

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Minister de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
MASTER EN SCIENCES DE LA MER

Sujet :

**Les métaux traces dans les sédiments du littoral Algérois :
Etat et analyse rétrospective**

Présenté par:

- **Mr MEGUELLATI Abderrahmen**

Soutenus le 20/10/2012 devant le jury suivante:

Mr SEMROUD. R	Professeur (ENSSMAL)	Président
Mr BOULAHIDID. M	Professeur (ENSSMAL)	Promoteur
Mr INAL. A	Attaché de recherche (CNRDPA)	Co-promoteur
M^{me} GHALMI. R	Maître assistant (ENSSMAL)	Examinatrice
M^{me} BENTCHIKOU. L	Maître assistant (ENSSMAL)	Examinatrice

Promotion : 2011/2012



Remerciements

Je tiens à remercier Monsieur **BOULAHDI** .M, d'avoir accepté de diriger et de suivre constamment la progression de ce travail par ses suggestions et aussi Monsieur **INAL**. A

Nous tenons à remercier Monsieur **SEMROUD**. R, d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.

C'est avec un grand plaisir que nous remercions Madame **GHALMI**. R et Madame **BENTCHIKOU**. L, pour avoir pris le temps d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier nos chers parents et famille qui nous ont constamment aidés de leurs conseils, encouragements, et de leur soutien moral tout le long de nos études.

Nos remerciements, s'adressent aussi à l'ensemble des personnes de **E.N.S.S.M.A.L**, qui nous ont permis de réaliser cette étude dans les meilleures conditions de travail et dans une bonne ambiance.

Enfin, nous tenons vivement à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent mémoire.

Liste des acronymes

A.I.E.A (I.A.E.A) : Agence Internationale de l'Energie Atomique.

C.R.N.A : Centre de Recherche Nucléaire d'Alger.

D.G.P.S: Differential Global Positioning System.

ETM : Eléments Traces Métalliques.

MO : Matière organique.

P.A.C : Plan d'Aménagement Côtier.

P.A.M : Plan d'Action pour la Méditerranée.

P.N.U.E (U.N.E.P) : Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

S.A.A : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique.

ACP : Analyse en composantes principales.

SOMMAIRE

Table des matières

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre I : Les métaux traces dans les sédiments marins

1. Les sédiments marins	3
1.1. Définition.....	3
1.2. Origine.....	3
1.3. Caractéristiques	3
1.3.1. Composition du sédiment	3
1.3.1.1. Particules organiques.....	3
1.3.1.2. Particules inorganiques	3
1.3.1.3. Eau interstitielle.....	4
1.3.2. Granulométrie	4
1.4. Evolution	4
1.4.1. La bioturbation.....	4
1.4.2. La diagénèse sédimentaire	5
2. Les éléments traces métalliques	5
2.1. Définition et classification des métaux traces	5
2.2. Origine.....	6
2.3. Cycle biogéochimique des ETM dans le milieu marin.....	6
2.4. La spéciation des ETM.....	7
2.5. La mobilité des ETM.....	8
2.6. Les paramètres influençant la mobilité et la spéciation des ETM.....	8
2.6.1. Le PH.....	8
2.6.2. Les conditions d'oxydoréductions	9
2.6.3. La température	9
2.6.4. La salinité.....	9
2.6.5. La granulométrie	9

Chapitre II : Synthèse des travaux réalisés sur la contamination des sédiments des baies d'Alger et de Bou-Ismaïl par les métaux traces

1. Aperçue générale sur les travaux réalisés sur la contamination des sédiments du littoral Algérois par les métaux traces :	10
2. La synthèse des travaux réalisés sur la contamination des sédiments du littoral Algérois par les métaux traces selon un ordre chronologique croissante	11
2.1. La baie d'Alger :.....	11

2.1.1. Sellali 1986 :	11
2.1.2. Maouche 1987 :	12
2.1.3. Taguine 1988 :	12
2.1.4. Chouikhi et <i>al</i> 1989 :	12
2.1.5. Aouameur 1990 :	13
2.1.6. Benoud et Mallem 1991:	14
2.1.7. Boudjellal et <i>al</i> 1993:	15
2.1.8. Khiari 1999 :	15
2.1.9. Zegar 2002:	16
2.1.10. Matmed 2004 :	17
2.1.11. Rouibah et <i>al</i> 2005 :	17
2.1.12. Taib errahmani 2009 :	18
2.1.13. Meguellati et Sraoui 2012 :	19
2.2. La baie de Bou-Ismaïl :	20
2.2.1. Boudjellal et <i>al</i> 1995 :	20
2.2.2. Aouidad 1996 :	21
2.2.3. Benamirouche et Bacha 2000 :	22
2.2.4. Addouche 2002 :	22
2.2.5. Bellahsene et Messaoudi 2005 :	22
2.2.6. Rouibah et <i>al</i> 2005 :	23
2.2.7. Djerad 2010 :	23
2.2.8. Inal 2011 :	23
2.2.9. Meguellati et Sraoui 2012 :	24

Chapitre III : Traitement, interprétation et analyse des données acquises

1. Traitement et interprétation des données acquises :	25
1.1. Baie d'Alger :	25
1.1.1. Zinc :	25
1.1.2. Cuivre :	26
1.1.3. Plomb :	26
1.1.4. Manganèse :	27
1.1.5. Cadmium :	27
1.1.6. Chrome :	28
1.1.7. Nickel :	28
1.1.8. Fer :	29

1.1.9. Mercure :	29
1.2. Baie de Bou-Ismaïl :	30
1.2.1. Zinc :	30
1.2.2. Cuivre :	30
1.1.3. Plomb :	31
1.1.4. Manganèse :	31
1.1.5. Cadmium :	32
1.1.6. Chrome :	32
1.1.7. Nickel :	33
1.1.8. Fer :	33
1.1.9. Mercure :	33
2. Analyse statistique des données acquises :	34
2.1. Analyse binaire :	34
2.1.1. Baie d'Alger :	34
2.1.2. Baie Bou-Ismaïl :	36
2.2. L'analyse en composantes principales (ACP) :	37
2.2.1. Baie d'Alger :	38
2.2.1. Baie Bou-Ismaïl :	41
Conclusion générale	45
Références bibliographiques	

Liste des acronymes

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des figures

Figure 1 : Processus de bioturbation à l'interface eau – sédiment (Gabelle, 2006).....	5
Figure 2 : Représentation schématique du cycle biogéochimique des éléments traces dans des environnements marins (in (Butcher <i>et al</i> , 1992)).....	7
Figure 3 : Principales interactions d'un métal M avec les constituants particuliers, organiques et inorganiques et les organismes vivants du milieu aquatique (Buffle, 1988).....	8
Figure 4 : Situation géographique de la baie d'Alger.....	11
Figure 5 : Situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl.....	20
Figure 6 : Evolution de la concentration en zinc dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissante.....	25
Figure 7 : Evolution de la concentration en cuivre dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissante.....	26
Figure 8 : Evolution de la concentration en plomb dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissante.....	26
Figure 9 : Evolution de la concentration en manganèse dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissante.....	27
Figure 10 : Evolution de la concentration en cadmium dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissante.....	27
Figure 11 : Evolution de la concentration en chrome dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissante.....	28
Figure 12 : Evolution de la concentration en Nickel dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissante.....	28
Figure 13 : Evolution de la concentration en Fer dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissante.....	29
Figure 14 : Evolution de la concentration en mercure dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissante.....	39
Figure 15 : Evolution de la concentration en zinc dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissante.....	30
Figure 16 : Evolution de la concentration en cuivre dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissante.	31
Figure 17 : Evolution de la concentration en Plomb dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissante.	31
Figure 18 : Evolution de la concentration en manganèse dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissante.....	32
Figure 19 : Evolution de la concentration en cadmium dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissante.....	32
Figure 20 : Evolution de la concentration en chrome dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissante.....	33
Figure 21 : Evolution de la concentration en nickel dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissante.....	33
Figure 22 : Evolution de la concentration en mercure dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissante.....	34
Figure 23 : Evolution de la concentration en ETM dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissante.....	36

Figure 24 : Evolution de la concentration en ETM dans les sédiments superficiels da la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissante.....	37
Figure 25 : Valeurs propres en fonction des axes factoriels (baie d'Alger).....	39
Figure 26 : Nuage de points sur les axes 1 et 2 dans la baie d'Alger (premier plan factoriel)...	39
Figure 27 : Nuage de points sur les axes 1 et 3 dans la baie d'Alger (deuxième plan factoriel).	40
Figure 28 : Nuage de points sur les axes 2 et 3 dans la baie d'Alger (troisième plan factoriel).	40
Figure 29 (a) : Graphique séquentiel en 3D dans la baie d'Alger (a).....	41
Figure 29 (b) : Graphique séquentiel en 3D dans la baie d'Alger (b).....	41
Figure 30 : Valeurs propres en fonction des axes factoriels (baie Bou-Ismaïl).....	42
Figure 31 : Nuage de points sur les axes 1 et 2 dans la baie de Bou-Ismaïl (premier plan factoriel).....	42
Figure 32 : Nuage de points sur les axes 1 et 3 dans la baie de Bou-Ismaïl (deuxième plan factoriel).	43
Figure 33 : Nuage de points sur les axes 2 et 3 dans la baie de Bou-Ismaïl (troisième plan factoriel).	43
Figure 34 (a) : Graphique séquentiel en 3D dans la baie de Bou-Ismaïl (a).....	44
Figure 34 (b) : Graphique séquentiel en 3D dans la baie de Bou-Ismaïl (b).....	44

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classifications granulométriques des grains constituant la matrice solide des sédiments (Costet et Sanglerat, 1981).....	4
Tableau 2 : Origines des métaux traces dans le milieu marin.....	6
Tableau 3 : Effet de la température sur l'adsorption de Cu, Cd, Zn et Pb (Serpaud et al, 1994)...	9
Tableau 4 : les travaux réalisés sur la contamination des sédiments du littoral Algérois par les métaux traces selon un ordre chronologique croissante.....	10
Tableau 5 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger	11
Tableau 6 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger (1987).....	12
Tableau 7 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger (1988).....	12
Tableau 8 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger (1989).....	12
Tableau 9 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger (1990).....	13
Tableau 10 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger (1991).....	14
Tableau 11 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger (1993).....	15
Tableau 12 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger (1999).....	16
Tableau 13 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels [0 – 10 cm] de la baie d'Alger (2002).....	16
Tableau 14 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments de la baie d'Alger (2004).....	17
Tableau 15 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels du littoral Algérois (2005).....	18
Tableau 16 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger (2009).....	19
Tableau 17 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger (2012).....	19
Tableau 18 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl (1995).....	21
Tableau 19 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl (1996).....	21
Tableau 20 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl (2000).....	22
Tableau 21 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl (2002).....	22
Tableau 22 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'El Djamilia (2005).....	22
Tableau 23 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl (2010).....	23

Tableau 24 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl (2011).....	24
Tableau 25 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl (2012).....	24
Tableau 26 : Résultats des teneurs en ETM dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissant.....	25
Tableau 27 : Résultats des teneurs en ETM dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissant.....	30
Tableau 28 : Corrélation inter métaux dans le sédiment superficiel de la baie d'Alger.....	35
Tableau 29 : Corrélation inter métaux dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl...	36
Tableau 30 : Valeurs propres et inertie (baie d'Alger).....	38
Tableau 31 : Valeurs propres et inertie (baie Bou-Ismaïl).....	41

〔 Introduction générale 〕

Le milieu marin est contaminé par de nombreux produits chimiques dont des éléments métalliques rejetés par les industries, l'agriculture et les activités urbaines. Les zones estuariennes et côtières, sous forte influence continentale, sont les plus touchées par cette contamination.

L'étude des métaux traces dans l'environnement marin conduit à une meilleure compréhension de leur comportement, notamment en tant qu'indicateur des sources de pollution (Forstner et Wittman, 1979).

La contamination du milieu marin par les métaux demeure un sérieux problème d'environnement de plus en plus inquiétant. Ils sont présents dans tous ses compartiments (eau, sédiment, faune et flore).

Les sédiments marins peuvent être un indicateur sensible pour la surveillance des tendances spatiales et temporelles des contaminants dans l'environnement marin (Larsen et Jensen, 1989 ; Kennish, 2001). Ils sont souvent étudiés comme réservoirs ou puits de nombreux polluants chimiques. C'est pour ces différentes raisons qu'ils ont été étudiés par plusieurs auteurs dans le cadre des recherches sur la qualité des cours d'eau, lagunes ; lacs et zones côtières.

À l'instar de la majorité des zones côtières méditerranéennes, Le littoral algérien connaît de sérieux problèmes environnementaux. La région algéroise est certainement l'une des zones où l'altération de la qualité des eaux marines côtières est la plus perceptible (PAC, 2006), ce qui rend la surveillance et le suivi de la qualité des eaux côtières une nécessité pour réserver cet espace.

