



# INFLUENCE DE LA SEPARATION GRANULOMETRIQUE SUR LA COMPOSITION DES SEDIMENTS EN METAUX LOURDS DE LA LAGUNE DE BIZERTE (TUNISIE)

F. Srarfi - Faculté des Sciences de Gafsa, 2100 Zarroug Tunisie, srarfi@yahoo.fr

M. A. Tagourti - Institut de Biotechnologie de Monastir Tunisie

S. Tlig - Faculté des Sciences de Tunis Tunisie

X. Slim Shimi - Faculté des Sciences de Tunis Tunisie

Reçu le : 25/01/09

Reçu sous forme révisé le : 13/14/09

Accepté le : 23/06/09

## Résumé

La distribution des métaux lourds dans le sédiment marin est régie par plusieurs facteurs : les caractéristiques des sédiments comme la granulométrie, la teneur en matière organique et de la localisation des sources de pollution.

Une grande partie des berges de la lagune de Bizerte est occupée par des usines métallurgiques et des dépotoirs. Par l'effet des vagues et des lixiviat, les déchets solides incorporent le matériel sédimentaire lagunaire.

De ce fait, la fraction grossière du sédiment représente des propriétés assez intéressantes pour être étudiée séparément ou bien comme faisant partie de l'échantillon entier.

Dans cette étude une séparation granulométrique (trois fractions) a été faite avant les analyses des métaux lourds suivants : Fe, Pb, Zn, Cu, As, Cd, Ni, Co, Cr, Mn et Al.

Cette étude montre que la fraction fine des sédiments lagunaire n'est pas toujours la plus concentrée en métaux lourds. Cette constatation a priori illogique est étroitement liée à la localisation géographique des échantillons et à la composition minéralogique des sédiments de la lagune de Bizerte.

**Mots clefs :** sédiment, granulométrie, métaux lourds, pollution, lagune de Bizerte.

## Summary

The metals distribution in marine sediment is governed by several factors: the characteristics of the sediments such as the granulometry, the organic matters content and the pollution sources location.

A great part of the Bizert's lagoon banks is occupied by ironworks and garbage dumps. By the effect of waves, the solid waste incorporates the sedimentary lagoon material.

Due to this fact, unrefined fraction represents rather interesting properties to be studied separately either as being a part of the complete sample.

In this study a granulometries separation (three fractions) was made before analyses of the following heavy metals: Fe, Pb, Zn, Cu, As, Cd, Ni, Co, Cr, Mn and Al. This study show that the fine fraction of the sediment sampled in the lagoon is not always the most concentrated in heavy metals. This observation could be strictly connected to the geographic location of the collected samples and to the mineralogical composition of the sediments of Bizert's lagoon.

**Key words:** sediment, granulometry, heavy metals, pollution, Bizert's lagoon.

## 1. Introduction

Au Nord de la Tunisie, la lagune de Bizerte est un bassin exorétique en communication directe

avec la mer Méditerranée d'une part et le lac Ichkeul d'autre part. Ce milieu nommé patrimoine international, a une position

géographique qui lui confère un intérêt économique qui a laissé des séquelles environnementales assez évidentes sur ce milieu devenu actuellement fragile (Kamens *et al.*, 1984; Kallel, 1989; Boussabah et Gasmî, 1990; Pengelly *et al.*, 1998; Mosbahi, 2002; Hamdi *et al.*, 2002; Srarfi et Shimi, 2004; Srarfi *et al.*, 2004; M.A.E.R.H, 2005).

La pollution par les métaux lourds constitue une menace assez importante dans les problèmes environnementaux de la région. En effet, le bassin versant de la lagune abrite plusieurs unités de métallurgie, une sidérurgie (Ben Guirat, 1997; Pengelly *et al.*, 1998), mais aussi une ancienne mine de Pb et de Zn (Sainfeld, 1952). Le lessivage des sols apporte lui aussi la limonite et la goethite (Kamens *et al.*, 1984).

La variation saisonnière des conditions hydrologiques et hydrodynamiques de ce système lac-lagune-mer influence le comportement géochimique des éléments traces dans les sédiments de surface (Ben

M'Barek, 1995; 2000). En effet, des variations qualitative et quantitative des apports en éléments chimiques, d'une saison à une autre et la variation granulométrique des sédiments sont à l'origine de la distribution actuelle des métaux lourds dans ce bassin.

## 2. Matériels et méthodes

Pour étudier l'effet de la granulométrie des sédiments sur leur composition en métaux lourds, on a procédé à l'analyse des échantillons entiers, ensuite à une séparation granulométrique de trois fractions (grossière (>200µm), moyenne (63-200µm) et fine (<63µm)) pour les analyser séparément.

Onze points, répartis sur l'ensemble de la lagune, forment le plan de prélèvement (fig.1). Ce choix dépendait beaucoup des conditions de terrain, telle que la présence des fonds rocheux et de la végétation qui empêche le piégeage des sédiments par la benne de prélèvement.

