signifie que le blé dur FASSI a la capacité d'absorber le Cr hexavalent et de l'accumuler dans les feuilles à des taux plus élevés que le blé dur BELIONI ; cela peut être interprété par le fait que le blé FASSI est plus adapté pour la phytoremédiation.

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

Après avoir analysé les concentrations du chrome hexavalent dans les racines, nous avons calculé les taux du chrome en fonction du volume et de la masse de chaque échantillon, les résultats étaient les suivants :

(Résultats des taux de chrome pour les échantillons dont la période de germination était de 35 jours).

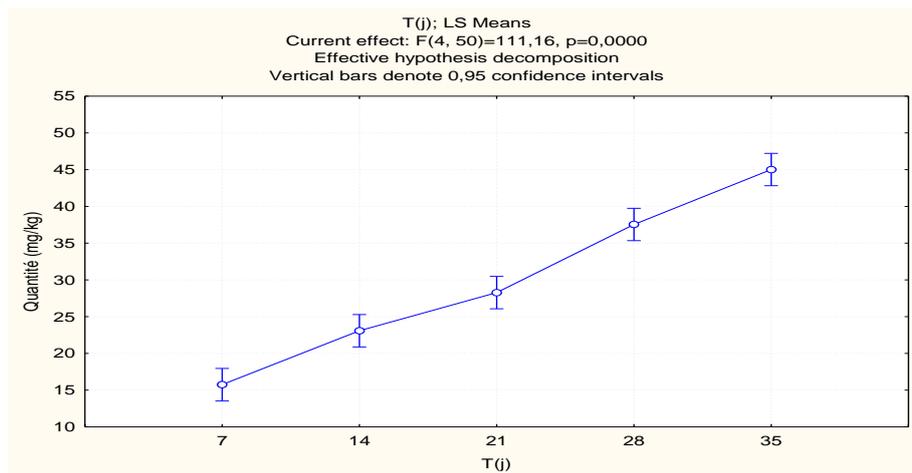
- Blé dur FASSI: Les taux de chrome dans les racines variantes entre 1,42mg/kg (pour un volume de chrome =0 ml) et 85,21mg/kg (pour un volume de chrome =20 ml).
- Blé dur BELIONI: Les taux de chrome dans les racines variantes entre 1,73mg/kg (pour un volume de chrome =0m) 81,90 mg/kg (pour un volume de chrome =20 ml)



**Figure 20 : Taux du chrome dans les racines en fonction du volume de chrome ajouté.**

A partir de la Figure 20, nous avons remarqué que le taux du chrome dans les racines augmente avec l'augmentation du volume de chrome ajouté, En 2021, Marwan. H et al ont trouvé des résultats similaires sur l'orge, Ils ont rapporté que la concentration de minéraux dans les racines augmente avec l'augmentation de la concentration de minéraux dans l'eau d'arrosage.

Ainsi, les mêmes résultats ont été obtenus en 2013 par Zrougui. D et al dans un travail expérimental sur l'orge, où ils ont rapporté une relation positive entre la concentration de minéraux dans le sol et le pourcentage de son absorption par la plante ;ce qui confirme notre précédente conclusion d'absorption au niveau des feuilles, à savoir que l'absorption du chrome par la plante augmente avec l'augmentation de la concentration du chrome dans le sol, Cela indique que la plante absorbe le chrome et le transporte des racines aux feuilles.

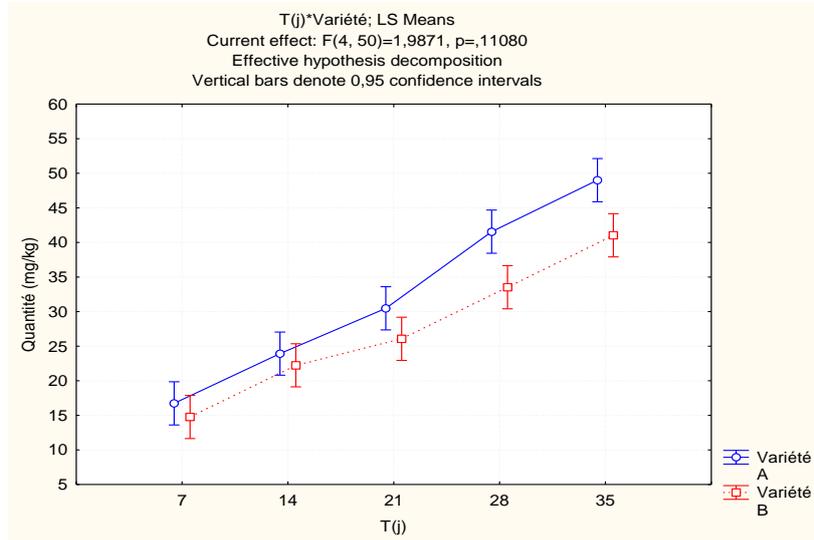


**Figure 21 : Taux du chrome dans les racines en fonction du temps.**

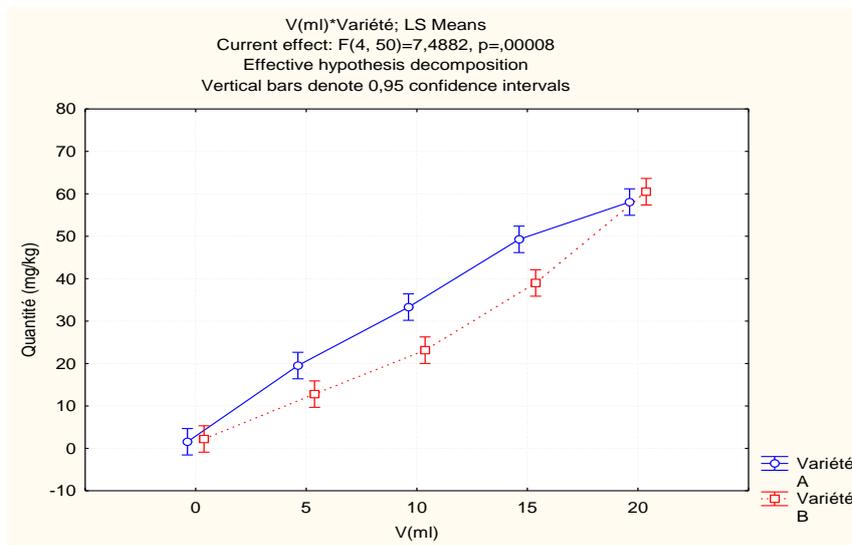
A travers cette figure (figure 21), on remarque que le taux du chrome augmente avec l'allongement de la période de germination. Cela confirme notre observation précédente, dans laquelle nous avons constaté que cette espèce absorbe constamment le chrome hexavalent et le transporte des racines pour l'accumuler dans les feuilles.

**23.2.2.1/Comparaison entre les teneurs du chrome dans les racines des deux variétés :**

Les teneurs en chrome hexavalent dans les racines des deux blés sont regroupés dans les figures 22 et 23 :



**Figure 22 : Le taux de chrome dans les racines dans chaque type de blé séparément en fonction du temps.**



**Figure 23 : Le taux de chrome dans les racines dans chaque type de blé séparément en fonction du volume de chrome ajouté.**

En comparant les taux de chrome dans les racines des deux types de blé dur, on constate que le blé Fassi (A) contient un taux de chrome plus élevé que le blé BELIONI (B), et à partir de là nous concluons que le blé Fassi possède une grande capacité à absorber et à accumuler le chrome par rapport au blé Bélióni; ce qui signifie que le type de blé dur FASSI est meilleur pour la phytoremédiation.

### 23.2.3/Comparaison des taux du Cr hexavalent dans les feuilles et les racines :

Après avoir observé le taux de chrome dans chacune des feuilles et des racines, et nous avons découvert que le taux de chrome augmente dans chacune d'elles avec une augmentation de la concentration de chrome dans le sol et avec le temps ; nous comparerons les niveaux de chrome dans les feuilles et les racines.

