

## LA PHYTOREMÉDIATION : AVANTAGES ET LIMITES D'APPLICATIONS

Smain Megateli<sup>a</sup>, Naziha  
Brahim<sup>b</sup>, Michel Couderchef.

<sup>a</sup> Laboratoire de Génie  
Chimique, département de  
Génie des Procédés,  
Université de Blida 1, BP  
270, Route de Soumaa,  
Blida, 09000, Algérie.

<sup>b</sup> département de Biologie,  
Université de Blida 1, BP  
270, Route de Soumaa,  
Blida, 09000, Algérie.

<sup>c</sup> Laboratoire des Plantes,  
Pesticides et Développement  
Durable, URVVC-SE. UFR  
Sciences. Université de  
Reims Champagne-Ardenne,  
BP 1039, 51687 Reims.  
France.  
megatlistmail@yahoo.fr

### Résumé

*Le suivi de la concentration des métaux lourds dans les milieux de culture montre que la lentille d'eau *L. gibba* est capable d'accumuler ces polluants. Ainsi, l'élimination du cuivre et du zinc peut être réalisée en 2 phases et est rapide durant les 2 premiers jours d'expérimentation (supérieur à 60%). La rétention du cadmium est linéaire et dépend de la concentration initiale. Des taux d'élimination de 90% ont été enregistrés après 6 et 8 jours de culture en présence de  $10^1$  et  $10^3$  mg L<sup>-1</sup> de cadmium. La présence simultanée des métaux lourds et d'autres produits tels que les pesticides dans le milieu représente un accroissement du risque écotoxicologique potentiel par rapport à une contamination unique. L'effet de la coexistence, du cuivre et du diméthomorphe, 02 fongicides largement utilisés en viticulture pour le contrôle des maladies fongiques, leur élimination par la lentille d'eau *L. minor* a été examiné. L'élimination du cuivre par la lentille d'eau dépend de la concentration en DMM<sup>f</sup>. Par exemple, en présence de 250 µg L<sup>-1</sup> de DMM<sup>f</sup>, la rétention du cuivre passe de 36 à 41%. L'élimination du diméthomorphe varie entre 10 et 40 % après 96h. Cette dépuratation diminue en présence du cuivre et semble être due à la toxicité du métal.*

**Mots clés:** Métaux lourds, pollution, toxicité, lentille d'eau, phytoremédiation

### INTRODUCTION

La phytoremédiation est définie comme l'utilisation de plantes pour la réduction et/ou l'élimination des polluants dans les sols et les eaux, plus particulièrement les métaux lourds. Actuellement, plus de 800 espèces végétales susceptibles d'être actives par rapport à différents composés chimiques ont été référencées et reportées dans deux bases de données canadiennes (Phytorem<sup>®</sup> et Phytopet<sup>®</sup>) [1]. La phytoremédiation s'effectue de façon naturelle par les plantes survivant dans l'eau (rhizofiltration, phytostabilisation ou phytofiltration) et les sols contaminés (phyto-

extraction, phytodégradation, phyto-volatilisation, rhizodég-radiation) [2-4]. Les eaux polluées, qui peuvent être traitées par phytoremédiation, comprennent, les eaux usées et les eaux usées municipales (nutriments, métaux), les eaux de ruissellement agricoles/eaux de drainage (engrais, nutriments, métaux, arsenic, sélénium, bore, pesticides organiques), les eaux usées industrielles (métaux, sélénium), des lixiviats de décharge, les eaux de drainage (métaux), les eaux souterraines (organiques, métaux) [5-8].

Certaines limitations des méthodes physico-chimiques traditionnelles (différences d'efficacité entre métaux, coût élevé pour les grands volumes à faible concentration en métal), les faibles coûts associés à la technologie de phytoremédiation ainsi que la possibilité de recyclage des résidus riches en métaux expliquent l'intérêt grandissant pour son développement [9, 10-12]. Le succès de la phytoremédiation dépend en grande partie de la plante (taux de croissance et capacité d'accumulation des concentrations élevées en métaux [13]. En effet, plusieurs travaux de recherches sur l'accumulation des métaux lourds et les possibilités d'utilisations des plantes aquatiques, telles que les lentilles d'eau « *L. minor* ; *L. gibba* et *L. polyhriza* » ; *Microspora* et *Pistia stratiotes* , comme nouvelle approche d'élimination de ces polluants des eaux ont été réalisés [2,14-19]. La lentille d'eau *L. minor* a manifesté une bonne capacité d'accumulation de certains métaux dans certaines conditions. Un taux d'élimination de 75 à 90% du plomb après trois semaines de culture de cette lentille dans une eau contenant 5 mg L<sup>-1</sup> de ce métal a été rapporté [15].

