

## Contamination métallique de la nappe aquifère de la lagune de Moulay Bouselham

Naima Hmama<sup>1</sup>, Mohammed El Youssi<sup>1</sup>, Mohammed Fekhaoui<sup>2</sup>  
Larbi Idrissi<sup>3</sup> & Abdellah El Abidi<sup>3</sup>

1- Département des Sciences de la terre, Faculté des Sciences, Rabat.

2- Unité d'Hydrobiologie et Ecotoxicologie, Institut Scientifique, Rabat.

3- Laboratoire de Toxicologie, Institut National d'Hygiène, Rabat.

**Résumé** On se propose d'évaluer la contamination métallique des eaux souterraines de la Lagune de Moulay Bouselham (site RAMSAR), en relation avec les activités agricoles très développées dans la région. Cinq métaux lourds, Cu, Zn, Cr, Fe et Pb, ont été dosés dans les eaux de 9 puits. Le suivi a été réalisé durant 2 campagnes de prélèvements avril et juin 1999. Les niveaux des métaux lourds analysés ont révélé l'existence d'une relation de causalité entre les activités agricoles au niveau des sites étudiés et les degrés de contamination enregistrés. En effet, les stations situées au niveau de la lagune accusent des concentrations moyennes particulièrement en plomb et chrome en Fe, Zn, Cu et Pb et témoignent dans la majorité des cas de la coexistence d'au moins deux de ces éléments, au niveau d'un même site. Par ailleurs, la typologie spatiale de la contamination, montre une présence dangereuse en plomb et chrome mais une absence d'une contamination par les autres métaux. Les teneurs relevées sont respectivement inférieures à la Concentration Maximale Admissible (CMA) préconisée par l'OMS pour les eaux d'alimentation.

Ce travail a permis la mise en évidence d'une contamination métallique certaine mais non dangereuse de la nappe phréatique de la zone lagunaire ; il justifie par conséquent la nécessité de la préservation et de la mise en place de moyens de lutte contre la pollution métallique des eaux en général et de celle des eaux souterraines en particulier en réponse à un développement agricole en plain essor.

### Underground water metallic contamination of the Moulay Bouselham Lagoon (Morocco).

**Abstract.** In this paper, we studied the metallic contamination of the underground water of Moulay Bouselham Lagoon in relation with the very developed agricultural activities in the region. Five heavy metals (Cu, Zn, Cr, Fe and Pb) have been measured out in waters of 9 wells sweeping the agricultural and lagoon zone.

The follow-up has been realized during 2 samplings between April and June 1999. The obtained results revealed the existence of a causality relation between the agricultural activities in the studied stations and the level of metallic contamination. Indeed, stations situated near the lagoon showed high levels of Cr and Pb ; in addition, in the majority of cases we noted a coexistence of at least two elements in the same site.

In general the measured concentration show no superior contents to Maximal Admissible Concentrations recommended by the World Health Organization for underground waters.

It is concluded that this investigation demonstrated the existence of a metallic contamination of the underground water but not dangerous and efforts should be displayed to find efficient solutions against this pollution.

### INTRODUCTION

Les zones humides, en général, et les lagunes côtières en particulier, constituent le plus souvent un milieu productif d'une stabilité relative et un environnement sédimentaire soumis à une double influence hydrodynamique océanique et continentale. Leur fonction d'abri et leurs fortes ressources halieutiques font d'elles un foyer d'occupation humaine depuis les premiers temps ; Elles jouent ainsi un rôle fondamental dans les cycles biologiques de nombreuses espèces, pour lesquelles elles sont considérées comme des lieux de reproductions, de « nurseries » et d'alimentations.

Elles font l'objet d'exploitation des ressources naturelles (surpâturage, coupes de joncs, sur-pêche, chasse, braconnage,...), d'intensification de l'agriculture, d'urbanisation, d'industrialisation et d'aménagements touristiques. Ces différentes activités constituent une source d'impact sur ces milieux.

Les modifications dues à l'homme rendent l'évolution naturelle des lagunes moins perceptibles ; c'est pour cela que, depuis quelques années, s'est manifesté dans la communauté scientifique internationale un intérêt croissant pour ces écosystèmes originaux. Une étude scientifique et une connaissance profonde du fonctionnement des lagunes sont un préalable à tout aménagement utilisant leurs La lagune de Moulay Bou Selham (appelée également la Merja

Zerga) constitue la plus importante zone humide marocaine. C'est une zone humide d'importance internationale pour l'avifaune. Elle est l'un des quatre sites retenus par la convention de RAMSAR (1980) sur la conservation des zones humides d'importance internationale.

