

ÉLIMINATION DU PLOMB ET DU CUIVRE DES EAUX PAR *JUNCUS FONTANESII*

M. A. OUESLATI*, M. HADDAD**

* École Supérieure des Ingénieurs de l'Équipement Rural, 9070 Medjez-el-Bab, Tunisie

** Institut Préparatoire aux Études d'Ingénieur, 8000 Nabeul, Tunisie

(soumis en juin 1996, accepté en février 1997)

RESUME

Nous avons utilisé *Juncus fontanesii* pour l'extraction du plomb et du cuivre contenus dans des solutions aqueuses (nitrate de plomb et chlorure de cuivre) de concentrations métalliques comprises entre 50 et 300 mg/l et avec deux densités de la biomasse végétale fraîche (2,8 et 5,6 kg/m²). La culture, menée sans apport de sels nutritifs, a permis d'aboutir à l'élimination de plus des 99% du plomb en 3 à 12 jours et du cuivre en 12 à 21 jours. La partie la plus importante du métal fixé par la plante (50 à 80%) se retrouve dans les racines. Pour les concentrations dépassant 100 mg/l, nous avons pu noter, dans le cas du cuivre, un phénomène de relargage. Dans toutes les expériences, les plantes n'ont présenté aucun signe évident de perturbation physiologique. **Mots clés** : plomb, cuivre, métaux lourds, *Juncus fontanesii*, plantes aquatiques.

ABSTRACT

We have used *Juncus fontanesii* to eliminate the lead and copper from pure aqueous solutions containing these metals at 50; 100; 150 and 300mg/l. The densities of the fresh biomass were 2,8 and 5,6 kg/m². This study, without adding nutritive elements, shows that we can eliminate more than 99% of lead within 3 to 12 days and copper within 12 to 21 days. 50 to 80 % of the metal are fixed by the roots, the remaining is located at the leafs and stems. When the concentration is higher than 100 mg/l, plant releases part of the copper to the medium. During the experiment the plants did not display any visual sign of perturbation. **Key-words** : lead, copper, heavy metals, *Juncus fontanesii*, aquatic plants.

INTRODUCTION

Les métaux lourds sont capables par leur toxicité de provoquer des dommages au niveau des écosystèmes aquatiques, même en très faibles concentrations. Ces substances sont accumulables dans les organismes animaux et végétaux et peuvent atteindre l'homme, à travers les chaînes alimentaires.

Leur élimination se fait par voie physico-chimique comme la précipitation (1), l'adsorption, la complexation, la coagulation, la floculation, la chélation, l'emploi de résines échangeuses d'ions (2) ou par voies biologiques faisant appel à des bactéries (3)(4)(5), des champignons (6)(7)(8)(9), des lichens (10)(11), des algues (12), des bryophytes (13) (14)(15)(16)(17) et des plantes.

Certaines plantes aquatiques ont la propriété d'absorber, transporter et accumuler des métaux lourds (18)(19). L'espèce la plus largement employée est la Jacinthe d'eau : *Eichhornia crassipes* (20)(21). La *Lemna minor* (lentille d'eau) a été, elle aussi, expérimentée (22). Glandon et Mc Nabb (23) ont montré que *L. minor* peut accumuler, en poids sec, jusqu'à 1500 ppm de bore dans ses tissus. Ces plantes aquatiques ont été considérées comme bioindicateurs de pollution métallique (24)(25)(26).

Dans cette étude, nous avons employé une plante aquatique locale : le *Juncus fontanesii* (Gay), souvent appelé Jonc de Desfontaine, pour éliminer le plomb et le cuivre contenus dans des solutions de titres connus.

Le plomb est l'élément lourd le plus commun dans la croûte terrestre (13mg/kg) (27). Il est utilisé dans plusieurs applications sources de pollution : batteries, soudures, peintures, alliages etc. L'addition de plomb tétraéthyle aux carburants, comme antidétonant, a largement contribué à la contamination de l'environnement. De nombreuses études toxicologiques ont révélé que l'accumulation de plomb dans les organismes présente des risques importants tel que le saturnisme (27)(28).

Le cuivre est bien abondant dans la nature. Il est essentiel pour les organismes quand il est sous forme de traces mais acquiert des propriétés pesticides, à concentrations élevées (29)(30).

La cinétique d'élimination des métaux lourds, par les plantes aquatiques, dépend de l'espèce végétale utilisée (31), du pH, de la température et du métal : état d'oxydation (32), potentiel redox (33) et concentration.

MATERIEL ET METHODE

Le *Joncus fontanesii* est une plante enracinée décrite en détail par Cuenod *et al* (34). Elle est capable de flotter un certain temps sur l'eau. Ses stolons sont radicans, grêles et allongés. Selon la disponibilité des éléments nutritifs, dans le milieu, la longueur des racines peut atteindre 30 à 40cm. Cette espèce est bien répandue dans le Nord de la Tunisie et généralement dans le bassin méditerranéen.