Récemment, un taux d'élimination de 30% de cuivre par *L. minor* a été enregistré par Olette et al., [20]. Cette propriété accumulatrice des métaux lourds est derrière les propositions de la lentille d'eau *L. minor* pour la phytoremédiation des eaux contaminées par de faibles concentrations en métaux lourds comme le cuivre et le cadmium [21]. Des travaux de recherche, sur la toxicité de l'arsenic vis-à-vis de *L. gibba*, ont mis en évidence des taux

de bioaccumulation d'arsenic élevé correspondant à une réduction moyenne de sa concentration de 40% [22]. Par ailleurs, cette espèce a présenté une forte tolérance à l'arsenic dans de la gamme comprise entre 10 et 500 µg L<sup>-1</sup>. Selon Robinson et al., [23], les plantes tolérant des concentrations élevées d'éléments toxiques accumulent significativement les éléments non essentiels. L'évaluation comparée de la tolérance et de l'accumulation du cuivre et du chrome, par deux espèces de lentilles d'eau *L. minor* et *L. gibba*, par, a montré que chez *L. gibba* une tolérance nettement supérieure aux effets toxiques des deux métaux expérimentés [24]. Le chrome est moins toxique que le cuivre et s'accumule à des taux supérieurs à ceux du cuivre dans les tissus des plantes. Pour les deux métaux, l'accumulation est plus importante chez *L. minor*. Cependant, *L. gibba* a été plus indiquée pour des applications en phytoremédiation que *L. minor*, vu sa tolérance et sa productivité en biomasse. Les potentialités de ces deux espèces pour des applications de ce type se justifient par des taux d'accumulation élevés, spécialement pour le chrome où ils dépassent largement les 1000 µg g<sup>-1</sup> de poids sec. En effet, les concentrations des plantes en chrome obtenues dans ce travail atteignent 2140 µg g<sup>-1</sup> chez *L. minor* et 1710 µg g<sup>-1</sup> chez *L. gibba*. Ces performances montrent un potentiel fort intéressant en comparaison à d'autres macrophytes comme la jacinthe d'eau par exemple [25]. L'objectif de ce travail est la présentation de quelques résultats de la phytoremédiation, par la

lentille d'eau « *L. gibba* et *L. minor* », du cadmium, cuivre, et zinc et d'un fongicide le diméthomorphe. Les avantages et limites de la phytoremédiation comme une technique de dépollution seront présentées.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Matériel végétal

La lentille *L. gibba* a été prélevée des cultures mères et sélectionnée sur la base des critères suivants : absence de nécroses, de chlorose et de contamination algale, la colonie doit être composée de deux frondes adultes de tailles identiques. Le milieu de culture utilisé est celui de Haogland légèrement modifié [26].

### 2.2. Conditions de culture

Des groupes de cinq individus, soit dix frondes, sont cultivés dans des Erlenmeyers en verre de 250 ml de capacité contenant 100 ml de milieu de culture stérile (pH = 6,5 ± 0,1). Les Erlenmeyers, fermés par un film plastique légèrement perforé, sont répartis en plusieurs lots et placés dans une chambre thermostatée (à 22 ± 2 °C) avec une photopériode de 16 heures de lumière (4000 Lux) et 8 heures d'obscurité.

### 2.3. Métaux lourds

Trois solutions mères ont été utilisées pour préparer les milieux de culture contaminés :

- Une solution mère de cuivre à 10 mg L<sup>-1</sup>, obtenue par dissolution du sulfate de cuivre CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O (Panreac Quimica, pureté supérieure à 98%), est utilisée pour préparer des milieux de cultures à différentes concentrations en cuivre : 10<sup>-4</sup>; 10<sup>-3</sup>; 10<sup>-2</sup>; 10<sup>-1</sup> et 4 mg L<sup>-1</sup>.

