



HAL
open science

Impact des activités humaines sur la dégradation de la qualité des sédiments de l'estuaire de Loukkos (Maroc)

Mohamed El Morhit, Mohamed Fekhaoui, Abdallah El Abidi, Ahmed Yahyaoui, Ahmed Hamdani

► To cite this version:

Mohamed El Morhit, Mohamed Fekhaoui, Abdallah El Abidi, Ahmed Yahyaoui, Ahmed Hamdani. Impact des activités humaines sur la dégradation de la qualité des sédiments de l'estuaire de Loukkos (Maroc). Environnement, Ingénierie & Développement, 2012, N°61 - Juin 2012 (61), pp.8-17. 10.4267/dechets-sciences-techniques.2607 . hal-03171744

HAL Id: hal-03171744

<https://hal.science/hal-03171744>

Submitted on 17 Mar 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Impact des activités humaines sur la dégradation de la qualité des sédiments de l'estuaire de Loukkos (Maroc)

EL MORHIT Mohamed¹, FEKHAOUI Mohamed¹, EL ABIDI Abdallah², YAHYAOUI Ahmed³, HAMDANI Ahmed⁴

1- Laboratoire de toxicologie, hydrobiologie et de pollution de l'Institut Scientifique, Rabat.

2- Laboratoire de toxicologie et d'hydrobiologie de l'Institut National d'Hygiène, Rabat.

3- Laboratoire de Biodiversité et Aquaculture, Faculté des Sciences, Rabat.

4- Institut ITIAP des Sciences Paramédicales, El Jadida.

*Auteur correspondant : Email : morhit_med@yahoo.fr ; GSM : 00 212 6 65 34 89 31

RÉSUMÉ

Les variations spatio-temporelles des teneurs en métaux lourds : le fer (Fe), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le plomb (Pb) et le cadmium (Cd) ont été étudiées au niveau des sédiments de l'estuaire du bas Loukkos en relation avec les diverses activités humaines quelles soient d'origine industrielle, agricole ou domestique.

Les résultats obtenus montrent qu'au niveau de la station où se déversent les rejets des eaux usées de la ville de Larache, on assiste à une modification importante dans les valeurs des principaux éléments (Cr et Pb). En effet, les teneurs métalliques des sédiments de ces éléments atteignent des valeurs particulièrement élevées à trois niveaux : au voisinage du collecteur principal, en amont et en aval de l'estuaire caractérisé respectivement par une forte activité agricole et un rejet d'eau usée domestique ainsi qu'un trafic routier important. L'indice de contamination, l'analyse de variance et l'analyse en composante principale pratiquées réalisés confirment ceci.

Mots clés : Estuaire, Loukkos, sédiments, métaux lourds, contamination.

ABSTRACT

The spatial and temporal variation of 6 trace metals levels (Fe, Zn, Cu, Cr, Pb and Cd) were studied in the sediments of the Loukkos river estuary in relation with various human activities of industrial, agricultural and domestic origin.

The results obtained show that level of the station where the waste is discharged wastewater from the Larache city; there is a significant change in the values of principal elements (Cr and Pb). Indeed, the metal content of the sediments of these values reach particularly high near the main upstream (high agricultural activity) and downstream (domestic wastewater of the city and traffic) from the estuary. Nowadays, the limit for Cr and Pb exceeded the standard of the Domestic network Observation. This has confirmed by the index of contamination, the analysis of variance and the Principal Component Analysis practised.

Key words: Estuary, Loukkos, sediments, heavy metals, contamination.

INTRODUCTION

Les estuaires et les côtes sont des milieux aquatiques complexes et dynamiques caractérisés par une grande importance écologique et économique (MORRIS et al., 1995 ; EL MORHIT, 2009). Ils sont le siège d'une activité humaine intense et/ou soumis à des aménagements hydro-agricoles conduisant à des déversements de divers types de polluants qui perturbent le fonctionnement naturel de ces écosystèmes (EL MORHIT, 2005 ; MODE et al., 2010). Les nombreux polluants organiques et divers oligo-éléments métalliques introduits dans ces milieux aquatiques sont susceptibles de se concentrer chez les organismes vivants à des niveaux parfois supérieurs à leurs taux dans les sédiments et peuvent donc entraîner des problèmes d'ordre écologique, sanitaire et économique (AMIARD-TRIQUET, 1989 ; BRYAN et LANGOSTON, 1992 ; MEDDTL, 2011).

Les métaux lourds peuvent être recyclés par les processus chimiques et biologiques, entre les deux compartiments : l'eau et les sédiments. L'accumulation des contaminants métalliques dans les sédiments peut poser des problèmes environnementaux sérieux (CARMAN et al., 2007). Les concentrations en métaux lourds dans les sédiments de l'estuaire sont habituellement élevées et liées aux activités anthropogéniques considérables (GUERRA-GARCIA et GARCIA-GOMEZ, 2005 ; ZOURARAH et al., 2007 ; CARMAN et al., 2007 ; EL MORHIT et al., 2008).

Dans les estuaires marocains, plusieurs auteurs ont mis en évidence de telles contaminations (CHEGGOUR 1990 ; BOUACHRINE 1995 ; SERGHOUCHNI 1995 ; BELBA-CHIR 1997 ; TAHIRI 2005) qui sont dues aux activités domestiques et industrielles installées le long de la côte marocaine.

Dans ce travail, nous avons procédé à l'étude de l'impact de certaines activités humaines domestiques, industrielles et agricoles sur la qualité des sédiments de l'estuaire de Loukkos (nord du Maroc), et ce à travers un diagnostic de la situation actuelle de la pollution et un suivi rigoureux de son évolution durant deux années consécutives (2006 et 2007).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Stations d'étude

Pour la réalisation de ce travail et tenant compte des diverses activités recensées dans la zone (industries agro-alimentaire, pêcheries, eaux usées domestiques et agricoles), cinq stations, réparties le long de l'estuaire, ont été retenues et définies comme suit (figure 1) :

- Station 1 Dhiria : située au niveau du barrage de garde à 21 km de l'embouchure et reçoit les eaux de drainages des rizicultures situées en amont,
- Station 2 Ain Chouk : située à proximité d'un chenal à 16 km de l'embouchure,
- Station 3 Baggara : distante de 9 km de l'embouchure et caractérisée par un surpâturage, une bonne extension de terrains agricoles,
- Station 4 Grangha : située à 3 km de l'embouchure, elle reçoit les rejets liquides urbains et industriels de la ville de Larache,
- Station 5 Port de Larache : située au niveau de l'embouchure du Loukkos.

