ETUDE DU POUVOIR EPURATEUR DE LA PLANTE *Arundo donax* L. POUR LA DEPOLLUTION DES SOLS CONTAMINES PAR LE NICKEL

BEN BOUABDALLAH A.[1], DJELALI N E.[2]

[1] *Laboratoire Technologie Alimentaire, UMBB 35000, Algérie*
[2] *Laboratoire de Traitement et Mise en Forme des Polymères (L.T.M.F.P), UMBB 35000, Algérie*
temmar.amina@yahoo.com

Résumé : La phytoremédiation du Nickel Ni, appliquée durant cinq semaines à l'aide de l'EDTA et les solutions nutritives, a été étudié chez la plante : Arundo donax L. Ce travail étudie le potentiel de cette plante pour la phytoremédiation des sols contaminés par le Nickel. La plante a été cultivée dans des pots contenant un sol contaminé artificiellement avec l'augmentation des traitements de Ni (0, 10, 40, 100 mg / L) associée ou non à l'éthylènediaminetétra acide acétique (EDTA) et la solution nutritive NPK (15 :15 :15). L'accumulation de Nickel dans différentes parties des plantes a été analysée par spectroscope d'absorption atomique SAA. Les résultats obtenus montrent qu'en l'absence d'amendement, le Ni s'accumule dans les tiges et les feuilles. L'addition de NPK au sol réduit de manière significative la concentration de Ni dans les tiges et les feuilles. L'application de l'EDTA améliore l'absorption de Ni dans les racines. Nous avons comparé les modifications entre les plantes témoins et celles contaminées et assistées par la mesure de la langueur et la biomasse de la racine et de la tige. Les résultats font apparaître une variabilité de l'action de Ni selon l'organe, la nature et la concentration du traitement.

Mots clés : Sol contaminé, Nickel, phytoremédiation, Arundo donax L.

دراسة قدرة نبات القصب لتنقية التربة الملوثة بالنيكل

ملخص : : تنقية التربة من النيكل باستخدام النبات، طبق لمدة خمسة أسابيع باستخدام EDTA والمحاليل الغذائية، وقد درست في نباتات القصب في هذا العمل قمنا بدراسة إمكانات النباتات لتنقية التربة الملوثة بالنيكل وقد نمت النباتات في محلول مغذي وفي الأواني التي تحتوي على التربة الملوثة بشكل مصطنع مع زيادة تركيز النيكل 0) ، 10 ، 40 ، 100 ملغ / لتر (مع أو بدون EDTA ومحلول الأسمدة (15 :15 :15) NPK ومحلول Hoagland تم تحليل تراكم المعادن باستعمال SAA وتشير النتائج أن النباتات كانت قادرة على البقاء على قيد الحياة مع ارتفاع تركيز النيكل، وكان النمو أقل تأثرا بتركيزات النيكل في الأنسجة النباتية. في غياب التعديلات، تراكم المعدن في السيقان والأوراق ومع ذلك فإن إضافةNPK أدى إلى خفض كبير في تركيز النيكل في السيقان والأوراق. تطبيق EDTA أدى الى تعزيز امتصاص النيكل في الجذور. في هذه الدراسة، قورنت التغييرات بين مراقبة تراكم المعادن في الجذر والساق، عن طريق قياس الطول والكتلة الحيوية من الساق والجذر. اظهرت النتائج تأثير تقلب النيكل وفقا للنبتة، وطبيعة وتركيز العلاج.

كلمات دالة : تربة ملوثة ، النيكل، تنقية التربة باستخدام النبات، القصب.

1. INTRODUCTION

L'activité industrielle de nos sociétés n'a cessé de croitre et a permis à une partie de l'humanité d'améliorer considérablement ses conditions de vie. Mais, cette exploitation de la nature a eu aussi pour conséquence de dégrader l'environnement au point de devenir une menace pour notre santé.

Une des principales préoccupations environnementales est la pollution des sols et des eaux par les métaux. En effet, les friches industrielles, les exploitations minières, les bases militaires abandonnées sont autant de sites ou le sol est imprégné de divers éléments métalliques (zinc, plomb, cuivre, cadmium, nickel,...). Or, ces métaux, présents en quantité dépassant souvent celles rencontrées naturellement, peuvent s'accumuler dans la chaine alimentaire via la flore et la faune et aboutir à l'homme à des niveaux de concentration toxiques.

