

LES MÉTAUX LOURDS DANS LES SÉDIMENTS SUPERFICIELS DE LA BAIE D'ALGER : INFLUENCE DE L'OUED EL HARRACH SUR LEUR DISTRIBUTION.

Farid ATROUNE* et Abdelhak BOUTALEB**

RÉSUMÉ

La distribution des métaux lourds dans le sédiment marin de la baie d'Alger, issue de l'oued El Harrach est régie par plusieurs facteurs : les caractéristiques des sédiments comme la granulométrie, la teneur en matière organique et la localisation des sources de pollution.

Une grande partie des berges est occupée par des usines métallurgiques qui génèrent beaucoup de métaux lourds et des dépotoirs. La fraction fine du sédiment piège un nombre important de métaux lourds, lors des crues ces éléments en trace (ETM) charriés par l'Oued El Harrach se jettent en mer ou la dérive littorale et le phénomène de floculation (Chester et Stoner, 1985) et de décantation se charge de la distribution de ces dépôts dans la baie. Les analyses des métaux lourds suivants : Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, Fe, Pb et le Hg ont permis de mettre en évidence dans un premier temps, une association de trois éléments en trace à savoir Zn, Pb et Cu qui représentent un taux de contamination important dans la baie d'Alger. Le mercure reste l'élément le plus dangereux répertorié à ce jour, particulièrement en amont de l'oued et lors des crues en baie et au port d'Alger.

Mots-clés - Sédiments superficiels - Granulométrie - Métaux lourds - Pollution - Baie d'Alger.

HEAVY METALS IN THE SUPERFICIAL SEDIMENTS OF THE ALGIERS BAY : INFLUENCE OF EL HARRACH WADI ON THEIR DISTRIBUTION.

ABSTRACT

The distribution of heavy metals in the marine sediment within the Oued El Harrach is governed by several factors: sediment characteristics as grain size, organic content and location of pollution sources.

Much of the shoreline is occupied by factories that generate a lot of heavy metals and dumps. The fine fraction of the sediment trap a significant number of heavy metals during flood, these trace elements carried by the Oued El Harrach throw themselves at sea or littoral drift and floculation (Chester and Stoner, 1985) and decantation are responsible of the distribution of these deposits in the bay. The analyses of the following heavy metals: Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, Fe, Pb and Hg have permitted to highlight in a first step, a combination of three trace elements namely Zn, Pb and Cu are rate of significant contamination in the Bay of Algiers. Mercury remains the most dangerous listed, until now, particularly upstream of the river and the Algiers harbor.

Keywords - Superficial sediments - Particle size - Heavy metals - Pollution - Algiers Bay.

*Laboratoire Géodynamique des Bassins Sédimentaires et des Orogènes, FSTGAT/USTHB, BP. 32, 16111 Bab Ezzouar, El Alia, Alger.

**Laboratoire de Métallogénie et du Magmatisme de l'Algérie, FSTGAT/USTHB, BP. 32, 16111, Bab Ezzouar, El Alia, Alger.

- *Manuscrit déposé le 29 Mai 2011, accepté après révision le 15 Janvier 2012.*

INTRODUCTION

Le problème de l'environnement est une source d'inquiétude dans le monde, à cause des désastres écologiques dus aux multiples formes de pollution.

L'Algérie est l'un des pays touché par cette pollution, cela interpelle la mobilisation de tout citoyen. Cependant, l'urbanisation non-contrôlée des bassins versants et la présence de sites industriels à risque élevé, proche des concentrations urbaines, ont généré des pollutions et des dégradations considérables, qui ont mis en péril l'environnement et par conséquent la santé publique.

La pollution par les métaux lourds des sédiments superficiels, charriés par l'oued El Harrach se répartissent sur la baie d'Alger d'une manière diversifiée. En effet, Maouche (1987) a montré que la fraction inférieure à $40\mu\text{m}$ occupe plus de 75% des sédiments superficiels de la baie d'Alger; les métaux lourds sont toujours associés à la fraction fine (Robbe, 1982).

L'exemple de l'Oued El Harrach reflète une partie de la crise à laquelle l'Algérie fait face. L'état d'insalubrité prononcé constitue une source de contamination permanente, un danger sérieux pour la santé publique. L'Oued El Harrach draine divers types de pollution, il constitue un égout à ciel ouvert et, par ses odeurs qu'il dégage, il altère le cadre de vie des habitants de la ville d'El Harrach. La cause est due aux rejets des eaux usées domestiques et industriels (métaux lourds, cyanures, matières organiques, acides et bases, différents sels, détergents, hydrocarbures, pesticides,...etc.), que toutes les communes du bassin versant de l'Oued El Harrach, rejettent, dans cet oued. Malgré la station d'épuration (STEP) de Baraki qui est le point de convergence de la quasi-totalité des eaux usées et industriels d'Alger; L'Oued El Harrach se déverse en mer, dans la baie d'Alger, il contribue à la dégradation et au déséquilibre du milieu naturel.

