

Phytoremédiation par les cultures de vétiver (*Chrysopogon zizanioides* L.) et du colza (*Brassica napus* L.) des sols miniers pollués en Tunisie

S. SLIM^{*1}, F.E. BEN AZAIEZ¹, B. MAJDOUB¹, S. DHANE¹, C. KARMOUS¹

¹ Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur, Tunisie

* Auteur correspondant: slimbss@yahoo.fr

Abstract - This work examines the importance of phytoremediation in the remediation of soils contaminated with heavy metals. In this context, we have selected vetiver and canola as depolluting plants for phytoremediation. They were cultured in three types of soils which were contaminated. Along, a similar test was conducted in a control soil. It was found that, despite the high levels of heavy metals stored in soils, growing vetiver and canola successfully settled on the 4 types of soils. Analysis of the foliar concentration of metals highlights showed a strong metal accumulation up to 667 mg of Fe/ Kg of dry matter; 133.8 mg of Zn/ Kg of dry matter and 72.45 mg of Pb/ kg of dry matter for vetiver while canola accumulates 1063 mg of Fe/ kg of dry matter; 298.75 mg of Zn/ Kg of dry matter and 27.9 mg of Pb/kg of dry matter. Canola plant has recorded a higher proportion rate of accumulation than vetiver, indeed she accumulates 40% Zn; 6.84% Fe and 0.7% Pb, so that the accumulation in the vetiver do not exceed 8.5% Zn; 4.1% Fe and 0.18% Pb. For both plants, the analysis showed a power to accumulate Zn greater than Fe and Pb.

Key words: phytoremediation, heavy metals, canola, vetiver, accumulation.

Résumé - Ce travail étudie l'importance de la phytoremédiation dans la dépollution des sols contaminés par des métaux lourds. Dans ce contexte, on a choisi le vétiver et le colza comme des plantes dépolluantes. Elles ont été cultivées dans 3 types de sols miniers pollués. Parallèlement un essai similaire est conduit dans un sol témoin. On a constaté que, malgré les fortes teneurs en métaux lourds enregistrées dans les sols, la culture du vétiver et du colza s'installe avec succès sur les 4 types de sols. L'analyse de la concentration foliaire en métaux a montré une forte accumulation métallique atteignant 667 mg/Kg MS de fer ; 133,8 mg/Kg MS de zinc et 72,45 mg/Kg MS de plomb pour le vétiver alors que le colza accumule 1063 mg/kg MS de fer ; 298,75 mg /Kg MS de zinc et 27,9 mg/Kg MS de plomb. Le colza a enregistré un taux d'accumulation plus élevé que le vétiver, en effet elle accumule 40% de zinc ; 6,84 % de fer et 0,7% de plomb alors que l'accumulation chez le vétiver ne dépassent pas le 8,5% de zinc ; 4,1% de fer et 0,18 % de plomb. Ces résultats ont montré un pouvoir d'accumulation du zinc plus important que celui du fer et du plomb pour les deux espèces.

Mots clés : phytoremédiation, métaux lourds, colza, vétiver, accumulation.

1. Introduction :

Pollution, Environnement, Ecologie... Ces termes relativement récents de notre vocabulaire (AFNOR 1994), sont devenus les plus discutés aujourd'hui. Ils reflètent une réelle prise de conscience suite à la pollution intense de l'environnement qui est un problème majeur pour le XXIème siècle. Le problème des sols contaminés par des métaux lourds est très préoccupant aujourd'hui car ils ont la propriété de la persistance dans l'environnement pendant de longues périodes. De plus ils sont continuellement rajoutés dans les sols par diverses activités: en agriculture par l'application de boues d'épuration ou dans l'industrie métallurgique (Sivren, 2006).



Donc ce problème nécessite le développement des techniques efficaces pour décontaminer les sites pollués. L'une de ces techniques qui semble être la plus prometteuse est la phytoremédiation. Cette technique se base sur l'exploitation de la tolérance et du pouvoir accumulatif de certaines plantes envers les métaux lourds. Le présent travail s'inscrit dans ce cadre, il vise à étudier la capacité du colza (*Brassica napus*) et du vétiver (*Chrysopogon zizanioides*) à dépolluer des sols miniers du nord de la Tunisie.