Les métaux lourds les plus communs trouvés sur les sites contaminés sont le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le nickel (Ni), le chrome (Cr), l'arsenic (As), le zinc (Zn), le cuivre (Cu) et le mercure (Hg).Leur présence dans le sol peut présenter des risques pour l'homme et l'écosystème et inhiber la biodégradation.

Le Nickel est considéré comme un polluant toxique qui est libéré du traitement de surfaces des métaux, de la combustion du charbon et du pétrole. De plus, certaines boues d'épuration et les engrais peuvent être des sources importantes de Ni dans les sols agricoles. Cela peut provoquer diverses maladies, principalement pour ceux qui vivent près des raffineries [1, 2]. La solution pour pallier à ce problème est de traiter les sols contaminés afin d'en retirer les éléments métalliques ou, au moins, de ramener leur concentration à des niveaux acceptables pour la viabilité de 1'ecosysteme. Une de ces méthodes de traitement, les plus utilisées, consiste en l'utilisation de plantes capables de croitre sur des sols à forte teneur en métaux et susceptibles d'en mobiliser ou absorber une quantité appréciable [3].

Cette technique, appelée phytoremédiation, s'avère être prometteuse car elle est peu couteuse et plus respectueuse de l'environnement [4, 5]. Ces dernières années, une attention croissante est accordée à la recherche de nouvelles plantes à une grande capacité de stockage des métaux lourds [6]. En particulier, les plantes candidates à l'élimination des métaux lourds doivent être résistantes et capables de transporter ces métaux toxiques [7]. Il existe deux stratégies de base pour la phytoremédiation : la première utilise des plantes hyperaccumulatrices, et la seconde est la phytoextraction chimiquement assistée par chélateurs [8].

Ce travail a été réalisé afin d'évaluer le potentiel de phytoremédiation de Ni et d'étudier la répartition du métal dans différentes parties des plantes cultivées en hydroponique et dans un sol, contaminé par le Ni. Cette étude a également examiné l'absorption et la capacité de l'accumulation de Ni et de la translocation dans les parties de la plante à diverses applications : solution nutritive le NPK comme engrais et EDTA comme agent chélateur.

L'application d'agents chélateurs peut être associée à la phytoremédiation afin d'accroître l'absorption de métaux lourds et de réduire le temps nécessaire à la dépollution des sols. Pour répondre à ces objectifs, des expériences ont été menées au laboratoire utilisant une plante possède une biomasse élevée Arundo donax L.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Le sol

Le sol a été prélevé dans une parcelle non cultivée à partir de la couche supérieure de 15 cm. Le sol est séché à l'air libre, broyé puis tamisé à 2 mm. Il est ensuite homogénéisé, 3 kg sont pesés et placés dans chaque pot en plastique.

2.2. Les solutions nutritives

2.2.1. Solution de N.P.K (15 :15 :15)

Des amendements ont été appliqués avec une solution nutritive contenant NPK d'engrais inorganique commercial (15:15:15) à 2 g. L^{-1} [9, 10]. Le NPK (15:15:15) a été obtenu à partir de complexe industriel FERTIAL, Annaba, sur la côte Est de l'Algérie.

2.2.1. La solution de l'EDTA

Bien que nécessaire dans un environnement hydroponique et en sol, l'EDTA a été utilisé dans certaines expériences afin d'examiner ses effets sur la biomasse totale des plantes et la translocation et l'absorption des métaux. L'EDTA a été ajouté à 0,265 g /1 (0,708 mM) pour se rapprocher d'une concentration de 0,1 g/ kg dans des applications de pour évaluer l'impact des chélateurs synthétiques sur l'absorption des métaux et translocation [11].

2.3. *Arundo donax* L.

C'est une graminée à rhizome caractéristique des lieux aquatiques des régions méditerranéennes. Elle a de grandes feuilles effilées, retombantes, glauques, et des panicules terminales d'épillets de couleur vert pâle à violacé. Elle ressemble à un roseau ou à un bambou, notamment avant l'apparition des épillets. Sa hauteur varie de 1 m à 8 m selon les

variétés et les conditions de culture. Avec l'hiver elle prend un aspect desséché. L'inflorescence apparaît de septembre à octobre.

Figure 1. *Arundo donax* L.