À cet égard, l'objectif de notre travail consiste à évaluer l'impact de la pollution de l'Oued El Harrach, sur l'environnement, en identifiant les différentes sources de pollution et les conséquences de cette pollution sur la baie d'Alger et sur son environnement immédiat.

CARACTÉRISTIQUES DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin versant de l'Oued El Harrach appartient au grand bassin versant côtier algérois. Il couvre une superficie de 1270 km^2 . Il s'étend du nord au sud sur 51 km et de l'est à l'ouest sur 31 km.

Il englobe trois grands domaines physiques différents, dans le sens sud-nord: l'Atlas blidéen et la plaine de la Mitidja, ensuite il se dirige vers le nord-est, au pied du Sahel jusqu'à la cluse d'El Harrach

Ce bassin versant regroupe l'ensemble des communes de la zone centrale de la wilaya d'Alger et une partie des communes de la zone nord de la wilaya de Blida.

La zone d'étude (fig.1) est caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle de 592 mm. La baie d'Alger accueille un réseau hydrographique composé de deux oueds temporaires principaux qui sont l'Oued El Harrach et l'Oued El Hamiz, les rejets liquides au port d'Alger sont au nombre de 26 avec un débit de 9000 l/s (source APPL, 2002). Le débit liquide annuel de l'Oued El Harrach est estimé à $200,00$ et $320,00\text{ Hm}^3/\text{an}$, l'écoulement est étroitement lié à la hauteur des précipitations.

Le débit solide annuel de l'Oued El Harrach dans la baie d'Alger est estimé entre 790 et 950 T/an (Meddi et al., 1998).

Du point de vue hydrodynamique, le littoral algérois est soumis à un régime de houles domi-

LES MÉTAUX LOURDS DANS LES SÉDIMENTS SUPERFICIELS DE LA BAIE D'ALGER :
INFLUENCE DE L'OUED EL HARRACH SUR LEUR DISTRIBUTION.

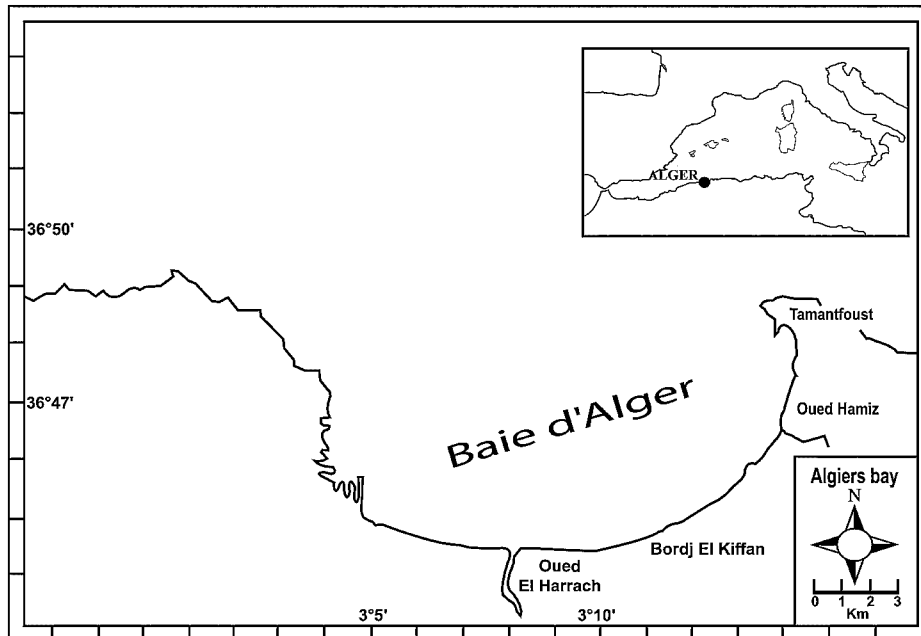


Fig. 1 - Situation géographique de la zone d'étude
Geographical Situation of the study area

nant de direction nord-ouest et nord en hiver et de direction nord-est en été. Les périodes sont de l'ordre de 6 à 9s avec une amplitude maximale de 2m. Après réfraction, les houles NW atteignent la baie perpendiculairement à la côte; la diffraction de ces houles crée un courant latéral responsable du transport des sédiments vers l'ouest de la baie (Maouche, 1987).