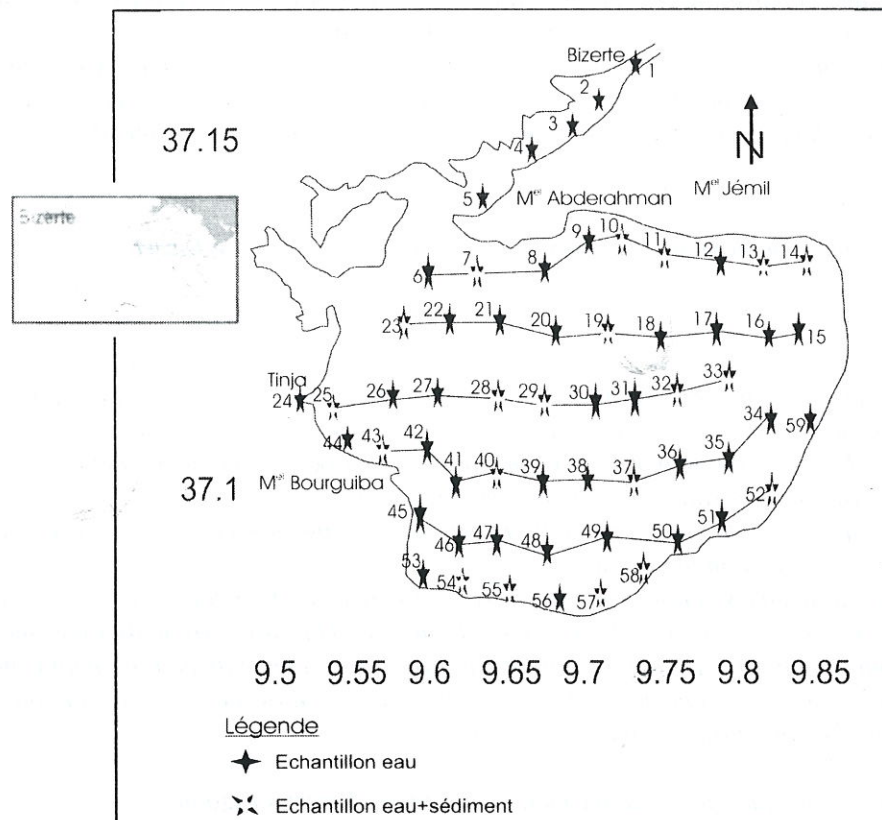


Figure 1 : Carte de localisation des stations d'échantillonnage (eau et sédiment).  
Carte extraite de la carte topographique de Bizerte 1/200000 (OTC, 1987)



Le sédiment prélevé est séché à l'air libre à une température ambiante (BRGM, 2000; Jeannot *et al.*, 2001, Morlot, 2001; Quevauviller, 2001), puis pesé (le poids initial = 100 g). Le sédiment est tamisé mécaniquement sur une série de tamis correspondant à la série AFNOR. Chaque refus de tamis est pesé et exprimé en pourcentage par rapport au poids initial. Les différentes fractions sont ainsi définies: grossière (>200µm), moyenne (63-200µm) et fine (<63µm).

La mise en solution totale de 1g de sédiment a été effectuée par un mélange, 20 ml d'eau régale (acide nitrique 1/3, acide chlorhydrique 2/3) avec 10 ml d'acide fluorhydrique (Pinta, 1970; Hoeng, 1996; Jeannot *et al.*, 2001; Quevauviller, 2001).

Cette attaque triacide a été conduite dans des godets en téflon pendant une nuit à froid, puis à chaud jusqu'à évaporation totale.

La reprise du résidu a été réalisée avec une solution d'acide nitrique à 5%. Les mesures ont été faites sur cette solution finale.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1 Géochimie des sédiments de surface

Le comportement des métaux lourds et leurs affinités dépend des variations saisonnières.

En hiver, les oxydes de Manganèse perdent leur pouvoir d'adsorption en faveur des oxydes de Fer. En effet, ceci peut être dû à la remise en suspension des sédiments qui est à l'origine d'une remobilisation importante du Manganèse à partir de sédiments, non suivie d'une adsorption fortement ralentie par la salinité. La quantité de Fer remobilisée est très faible (Broust *et al.*, 1999).

La répartition spatiale dépend aussi des variations saisonnières. En effet, plusieurs éléments métalliques en trace se répartissent sur une grande superficie de la lagune en hiver (Srarfi, 2007).

La composition particulière des sédiments varie énormément. Cette grande variabilité découle de la minéralogie et de la teneur en éléments traces, marqués par la taille des particules. Les plus fines sont pauvres en quartz et plus riches en argiles. Les fractions argileuses contiennent souvent une plus grande concentration en métaux lourds due à leur surface spécifique importante mais également

à leur forte capacité d'échange cationique et d'adsorption (Morlot, 2001).

L'évolution géochimique saisonnière des sédiments de surface est influencée aussi bien par la réduction de l'apport continental des argiles en été, que par la variation chimique et qualitative des rejets anthropiques dans la lagune. Toutefois, l'augmentation de la salinité des eaux et par conséquent la charge ionique du milieu, semble être la cause majeure qui induit la désorption des éléments métalliques sur les argiles. La compétition avec les cations majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) pour les sites d'adsorption atténue l'étendue de l'adsorption des métaux sur le matériel fin et peut même conduire à leur désorption (Barbier, 1999). Leur association avec les oxydes sera alors plus importante.