Nous avons calculé les moyennes de taux du chrome dans les feuilles et les racines, Les résultats sont comme suit :

**A/Moyenne de taux du chrome dans les feuilles est :**

- Blé dur FASSI :  $M_{FF} = 34,77\text{mg/kg}$ .
- Blé dur BELIONI:  $M_{BF} = 28,62\text{mg/kg}$ .

$M_{FF}$ : moyenne de taux du Cr dans les feuilles de blé dur FASSI.

$M_{BF}$ : moyenne de taux du Cr dans les feuilles de blé dur BELIONI.

**B/Moyenne de taux du chrome dans les racines est :**

- Blé dur FASSI :  $M_{FR} = 32,34\text{mg/kg}$ .
- Blé dur BELIONI :  $M_{BR} = 27,53\text{mg/kg}$ .

$M_{FR}$  : moyenne de taux du Cr dans les racines de blé dur FASSI.

$M_{BR}$ : moyenne de taux du Cr dans les racines de blé dur BELIONI.

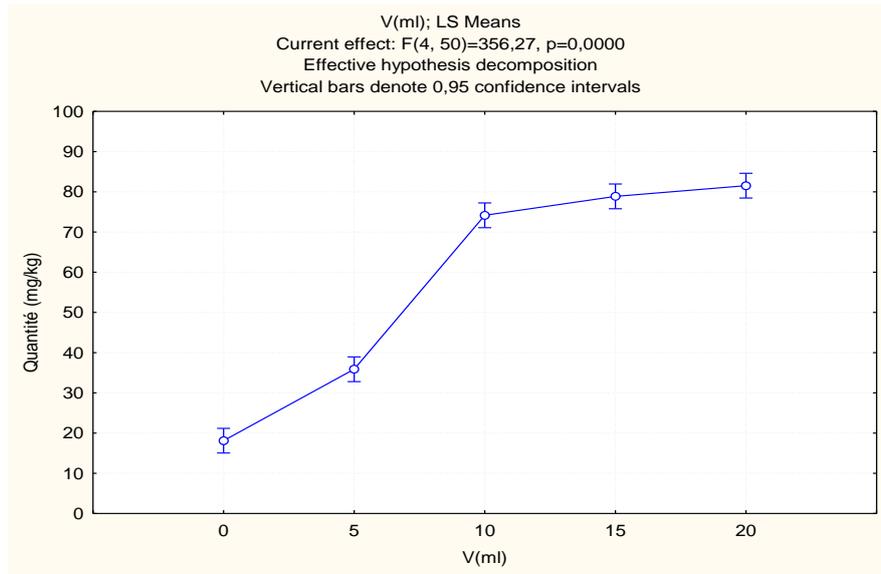
Nous avons remarqué que  $M_{FF} > M_{FR}$  et  $M_{BF} > M_{BR}$ , Cela signifie que le taux du Chrome hexavalent dans les feuilles est plus élevé que dans les racines, dans les deux types de blé utilisés (FASSI et BELIONI). Des résultats similaires ont été obtenus dans un travail expérimental similaire sur l'orge, qui a rapporté que l'accumulation de minéraux (chrome, cadmium, cuivre, potassium et...ect), dans les parties végétales (les feuilles, ...) de la plante est plus élevée que dans les racines (Marwan . H et al., 2021).

### 23.2.4/Chrome hexavalent dans le sol :

Nous avons analysé les concentrations de chrome dans le sol puis calculé les taux du chrome dans le sol en fonction de la masse du sol (0,4 g) et en fonction du volume de l'échantillon, les résultats étaient les suivants :

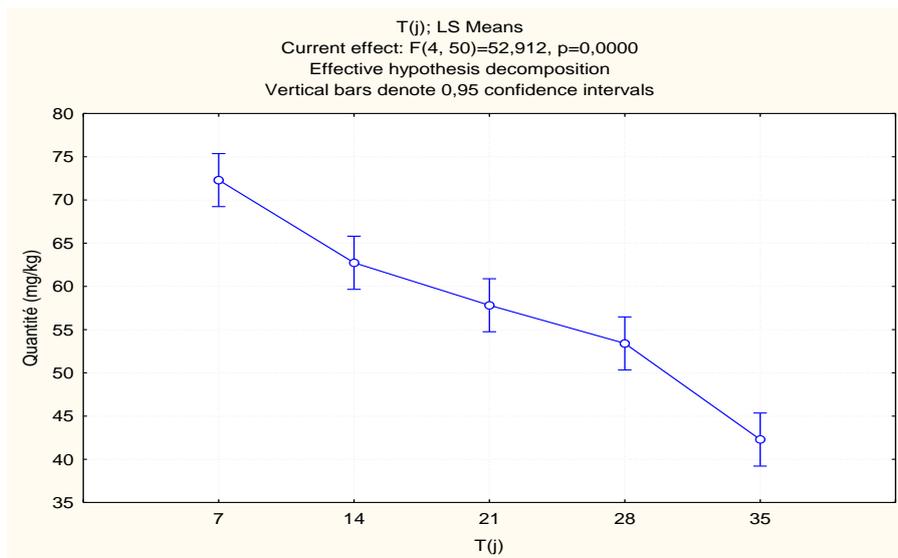
(Résultats des taux de chrome pour les échantillons dont la période de germination était de 35 jours)

- **Blé dur FASSI:** Les taux de chrome dans les sols variantes entre 1,29mg/kg pour un volume de chrome de 0 ml et 56,90mg/kg pour 20 ml de chrome ajouté.
- **Blé dur BELIONI:** Les taux de chrome dans les sols variantes entre 12,93 mg/kg (pour un volume de chrome =0 ml) et 87,07mg/kg (pour un volume de chrome =20 ml).



**Figure 24 : Taux du chrome dans le sol en fonction du volume de chrome ajouté.**

A travers les résultats dans la figure 25, nous avons remarqué que la quantité du chrome dans le sol augmente avec l'augmentation du volume de chrome ajouté, cela semble très logique.



**Figure 25 : Taux du chrome dans le sol en fonction du temps.**

A travers la figure 25, on remarque qu'il existe une relation inverse entre la quantité de chrome dans le sol et la durée de germination, c'est-à-dire que plus la période de germination est longue, plus la quantité de chrome dans le sol est minime ; cela signifie que la plante absorbe progressivement le chrome du sol.

**23.2.4.1/Comparaison entre les taux du chrome dans le sol pour les deux types de blé dur utilisés (FASSI ; BELIONI):**

Nous avons calculé les moyennes de quantité de chrome dans le sol et les résultats étaient les suivants :

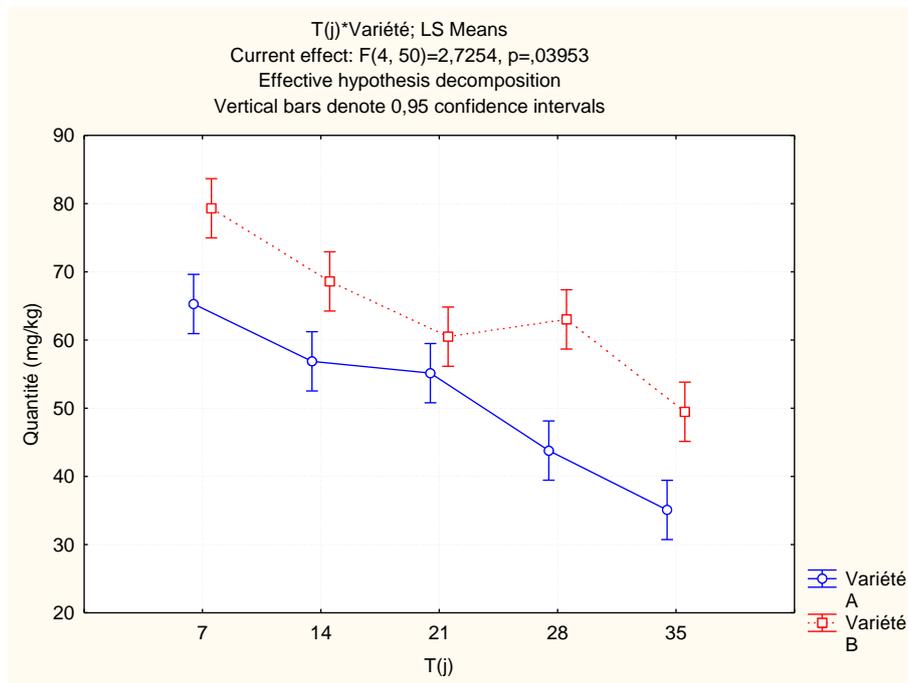
A/Moyenne de taux du chrome dans le sol est :

- Blé dur FASSI :  $M_{FS} = 51,24\text{mg/kg}$ .
- Blé dur BELIONI:  $M_{BS} = 64,18\text{mg/kg}$ .