Les houles arrivent sur le littoral à l'est de la baie avec une incidence de 60°, engendrant un transfert latéral des sédiments de l'est vers l'ouest.

MÉTHODOLOGIE

L'échantillonnage des sédiments de surface a été réalisé en deux missions (Juillet et décembre 2008) sur les berges de l'Oued El Harrach à l'aide d'une tarière hélicoïdale, (seuls les sédiments de surface sont pris en compte), le positionnement effectué par Yoshida et al. (2005) est repris, et calqué principalement en aval de l'Oued El Harrach (fig. 2).

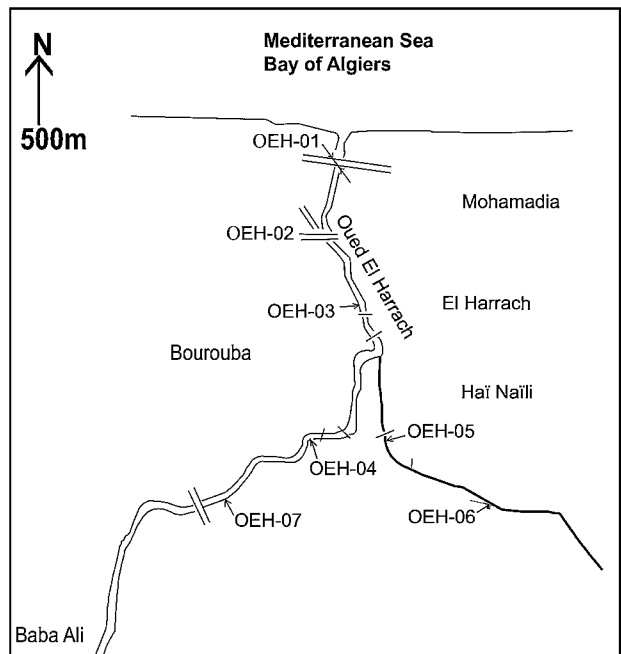


Fig. 2 - Prélèvement des échantillons le long de l'Oued El Harrach (Yoshida et al., 2005)
Sampling along the Oued El Harrach (Yoshida and al., 2005)

Dans la baie d'Alger, l'échantillonnage des sédiments de surface a été réalisé en une mission (mai 2008) à bord d'une embarcation nautique. Les sédiments superficiels ont été prélevés à l'aide d'une benne de type Van Veen; seule la couche superficielle, crème de vase (environ 0,5 cm) est conservée pour l'analyse des métaux lourds. Cette épaisseur représente un temps de dépôt entre 6

mois et 5 ans (Favarger et Vernet, 1979). Pour des raisons de comparaison, le plan de positionnement a été calqué sur la mission effectuée en 1984 (fig.3) par le Laboratoire de Géologie Marine de l'Université de Bab Ezzouar (USTHB), afin d'observer l'évolution de ces sédiments sur une vingtaine d'années.

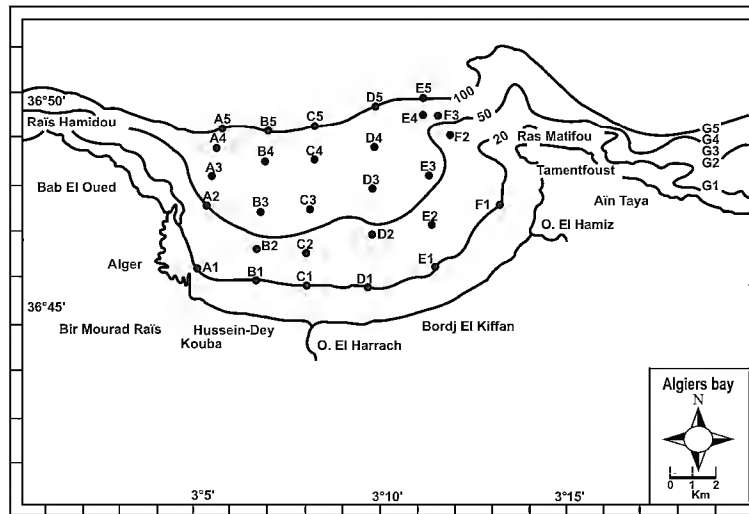


Fig. 3 - Carte de prélèvements des sédiments superficiels de la Baie d'Alger.