En effet, ces métaux associés principalement aux oxydes, se trouvent localisés et concentrés sur les bordures de la lagune pendant la saison estivale au dépend du matériel fin déposé au centre de la dépression lagunaire.

#### 3.2 Etude des relations entre les éléments métalliques dans les sédiments de la lagune de Bizerte

Une analyse statistique des données sur les différentes concentrations des éléments métalliques par Analyse en Composantes Principales (ACP; logiciel STATISTICA VI) a permis de déterminer les relations qui peuvent exister entre les éléments étudiés au sein de chaque sédiment superficiel prélevé.

##### 3.2.1 Campagne Hivernale

Les résultats obtenus (fig. 2a) montrent une association majeure et une deuxième moins importante :

-La première association concerne essentiellement les éléments : Fe, Pb, Zn, Cu, As et Cd ;

-La seconde comprend les éléments : Ni, Co et Cr.

A remarquer que le Manganèse ne fait partie d'aucune association, toutefois il présente une légère affinité avec la dernière.

Ces relations suggèrent une origine en partie commune et/ou des similitudes du comportement chimique des éléments du même groupe.

##### 3.2.2 Campagne estivale

Les résultats de l'analyse montrent une association regroupant essentiellement les éléments métalliques suivants : Pb, Zn, Cu, Co, Mn et As. Les éléments : Fe, Cr et Ni sont assez proches de cette association sur le plan factoriel, montrant une éventuelle affinité de cette dernière (fig.2b).

L'Aluminium et le Cadmium se comportent indépendamment des autres métaux précités. Seul le Zinc est corrélé avec le Cadmium ( $R^2 = 0.8507$ ) ce qui pourrait témoigner d'une contamination agricole (amendement chimique) ou d'une substitution dans certaines macromolécules phytoplanctoniques (Chiffolleau *et al.*, 1999). Cette dernière est accentuée par les mécanismes de croissance des diatomées en période de bloom estivale (Hunter et Boyd, 1997).

### 3.3 Etude de la répartition des métaux lourds en fonction de la fraction granulométrique

Plusieurs études ont porté sur la contamination des sédiments par les éléments métalliques. (Added, 1981; Johansson, 1989; Legeleux *et al.*, 1995; Hon Wah Lam *et al.*, 1997; Wallschläger *et al.*, 1998; Benoit *et al.*, 1999; Raïs, 1999; Owen et Sandhu, 2000; De Carlo et Green, 2001; Quevauviller, 2001; Jordao *et al.*, 2002; Yoshida *et al.*, 2004). Toutes ces études procèdent à une séparation granulométrique de la fraction  $< 63\mu\text{m}$  pour minimiser l'effet de la granulométrie et parce qu'elle concentre mieux les métaux.

La localisation particulière du site étudié peut inspirer l'intérêt de l'étude de la fraction grossière et mieux comprendre sa participation dans l'enrichissement de l'échantillon total en métaux.

D'après les histogrammes de concentration des métaux au niveau des trois fractions (fig. 3), l'hypothèse d'une fraction fine plus riche en métaux n'est pas toujours vérifiée pour le cas des sédiments de la lagune de Bizerte. En effet, d'après les analyses multifractions, on dégage l'importance de la localisation des stations d'échantillonnage dans une étude environnementale. Les trois fractions montrent des teneurs différentes en métaux lourds et ce en fonction de la position géographique de l'échantillon.

### 3.4 Discussion

La répartition des éléments métalliques dans les sédiments superficiels de la lagune de Bizerte dépend de différentes sources. Ces dernières peuvent être naturelles ou anthropiques, atmosphérique, solide ou hydrique.

En étudiant l'évolution des concentrations par rapport à la localisation des échantillons et ce sur un graphique regroupant les trois fractions on peut conclure que :

Au centre de la lagune, la fraction  $< 63\mu\text{m}$  représente de loin la matrice la plus riche en éléments métalliques en trace.

Si on s'intéresse à la composition minéralogique des argiles de bordures sud-ouest et sud de la lagune, on remarque qu'elle est dominée par la kaolinite avec un pourcentage situé entre 60% et 80 % (Soussi, 1981). Ce type d'argile est caractérisé par une faible surface spécifique et un échange cationique faible (Barbier, 1999). En plus les minéraux associés, à cette argile sont principalement le quartz et les carbonates de calcium (Kamens *et al.*, 1984). Ce qui diminue encore la capacité d'échange de ces argiles (Ben M'Barek, 2001).

Par contre, le centre de la lagune est occupé essentiellement par des smectites et appauvri totalement en kaolinite. Les smectites présentent des valeurs élevées d'échange cationique (Ben M'Barek, 2001) et un dépôt organo-minéral favorisé par des taux importants de matière organique (Hamouda, 1996; Romdhane et Belkhouja, 2004; Hassen *et al.*, 2004; Trabelsi, 2001; Hammami, 2005; Ouakad, 2007).