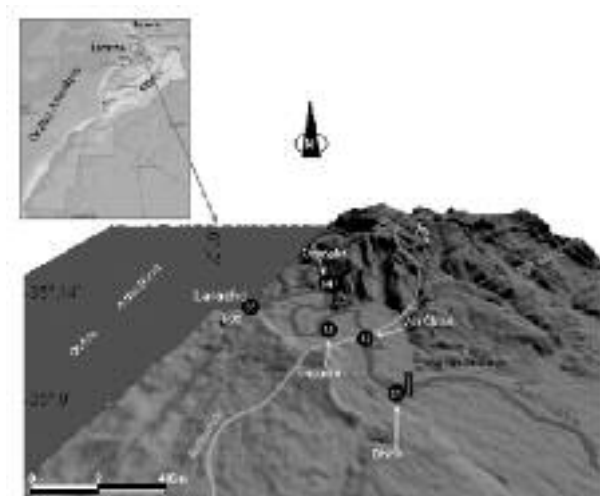


Figure 1. Localisation des stations d'étude dans l'estuaire de Loukkos

2.2. Minéralisation et dosage des métaux lourds

Durant les deux années consécutives (2006 et 2007), 30 échantillons de sédiments superficiels ont été prélevés trimestriellement (mars, mai et juillet) (tableau II.2), au niveau des cinq stations réparties le long de l'estuaire. Séchés à l'étuve pendant 48 heures à 80°C et tamisés dans un tamis à maille inférieure à 100 μ m, 0,3 g de ces sédiments ont été minéralisés à 120°C pendant 4 heures en présence de 4 ml d'acide fluorhydrique et 2 ml d'un mélange acide chlorhydrique et acide nitrique (EL ABIDI et al., 2000 ; PEREZ et al., 2000 ; TAHIRI et al., 2005 et CHEN, 2007 ; EL MORHIT et al., 2009).

Le dosage des métaux a été effectué sur les minéralisats après dilution selon la procédure publiée par CHIFFOLEAU & TRUQUET (1994), EL ABIDI et al. (2000) et EL MORHIT (2005). Le Cu, le Cr, le Pb et le Cd ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) à four et par SAA à flamme dans les cas du Fe et Zn.

La validité des méthodes analytiques a été vérifiée par contrôle interne à l'aide d'échantillons standards (Conseil National de Recherche du Canada : BCSS-1) et par contrôle externe à l'aide d'un exercice d'intercalibration (IAEA, 1987, 1991, 1998, 1999 et 2003).

2.3. Analyses statistiques

La variabilité spatio-temporelle des teneurs métalliques a été étudiée par l'analyse des variances (ANOVA) à $P < 0,05$, effectuée par analyse en composantes principales (ACP) du logiciel XL STAT (FOUCART, 1982). La comparaison multiple des moyennes de chaque élément métallique a été réalisée à l'aide du test de Friedman, chaque fois que l'analyse de variance a révélé des différences significatives.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Parmi les métaux recherchés, il est connu que le Fe et le Zn sont des oligo-éléments essentiels au métabolisme normal de la plupart des micro-organismes vivants ; mais en excès, ces éléments deviennent toxiques. Quant au Cr, Pb et Cd, ils n'ont pas de fonctions physiologiques connues et exerceraient uniquement des effets néfastes sur les organismes vivants (METAYER et al. 1985, Manda et al., 2010).

3.1. Contamination métallique des sédiments

Les résultats des analyses des éléments métalliques réalisés dans les sédiments lors des différentes campagnes de prélèvement sont représentés dans la figure 3.

Les concentrations moyennes les plus élevées sont celles du Fe (27,20 mg/g) suivi du Zn (115,41 μ g/g), du Pb (69,26 μ g/g), du Cr (54,38 μ g/g), du Cu (16,85 μ g/g) et du Cd (1,11 μ g/g).

Les stations S4 et S1 présentent les taux les plus élevés en éléments métalliques, notamment dans le cas du Fe, du Cu, du Cr et du Pb en comparaison avec ceux de la station S3 localisée plus loin de rejets. Cet enrichissement en éléments métalliques est à mettre en relation avec les apports d'eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Larache qui se déversent dans la station S4 et les eaux de vidange de la riziculture dans la station 1. En effet, le Fe, le Zn, le Cu et le Pb sont des éléments métalliques caractéristiques d'une pollution de type urbain (LAUENSTEIN et DOLVIN, 1992 ; BENNASSER et al., 2000 ; K.C.G., 2006 ; CARMAN et al., 2007 ; CHEN et al., 2007 ; BENNASSER et al., 2000 ; EL MORHIT et al., 2008).