Positioning map of samples from superficial sediments of the Algiers Bay.

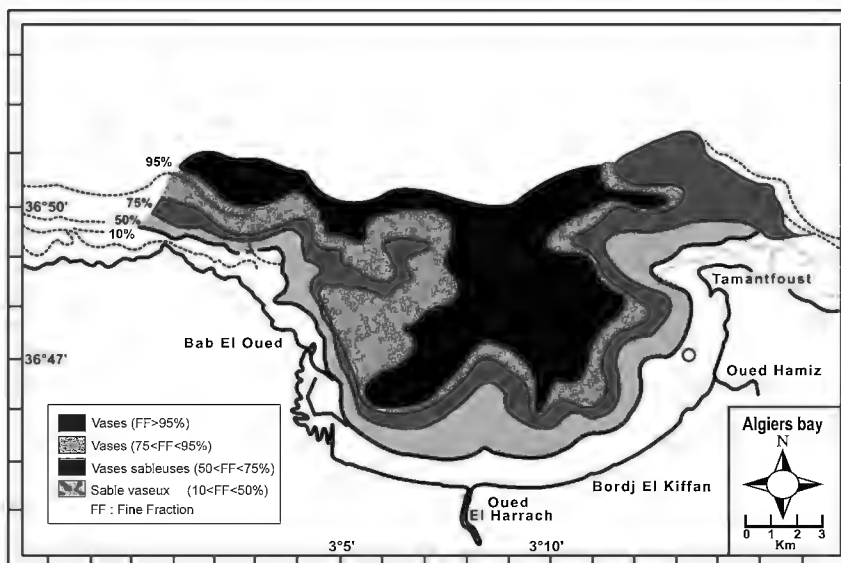


Fig. 4 - Carte de faciès des sédiments superficiels de la Baie d'Alger (Mauouche, 1987).

Facies map of the superficial sediments of the Algiers Bay (Mauouche, 1987).

LES MÉTAUX LOURDS DANS LES SÉDIMENTS SUPERFICIELS DE LA BAIE D'ALGER :
INFLUENCE DE L'OUED EL HARRACH SUR LEUR DISTRIBUTION.

Du point de vue granulométrique, La plupart des auteurs préconisent des analyses sur une fraction granulométrique des sédiments, ce qui permet d'analyser les seuils de détection en métaux lourds (Robbe, 1982). Les sables constituent une phase pauvre en métaux, alors que les particules les plus fines et notamment les argiles, en sont le support principal. Les grosses particules sont éliminées, d'où l'intérêt d'un tamisage à $63\ \mu\text{m}$ séparant la fraction fine de la fraction grossière. Plus les sédiments sont fins, plus ils sont riches en métaux. La granulométrie est donc un des principaux facteurs de variation des teneurs en contaminants dans les sédiments (Robbe, 1982).

Les métaux lourds (Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, Fe et le Pb) ont été dosés à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique (SAA) sur la fraction fine.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans la baie d'Alger, la distribution des sédiments superficiels montre trois types de faciès (fig. 4) : les faciès sableux, les faciès carbonatés (non représentés sur la carte, se trouvent plus au large) et les faciès pélitiques. En fonction du régime dynamique dominant, nous observons le fa-

ciès sableux en bordure du littoral entre 10 et 35 m de profondeur, aux droits des émissaires et au niveau du cap de Tamentfoust et se prolongent en direction du centre de la baie.

Le faciès pélitique (fraction fine $>95\%$), le plus répandu dans la baie d'Alger occupe plus de 75%. Les argiles représentent plus de 60 % des dépôts avec une association illite-kaolinite (accessoirement la smectite) qui se dépose dans le secteur central de moindre turbulence. La chlorite, du fait de sa taille se dépose dans la zone littorale et infralittorale (Maouche, 1987). L'envasement observé en 1984 s'est étendue dans la partie orientale de la baie (fig. 5) qui s'explique d'une part par les houles NE et d'autre part, par le contre courant à l'intérieur de la baie, orienté est-ouest (Millot, 1987).

Le pourcentage de carbonates ($> 40\%$) reste cantonné au large de la baie, ceci est en relation avec l'abondance de faciès grossiers de nature sableuse, riches en débris de coquilles. Ces résultats sont semblables à ceux trouvés dans d'autres zones d'étude sur le littoral algérien (Bakir, 1992; Atroune, 1993; Moulyfi, 1995; Benslama, 1997) et dans la partie orientale de la marge méditerranéenne marocaine (El Moumni et Monaco, 1992).