Pour nos essais, nous l'avons prélevé dans un effluent d'eaux usées à proximité du Campus Universitaire de Tunis (Tunisie). Nous l'avons nettoyé sur place puis lavé abondamment au laboratoire, afin d'éliminer les derniers dépôts de vases et de débris, avant de le placer dans des bacs d'attente contenant de l'eau de ville.

Les solutions métalliques ont été préparées à partir de $Pb(NO_3)_2$ (Prolabo- France) et de $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ (BDH chemicals Ltd - Angleterre). Elles avaient des concentrations théoriques en métaux de 50 ; 100 ; 150 et 300mg/l. Un litre de chaque solution a été placé dans un bac plastique de forme cylindrique de 18cm de hauteur et de 14,5 cm de diamètre. Les végétaux frais ont été introduits aux densités $d_1 = 2,8 \text{ kg/m}^2$ et $d_2 = 5,6 \text{ kg/m}^2$, sans aération, sans acclimatation préalable et sans apport d'éléments nutritifs. Le dispositif ainsi obtenu a été ensuite placé dans un endroit où l'aération et la luminosité étaient uniformes. Les prélèvements pour les analyses ont été effectués aux mois de mai et juin lorsque la température moyenne du local était de 24°C. Ils ont duré un mois pour chaque série concernant le cuivre et le temps nécessaire pour atteindre la concentration indécélable dans la solution, pour le plomb.

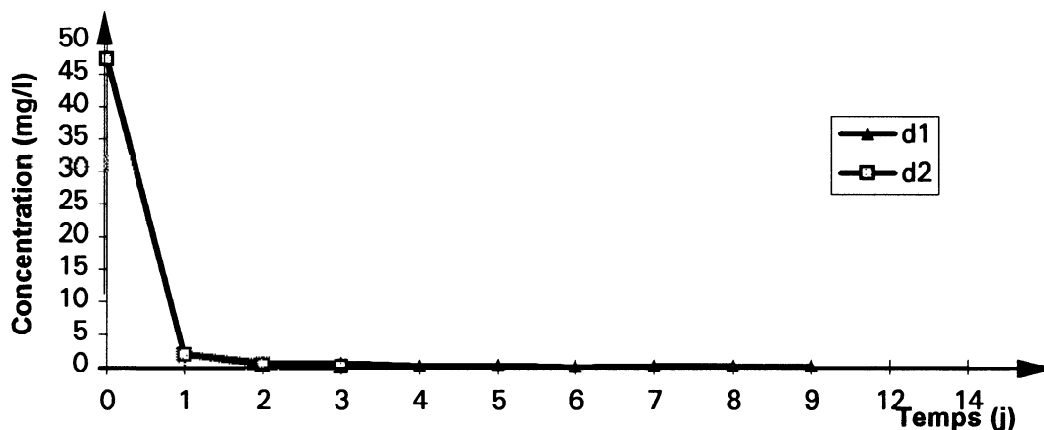
Les échantillons prélevés quotidiennement ont été stockés avant analyse dans des récipients en verre. A la fin de l'expérience les plantes ont été séchées d'abord à la température ambiante ensuite dans une étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Les analyses ont été effectuées sur les racines d'une part et sur les tiges et feuilles d'autre part.

Toutes les analyses ont été effectuées par absorption atomique. L'appareil utilisé est de type *Perkin Elmer 3100* pour le cas des solutions aqueuses et *Perkin Elmer 2380* pour le cas de la plante, avec une détection limite de 0,09 mg/l pour le plomb et 0,077 mg/l pour le cuivre, pour les deux appareils.

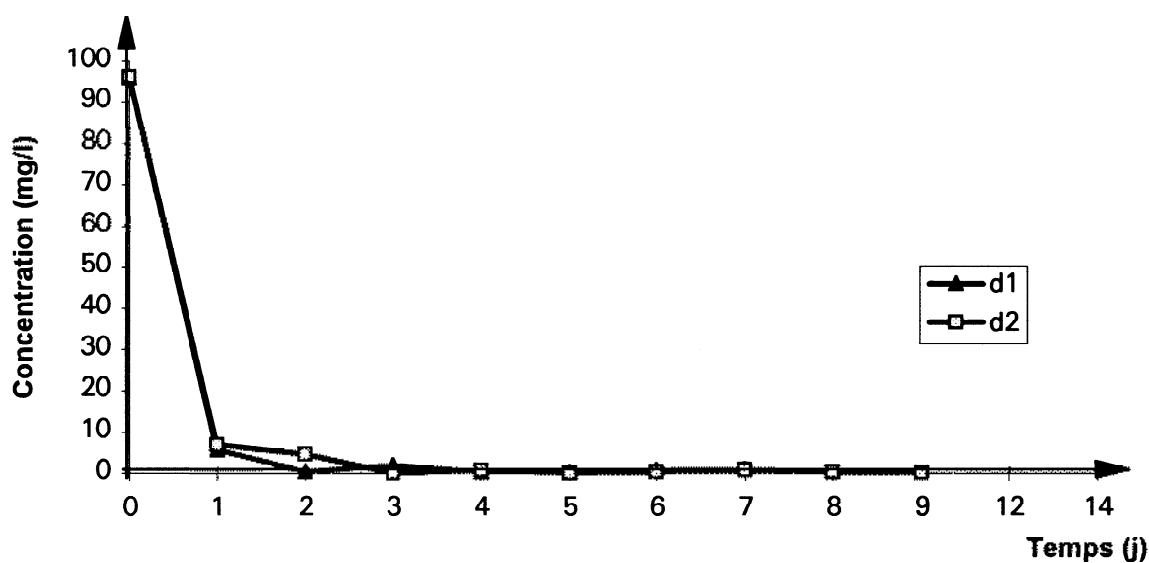
RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats correspondent aux valeurs moyennes de deux mesures avec des dispersions de 1 à 3%.