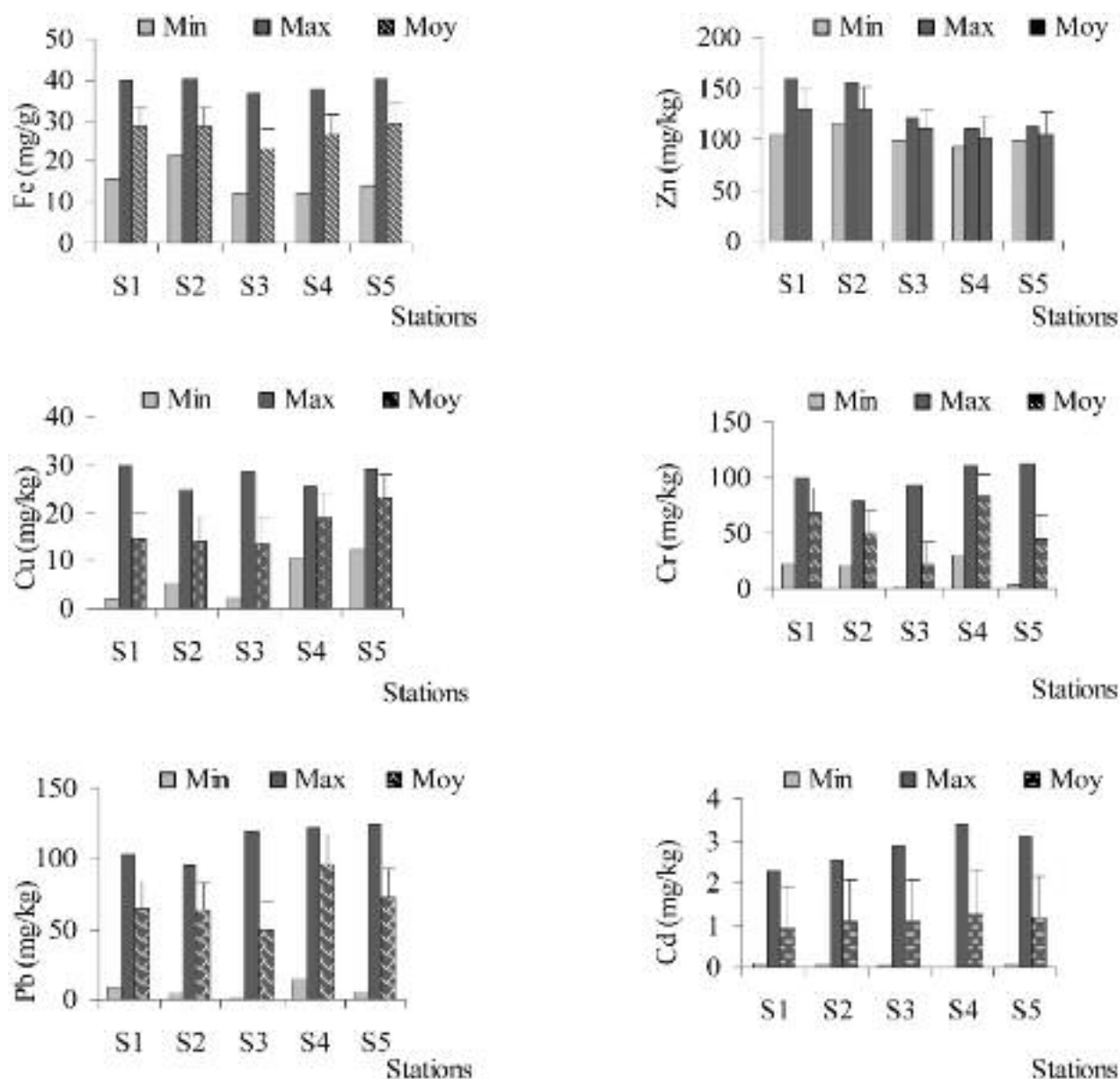


Figure 3. Variations spatiales des teneurs métalliques moyennes et valeurs limites dans les sédiments de l'estuaire de Loukkos (n=6).

Dans toutes les stations, la teneur moyenne en Fe (27,20 mg/g) dépasse celle du sédiment non pollué (13,20 mg/g) (NICOLADO & NOTT, 1998). L'excès de Fe pourrait provenir du lessivage du sol agricole et du contexte géologique régional comme à Sidi Moussa et à Oualidia (KALMOUSSI, 2002). Ainsi que pour le Zn (115,41 µg/g), les teneurs sont supérieures aux teneurs de référence (90 µg/g) (U.S.E.P.A., 1986) soulignant ainsi une pollution modérée par le Zn. Par contre pour le Cu (16,85 µg/g), les teneurs sont inférieures aux teneurs de référence (R.N.O., 1998 et G.E.O.D.E., 2007) qui sont de 45 µg/g. Une contamination significative a été notée pour le Cr puisque les teneurs moyennes (54,38 µg/g) relevées dépassent les teneurs moyennes de référence, qui sont de 3,8 µg/g dans l'estuaire de Sebou (MERGUAOUI 2003). Mais elles sont inférieures avec les normes fixées par G.E.O.D.E. (2007), relevant 90 µg/g du poids sec.

Par ailleurs, l'évolution spatiale de cette contamination fait apparaître un abaissement de la teneur en Cr au niveau de la station S3 (située au milieu de l'estuaire) qui peut être liée à la dynamique marégraphique de l'estuaire. En effet, la remontée des eaux marines très minéralisées entraîne une remobilisation et un relargage des métaux particulièrement, le Cr à partir des sédiments. Le déplacement de cette charge entraîne une augmentation de la teneur au niveau de la station S4, la plus proche. Pour le Pb, les teneurs des stations étudiées dépassent la valeur limite de 30 µg/g qui est présentée par R.N.O., (1998) mais elles ne dépassent pas la valeur limite de 100 µg/g qui est présentée par G.E.O.D.E. (2007). Les concentrations élevées de Pb au niveau de la station 4 semblent être lié en partie au grand trafic routier (route principale et autoroute) qui relie Larache à Tanger. Le Pb, utilisé comme antidétonant dans les carburants des moteurs des

véhicules, est libéré directement dans l'atmosphère par les pots d'échappement. La contamination est directe par les retombées atmosphériques ou indirecte après lessivage des routes par les eaux pluviales (CONOR 1980 ; GOODY et al., 1995).

De même pour le Cd, les teneurs des stations étudiées dépassent la valeur limite de 0,15 µg/g qui est présentée par R.N.O., (1998) ce qui signifie que les stations sont significativement contaminées. Alors qu'elles ne dépassent pas les normes (1,2 µg/g du poids sec) fixées par G.E.O.D.E., 2007. Le taux global de ce métal dans les sédiments fins est loin d'être négligeable dans les stations étudiées comparées aux teneurs naturelles. D'après une étude menée par l'Institut National de Recherche Halieutique (INRH) en 1996 dans les sédiments du large (tableau I), les quatre stations ont des concentrations en Cd comprises entre 1,60 µg/g et 5,80 µg/g de poids sec, ce qui traduit une contamination importante et s'explique par la proximité de la zone portuaire, la centrale thermique et le complexe Jorf Lasfar. La valeur 1,18 µg/g observée au niveau de la station 4 reflète une contamination non négligeable. Dans cette station, on ne peut expliquer la forte teneur en Cd que par la proximité de la zone portuaire (gaz d'échappement des véhicules) et les courants littoraux. COSSA et LASSUS (1989) décrivent les sédiments de la baie Seine comme étant particulièrement contaminés par le Cd (plus de 6 µg/g) en relation avec les rejets de phosphogypses. Ainsi que, TAHIRI et al. (2005) décrivent les sédiments de l'estuaire de Bouregreg au niveau de la station 2 avec un pic relativement important, dû probablement à un apport occasionnel véhiculé par l'oued Akrach. Toutefois une origine marine par remontée d'eau profonde (Upwelling) connu par leur charge importante en oligo-élément (BRULAND et FRANKS., 1983, EL MORHIT, 2005) est aussi envisageable.

| Station sédiment | Nature du sédiment | Cd (µg/g) |
|------------------|-------------------------------------|-----------|
| A1 | Vase noir | 5,80±2,15 |
| A2 | Sable très fin légèrement vaseux | 5,10±1,16 |
| A3 | Sable fin | 5,00±2,53 |
| A4 | Sable très fin légèrement vaseux | 1,60±1,52 |

Tableau I : Teneurs métalliques en Cu et Cd au niveau de sédiment de large dans la zone de Jorf Lasfar (INRH, 1996).