2.4. Le Nickel Ni

Le Nickel est utilisé sous la forme de Ni $(NO_3)_2,6H_2O$ nitrate de nickel (II) hexahydraté qui est mise en solution dans de l'eau distillée.

2.5. Cultures en pots

Les cultures ont été réalisées dans des pots en plastique de 4.5 litre, 20.5 cm de diamètre. Avant la mise en pot du sol, le fond des pots est tapissé d'une couche de graviers afin d'assurer le drainage. Chaque pot a été rempli à hauteur de 3 kg de sol. Des fragments de tiges d'Arundo donnax ont été imbibés à l'eau distillée et humidifiés chaque jour et après 30 jours des repousses sont sorties. Sur l'ensemble des boutures, nous avons sélectionné des plantes de même taille : 10 cm de hauteur et ensuite transplantée dans des pots.

Figure 2. Repiquage des plantules dans les pots

2.6. Méthodes d'analyse

2.6.1. Etude des paramètres éco-physiologiques

Durant toute la période de l'expérimentation, une observation visuelle (décoloration, jaunissement, pigmentation, …) et une mesure de croissance de la partie aérienne des plantes (nombre de feuilles, longueur de tige) sont réalisées chaque semaine. Les plantes sont traitées

pendant un mois, à la fin on procède au dosage des paramètres morphologiques, physiologiques.

2.6.2. Paramètres morphologiques

L'étude du matériel végétal a été réalisée par des observations et des mesures biométriques sur les racines, les tiges et les feuilles (Nombre des feuilles, Hauteur de la tige, Longueur de la racine).

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Propriétés physico-chimiques du sol

Les propriétés physico-chimiques du sol sont récapitulées dans le Tableau V.10 et mettent en évidence que le sol est principalement composé de sable et de limon avec une texture sablolimoneuse, un pH de 7.9, un taux de matière organique faible ne dépassant pas 1.42% assez caractéristique des sols du tell algérien.

Tableau 1. Propriétés physico-chimiques du sol

Physico-chimique		**Minéraux %**	
Argile%	2.33	SiO2	75.47
Lime %	18.14	Al2O3	11.63
Sable %	79.53	Fe2O3	4.92
pH	7.92	K2O	2.12
Matière Organique (%)	1.42	CaO	1.2
Conductivité ($mScm^{-1}$)	68.7	MgO	0.64
Texture	limon Sableux		

3.2. Evaluation de l'absorption et de l'accumulation de Ni chez Arundo donax L. cultivée en sol amendé par l'EDTA et la solution nutritive de NPK

Les Figures 3, 4 et 5 présentent la teneur en Ni dans les différentes parties de Arundo donax L. après une application de l'EDTA et du NPK.

Les résultats de l'accumulation de Ni dans les différentes parties des plantes cultivées en sol contaminé sans amendement sont présentés dans la figure 3.

La concentration maximale de Ni dans les racines était de 25, 34 mg / kg MS à 100 mg /L de Ni fournie. Pour les feuilles, l'accumulation de Ni était beaucoup plus élevée que dans la racine et la tige et le maximum de Ni absorbé était dans les feuilles et la tige à 40 mg / L (70.23 mg //kg MS). Cependant, la concentration de Ni dans la racine était le minimum à 40 mg / L (19,5 mg / kg MS). Pour les traitements de 10 à 100 mg /L, le contenu en Nikel dans les feuilles se situe dans la plage de 38,89 à 70,23 mg / kg MS.

La plante Arundo donax L. accumule le Nickel dans divers organes par le schéma suivant : feuille> tige> racine pour les différents traitements [12].