Les zones côtières sont des espaces fragiles et très sollicités. Ils sont exposés à des énormes risques: la pression démographique, la croissance des zones urbaines, associée à une expansion rapide de l'industrie et du tourisme et à une exploitation intensive des ressources marines. Cela a suscité une prise de conscience de la communauté internationale concernant le développement durable de ces espaces et leurs ressources naturelles.

Dans ce contexte, les différentes institutions concernées par le problème de la pollution collectent et stockent de grandes quantités de données. Des travaux de recherche ont été réalisés sous différents thèmes notamment, l'eutrophisation, contaminant chimique, milieu physique et milieu biologique pour le suivi de la qualité des eaux dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl.

Pour exploiter ces travaux, de nombreux outils sont développés pour permettre aux gestionnaires et aux scientifiques de promouvoir un développement durable de ces régions ; parmi ceux-ci, les outils d'aide à la décision sont de plus en plus utilisés, ils comportent souvent les Systèmes d'Information Géographique (SIG). Ainsi les outils d'analyse statistiques descriptives ou exploratoires de données multidimensionnelles (de plus de deux variables) basées sur des calculs relativement compliqués en algèbre linéaire, ils comportent souvent des logiciels spécialisés tel que le classeur *Excel* et le logiciel *Statistica*. Ces derniers qu'on va utiliser dans ce mémoire.

Le présent travail est le premier dans son genre, il présente une continuité du mémoire d'ingénieur. L'objectif général de ce travail, est de synthétiser les travaux réalisés sur la contamination des sédiments du littoral Algérois par les métaux traces, ainsi le traitement et analyse des données acquises à l'aide du classeur *Excel* et le logiciel *Statistica* pour évaluer l'état de pollution et l'évolution de ce dernier au cours du temps.

Les métaux analysés dans cette étude sont le **Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Cr, Ni, Fe** et **Hg**.

Pour atteindre cet objectif, notre mémoire est composée de trois parties :

- La première partie sera consacrée aux généralités sur les métaux traces dans les sédiments marins.
 - La deuxième partie présente une synthèse des travaux réalisés sur la contamination des sédiments du littoral Algérois par les métaux traces.
 - La troisième partie sera consacrée au traitement et analyse des données acquises.
- Enfin, une conclusion générale clôture ce mémoire.

Généralités

1. Les sédiments marins

1.1. Définition

Le sédiment est un compartiment complexe et relativement hétérogène forme d'eau, de matériaux détritiques, de composés minéraux et organiques (Power et Chapman, 1992).

Il présente un ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses de fragments de roches ou de restes organiques produits par l'érosion, qui sont entraînés vers les hydrosystèmes et déposés au fond de l'eau. Ce sont des compartiments hétérogènes dont les capacités pour fixer et libérer dans l'eau des polluants varient en fonction des caractéristiques hydrodynamiques, physiques et chimiques du milieu.

La sédimentation est l'ensemble des processus par lesquels les particules physiques (organiques ou minérales) en suspension et en transit cessent de se déplacer et se déposent, devenant ainsi des sédiments (Devallois, 2009).

1.2. Origine

Les sédiments proviennent du dépôt des particules en suspension dans l'eau dérivant elles mêmes de l'érosion des roches et des sols, de matériaux détritiques organiques et de la floculation d'éléments colloïdaux. Ces particules parviennent au milieu aquatique par les cours d'eau et par voie atmosphérique.

Ces éléments sont dits d'origine allochtone quand ils sont issus de l'érosion du bassin versant par des agents dynamiques externes comme l'eau ou le vent et d'origine autochtone quand ils sont dus à la sédimentation de composés minéraux (carbonates, phosphates, évaporites) et organique (organismes planctoniques morts) (Ramade, 1998).

1.3. Caractéristiques

Les sédiments sont essentiellement caractérisés par leur composition et leur granulométrie.

1.3.1. Composition du sédiment

La matrice solide des sédiments est constituée par un assemblage de particules de natures organiques et inorganiques.

1.3.1.1. Particules organiques

Les particules organiques proviennent du métabolisme et de la dégradation des organismes vivants. C'est un ensemble très varié et assez mal connu. Elles se décomposent en deux fractions :

- Fraction organique vivante (microflore, faune et racine).
- Fraction organique morte : débris organiques d'origines animale ou végétale, plus ou moins décomposés en humus sous l'action des microorganismes.

La phase organique n'occupe qu'un faible volume du sédiment (quelques %), mais joue un rôle primordial puisqu'elle régule la mobilité et donc la biodisponibilité d'un grand nombre de contaminants, en particulier les composés organiques non ioniques (Power et Chapman, 1992).

1.3.1.2. Particules inorganiques

Les particules inorganiques proviennent soit du transport par charriage de matériel sédimentaire du bassin versant soit du fond géochimique du sédiment. Les principales particules inorganiques sont :

- Les oxydes métalliques : ce sont principalement des oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse qui jouent un rôle important dans le comportement des ETM ;
- Les argiles (phyllosilicates) ;
- Les aluminosilicates non argileux (feldspaths, ...) ;
- La silice (opale, quartz,...) ;
- Les carbonates (calcite, dolomite) ;
- Les phosphates (vivianites, ...) ;
- Les sulfures (pyrite, ...).

1.3.1.3. Eau interstitielle

Dans la phase liquide du sédiment, encore appelée eau interstitielle représente entre 20 et 90% du volume des sédiments de surface mais ces pourcentages diminuent généralement avec la profondeur suite a la compaction des particules sédimentaires. La teneur en eau est également fonction de la texture du sédiment en lui-même : plus la porosité d'un sédiment est faible, moins il est riche en eau (Lesven, 2008).

1.3.2. Granulométrie

Les sédiments sont classés en fonction de la taille de leurs particules selon des classes de dimensions prédéfinies.

Tableau 1 : Classifications granulométriques des grains constituant la matrice solide des sédiments (Costet et Sanglerat, 1981).

Cailloux	Graviers	Sables	Limons	Argiles
$d > 20 \text{ mm}$	$2 \text{ mm} < d < 20 \text{ mm}$	$63 \mu\text{m} < d < 2 \text{ mm}$	$2 \mu\text{m} < d < 63 \mu\text{m}$	$d < 2 \mu\text{m}$

1.4. Evolution

1.4.1. La bioturbation

Parmi les processus biologiques contrôlant le comportement sédimentaire, la bioturbation est un processus physique et biologique affectant le sédiment situé à proximité de l'interface avec la colonne d'eau. Ce phénomène regroupe l'ensemble des activités des organismes vivants qui ont des conséquences directes ou indirectes sur les mécanismes ayant lieu dans la colonne sédimentaire (figure 1). Les activités de la macrofaune, que ce soit par le creusement de galeries ou de terriers, le fouissage ou encore l'ingestion de sédiment, vont ainsi modifier l'environnement sédimentaire en générant son homogénéisation parfois jusqu'à 10 cm de profondeur et en le réoxydant partiellement (Gabelle, 2006).

Toutes ces modifications entraînent des changements de propriétés physiques, biologiques et chimiques de la matrice sédimentaire.

Il est par exemple avéré que le remaniement sédimentaire induit par les organismes benthiques modifie la stabilité du sédiment, certains processus comme le processus de dénitrification mais aussi la dynamique de population de certains organismes.

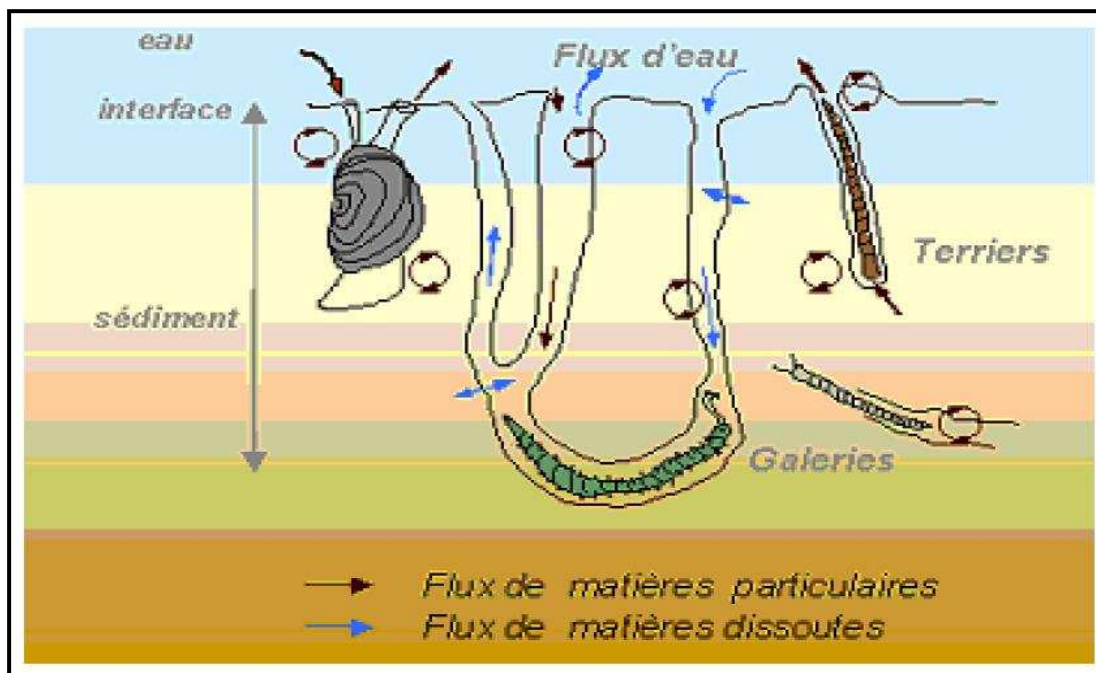


Figure 1 : Processus de bioturbation à l'interface eau – sédiment (Gabelle, 2006).

1.4.2. La diagénèse sédimentaire

Les sédiments des cours d'eau sont caractérisés par d'importants gradients bio-physico-chimiques. Ces gradients sont la conséquence de nombreuses transformations physiques, chimiques et biologiques qui conduisent à la transformation du sédiment en roche cohérente : c'est la diagénèse sédimentaire.

Les processus de diagénèse sont complexes et variés et sont globalement dominés par deux phénomènes : la compaction et la cimentation.

La diagénèse précoce désigne les transformations qui commencent dès le dépôt des particules et qui sont prédominantes aux petites échelles géologiques (quelques dizaines d'années). Du point de vue des ETM, il est intéressant de prendre en compte ces réactions car elles jouent un rôle important sur leurs transferts dans les cours d'eau (Ternat, 2004).

Cette dernière contrôle ainsi les cycles biogéochimiques du carbone et de nombreux autres éléments (tels que l'azote, le soufre et les métaux) induits par différents processus tels que des modifications biologiques (l'activité bactérienne).

2. Les éléments traces métalliques

2.1. Définition et classification des métaux traces

Un métal est un élément chimique, issu le plus souvent d'un minerai doté d'un éclat particulier appelé « éclat métallique », bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisés par l'homme depuis l'Antiquité.

On parle généralement de « métaux lourds » pour les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisées par une densité supérieure à 5g/cm^3 .

D'autre part le terme « métaux traces » est aussi souvent utilisé pour décrire ces mêmes éléments, car ils se retrouvent souvent en très faible quantité dans les eaux et les solides.

Les ETM peuvent être classés en fonction de leur caractère essentiel pour les organismes vivants :

-Certains éléments métalliques, comme Cu, Zn, Co, Fe, Mn, Ni, Cr, V, Mo, Se, Sn, sont essentiels pour les organismes : ce sont les oligo-éléments (la liste des oligo-éléments a été fixée par l’OMS (Who, 2003) : au total 21 éléments sont reconnus comme tels, dont 14 métaux), indispensables en quantités minimales, l’augmentation de leur concentration dans l’environnement peut aboutir à des phénomènes de toxicité.

- D’autres éléments ne sont pas nécessaires pour les organismes et présentent des effets toxiques dès les faibles teneurs (de l’ordre du $\mu\text{g/l}$) : ce sont principalement le plomb, le mercure et le cadmium.

2.2. Origine

Les ETM naturellement contenus dans les sédiments et les eaux naturelles proviennent à 80% des altérations physiques et chimiques des roches sédimentaires. Les rejets industriels et domestiques, l’activité minière et les eaux d’écoulement contaminées par les engrais et les pesticides utilisés en agriculture sont autant de sources ayant contribué à l’augmentation des concentrations de métaux lourds dans le milieu marin et surtout en zone côtière (Kaiser, 2004).

Tableau 2 : Origines des métaux traces dans le milieu marin.