2. Matériels et méthodes :

2.1. Matériel végétal

Le travail a porté sur deux types de plantes :

Le colza (*Brassica napus* L.): C'est une plante herbacée annuelle dont les fleurs groupées en grappes sont terminales. Les fruits sont des siliques (Fruit sec semblable à la gousse à la différence qu'elle comporte une fausse cloison à laquelle sont fixées les graines) (Guettaa, 2010). La variété utilisée est jura. C'est une variété hybride parmi les cinq variétés cultivées en Tunisie au printemps (Flahetna, 2012).

Le vétiver (*Chrysopogon zizanioides* L.): Le vétiver est une graminée originaire de l'Inde. Il peut pousser jusqu'à 1,5 mètre de haut et forme des touffes aussi larges. Les tiges sont hautes et les feuilles sont longues, minces et plutôt rigides. Contrairement à la plupart des graminées, le vétiver ne forme pas un tapis horizontal de racines : les racines poussent plutôt presque exclusivement en profondeur (RCW, 2002).

2.2. Dispositif expérimental

L'expérimentation a été conduite dans 40 pots en plastique d'un diamètre de 25 cm et une hauteur de 22 cm qui contiennent 3 types des sols contaminés et le quatrième type est le sol témoin (Sol de l'Ecole Supérieure D'agriculture de Mateur (ESAM)).

2,5 kg de chacun des substrats ont été introduits dans les pots. Chaque type du sol est représenté par 5 répétitions pour la même plante. Les pots sont placés sous serre. Vu que l'essai a été conduit en période chaude de l'année (avril et mai 2015) les plantes ont été arrosées régulièrement chaque deux jours. Pour faciliter le drainage, une couche de 2 cm de gravier a été déposée au fond des pots.

2.3. Présentation des sites d'échantillonnage

Les 3 types de sols échantillonnés ont été prélevés de la mine Taméra. Le groupe minier Taméra situé à 150 Km environ au nord de Tunis constitue actuellement la principale région ferrifère du pays. La mine de Taméra est située à 11 km au nord de Nefza.

2.4. Les paramètres mesurés

2.4.1. Croissance de la partie aérienne

On a contrôlé la croissance des plantes en mesurant la taille de la partie aérienne à l'aide d'une règle graduée.

2.4.2. Concentration en chlorophylle

Le suivi de l'indice de concentration en chlorophylle des feuilles du colza et vétiver est fait à l'aide du chlorophyllomètre (SPAD).

2.4.3. Mesure des teneurs en métaux lourds

Les concentrations en plomb, zinc et fer sont analysées dans le centre international des technologies de l'environnement de Tunis (CITET) selon les normes internationales de l'association française de normalisation (AFNOR, 2007).

2.4.3.1. Analyses des sols

A chaque site prospecté, des échantillons de sol ont été prélevés et conservés comme témoin à comparé avec les sols dans les quels on a cultivé les plantes.

Tous les échantillons ont été préparés dans des plateaux en verre, séchés dans une étuve à 40° C pendant 48 heures puis tamisés et broyés. La minéralisation de sol finement moulu consiste à dissoudre les métaux lourds par attaque acide. On a le fait par l'ajout de 0,5 g de l'échantillon avec 2

ml d'acide nitrique (HNO₃) et 6 ml d'acide chlorhydrique (HCL). Les concentrations en zinc, plomb et fer sont analysées par spectroscopie d'émission atomique avec plasma induit à haute fréquence ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)).

2.4.3.2. Analyses des plantes

Seules les parties aériennes des plantes ont été récoltées 61 jours après transplantation du colza et 60 jours après transplantation du vétiver.

Les parties aériennes des plantes ont été mises dans des plateaux en verre, puis placés à l'étuve à 40°C pendant 48 heures. La matière sèche produite par pot de chaque espèce a été broyée et homogénéisée pour les analyses. 2 g de chaque échantillon ont été placés dans un four à moufle à 450 ° C pendant 3 heures. Puis ils sont minéralisés par 15 ml d'acide chlorhydrique (HCL) et 5 ml d'acide nitrique (HNO₃). Les concentrations en zinc, plomb et fer sont analysées par ICP-OES comme précédemment.