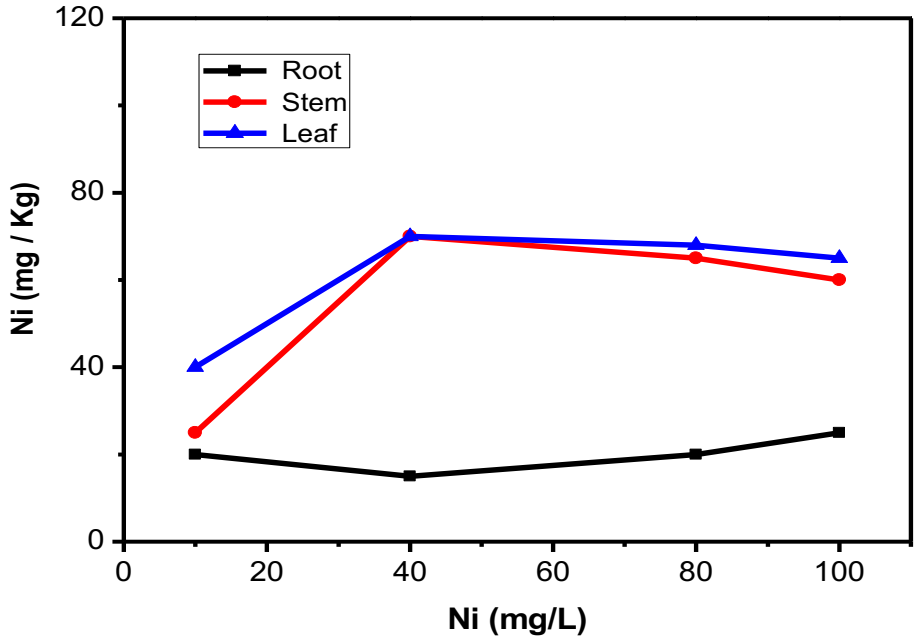

Figure 3. Nickel concentrations (mg /kg d.w.) in different parts of Arundo donax L. plants grown in the Ni

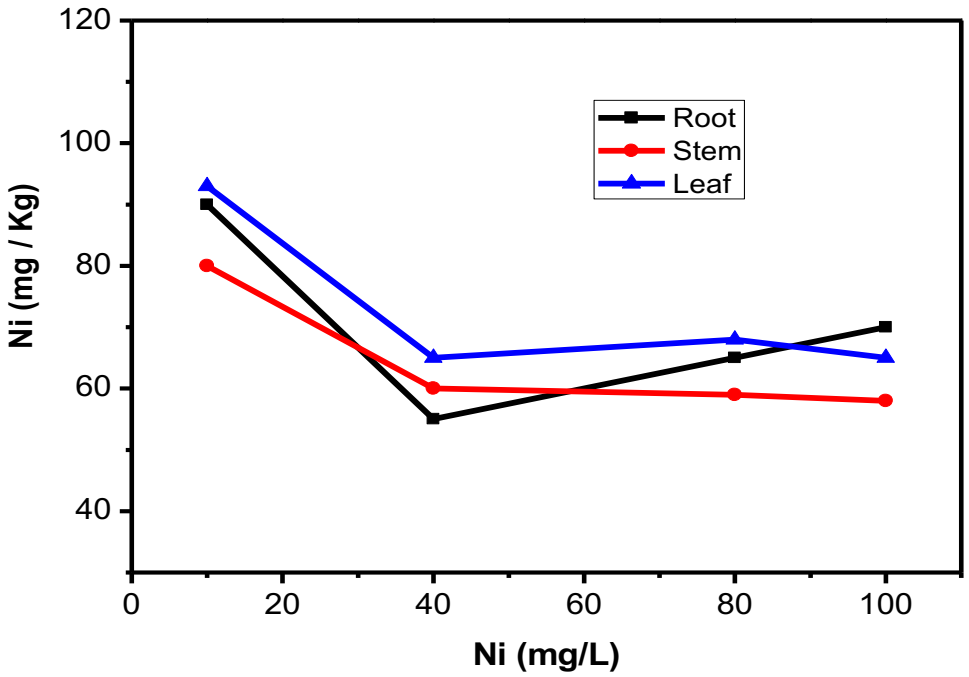

Figure 4. Nickel concentrations (mg /kg d.w.) in different parts of Arundo donax L. plants grown in the Ni+NPK

