

Evaluation de la contamination métallique des sédiments du complexe zones humides de la ville de Mohammedia (Maroc)

Amal Serghini¹, Abdellah El abidi², Larbi Idrissi²,
Latifa Mouhir³, Mohammed Fekhaoui¹ & El Houssine Zaid⁴

1- Laboratoire d'Hydrobiologie. Dép. Zoologie et Ecologie Animale Institut Scientifique, Agdal, Rabat.

2- Département d'Hydrologie, d'Hygiène industrielle, de Toxicologie et de Recherches Médico légales INH.

3- Département Génie des procédés et environnement. Faculté des Sciences et Techniques B.P. 14 - Mohammedia, Maroc

4- Département de Biologie Faculté des Sciences, Rabat.

Résumé. Des relevés de sédiments dans différents sites du complexe zones humides de Mohammedia ont été analysés afin de déterminer les éléments traces; plomb (Pb), chrome (Cr), cuivre (Cu), fer (Fe) et zinc (Zn), durant février, avril, juin et décembre 2000. L'évaluation du niveau de contamination métallique des sédiments a été réalisée par l'application de l'indice de contamination. La distribution spatiale des métaux considérés révèle la présence d'une contamination dominée par Cr, Cu et Pb. Par ailleurs, le problème de la transposition de cette contamination vers l'embouchure de l'Oued Mellah et son environnement immédiat reste posé en tenant compte de certains phénomènes naturels tels que les crues, la dynamique marégraphique, etc.

Mots clés : Zones humides, sédiments, pollution métallique, indice de contamination

Assessment of the metallic contamination of the sediments of the Mohammedia city wetlands complex (Morocco).

Abstract. Sampling soils from "Wetlands complex" of Mohammedia has been analyzed in order to assess the elements traces; lead (Pb), chromium (Cr), copper (Cu), iron (Fe) and zinc (Zn), during February, April, June and December 2000. The assessment of the level of metallic contamination of the sediments has been achieved by the application of the index contamination. The spatial distribution of considered metals reveals the presence of an important contamination dominated by the Cr, the Cu and the Pb. Otherwise, the problem of the transposition of this contamination toward the mouth of the Mellah river and its immediate environment still remains while taking into account some natural phenomena as the rises in the water level, the maregraphic dynamics, etc.

Key words: wetland, sediments, metallic pollution, contamination index.

INTRODUCTION

Au Maroc, la contamination métallique des écosystèmes aquatiques a attiré l'attention de chercheurs d'horizons très différents. Elle constitue en effet l'un des aspects de la pollution le plus menaçant pour ces milieux. Par ses effets toxiques, elle est capable d'engendrer des situations critiques voire dangereuses. Contrairement à de nombreux toxiques organiques, les éléments traces ne sont pas totalement éliminés par voie biologique et par conséquent sont sujets à un effet cumulatif dans les diverses composantes de l'écosystème (eau, sédiment, faune et flore).

Cependant, le problème du choix de la méthode d'approche pour l'évaluation du degré de contamination d'un site donné a été résolu partiellement par l'utilisation de plusieurs méthodes (Boust *et al*, 1981; Belamie *et al*, 1982; Snoussi, 1984; Rosso *et al*, 1993).

Dans cette approche, nous avons adopté l'indice de contamination (Ic) (Belamie *et al*, 1982). Pour ceci, un suivi spatio-temporel de la teneur de cinq éléments métalliques: le fer (Fe), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le chrome (Cr) et le plomb (Pb) dans les sédiments du complexe zones humides a été effectué.

Le choix des sédiments réside dans le fait qu'ils reflètent dans une grande mesure les divers processus physico-chimiques ayant eu lieu non seulement en milieu aquatique, mais aussi à l'échelle du bassin et sont d'excellents indicateurs de l'état de la qualité des plans d'eau grâce à

leur pouvoir accumulateur (Pasternak, 1969; Mathis & Cummings, 1973; Friant, 1979; Lascombe & Cardot, 1984; Burton & Scott, 1992)

MATERIEL ET METHODES

Située dans la partie nord-ouest du Maroc, la ville de Mohammedia, l'un des centres les plus industrialisés du Maroc, possède un complexe de zones humides très important, représenté par des eaux courantes et des eaux stagnantes. Dans le secteur d'étude, l'Oued Mellah, cours d'eau d'importance socio-économique capitale, draine la majorité de la charge polluante générée par les agglomérations avoisinantes et les unités industrielles (industrie pétrochimique, centrale thermoélectrique, textiles, tanneries, briqueterie, etc.) rejetée en permanence sans traitement préalable. Ce cours traverse le long de son parcours des terrains essentiellement argileux sombres appelés "tirs", des alluvions, des limons et des sables calcaires de dunes plus ou moins consolidées.