Origine naturelle	Origine anthropique
- L’érosion et le lessivage des sols par les eaux des pluies et les fleuves ; - Transport par voie atmosphérique ; - Les activités sismiques et volcaniques.	- l’emploi des produits dans l’agriculture (pesticides) ; - Des rejets domestiques ; - des déversements industriels.

2.3. Cycle biogéochimique des ETM dans le milieu marin

C’est le cheminement des ETM par divers processus physiques, chimiques et biologiques à travers les principales matrices du milieu marin.

Les ETM sont devenues à la mer par différents apports (Figure 2) (éoliennes, ruissellements, industrielles, volcaniques) qui y sont transférés se présentent dans la colonne d’eau et le sédiment sous deux formes :

- Dissoute dans la colonne d’eau et l’eau interstitielle de la colonne sédimentaire, c’est la forme la plus mobile et donc la plus biodisponible pour les populations aquatiques.
- Fixée sur les particules des sédiments ou en suspension dans la colonne d’eau qui peuvent s’accumuler dans le compartiment sédimentaire formant ainsi des stocks de polluants.

Leur déroulement semble s’effectuer selon deux grandes étapes :

- Une première consisterait en un piégeage des polluants métalliques par les particules en suspension, la biomasse marine et le sédiment en fonction des conditions physico-chimiques du milieu marin et cela par : précipitation, absorption et adsorption et sédimentation.
- Une deuxième étape inverse à la première consisterait à un relargage de ces polluants par désorption, diffusion ou propagation dans le milieu marin, décomposition des matières organiques, dissolution et parfois même par une redistribution par l’activité des organismes marins (bioturbation).

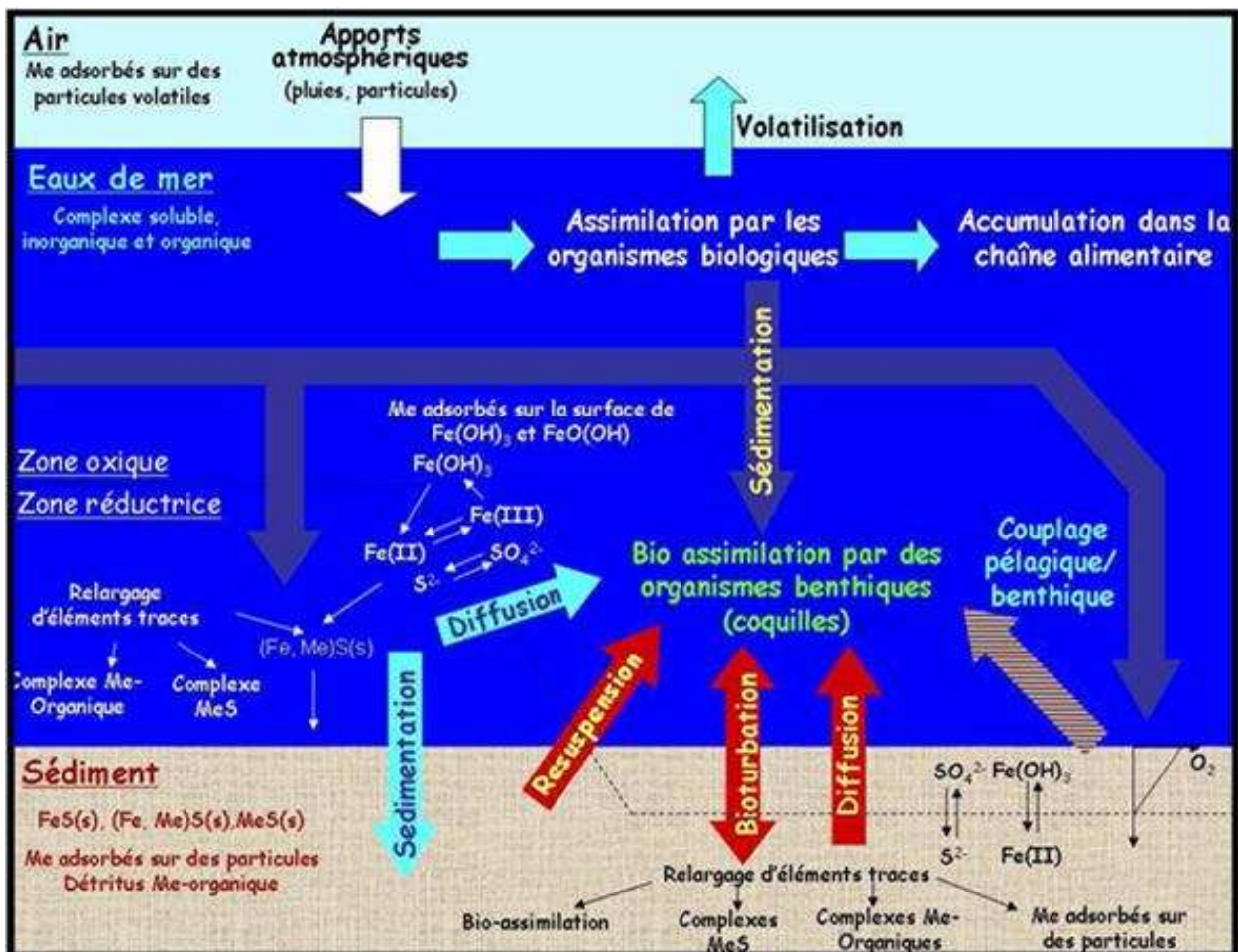


Figure 2: Représentation schématique du cycle biogéochimique des éléments traces dans des environnements marins (in (Butcher *et al*, 1992)).

2.4. La spéciation des ETM

C'est la distinction entre les différentes formes chimiques possibles d'un élément. La spéciation est à la base de la compréhension du devenir des métaux dans les milieux aquatiques (Sigg *et al*, 2001). C'est la distribution des espèces chimiques d'un élément donné dans un système. La spéciation d'un élément dépend de sa concentration et de la chimie de la solution (pH, Eh, complexants, minéraux, etc.). La toxicité d'un polluant vis-à-vis des organismes vivants peut fortement dépendre de sa spéciation.

La figure 3 illustre les principales interactions entre les éléments traces métalliques et les différents ligands (particules, composés inorganiques, organismes), influençant la spéciation des métaux en milieu aquatique.

Le comportement d'un métal dans un écosystème aquatique dépend donc des conditions physico-chimiques du milieu, et il peut exister sous différentes formes, réparties entre la phase dissoute et la phase particulaire :

- ion libre hydraté.
- complexé par des ligands inorganiques et/ou organiques.
- complexé à des molécules organiques de haut poids moléculaire (substances humiques et fulviques, polysaccharides).
- adsorbé sur des colloïdes ou particules inorganiques (FeOOH, Fe(OH)₃, oxydes de Mn, Ag₂S, argiles, ...) et organiques.
- précipité, co-précipité.

- adsorbé sur les organismes vivants ou l'incorporation dans le matériel biogénique.
- Les trois types d'interactions contrôlant la spéciation des métaux en milieu aquatique sont : la précipitation, l'adsorption et la complexation.

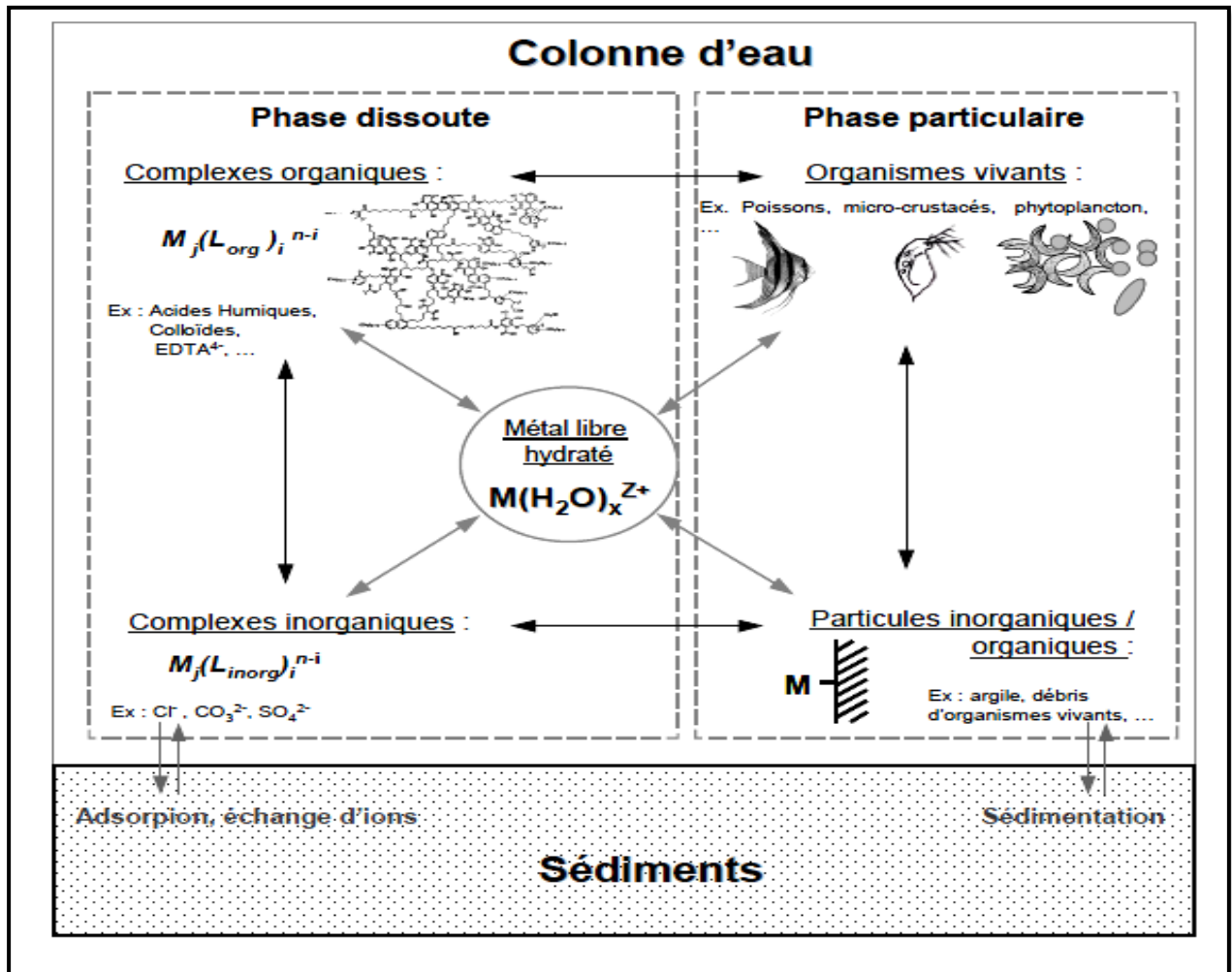


Figure 3 : Principales interactions d'un métal M avec les constituants particulaires, organiques et inorganiques et les organismes vivants du milieu aquatique (Buffle, 1988).

2.5. La mobilité des ETM

La mobilité des métaux se traduit généralement par le passage de la forme colloïdale et particulaire à la forme dissoute. Le pH, l'oxygène, la salinité et la teneur en carbone organique sont les paramètres physico-chimiques qui influencent en majeure partie ce type d'échange dans l'eau (Burgess et Scott, 1992).

La mobilité des ETM ainsi que leur biodisponibilité dans les sédiments marins dépendent fortement de leur spéciation chimique.

2.6. Les paramètres influençant la mobilité et la spéciation des ETM

2.6.1. Le PH

Le pH est un des paramètres clés du comportement des métaux dans les systèmes aquatiques. Il influe sur la partition entre phases dissoute et particulaire et sur tous les paramètres qui en dépendent, c'est-à-dire la mobilité, la réactivité, la biodisponibilité, la bioaccumulation et la toxicité.

2.6.2. Les conditions d'oxydoréductions

Les espèces redox des métaux qui possèdent plus d'un état d'oxydation possible dans les eaux naturelles sont différemment mobiles, solubles, toxiques et réactives. Ainsi, certains métaux, comme Fe, Mn et Cr sont plus mobiles sous leur forme réduite.

Un milieu réducteur favorisera la solubilisation des espèces métalliques (oxydes) et donc la remobilisation des ETM (Blanchard, 2000).

2.6.3. La température

Serpaud *et al.*, (1994) ont montré qu'entre 10°C et 30°C, l'effet de la température sur la capacité d'adsorption des sédiments n'est pas très significatif. Par contre, ils ont remarqué une diminution de l'adsorption entre 30°C et 40°C, surtout dans le cas de Cu, Zn et Cd. Compte tenu du caractère exothermique des réactions de sorption, une augmentation de la température entraînerait une diminution de l'adsorption. Pourtant dans le cas du plomb, l'influence de la température dans cet intervalle (10 - 40°C) n'est pas significative.