3. Résultats et discussion:

3.1. Etat initial des sols

3.1.1. Concentration en métaux lourds dans les sols

Les concentrations en plomb, en zinc et en fer dans les différents substrats sont résumées dans le tableau 1 ci dessous:

	Fer	Pb	Zinc
Sol témoin	19372	21,96	56,08
Sol 1	16205	2651,84	18,7
Sol 2	215683	2663,51	2398,43
Sol 3	48813	3929,44	543,29

En comparant les teneurs en Pb et en zinc dans les différents sols avec les normes fixés par l'agence française de normalisation en 1985 (ces normes sont 100 mg/kg MS pour le plomb et 300 mg/ Kg MS pour le zinc, on trouve que le sol témoin se caractérise par une forte teneur en fer (19372 mg /kg MS) et faibles teneurs en Pb (21,96 mg/kg MS) et en zinc (56,08 mg/kg MS).

Quant au sol (1), les analyses en métaux lourds montrent une concentration importante en Pb (2651,84 mg/kg MS) et en fer (16205 mg/kg MS) et un faible teneur en zinc (18,7 mg /kg MS).

Le sol (2) enregistre les teneurs les plus élevées en Zn (2398,43 mg/kg MS) et en fer (215683 mg/kg MS), et une teneur importante en Pb (2663,51 mg/kg MS). Ce résultat peut être expliqué par la richesse de sol en fer. En effet Sivren (2006) a affirmé qu'un sol riche en fer présente un pouvoir important à stocker les métaux lourds.

Le sol (3) se caractérise par des teneurs élevées en fer et en zinc, sont respectivement 48813 mg/kg MS et 543,29 mg /Kg MS. Ce sol enregistre la teneur la plus élevée en Pb (3929,44 mg /kg MS)

En résumé, les sols (1,2 et 3) présentent des concentrations élevées en Pb et en Zn par comparaison avec les normes mondiales des sols non contaminés (35 mg/kg MS de Pb; 90 mg /kg MS de Zn (Saidi, 2011)). Ces concentrations élevées sont dues à la minéralisation naturelle et aux activités minières anciennes.

3.1.2. Index de pollution des métaux lourds dans les sols

Le concept d'un index de pollution a été introduit pour identifier une contamination multiéléments aboutissant à une augmentation de la toxicité des sols par l'assemblage de plusieurs métaux (Chon et al., 1998). Selon Chon et al. (1998), l'index de pollution du sol est calculé par le rapport des concentrations des métaux dans le sol par rapport aux normes suggérées par Kloke (1979) et qui correspondent aux niveaux tolérables dans le sol:

$$\text{Index de Pollution (IP)} = (\text{Pb}/100 + \text{Zn}/300) / 2$$

Donc on peut considérer qu'un sol est contaminé s'il possède un IP > 1. Dans notre cas, à l'exception du sol témoin, tous les sols présentent un index de pollution supérieur à 1. Ils sont ainsi considérés

comme contaminés. Aussi Jung (2001) a trouvé l'IP > 1 dans les sols d'une région minière en Corée, ils sont contaminés par plusieurs éléments et sont recommandés pour qu'ils soient traités.

3.1.2. Index de pollution des métaux lourds dans les sols

Le concept d'un index de pollution a été introduit pour identifier une contamination multiéléments aboutissant à une augmentation de la toxicité des sols par l'assemblage de plusieurs métaux (Chon et al., 1998). Selon Chon et al. (1998), l'index de pollution du sol est calculé par le rapport des concentrations des métaux dans le sol par rapport aux normes suggérées par Kloke (1979) et qui correspondent aux niveaux tolérables dans le sol:

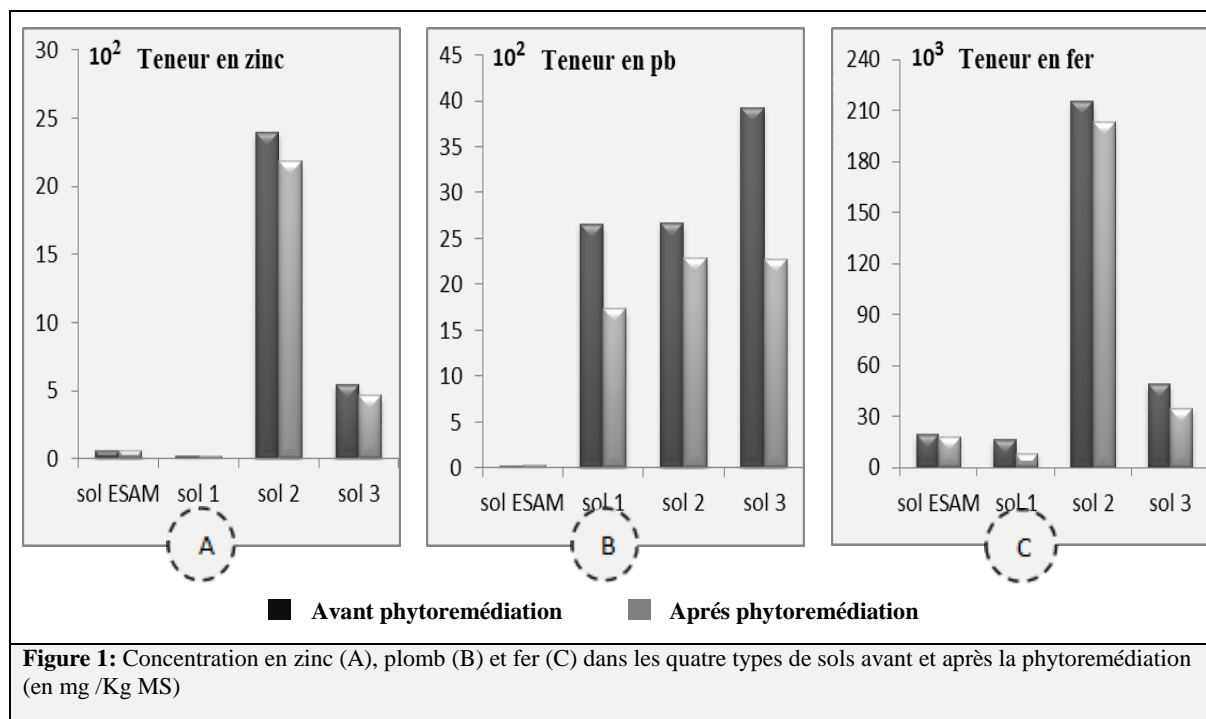
$$\text{Index de Pollution (IP)} = (\text{Pb}/100 + \text{Zn}/300) / 2$$

Donc on peut considérer qu'un sol est contaminé s'il possède un IP > 1. Dans notre cas, à l'exception du sol témoin, tous les sols présentent un index de pollution supérieur à 1. Ils sont ainsi considérés comme contaminés. Aussi Jung (2001) a trouvé l'IP > 1 dans les sols d'une région minière en Corée, ils sont contaminés par plusieurs éléments et sont recommandés pour qu'ils soient traités.

3.2. Etat des sols après l'essai de la phytoremédiation

3.2.1. Sol cultivé en vétiver

Les teneurs en métaux lourds dans les différents sols de vétiver sont illustrés dans la figure 1.



On constate généralement une diminution de la concentration en zinc dans le sol rhizosphérique par rapport au sol initial avant culture. Cette diminution est expliquée par le prélèvement du zinc par la plante. Ceci est bien visible dans le sol (3) qui diminue de 13.83 % et dans le sol (2) qui enregistre une diminution de 9 %.

Après culture, la concentration de plomb a diminué dans les trois sols (1, 2 et 3) de 42,1% pour sol (3) ; 34,5% pour le sol (1) et 14,2 % pour le sol (2).

La diminution de fer dans les différents substrats varie entre 49 % pour le sol (1) et 5,77 % pour le sol (2). Alors que cette diminution est de l'ordre de 29 % et 6,2 % respectivement pour le sol (3) et le sol témoin.

3.2.2. Sol cultivé en colza

Les teneurs en métaux lourds dans les différents sols de colza sont illustrés dans la figure 2.

En comparant le sol rhizosphérique de plante du colza avec les sols avant culture, on remarque une diminution générale de concentration de métaux et surtout dans le sol (2) et (3).