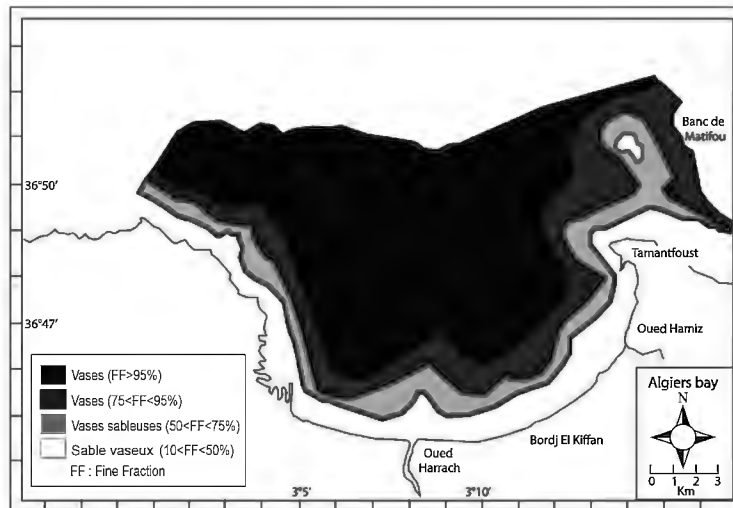


Fig. 5 - Distribution des pélités et des faciès dans les sédiments superficiels de la Baie d'Alger (nos résultats).

Distribution of pelites and facies of the superficial sediments of the Algiers Bay (our results).

MÉTAUX LOURDS

Tableau I - Distribution de la concentration des métaux lourds en aval de l'oued.

Distribution of the concentration of heavy metals below the river.

Métaux µg/g / St	Plomb	Zinc	Cuivre	Chrome	Nickel	Mercure
OEH St 3	174	423	134	277	161	1,23
OEH St 2	170	420	122	276	155	1,2
OEH St 1	150	405	134	269	127	0,16
Embouchure	163	421	156	289	185	0,26

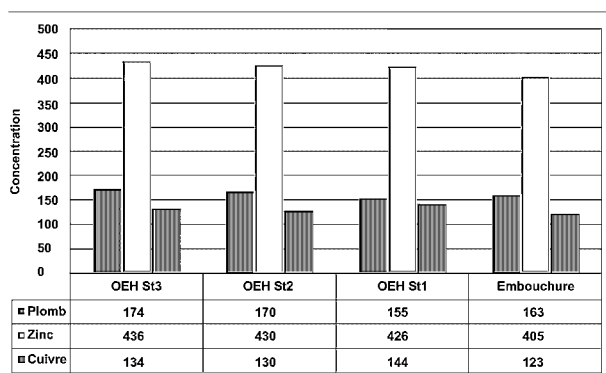


Fig. 6 - Distribution des concentrations de Pb, Zn, et Cu dans l'Oued El Harrach.

Concentration Distribution of Pb, Zn, and Cu in the Oued El Harrach.

La chronologie des études des différents auteurs sur les concentrations des métaux lourds, qui ont caractérisé les principales unités industrielles polluant l'Oued El Harrach, avec la composition de leurs effluents, ont permis d'effectuer un récapitulatif en baie d'Alger (tabl. II)

Les résultats obtenus (fig. 6) indiquent un minimum de concentration de manganèse qui est de (258 µg/g), le zinc (128 µg/g) le fer (3,9 %) et le plomb (33 µg/g) sont des valeurs relativement élevées à celles observées précédemment (tabl. II). Le maximum des concentrations des métaux lourds tels que le Cr (105 µg/g), le Mn (398 µg/g), le Fe (4,5 %) et le Cu (98 µg/g) sont moins marqués par rapport à ceux reportés sur le tableau I.

Les concentrations des métaux lourds s'accroissent en direction du faciès vaseux, (Amore et al., 1983). Les fortes concentrations de fer et de plomb sont recensées au port d'Alger et à l'embouchure de l'Oued El Harrach; ces éléments importants dans le secteur ouest sont étroitement liés à la matière organique qui se présente sous forme colloïdale, elle s'associe préférentiellement au niveau des prodeltas aux argiles les plus fines (Maouche, 1987). Les fortes concentrations de l'association Cu, Zn et Pb ont pour principale source de pollution, l'Oued El Harrach, et à degré moindre l'activité du port d'Alger et les rejets liquides urbains.

Tableau II - Evolution des métaux lourds en (µg/g) en baie d'Alger.