· Une solution mère de cadmium à 10 mg L<sup>-1</sup>, obtenue à partir du chlorure de cadmium CdCl<sub>2</sub> (Panreac Quimica, pureté supérieure à 98%), est utilisée pour préparer des milieux de cultures contaminés par différentes concentrations en cadmium: 10<sup>-3</sup>; 10<sup>-2</sup> et 10<sup>-1</sup> mg L<sup>-1</sup>.

· Une solution mère de zinc à 1g L<sup>-1</sup>, obtenue par dissolution de sulfate de zinc ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (Merck, pureté supérieure à 98%), est utilisée pour la préparation des milieux de cultures contaminés par différentes concentrations en zinc : 10<sup>-2</sup>; 10<sup>-1</sup>; 4; 30 et 50 mg L<sup>-1</sup>.

Un milieu non contaminé est utilisé pour servir de témoin.

#### 2.4. Taux de rétention des métaux lourds

Des cinétiques ont été effectuées

sur 10 jours au cours desquels des prélèvements périodiques (chaque deux jours) ont été effectués. Le dosage des trois métaux lourds dans le milieu prélevé a été réalisé par absorption atomique à flamme en utilisant comme gaz vecteur un mélange (air/acétylène). L'appareil est de type **Perkin Elmer 300**. Les taux de rétention des trois métaux lourds sont calculés par la formule ci-après [27]:

$$R(\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

Où 0C et tCreprésentent les concentrations résiduelles du métal à l'instant initial et à l'instant t.

#### 2.5. Analyse statistique des résultats

Chaque essai a fait l'objet de trois répétitions. Au cours de chaque

traitement, pour chaque concentration trois répétitions ont été réalisées avec un témoin. Les résultats présentés dans les différentes figures représentent les moyennes arithmétiques avec les écarts –types correspondants. Les analyses statistiques ont été réalisées par SigmaStat 3.0 (SPSS Science Software GmbH, Germany). Les réponses de la plante exposée aux métaux lourds sont analysées par comparaison avec le témoin à l'aide du test de Student's t-test et des valeurs de p inférieures à 0,05 ont été retenues pour définir la significativité du traitement.

#### 3. Résultats et discussion

Les variations des taux de rétention du cuivre, du cadmium et du zinc en fonction de