$M_{FS}$  : moyenne de taux du Cr dans les sols de blé dur FASSI.

$M_{BS}$  : moyenne de taux du Cr dans les sols de blé dur BELIONI.

Nous avons remarqué que  $M_{BS} > M_{FS}$  et nous l'avons confirmé par la (Figure 26), qui montre que la quantité de chrome dans le sol du blé Bélioni est supérieure à celle du blé Fassi, ce qui explique la différence des quantités de chrome que nous obtenu précédemment dans les racines et les feuilles des blés Fassi et Bélioni, à savoir que les quantités du chrome dans les racines et les feuilles du blé Fassi sont supérieures à celles dans les racines et les feuilles du blé Bélioni.



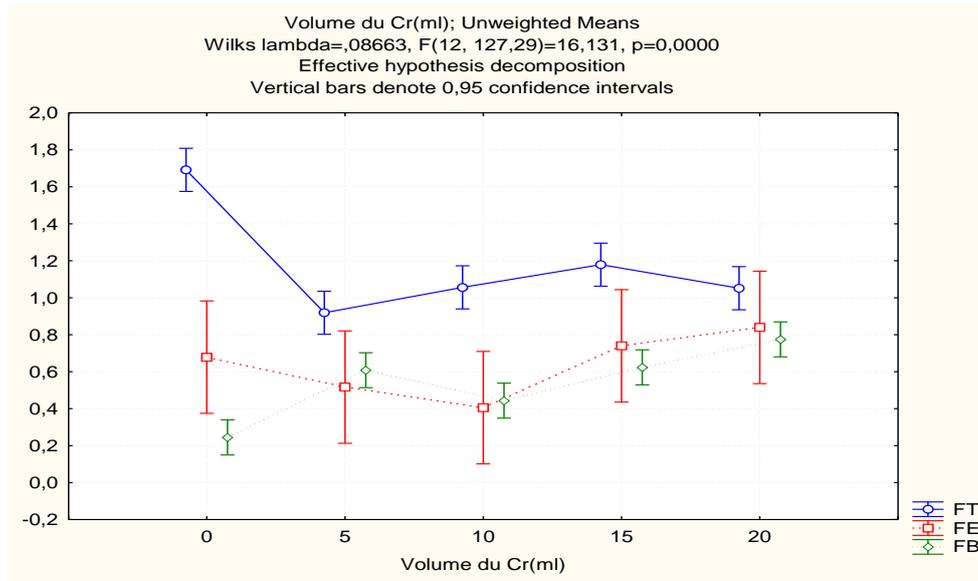
**Figure 26: Le taux de chrome dans les feuilles dans chaque type de blé séparément en fonction du temps.**

### 23.3 /Facteurs de caractérisation du phénomène de phytoremédiation :

Afin de connaître et d'évaluer la capacité du blé dur à absorber et accumuler le chrome hexavalent et à effectuer de la phytoremédiation, nous calculons les facteurs de caractérisation (le facteur de translocation (FT), le facteur d'enrichissement (FE) et Le facteur de bioaccumulation (FB)).

- **Les facteurs en fonction du volume du chrome ajouté :**

Les résultats des facteurs de translocation (FT), d'enrichissement (FE) et de bioaccumulation (FB) en fonction du volume du chrome sont présentés dans la figure 27.

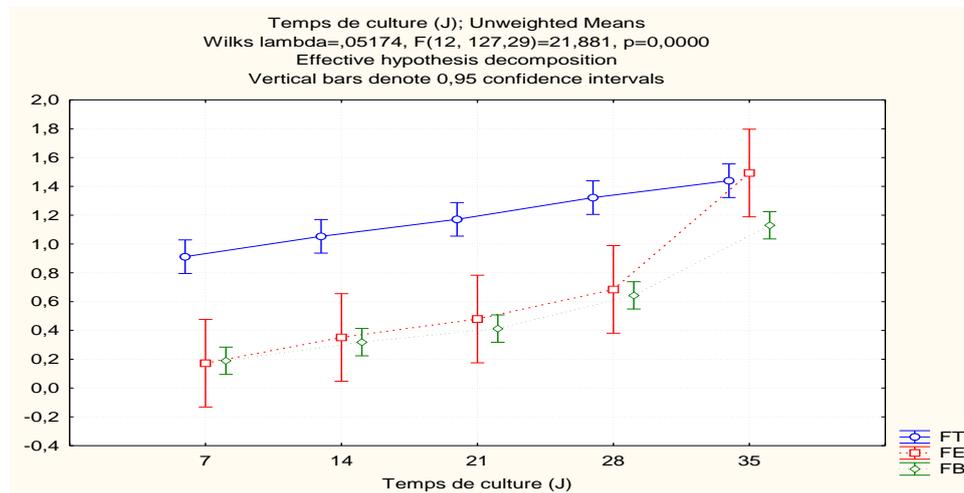


**Figure 27 : les facteurs (FT, FE, FB) en fonction du volume du Cr hexavalent ajouté.**

Selon la figure 27, On observe que les valeurs de FT sont majoritairement supérieures à 1, ce qui signifie que les deux variétés ont une capacité de translocation importante, le chrome se déplace des racines vers la partie aérienne. Pour les facteurs FB et FE, les valeurs ne dépassent pas dans la plus part 1, ce qui nous permet de conclure que les variétés de blé dur sont des plantes translocatrices.

➤ **Les facteurs en fonction du temps :**

Les résultats de cette étude sont montrés dans la figure 28 :



**Figure 28 : les facteurs (FT, FE, FB) en fonction du temps.**

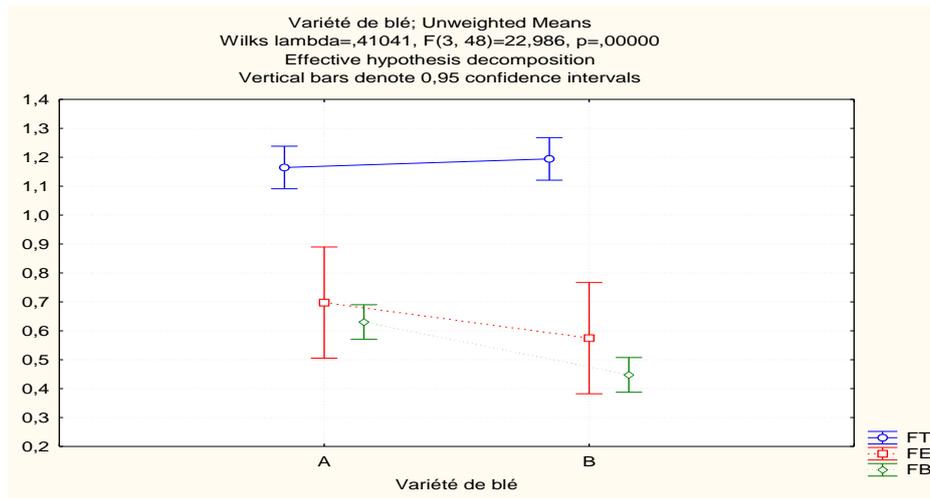
D'après la figure (28), on constate une augmentation des trois facteurs en fonction du temps de culture, cela peut être expliqué par l'absorption continue du chrome à partir du sol, on remarque que le facteur de translocation FT est majoritairement supérieur à 1, par contre les deux autres facteurs sont inférieur. Cela confirme que les deux variétés sont translocatrices.