Elle reste cependant exposée à une activité humaine très importante et donc au risque de pollution, notamment d'origine agricole, puisque plus de 6000 hectares de périmètres irrigués déversent leurs eaux de drainage par le biais du canal de Nador et de l'oued Drader.

Compte tenu de la charge polluante minérale et organique d'origine agricole produite tant dans la zone immédiate que plus en aval aux niveaux des zones irriguées, la qualité des eaux souterraines se trouve donc menacée par les différentes formes de polluants notamment les métaux lourds.

Ces éléments traces, associés aux divers rejets, représentent les polluants les plus redoutés pour ces milieux en raison de leur concentration par certains organismes vivants (Sabhi, 1997, De Boer J et al., 2001, UNEP/FAO. 1993, El Hraiki et al., 1992) et leur implication dans les phénomènes de bioaccumulation et bioamplification dans les chaînes alimentaires. Ils soulignent un des aspects les plus inquiétants pour la santé environnementale (Tarras-Wahlberg et al., 2001, Ramade, 1992, Abou-Arab 2001). Les effets toxicologiques du Plomb et Chrome en matière de

santé publique ont été largement mis en évidence par des travaux antérieurs. (Roony *et al.*, 1999 ; Derache R. 1989; Nomiya 1973, Purves , 1977 ; Bertouille, 1978 ; Ui,1972) Contrairement aux deux éléments précédents, le zinc, le fer et le cuivre sont dotés d'un rôle physiologique et interviennent dans diverses réactions métaboliques ; néanmoins, ils peuvent présenter un risque pour la santé humaine en cas de toxicité chronique.

L'objectif de ce travail est d'évaluer à travers une analyse quantitative, la concentration de certains métaux lourds toxiques comme le plomb (Pb), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le fer (Fe) et le chrome (Cr) dans les eaux souterraines de la lagune de Moulay Bou selham et d'évaluer les risques

## MATERIELS ET METHODES

### Milieu d'étude

La lagune de Moulay Bou selham est située au Nord-ouest du Maroc central, entre la chaîne du Rif et la Méséta. C'est le milieu lagunaire le plus septentrional de la côte atlantique marocaine. Elle est située à 120 km au Nord de Rabat .

Le climat de la région est caractérisé par une double influence ; océanique atlantique favorisée au détriment des influences méditerranéennes ou continentales (Lecoz 1964) et par un degré hygrométrique élevé.

Les précipitations moyennes annuelles dans la Lagune varient entre 600 et 650 mm. Elles varient suivant les années (exemple : < à 350 mm en 1985 et > à 800 mm en 1963). La pluviométrie moyenne annuelle calculée sur une période de 10 ans (1982-1992) est de 525 mm. La température moyenne annuelle dans la lagune est de 18°C. On y distingue, cependant, deux saisons : une saison froide humide (octobre à mai) avec une température moyenne de 10°C et un minimum entre 4 et 6°C en janvier, et une saison chaude et sèche (juin à septembre) avec une moyenne de 30 °C et un maximum obtenu le mois de juillet (36 °C).

La lagune de Moulay Bou selham qui appartient au bassin du Gharb et plus particulièrement au bassin de Drader-Souïre, est alimentée en eaux douces d'une part par les deux émissaires; Canal de Nador et l'Oued Drader et d'autre part par une nappe aquifère d'une importance moyenne. (fig 2), alimentée essentiellement par les infiltrations des eaux de pluies (Combe, 1975). Les exutoires de la nappe sont les sources de la rive gauche de Oued Souïre au nord, la Merja Halloufa à l'ouest, la Merja Zerga au sud-ouest et les sources de la rive droite de Oued Drader au sud. Le réservoir aquifère est constitué par des formations poreuses mais peu perméables (Combe, 1975) : des sables fins à lumachelles et grès fins argileux du pliocène surmontés par des sables fins à moyens et calcaires gréseux du quaternaire.