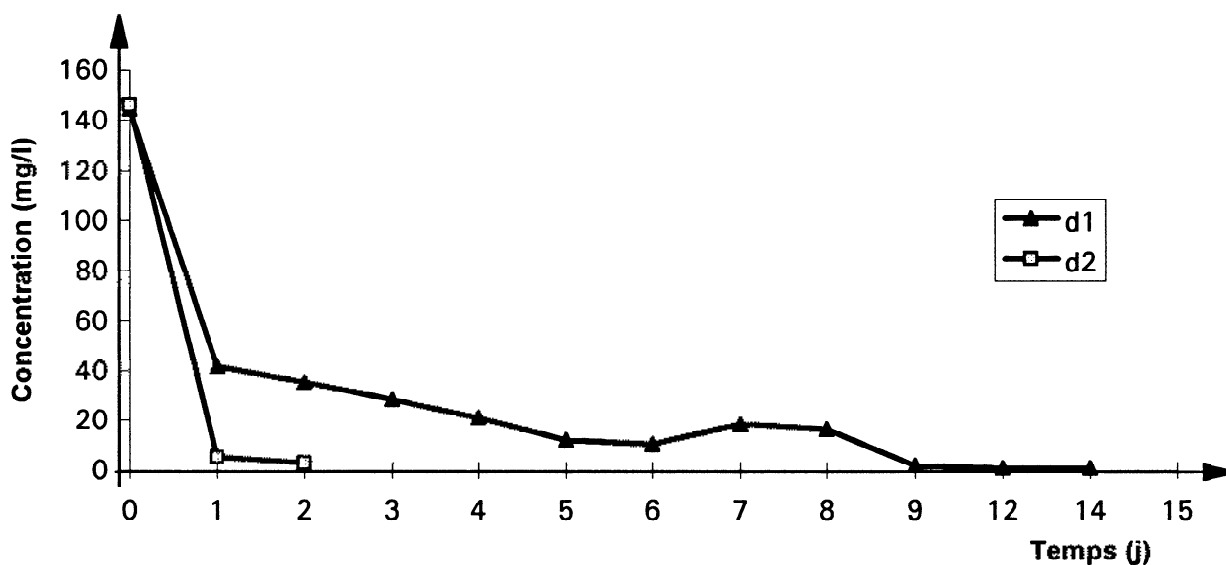
L'élimination presque totale du plomb a lieu deux à quatre jours après, pour la densité d_2 , quelle que soit la concentration de départ. Quand la densité est prise égale à d_1 , deux à quatre jours suffisent à obtenir les mêmes déplacements du métal contenu dans le milieu si la concentration est de 50 ou 100mg/l. Cette période passe à neuf et douze jours respectivement pour les concentrations initiales de 150 et 300mg/l.



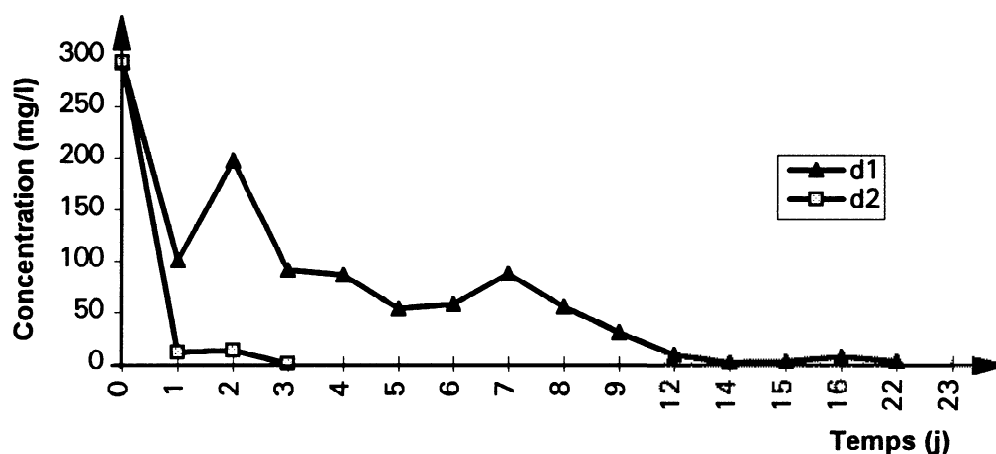
Courbe N° 1 : Variation de la concentration du plomb (mg/l) en fonction du temps (J) pour une concentration initiale de 50 mg/l.