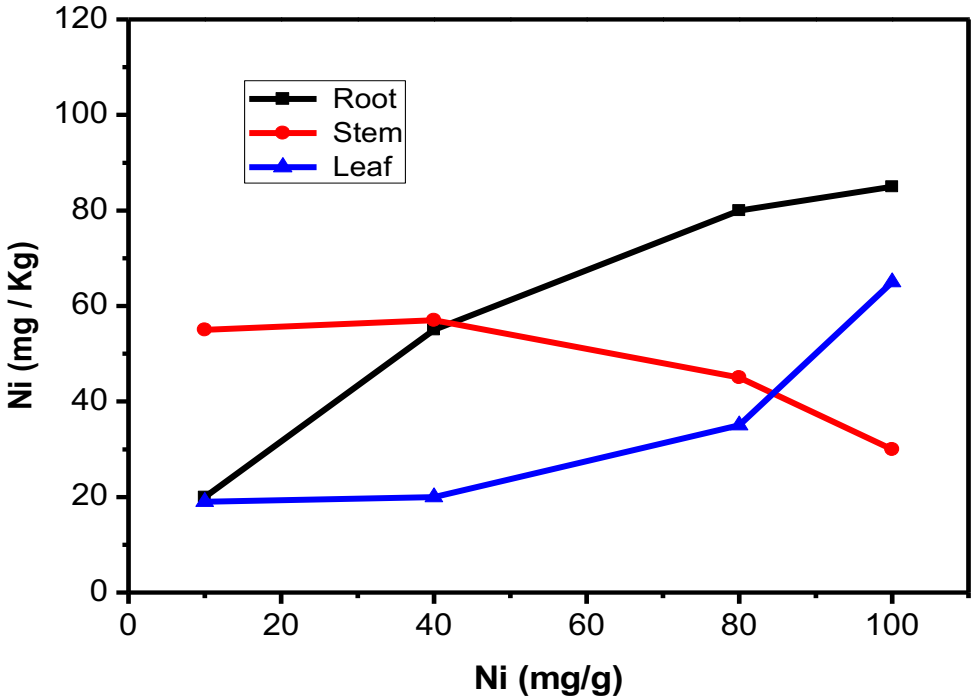

Figure 5. Nickel concentrations (mg /kg d.w.) in different parts of Arundo donax L. plants grown in the Ni^{+}EDTA

3.3. Effet de l'engrais NPK sur l'accumulation de Ni

Les résultats de la concentration de Ni dans les parties de plantes cultivées dans le sol contaminé par Ni et amendé avec l'engrais NPK ont été présentés dans la figure 4.

Pour le Ni (100 mg /L), la concentration maximale de Ni était dans les racines (90 mg /kg MS). Dans la tige, la teneur en Ni a diminué en augmentant la concentration de Ni dans le sol. La maximum absorption dans les feuilles s'est produite à 10 mg /L de traitement qui était (91,81mg /kg MS). Les teneurs de Ni dans les feuilles sont respectivement de 68,54 et 67 mg /kg, aux traitements (40 à 100 mg /L) respectivement. Contrairement au traitement au Ni sans modification, le schéma d'accumulation de Ni dans divers organes végétaux était la suivante : racine> tige> feuilles [13].

3.4. L'effet de l'EDTA sur l'accumulation de Ni

Les résultats de la concentration de Ni dans les différentes parties des plantes cultivées en présence de l'EDTA est présentée dans la Figure 5.

L'accumulation de Ni dans les racines était beaucoup plus élevées que dans la tige et les feuilles. La concentration maximale de Ni dans les racines était de 89,36 mg / kg MS pour une teneur en Ni de 100 mg / L. Dans la tige, l'accumulation maximale de Ni s'est produite à 40 mg / L, ce qui était de 59,21 mg / kg MS. La concentration de Ni dans la tige à 10 mg / L est de 58 mg / kg MS.

L'absorption maximale dans les feuilles s'est produite à 100 mg / L de traitement, qui était de 69 mg / kg MS. La concentration de Ni dans la racine augmente avec l'augmentation du Ni dans le sol. Par contre à la tige, l'absorption de Ni a diminué lorsque Ni augmente dans le sol.

Nos résultats montrent une corrélation directe entre la concentration totale de Ni dans

la plante pour toutes les solutions d'irrigation avec EDTA. Le modèle d'accumulation de Ni dans divers organes de la plante est le suivant : racine> tige> Feuilles [14, 15]

4. CONCLUSION

Nous avons ensuite déterminé le potentiel de la phytoremédiation de l'Arundo donax L. et étudier la répartition du Ni dans différents organes de la plante. En outre, nous avons examiné la croissance et l'effet de divers additifs : NPK comme un engrais et EDTA comme un chélateur sur l'absorption et la capacité d'accumulation. La présente étude révèle que l'Arundo donax L. cultivée dans des sols contaminés a une capacité élevée d'absorption du Ni au-delà de la limite de phytotoxicité. En outre, Arundo donax L. produit des rendements élevés en biomasse qui tendent à absorber et à transférer le Ni de leur racine aux feuilles et aux tissus de la tige. La plante Arundo donax L. peut être considérée comme accumulatrice et utile pour la phytorextraction, et à la phytostabilisation dans le cas de la phytoremédiation assistée par un chélateur. Cette plante n'est pas destinée à la consommation humaine ou animale. Ainsi, Arundo donax L. peut être utilisée pour la décoration grâce à son effet visuel esthétique et pour le traitement de vastes sols et des grandes surfaces des eaux contaminés.