Les trois facteurs augmentent en fonction du temps de culture, cela est dû au processus d'absorption continue des deux variétés de blé, mais les deux facteurs FB et FE restent pratiquement inférieur à 1, ce qui confirme la nature de la phytoremédiation qui se déroule.

C'est une translocation et accumulation dans la partie aérienne de la plante.

➤ **Les facteurs en fonction de la variété du blé :**

Les résultats sont présentés dans la figure 29 :



**Figure 29 : les facteurs (FT, FE, FB) en fonction de la variété de blé dur utilisée.**

D'après cette figure (29), on peut conclure que les deux variétés ont un processus de translocation similaire, elles accumulent d'une façon plus importante le polluant dans la partie tige et feuilles.

**Conclusion :**

A travers ces résultats et observations, nous concluons que les deux types de blé dur ont la capacité d'absorber les polluants et de les transférer des racines vers la partie aérienne.

Autrement dit, ils peuvent être utilisés en phytoremédiation, mais en comparant les deux types de blé, on constate que le blé FASSI est le meilleur pour cela.

# **CONCLUSION GENERALE**

### ***Conclusion générale et perspective :***

L'objectif principal de ce travail était d'étudier la capacité du blé dur à tolérer et/ou à accumuler le chrome hexavalent (sol, feuilles et racine) lors de la phytoremédiation de sols contaminés par le chrome à différentes concentrations, en raison de l'importance du blé dans la sécurité alimentaire, l'économie et le fait d'être un aliment de base des consommateurs. Pour cela, un sol sain est d'une grande importance pour notre sécurité alimentaire. La phytoremédiation des minéraux est également une moyenne rentable et efficace d'adopter une technique « verte », respectueuse de l'environnement et éliminant les éléments minéraux toxiques.

Selon nos résultats expérimentaux, les deux variétés de blés durs (Fassi et Al-Biloni) ont la capacité de survivre, de tolérer et d'absorber le chrome hexavalent et de le transférer de la partie racinaire à la partie aérienne. Les concentrations moyennes sont de l'ordre de 97,82 mg/kg et 89,92 mg/kg respectivement.

Les résultats des facteurs indiquent que le chrome s'accumule principalement dans les feuilles et peut être plus adapté à la phytoextraction, avec des facteurs de translocation de l'ordre de 1.20 et 1.18 pour la variété Béliouni et Fassi respectivement, Ces valeurs sont supérieures à 1 ce qui indique que le chrome est fixé dans les feuilles, et par conséquent il peut être éliminé ou extrait simplement avec possibilité de récupération, ces résultats très satisfaisants ont été obtenus seulement en 35 jours, ce qui indique l'efficacité de ces variétés dans le traitement des sols contaminés par le chrome hexavalent. De plus, grâce à l'utilisation de l'analyse sensorielle de la qualité du blé dur, aucune différence de forme et de dureté n'a été observée.

# **REFERENCE**

## A

- 
1. ADEME, 2012, Glossaire sites pollués et sols. [En ligne] disponible sur: <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=->.
  2. Ademe, Bragm, (En ligne). <https://www.selecdepol.fr/fichestechniques/phutoremediation.22/12/2013>.
  3. Aidani, H. (2015). Effet des attaques de Capucin des grains (*Rhizopertha dominica*) sur les céréales stockées « Estimation sur la perte pondérale et le pouvoir germinatif Cas de blé dur dans la région de Tlemcen ». Mémoire de master en Agronomie Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen : 15p.
  4. Alloway B.J. Heavy letals in soils. Second edition. Blackis Academic and Professional, London, 368 (1995).
  5. Anonyme,2016- La phytoremediation .Société québécoise dephytotechnologie,Boul. PieIX.

## B

- 
6. BALLERINI, D et VANDECASTEELE, J.P. 1999. La restauration par voie microbiologique des sols contaminés par les polluants organiques: Biotechnologie, coordinateur R. Scriban, 5ème édition, Edition Tech et Doc. P : 835- 865.
  7. Bonjean A. and Picard E. (1990). Les céréales a paille origine, historique, économie et sélection Eds Nathan, 235pages.
  8. Bonjean, A. et Picard, E. (1990). Les céréales à paille : origine, histoire, économie, sélection. Softword – Groupe ITM, Paris, 208p.
  9. Bounneche, H. (2015). Fric : technologie de fabrication et qualité’’ mémoire de magister, département de technologies alimentaires, université Constantine 1-54.
  10. Burken et Schnoor 1999. Distribution and Volatilization of Organic Compounds Following Uptake by Hybrid Poplar Trees . International Journal of Phytoremediation : Vol . 1 , No. 2 , pp . 139-151.

## C

- 
11. Calvel, R. (1984). La boulangerie moderne. *Editions EYROLLES*, Paris, 460 p.
  12. Charenete M.,1993-Etude de la pollution en Chrome de la Charente. Rapport.D.R.I.R.E.Cotte Anne, Aude Duret. Le chrome trivalent : intérêts et limites des supplémentations.

Sciences pharmaceutiques., 2010. ffdumas-00593117.

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00593117>, Submitted on 13 May 2011.146p.

13. Cunnigham, S.D., W.R. Berti. 1993. Remediation of contaminated soils with green plants: an overview. *In Vitro, Cell & Developmental Biology* 29: 207-212.

## D

- 
14. Damien Francenne, Anne thibaut (2008).Inégalités environnementales et pollution des sols : Comment améliorer la communication destinés aux populations précarisées.
  15. Decker M. Et Dosso O., 2006- Evaluation et gestion du risque sanitaire lié au dépassement de la limite de qualité du chrome dans l'eau de distribution. Mémoire de Ingénieur.E.N.D.S.P.R-Rennes.
  16. DeFlora S., Wetterhahn K.E, *Life Chemi Reports*, 7, (1989) 169- 244.
  17. Desjar V.,2002-Réduction du Chrome (VI) par la souche *Streptomycesthermocarboxydus* NH50 isolée à partir d'un sol pollué. Thèse de Doctorat. É.D.C.L-Lyon.
  18. DESJARDIN Valérie.(2002). Réduction du chrome (VI) par la souche *Streptomyces thermocarboxydus* NH50 isolée à partir d'un sol pollué.. <http://docinsa2.insa-lyon.fr/these/2002/desjardin/these.pdf> .
  19. Dixit, R., Wasiulah, G., Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U. B., Sahu, A., Shukla, R., Singh, B. P., Rai, J. P., Sharma, P. K., Lade, H., & Paul, D. (2015). Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes *Sustainability* 7, 2189-212.

## E

- 
20. Edisud(« Volumes », no 10) , décembre 1991 [En ligne], mis en ligne le 01 mai 2013, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/encyclopedieberbere/1766>.
  21. Edwards, R., Dixon, D.P., and Walbot, V. (2000). Plant glutathione S-transferases: Enzymes with multiple functions in sickness and in health. *Trends Plant Sci.*, 5: 193–198.
  22. EL YAMANI M. 2006 Sites et sols pollués Paris : Affset [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/290597035719683547463364478547/23\\_sites\\_sols\\_pollues.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/290597035719683547463364478547/23_sites_sols_pollues.pdf).