Evolution in heavy metals (µg/g) in the Algiers Bay.

	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb
Maouche, 1987		250-316	3.8-4.8	24-51	123-231	20-161
Chouikhi et al., 1991	nov-84	109-350			72-222	18-117
Boudjellal et al., 1992	15-63	199-370		23-79	60-356	16-93
Benamar et al., 1999	15-159	148-442	3.1-4.1	sept-87	58-274	4-69
Yoshida et al., 2005	36,2-95	630-1100	18,84	28-86	98-520	37-127
Atroune, (nos résultats)	38-105	258-398	3,9-4,5	22-98	128-375	33-154

LES MÉTAUX LOURDS DANS LES SÉDIMENTS SUPERFICIELS DE LA BAIE D'ALGER :
INFLUENCE DE L'OUED EL HARRACH SUR LEUR DISTRIBUTION.

La figure 5 obtenue actuellement, montre que durant 25 années, la carte sédimentologique a visiblement changé, l'envasement s'est prolongé en direction de la partie orientale de la baie d'Al-

ger (stations A2, A3, A4 et B2, B3, B4) qui s'explique en grande partie par les apports solides de l'oued (décantation) et du contre-courant de la baie.

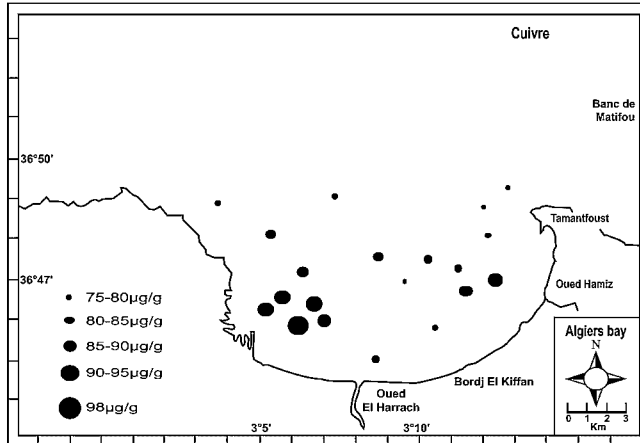


Fig. 7a

Fig. 7b

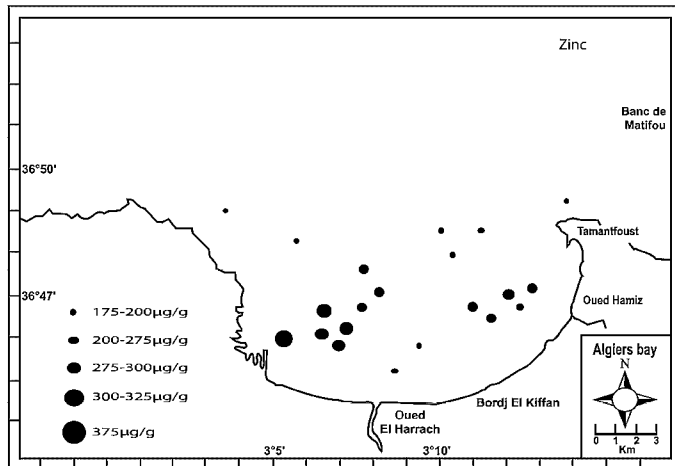


Fig. 7c

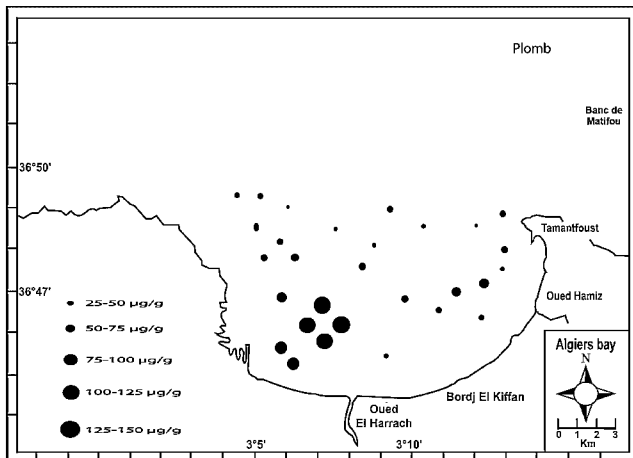


Fig 7a; 7b; 7c - Répartition du Cu, Zn et Pb dans les sédiments superficiels.
Distribution of Cu, Zn and Pb in the surfacial sediments.