### Stations de prélèvements

La présente étude est conduite sur un réseau de 9 stations réparties sur l'ensemble de la Lagune. Elles ont été choisies en fonction de leur rapprochement de la lagune, des zones agricoles et des douars et agglomérations juxtant ce milieu. (figure 2)

Cinq éléments toxiques, le Plomb, le Cuivre, le Chrome, le Fer et le Zinc ont été recherchés dans les eaux de 9 points (figure 1)

### Echantillonnage et préparation des échantillons :

Deux campagnes de prélèvements ont été effectuées dans les 9 puits choisis avril et juin 1999.

Pour l'analyse des métaux traces : Pb, Zn, Cu, Fe et Cr, l'échantillonnage a été effectué dans des flacons en polyéthylène spécialement lavés avec l'acide chlorhydrique (10%) suivi d'un rinçage avec de l'eau distillée. Pour l'analyse du mercure, les prélèvements ont été effectués

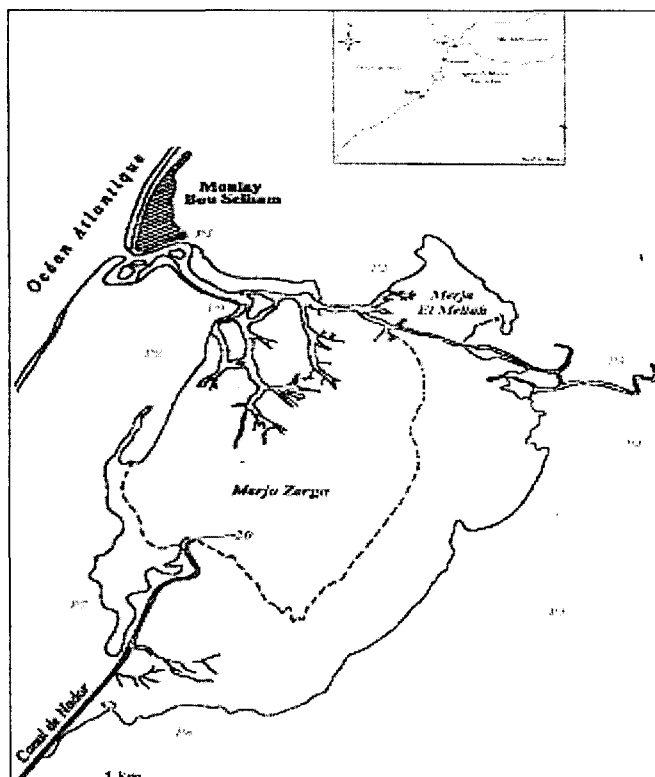


Figure 1-Localisation géographique de la lagune MBS et des puits de prélèvements.

dans des flacons en verre préalablement lavés à l'acide nitrique (dilué au demi) et rincés à plusieurs reprises à l'eau bi distillée. Les échantillons sont par la suite fixés par l'acide nitrique à 2 % (65% supra pur Merck) et transportés à basse température (+4°C) jusqu' au laboratoire.

Le dosage du Pb, Cu et Cr est effectué par spectrophotométrie d'absorption atomique avec four à graphite (Pattern VARIAN AA 20), 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

Les résultats des analyses métalliques sont présentés dans la figure 2.

En général, les concentrations sont variables d'une station à une autre et d'un élément à un autre. Elles sont discutées sur la base de plusieurs normes (WHO , 1993 ; EPA, 1992; CEE, 1980; Décret 03/01/89 (tableau 1).

**Plomb :**

Les valeurs moyennes relevées témoignent d'une contamination irrégulière et parfois importante. En effet, la valeur minimale de 3.5 µg/l est enregistrée au niveau du P6 et une valeur maximale de 22,82 µg/l enregistrée au niveau de P1 (zone de forte influence proche du chenal principal).

Cependant, l'analyse détaillée des teneurs en Pb montre que les faibles valeurs ont été enregistrées au niveau des stations situées à l'extrémité de la lagune et les concentrations les plus élevées ont été notées au niveau des stations situées au niveau de la zone proche de la lagune.

**Zinc :**

En général, les teneurs en zinc indiquent des concentrations très faibles pour l'ensemble des puits à l'exception du puit 5 où nous avons notés une valeur de 0,018 µg/l

Par ailleurs, et malgré cette présence notable du zinc dans ces eaux, les teneurs enregistrées au niveau de toutes les stations restent inférieures à la concentration maximale admissible recommandée par l'OMS pour l'élément Zinc dans les eaux d'alimentation (5 000 µg/l).