Tableau 3: Effet de la température sur l'adsorption de Cu, Cd, Zn et Pb (Serpaud *et al.*, 1994).

Température (°C)	% métal adsorbé			
	Cu	Cd	Zn	Pb
10	79,0	85,5	89,7	99,1
20	77,0	83,5	84,2	99,3
30	73,3	80,1	77,9	99,3
40	67,4	64,0	61,2	99,3

2.6.4. La salinité

Des variations de salinité importantes sont rencontrées dans les sédiments soumis à l'influence marine ou en cas d'apports anthropiques. Une augmentation de la salinité est associée à une augmentation des concentrations en solution des anions majeurs (Cl⁻, SO₄⁻², HCO³⁻ ...) et des cations majeurs (Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺²) qui entrent ainsi en compétition avec les ETM pour les sites d'adsorption.

2.6.5. La granulométrie

La capacité de fixation et de rétention d'un polluant par les sédiments est largement conditionnée par leur granulométrie, leur géométrie particulaire et leur composition chimique. Les sédiments riches en argiles révèlent des concentrations en éléments traces élevées (Boust *et al.*, 1999).

Les ETM sont surtout associés aux particules les plus fines. Ainsi, la vase argileuse retiendra facilement les métaux dissous dans l'eau avoisinante, alors qu'un sable quartzique n'aura pas cette possibilité. De ce fait, la nature des sédiments influe grandement sur l'image des polluants.

*Synthèse des
travaux réalisés*

1. Aperçue générale sur les travaux réalisés sur la contamination des sédiments du littoral Algérois par les métaux traces :

À l'instar de la majorité des zones côtières méditerranéennes, Le littoral algérien connaît de sérieux problèmes environnementaux. La région algéroise est certainement l'une des zones où l'altération de la qualité des eaux marines côtières est la plus perceptible, ce qui rend la surveillance et le suivi de la qualité des eaux côtières une nécessité pour préserver cet espace.

Dans ce contexte, les différentes institutions concernées par le problème de la pollution collectent et stockent de grandes quantités de données. Des travaux de recherche ont été réalisés sous différents thèmes pour le suivi de la qualité du milieu marin dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl.

C'est pour cette raison on a effectué une recherche bibliographique sur le maximum des travaux réalisés sur la contamination des sédiments du littoral Algérois par les métaux traces qui sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : les travaux réalisés sur la contamination des sédiments du littoral Algérois par les métaux traces selon un ordre chronologique croissante.

Site d'étude	Référence	L'année	Les métaux analysés
Baie d'Alger	Sellali	1986	Zn, Cu, Pb, Cd
	Maouche	1987	Zn, Cu, Pb, Mn, Fe
	Taguine	1988	Cu, Pb, Cd, Cr
	Chouikhi et al	1989	Hg, Cu, Cd
	Aouameur	1990	Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Cr
	Benoud et Mallem	1991	Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Cr
	Boudjellal et al	1993	Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Cr
	Khiari	1999	Zn, Cu, Hg
	Zegar	2002	Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Cr, Ni
	Matmed	2004	Zn, Cu, Mn, Cd, Ni, Cr
	Rouibah et al	2005	Zn, Cu, Pb, Cd, Hg
	Taib errahmani	2009	Zn, Cu, Mn, Cr, Ni, Fe
Meguellati et Sraoui	2012	Zn, Cu, Pb, Mn	
Baie de Bou-Ismaïl	Boudjellal et al	1995	Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Hg, Cr
	Aouidad	1996	Zn, Cu, Mn, Hg, Cr, Fe
	Benamirouche et Bacha	2000	Zn, Cu, Pb, Cd, Hg
	Addouche	2002	Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Ni
	Bellahsene et Messaoudi	2005	Zn, Pb, Hg
	Rouibah et al	2005	Zn, Cu, Pb, Cd, Hg
	Djerad	2010	Zn, Cu, Cr
	Inal	2011	Zn, Cu, Ni, Cr
Meguellati et Sraoui	2012	Zn, Cu, Pb, Mn	

Remarque : il y'a d'autres travaux qui ne sont pas dictés dans le tableau précédent à cause les difficultés de les trouver lors de la collecte des données.

2. La synthèse des travaux réalisés sur la contamination des sédiments du littoral Algérois par les métaux traces selon un ordre chronologique croissant

2.1. La baie d'Alger :

La baie d'Alger se situe dans la partie centrale de la côte algérienne, Elle s'étend de 37°01' N à 37°83' N et de 3°15' E et 3°5' E, elle est délimitée par la pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'Ouest, le cap Matifou à l'Est, au Sud la ville d'Alger et le bassin de la Mitidja et au Nord par la mer Méditerranée (Figure 4). Le plateau continental s'élargit pour former la baie d'Alger. Le plateau s'ouvre au NNE sur 19 Km de la pointe Pescade au cap Matifou et présente un tracé remarquablement régulier.

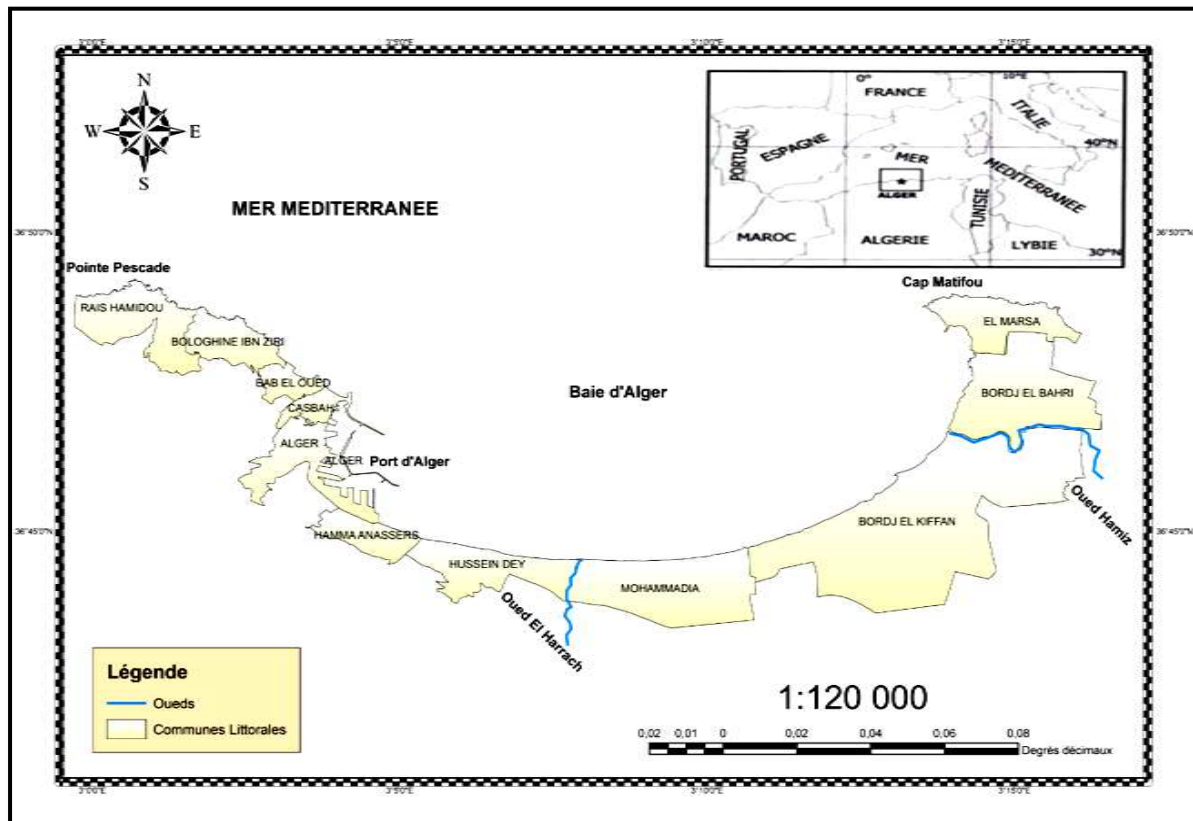


Figure 4: Situation géographique de la baie d'Alger (Meguellati et Sraoui, 2012).

2.1.1. Sellali 1986 :

On n'a pas trouvé le document concerné pour cette étude, on a que Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Zn, Cu, Pb, Cd) des sédiments superficiels de la baie d'Alger qui sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 5 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger.

	Zinc (µg/g)	Cuivre (µg/g)	Plomb (µg/g)	Cadmium (µg/g)
Min	105,5	32,6	8,16	3,42
Max	156,95	40,1	15,52	7,36
Moy	131,22	36,35	11,84	5,39

Les fortes concentrations en métaux de la baie d'Alger proviendraient d'une multitude sources de pollution. Celles-ci correspondraient aux rejets d'effluents des industries implantées sur la

frange côtière, au port d'Alger par ses activités, et les eaux usées de la ville qu'il reçoit par un nombre considérable d'égouts (27) (Sellali, 1986).

2.1.2. Maouche 1987 :

On n'a pas trouvé le document concerné pour cette étude, on a que Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Zn, Cu, Pb, Mn, Fe) des sédiments superficiels da la baie d'Alger qui sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 6 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger.

	Zinc (µg/g)	Cuivre (µg/g)	Plomb (µg/g)	Manganèse (µg/g)	Fer (mg/g)
Min	123	24	20	250	3,8
Max	231	51	161	316	4,8
Moy	145,2	34,16	35	279	4,3

Selon Maouche (1987), les teneurs les plus élevées en ces métaux sont retrouvées à proximité du port et au droit des embouchures des oueds El-Harrach et Hamiz.

Ainsi Maouche (1987), signale que les sédiments du secteur occidental de la baie, sont riches en matière organique.

Maouche (1987), signale que la présence de zinc, cuivre et plomb en fortes teneurs dans le même secteur, est dûe à la richesse de cette partie en matière organique.

Le plomb, le cuivre et le chrome présentent des teneurs approximativement faibles près de Oued El Hamiz, cela est probablement dûe à l'hydrodynamisme plus actif dans ce secteur.

2.1.3. Taguine 1988 :

On n'a pas trouvé le document concerné pour cette étude, on a que Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Cu, Pb, Cd, Cr) des sédiments superficiels da la baie d'Alger qui sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 7 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger.

	Cuivre (µg/g)	Plomb (µg/g)	Cadmium (µg/g)	Chrome (µg/g)
Min	29	25,5	1,97	11,5
Max	72,67	64,4	27,43	151,5
Moy	50,83	40	7,9	35,8

2.1.4. Chouikhi et al 1989 :

On n'a pas trouvé le document concerné pour cette étude, on a que Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Hg, Cu, Cd) des sédiments superficiels da la baie d'Alger qui sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger.

	Cuivre (µg/g)	Cadmium (µg/g)	Mercuré (µg/g)
Min	-	-	-
Max	40,1	7,36	8,67
Moy	-	-	-

2.1.5. Auameur 1990 :

Le thème de ce travail porte sur la contribution à l'étude de certains métaux lourds (Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Cr) dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger.

- Cette étude se rattache au protocole relatif à la protection de la mer méditerranée contre la pollution d'origine tellurique et porte sur les concentrations des métaux lourds au niveau du sédiment et de leur répartition dans les dépôts.

Cette étude pourra permettre de préciser l'impact de l'action anthropique et notamment d'apprécier les conséquences des décharges des métaux lourds par l'agglomération urbaine d'Alger (port d'Alger, Hussein-dey, El-Harrach, Bordj –El-Kiffan et El Hamiz) sur le milieu marin.

- L'analyse est menée par SAA selon les protocoles expérimentaux décrits par CHARLOU et JOANNY (1985) et UNEP / IAEA (1985 a, 1985 b et 1986).

Résumé des différentes phases de traitement de sédiment :

- 1) Prélèvement (benne de VanVeen).
- 2) Congélation (-18°C).
- 3) Lyophilisation (10^{-1} bar, -40°C, pdt 48h).
- 4) Broyage au mortier.
- 5) Tamisage 63µm.
- 6) Homogénéisation 48h.
- 7) Digestion : 80°C, 2h, 1g de sédiment dans 10 ml d'eau régale.
- 8) Filtration (papier Wattman).
- 9) Dilution à 100 ml avec l'eau bidistillée.
- 10) Analyse en SAA (type Perkin Elmer AAnalyst 700).

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Cr) des sédiments superficiels de la baie d'Alger sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 9 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger.

	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Mn (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)
Min	71,5	14,25	17,5	108,55	0,15	11,4
Max	252,8	80,5	117	349,9	1,79	83,6
Moy	116	33,2	40	252,7	0,36	45,6

- Selon Auameur, l'analyse des éléments métalliques, fait apparaître une certaine irrégularité entre les métaux, expliquée par le comportement spécifique de chaque élément.