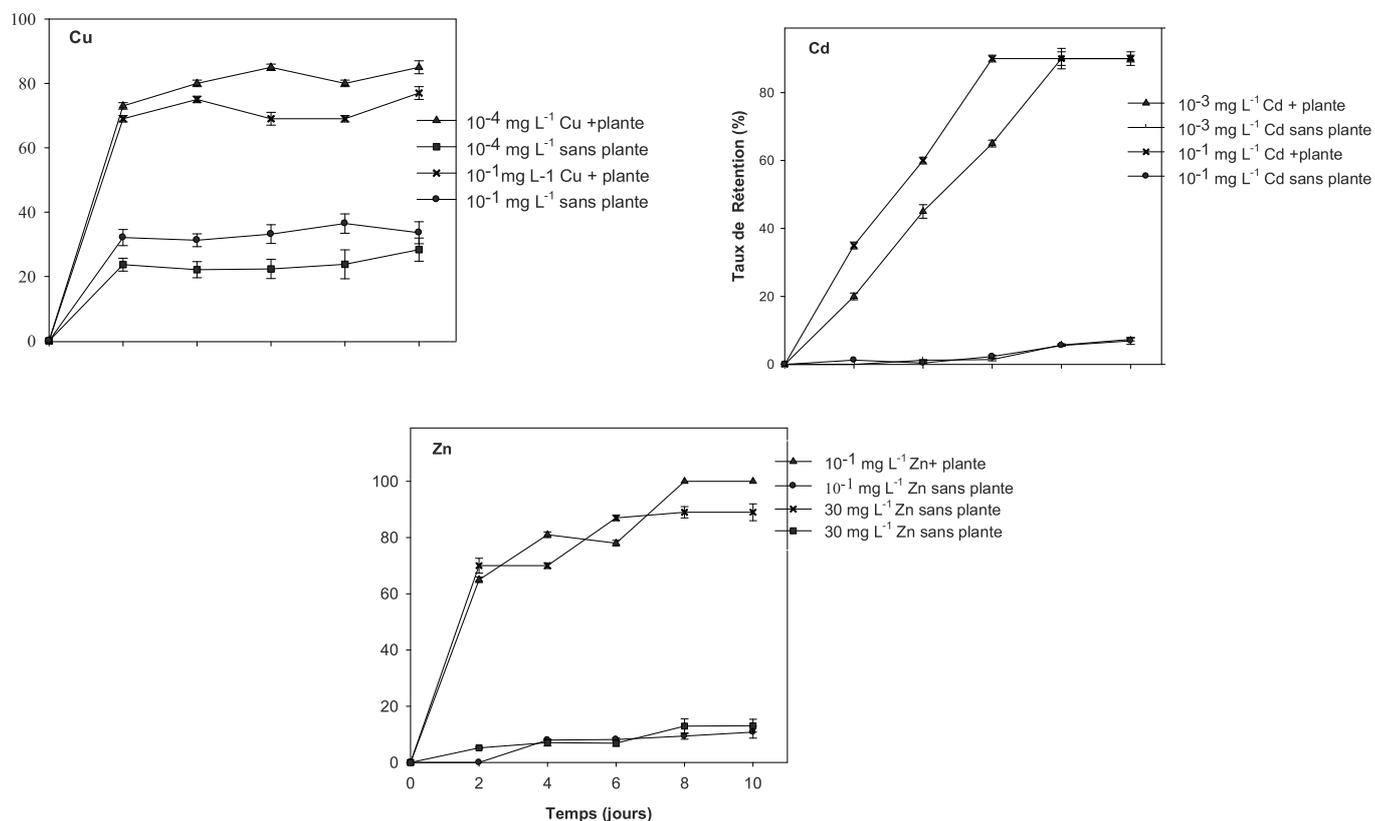


Figure 1. Taux de rétention de Cd, Cu et Zn en fonction du temps (valeurs moyennes ± écarts- types, n=3)

En absence de la lentille d'eau, contrairement au cadmium et au zinc, les taux d'élimination du cuivre sont importants (22 à 36%). En présence de la plante, la cinétique de rétention du cuivre et zinc se produit principalement en deux étapes :

· Une première phase, d'une durée de deux jours, caractérisée par des taux de rétention élevés. Les taux de rétention sont de 73 et 69% en présence de  $10^{-1}$  et  $10^{-1}$  mg L<sup>-1</sup> de cuivre et de 65 et 70% en présence de  $10^{-1}$  et 30 mg L<sup>-1</sup> en zinc. La rétention du cuivre est plus importante durant les six premiers jours où des taux de rétention variant entre 65 et 90% ont été obtenus.

· Une deuxième phase est caractérisée par une lente augmentation du taux de rétention de zinc pour atteindre les 89 et 100% après dix jours, une tendance de stabilité du taux de rétention du cuivre entre 77 et 85%.

La courbe de rétention du cadmium est différente à celle observée en présence des deux autres métaux. En effet, l'élimination du cadmium est linéaire et dépendante de la concentration initiale en métal. Des taux de rétention de 90% sont enregistrés après 6 et 8 jours de culture pour des concentrations initiales de  $10^{-1}$  et  $10^{-4}$  mg L<sup>-1</sup> respectivement.

Les pourcentages d'élimination du fongicide formulé (DMM<sup>F</sup>) sont de 40, 31 et 15% pour des concentrations initiales respectives de 250, 500 et 1000 µg L<sup>-1</sup>. La même tendance a été observée pour le diméthomorphe pur avec des taux d'élimination plus faibles. Après 96 h, nous avons enregistré 30, 19 et

10% d'élimination en présence de 250, 500 et 1000 µg L<sup>-1</sup> respectivement. Le taux d'élimination du DMM<sup>F</sup> décroît faiblement lorsque la concentration en cuivre augmente. L'effet est non significatif à 96 h ; on passe de 40 à 34% ; de 31 à 10% et de 15 à 12% lorsque la concentration en cuivre augmente de 0 à 30 µg L<sup>-1</sup> respectivement.