La présence de la matière organique augmente la rétention des éléments métalliques par la formation de complexes stables entre métal-argile-matière organique ou bien, métal-matière organique-argile (Barbier, 1999).

Sur les bordures de la lagune, on voit que la fraction la plus grossière est celle qui est la plus riche en métaux lourds. Dans cette fraction du sédiment la pollution est en fait introduite sous forme de matériel grossier (fig. 4), ensuite transporté par les courants pour intégrer enfin le matériel sédimentaire.

Une grande partie des sédiments de bordures provient de l'érosion des berges (Soussi, 1981; Kamens *et al.*, 1984; Mathlouthi, 1988; Oueslati, 1994). Sachant qu'il y a présence de plusieurs hectares de déchets industriels



contenant des métaux sur les côtes de la lagune et que le bassin versant les apporte, on peut dire que ce matériel sédimentaire n'est pas

seulement d'origine détritique mais aussi anthropique.

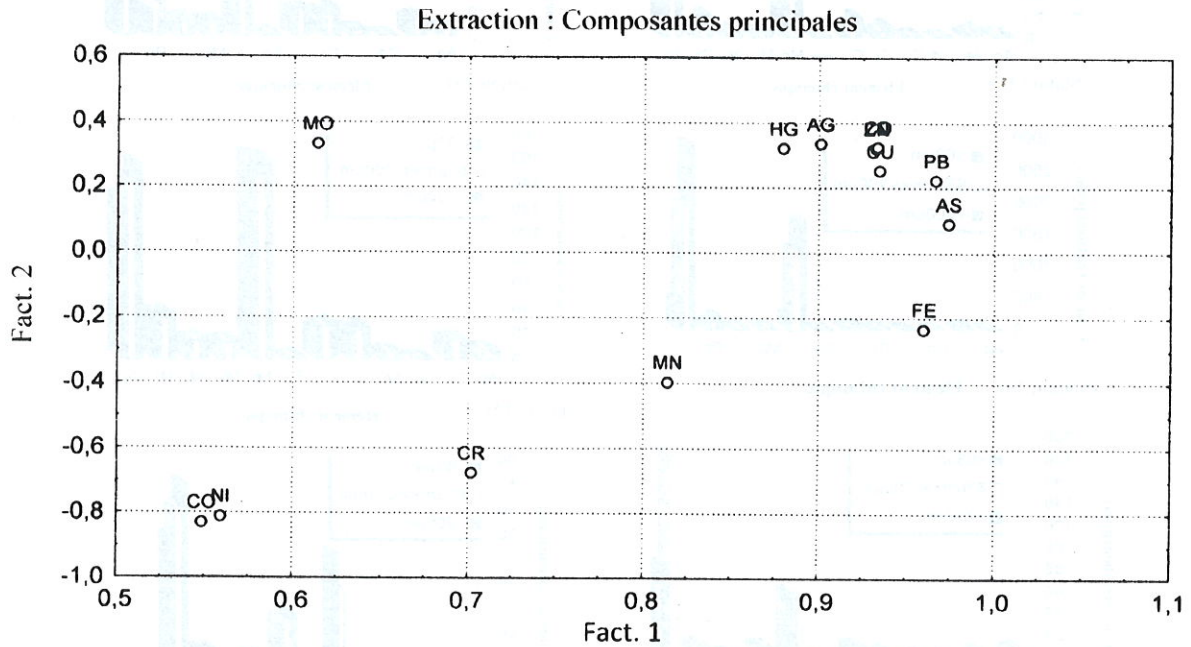


Figure 2a : Analyse en composantes principales des concentrations des métaux lourds dans les sédiments de la lagune de Bizerte (campagne hivernale)