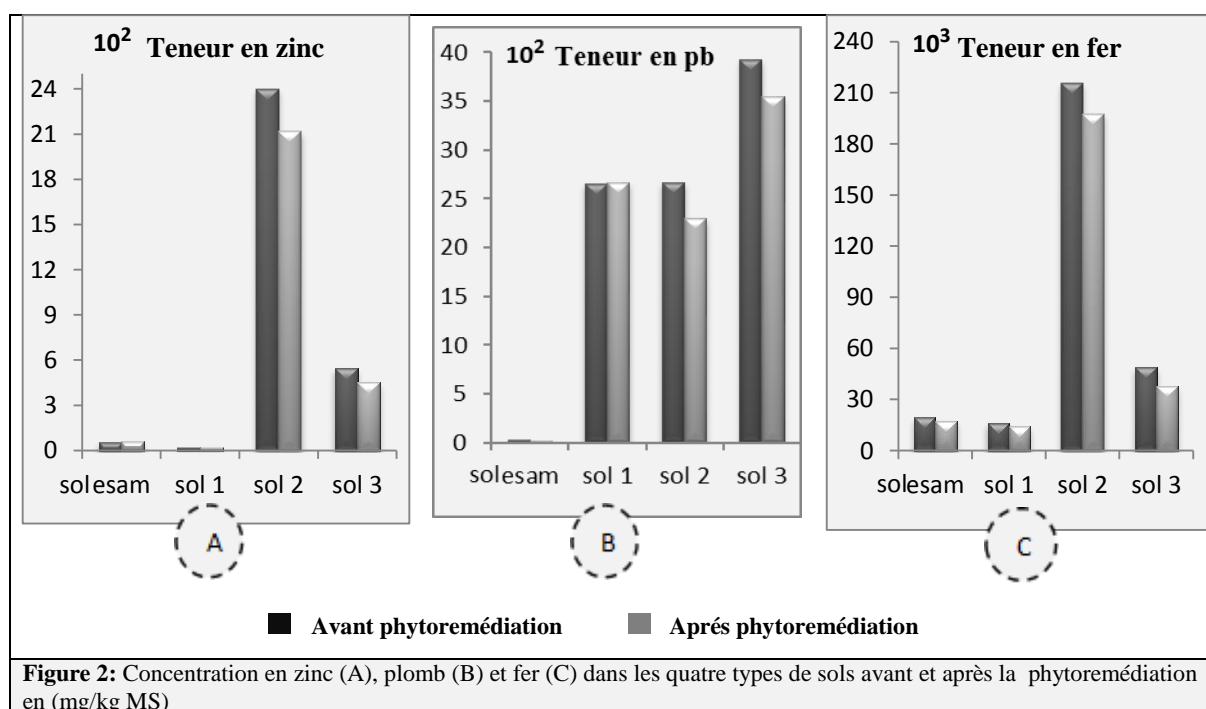


Figure 2: Concentration en zinc (A), plomb (B) et fer (C) dans les quatre types de sols avant et après la phytoremédiation en (mg/kg MS)

La diminution la plus importante de concentration de Zn (16,74%) et de fer (22,41%) est marquée dans le sol (3) alors qu'elle est de 11,7% et 8,47% respectivement pour le sol (2). Le sol (2) enregistre la diminution la plus importante de la teneur en Pb, elle est d'environ 13,8%.

Au contraire pour le sol 1 on remarque une légère augmentation de concentration de Pb et de Zn après culture. Cette augmentation pourrait être expliquée par une immobilisation de ces métaux au niveau du sol. Ce résultat a été également trouvé chez une espèce de Poaceae, est expliqué selon St-Cyr et Crowder (1990) par une immobilisation des métaux par co-précipitation au niveau de la rhizosphère.

3.3. Suivi de l'état des plantes au cours de la phytoremédiation

3.3.1. Croissance de la partie aérienne

Le vétiver et le colza s'établissent avec succès sur les quatre types de substrats. Aucun symptôme visible de toxicité n'a été observé malgré les fortes teneurs en fer (215683 mg /kg MS), en Pb (3929,44mg /kg MS) et en Zn (2398,43mg /kg MS). De tels résultats sont concordants avec les travaux de Chen et al. (2000) qui confirment la tolérance du vétiver aux Pb, Zn et Cu.

Le sol 3 montre une faible croissance des plantes du colza. Cela peut être expliqué par la sensibilité du colza au plomb (puisque la teneur en plomb la plus élevée est enregistrée dans le sol (3))

3.3.2. Concentration en chlorophylle

3.3.2.1. Concentration en chlorophylle pour le vétiver

La teneur en chlorophylle dans les plantes cultivées dans les sols (2) et (3) est supérieure au témoin. Cette différence peut être expliquée par la richesse de ces deux sols (2 et 3) en fer qui améliore la chlorophylle de la plante. En effet Jean (2013) a montré que le fer est un catalyseur pour la production de chlorophylle.