Parmi les nombreux facteurs climatologiques, la température et la pluviométrie jouent un rôle primordial dans le régime d'écoulement (Rossillon, 1984). La zone d'étude est soumise à un climat de type méditerranéen qui se caractérise par des hivers doux avec des températures minimales de l'ordre de 14°C et des étés chauds avec des températures maximales de l'ordre de 33,6 °C. Quant à la pluviométrie, elle est irrégulière au cours d'une même année et d'une année à l'autre. La moyenne annuelle est de l'ordre de 400 mm. Ces dernières années ont été particulièrement

sèches, avec seulement 230, 270 et 267,8 mm enregistrés respectivement au cours des années 1999, 2000 et 2001.

Pour l'évaluation du degré de contamination métallique des sédiments, quatre campagnes de prélèvements ont été

assurées durant les mois de février, avril, juin et décembre 2000, au niveau de 11 stations réparties sur l'ensemble du complexe zones humides de Mohammedia (CZHM) (Fig.1)

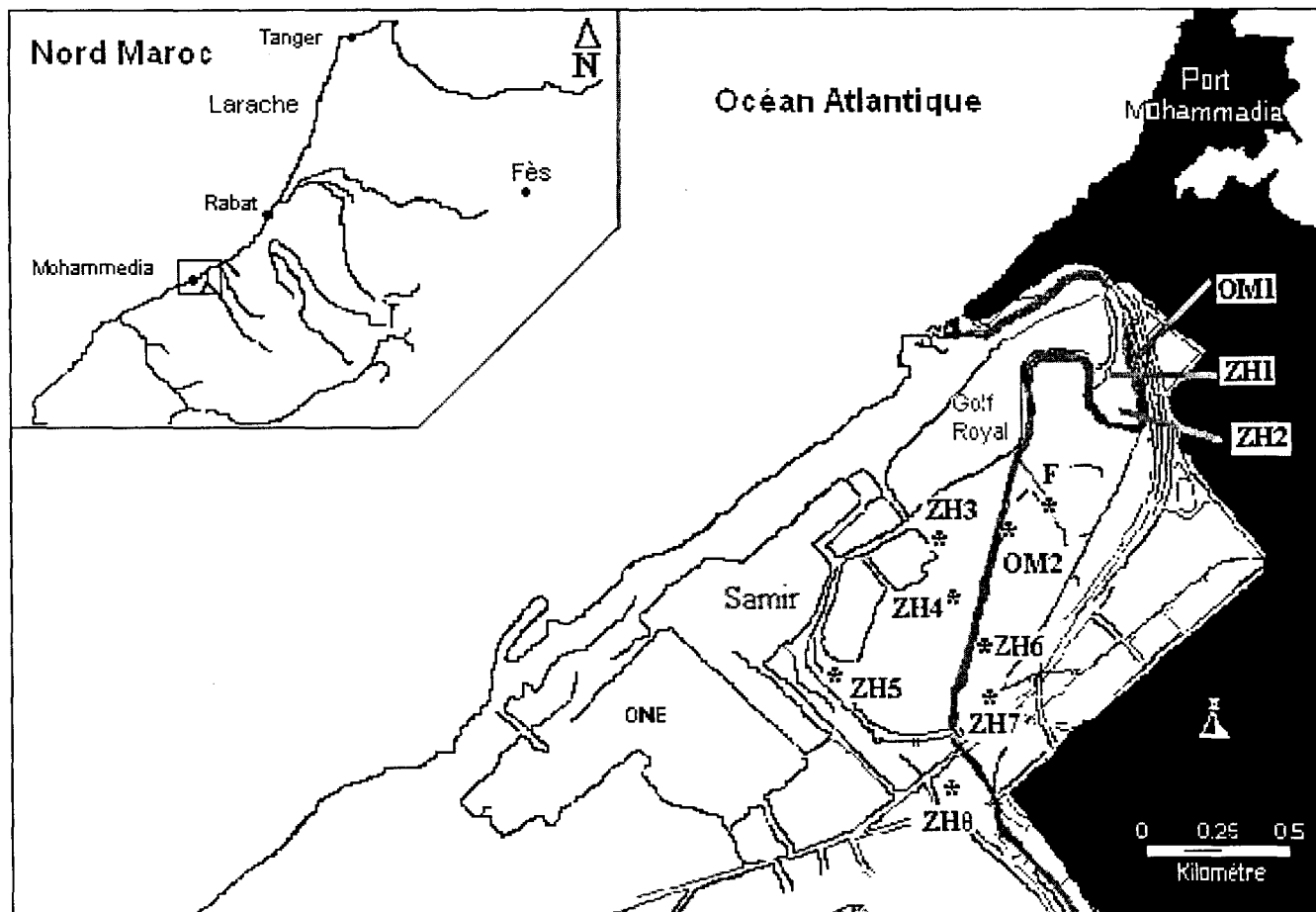


Figure 1-Situation géographique et localisation des stations dans le complexe zones humides de Mohammedia

- Huit zones humides : ZH1, ZH2, ZH3, ZH4, ZH5, ZH6, ZH7 et ZH8 ;

- Deux stations sur l'Oued Mellah : OM1 et OM2 ;

- Une station sur un fossé de drainage des eaux : station F.
Les sédiments destinés aux analyses ont été prélevés à l'aide d'une pelle en plastique, dans des zones à sédimentation calme et riches en matériaux fins et en dépôts organiques. La minéralisation du sédiment, qui consiste en une attaque par un mélange d'acide pour détruire la matière organique, a été assurée selon la voie humide.

Au laboratoire, elle a été réalisée après séchage et broyage de 0,5 g de sédiment (fraction < 63 µm), dans des béchers en présence d'un mélange d'acides purs HNO₃/HF/HCl (1v/1v/2v) puis chauffés à 150°C environ pendant 2 heures, et évaporés à sec. Le minéralisat est repris par rinçages successifs avec de l'eau bi-distillée puis filtré sur filtre Wattman sans cendre (0,45 mm) et complété à un volume final de 100 ml.