**Cuivre :**

Comme pour le zinc, seules quelques stations montrent des teneurs relativement importantes. La charge maximale est de l'ordre de 15,5 µg/l (P1) et la charge minimale est de l'ordre 0,08 µg/l (P6)

Les concentrations en cuivre restent néanmoins très faibles par rapport à la concentration maximale admissible fixée par l'OMS pour l'élément cuivre dans les eaux d'alimentation.

**Fer :**

Concernant nos résultats, nous pouvons constater des teneurs très faibles en fer, de l'ordre de 0,001 µg/l et 0,074 µg/l. Seule le P1 montre une teneur relativement moyenne (0,628 µg/l) Néanmoins, les valeurs relevées sont inférieures à la CMA préconisée par l'OMS, pour les eaux de boisson (WHO , 1993).

**Chrome :**

La présence du chrome est effective à l'ensemble des puits. Avec le Plomb il présente des valeurs anormalement élevées qui varient entre de 23,26 µg/l et 5,45 µg/l.

La présence, de cet élément reste moyenne si l'on en juge par la valeur maximale admissible fixée par l'OMS pour cet élément dans les eaux d'alimentation, qui est de l'ordre de 5 µg/l.

Ainsi, l'ensemble des analyses métalliques effectuées au niveau 9 stations d'étude révèle, d'une manière globale, la présence d'une contamination métallique moyenne à faible particulièrement pour le Plomb et le chrome. Pour ces deux éléments la contamination touche l'ensemble des puits.

Nos résultats, confrontés à la norme de l'OMS relative aux eaux de boisson, ont révélé des valeurs ne dépassant pas les CMA et les valeurs maximales admissibles de l'OMS pour l'élément fer, et par d'autres normes internationales pour les eaux de boisson (Tableau II) (WHO , 1993 ; EPA, 1992; CEE, 1980; Décret 03/01/89 ).

Tableau I-Comparaison des normes internationales de métaux lourds pour les eaux de consommation aux valeurs relevées

| Pays                 | USA     | OMS  | E   |      | FRANC          |
|----------------------|---------|------|-----|------|----------------|
|                      | MCL     | G.V  | CE  | CMA  | E              |
| Métaux lourds (µg/l) |         |      | N.G |      | Limite qualité |
| Plomb                | AL 15   | 10   |     | 50   | 50             |
| Zinc                 | 5000    | 3000 | 100 | 5000 | 5000           |
| Cuivre               | AL 1300 | 1000 |     |      |                |
| Fer                  | 300     | 300  | 50  | 200  | 200            |
| Chrome               | 5       | 3    |     | 5    | 5              |

MCL : Maximum Contaminant Level = Concentration maximale  
 AL : Action level = Niveau d'action  
 G.V : Guideline value = niveau guide  
 N.G : Niveau guide  
 CMA : Concentration maximale admissible