Comme il montre le tableau II, la comparaison du niveau de contamination de l'estuaire de Loukkos par rapport aux autres estuaires marocains et étrangers montre une forte contamination de ce site et ceci pour l'ensemble des

éléments métalliques qui dépassent de loin les valeurs relevées dans les sédiments de l'estuaire de Bouregreg dans les sites considérés comme les plus pollués (TAHIRI et al., 2005). Cette pollution serait liée, du moins en partie, aux eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Larache (aval) et à une activité agricole (amont) basée sur l'usage massif de fertilisants et de pesticides, sachant que les fongicides sont riches en Zn et en Fe et que les composés phosphatés contiennent d'importantes quantités de Cd (le Pb est souvent associé au Cd). De plus, le charriage et le lessivage des terrains agricoles en période pluvieuse favorisent l'accumulation des métaux dans les compartiments physiques. Par ailleurs, le stockage des métaux au niveau des sédiments n'est pas forcément définitif. Le risque de remobilisation, de biodisponibilité et donc de toxicité sont à craindre et constituent ainsi un danger permanent pour toute la chaîne trophique (FADIL et al. 1997 ; KUMAR et al., 2011).

| Estuaires | Fe | Zn | Cu | Cr | Pb | Cd | Références |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-------|----------|------|------------------------------|
| Kolbaksan (Suède) | 107 | 210 | 21 | 23 | 47 | | HAKANSON (1984) |
| Estuaire Australie | 5,70 | 379 | - | 29,1 | - | | HATJE et al. (2003) |
| Estuaire Bouregreg | 1,2 | 61 | 21 | 39 | 17 | 0,02 | TAHIRI et al. (2005) |
| Estuaire de Sebou | 2,13 | 49 | 25 | 3,8 | 12 | | MERGUAOUI (2003) |
| Estuaire Oum Rbia | 6,41-6,68 | 39,8-66,7 | 8,8-14,75 | 17-22 | 2,7-13,2 | | BENABDALLAOUI et al., (2001) |
| Estuaire Loukkos | 20,80 | 131 | 32,4 | - | - | | CHEGGOUR et al., (2005) |
| Estuaire Loukkos | 27,20 | 115,41 | 16,85 | 54,38 | 69,26 | 1,11 | Présente étude |

Tableau II. Comparaison des teneurs métalliques de l'estuaire de Loukkos avec d'autres estuaires marocains et mondiaux en (µg/g) à l'exception du Fe en (mg/g)

3.2. Indice de contamination des sédiments

Pour la standardisation de cette contamination et la mise en évidence de l'influence de l'activité humaine sur la qualité des sédiments de l'estuaire de Loukkos, nous avons adopté l'indice de contamination (IC) qui tient compte

des teneurs de référence. Par ailleurs, ces dernières sont difficiles à établir en raison de leur grande hétérogénéité liée principalement aux paramètres physico-chimiques, géochimiques et lithologiques (BELAMIE et PHELIPPOT, 1982). Dans la présente étude, c'est le site 1 de l'estuaire de Bouregreg qui a été retenue comme site de référence compte tenu de sa localisation loin de toute perturbation d'origine anthropique. Ce site a été soulevé par plusieurs auteurs (TAHIRI et al., 2005).

3.3. Evaluation du degré de contamination des sédiments

L'évaluation du degré de contamination à partir de l'ensemble des résultats relevés dans les sédiments étudiés comporte un problème quant au choix de la méthode à utiliser; bien que plusieurs méthodes ont été proposées (PINAT et PICCOT 1991 ; ROSSO et al., 1993 ; BENNAS-SER et al., 1996). En absence d'une estimation de la teneur en matière organique dans les sédiments, seul l'indice de contamination (IC) a été retenu (BOUST et al., 1981, BELAMIE et al., 1982, NASSALI et al., 2002, TAHIRI et al., 2005). Plus cet indice est élevé, plus le point de prélèvement est pollué. Les indices forts appartiennent géographiquement à la station 4 située en aval de l'estuaire, alors que les indices faibles appartiennent à la station 3 située au milieu de l'estuaire, coïncidant parfaitement avec les secteurs où les stations sont proches des rejets des collecteurs principaux. Les nouveaux périmètres irrigués et l'industrie nouvellement instaurés dans ces endroits font que le degré de contamination devient important.

Les résultats obtenus révèlent une contamination polymétallique accentuée pour le Pb et Cr avec les teneurs respectivement 5,4 et 2,21 enregistrées dans la station S4 située en aval des points de rejet (figure 4). Ce résultat est en désaccord avec les travaux de TAHIRI et al., (2005) qui ont trouvé une contamination accentuée pour le Cu dans l'amont de l'estuaire de Bouregreg.

La comparaison des indices de contamination polymétallique (I.C.M) montre que la station 4 (Grangha) présente l'indice le plus élevé (2,29) traduisant ainsi une forte contamination métallique de cette station (figure 4).

L'activité industrielle reste donc la source principale de cette pollution de sédiment sans toutefois exclure celle d'origine agricole surtout que la région se prête à une grande activité de ce genre. En effet, les surprenantes valeurs des IC correspondants aux éléments les plus toxiques (Pb et Cr) pourraient être due pour le Pb aux gaz d'échappement des véhicules (EL MORHIT et al., 2008). Rappelons que la dite station (S4) se situe en aval du pont où la circulation est permanente. La contamination du système étudié par le plomb semble provenir du plomb utilisé dans les filets des pêcheurs et égaré au fond de notre estuaire, sans négliger l'apport du déversement des eaux usées de la ville de Larache qui est très proche

de cette station (S4). Alors que pour les teneurs en Cr, ils pourraient être liés aux rejets des usines des tanneries et des textiles.

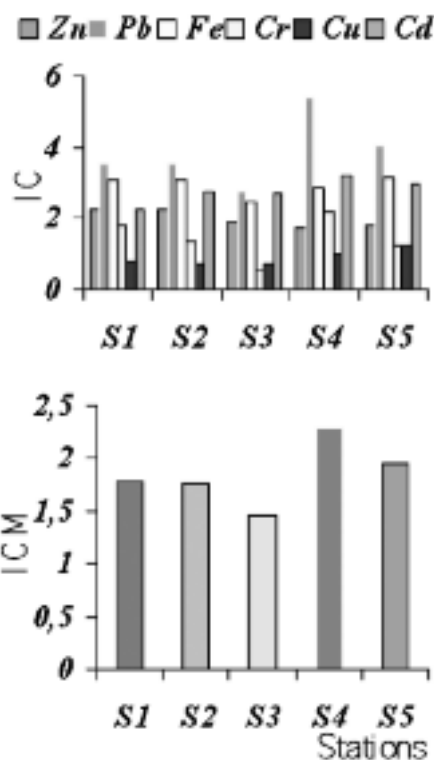


Figure 4. Variations spatiales des indices de contamination (IC) des indices de contamination polymétallique moyenne (ICM) dans les sédiments.