Le dosage du Pb du Cr et du Cu est effectué par spectrophotométrie d'absorption atomique (Pattern Varian

AA 20) avec four à graphite, celui du Zn et du Fe par spectrophotométrie d'absorption atomique de flamme.

La validité des méthodes analytiques est vérifiée par contrôle interne à l'aide des échantillons standards (Conseil National de Recherches de Canada : BCSS-1) et par contrôle externe à l'aide d'exercices d'intercalibration (AIEA, 1998, 1999).

RESULTATS ET DISCUSSION

Contamination métallique

Les résultats des teneurs moyennes des sédiments en éléments traces et en matière organique sont représentés dans le tableau 1 et les figures 2 et 3.

Une première estimation de l'état actuel de la qualité physico-chimique des eaux superficielles du CZHM, témoigne d'une minéralisation importante (150 ms/cm), de la présence d'une forte charge organique (140 ppm de DBO5) et d'un important déficit en oxygène dissous (0,2 mg/l). Cet état écologique devient critique en période estivale par manque d'apports d'eau (absence de dilution)

qui favorise l'accumulation de la matière organique au fond des plans d'eau.

En effet, l'interprétation et l'évaluation de la contamination d'un sédiment reste tributaires d'une connaissance des teneurs de référence, difficiles à établir en raison de leur grande hétérogénéité liée aux facteurs géochimiques et lithologiques des sédiments (Belamie *et al.*, 1982). A ces facteurs s'ajoutent les disparités dues aux méthodes analytiques préconisées. Par ailleurs, les teneurs de référence doivent être établies à l'échelle régionale sur un site dépourvu de toute pollution anthropique (Boust *et al.* 1981). Pour l'évaluation de la contamination métallique des sédiments du CZHM, et en absence d'une zone dépourvue de toute pollution dans la région, s'est posé le choix des teneurs de référence.