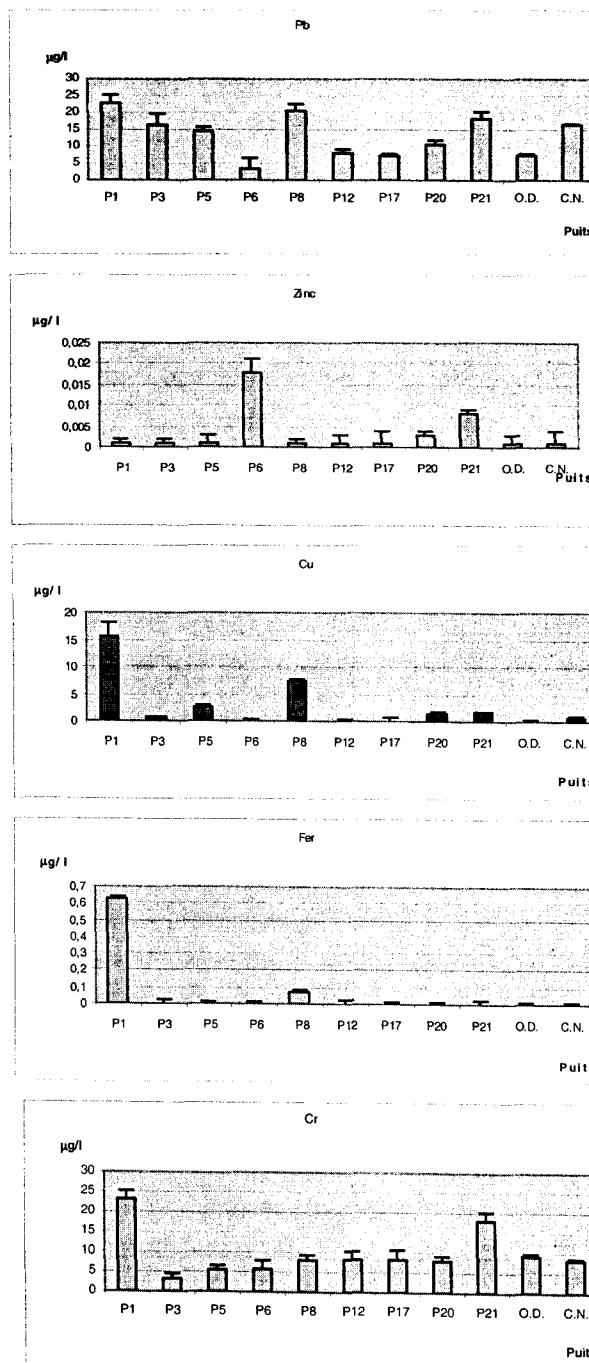


figure 2 : Evolution spatiale des teneurs moyennes (n=3) dans les différents puits.

En effet, toutes les valeurs indiquent une absence de contamination de cette nappe par les éléments toxiques. Ils sont inférieurs aux concentrations maximales admissibles (tabl. I)

A part le Plomb et le Cr, la majorité des autres métaux lourds analysés existent à des concentrations très inférieures aux concentrations maximales admissibles, préconisées par les normes internationales pour l'eau potable. Ce qui laisse supposer que l'on peut conclure en une absence de contamination critique par les éléments, fer, zinc et cuivre des eaux souterraines de la lagune. Cependant, si les concentrations enregistrées n'incitent pas à des inquiétudes immédiates et ne peuvent être à l'origine de toxicité aiguë, il faut souligner que le risque écotoxicologique réside dans le caractère cumulatif des métaux lourds qui interviennent dans des phénomènes de bioaccumulation, voire de bioamplification (Tarras-Wahlberg et al., 2001, Ramade, 1992 ; Cheggour et al., 1999).

Les métaux lourds peuvent ainsi s'accumuler à faibles doses dans les différents organes et atteindre le seuil toxique en altérant soit les réactions métaboliques chez les individus, soit en entraînant des perturbations démoécologiques au niveau des populations des écosystèmes touchés.

La présence de plusieurs métaux, au niveau de certains puits étudiés souligne la diversité des polluants dans les rejets industriels et pourrait être à l'origine de phénomène d'interaction de synergie dans leur action toxique.

## Conclusion

La présente étude a mis en évidence la présence d'une contamination métallique très localisée dans les eaux souterraines de la lagune de Moulay Bouselham. Les polluants sont présents à des concentrations d'importance variable d'un site de prélèvement à l'autre. Néanmoins, la globalité des résultats montre que les sites de prélèvement situés proche de la lagune à proximité du chenal principal ont révélé une contamination significative par les métaux lourds analysés particulièrement le Plomb et le chrome.

L'utilisation de produits chimiques et de fertilisant en agriculture et l'apport des eaux de drainage de la zone irriguée (particulièrement des rizicultures) et de l'Oued sebou situé en aval ; cours d'eau très contaminé par le chrome (Fekhaoui, 1990, Fekhaoui et al., 1993), serait en grande partie responsable de la contamination par ces éléments des ces eaux souterraines de la région.

La nature du sol de la région, caractérisée par des calcaires sableux marins, facilite sans doute le passage d'éléments métalliques par infiltration des eaux vers les eaux souterraines.

Notre étude contribue donc à mettre en évidence que les ressources en eaux souterraines de la région sont confrontées à un sérieux problème de pollution par les métaux lourds, notamment par le plomb et le chrome. Les métaux lourds présents à des concentrations faibles sont à considérer également à cause des phénomènes de toxicité chronique et les effets d'interaction. Ils représentent ainsi des risques certains pour la santé des populations et pour la qualité des ressources naturelles.