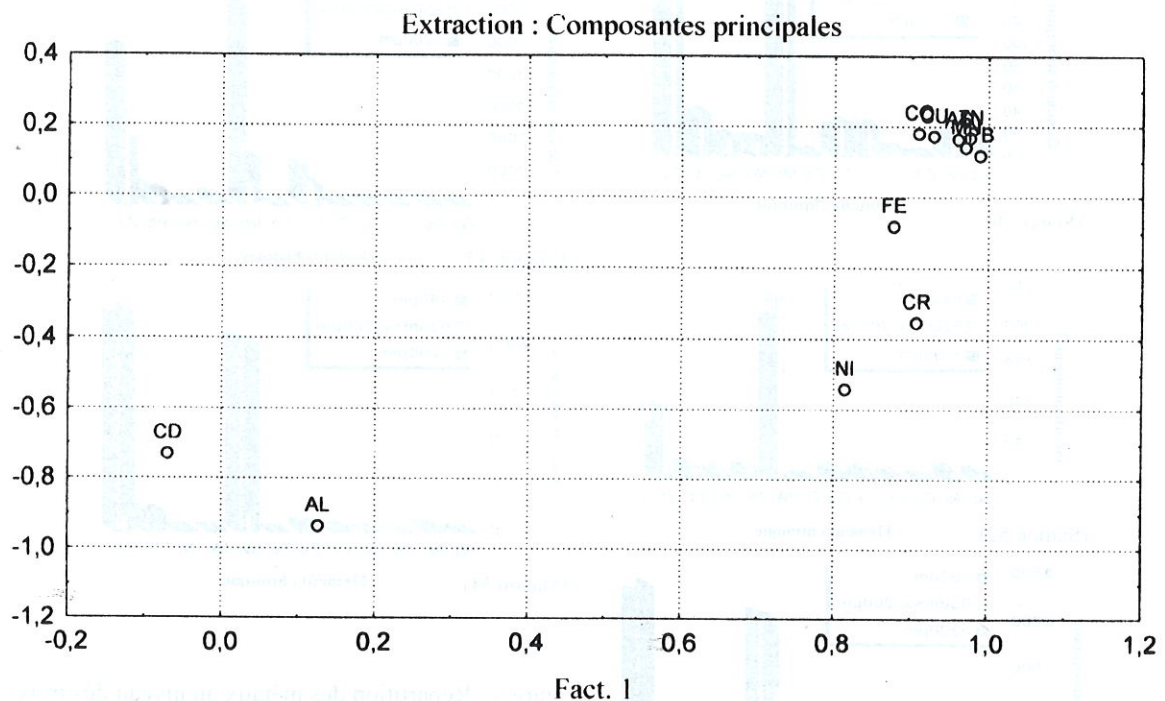


Figure 2b: Analyse en composantes principales des concentrations des métaux lourds dans les sédiments de la lagune de Bizerte (campagne estivale)

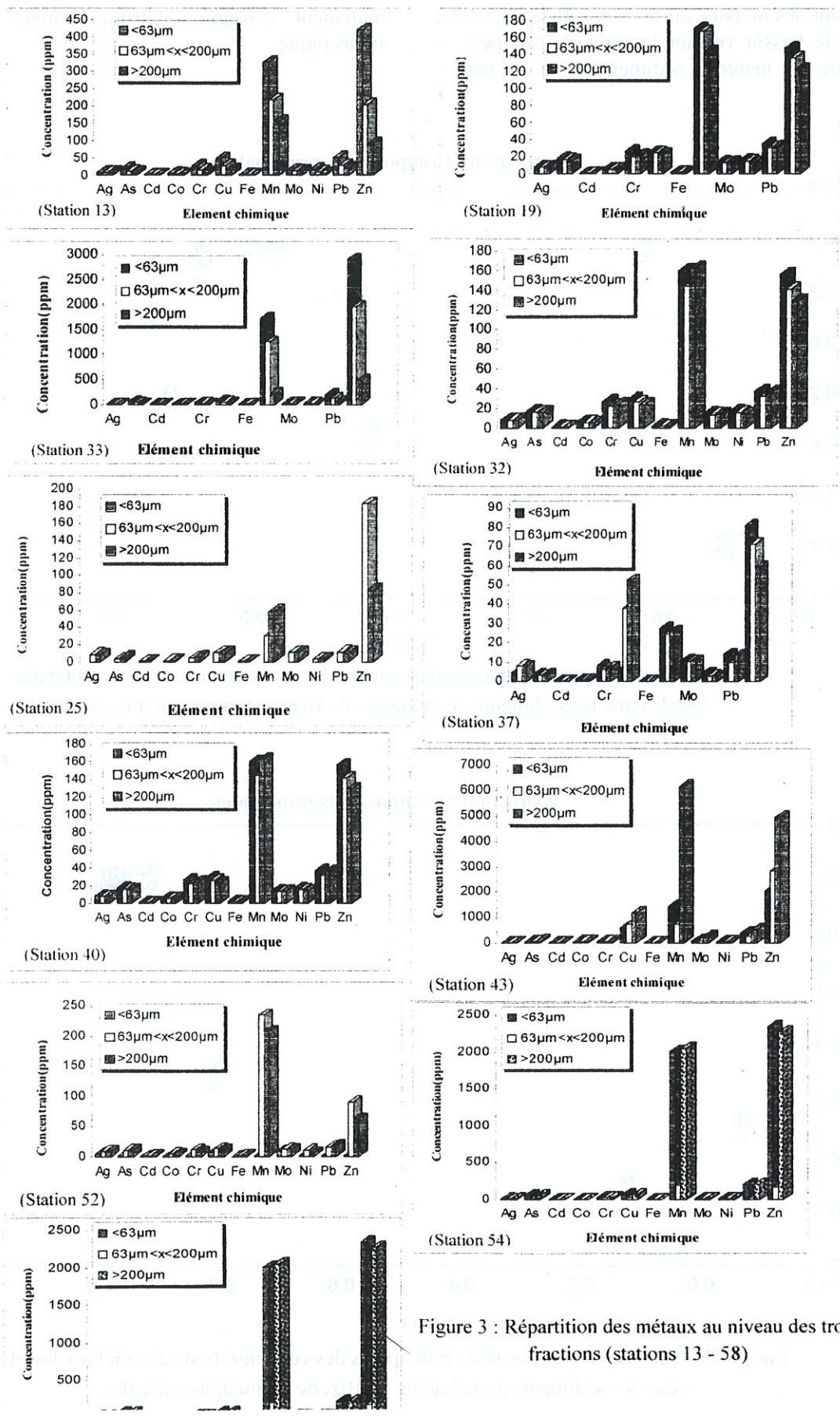


Figure 3 : Répartition des métaux au niveau des trois fractions (stations 13 - 58)