Selon Vernet *et al.* (1977) deux méthodes sont possibles pour la détermination des teneurs de référence:

1- la moyenne des plus faibles valeurs relevées dans la zone d'étude.

2- l'analyse des sédiments d'âge préindustriel prélevés dans une carotte.

En l'absence d'analyse sur des sédiments d'âge préindustriel nous avons adopté la première méthode pour définir les teneurs de référence.

L'analyse de la teneur des éléments traces des sédiments (Fig.2) montre que les stations F, OM1 et OM2 sont les plus contaminées par rapport aux teneurs de référence, particulièrement pour le Pb (15, 56,7 et 57 ppm), le Cu (68,5, 70,75 et 71,25 ppm), le Cr (83,2, 121,7 et 138 ppm) et le Zn (66,2, 66,4 et 724 ppm). Pour le Fe, on note une certaine homogénéisation pour l'ensemble des stations avec une surcharge au niveau des stations 3, 4 et 5. Cette présence générale pourrait être en relation avec la nature du terrain calcaire et riche en fer (une étude géochimique en cours réalisée sur ces sédiments confirme cette hypothèse.

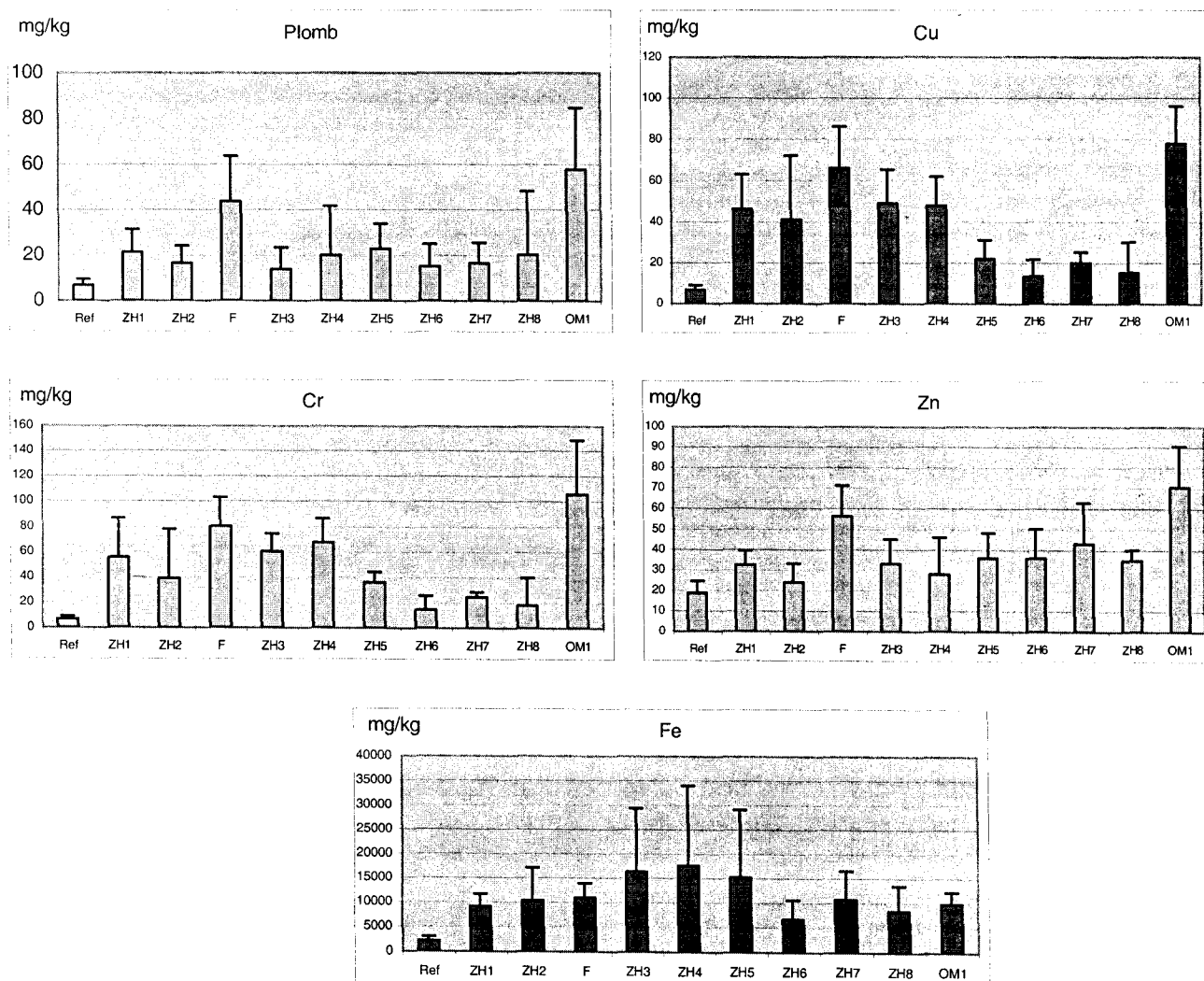


Figure 2-Evolution des teneurs métalliques des sédiments dans le complexe zones humides de Mohammédia (mg/kg de PS). Cependant, cette variation spatiale des teneurs métalliques pourrait être liée à leurs valeurs élevées en matière volatile (organique), en carbonates, mais surtout à la charge polluante ramenée par le cours central (Oued Mellah) et l'importance de la colonne d'eau (débit). En effet, la turbulence de l'eau est le facteur qui influence l'adsorption

des métaux aux sédiments (Lietz & Galling, 1989). Le changement dans le régime hydrologique du cours d'eau (basse eau en été, haute eau en hiver).

L'augmentation de la turbulence et les possibilités des crues pendant les années pluvieuses sont autant de facteurs qui augmentent le risque de la remise en suspension des métaux accumulés le long du cours principal (OM1, OM2 et F) et leur transport et drainage vers les autres zones humides situées de part et