La distribution de ces métaux en trace (fig. 7) fait apparaître une certaine ressemblance dans leur répartition. On note que les concentrations les plus élevées se situent en face de l'Oued El Harrach et orientées vers le port d'Alger aussi bien pour le Cu, Zn que pour le Pb et à un degré moindre face à l'Oued El Hamiz.

Ces résultats montrent aussi que la contamination par métaux lourds est élevée, résultat d'une part attribué aux usines en amont (environ au nombre de 200) et d'autre part, par l'importance de l'activité économique au port d'Alger.

La variation de la concentration de mercure (fig.8) dans les sédiments confirme les travaux de Yoshida et *al.* (2007). On observe un taux élevé de mercure ($7,54\mu\text{g/g}$) au droit de l'embouchure de l'Oued El Harrach, à proximité du port d'Alger et aussi en face à l'Oued El Hamiz. Cette contamination de mercure (Hg) est au dessus du seuil toléré TEL (Threshold Effect Level), elle cause des mutations et l'extinction de certains organismes marins.

Les résultats des analyses effectuées montrent que la concentration des métaux lourds (le mercure (Hg), le plomb (Pb), le manganèse (Mn) et le zinc (Zn)) diminue le long de l'oued de l'amont vers l'aval; par contre lors des crues ces

concentrations deviennent importantes en baie d'Alger.

La variation spatiale de concentration de mercure montre une répartition qui change rapidement avec plusieurs zones de concentration (fig.8), ces valeurs sont anormalement élevées, cela s'explique peut être par les suspensions de l'Oued El Harrach. Le mercure reste le seul métal liquide à température ordinaire et, à être volatile (Ramade, 1993). Certaines bactéries des sédiments benthiques ont un rôle essentiel, car elles transforment le mercure minéral en monométhylmercure.

CONCLUSION

Cette étude nous a permis d'évaluer, l'état d'avancement (ou la progression) de la pollution de l'Oued El Harrach constatée il y a une vingtaine d'années. Les fortes teneurs en métaux lourds dans les sédiments superficiels de l'Oued El Harrach et la baie d'Alger se localisaient en aval et à l'embouchure de l'oued ainsi qu' à proximité du port d'Alger. La circulation des eaux au sein de la baie masque la source principale en raison de la diversité des apports.

Les valeurs que nous avons mesurées en métaux lourds sont très variables. Les teneurs en métaux lourds témoignent de l'existence de plusieurs sources de pollution :

- rejets des affluents domestiques et industriels dans la baie par les oueds;
- dispersion du panache des eaux usées déversées dans la mer à travers la canalisation combinée du transit littoral NW et NE.

Les résultats ont montré une similitude de métaux lourds constitués par le Pb, Cu et Zn et le mercure Hg qui dépasse dangereusement le minimum requis.

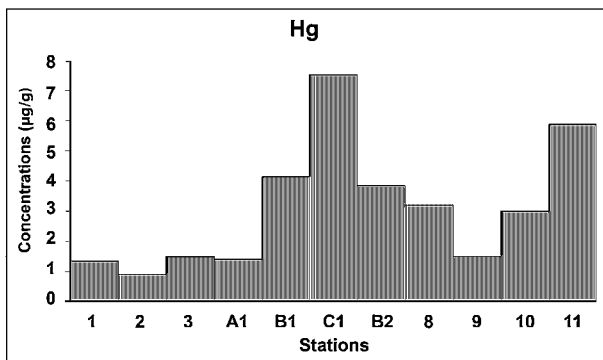


Fig. 8 - Histogramme de la teneur de mercure (Hg) dans les sédiments en Baie d'Alger.

Histogram of the content of mercury (Hg) in the Algiers Bay sediments.

LES MÉTAUX LOURDS DANS LES SÉDIMENTS SUPERFICIELS DE LA BAIE D'ALGER :
INFLUENCE DE L'OUED EL HARRACH SUR LEUR DISTRIBUTION.