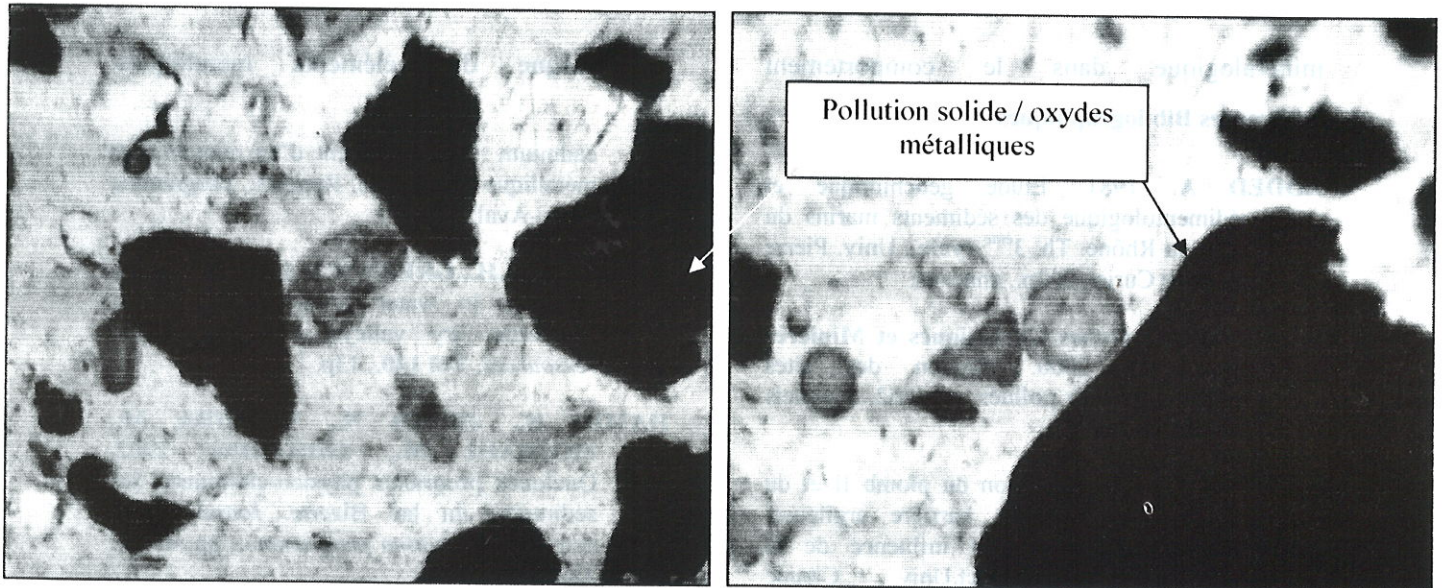


Figure 4 : Les sédiments de bordure de la lagune de Bizerte au niveau des stations 54 et 43. Microscope polarisant, lumière naturelle, grossissement 40.

#### 4. Conclusion

La remobilisation des sédiments de surface, accentuée en hiver, favorise le passage des métaux associés aux oxydes de Manganèse vers l'eau. Ce qui est à l'origine de l'appauvrissement relatif des sédiments en éléments métalliques pendant la saison hivernale. Le Mn joue un rôle essentiel dans cette variation saisonnière.

Le remaniement peut atteindre même les niveaux plus profonds que ceux de la couche superficielle des oxydes. Les métaux s'y trouvent associés aux sulfures. On assiste alors à une libération des éléments métalliques tels que des Cd, Ni et Co.

Le changement quantitatif et qualitatif des apports par les rejets industriels et urbains peut contribuer à cette évolution saisonnière. Toutefois, ce type d'apport fortuit est difficilement estimable.

L'analyse des trois fractions granulométriques différentes (grossière ( $>200\mu\text{m}$ ), moyenne ( $63-200\mu\text{m}$ ) et fine ( $<63\mu\text{m}$ )) confirme le rôle du matériel fin dans la répartition spatiale saisonnière des éléments métalliques dans le sédiment de surface. En effet, le centre de la lagune occupé essentiellement par des

smectites, montre des teneurs importantes en métaux lourds. Ceci grâce à des valeurs élevées d'échange cationique et un dépôt organo-minéral important.

Par contre, sur les bordures, ces minéraux sont dominés par la kaolinite, caractérisée par une surface spécifique et un échange cationique faible. Associée au quartz et aux carbonates de calcium, sa capacité d'échange diminue encore et les teneurs en métaux lourds se réduisent dans la fraction fine en faveur des autres fractions granulométriques plus grossières.