## F

- 
23. Fabienne Baraud Équipe de recherche en physico-chimie et biotechnologies – Bâtiment Sciences 2 Campus 2, Bd du Maréchal Juin, 14032 Caen Cedex – France.
  24. Farrag, H.F., 2012. Floristic composition and vegetation-soil relationships in Wadi Al-Argy of Taif region, Saudi Arabia. *Int. Res. J. Plant Sci.*, 3(8): 147-157.
  25. Fournon D., 1999-*La phytoremediation*. Thèse de Doctorat. U.J.F.T-Tronche.
  26. Fournon D.; 2017\_ *La phytoremédiation*. Thèse Doctorat., Univ.grenoble. sci. Pharmacie , 114p.

## G

- 
27. GABET, S. 2004. Remobilisation d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) présents dans les sols contaminés à l'aide d'un tensioactif d'origine biologique. Thèse de doctorat de l'université de Limoges, spécialité Chimie et Microbiologie de l'Eau. p. 177.
  28. Gajewska, E., M. Skłodowska, M. Słaba, J. Mazur. 2006. Effect of nickel on antioxidative enzyme activities, proline and chlorophyll contents in wheat shoots. *Biologia Plantarum* 50: 653- 659.
  29. Gan, Y.T., Miller, P.R., McConkey, B.G., Zentner, R.P., Stevenson, F.C., McDonald, C.L., 2003. Influence of diverse cropping sequences on durum wheat yield and protein in the semiarid Northern Great Plains. *Agron. J.* 95, 245–252 .
  30. Gao, H.; Liu, Y.; Zeng, G.; Xu, W.; Li, T.; Xia, W., *J. Hazard. Mater.*, 150 (2007) 446-452.
  31. GASKIN, S. 2008. Rhizoremediation of hydrocarbon contaminated soil using Australian native grasses (Electronic Thesis or Dissertation). Flinders University, Australia.
  32. GERHARDT, K.E., HUANG, X.-D., GLICK, B.R et GREENBERG, B.M. 2009. Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: Potential and challenges. *Plant Sci.* 176, 20–30. doi:10.1016/j.plantsci.2008.09.014.
  33. Gode. F, Pehlivan. E., *J. Hazard. Mater.* 119 (2005) 175–182.

## H

- 
34. Haguenoer. J. M., Dubois. G., Frimat. P., Cantineau. A, Lefrancois. H., Furon. D., Colloque International sur la prévention du cancer professionnel. (1981) Helsinki, Finland.

35. Hartmann R. (1996) .polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in forest soils :critical evaluation of a new analytical procedure. J. Environ. Anal. Chem. 62, 161-173.
36. Hobbs, P.R., 2007. Conservation agriculture: what is it and why is it important for future sustainable food production. J. Agric. Sci. 145, 127–137.
37. Hobbs, P.R., Sayre, K., Gupta, R., 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 363, 543–555.
38. <https://www.gie-bledur.fr/la-filiere-ble-dur/description-du-ble-dur9ARVALIS%20InstitutA9tal> .

## I

- 
39. I.T.C.F., 2002. Le blé tendre. Ministère de l'agriculture. Algérie. Document de vulgarisation, 7-55 pp.
  40. Ikhlass MARZOUK TRIFI(2012), *Etude de l'élimination du chrome (VI) par adsorption sur l'alumine activée et par dialyse ionique croisée*, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00807936/document> .
  41. ITGC, 1999. Analyse des contraintes liées à la céréaliculture. Programme de développement de la filère céréale, 8-10.

## J

- 
42. J. Erroux, « Blé », in Gabriel Camps (dir.), *10 / Beni Isguen – Bouzeis*, Aix-en-Provence, Edisud (« Volumes », no 10) , décembre 1991 [En ligne], mis en ligne le 01 mai 2013, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/encyclopedieberbere/1766> .
  43. JORADP Décret exécutif n° 09209 du 17 JoumadaEthanina 1430 correspondant au 11 juin 2009.

## K

- 
44. Karthikeyan, T, Rajgopal, S, Miranda, L. R., J. Hazard. Mater., 124 (2005) 192-199.

## L

- 
45. Langård. S., Elsevier Biomedical Press, Amsterdam (1982).
  46. 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 Academy of science, Engineering and Technology.

47. Losi, M. E., Amrhein, C., and Frankenberger Jr, W. T., 1994- Environmental Biochemistry of Chromium. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, vol. 136.
48. Lytle C., Lytle F., W., Yang, N., Qian, J. H., Hansen, D., Zayed, A., and Terry, N., 1998- Reduction of Cr(VI) to Cr(III) by wetland plants : potential for in-situ metal detoxification. Environmental Science and Technology, vol. 32.

## M

- 
49. MAES 2007b : 500 « La qualité du sol et la santé » dans Cellule Etat de l'environnement wallon Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007 Namur : MRW-DGRNE p. 669.
50. Malecka A. , Tomaszewska B.(2005). komorki roslinne reaktywne formy tlenu biologia molekularna stres oksydacyjny enzymy antyoksydacyjne. Uniwersytet A.Mickiewicza, ul.Fredry 10, 61-701 Poznan.
51. Marecik, R., P. Króliczak, P. Cyplik. 2006. Phytoremediation – an alternative method for environmental cleanup. Biotechnologia 3: 88-97 (in Polish).
52. Marwan H , Doa N , Munqez S., 2021- Heavy Metals Accumulation in Soil and Uptake by Barley (Hordeum Vulgare) Irrigated with Contaminated Water. 6-7-8.
53. Ministère de l'agriculture et du développement rural, 2006. Statistiques agricoles des céréales cultivées en Algérie, 3 p.
54. Mohanty. K., Jha. M., Meikap. B.C., Biswas. M.N., Chem. Eng. Sci., 60 (2005) 3049–3059.
55. Moule C., 1980. Les céréales. Ed. La maison rustique. Paris. 318 p.

## N

- 
56. NEWMAN, L.A et REYNOLDS, C.M. 2004. Phytodegradation of organic compounds. Curr. Opin. Biotechnol. 15, 225–230. doi:10.1016/j.copbio.2004.04.006.
57. Nouri J.,khorasani N. ;LorestaniB.,Karami M. ;HassaniA. ;Yousefi,N., (2009)- Accumulation of heavy metals in soil and uptake by plant

species with phytoremediation potential. Environ. Earth Sci. 59(2).

58. Nriagu. J.O, Nieboer. E., éd. John Wiley and Sons, Toronto, (1988).

## O

- 
59. Oliveira F., Canevarin T., Guerra B., Perrira-Fillhoer., 2013 - proposition of simple method for chromium hexavalent determination in soils from remote places applying digital images: A case study from Brazilian Antractic, *Microchem.J.* 109-165-169 doi:<http://doi.org/10.1016/j.microc.2012.03.007>.
60. Otabbong. E, *Soil Sci. Plant Anal.*, 21 (1990) 687- 703.

## P

- 
61. Perchet G.T.; Institut National Polytechnique de Toulouse, Thèse (2008).

## R

- 
62. Rachedi M., 2003. Les céréales en Algérie, problématique et option de réforme, *Céréaliculture* 38, 1-7.
63. Rai D.; Eary L., Zachara, J.M., 1989- Environmental chemistry of chromium. S. T.E., 86.
64. Rebhi A. E, 2019. Cours de Pollution et remédiation, Univ, Ziane Achour-Djelfa, 201p
65. Rebhi A. E.; (2019). *Response of Artemisia herbaalba to hexavalent chromium pollution under arid and semi-arid conditions*. International Journal of Phytoremediation, 224-229.
66. Rodier J., 2009- l'analyse de l'eau. Ed. Dunod. P. Paris.
67. Ruel T., (2006). Document sur la culture du blé, Ed: Educagri. 18p.