Courbe N° 2 : Variation de la concentration du plomb (mg/l) en fonction du temps (J) pour une concentration initiale de 100 mg/l



Courbe N° 3 : Variation de la concentration du plomb (mg/l) en fonction du temps (J) pour une concentration initiale de 150 mg/l.



Courbe N° 4 : Variation de la concentration du plomb (mg/l) en fonction du temps (J) pour une concentration initiale de 300 mg/l.

L'analyse, selon la méthode à l'eau régale (35), de la concentration du métal dans les tiges et feuilles d'une part et les racines d'autre part, montre qu'indépendamment de la densité employée et de la concentration initiale, 20 à 25% du métal sont retrouvés dans les tiges et feuilles, le reste étant retenu dans les racines.

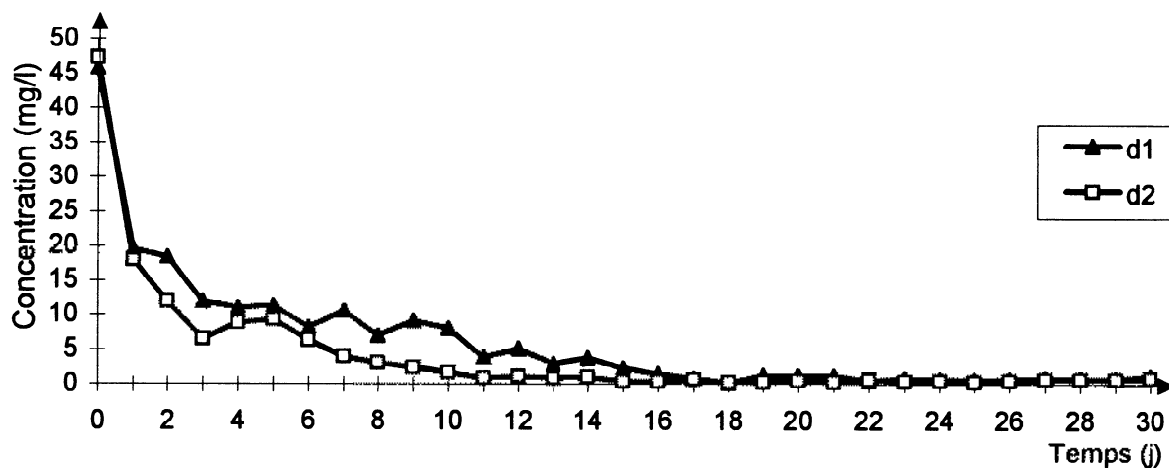
Tableau 1 : répartition de Pb dans la plante

	d(kg/m²)	2,8	5,6	2,8	5,6	2,8	5,6	2,8	5,6
	Co.exp.(mg/l)	47,6	47,3	95,9	96,3	144,3	146,1	292,4	293,5
T + F	m(g)	4,1	8,1	4,4	8,3	4,2	8,4	4,3	7,9
	Q Pb mg/g.M.S.	2,35	1,22	4,40	2,67	8,22	3,88	16,92	7,31
	Q Pb piégée (mg)	9,7	9,9	19,4	22,2	34,5	32,6	72,8	57,7
R	m (g)	2,6	5,2	2,2	4,6	2,5	4,9	2,5	5,3
	Q Pb mg/g.M.S.	13,68	7,03	33,93	15,96	42,90	22,70	86,63	43,85
	Q Pb piégée (mg)	35,6	36,2	74,6	73,4	107,2	111,2	216,6	232,4
	Q total de Pb (mg)	45,2	46,1	94,0	95,6	141,8	143,8	289,4	290,1
	%Pb(R)*	79	79	79	77	76	77	75	80

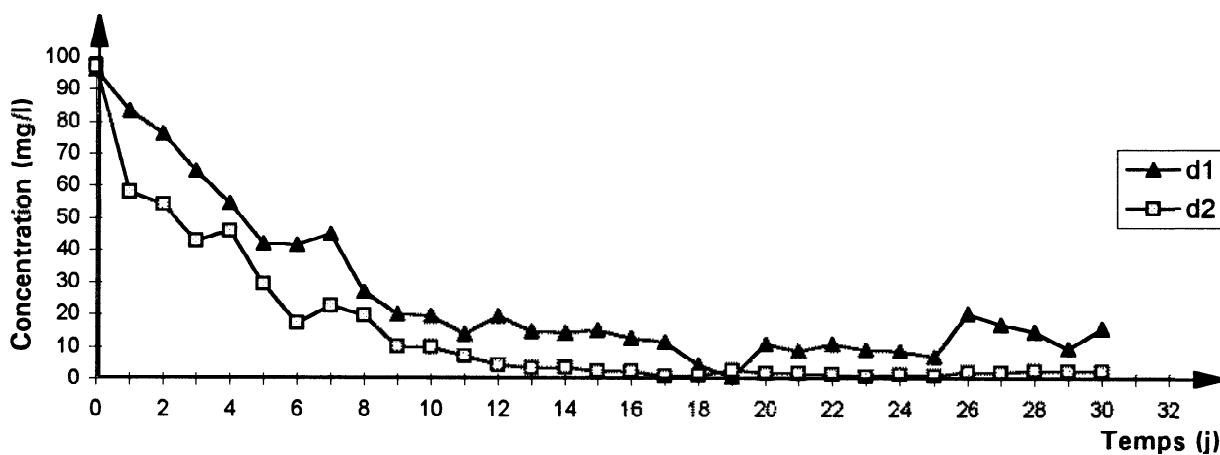
d = densité de matière végétale fraîche, R = racines, (T + F) = tiges et feuilles, m = masse de la matière sèche, Q = masse de métal, M.S. = matière sèche, Co exp. = concentration initiale expérimentale, (*) par rapport à la partie piégée