Cette analyse permet de conclure :

- Qu'il n'existe aucune relation de concentration du chrome, du cadmium, du manganèse et du zinc avec le faciès sédimentaire.
 - Les teneurs en cuivre sont élevées dans les vases.
 - Les teneurs en plomb sont élevées dans les vases où la fraction fine est supérieure à 75%.
- En générale, Auameur observe une évolution de la pollution par le zinc, le chrome, le plomb, le manganèse et le cuivre dans la baie, excepté pour le cadmium où il constate une diminution des teneurs qui peut être liée à la variabilité naturelle de ce métal.

- Les contaminations de la baie par le port sont effectivement fortes du fait qu'il n'existe pas de stations d'épuration des rejets dans le port.
 - Il n'existe aucune relation des concentrations en Cr, en Cd, en Mn et en Zn avec le faciès sédimentaire.
 - Les teneurs élevées en Cu se trouvent dans les vases.
 - Pour le Pb, les concentrations élevées se situent dans les vases où la fraction fine est supérieure à 75%.
 - L'origine anthropique liée à la présence des rejets urbains et industriels ainsi qu'à l'activité portuaire est certain dans la baie d'Alger.
- En effet, cette zone qui occupe une superficie de 23km² soumise à la pollution apparait comme une zone de stockage où s'accumulent tous les métaux.

2.1.6. Benoud et Mallem 1991:

Le thème porte sur la contribution à l'étude du comportement de quelques métaux lourds (Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Cr) dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger.

- Dans ce travail ils se sont particulièrement intéressés à l'étude de la pollution métallique dans les sédiments, qui est un thème du programme Med – Pol, engendré par la convention de Barcelone en 1976 pour la protection de la méditerranée, sous l'égide du programme des Nations – Unis pour l'environnement.

- La baie d'Alger a été le site de cette étude, cette dernière concerne le comportement de six métaux lourds (Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Cr) dans la couche superficielle du sédiment.

La méthode utilisée pour le dosage est la SAA, avec un appareil de type PERKIN ELMER 2380 muni d'un four à graphite HGA 500.

Les points de prélèvements ont été choisis selon les faciès sédimentaires, en essayant de quadriller toute la zone et en prenant en considération les sources potentielles de pollution.

- Chaque échantillon a fait l'objet d'une séparation granulométrique par tamisage à voie sèche sur une série de tamis correspondant respectivement aux ouvertures des mailles suivantes : 200µm, 63 µm, 40 µm.

La digestion a été fait selon les protocoles expérimentaux décrits par CHARLOU et JOANNY (1985) et UNEP / IAEA (1985 a, 1985 b et 1986).

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Cr) des sédiments superficiels de la baie d'Alger sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 10 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger.

	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Mn (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)
Min	60,25	23,47	16,194	198,45	0,162	14,19
Max	255,93	78,52	93,36	370,61	1,121	62,71
Moy	125,52	37,8	31,88	268,28	0,36	32,53
Ecart type	50,92	14,11	18,75	55,08	0,2	12,34

- Selon Benoud et Mallem, la distribution des divers éléments métalliques fait apparaitre une irrégularité entre leur répartition qui s'explique par le comportement spécifique de chaque

élément, cependant les fortes concentrations sont localisées au niveau du sédiment côtier cela est certainement lié à la contamination directe par les rejets urbains et industriels.

- Les fortes teneurs en Cu, en Pb et dans une moindre mesure du Zn sont enregistrées dans la partie occidentale, ceci est probablement dû à l'affinité que présente ces éléments pour la matière organique et pour le faciès sédimentaire vaseux.
- Les concentrations élevées du Cr et du Mn dominant au niveau de la partie orientale avec une extension du Cr vers la partie centrale tandis que le Mn et le Cd individualisent nettement le domaine côtier à cause du phénomène de floculation.
- Les teneurs des éléments métalliques trouvées au niveau des différentes fractions étudiées présentent des concentrations considérables au niveau des fractions fines sauf pour le manganèse.
- ils ont observé une évolution de la pollution par le Cu, Mn et le Zn dans la baie, alors que le Cd montre une diminution qui peut être liée à la variabilité naturelle de ce métal.

2.1.7. Boudjellal et al 1993:

Alger, métropole méditerranéenne, est une zone où s'intensifie la pollution continuellement. En effet, la baie d'Alger est le point de rencontre de tous les rejets industriels et urbains de la région algéroise. Selon Boudjellal et al, le comportement différent des métaux étudiés au niveau de la baie est lié à un critère géographique et à la morphologie du secteur (forme d'entonnoir de la baie). Mis à part le Mn Mis à part le manganèse qui présente une répartition particulière (non régie par le faciès sédimentaire), le reste des métaux montrent un degré de pollution inquiétant selon la nature des fonds, résultat probable de l'importante activité au niveau du port et à l'exposition directe aux effluents d'origine tellurique.

L'analyse est menée par SAA selon les protocoles expérimentaux décrits par CHARLOU et JOANNY (1985) et UNEP / IAEA (1985 a, 1985 b et 1986).

Les résultats apportés au sédiment sec intéressent les niveaux en Cd, Cr, Mn, Pb et Zn. Des exercices d'intercalibration sont menés du sédiment lyophilisé fourni par l'AIEA (Monaco) et codé SDM2/TM.

Tableau 11 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger.

	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Mn (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)
Min	60,25	23,47	16,19	198,8	0,162	14,19
Max	255,93	78,52	93,36	370	1,121	62,71
Moy	116,57	33,49	26,18	278,28	0,36	31,94

2.1.8. Khiari 1999 :

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Zn, Cu, Hg) des sédiments superficiels de la baie d'Alger qui sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 12 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger.

	Zinc (µg/g)	Cuivre (µg/g)	Mercure (µg/g)
Min	112,92	24,23	1,88
Max	253,46	72,73	10,74
Moy	183,19	48,4	2,7

2.1.9. Zegar 2002:

Le thème porte sur la comparaison des profils des métaux lourds (Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Cr, Ni) entre deux carottes de sédiment prélevées à Alger et Jijel.

- Cette étude entre dans le cadre du contrôle de la pollution dans l'environnement relatif au projet régional RAF (Regional Assessment Frame Work) approuvé par le conseil des gouverneurs de l'Agence International de l'Energie Atomique (AIEA) au titre du programme de coopération technique 1999-2000 avec pour objectifs de développer une capacité régionale en vue de surveiller la pollution marine radioactive et non radioactive dans les états membres Africains de la mer méditerranée (Algérie, Egypte, Lybie, Maroc et Tunisie).

- Le projet auquel se rapporte ce travail est compris dans ce contexte et concerne la surveillance de la pollution marine non radioactive (métaux lourds).

- Cette étude consiste en la comparaison des profils des métaux lourds dans deux carottes de sédiments marins prélevées sur deux sites côtiers : l'un au large de la baie d'Alger, l'autre au large de Jijel.

- Les métaux recherchés sont au nombre de sept : Cr, Mn, Cu, Zn, Ni, Cd, Pb.

- La méthode utilisée est la minéralisation de 0,25 à 0,5g de sédiment dans 2ml d'HF et 5 ml de HNO₃ dans des contenants en téflon que l'on place dans un four à micro-onde, dilution à 50ml, analyse par SAA.

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Cr, Mn, Cu, Zn, Ni, Cd, Pb) des sédiments superficiels de la baie d'Alger [0 – 10 cm] sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 13 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels [0 – 10 cm] de la baie d'Alger.

	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Mn (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)
Min	103,84	23,66	28,82	256	0,05	68,4	35,1
Max	115,28	28,34	32,34	808	0,68	112,05	40,95
Moy	109,56	26	30,58	352	0,34	78,6	36,8

- Cette étude a eu pour but d'étudier et de comparer les profils de concentration de métaux lourds d'une part et, d'autre part de déterminer le niveau de pollution dans la baie de Jijel et au large de la baie d'Alger.

- La méthode de traitement adoptée et l'analyse réalisée par SAA se sont avérées fiables pour certains métaux et pas pour d'autres. Ceci a été confirmé par les exercices d'intercalibration sur des échantillons standards.

- Selon Zegar, l'analyse des métaux lourds dans les deux carottes sédimentaires permet de distinguer :

- La zone oxique : Alger (0-4cm) ; où de fortes concentrations des métaux sont mesurées surtout à l'interface eau de mer – sédiment pour le Mn, le Cd et le Pb.
- La zone anoxique : la couche restante ; la répartition des métaux dans cette couche laisse apparaître une irrégularité avec la présence de plusieurs pics pour le Pb, le Ni et le Cr.

Ainsi, elle conclue que :

Cette analyse a aussi permis de mettre en évidence que le Cd et le Pb sont en quantité très faibles dans les sédiments de la baie d'Alger.

Les concentrations des autres éléments métalliques (Mn, Cu, Zn et Ni) montrent des teneurs importantes dans les sédiments.

Le calcul des indices de contamination présent un état non pollué (normal) avec des valeurs ne dépassent pas 3.

2.1.10. Matmed 2004 :

On n'a pas trouvé le document concerné pour cette étude, on a que Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Zn, Cu, Mn, Cd, Ni, Cr) des sédiments de la baie d'Alger qui sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 14 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments de la baie d'Alger.

	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)
Min	102,14	23,74	256,25	-	30,73	35,06
Max	114,89	30,27	808,85	-	119,54	50,10
Moy	109,38	26,37	417,49	0,09	82,31	40,20

2.1.11. Rouibah et al 2005 :

Le travail porte sur l'étude de la pollution du littoral Algérois et du lac de Reghaia.

- Cette étude rentre dans le cadre du suivi de la pollution du littoral algérois et le lac de Reghaia par l'APPL. Elle est réalisée par l'ISMAL pour le compte de l'APPL (commande N° 029684 du 18 janvier 2003).

Cette étude est basée sur l'analyse des caractéristiques physico-chimiques et les principaux contaminants au niveau du littoral algérois et le lac de Reghaia :

- Paramètres physico-chimiques (T°, salinité, pH et oxygène dissous)
- Sels nutritifs
- Détergents
- Germes fécaux et pathogènes
- Métaux lourds (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) qui nous s'intéressent dans ce mémoire.
- Hydrocarbures pétroliers et pesticides organochlorés.

L'analyse est menée par Spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA Perkin Elmer A Analyst 800) à effet Zeeman équipé d'un four à graphite (gaz argon) et spectrophotomètre (SAA Perkin Elmer A-Analyst 300) équipé d'une flamme air/acétylène.

Le dosage du mercure avec la méthode d'absorption atomique à froid (CV. A.A) à l'aide de FIMS (flow injection mercury system).

Méthodes analytiques: méthodes de références préconisées par le PNUE et AIEA.

Certification de l'analyse: Echantillon standard SDM 2TM fourni par MEL/MES/AIEA-Monaco.

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) des sédiments superficiels du littoral Algérois sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 15 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels du littoral Algérois.

	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Hg (µg/g)
Min	36,77	6,08	14,59	0,03	0,01
Max	156,80	32,65	245,59	0,24	0,23
Moy	92,2	18,38	53,95	0,14	0,093

- Selon Rouibah *et al*, les concentrations des métaux lourds (Cd, Pb, Cu, Zn et Hg) rencontrées dans les sédiments superficiels du littoral algérois indiquent des variations significatives et leur accumulation susceptible de marquer la pollution, semble être influencée par divers facteurs régnant dans le site étudié (l'importance et la proximité des sources d'apports, nature du sédiment et l'hydrodynamisme).

- Selon les normes applicables par l'Agence de Bassin Rhône Méditerranée Corse (A.B.R.M.C, 1988 et 1990), les indices de contamination calculés (rapport $[C]_n / [C]_{observée}$) permettent d'évaluer le degré de pollution des sédiments. Il apparaît clairement que l'indice de contamination (I_c) dépasse la valeur (10) significative d'une pollution très intense en Pb dans la station située proche du port d'Alger, constituant ainsi une zone à risque élevé. La tendance à l'augmentation dans le temps observée au large (station de référence) en est témoin de l'ampleur de la pollution excessive au niveau du port constituant une source évidente de contamination dans la baie.

Concernant les autres métaux leurs indices de contamination n'atteignent pas les valeurs du niveau marquant la pollution (>3).

2.1.12. Taib errahmani 2009 :

Le travail porte sur l'étude de la pollution et de la géochimie par les métaux traces et les radioéléments dans les sédiments de la baie d'Alger.

- Cette étude s'inscrit dans le suivi plus ou moins continu de l'étude de la contamination et de l'impact anthropique dans la baie d'Alger. Elle a été réalisée au niveau du laboratoire de recherche "chimie et pollution marines" de l'ENSSMAL et au laboratoire d'environnement du centre de recherche nucléaire d'Alger (CRNA).

- Les métaux recherchés sont le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le manganèse (Mn), le nickel (Ni) et le fer (Fe).