## S

- 
68. SCHNOOR. 2003. phytoremediation-transformation and control of contaminants. 987p.
69. Schubert G.E., Sinner E., Otten.G., *Virch. Arch. Abt. Path. Anat.*, 353 (1997) 207- 220.
70. Segura, A., J.L. Ramos. 2013. Plant–bacteria interactions in the removal of pollutants. *Current Opinion in Biotechnology* 24:467-473.
71. Shupak. S.I, *Environ. Health Perspect.* 92 (1991).
72. Šramkova, Z., Gregova, E., Sturdik, E. (2009). Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta chimica slovacca*, 2(1), 115-138.

73. Srivastava, S., S. Sounderajan, A. Udas, P. Suprasanna. 2014. Effect of combinations of aquatic plants (*Hydrilla*, *Ceratophyllum*, *Eichornia*, *Lemna* and *Wolffia*) on arsenic removal in field conditions. *Ecological Engineering* 73: 297- 301.
74. Stellman. J.M, *Encyclopédie de sécurité et de santé au travail*, 2 (63) (2000).
75. SUSARLA, S., MEDINA, V.F et MCCUTCHEON, S.C. 2002. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecol. Eng.* 18, 647–658. doi:10.1016/S0925-8574(02)00026-5.

## T

- 
76. Torresdey. J.L.G, Tiemann, K.J, Armendariz, V, J. *Hazard. Mater.*, 80 (1-3) (2000) 175-188.

## U

- 
77. USEPA, (U.S. Environmental Protection Agency). 1984b. Health assessment document for chromium. Rapport final. EPA-600/8-83-104F. Environmental Criteria and Assessment Office, US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
78. USEPA, (U.S. Environmental Protection Agency). 2006. Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, Summer, EPA 822-R-06-013.

## V

- 
79. VANGRONVELD, J., HERZIG ,R et WEYENS ,N. 2009. Phytoremediation of contaminated soils and groundwater : lessons from the field. *Environmental Science and Pollution Research* 16(7), 765-794. in Grenier vanessa, (2014).

## W

- 
80. Wilcox, J., Makowski, D., 2014. A meta-analysis of the predicted effects of climate change on wheat yields using simulation studies. *Field Crop Res.* 156,180–190.
81. Williams. J.H, Office of Official Publications for the Commission of the European Communities, Bruxelles(1988).

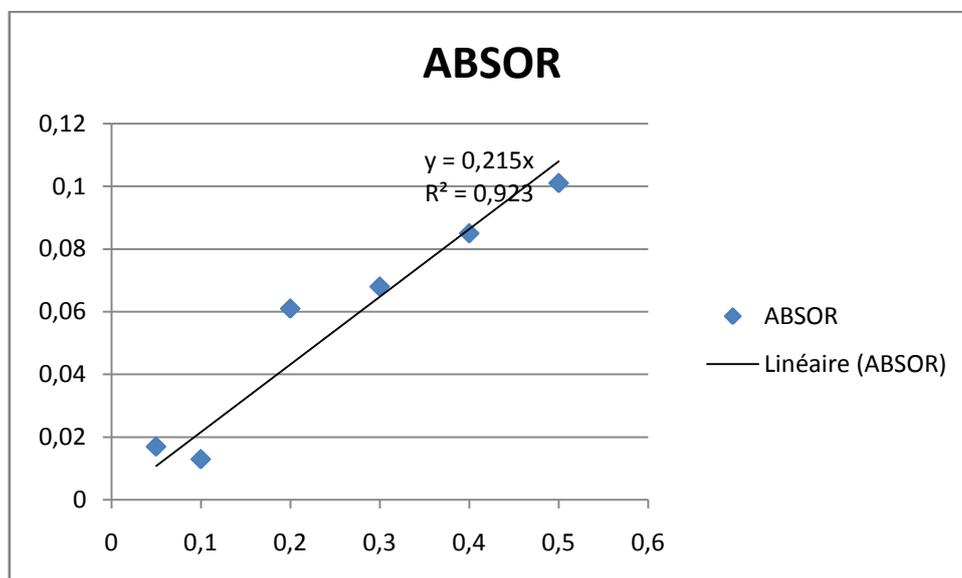
## Z

- 
82. Zerrouki D , Maatoug M , Hellal B , Ait Hammou M., 2013- Phytoremediation of Contaminated Agricultural Soil by Lead from Traffic Pollution Using Common Barley *Hordeum*. 54.

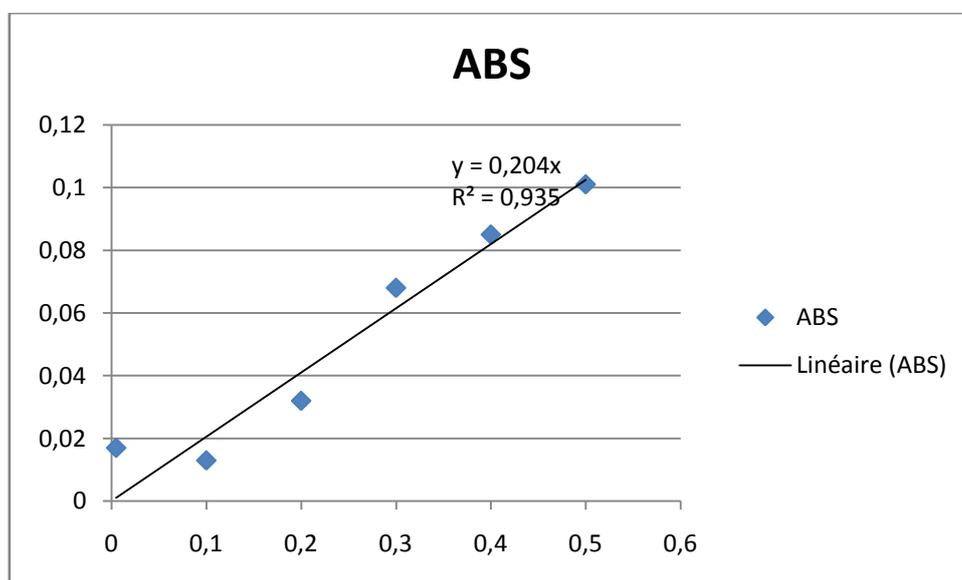
# **ANNEXES**

**Elaboration des courbes d'étalonnage :**

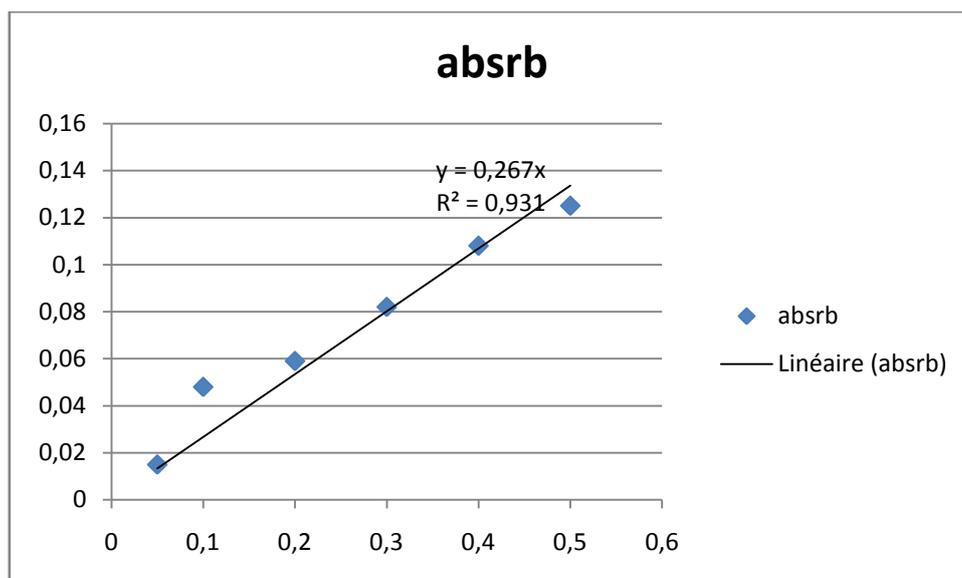
Les courbes d'étalonnage pour l'analyse du chrome hexavalent sont représentées sur les figures 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37.