3.3.2.2. Concentration en chlorophylle pour le colza

On note une augmentation de teneur en chlorophylle pour toutes les plantes quelque soit le type de sol, vers le 33ème jour après transplantation une diminution générale est observée. Cette diminution peut être expliquée par l'effet des métaux lourds sur les plantes, qui provoquent la diminution de la

concentration en chlorophylle. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Aoun (2009) qui explique la diminution de la chlorophylle chez la moutarde indienne par le fait que les éléments traces métalliques ont pour effet de dégrader la membrane des thylakoïdes.

3.3.3. Concentrations en métaux lourds dans les plantes

3.3.3.1. Concentrations en métaux lourds pour le vétiver

Les analyses des métaux dans les parties aériennes de vétiver sont résumées dans la figure 3.

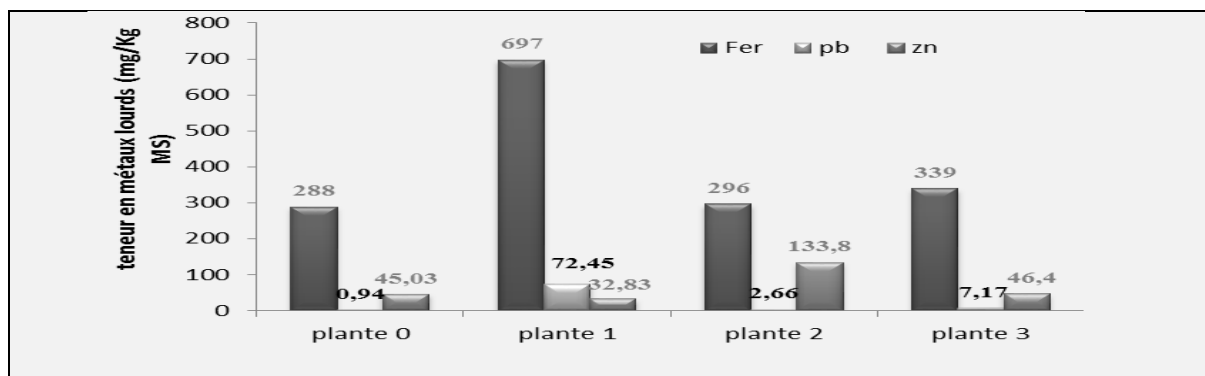


Figure 3: Concentration des métaux dans les parties aériennes de vétiver

Plante 0: cultivée dans le sol témoin, Plante 1: cultivée dans le sol 1, Plante 2: cultivée dans le sol 2 et Plante 3: cultivée dans le sol 3

On remarque que les teneurs d'accumulation les plus élevées en fer (4,1%) et en Pb (2,6%) sont enregistrées sur la plante (1) ceci explique leur faible croissance par rapport aux autres et prouve que l'accumulation de la forte teneur en métaux affecte la croissance. La plante (3) accumule une teneur élevée en Zn (8,5%); en fer (0,7%) et en Pb (0,18%). Aussi la plante (2) accumule une teneur importante en Zn (5,5%) alors que l'accumulation de fer et de Pb ne dépasse pas respectivement le 0,13% et le 0,1%. La forte extraction du zinc n'influe pas sur la croissance de deux plantes (la meilleure croissance de vétiver est enregistrée sur le sol (3) puis sol (2)). Ces résultats sont expliqués par la tolérance de vétiver à ce métal plus que le fer et le Pb. Ce résultat est similaire aux travaux de Truong (1999) qui a trouvé que le vétiver est extrêmement tolérante en zinc par 40% et il est modéré d'accumulation de Cu, Pb et Ni qui ont été transférés de 16% à 33%. En comparant les valeurs obtenues avec les concentrations critiques au-dessus desquelles les effets de toxicité sont possibles (entre 30-300 mg/kg pour le Pb et entre 100-400 mg/kg pour le Zn (Kabata-Pendias et Pendias, 1992)), on constate que seulement le zinc dans le sol (2) (133,8 mg/kg MS) se trouve dans cette gamme critique

3.3.3.2. Concentrations en métaux lourds pour le colza

Les analyses des métaux dans les parties aériennes de colza sont représentées dans la figure 4.