## Références

- Abou-Arab AA. 2001- Heavy metal contents in Egyptian meat and the role of detergent washing on their levels. *Food. Chem. Toxicol.*; 39 (6) : 593-599.
- Bertouille S. (1978) : *Absorption et localisation du cadmium chez le soja*. Mémoire de licenciés en Sciences Botanique. Univ. Catholique de Leuven : 68p.
- CEE : Directive Européenne du 15/07/80 - 80/778/CEE. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine.
- Cheggour M, Chafic A, Texier H, Bouhallaoui A, Gharbi N, Boumezzough A et Elattar J. 1999-Bioaccumulation de quelques éléments métalliques chez l'huître *Crassostrea gigas* (Thunberg) en élevage dans la lagune de Oualidia (Maroc) : Rôle des facteurs écologiques et biologiques. Société Française de Malacologie. *Haliotis*; 28 : 31-44.
- Combe M. 1975-ressources en eau du Maroc, plaines et bassins du Maroc. Notes et mémoires du service géologique du Maroc, n°23 tome 2.
- De Boer J, Van der Zande TE, Pieters H, Ariese F, Schipper CA, van Brummelen T, Vethaak AD. Organic contaminants and trace metals in flounder liver and sediment from the Amsterdam and Rotterdam harbours and off the Dutch coast. *J. Environ. Monit.* 2001 ; 3 (4) : 386-93.
- Derache R. 1989- Toxicologie et sécurité des aliments. Tech.Doc.Lavoisier.: 159-178.
- El Hraiki A, Kessabi M, Sabhi Y, Bernard P et Buhler DR. 1992-Contamination par le cadmium, le chrome, le mercure et le plomb des produits de la pêche marocaine prélevés en mer Méditerranée. *Rev. Méd. Vét.*; 143 : 49-56.
- EPA 1992: Drinking water regulation. USA - Avril 1992.
- Fekhaoui M., 1990-: *Recherches Hydrobiologiques sur le Moyen Sebou soumis aux rejets de la ville de Fès: suivi d'une macropollution et de ces incidences sur les différentes composantes de l'écosystème*. Doctorat d'Etat Es Sciences Biologiques, Fac. Sci., Rabat, 173p.
- Fekhaoui, M., Abouzaid H & Foultaane, A. (1993).-La contamination métallique des sédiments et des algues de l'Oued Sebou à l'aval de la ville de Fès. *Bull Inst. Sci.*, Rabat, n°17, p15-22.
- France : Décret 03/01/89 modifié le 10/04/90 et le 07/03/91. Eaux destinées à la consommation humaine.
- Nomiyama K. 1973- *Toxicity of cadmium mechanism and diagnosis* in : heavy metals in the aquatic environment. Proceeding of the international conference Health, Keenkel. P. A. Ed Pergamon Press. Nashville-Tennessee.: 15-23.

- Purves D. 1977- Trace – *element contamination of the environment*. Edt. Amsterdam –Oxford- Newyork.: 170-182.
- Ramade F. *Précis d'écotoxicologie* Paris : Edition Masson, 1992 ; 300p.
- Roony CP, McLaren RG and Cresswel RJ.-1999- Distribution and phytoavailability of lead in soil contaminated with lead shot. *Water Air and Soil.* ; 116: 535-548.
- Sabhi Y. 1997-*Toxicologie des métaux lourds chez les organismes aquatiques : aspects environnementaux et expérimentaux*. Faculté des Sciences, Fès. Maroc. Doctorat d'Etat; 300p.
- Tarras-Wahlberg NH, Flachier A, Lane SN & Sangfors D 2001- Environmental impacts and metal exposure of aquatic ecosystems in rivers contaminated by small scale gold mining: the Puyango River basin, southern Ecuador. *Sci. Total. Environ.* october 20 ; 278 (1-3) : 239-61.
- Ui J. (1972) : Mercury pollution of sea and fresh water. Its accumulation in water biomass, *Rev. Int. Oceanog. Med. Fr.* : 79-128p.
- UNEP/FAO. 1993-Final reports on research projects dealing with the effects of pollutants on marine communities and organisms. MAP. Technical Reports. Athens ;; Series N° 73.
- WHO : Guidelines for drinking water quality. 1993.