- L'objectif principal est d'aborder l'évolution de la pollution radioactive et inorganique, d'une part, dans le sédiment superficiel en fonction de la bathymétrie de la baie d'Alger et, d'autre part, dans les couches profondes du sédiment de la même baie.

- Le protocole décrit est celui adopté par Charlou et Joanny (1983) et U.N.E.P. /I.A.E.A. (1985 a et b, 1986a et b).

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Zn, Cu, Mn, Cr, Ni, Fe) des sédiments superficiels de la baie d'Alger sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 16 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger.

	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)
Min	85,81	15,75	195,43	8,95	31,74	28,26
Max	400,63	143,51	540,67	33,97	47,98	45,69
Moy	139,06	37,05	287,54	22,06	40,69	36,21
Ecart type	79,51	33,24	85,44	6,18	4,57	-

2.1.13. Meguellati et Sraoui 2012 :

Le travail porte sur les métaux traces dans le sédiment et les biotes du milieu marin dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl.

- Ce travail s'inscrit dans le cadre du suivi de l'évolution de la pollution par les métaux traces dans les sédiments et les moules au niveau des baies d'Alger et de Bou-Ismaïl.

Les métaux recherchés dans cette étude sont le zinc (**Zn**), le cuivre (**Cu**), le manganèse (**Mn**), et le plomb (**Pb**).

- Le protocole décrit est celui adopté par Charlou et Joanny (1983) et U.N.E.P. / I.A.E.A (1985 a et b, 1986a et b, 1998). Cependant, certaines étapes sont modifiées en fonction des réactifs et du matériel disponible au laboratoire.

Les résultats apportés au sédiment sec intéressent les niveaux en Zn, Cu, Pb et Mn. Des exercices d'intercalibration sont menés du sédiment lyophilisé fourni par l'AIEA (Monaco) et codé (**AIEA 433**).

- Les résultats obtenus de l'analyse chimique des métaux traces par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA), sont assez cohérents. En effet, la fiabilité de la méthode est reconnue. L'utilisation d'un échantillon d'inter calibration régionale (AIEA 433) a permis de révéler que le taux de variation (Δ %) le plus élevé est celui du plomb, suivi par le cuivre qui est proche de l'intervalle de confiance, alors que ceux du zinc et du manganèse sont les plus faibles (Δ % < 10%). Donc, les résultats de ces derniers sont les plus fiables.

Pour les absorbances négatives données par l'appareil (SAA) dans le cas du cadmium, le système flamme n'est pas adéquat pour l'analyse de ce métal.

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Zn, Cu, Pb, Mn) des sédiments superficiels de la baie d'Alger sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 17 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'Alger.

	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Mn (µg/g)
Min	76	18	34,6	262
Max	199	46	39	458
Moy	148,66	26,16	36,43	344,83
Ecart type	44,41	11,19	1,65	82,74

Selon Meguellati et Sraoui, les résultats montrent que pour les quatre métaux analysés les concentrations les plus élevées sont retrouvées dans la baie d'Alger. Par ailleurs, ces plus fortes teneurs seraient dues, en cette période de prélèvement (fin printemps – début été) où des

précipitations ont eu lieu, à des apports considérables de l'oued El Harrach dont le débit est beaucoup plus important que celui de l'oued Mazafran.

2.2. La baie de Bou-Ismaïl :

La baie de Bou Ismaïl (ex-Castiglione) se situe à l'Ouest d'Alger dans la wilaya de Tipaza entre 2° 20' E et 2° 55'E. Elle est limitée à l'Est par le promontoire de Ras-Acrata (dans la baie d'El Djamilia) et à l'Ouest par le cap du Mont Chenoua. Elle s'étend du mont Chenoua à l'Ouest à Ras Caxine à l'Est sur un linéaire côtier de plus de 60 km, couvrant une superficie de 509 Km². L'ouverture de la baie est de l'ordre de 44 Km, elle est orientée du sud Est au nord Est. La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par une morphologie côtière diversifiée composée des côtes rocheuses, de falaises, de plages et de dunes.

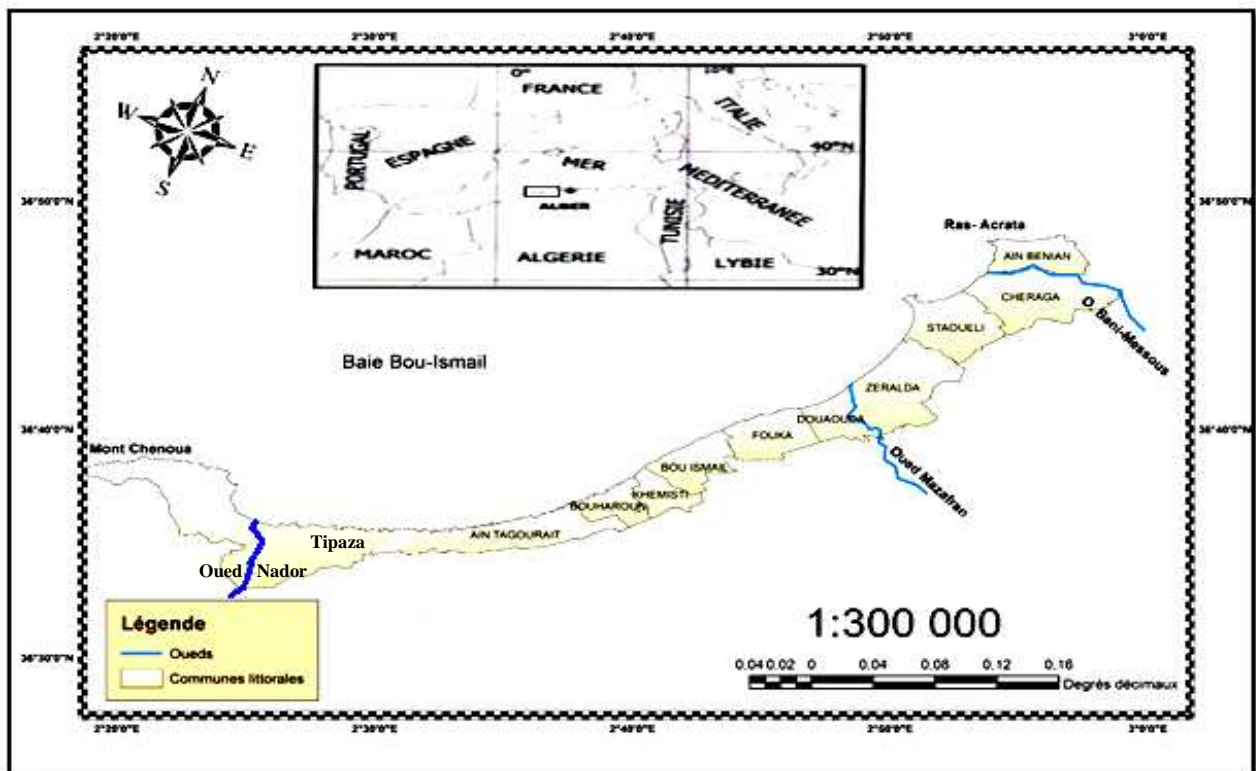


Figure 5: Situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl (Meguellati et Sraoui, 2012).

2.2.1. Boudjellal et al 1995 :

Les résultats apportés au sédiment sec (< 63µm) intéressent les niveaux en Cd, Cr, Mn, Pb, Cu, Hg et Zn. Des exercices d'intercalibration sont menés du sédiment lyophilisé fourni par l'AIEA (Monaco) et codé SDM2/TM, l'analyse est menée par Spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA Perkin Elmer 2380 GFAAS) selon les protocoles expérimentaux décrits par CHARLOU et JOANNY (1985) et UNEP / IAEA (1985 a, 1985 b et 1986).

Selon Boudjellal et al, l'analyse des métaux lourds étudiés dans les différents faciès sédimentaires de la baie, montre l'irrégularité de leur distribution qui semble liée à la géomorphologie de la baie. Mis à part le manganèse qui présente une répartition particulière (non régie par le faciès sédimentaire), le reste des métaux montrent un degré de concentration inquiétant, résultat probable de l'importante activité agricole et à l'exposition directe aux effluents d'origine tellurique.

Tableau 18 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Mn (µg/g)	Cd (µg/g)	Hg (µg/g)	Cr (µg/g)
Min	65	15,59	14,84	417,15	0,13	0,045	70,39
Max	125,6	55,16	31,42	507,3	0,95	0,46	73,94
Moy	91	25,07	20,3	475,98	0,4	0,265	72,71
Ecart type	20,8	11,79	5,89	28,5	0,25	0,17	1,12

Ainsi, selon Boudjellal *et al*, il ressort que le niveau de pollution par les métaux étudiés dans la baie de Bou-Ismaïl n'atteint pas encore des limites alarmantes.

2.2.2. Aouidad 1996 :

Le thème porte sur la contribution à l'étude de la pollution par les métaux lourds (Zn, Cu, Mn, Hg, Cr, Fe) dans les sédiments superficiels et les particules en suspension dans la baie de Bou-Ismaïl.

Ce travail rentre dans le cadre de l'unité de recherche de l'ISMAL et fait partie intégrale d'un axe de recherche du laboratoire de pollution et chimie marine et qui s'intitule « l'étude de la pollution et la fertilité des eaux côtières centrales et orientales en Algérie ».

Cette étude consiste à évaluer l'état et les sources probables de la pollution par les métaux lourds dans la baie de Bou-Ismaïl. Six métaux traces (Zn, Cu, Mn, Hg, Cr, Fe) sont déterminés dans les sédiments superficiels et les particules en suspension dans cette baie.

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl sont résumés dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 19 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (µg/g)	Cr (µg/g)	Hg (µg/g)	Fe (mg/g)
Min	88,85	17,49	207	22,33	0,016	2,053
Max	95,06	23,38	291	26,68	0,123	3,150
Moy	86,43	16,98	229	21,27	0,0695	2,090
Ecart type	8,82	3,8	0,028	4,1	0,033	0,81

La méthode de traitement adoptée et l'appareillage utilisé s'est avéré fiable. Ceci a été confirmé par la mise en œuvre d'un teste de reproductibilité et des exercices d'intercalibration par les métaux lourds.

Selon Aouidad, les teneurs les plus élevés en Fe, Cr et en Mn sont localisés au large de Mazafran influencées par les rejets de cet oued et liées au faciès sédimentaire.

Pour l'Hg, Zn et le Cu, les valeurs élevées sont rencontrées au droit de l'embouchure de l'oued Nador.

Les teneurs en Hg diminuent avec la profondeur en face de l'Oued Mazafran.

Concernant le Mn, les teneurs diminuent avec la profondeur au droit de l'embouchure de l'oued Mazafran. Ceci est en relation avec le phénomène de floculation et de précipitation qui se manifeste à l'interface eau douce-eau salée.

Il ressort que le niveau de pollution par les métaux étudiés dans la baie de Bou-Ismaïl n'atteint pas encore des limites alarmantes.

2.2.3. Benamirouche et Bacha 2000 :

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Zn, Cu, Pb, Cd, Hg) des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 20 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Hg (µg/g)
Min	69,44	6,77	21,45	0,1	0,01
Max	98,75	19,12	37,57	0,26	0,23
Moy	84	12,94	29,51	0,18	0,1

2.2.4. Addouche 2002 :

Le thème porte sur l'étude de l'état de pollution de la baie de Bou-Ismaïl par les sels nutritifs et les métaux lourds (Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Ni) en Juillet 2002.

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 21 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Mn (µg/g)	Cd (µg/g)	Ni (mg/g)
Min	64,08	3,69	5,19	230,81	0,146	25,88
Max	99,44	15,37	14,43	282	0,206	50,92
Moy	80,19	4,56	9,05	274,3	0,176	41,98

Selon [Addouche](#), les indices de contamination indiquent que la baie ne présente pas de pollution dans le sédiment.

2.2.5. Bellahsene et Messaoudi 2005 :

Le thème porte sur l'étude bathymétrique, sédimentologique et pollution par les métaux lourds (Zn, Pb, Hg) de la baie d'El Djamila.

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'El Djamila sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 22 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie d'El Djamila.

	Zinc (µg/g)	Plomb (µg/g)	Mercure (µg/g)
Min	7,68	4,31	0,16
Max	557,72	59,77	8,07
Moy	279,26	21,6	1,39

Ils concluent que les indices de contamination indiquent qu'il n'existe pas de pollution dans le sédiment ($IC < 3$).

2.2.6. Rouibah et al 2005 :

Déjà mentionné dans le titre « la baie d'Alger ».

2.2.7. Djerad 2010 :

Le thème porte sur l'évaluation de l'état de pollution par les sels nutritifs et les métaux lourds (Zn, Cu, Cr) dans l'eau et les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

L'objectif est l'évaluation de l'état de la pollution par les paramètres étudiés, notamment les sels nutritifs et les métaux lourds le long de la côte de la baie de Bou-Ismaïl.