3.4. ANOVA des éléments trace métalliques dans les sédiments

Le test ANOVA à deux facteurs effectuée sur la teneur du Cr et du Pb révèle à travers le test Friedman des différences significatives ($P \leq 0,05$) entre les stations et les saisons (tableau III).

| Métaux | Fe | Zn | Cu | Cr | Pb | Cd |
|----------|------|-------|-------|---------------|---------------|------|
| Saisons | 0,18 | 0,89 | 0,007 | 0,008* | 0,004* | 0,18 |
| Stations | 0,63 | 0,015 | 0,32 | 0,005* | 0,013* | 0,63 |

Tableau III. Analyse de variance à deux variables pour chaque métal au niveau des sédiments (Test Friedman significatif si $P \leq 0,05$)

L'analyse métallique en Cr et Pb dans les sédiments de notre étude a montré une mauvaise qualité de cette contamination en éléments métalliques. En effet, l'excès des teneurs de ces éléments peut avoir deux origines : l'une naturelle et l'autre anthropique. Pour déterminer l'origine des concentrations observées, nous avons utilisé une méthode statistique dite d'analyse en composante principale. Cette méthode a été étudiée par plusieurs auteurs (ROUABHIA et al., 2004, EL MORHIT et al., 2009).

3.5. Typologie de la contamination métallique des sédiments

L'analyse multifactorielle (ACP) effectuée nous a permis de classer et de traiter les informations relatives aux éléments traces métalliques dans les sédiments au cours des campagnes (mars, mai et juillet) durant les deux années consécutives 2006 et 2007 par l'établissement des corrélations entre l'ensemble des variables de l'estuaire de Loukkos. Cette ACP est effectuée sur une matrice des données constituée de 30 prélèvements (5 stations X 6 campagnes) au cours desquels les 6 variables (Fe, Zn, Cu, Cr, Pb et Cd) ont été mesurées.

Les valeurs propres des deux composantes F1 et F2 et leur contribution à l'inertie totale sont représentées dans la figure 6A.

Les codes des variables ayant une forte corrélation et leurs coordonnées sont représentés au niveau du tableau IV.

de contamination en Zn ($r=0,91$) et Fe ($r=0,55$) (figure 6B). Cette répartition met en évidence deux origines des sédiments : la première est due à l'activité anthropique (aux gaz d'échappement des véhicules, tanneries, eaux usées des rizicultures), alors que la deuxième, endogène, est caractérisée par la présence de ferromagnésien liée au contexte géologique de la région.

L'analyse globale permet de définir une typologie dominée par l'individualisation de 3 groupes de stations GI, GII, GIII (figure 6C). Cette organisation spatiale dégage la position exacte des stations par rapport à leur situation.

Groupe I comprenant les stations amont S1 (DR6, DM6, DJ6, DR7, DM7, DJ7) et S2 (AR6, AM6, AJ6, AR7, AM7, AJ7) situées dans une zone caractérisée par une forte activité agricole (riziculture) à l'origine de la présence du Zn et Fe dans les sédiments de cette zone occupant la partie positive de l'axe F2. On peut appeler cette zone qui a représentée par les stations du groupe I zone polluée en Fe et Zn. Le groupe I est opposé au groupe III représenté par

| Stations | Code | Campagnes | Code | Variables | Codes | Axe 1 | Axe 2 |
|------------|------|------------|------|-----------|-------|--------------|--------------|
| Dhiria | D | Mars 06 | R6 | Fer | Fe | 0,54 | 0,55* |
| Ain Chouk | A | Mai 06 | M6 | Zinc | Zn | -0,11 | 0,91* |
| Baggara | B | Juillet 06 | J6 | Cuivre | Cu | 0,80* | -0,11 |
| Grangha | G | Mars 07 | R7 | Chrome | Cr | 0,67* | 0,05 |
| Embouchure | E | Mai 07 | M7 | Plomb | Pb | 0,88* | -0,08 |
| | | Juillet 07 | J7 | Cadmium | Cd | 0,75* | -0,08 |

Tableau IV. Codes de l'ACP et corrélations des variables avec les axes (*: $P < 0,05$)

Les résultats présentés dans le tableau 4 et la figure 6A nous permettent une première approche typologique des différentes variables selon leurs affinités et leurs regroupements sur les deux premières composantes principales à partir de leur contribution. Les deux premiers axes déterminent 65,60 % de l'information totale (46,16 % pour l'axe 1 et 19,44 % pour l'axe 2).

Les valeurs propres de l'ACP, le cercle de la corrélation et les cartes factorielles sont représentées dans la figure 6. L'observation du cercle formé par les axes F1 et F2 montre selon l'axe F1 (horizontal) une opposition entre les sédiments faiblement contaminés en métaux (Cu, Cr, Pb et Cd) occupant la partie négative de l'axe et les sédiments fortement contaminés en ces métaux occupant sa partie positive. L'axe F1 définit un gradient de contamination en Pb ($r=0,88$), Cu ($r=0,80$), Cd ($r=0,75$) et Cr ($r=0,67$) avec un coefficient de corrélation moyenne à forte a été obtenue entre le Pb et Cr ($r^2=0,61$).

Selon l'axe F2 (vertical), on note une opposition entre les sédiments riches en métaux (Fe et Zn) occupant la partie positive de l'axe et les sédiments pauvres en ces métaux occupant sa partie négative. Cet axe 2 définit un gradient

les stations S4 (GR6, GM6, GJ6, GR7, GM7, GJ7) et S5 (ER6, EM6, EJ6, ER7, EM7, EJ7) les plus en aval. Il est caractérisé par une charge importante en métaux (Cu, Pb, Cd et Cr) occupant la partie positive de l'axe F1. La présence de ces éléments dans les sédiments pourraient être liées aux courants (BRULAND et al., 1983 ; EL MORHIT, 2005), aux eaux usées domestique de la ville de Larache et au trafic routier (autoroute, routes principales) (PELLETIER, 2005 ; EL MORHIT et al., 2009). Le Pb est utilisé comme anti-détonateur dans l'essence. En effet, les travaux de MIQUEL (2003) ont montré qu'une autoroute de taille moyenne (25,000 véhicules/jour) produit une tonne de matières en suspension par km et par an (1 km d'autoroute = 2 hectares), dont 25 kg d'hydrocarbures, 4 kg de Zn, 1/2 kg de Pb. On peut appeler cette zone fortement polluée en Cu, Pb, Cd et Cr. Entre les deux se situe le groupe II (GII) représenté par la station 3 à toutes les saisons (BR6, BM6, BJ6, BR7, BM7, BJ7), dénotant une contamination moyenne en métaux étudiés. On peut appeler cette zone moins polluée en ces éléments. La pollution de cette zone est d'origine naturelle.