BIBLIOGRAPHIE

- AGENCE DE LA PROTECTION ET DE LA PROMOTION DU LITORAL (APPL). 2002. Rapport interne.
- AMORE, C., CASTAGNA, A., CURRAO, A., GIUFFERIDA, E., SRRO, F. AND SINATRA, F. 1983. Relation between heavy metals and sediments in the Southern Ionian Continental Shelf. *Marine Pollution Bulletin*, 0, pp. 14- 19.
- ATROUNE, F. 1993. Étude de la sédimentation du plateau continental de Mostaganem (Algérie occidentale) : rôle de l'Oued Chélif et des organismes carbonatés. *Thèse de Magistère, USTHB, Alger*, 143p.
- BAKIR, M. 1992. Étude de l'ostracofaune du plateau continental de l'oued Chellif et du golfe d'Arzew (marge algérienne): relations microfaune - environnement. *Thèse de Magistère, USTHB, Alger*, 54p.
- BENAMAR, M.-A., TOUMERT, I., TOBBECHE, S., TCHANTCHANE, A. AND CHALABI, A. 1999. Assessment of the state of pollution by heavy metals in superficial sediments of Algiers Bay. *Applied Radiation and Isotopes. Pergamon*, 50, pp. 975-980.
- BENSLAMA, L. 1997. La sédimentation actuelle en baie de Béjaïa : rôle de l'Oued Soummam. *Thèse de Magistère, USTHB, Alger*, 95p.
- BOUDJELLAL, B., SELLALI, B., BENOUD, D. ET MALLEM, M.-T. 1992. Métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger. *Résultats du workshop sur la circulation des eaux et pollution des côtes méditerranéennes du Maghreb. Rabat*, pp. 153-156.
- CHESTNER, R. AND STONER, J.M. 1985. Trace elements in total particulate material from surface seawater. *Nature*, 255, pp. 50-51.
- CHOUIKHI, A., BOULAHIDJ, M., SELLALI, B., BOUDJELLAL, B., ET AZZOUZ, M. 1991. Distribution des sels nutritifs des eaux interstitielles et de métaux lourds dans les sédiments superficiels du golfe d'Arzew et de la baie d'Alger. *Symposium international sur la pollution des eaux marines, Casablanca*. 10p.
- EL MOUMNI, B. ET MONACO, A. 1992. Étude minéralogique et géochimique des dépôts du Quaternaire récents de la partie orientale de la marge méditerranéenne marocaine (mer d'Alboran). *Géologie Méditerranéenne*, tome XIX, n°2, pp. 55-68.
- FAVARGER, P.-Y., ET VERNET, J.-P. 1979. L'isotope ^{137}Cs utilisé comme dateur de la pollution des sédiments lacustres. *Arch. Sc. Genève*, 32, (I), pp. 25-42.
- MAOUCHE, S. 1987. Mécanismes hydro-sédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique. *These Doc. 3^{ème} cycle. Univ. Perpignan*, 214p.
- MEDDI, M., KHALDI, A. AND MEDDI, H. 1998. Modelling soil erosion transport and closely related hydrological processus. *Proceeding of symposium held at Vienna, July 1998*, 1A, 4s publ. n°249, 1998.
- MILLOT, C. 1987. The circulation of Levantine intermediate water in the Algerian basin. *J. Geophys. Res.*, 92 (C8); pp. 8265-8276.
- MOULFI, A. 1995. Les mécanismes de sédimentation récente et les propriétés géotechniques des dépôts de la partie occidentale de la baie de Bou Ismail. *Thèse de Magistère, USTHB, Alger*, 187p.
- RAMADE, F. 1993. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. *Paris, Ediscience internationale*, 822p.
- ROBBE, D. 1982. Pollution métalliques du milieu naturel. Guide méthodologiques de leur étude à partir des sédiments. *Rapport de recherche LPC 104. Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Ministère des Transports Nantes*. 88p.
- YOSHIDA, M., MOALI, M., HOUAS, O., LAKHDARI, M., NECHAOU, L., GUERRIDA, D., CHATAL, A., OUSSALEM, S., MAKOUR, F., KHELIFI, F. AND LALEG, A. 2005. Environmental pollution in Oued El Harrach area, Algiers – A preliminary report on mercury and heavy metals contaminations. *Compte rendu du séminaire sur la pollution et la protection de l'environnement en Algérie, Alger 2005*, pp.19-37.

YOSHIDA, M., MOALI, M., HOUAS, O. ET LAKHDARI, M. 2007. Concentration de l'élément potentiellement toxique dans les sédiments dans la Baie d'Alger. *Compte Rendu des Ateliers et Séminaire conjoints Algérie - Japon sur les normes de qualité et les efforts de protection de l'environnement 2007, Alger*, pp. 96-106.

YOSHIDA, M., MOALI, M., HOUAS, O. ET LAKHDARI, M. 2008. Evaluation de la mobilité des l'élément toxiques dans les sédiments de l'oued El Harrach en utilisant l'expérience des extractions séquentielles. *Compte Rendu du séminaire conjoint Algérie-Japon pour une gestion efficace de l'environnement*, pp. 62-79.