d'autre. L'accumulation de ces éléments toxiques dans ces sites calmes et productifs sont favorisés par plusieurs facteurs tels que la matière organique, le pH alcalin, la présence du calcium, les hydroxydes de fer, la fraction fine, les conditions d'anaérobiose, etc. (Sharma and Yadav, 1986; Qian *et al.*, 1996; Bauske et Goetz, 1993; Smith, 1994; Temminghoff *et al.*, 1998). Le fer, élément important pour le pouvoir complexant d'un sédiment, en plus de son propre accumulation entraîne celle des autres métaux lourds [Förstner and Wittman, 1979]. C'est en fait le seul élément dont la teneur est relativement importante dans toutes les stations.

Indice de contamination métallique

Belamie *et al.* (1982) évaluent le degré de contamination d'un sédiment par comparaison des teneurs relevées aux valeurs de référence en calculant pour chaque site donné et par métal, un indice de contamination (Ic) égal à :

$Ic = \text{Teneur du métal} / \text{teneur de références}$ et un indice moyen $I_{cm} = \sum Ic/n$

Rosso *et al.* (1993) suivent le même raisonnement en proposant un indice de contamination comme étant égal au rapport de la teneur mesurée sur la teneur de référence.

L'analyse de cette contamination basée sur les Ic spécifiques à chaque métal, confirme les premières observations (Fig.3) et révèle une pollution polymétallique dominée par deux ou plusieurs éléments. L'ensemble des zones humides présente un Ic supérieur à 1 et ceci pour l'ensemble des métaux étudiés. Ces indices témoignent d'un apport dû principalement aux activités humaines (Angelidis & Aloupi, 1995)

La classification des stations selon leur I_{cm} permet de distinguer trois classes d'importance :

- classe 1 dont l' I_{cm} est compris entre 0 et 4. Elle regroupe les stations ZH7, ZH8 et ZH6,
- classe 2 dont l' I_{cm} est compris entre 4 et 7, regroupe les stations ZH1, ZH2, ZH3, ZH4, ZH5 et F,
- classe 3 dont l' I_{cm} est supérieur à 7, regroupe les stations OM1 et OM2 situées sur l'Oued Mellah.