On admettant les premiers et les derniers points de prélèvement durant les deux années et on les regroupant, on

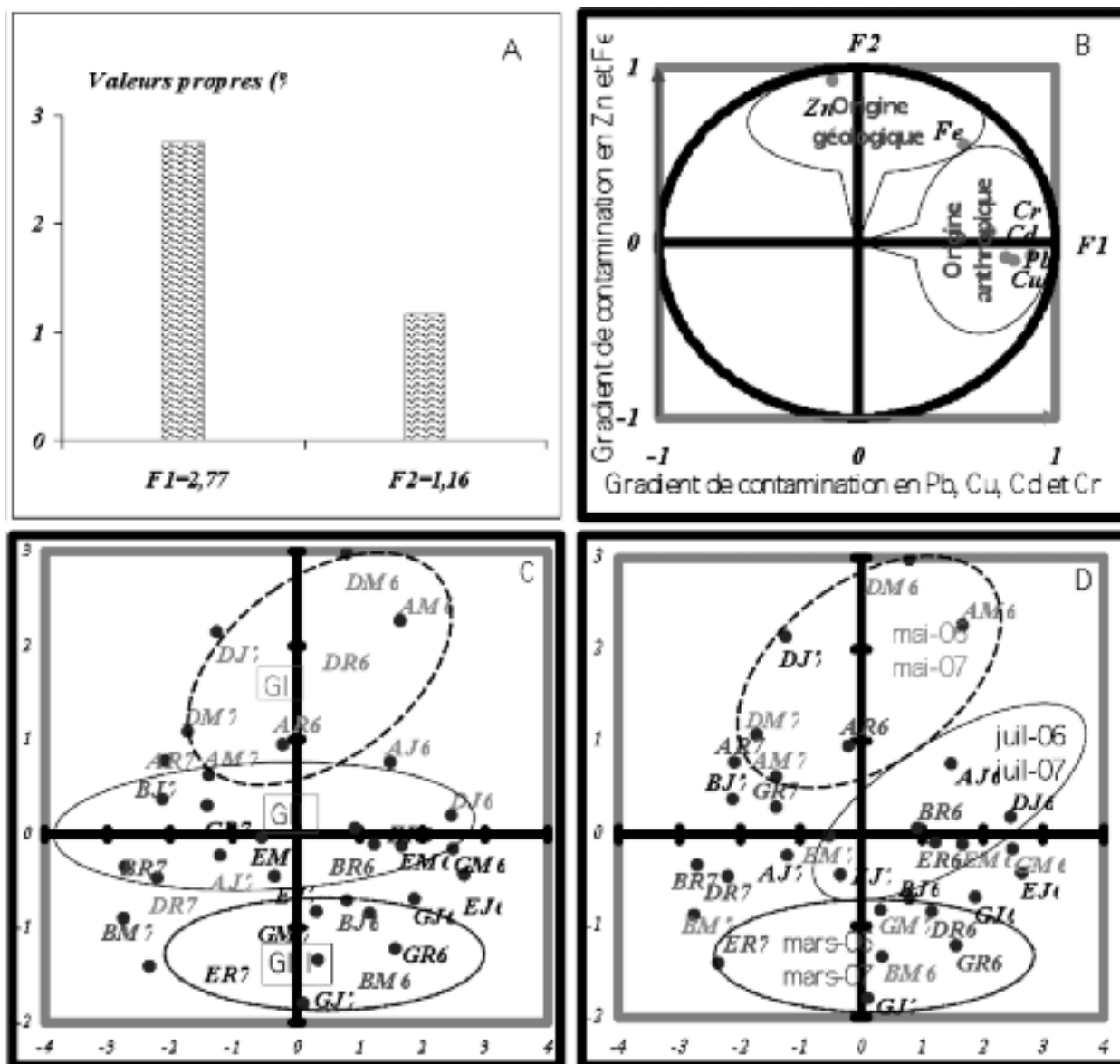


Figure 6. Approche graphique de l'ACP des métaux dans les sédiments selon le plan F1xF2. A : Répartition de l'inertie entre les axes ; B : Cercles de corrélation des variables ; C et D : Carte factorielle des stations et des campagnes.

peut repérer les variations saisonnières en fonction de la teneur en métaux dans les sédiments (figure 6D). Généralement, les variations saisonnières ne modifient pas le niveau de contamination pour les métaux étudiés (Fe, Zn, Cu, Cr, Pb et Cd) à l'exception du mois de mai où on note une légère diminution de la teneur du Zn et Fe au niveau de la station 5 (EM7) durant l'année 2007 occupant la partie négative de l'axe F1. Alors des teneurs très élevées ont été enregistrées au niveau de la station 1 (DM6) durant l'année 2006 occupant la partie positive de l'axe F2. Cependant pour le mois de juillet, le niveau de contamination de la station 5 (EJ7) durant l'année 2007 est faible par rapport aux autres campagnes. D'après ces variations saisonnières, une légère diminution de la contamination des sédiments étudiés a été constatée au cours de l'année 2007.

CONCLUSION

A la lumière des résultats obtenus au niveau de la charge métallique des sédiments, on constate l'existence d'une contamination métallique faible à moyenne des sédiments prélevés au niveau de l'estuaire de Loukkos, particulièrement en amont (S1) et en aval (S4) de celui-ci. La comparaison de ce résultat avec ceux enregistrés dans d'autres estuaires marocains montre que celui-ci dépasse légèrement les valeurs limites tolérables fixées par les normes en vigueur, ceci est lié au faible degré de développement socio-économique de la ville de Larache. L'IC, le test ANOVA et l'ACP pratiqués ont permis de mettre en évidence la présence des éléments métalliques dans les sédiments. En effet, deux gradients croissants de

contamination des sédiments l'un par le Zn et le Fe dans l'amont de l'estuaire du Loukkos et l'autre par le Pb, le Cu, le Cd et le Cr situé en aval.