Dans le cas du cuivre, le déplacement du métal est plus rapide pour la densité d₂, quelle que soit la concentration initiale. Quand cette dernière est de 50 ou 100mg/l, presque la totalité du métal est déplacée du milieu après environ deux semaines de contact. Quand elle est de 150 ou 300 mg/l, le métal est déplacé presque entièrement trois semaines après.

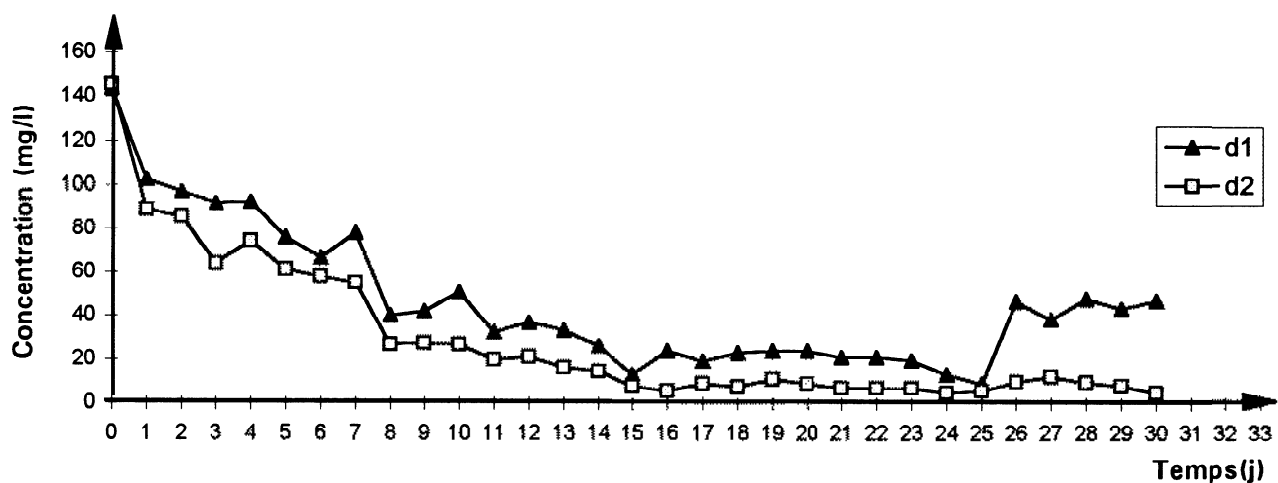
Un phénomène de relargage a pu être observé pour le cuivre. Sa valeur la plus importante est égale à 31,2%. Elle a été notée pour d₁ = 2,8Kg/m² et Co = 150mg/l.



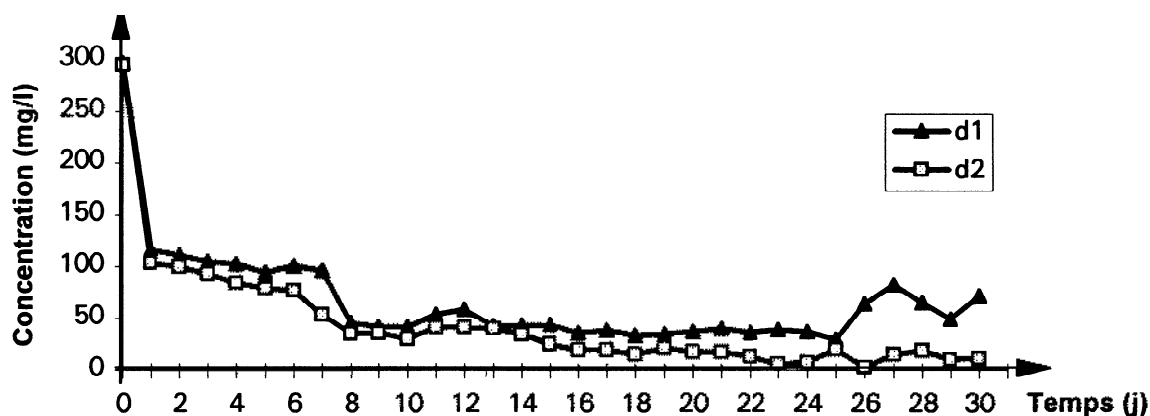
Courbe N° 5 : Variation de la concentration du cuivre (mg/l) en fonction du temps (J) pour une concentration initiale de 50 mg/l.