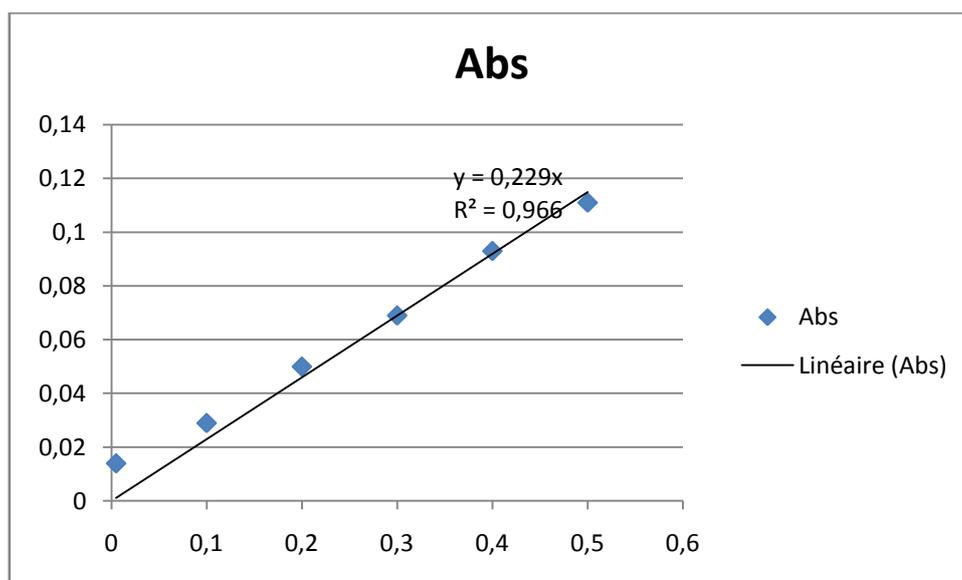
**Figure 30 : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 01/06/2022.**



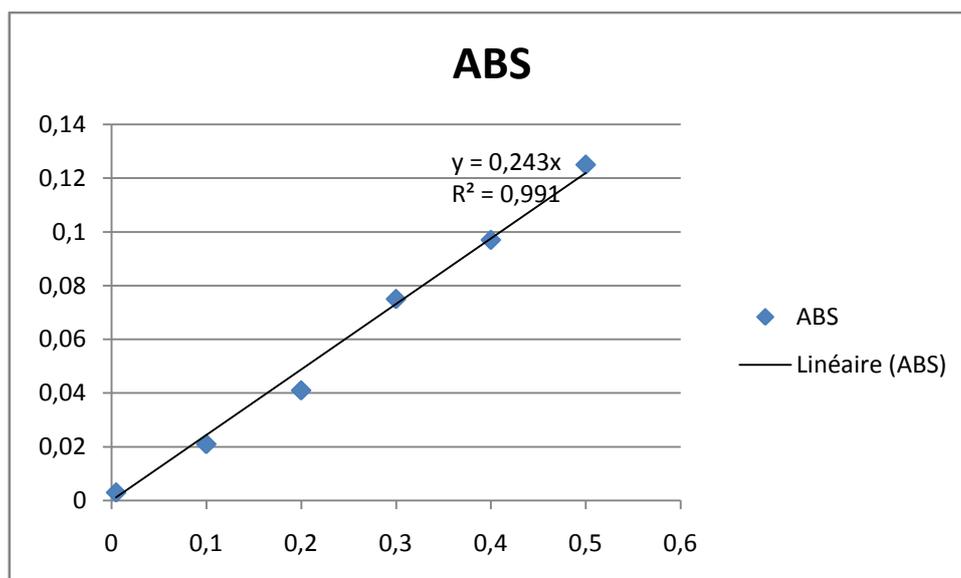
**Figure 31 : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 02/06/2022.**



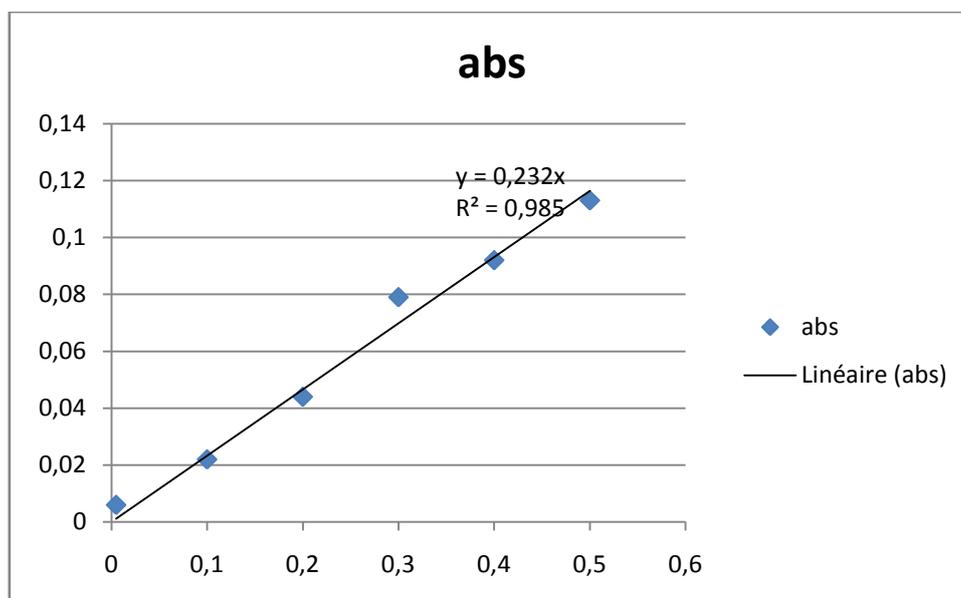
**Figure 32 : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 05/06/2022.**



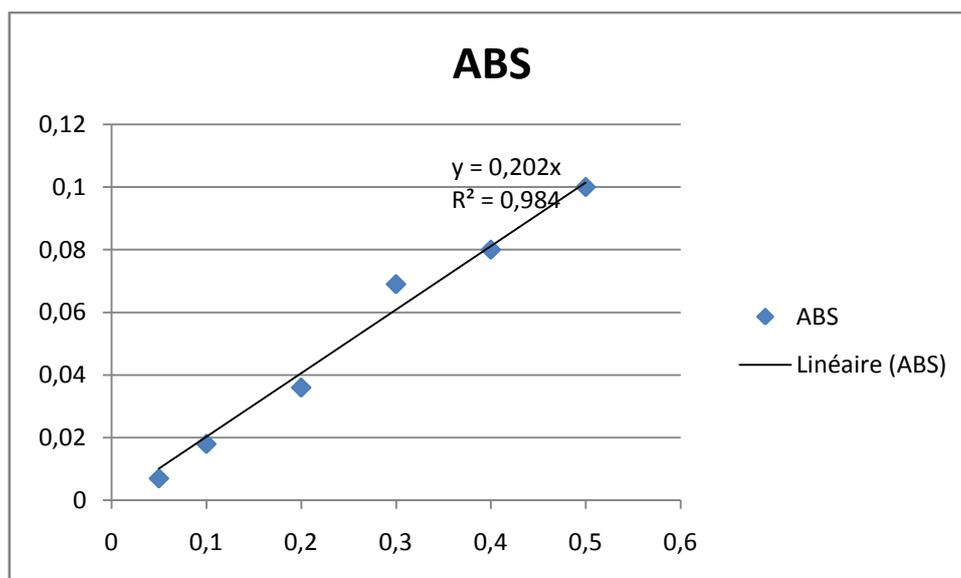
**Figure 33 : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 06/06/2022.**