Pour le premier gradient qui est d'origine anthropique, sa présence dans les sédiments serait liée aux eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Larache, au trafic routier et à une forte activité agricole (riziculture). Par contre l'autre qui est d'origine naturelle, pourrait être lié au contexte géologique de la région et au courantométrie. Néanmoins, la mise en place du barrage de garde a diminué les capacités de l'estuaire à évacuer les polluants car la dynamique fluviale est devenue très faible par rapport à celle de la mer. Ces changements hydrodynamiques pourraient être à l'origine de son confinement par l'ensablement massif de son embouchure. Ceci risque d'entraîner une augmentation de la contamination de ce milieu par les métaux traces et d'autres types de polluants et par conséquent les risques écotoxicologiques liées aux caractères bioaccumulation de ces éléments. Un suivi minutieux de l'évolution de cette pollution s'avère d'une grande nécessité pour sauver et protéger cet écosystème, afin de préserver ses potentialités bioécologiques et d'améliorer l'état de santé de la population riveraine.

REMERCIEMENT

Une grande partie de ce travail a été réalisée dans le cadre du programme thématique d'appui à la Recherche Scientifique PROTARS III D 14/52 au sein de l'UFR : Biodiversité et Aquaculture à la Faculté des Sciences de Rabat en collaboration avec l'Institut Scientifique et l'Institut national d'Hygiène (Rabat). Les auteurs remercient les évaluateurs anonymes pour les remarques et commentaires qui ont permis d'améliorer le manuscrit.

RÉFÉRENCES

- **Amiard-Triquet C., 1989** – Bioaccumulation et nocivité relatives de quelques polluants métalliques à l'égard des espèces marines. Bull. Ecol.T., 20 (2), PP : 129–151.
- **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. Rapport Nr 16, société Hydrotechnique de France, XVIIème journée de l'hydraulique, Nantes, 14, 15, et 16 septembre : 7 p.
- **Belbachir C., 1997** – Contribution à l'étude de la pollution bactérienne et métallique du littoral méditerranéen du Maroc oriental. Cas de l'embouchure de la Moulouya. Thèse 3^e cycle, Université Mohamed Ier, Fac. Sc. Oujda : 145 p.
- **Benabdallaoui Y., Chlaida M., & Zabari M., 2001** – Impact de l'aménagement hydraulique sur la qualité des eaux et des sédiments de l'estuaire de l'Oum Rbia (côte

atlantique, Maroc). Bulletin Institut Scientifique, Rabat, section science de la vie, n° 23, 71-76 : 74 p.

- **Bennasser L., Fekhaoui M., & Bouachrine M., 1996** – Utilisation d'un nouvel indice dans l'évaluation de contamination métalliques des sédiments d'un cours d'eau pollué : le bas Sebou (Maroc). Bull. Inst. Sci., Rabat 20, PP : 142–145.

- **Bennasser L.M., Fekhaoui M., & Mameli O., 2000** – Assessment of the metallic contamination of the low Sebou sediments. Annali chimica 90 : 637 - 644.

- **Bouachrine M., Fekhaoui M., Bennasser L., & Mokhtar N., 1995** – Evaluation du degré de la contamination de la faune ichtyologique du bas Sebou. Premier congrès national de limnologie, 21–22. Déc., Fès.

- **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'aquitain, n°30, PP : 71–86.

- **Bruland K.W., & FRANKS R.P., 1983** – Mn, Ni, Cu, Zn, and Cd in the western North Atlantic, p. 395-414. Zn Trace metals in seawater. NATO Conf. Ser. 4. Mar. Sci. V. 9. Plenum.

- **Bryan G.W., & Langoston W.J., 1992** – Bioavailability, accumulation and effects heavy metals in sediments with special reference to united estuary. Environmental pollution 76, PP: 89–131.

- **Carman C.M. Ip, Xiang-Dong Li, Gan Zhang, Onyx W.H. Wai, & Yok-Sheung Li – 2007.** Trace metal distribution in sediments of the Pearl River Estuary and the surrounding coastal area, South China. Environmental Pollution, 147, PP : 311–323.

- **Cheggour M., Texier H., Moguedet G., & Elkaïm B., 1990** – Metal exchange in the fauna-sediment system. The case of Nereis diversicolor and Scrobicularia plana in the Bou Regreg estuary (Morocco). Hydrobiologia, 207, PP : 209–219.

- **Cheggour M., Chafik A., Fisher N.S., & Benbrahim S., 2005** – Metal concentrations in sediments and clams in four Moroccan estuaries. Marine Environmental Research, 59, PP : 119–137.

- **Chiffolleau J.F., & Truquet I., 1994** – Nouvelles méthodes de dosage de quelques métaux traces dans les sédiments et les matières en suspension. Rapp. Ifremer : 08p.

- **Chen C.-W., Kao C.-M., Chen C.-F. & C.-D. Dong. 2007.** Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. Chemosphere, 66 : 1431–1440.

- **Conor R., 1980** – Metals contamination of food. Applied sciences publishers (Ed). London, 290 p.

- **Cossa D. & P. Lassus, 1989.** Le cadmium en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie. Rapport scientifique et technique de l'IFREMER. 16 : 110 PP.