Courbe N° 6 : Variation de la concentration du cuivre (mg/l) en fonction du temps (J) pour une concentration initiale de 100 mg/l.



Courbe N° 7 : Variation de la concentration du cuivre (mg/l) en fonction du temps (J) pour une concentration initiale de 150 mg/l.



Courbe N° 8 : Variation de la concentration du cuivre (mg/l) en fonction du temps (J) pour une concentration initiale de 300 mg/l.

L'analyse de la concentration du métal de la plante montre que quelle que soit la densité végétale employée et la concentration initiale, 50 à 80 % du métal retenu sont piégés par les racines.

Tableau 2 : Répartition de Cu dans la plante

	d(kg/m ²)	2,8	5,6	2,8	5,6	2,8	5,6	2,8	5,6
	Co.exp.(mg/l)	45,8	43,7	96,0	97,2	143,8	145,7	296,8	295,2
T + F	m(g)	8,6	13,6	8,6	17,8	9,7	16,2	7,9	13,2
	QCu mg/g.M.S.	1,04	0,75	3,51	1,57	4,74	3,46	12,69	5,28
	Q Cu piégée (mg)	8,9	10,2	30,2	28	46	56	100,2	69,7
	m(g)	2,5	3,8	2,3	4,1	1,9	3,7	2,2	4,9
R	Q Cu	13,60	8,04	21,75	16,26	33,20	22,78	49,93	43,86
	mg/g.M.S.	34	30,6	50	66,7	63,1	84,3	109,3	214,5
	Q total de Cu (mg)	42,9	40,7	80,2	94,6	109	140,3	210,1	284,6
	%Cu(R)*	79	77	62	70	58	60	52	76

Les courbes et les tableaux précédents permettent de dégager les résultats suivants :

- **Pour le plomb** : l'absorption démarre très vite. En effet, 90 à 95% du métal sont piégés dès le premier jour et on atteint un rendement supérieur à 99%, au bout de dix jours.

Tableau 3 : Rendement de l'élimination du plomb

Qo exp (mg)	47,6	47,3	95,9	96,3	144,3	146,1	292,4	293,5
Qf (mg)	0,05	0,025	0,35	0,1	0,7	0,7	1,4	0,02
Rdt (%)	99,90	99,95	99,64	99,90	99,50	99,52	99,52	99,99

Qo exp = masse expérimentale initiale du métal, Qf = masse finale de métal restant en solution, Rdt = rendement d'extraction.

- **Pour le cuivre** : l'absorption est plus lente. Huit jours après, on est encore au voisinage des 80% de rendement et 24 jours sont nécessaires pour piéger 90% du métal. Dans la dernière période, on assiste à un retour à des taux d'absorption plus faibles dû au phénomène de relargage.

Tableau 4 : Rendement de l'élimination du cuivre

Q _o exp (mg)	45,8	47,3	96	97,2	143,8	145,7	296,8	295,2
Q min (mg)	0,42	0,25	0,65	0,75	1,2	1,3	2,7	2,5
Rdt max (%)	99,1	99,5	99,3	99,2	99,2	99,1	99,1	99,2
Qf(mg)	2,8	2,6	15,9	2,5	30,8	4,6	71,7	10,4
Rdt (%)	93,9	94,5	83,4	97,5	78,6	96,8	75,8	96,5

Q_{min} = masse minimale de métal restant en solution, avant relargage. Rdt max = meilleur rendement atteint avant relargage

Le relargage est moins important pour la densité $d_2 = 5,6 \text{Kg/m}^2$. La capacité de stockage permet, dans ce cas, à la plante de pouvoir réabsorber la partie relarguée.

Tableau 5 : % de Cu relargué par la plante

Co (mg/l)	50	100	150	300
2,8 (Kg/m ²)	2,5	15,9	31,2	23,9
5,6 (Kg/m ²)	1,6	2,4	5	3,9

CONCLUSION

Nous avons montré que *Juncus fontanesii* est capable d'extraire du cuivre et du plomb contenus dans des solutions aqueuses pour des teneurs pouvant atteindre 300mg/l, sans qu'il y ait des perturbations physiologiques au niveau de la plante.

L'extraction du plomb est plus rapide et a lieu sans manifestation du phénomène de relargage dont on note la présence dans le cas du cuivre.

Le rendement de l'élimination a pu, pour toutes les solutions étudiées, dépasser les 99%.

Pour le cuivre, les écarts relativement élevés entre les quantités initiales et les quantités totales retrouvées dans la plante proviennent des incertitudes, de l'adsorption et de la partie non absorbée rendue importante par le relargage.

Sur le plan des propriétés intrinsèques du *Juncus fontanesii*, nous signalons qu'il est très facile à récolter : dans le cas de notre étude, on l'a mis à flotter dans les solutions. Quand il est fixé, on le déracine aisément. Sa multiplication est rapide et a lieu par transfert de ses racines qui vont conduire à l'apparition de nouvelles pousses.