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Zn, Cu, Cr) des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 23 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

	Zinc (µg/g)	Cuivre (µg/g)	Chrome (µg/g)
Min	2,73	8,35	38,85
Max	1472,12	294,42	170,45
Moy	115,9	49,53	88,3

Djerad signale que la distribution de ces 3 métaux montre une contamination significative au niveau de la zone d'étude.

A l'issue de ce travail. Elle conclure que la pollution dans la zone d'étude se manifeste spécifiquement au niveau de certains ports et les embouchures des oueds.

2.2.8. Inal 2011 :

Le travail porte sur les métaux traces dans les sédiments de la baie de Bou-Ismaïl : Surveillance de la pollution et étude des processus géochimiques.

- Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une meilleure compréhension de l'évolution de la pollution chimique par les métaux traces en fonction de la profondeur du sédiment et en fonction de la bathymétrie dans la baie de Bou-Ismaïl.

Les métaux recherchés dans cette étude sont le zinc (**Zn**), le nickel (**Ni**), le cuivre (**Cu**) et le chrome (**Cr**).

Ce travail a pour objectifs:

- De déterminer les concentrations en métaux lourds dans les sédiments superficiels et les carottes sédimentaires, De connaître l'état de pollution par les éléments étudiés ainsi que quelques aspects de leurs comportements géochimiques.
- De chercher l'influence de la distribution de la matière organique sur les variations des profils des métaux étudiés ; ainsi que la relation entre le taux de la fraction fine et les teneurs en métaux traces dans le sédiment superficiel.

- Les résultats apportés au sédiment sec intéressent les niveaux en Cr, Zn, Cu et Ni. Des exercices d'intercalibration sont menés du sédiment lyophilisé fourni par l'AIEA (Monaco) et

codé (AIEA 433), l'analyse est menée par Spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA Perkin Elmer AAnalyst 700) selon les protocoles expérimentaux décrits par CHARLOU et JOANNY (1985) et UNEP / IAEA (1985 a, 1985 b et 1986).

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Zn, Cu, Cr et Ni) des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 24 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

	Zinc (µg/g)	Cuivre (µg/g)	Chrome (µg/g)	Nickel (µg/g)
Min	62,9	17,97	7,34	18,75
Max	143,37	28,66	53,6	38,46
Moy	109,1	24,29	33,61	26,02
Ecart type	23.58	3.16	15.83	7.04

Selon Inal, les résultats obtenus de l'analyse chimique des métaux traces par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA), sont assez cohérents. En effet, la fiabilité de la méthode est reconnue. L'utilisation d'un échantillon d'inter calibration régionale (AIEA 433) a permis de révéler que le taux de variation (Δ %) le plus élevé est celui du zinc, suivit par celui de chrome et cuivre et en fin celui du nickel le plus faible ($(\Delta \% < 10\%)$). Donc, les résultats de ce dernier sont les plus fiables.

Pour le sédiment superficiel, les résultats montrent que pour les quatre métaux analysés les concentrations les plus élevés se localisent en zone côtière au droit de l'embouchure de l'oued Mazafran. Cependant, les grandeurs de ces teneurs ne s'éloignent pas beaucoup des moyennes naturelles, la contribution des apports anthropiques doit être minimale. Dans cette situation, l'enrichissement des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl en ces métaux traces par les processus naturels tel que l'érosion des roches, et la dégradation de la matière organique n'est pas à négliger.

2.2.9. Meguellati et Sraoui 2012 :

Le travail porte sur les métaux traces dans le sédiment et les biotes du milieu marin dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl.

Les résultats des analyses des teneurs en métaux traces (Zn, Cu, Pb et Mn) des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

Tableau 25 : les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en métaux traces des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Mn (µg/g)
Min	50	6	32,4	153
Max	106	24	36,8	383
Moy	75,71	12,42	34,28	299,57
Ecart type	18,68	5,85	1,51	75,36

Traitement, interprétation
et analyse des
données acquises

1. Traitement et interprétation des données acquises :

1.1. Baie d'Alger :

Le tableau ci-dessous est un tableau récapitulatif des concentrations moyennes en ETM en $\mu\text{g/g}$ (sauf le Fer est en mg/g) dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger.

Tableau 26 : Résultats des teneurs en ETM dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissant.

Baie d'Alger	année	Zn	Cu	Pb	Mn	Cd	Cr	Ni	Fe	Hg
Sellali	1986	131,22	36,35	11,84	-	5,39	-	-	-	-
Maouche	1987	145,2	34,16	35	279	-	-	-	4,3	-
Taguine	1988	-	50,83	40	-	7,9	35,8	-	-	-
Chouikhi et al	1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aouameur	1990	116	33,2	40	252,7	0,36	45,6	-	-	-
Benoud et Mallem	1991	125,52	37,8	31,88	268,28	0,36	32,53	-	-	-
Boudjellal et al	1993	116,57	33,49	26,18	278,28	0,36	31,94	-	-	-
Khiari	1999	183,19	48,4	-	-	-	-	-	-	2,7
Zegar	2002	109,56	26	30,58	352	0,34	78,6	36,8	-	-
Matmed	2004	109,38	26,37	-	417,49	0,09	82,31	40,2	-	-
Rouibah et al	2005	92,2	18,38	53,95	-	0,14	-	-	-	0,093
Taib errahmani	2009	139,06	37,05	-	287,54	-	22,06	40,69	36,21	-
Meguellati et Sraoui	2012	148,66	26,16	36,43	344,83	-	-	-	-	-

1.1.1. Zinc :

Les teneurs en Zinc dans les sédiments superficiels (Figure 6) varient dans un intervalle assez étroit entre un minimum de $92,2\mu\text{g/g}$ en 2005 et un maximum de $183,19\mu\text{g/g}$ en 1999.

Cette distribution temporelle qui est variée d'une année à une autre semble liée également à plusieurs facteurs : la méthode de traitement utilisée pour chaque travail, la période de prélèvement, pollution accidentel, contamination des échantillons, la nature de facies sédimentaire où les échantillons ont été prélevés, et surtout le point de positionnement.

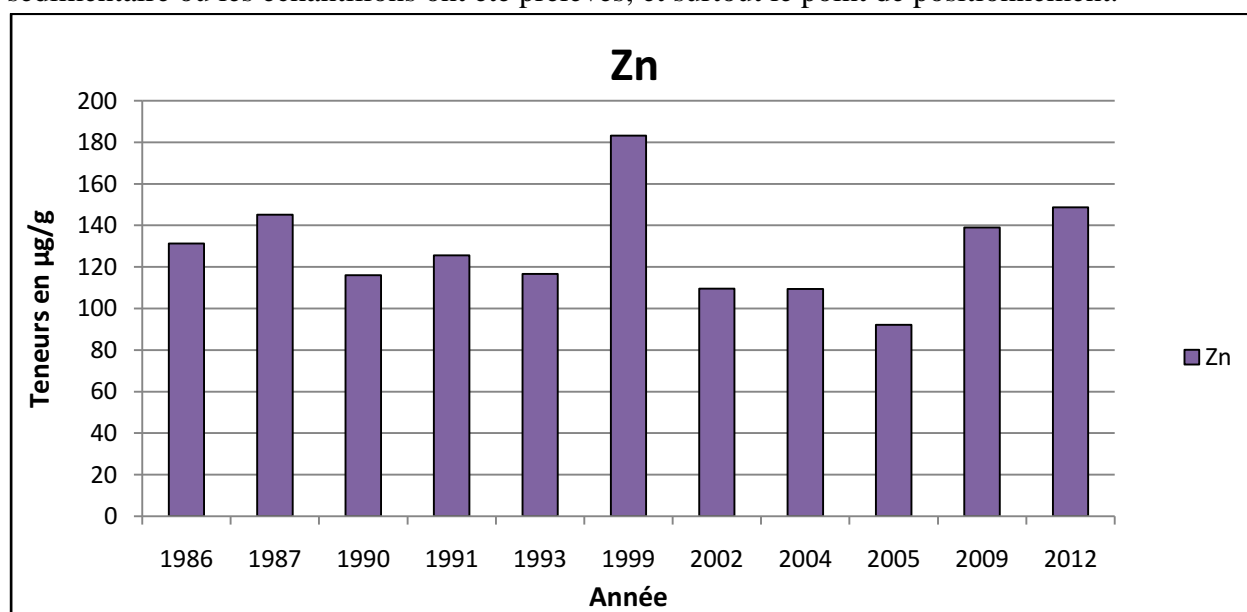


Figure 6 : Evolution de la concentration en zinc dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissant.

1.1.2. Cuivre :

Les teneurs en Cuivre dans les sédiments superficiels (Figure 7) varient dans un intervalle assez étroit entre un minimum de 18,38µg/g en 2005 et un maximum de 50,83µg/g en 1988.

Le cuivre présente des teneurs instables au cours des années, ainsi Les travaux antérieurs effectués dans la baie d'Alger montrent des teneurs en cuivre élevées par rapport à celles observées dans les dernières années, cela semble lié également à plusieurs facteurs qu'on a déjà mentionné pour le zinc.

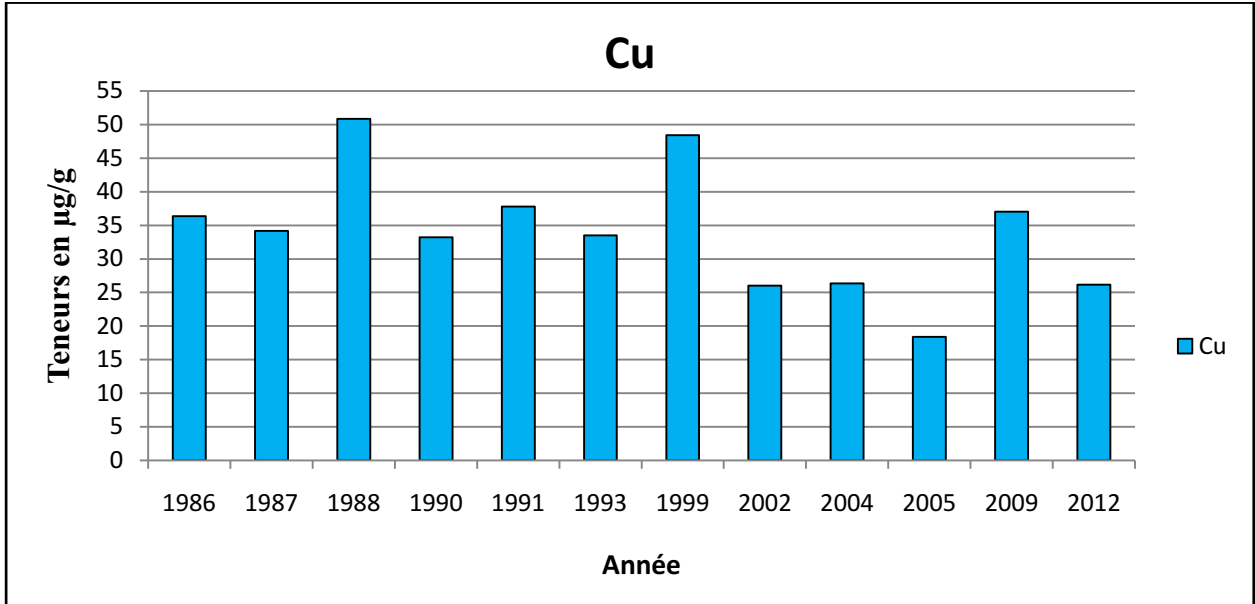


Figure 7 : Evolution de la concentration en cuivre dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissant.

1.1.3. Plomb :

Les teneurs en Plomb dans les sédiments superficiels (Figure 8) varient dans un intervalle assez étroit entre un minimum de 11,84µg/g en 1986 et un maximum de 53,95µg/g en 2005.

Fait ressortir les mêmes remarques avec le cuivre cependant il y'a une augmentation des teneurs en Plomb dans les dernières années.