- **El Abidi A., Idrissi L., Taleb H., Azizi A., Mameli O., & Melis P., 2000** – The impact of lead pollution on the environment of Rabat-Salé (Morocco). *Annali Chimica*, 90, PP : 695–702.
- **El Morhit M., 2005** – Évaluation de la pollution métallique de la côte atlantique marocaine (port laâyoune, foug l'oued et laâsilia). Diplôme d'Études Supérieures Approfondies. Université Ibn Tofail. Faculté ès sciences Kenitra, Maroc : 76 p.
- **El Morhit M., Fekhaoui M., Serghini A., El Blidi S., El Abidi A., Bennaakam R., Yahyaoui A. & Jbilou M., 2008** – Impact de l'aménagement hydraulique sur la qualité des eaux et des sédiments de l'estuaire du Loukkos (côte atlantique, Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique*, 30, PP : 39–47.
- **El Morhit M., Fekhaoui M., Elie P., Girard P., Yahyaoui A., El Abidi A. & Jbilou M., 2009** – Heavy metals in sediment, water and the European glass eel, *Anguilla anguilla* (Osteichthyes : Anguillidae) from Loukkos river estuary (Morocco, eastern Atlantic). *Cybio*, 33 (3), PP : 219–228.
- **El Morhit M., 2009** – Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences Ecotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Loukkos). Thèse Doctorat ès science, Université Mohammed V - Agdal, Rabat. IMIST. Series/Report N° Th-571.95/MOR : 33 p.
- **Fadil F., Maarouf A., & Zaid A., 1997** – Utilisation de *Gammarus gauthieri* pour tester la toxicité des sédiments des eaux douces. *Anns. Limnol.*, 32, PP : 73–78.
- **Foucart S. 1982.** Analyse factorielle. Programme sur ordinateur. Masson, Paris, France.
- **G.E.O.D.E., 2007** – Sédiments de dragage : référentiels et analyses. Groupe d'Études et d'Observation sur les Dragages et l'Environnement (G.E.O.D.E.) Projet d'amélioration des accès maritimes du port de ROUEN, 2 PP.
- **Guerra-García, J.M., & García-Gómez, J.C., 2005** – Assessing pollution levels in sediments of a harbour with two opposing entrances: Environmental implications. *Journal of Environmental Management*, 77, PP : 1–11.
- **Goody D.C., Shand P., Kinniburgh D.G., & Vanriemedij K., 1995** – Field-based partition coefficients for trace elements in soil solutions. *European Journal of soil science*, 46, PP : 265–285.
- **Hakanson L., 1984** – Metals in fish and sediment from the river Kobacksan water system, Sweden. *Arch. Hydrobiol.*, 101, PP : 373–400.
- **Hatje V., Apte S.C., Hales L.T., & Birch G.F., 2003** – Dissolved trace metal distribution in Port Jackson estuary (Sydney Harbour), Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 46, PP : 719–730.
- **IAEA., 1991** – Marine environment laboratory. MESL Report. IAEA /080/IAEA / MEL/56, Worldwide Regional intercomparison for determination of trace elements in polluted marine sediment. IAEA–356, Monaco.
- **Kaimoussi A., 2002** – Étude de la variabilité de l'accumulation des métaux lourds dans les différents compartiments (sédiment, mollusques et algues) du littoral de la région d'El Jadida. Thèse de 3ème cycle. Univ. Chouaib Doukkali, Fac. Sci. El Jadida : 147 p.
- **K.C.G., 2006** – www.pwb.kcg.gov.tw/pwbec/index.htm
- **Kumar A.A., Dipu S., Sobha V., 2011** – Seasonal Variation of Heavy Metals in Cochin Estuary and Adjoining Periyar and Muvattupuzha Rivers, Kerala, India. *Global Journal of Environmental Research*, 5 (1), PP : 15–20.
- **Lauenstein G.G., & Dolvin S.S., 1992** – Mollusk monitoring of united state coastal and estuary environments. *Poll. Mar.*, 20, PP : 23–06.
- **Manda B.K., Colinet G., André L., Manda A.C., Marquet J.P. & Micha J.C. 2010.** Evaluation de la contamination de la chaîne trophique par les éléments traces (Cu, Co, Zn, Pb, Cd, U, V et As) dans le bassin de la Lufira supérieure (Katanga/RD Congo). *Tropicultura*, 28, 4, 246–252.
- **Meddtl M., 2011** – Pollutions et qualité du milieu marin. Chapitre V. Environnement littoral et marin. Page : 118.
- **Merguauoui L., 2003** – Diagnostic d'un état de pollution organique et métallique de deux zones humides : cas de Merja Zerga et de bas Sebou. Thèse de Doctorat en biologie. Université Mohammed Ben Abdellah Faculté des Sciences Dhar-Mehraz Fes : 74 p.
- **Metayer C., Amiard J.C., Amiard-Triquet C., & Berthet B., 1985** Facteurs biologiques et écologiques contrôlant le niveau d'éléments traces (Cd, Pb, Cu et Zn) chez les moules et les huîtres de la baie de Bouregneuf. *Bull. Soc. Sc. Nat.*, 2, PP : 53–69.
- **Miquel M.G., 2003** – Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. «La qualité de l'eau et de l'assainissement en France». Tome II – annexes. N° 215 Sénat session ordinaire: 23–24.
- **Mode A.W., Onokwai N.G., Onwuka O.S., Ekwe A.C., & Oha I.A., 2010** – Integrating geographic information system (GIS) and hydrochemistry for heavy metal pollution studies: The case of Ubeji and Omadino areas of Delta State, Southern Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research*, 2(7), PP : 183–196.
- **Morris A.W., Allen J.I., Howland R.J.M., Wood R.G., 1995** The estuary plume zone: source or sink for land-derived nutrient discharges. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 40, 387–402.
- **Nassali H., Ben Bouih H., & Srhiri A., 2002** – Influence des eaux usées sur la dégradation de la qualité des eaux du lac Fouarate au Maroc. *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management. Tunis (EPCOWM)* : 3–14 p.
- **Nicolado A., & Nott J.A., 1998** – Metal in sediment, Seagrass and Gasteropods near a Nickel smelter in Greece : possible interactions. *Mar. Pollut. Bull.*, 36 (5) : 360–365.

- **Pelletier M., 2005** – La contamination des sédiments par les toxiques. Le lac Saint-Pierre, dernière halte avant l'estuaire. Programme suivi de l'état du saint-laurent. Canada, 4–5P.
- **Perez T., Sartoretto S., Soltan D., Capo S., Fourt M., Dutrieux E., Vacelet J., Harmelin J.G., Rebouillon P. 2000.** Etude bibliographique sur les bioindicateurs de l'état du milieu marin. Système d'évaluation de la Qualité des Milieux littoraux – Volet biologique. Rapport Agences de l'Eau, 4 fascicules, 642 pp. + 1 Cd-rom.
- **Pinat G., & Picot B., 1991** – Métaux traces dans les sédiments d'une lagune méditerranéenne : l'étang de Thau (France). *Océanologica Acta.*, 14 : 459–472.
- **R.N.O., 1995** – Programmes actuels, les contaminants dans la matière vivante, les métaux lourds dans les sédiments de la baie de Seine (campagne 1993). Travaux du RNO. Edition 1995. Ifremer et ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement : 36p.
- **Rosso A., 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) pp : 295–305.
- **Rouabhia A., Baali F., Kherici N., & Djabri L., 2004** – Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie). *Sécheresse*, 15 (4), PP : 347–52. Tahiri L., Bennasser L., Idrissi L., Fekhaoui M., El Abidi A., &
- **Mouradi A., 2005** – Contamination métallique de *Mytilus galloprovincialis* et des sédiments au niveau de l'estuaire de Bouregreg (Maroc). *Water qual. Res. J.*, 40 (1), PP : 111–119.
- **Serghouchni M., 1995** – Contribution à l'étude écologique et toxicologique des civelles d'*Anguilla anguilla* de la basse Moulouya. Thèse 3ème cycle, Univ. Mohamed I er, Fac. Sc. Oujda, 159 p.
- **Zourarah B., Maanan M., Carruesco C., Ajjane A., Mehdi K., & Conceição Freitas M., 2007** – Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution in the lagoon of Oualidia (Moroccan Atlantic coast). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 72, PP : 359–369.
- **U.S.E.P.A., 1986** – Recommended protocols for measuring trace metals in Puget sound sediments and tissue samples. Puget Sound protocols, prepared by tetra tech in. for the United States Environmental Protection Agency.