L'accumulation par le *Juncus fontanesii* a été la suivante :

- Partie aérienne : 16,9mg/g.MS de plomb et 12,7mg/g.MS de cuivre
- Racines : 86,6mg/g.MS de plomb et 49,9mg/g.MS de cuivre

Le cas du plomb est à rapprocher de celui de *Brassica juncea* qui accumule 20mg/g.MS dans sa partie aérienne et 100mg/g.MS dans ses racines (36).

La présente étude de laboratoire donne des renseignements qui peuvent servir comme base pour une étude grandeur nature. Il faudrait, au préalable, la poursuivre plus longtemps pour examiner les limites de la résistance du *Juncus fontanesii* et son comportement pendant la sénescence. Bien que les contextes soient différents, nous pouvons toutefois, signaler l'excellente tenue de cette plante pendant une période de deux ans où nous avons assisté à sa multiplication rapide dans des eaux usées domestiques (37)

REMERCIEMENTS

Nous remercions Messieurs MDIMAGH. M.S. et MNARI. M de la Faculté des Sciences de Tunis et Monsieur ROULIER J.L. du CEMAGREF de Lyon pour nous avoir facilité l'accès aux appareils d'analyse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) DARIO, M., GUISEPPE, M. and MICHELE, P. (1995). Lead precipitation in the presence of sulfate and carbonate : testing of thermodynamic predictions. **Wat. Res. Vol. 29 N°4 : 1085-1092.**
- (2) DOMENICO, P. GIOVANI, T., MARIO, S. and ROBERTO, P. (1994). Removal and recovery from tannery wastes laboratory investigation and field experience on a 10m³ demonstration plant. **Wat. Sci. Tech. Vol. 30 N°3 : 225-233.**
- (3) BEVERIDGE, T.J. and MURRAY, R.G.E. (1976). Uptake and retention of metals by cell walls of *Bacillus subtilis*. **J.Bact. 127 : 1502-1518.**
- (4) NAKAJIMA, A., HORIKOSHI, T. and SAKAGUCHI, T. (1981). Studies on the accumulation of heavy metal elements in biological systems. Selective accumulation of heavy ions by *Chlorella regularis*. **Eur. J. app. Microbiol. Biotechnol. 12 : 76-83.**
- (5) KOICHI, F., TOMOHIKO, T., KOHEI, U. and HISAO, O. (1994). Development of a bioreactor system for the treatment of chromate wastewater using *Enterobacter cloacae* H01. **Wat. Sci. Tech. Vol. 30 N°3 : 235-243.**
- (6) TOBIA, J.M., COOPER, D.G. and NEUFELD, R.J. (1984). Uptake of metallic ions by *Rhizopus arrhizus* biomass. **Appl. Environ. Microbiol. 47 : 821-824.**
- (7) DARNALL, D., GREENE, B., HENZI, M.T., HOSEA, J.M., MCPHERSON, R.A., SNEDDON, J. and ALEXANDER, M.D. (1986). Selective recovery of gold and other metal ions from an algal biomass. **Env.Sci. Technol. 20 : 206-208.**
- (8) GREENE, B., HOSEA, J.M., MCPHERSON, R.A., HENZI, M.T., ALEXANDER, M.D. and DARNALL, D., (1986). Interaction of gold (I) and gold (II) complexes with algal biomass. **Env. Sci. Technol. 20 : 827-832.**
- (9) CHIH PIN, H. and HSIN, H.C. (1994). Removal of trace Cd (II) from aqueous solution by fungal adsorbents : an evaluation of self-immobilization of *Rhizopus oryzae*. **Wat. Sci. Tech. Vol. 30 N°3 : 245-253.**
- (10) GERALD, J.R., ZHANG, Y. and LEI, L. (1991). Uptake of metallic ions from aqueous solution by dried lichen biomass. **Microbio. 66 : 95-105.**
- (11) NIEBOER, E., PUCKETT, K.J. and GRACE, B. (1976). The uptake of nickel by *Umbilicaria muhlenbergii* : a physicochemical process. **Can. J. Bot. 54 : 724-733.**
- (12) STOKES, P.M., DREIER, S.I. FARKAS, M.O. and McLEAN, R.A.N. (1983) Mercury accumulation by filamentous algae : A promising biological monitoring system for methylmercury in acid-stressed Lakes. **Environnemental Pollution (Series B) 5 : 255-271.**
- (13) RAO, N.D. (1982). Responses of bryophytes to air pollution. *Bryophyte Ecology*. Edit. A.J.E. SMITH. Chapman and Hall Ltd, London, New York : 455-471.
- (14) WEHR, J.D. and WHITTON, B.A. (1983). Accumulation of heavy metals by aquatic mosses 3 : seasonal changes. **Hydrobiologia 100 : 285-290.**
- (15) WEHR, J.D., KELLY, M.G., and WHITTON, B.A. (1987). Factors affecting accumulation and loss zinc by the aquatic moss *Rhynchostegium riparoides* (Hedw.). **Aquatic Botany 29 : 261-274.**
- (16) MOUVET, C. (1986). Métaux lourds et mousses aquatiques. Synthèse méthodologique. Laboratoire d'écologie, Université de Metz. Agence de l'eau, Rhin-Meuse. **Agence de l'eau Rhône-méditerranée-Corse : 77 p+Annexes.**
- (17) CRIVELLI, P. (1990). La tétralogie du *Cinclidotus danubicus* dans le Rhin Français. **Cryptogamie, Bryol. Lichénol. 11(3) : 279-282.**
- (18) ERIKSSON, C. and MORTIMER, D.C.D. (1975). Mercury uptake in rooted higher aquatic plants ; laboratory studies. **Verh. International Verein. Limnol. 19 : 2087-2097.**
- (19) NAKADA, M. FUKAYA, K. TAKESHITA, S. and WADA, Y. (1979). The accumulation of heavy Metals in the submerged plant *Elodea nuttallii*, **Bull. Environn. Contamination Toxicol. 22 : 21-27.**