En plus de ce facteur minéralogique naturel, il y a un facteur anthropique fondamental. Sur les bordures de la lagune une pollution solide particulière marque surtout la partie grossière des sédiments de surface. D'ailleurs, la localisation géographique des points de rejets directs des éléments chimiques, montre plusieurs zones de concentration dans les sédiments et les eaux d'après les cartes de répartition des éléments métalliques (Srarfi, 2007).

Donc l'intérêt des analyses multifractions apparaît non seulement pour discuter l'utilité d'une étape de prétraitement des échantillons sédimentaires, mais aussi pour confirmer le rôle de la fraction granulométrique et



minéralogique dans le comportement

### Références Bibliographiques

**ADDED A.** 1981. Etude géochimique et sédimentologique des sédiments marins du delta du Rhône. Th. 3<sup>ème</sup> cycle., Univ. Pierre et Marie Curie., 263p., annexes.

**Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M).** 2000. Gestion des sites (potentiellement) pollués version2. Manuels techniques., ann.

**BARBIER F.** 1999. Rétention du plomb II et du cadmium II par une barrière argileuse. Transfert métalliques et influence de la complexation. Th.Doct.Univ. Claude Bernard Lyon I., 129p.

**BEN GUIRAT S.** 1997. Contribution à l'étude de la pollution des terres agricoles par des rejets industriels et miniers. (Cas de la sidérurgie de Menzel Bourguiba et de la mine de Bougrine). DEA.,Univ., TunisII.,127p.,1ann.

**BEN M'BAREK M.** 2001. Les argiles du Crétacé et du Paléogène du Nord Est de la Tunisie: caractérisations et essais d'applications industrielles. Th.Doct. Univ Tunis.,167p.

**BEN M'BAREK N.** 1995. Impacts des ouvrages sur l'équilibres de l'écosystème « lac Ichkeul »: suivi mensuel des principaux paramètres physico-chimiques.DEA. Univ.Tunis., 67p.

**BEN M'BAREK N.** 2000. Etat d'évolution de l'écosystème du lac Ichkeul et de son bassin versant. Th.Doct. Univ.Tunis II.,182p.

**BENOIT G., NIEDER W., LEVANDOWSKY M., BRESLIN V.T.** 1999. Sources and history of heavy metal contamination and sediment deposition in Tivoli south bay, Hudson river, New York. *Estuaries*, Vol 22., N°2.A., pp.167-173.

**BOUSSABAH M., GASMI M.** 1990. Etude préliminaire de l'écologie du lac de Bizerte. *Rapport.*, Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE),100p.

**BROUST D., FISCHEN J.C., OUDDANE B., PETIT F., WARTEL M.** 1999. Fer et manganèse: réactivité et recyclage., *Rapport.*, Seine- Aval., 40p.

**CHIFFOLEAU J. F., GONZALEZ J. L., MIRAMAND P., TOUVENIN B.** 1999. Le

géochimique des éléments métalliques.

cadmium : comportement d'un contaminant métallique en estuaire. *Rapport.*, programme Seine-Aval. 31p.

**DE CARLO E.H., GREEN W.J.** 2001 . Rare earth elements in water column of lake da. Mcmurdo dry valleys Antarctica. *Water resources*, Vol 140., 13p.

**HAMDI H., JEDIDI N., YOSHIDA M., MOSBAHI M., GHRABIM.** 2002. Quelques propriétés physico-chimiques des sédiments du lac Bizerte. *Initial report research promotion programme.*, pp. 49-54. Tunisie.

**HAMMAMI J.** 2005. Géochimie des éléments nutritifs dans les eaux de la lagune de Bizerte (Tunisie Nord-Orientale)., DEA, Université El Manar.,Tunis 132p.

**HAMOUDA R.** 1996. Etude des hydrocarbures dans les sédiments superficiels de la lagune de Ghar el Melh et de la lagune de Bizerte. DEA. Univ. Tunis II.126p.

**HASSEN A., CHERIF K., BELGUITH A., SAIDI N., AOUNI M., YOSHIDA M.** 2004. Polymerase chain reaction technique for microbial and environmental investigations. *Final report research promotion programme.*, pp.103-114.

**HOENIG M.** 1996. Importance des étapes de préparation de l'échantillon lors de l'analyse des éléments traces. *Spectra Analyse*, N°189.,pp27-30.

**HON WAH LAM M., YUK WAI TJIA A., CHAN C.C., CHAN W.P., LEE W.S.** 1997. Speciation study of chromium, copper and nickel in coastal estuarine sediments polluted by domestic and industrial effluents. *Marine Pollution Bulletin*, Vol 34, N°11., pp.949-959.

**HUNTER K.A., BOYD P.** 1997. Has trace metal marine biochemistry come of age? *Proceedings of trace elements group of New Zealand.*, MACASKILL.

**JEANNOT R., LEMIERE B., CHIRON S.** 2001. Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués. BRGM., document N°28., 85p.

**JOHONSSON K. J.** 1989. Metals in sediment of lake in northern sweden. *Water, Air and Soil Pollution*, Vol 46.,pp.442-455.