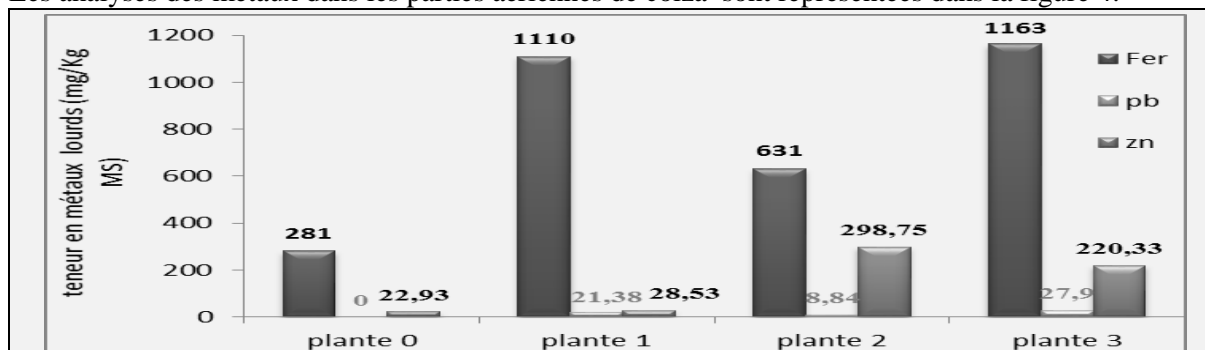


Figure 4 : Concentration des métaux lourds dans les parties aériennes de colza (mg/kg MS)

Plante 0: cultivée dans le sol témoin, Plante 1: cultivée dans le sol 1, Plante 2: cultivée dans le sol 2 et Plante 3: cultivée dans le sol 3

La plante (3), montre une proportion élevée de zinc de 40% qui a été transférée vers la partie aérienne et des proportions modérées en fer (2,4%) et en Pb (0,7%).

Concernant le sol (2), la plante absorbe 12,45% de Zn, 0,33% de Pb et 0,3% de fer. Par contre le sol (1) et le sol ESAM enregistrent seulement une accumulation de fer par des proportions respectives 6,84% et 1,45%. Donc l'ordre d'accumulation de ces trois métaux dans la partie aérienne de colza est Zn>Fe>Pb. Ce qui est confondu avec les travaux de Ruilian et *al.*, (2012) qui montrent l'ordre d'accumulation de métaux lourds dans les pousses de colza est : Zn>Cu>Hg>Ni>Pb.

On comparant les teneurs en Zn, Fer et Pb (en mg/kg MS) dans les deux plantes (vétiver et colza), on trouve que la concentration de fer accumulé dans la partie aérienne de colza est supérieure à la teneur extraite par le vétiver.

Dans les plantes (2) et (3) l'accumulation en Zn, Pb et Fe est plus importante chez le colza que le vétiver. Alors qu'une légère supériorité d'extraction de ces métaux est enregistré chez plante (0) et (1) du vétiver.

3.4. La mesure de la capacité d'hyperaccumulation

Seny et *al.*, (2009) indiquent qu'une plante est dite hyperaccumulatrice à partir d'une concentration dépendant du métal (plus de 1 000 mg/g de MS dans les feuilles pour le nickel et le Pb, plus de 10 000 mg/g pour le zinc). Pour évaluer l'hyperaccumulation, on utilise le coefficient de transfert défini par:

$$\frac{\text{Concentration du métal contenu dans les tissus aériens de la plante}}{\text{Concentration du métal contenue dans le sol}}$$

La mesure de la capacité d'hyperaccumulation illustrée dans le tableau 2 montre que le vétiver et le colza ne sont pas des plantes hyperaccumulatrices pour le Zn et le Pb. Ce qui est confirmé avec les résultats de Marichiol et *al.*, (2004) et Ruilian et *al.*, (2012) qui montrent que le colza est une plante modérément tolérante aux métaux lourds. Ainsi Saidi, (2011) montre que la translocation des métaux vers les parties aériennes de vétiver est limitée.

Tableau 2: capacité d'hyperaccumulation de vétiver et de colza

Plante		Pb	Zn
Vétiver	P0	0.04	0.8
	P1	0.03	1.75
	P2	0.001	0.55
	P3	0.002	0.1
Colza	P0	0	0.4
	P1	0.008	1.5
	P2	0.003	0.12
	P3	0.007	0.4

Les résultats obtenus peuvent être expliqués par la période limitée de notre expérience. Ainsi Colombano (2010) indique que les délais de la phytoremédiation peuvent être de l'ordre de plusieurs années parfois (2 à 20 ans).