Après 168 h, l'effet du cuivre sur l'élimination du DMM<sup>F</sup> devient significatif en présence de 250 et 500 µg L<sup>-1</sup> de DMM<sup>F</sup> : on passe de 43 à 36% (p= 0,039) et de 33 à 13% (p= 0,01) lorsque la concentration en cuivre augmente de 0 à 30 µg L<sup>-1</sup>. La présence du cuivre induit des réductions des taux d'élimination du DMM<sup>P</sup> qui sont plus marqués à 250 et 500 µg L<sup>-1</sup> où ces pourcentages passent de 30 à 17% (p ≤ 0,05); 19 à 10% (p < 0,05) lorsque la concentration en cuivre augmente de 0 à 30 µg L<sup>-1</sup>. Dans les mêmes conditions, l'effet du cuivre devient plus significatif à 168 h ; l'élimination du DMM<sup>P</sup> passe de 34 à 16% et de 26 à 11%.

À forte concentration en DMM<sup>P</sup> (1000 µg L<sup>-1</sup>), l'effet du cuivre sur l'élimination du fongicide est non significatif (le taux d'élimination passe de 10 à 7% et de 11 à 8% lorsque la concentration en cuivre augmente de 0 à 30 µg L<sup>-1</sup> à 96 et 168 h respectivement).

En présence de la lentille *L. gibba*, la cinétique de la rétention du cuivre et du zinc est rapide durant les deux premiers jours suivi d'une augmentation graduelle durant la deuxième phase. L'élimination du cadmium se fait graduellement pour atteindre 90%. La lentille d'eau utilisée au cours de cette étude

en l'occurrence *L. gibba* a montré une bonne efficacité, dans l'élimination du zinc, cadmium et cuivre, où des taux d'élimination de 100, 90 et 77% respectivement, ont été enregistrés après 10 jours de traitement. Ces performances sont supérieures à celles obtenues en présence de *Myriophyllum aquaticum*, *Ludwigina palustris* et *Mentha aquatica* (42 et 34% d'élimination de cuivre et de zinc, respectivement) après deux semaines de culture [25].

#### 4. Conclusion

Les résultats trouvés au cours de cette étude, confirment les capacités d'accumulation de *L. gibba* vis-à-vis du cuivre, du cadmium et du zinc et son grand potentiel pour une phytoremédiation. L'élimination du diméthomorphe dépend de sa concentration initiale. Une réduction maximale (10 à 40%) est atteinte après 96 h. La prolongation de la durée de traitement n'induit pas des augmentations de rétention du fongicide. Nos résultats montrent que l'élimination du diméthomorphe est moins importante que celle du cuivre mais comparable à d'autres investigations utilisant la lentille d'eau pour l'enlèvement des pesticides des eaux [20,28]. Une baisse de la rétention du diméthomorphe a été observée lorsque la concentration en cuivre augmente particulièrement aux faibles concentrations testées (40 à 34% ; 31 à 10% en présence de 250 et 500 µg L<sup>-1</sup>, respectivement). Cette réduction d'élimination du fongicide pouvait être attribuée à la toxicité du cuivre.