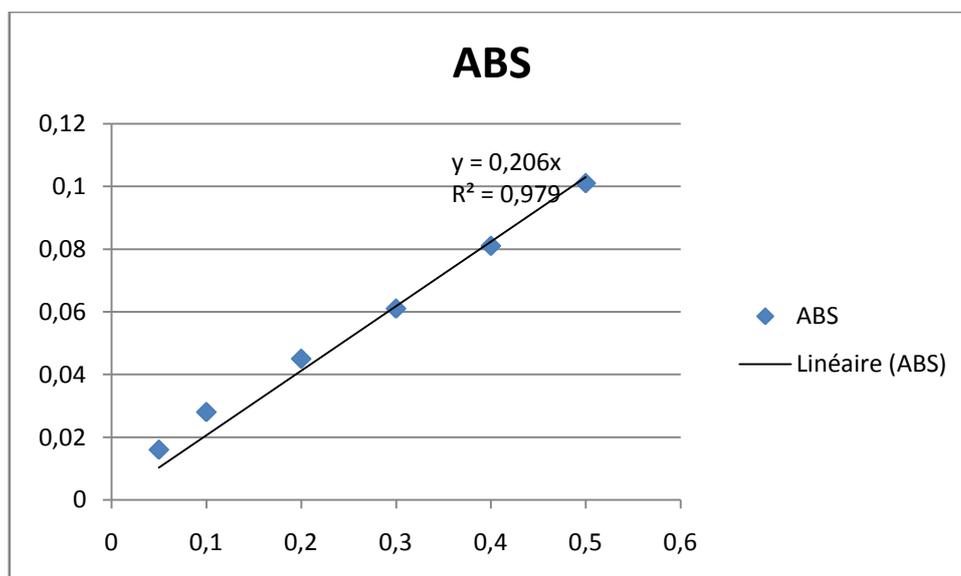
**Figure 34 : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 07/06/2022.**



**Figure 35 : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 08/06/2022.**



**Figure 36 : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 09/06/2022.**



**Figure 37 : Courbe d'étalonnage du chrome hexavalent de la date 06/07/2022.**

**RESEME**

## **RESUME :**

Le but de notre travail expérimental est d'étudier et d'évaluer l'effet du chrome hexavalent sur deux types de blé dur et la capacité de ce dernier à l'absorber, Le chrome hexavalent a été choisi pour faire cette étude car c'est un polluant métallique hautement toxique et parce qu'il est présent dans les eaux usées de plusieurs industries comme la tannerie du cuir, qui est une source majeure de pollution dans la région de Djelfa, Il peut également être trouvé dans le sol en raison de facteurs naturels.

Nous avons planté deux types de blé dur (Pelioni et Fassi) dans un sol traité au chrome hexavalent avec différentes volumes allant de (0 à 20 ml) et changé la période de germination (de 7 jours à 35 jours), et il s'agit d'étudier l'évolution des concentrations en chrome dans le sol et dans les différentes parties de la plante en fonction des quantités de chrome ajoutées et de la période de germination, afin de connaître le cheminement du polluant dans la plante et la capacité de ce dernier à l'absorber.

Nous avons remarqué une relation directe entre les concentrations de chrome dans les parties de la plante et ses quantités ajoutées dans le sol et la période de germination, mais cela affecte négativement la croissance et le développement du plant de blé, Et en comparant les deux types de blé utilisés dans l'étude, les résultats ont montré que le Bélieni a une capacité d'absorption plus élevée que le blé fassi, Le facteur de transmission du chrome indique que le polluant se déplace du sol aux racines jusqu'aux feuilles pour s'accumuler dans la partie aérienne, Ce qui prouve que la phytoremédiation du blé est du type extraction.

Tous ces résultats montrent que le blé a une grande capacité à éliminer les polluants du sol, c'est-à-dire qu'il peut être utilisé pour la phytoremédiation, afin de protéger l'environnement naturel et d'améliorer la qualité et la valeur nutritionnelle des cultures agricoles plantées avec un sol qui a été traité par la phytoremédiation, C'est en raison de sa pureté des polluants toxiques, ce qui peut causer un danger pour l'homme et l'environnement.

## ملخص :

الهدف من عملنا التجريبي هو دراسة و تقييم بئشير الكروم سداسي التكافؤ على صنفين من نبات القمح الصلب و قابلية هذان الأخيران على امتصاصه و الاستجابة له, تم اختيار الكروم سداسي التكافؤ للقيام بهذه الدراسة لاعتباره ملوث معدني ذو سمية عالية و لتواجده في مياه الصرف الصحي لعدة صناعات كدباغة الجلود و التي تعتبر مصدرا رئيسيا للتلوث في منطقة الجلفة, كما يمكن أن يتواجد بعوامل طبيعية في التربة.

غرسنا صنفين من القمح الصلب (البيليوني و الفاسي) في تربة معالجة بالكروم سداسي التكافؤ بأحجام مختلفة تتراوح من (0 الى 20مل) و غيرنا في فترة انباته (من 7 ايام الى 35 يوما), و هذا لدراسة تغيرات تراكيز الكروم في التربة و في أجزاء النبات المختلفة نسبة لكميات الكروم المضافة و لفترة الانبات, من اجل معرفة مسار الملوث في النبات و قدرة امتصاص هذا الأخير له.

لاحظنا وجود علاقة طردية بين تراكيز الكروم في أجزاء النبات و كميته المضافة في التربة و فترة الانبات, لكن يؤثر سلبا على نمو نبات القمح و تطوره, و بالمقارنة بين نوعي القمح المستعملين في الدراسة أثبتت النتائج أن البيليوني ذو قدرة أعلى على الامتصاص من القمح الفاسي, كما أشار معامل انتقال الكروم الى أن الملوث ينتقل من التربة الى الجذور الى الأوراق ليتراكم في الأجزاء العلوية للنبات, مما يثبت أن المعالجة النباتية للقمح هي من نوع الاستخلاص. كل هذه النتائج تظهر أن القمح ذو قدرة عالية على ازالة الملوث من التربة أي امكانية استخدامه للمعالجة النباتية و ذلك من اجل حماية البيئة الطبيعية و تحسين الجودة و القيمة الغذائية للمحاصيل الزراعية المغروسة بالأتربة التي عولجت نباتيا و هذا بسبب نفاوتها من الملوثات ذات السمية و التي كانت قد تسبب خطرا على الانسان و البيئة.

## **ABSTRACT:**

The aim of our experimental work is to study and evaluate the effect of hexavalent chromium on two types of durum wheat and the ability of the latter to absorb it. Hexavalent chromium was chosen to carry out this study because it is considered a metal pollutant with high toxicity and for its presence in the wastewater of several industries such as leather tanning, which is a major source of pollution in the Djelfa region, and it can also be found by natural factors in the soil.

We planted two types of durum wheat (Pelion and Fassi) in soil treated with hexavalent chromium with different sizes ranging from (0 to 20 ml) and changed the germination period (from 7 days to 35 days), and this is to study the changes of chromium concentrations in the soil and in the different parts of the plant in proportion to the added chromium amounts and the period of germination, in order to know the path of the pollutant in the plant and the ability of the latter to absorb it.

We noticed a direct relationship between the concentrations of chromium in the plant parts and its added amounts in the soil and the period of germination, but it negatively affects the growth and development of the wheat plant, And by comparing between the two types of wheat used in the study, the results showed that the Bélioni has a higher absorption capacity than the fassi wheat, The chromium transmission factor also indicated that the pollutant moves from the soil to the roots to the leaves to accumulate in the aerial part, Which proves that the phytoremediation of wheat is an extraction type.

All these results show that wheat has a high ability to remove pollutants from the soil, that is, it can be used for phytoremediation in order to protect the natural environment and improve the quality and nutritional value of agricultural crops planted with soil that were treated with phytoremediation, This is because of its purity from toxic pollutants that may cause danger to humans and the environment.