4. Conclusion

La phytoremédiation semble constituer une nouvelle stratégie efficace pour le traitement des sols contaminés. Le choix du colza et du vétiver comme des plantes hyperaccumulatrices de métaux lourds était intéressant à tester. Donc, ce travail représente une première tentative pour comprendre le comportement de colza et de vétiver vis-à-vis des métaux toxiques. Les résultats ont montré un pouvoir d'accumulation des métaux chez les deux types de plantes. Mais malgré leur potentialités d'accumulation, ces plantes ne sont pas considérées comme des plantes hyperaccumulatrices vu que leur capacité d'hyperaccumulation est inférieure aux normes suggérées (1 mg/Kg MS pour le plomb et 10 mg/kg pour le zinc). Cependant, ces espèces pourraient éventuellement être utilisées avec succès dans le sol moins pollué.

La phytoremédiation demeure une solution pour l'avenir mais elle nécessite beaucoup de recherches poussées concernant les mécanismes utilisés par les plantes pour accumuler les métaux lourds. La connaissance de ces mécanismes permettra de bien sélectionner des plantes tolérantes et augmenter leur capacité d'accumulation.

5. Références:

- AOUN M., (2009)**; Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne [*Brassica juncea* (L.) Czern] néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines. Thèse de Doctorat présentée à l'Université de Bretagne occidentale. 135 p.
- CHEN H.M., ZHENG C.R., TU C. et SHEN Z.G., (2000)**; Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals. *Chemosphere*. pp 229-234.
- CHON H.T., AHN J.S. et JUNG M.C., (1998)**; Seasonal variations and chemical forms of heavy metals in soils and dusts from the satellite cities of Seoul, Korea. *Environ. Geochem. Health*, pp 77-86.
- COLOMBANO S., SAADA A., GUERIN V., BATAILLARD P., BELLENFANT G., BERANGER S., HUBE D., BLANC C., ZORNIG C., ET GIRARDEAU I., (Juin 2010)**; Quelles techniques pour quels traitements - Analyse coûts-bénéfices ; BRGM/RP - 58609 – FR. 399 p.
- Flehetna, (2012)**; le colza « *brassica napus* L. » <http://www.flehetna.com/fr/fiches-techniques-et-conseil/grandes-cultures/630-le-colza-l-brassica-napus-l-r-.html>
- GUETTAA I., (2010)**; Etude du comportement de trois variétés de colza (*brassica napus*) dans les conditions du Haut Cheliff. pp 6.
- JEAN J., (2013)** ; carence et excès de vos plantes
- JUNG M.C., (2001)**; Heavy metal contamination of soils and waters in and around the Imcheon Au-Ag mine, Korea. *Applied Geochemistry*, 16: 1369-1375
- KABATA-PENDIAS A. et PENDIAS H.,(1992)** ; Trace elements in soils and plants. CRC press, Boca Raton, Florida.277 p.
- MARICHIOL L., ASSOLARI S., SACCO P., et ZERBI G., (2004)**; Phytoextraction of Heavy Metals by Canola (*Brassica napus*) and Radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil. *Environmental Pollution*. 132 P
- RCW: Roroli Creative Works, (2002)**; fiche technique: Le vétiver : history of a plant
- RUILIAN Y., JI J., XUYIN Y., YINXIAN C. et CHENG W., (2012)**; *Plant and Soil*. P 353
- SAIDI N., 2011: essais de phytoremédiation par vétiver Grass (vétiver zizanioides).pp 9.
- SENY D.P., M'BACKE SENE F. et Djibril Y., (2009)** ; La dépollution des métaux lourds par la phytoremédiation
- SIVREN J.B., (2006)** ; Détection de métaux lourds dans les sols par spectroscopie d'émission sur plasma induit par laser (LIBS). *Atomic Physics. Université Sciences et Technologies – Bordeaux I. French*. pp 22-49.
- ST-CYR L. & CROWDER A.A., (1990)**; Manganese and copper in the root plaque of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel. *Soil Science*, 149: 191-198.
- TRUONG P.N., (1999)**; A tool Against Environmental Degradation and Desertification in Iberia. *Vetiver Grass Technologie*. Turner, 1969