## Références Bibliographiques

1. Anonymel., "Technologies Clefs : développement des techniques de diagnostic et de traitement des sols (La Phytoremédiation) ". Technologies Médicales et Biotechnologiques (ARTEB), 2000-2005.
2. Dushenkov, V.P., Nanda Kumar, B.A., Motto, H., "Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams". Environ.Sci. Technol., 29, (1995), 1239-1245.
3. Judith, S.W., Peddrick, W., "Metal uptake, transport and release by wetlands plants: implications for phytoremediation and restoration". Enviro.Interna., 30, (2004),685-700.
4. Faisal, I., Khan, T. H., Ramzi, H., "An overview and analysis of site remediation technologies"., Environ. Manag., 71, (2004), 95-122.
5. Ferro, A., Chard, J., Kjeldren, R., Turner, D., Montague, T., "Ground water capture using hybrid poplar trees: evaluation of a system in Ogden, Utah". Int.J. Phytoremed. 3, (2001),87-104.
6. Hassen, D., Duda, P.J., Zayed, A., Terry, N., "Selenium removal by constructed wetlands: role of biological volatilization". Environ. Sci.Technol., 32,(1998),591-597.
7. Horn, A.J. 2000. "Phytoremediation by constructed wetlands. In phytoremediation of contaminated soil and water"., ed. N terry, G Bañuelos, (2000), Boca Raton:Lewis, pp.13-40.
8. Raskin, I., Smith, R.D., Salt, D.E., "Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment ". Curr.Opin.Biotechnol.,8, (1997c), 221-226.
9. Miretzky, P., Saralegui, A., Fernandez Cirelli, A., "Aquatic macrophytes potentiel for the simultaneous removal of heavy metals". Chemosphere, 57, (2004), 997-1005.
10. Raskin, I., Kumar, P.B.A.N., Dushenkov, S., Salt, D.E., Ensley, B.D., "Removal of radionuclides and heavy metals from water and soil by plants". OECD Document Biorem.,(1994a),345-354.
11. Raskin, I., Kumar, P.B.A.N., Dushenkov, S., Salt, D.E., "Bioconcentration of heavy metals by plants". Curr. Opin. Biotechnol. 5,(1994b),285-290.
12. Salt, D.E., Smith, R.D., Raskin, I., "Phytoremediation". Ann. Rev.Plant Physiol. Mol. Biol., 49, (1998),643-668.
13. Abhilash, P.C., Pandey, V.C., Rakesh, P.S., Chandran, S., Verma, A.K. Singh, N. Thomas A.P., "Phytofiltration of cadmium from water by *Limnocharis flava* (L.) Buchenau grown in free-floating culture system".,Hazardous Materials,170,(2009),791-797.
14. Rahman, M.A., Hasegawa, H., Ueda, K., Maki, C.O., Rahman, M., "Arsenic accumulation in duckweed (*Spirodela polyrhiza* L.): A good option for phytoremediation. Chemosphere, 69,(2007),439-499.
15. Gazi, N.H.R. Steven, P.K.S., "Bioremoval of lead from water using *Lemna minor*", Bioresource Technol. 70,(1999),225-230.
16. Kara, Y., "Bioaccumulation of copper from contaminated wasterwater by using *Lema minor*", Bull. Environ. Contam. Toxicol. 72, (2004),467-471.
17. Maine, M., Duarte, M., Sune, N. "Zinc uptake by floating macrophytes". Water Res., 35, (2001),2629-2634.
18. Nicholas, R.A. Steven, P.K.S. Kathryn, C., "Lead and nickel removal using *Microspora* and *Lemnora minor*", Biosource Technol. 89,(2003),41-48.
19. Mkandawire, M., Dudel, E.G., "Accumulation of arsenic in *Lemna gibba* L. (duckweed) in tailing waters of two abandoned uranium mining sites in Saxony, Germany".Sci.Tot.environ.,336,(2005),81-89.
20. Olette, R., Couderchet, M., Biagiante, S., Eullaffroy, P., "Toxicity and removal of pesticides by selected aquatic plants". Chemosphere, 70, (2008), 1414-1421.
21. Hou, W., Chen, X., Song, G., Wang, Q., Chang, C.C., "Effects of copper and cadmium on heavy metal polluted waterbody restoration by duckweed (*Lemna minor*)". Physiol. Plant and Biochem. 45, (2007),62-69.
22. Mkandawire, M., Lyubun, Y.V., Kosterin, P.V., Dudel, E.G., "Toxicity of arsenic species to *Lemna gibba* L. and the influence of phosphate on arsenic bioavailability". environ. Toxicol., 19,(2004),26-35.
23. Robinson, B.H., Lombi, E., Zhao, F.J., McGrath, S.P., "Uptake and distribution of nickel and other metals in the hyperaccumulator *Berkheya coddii*". New Phytol, 158, (2003), 279-85.
24. Ater, M., Ait Ali, N., Kasmi, H., "Tolérance et accumulation du cuivre et du chrome chez deux espèces de lentilles d'eau : *Lemna minor* L. et *Lemna gibba* L." Journal of Water Science, vol. 19, n° 1, (2006), 57-67.
25. Kamal, M., Ghaly, A.E., Mahmoud, N., Côté, R., "Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic". Environ. Int. 29, (2004), 1029-1039.
26. Hoagland, D.R., Arnon, D.I., "The water culture method for growing plants without soil". California Agriculture Experimental Station Circular 347, Berkely, California, USA, 1938.
27. Pandey, P.K., Verma, Y., Choubey, S., Pandey, M., Chandrasekhar, K., Biosorptive removal of cadmium from contaminated ground water and industriel effluents. Bioresource Technol. 99, (2008), 4420-4429.
28. Böttcher, T., Schroll, R., "The fate of isoproturon in a freshwater microcosm with *Lemna minor* as a model organism. Chemosphere, 66, (2007), 684-689.