REFERENCES

[1] Ben Ammar W., Nouairi I., Zorrouk M., Jemal F., 2007.- Cadmium stress induces changes in the lipid composition and biosynthesis in tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) leaves. Plant Growth Regulation, 53: 75-85.

[2] Pardha saradhi P., Sharmila P., 1999.- Concerted action of antioxidant enzyme and curtailed growth under zinc toxicity in Brassica juncea. Environmental and Experimental Botany, 42: 1-10.

[3] Suthan S., 2001.- Natural and enhanced remediation systems. Ed. Arcadis Geraghty& Miller science and engineering, 240 p.

[4] Bonanno G., 2012.- Arundo donax as a potential biomonitor of trace element contamination in water and sediment. Ecotoxicology and Environmental Safety, 80: 20-27.

[5] Marques Ana P.G.C., Moreira H., Rangel António O.S.S., Castro Paula M.L., 2009b.- Arsenic, lead and Nickel accumulation in rubusulmifolius growing in contaminated soil in Portugal. Journal of Hazardous Materials, 165: 174-179.

[6] Mulligan C. N., Yong R. N., Gibbs B. F., 2001.- Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. Engineering Geology, 60.,1:193-207.

[7] Macek T., Pavlikova D., Mackova M., 2004.- Phytoremediation of metals and inorganic pollutants. In: singh A, and ward O P, eds. soil biology. Applied Bioremediation and Phytoremediation, 1: 135-157.

[8] Wu L. H., Luo Y. M., song J., 2007.- Manipulating soil metal availability using EDTA and low-molecular-weight organic acids,In :Willey N., eds, methods in biotechnology. Phytoremediation: Methods and Reviews, Humana Press Inc, 23: 291- 299.

[9] Carbonell G., Miralles de Imperial R., Torrijos M., Delgado M., Rodriguez J. A., 2011.- Effects of municipal solid waste compost and mineral fertilizer amendments on soil properties and heavy metals distribution in maize plants (ZeamaysL.). Chemosphere, 85: 1614-1623.

[10] Al-Menaie H. S., Al-Ragom O., Al-Shatti A., Mathew M., and Suresh N., 2012.- Effect of fertilizer concentration on the growth performance of cassia nodosaBuch.-Ham. exRoxb and cassia fistula L. Seedlings under greenhouse conditions of Kuwait. International Research Journal of Plant Sciences, 3.,2: 19-22.

[11] January M. C., Cutright, T. J., Van Keulen H., Wei R., 2008.- Hydroponic phytoremediation of Cd, Cr, Ni, As, and Fe: Can Helianthus annuus hyperaccumulate multiple heavymetals. Chemosphere, 70: 531-537.

[12] Mirza N., Mahmood Q., Pervez A., Ahmad R., Farooq R., Shah M. M., Azim, M. R., 2010a.- Phytoremediation potential of Arundo donax in arsenic-contaminated synthetic wastewater. Bioresource Technology, 101: 5815-5819.
[13] Mirza N., Pervez A., Mahmood Q., Shah M. M., Shafqat M. N., 2011.- Ecological restoration of arsenic contaminated soil by Arundo donax L. Ecological engineering, 37: 1949-1956.
[14] Mirza N., Pervez A., Mahmood Q., Farooq R., Shah M. M., 2014.- Effect of EDTA on arsenic phytoextraction by Arundo donax. A scientific journal of comsats–science vision, 20 ., 2: 39-48.
[15] Marques Ana P.G.C., Rangel Ant Onio O. S. S., Castro Paula M. L., 2009.- Remediation of heavy metal contaminated soils: phytoremediation as a potentially promising Clean-Up. Environmental Science & Technology, 39: 622-654.