- JORDAO C.P., PEREIRA M.G., PEREIRA J.** 2002. Metal contamination of river waters and sediments from effluents of kaolin processing in Brazil., *Water, Air and Soil Pollution*, Vol 40., pp. 119-139.
- KALLEL M.R.** 1989. Hydrologie du lac de Bizerte - Monographie Ministère de l'Agriculture., 41p.
- KAMENS J., PILKEY O., WHALING P.** 1984. La sédimentation dans le lac de Bizerte. *Note du Service Géologique*, N°49., pp 5-28.
- LEGELEUX F., REYSS J.L., FLORIS S.** 1995. Entraînement des métaux vers les sédiments sur les marges continentales de l'atlantique Est. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.*, Paris., t 320, série IIa., pp. 1195-1202.
- MATHLOUTHI S.** 1988. Les héritages continentaux et marins d'âge quaternaire dans les environs du système lacustre de Bizerte (extrême nord-est tunisien). *Méditerranée*, N°2., pp.42-51.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES (MAERH).** 2005. Etude sur la dépollution industrielle dans le bassin versant du lac de Bizerte. *Rapport phase III*.
- MORLOT M.** 2001. Aspects analytiques du plomb dans l'environnement. TEC & DOC., Paris., 475p.
- MOSBAHI M.** 2002. Contribution à l'étude du degré de pollution dans la lagune de Bizerte. Master., Faculté des Sciences de Bizerte., Université 7 Novembre., 60p. Tunisie.
- OFFICE TUNISIEN DE TOPOGRAPHIE (OTC).** 1987. carte topographique de Bizerte 1/200000.
- OUAKAD M.** 2007. Genèse et évolution des milieux laguno-lacustres du Nord-Est de la Tunisie (Garaet el Ichkeul, lagune de Bizerte et de Ghar el Melh).Th d'état.Univ.Tunis el Manar. 461p.
- OUESLATI A.** 1994. Les côtes de la Tunisie : recherches sur leur évolution au Quaternaire. Vol XXXV., Univ. Tunis I.
- OWEN R.B., SANDHU N.** 2000. Heavy metal accumulation anthropogenic impacts on Tolo Harbour, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, Vol 40, N°2., pp.174-180.
- PENGELLY A., SAMMUT F., VANLERSSEL D.** 1998. Contrôle de pollution industrielle en Tunisie., Audit environnemental de l'usine el Fouleth.*Rapport.*, ANPE., Tunisie.
- PINTA M.** 1970. Revue des problèmes de contamination dans le dosage des traces. *Colloque National sur le Dosage des éléments à l'état de traces dans les roches et les autres substances minérales naturelles*, Nancy., pp. 25-40.
- QUEVAUVILLER P.** 2001. Métrologie en chimie de l'environnement. TEC & DOC., Paris., 253p.
- RAÏS M.** 1999. Géochimie des métaux lourds (Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ni, et Cd) dans les eaux de surface du golfe de Tunis. Mobilité et Impact des activités anthropiques. Th.Doct. Univ. TunisII., 211p.
- ROMDHANE M. S., BELKHOUSA H.** 2004. Interaction entre la qualité du substrat et la faune malacologique de la lagune de Bizerte. *Final report research promotion programme.*, pp.115-124.
- SAINFELD P.** 1952. Les gîtes plombo-zincifères de Tunisie. *Annales des mines et de la géologie*, N°9., 281p.,4ann.
- SOUSSI N.** 1981. Mécanisme de sédimentation et évolution paléogéographique de la lagune de Bizerte (Tunisie) durant le Quaternaire récent. Th.Doct. 3<sup>ème</sup> cycle ;Univ. Paul Sabatier de Toulouse., 229p.
- SRARFI F., SLIM SHIMI N., TAGOURTI M.A.** 2004. Les rejets anthropiques et leur influence directe sur l'évolution actuelle de la lagune de Bizerte. *Notes du Service Géologique, Tunisie*, N°72., pp 55-64.
- SRARFI F., SHIMI N.** 2004. Evaluation Simplifiée des Risques : une approche qui s'applique au Nord de Tunisie. *LARYSS Journal*, N°3., pp185-196.
- SRARFI F.** 2007: Etude géochimique et état de pollution de la lagune de Bizerte. Thèse de doctorat. Université El Manar Tunis., 122p.
- TRABELSI S.** 2001. Contribution à l'étude par HPLC des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les sédiments. Application : évaluation préliminaire de la contamination de Bizerte. D.E.A., Faculté des Sciences de Bizerte., Université de 7 Novembre., 84p.
- WALLSCHLAGER D., DESAI V.M., SPENGLER M., WILKEN R.D.** 1998. Heavy metals in the environnement. *Journal Environnement Quality*, vol 29, N°2., pp.1040-1044.
- YOSHIDA M., KALLALI H., GRABI A.** 2004. Solid waste landfills and soil/sediment contamination around Bizerte lagoon: possible source of pollution. *Final report research promotion programme.*, pp. 5-20. Tunisie.