Cette classification reflète en fait les influences directes des apports anthropiques véhiculées par l'Oued Mellah, véritable égout à ciel ouvert, sur l'ensemble des zones humides situées sur son parcours immédiat (cl 3) ou celles touchées particulièrement lors de la montée des eaux amont (crues) (cl 1 et 2).

Cette situation se trouve aggravée par le jeu des marées au niveau des stations aval (ZH1, ZH2, ZH3, ZH4, F).

Ce phénomène empêche la descente du bouchon polluant vers le milieu marin, favorisant la décantation des matériaux en suspension et contribuant à la remise en suspension des sédiments fins riches en métaux lourds qui viennent se déposer sur les berges et constituent ainsi une source permanente en substances toxiques dans ces zones humides aval.

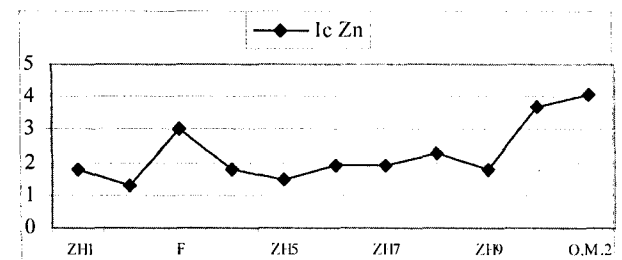
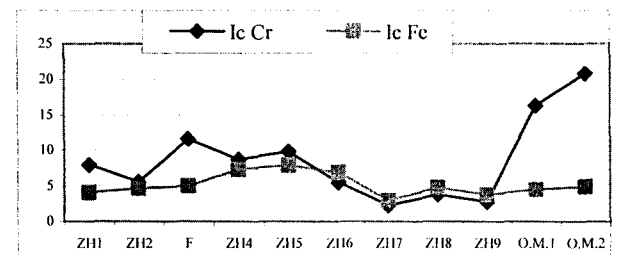
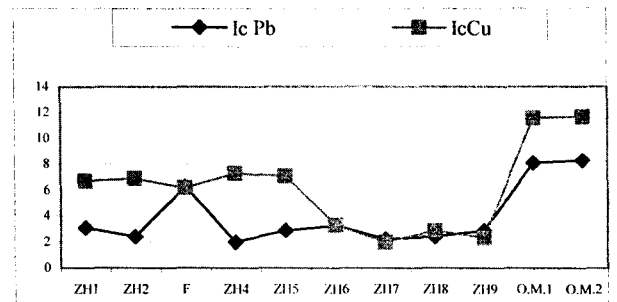


Figure 3-Evolution spatiale des indices de contamination.

CONCLUSION

Les éléments traces dans les sédiments superficiels du complexe zones humides de la ville de Mohammedia ont été estimés qualitativement et quantitativement par l'utilisation de l'indice de contamination (Ic). Cette étude constitue une approche intéressante pour l'évaluation des apports anthropiques en général, et celui des métaux lourds en particulier. L'analyse de la charge métallique a révélé une contamination métallique importante dominée par le chrome, qui reste tributaire de la charge polluante véhiculée par le cours central, des conditions climatiques, du régime hydrologique du cours d'eau, mais aussi de la dynamique marégraphique.

En effet, cette dernière interfère avec cette situation déjà complexe par l'absence de système de traitement adéquat des rejets avant leur évacuation dans le milieu récepteur. La préservation des ressources hydriques devient donc

impérative devant la dégradation dangereuse des écosystèmes aquatiques et exige la mise en place de stations d'épurations adaptées à cette situation.