- (20) BLAKE, G., KAIGATE, B., FOURCY, A. and BOUTIN, C. (1987). Incorporation of cadmium by water hyacinth. **Wat. Sci. Tech. Vol. 19 N°10 : 123-128.**
- (21) PINTO, C.L.R., CAONIA, A. and SOUZA, M.M. (1987). Utilization of water hyacinth for removal and recovery of silver from industrial wastewater. **Wat. Sci. Tech. Vol. 19 N°10 : 89-101.**
- (22) MATHIS, B.J., CUMMINGS, T.F., GOWER, M., TAYLOR, M. and KING, C. (1980). Dynamics of manganese, cadmium and lead in experimental power plant ponds. **Hydrobiologia 6(3) : 197 - 206.**
- (23) GLANDON, R.P. and Mc NABB, C.D. (1978). The uptake of boron by *Lemna minor*. **Aqua. Bot. 4(1) : 53-64.**
- (24) FRANZIN, W.G. and McFARLANE (1980). An analysis of the aquatic macrophytes, *Myriophyllum exalbescens*, as an indicator of metal contamination of aquatic ecosystems near a base metal smelter. **Bull. Environ. Contamination Toxicol. 24 ; 597-605.**
- (25) YUTAKA, N. and MAMORU, K. (1981). *Lemna* (Duckweed) as an Indicator of water pollution. The sensitivity of *Lemna paucicostata* to heavy metals. **Arch. Environm. Contam. 10 : 159-169.**
- (26) MORTIMER, D.C. (1985). Freshwater macrophytes as heavy metal monitors. The Ottawa river experience. **Environmental Monitoring and Assessment 5 : 311-323.**
- (27) DUGUET, J.P., CORDONNIER, J. et BRODART, E. (1994). Le plomb dans les eaux distribuées : Bilan qualitatif et détermination des zones à risques. **T.S.M. N°3 : 128-130.**
- (28) SQUINAZI, F. (1994). Le Plomb dans les vieilles peintures. Du saturnisme professionnel au saturnisme infantile. **T.S.M. N°2 : 88-93.**
- (29) KAPLAN, D.A. RICHAMOND, A.E., ZUBINSKY, Z. and AARONSON, S. (1984). Algal nutrition. IN : handbook of Microalgal mass culture. A. Richmond (ed) **CRC Press Inc. Boca Raton : 147-198.**
- (30) LEE, H.L., BONNIE, L. and JOAN, M. (1994). Effect of copper on the growth of *Anacystis nidulans*. **Bull. Environ. Contam. Toxicol. 50 : 600-607.**
- (31) DIETZ, F. (1973). The enrichment of heavy metals in submerged plants, in S.M. Jenkins (ed) **Advances In Water Pollution Research 6 : 53-62.**
- (32) IAI, A. and GLOYNA, E.F. (1990). Effects of pH and oxidation state of chromium on the behavior of chromium in the activated sludge process. **Wat. Res. Vol. 24 N°9 : 1143-1150.**
- (33) PATTERSON, J.W., GASCA, E. and WANG, Y. (1994). Optimisation reduction/precipitation treatment of hexavalent chromium. **Wat. Sci. Tech. Vol. 29 N°9 : 275-284.**
- (34) CUENOD, A., LABBE A. et POTTIER-ALAPETITE, G. (1954). Flore de la Tunisie. **Imprimerie F.E.F.A.N. Tunis : 180-187.**
- (35) LASSEE, C. (1985). Analyse des boues, tome II, analyses chimiques, étude de synthèse. **Ed. Office international de l'eau : 55-57.**
- (36) RASKIN, I., KUMAR, N.P.B., DOUCHENKOV, S. (1994). Phytoremediation of metals. **United States Patent 19, patent number 5-364451.**
- (37) OUESLATI, M.A. et HADDAD, M. (1996). Traitement des eaux usées domestiques par des macrophytes : premier inventaire soumis à publication à la tribune de l'eau.