Références

- AL-shukry R., Serpaud B., Matejka G & Caulet C. (1992). Pollution métallique des sédiments d'un cours d'eau en aval d'un rejet industriel. *Environ. Technol.* 13 : 141-149.
- Angelidis M.O. & Aloupi M. (1995). Metals in sediments of Rhodes Harbour, Greece. *Mar. Pollt. Bull.*, 31 (4-12), 273-276.
- Bauske B. & Goetz D. (1993). Effects of deicing-salts on heavy metal mobility. *Acta hydrochim. Hydrobiol.*, 21 (1), 38-42.
- Belamie R. & Phelippot S. (1982). *Etude du niveau de contamination des sédiments de plusieurs cours d'eau du bassin Parisien (France) par les métaux et les composés organochlorés*. C.E.M.A.G.R.E.F., division qualité des eaux, pêche et pisciculture, rap. n°16, 8p.
- Burton G.A. & Scott K.J. (1992). Sediment, toxicity, evaluations, their niche in ecological assessments. *Environ. Sci. Technol.*, 26, 2068-2075.
- Boust D., Jouanneau J.M. & Latouche C. (1981). Méthodologie d'interprétation des teneurs totales en métaux traces contenus dans les sédiments estuariens et littoraux. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, 30, 72-78.
- Florence T.M. (1977). Trace metals species in fresh waters. *Wat. Res.*, 11, 681-687.
- Friant S.L. (1979). Trace metal concentration in selected biological, sediment and water column samples in northern New England river. *Water Air Soil Pollution*, 11, 455-465.
- Förstner U. & Salomons W. (1980). Trace metal analysis on polluted sediments. Part I: Assessment of sources and intensities. *Environ. Technol. Lett.*, 1, 494-505.
- Förstner V. & Witmann G.T.W. (1979). *Metal pollution in aquatic environment*. Springer Verlag, 468 p.
- Lascombe C. & CARDOT D. (1984). Connaissance et cartographie de la pollution des eaux courantes. *Bull. Ecol.*, t. 15 (1), 39-45.
- Lietz W. & Galling G. (1989). Metals from sediments. *Water Res.*, 23 (2), 247-252.
- Mathis B.J. & Cummings T.F. (1973). Selected metals in sediments, water and biota in the Illinois River. *J. W. P. C. F.*, 1573-1583.
- Moon C.H., Lee Y.S. & Yoon T.H. (1994). Variation of trace Cu, Pb and Zn in sediment and water of an urban stream resulting from domestic effluents. *Water Res.*, 28, 985-991.
- Pardo R., Barrado E., Perez L. & Vega M. (1990). Determination and speciation of heavy metals in sediments of Pisuerga River. *Water Res.*, 24, 373-379.
- Pasternak K. (1969). Bottom sediment of the polluted dam reservoir at Otmuchow. *Acta Hydrobiol.*, 84, 87-108.
- Qian J., Shan X.Q., Zi-Jian W. & Qiang T. (1996). Distribution and plant availability of heavy metals in different particle-size fraction of soil. *Sci. Tot. Environ.*, 187, 131-141.
- Rossillon J. (1984). *Dynamique des populations de macro-invertébrés benthiques d'une rivière Salmonicole (Samson): Approche des facteurs régulateurs*. Thèse Doct. Es-Sciences. Univ. Notre Dame de Paris, Nemur, 199p.
- Rosso R., Lafont M. & Exinger A. (1993). Effets des métaux lourds sur les peuplements d'Oligochètes de l'ILL et de ses affluents (Haut-Rhin, France). *Ann. Limnol.*, 29 (3-4), 295-305.
- Sharma B.M. & Yadav S.P. (1986). Leaching losses of iron and manganese during reclamation of alkali soil. *Soil Sci.*, 142 (3), 149-152.
- Smith S.R. (1994). Effect of soil pH availability to crops of metals in sewage sludge-treated soils. I. Nickel, copper and zinc uptake and toxicity to Ryegrass. *Environ. Pollut.*, 85, 321-327.
- Snoussi M. (1984). Comportement du Pb, Zn, Ni et Cu dans les sédiments de l'estuaire du Loukous et du proche plateau continental (Côte Atlantique Marocaine). *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, 30, 71-86.
- Temminghoff E.J.M., Vander Zee S.E.A.T.M. & DE Haan F.A.M. (1998). Effects of dissolved organic matter on mobility of copper in a contaminated sandy soil. *Europ. J. Soil Sci.*, 49, 617-628.
- Vernet J.P., Rapin F., Favarger P.V. & Fernex F. (1977). Contamination des sédiments marins (côte d'Azur) par les métaux lourds (Hg et Cd): quelques problèmes méthodologiques. *Rev. Int. Oceanogr. Med.*, t. XLVII, 91-95.