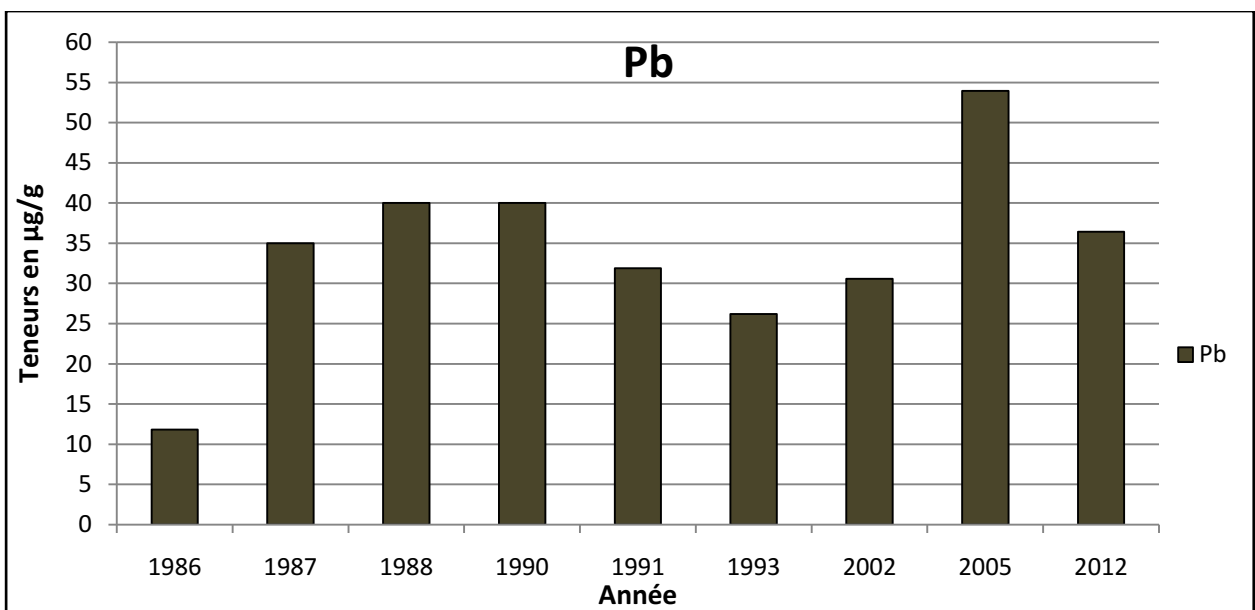


Figure 8 : Evolution de la concentration en plomb dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissant.

1.1.4. Manganèse :

Les teneurs en Manganèse dans les sédiments superficiels (Figure 9) varient dans un intervalle assez étroit entre un minimum de 252,7 $\mu\text{g/g}$ en 1990 et un maximum de 417,49 $\mu\text{g/g}$ en 2004.

On ne remarque pas une grande variation au cours des années, cela est probablement dû au comportement spécifique de ce métal.

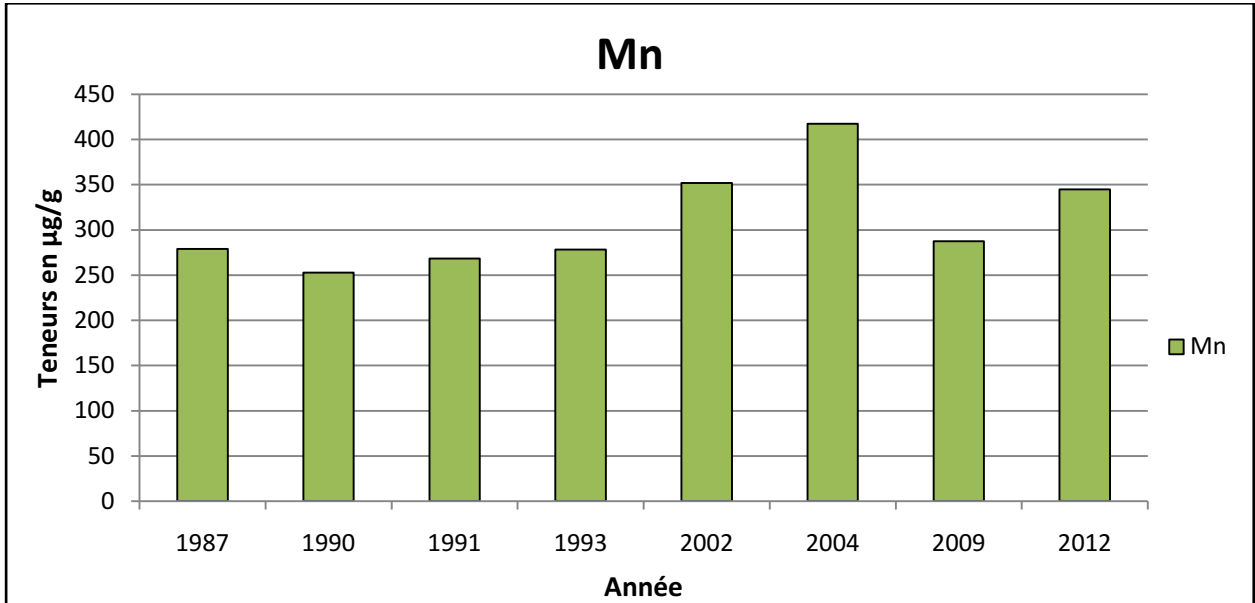


Figure 9 : Evolution de la concentration en manganèse dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissant.

1.1.5. Cadmium :

Les teneurs en Cadmium dans les sédiments superficiels (Figure 10) varient dans une large gamme entre un minimum de 0,09 $\mu\text{g/g}$ en 2004 et un maximum de 7,9 $\mu\text{g/g}$ en 1988.

On remarque qu'il y'a une diminution de la concentration en cadmium au cours des années, donc il y'a une suite illogique. Cela peut être dû au changement du positionnement de la station d'échantillonnage.

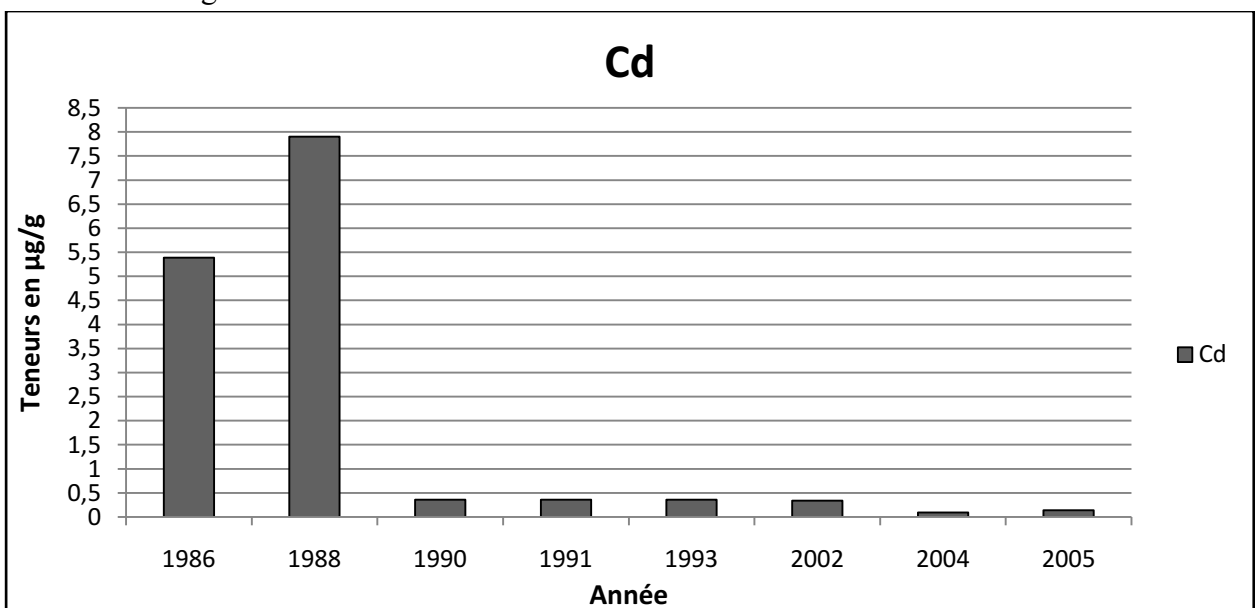


Figure 10 : Evolution de la concentration en cadmium dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissant.

1.1.6. Chrome :

Les teneurs en Chrome dans les sédiments superficiels (Figure 11) varient dans un intervalle assez étroit entre un minimum de 22,06 µg/g en 2009 et un maximum de 82,33 µg/g en 2004. Le chrome présente des teneurs instables au cours des années, cela semble lié également à plusieurs facteurs qu'on a déjà mentionné pour le zinc.

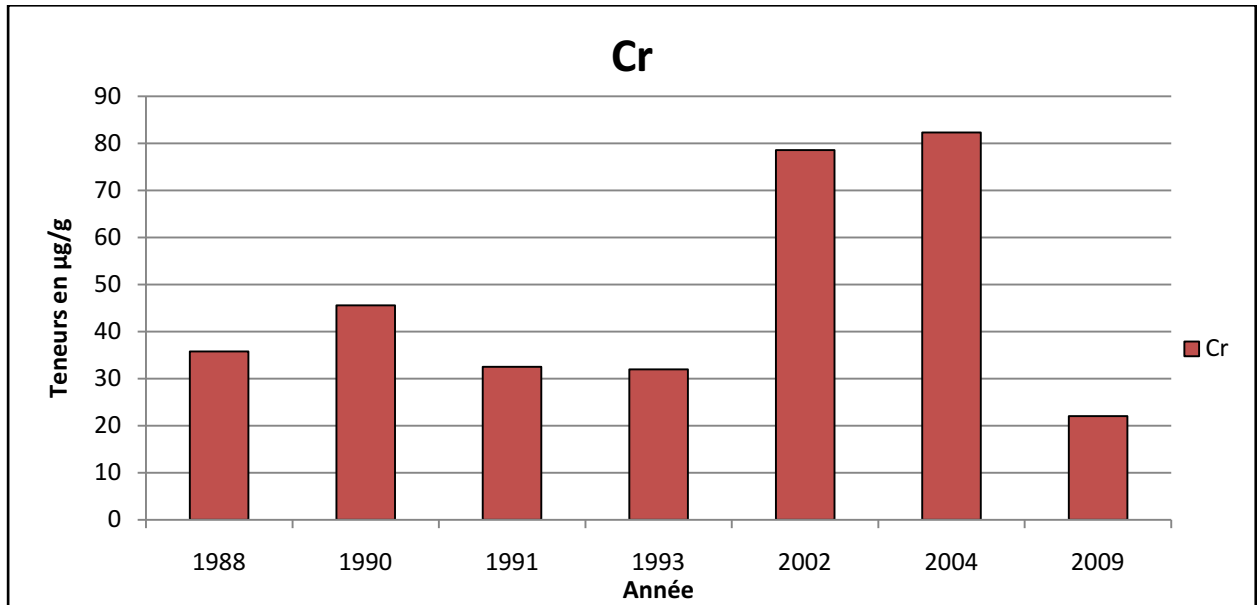


Figure 11 : Evolution de la concentration en chrome dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissant.

1.1.7. Nickel :

Les teneurs en Nickel dans les sédiments superficiels (Figure 12) varient dans un intervalle assez étroit entre un minimum de 36,8 µg/g en 2002 et un maximum de 40,69 µg/g en 2009. Il y'a une augmentation de la concentration du nickel au cours des années, donc une augmentation de la pollution par ce métal dans une durée de sept ans. Cela probablement due aux développements des activités urbaines et industriels.

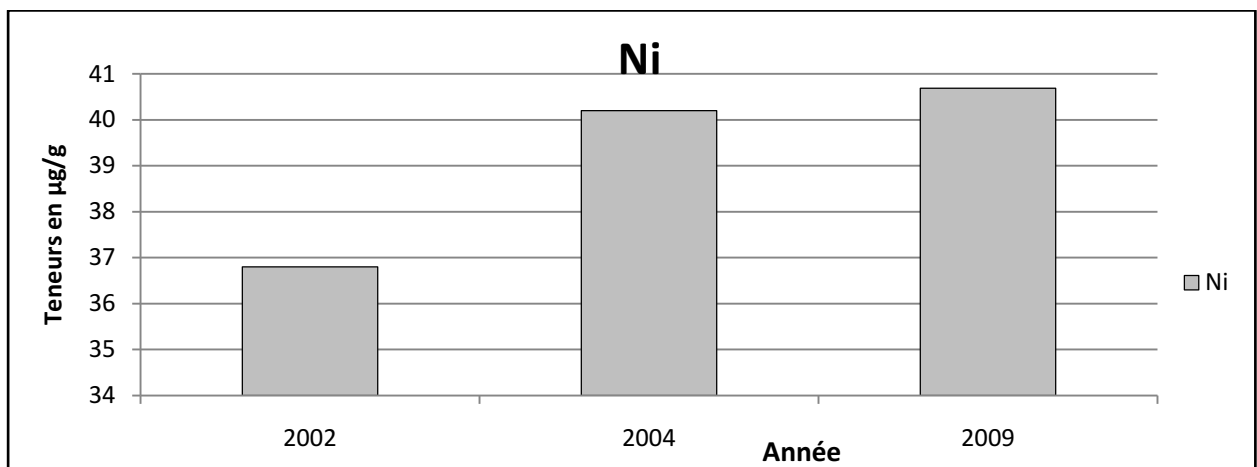


Figure 12 : Evolution de la concentration en Nickel dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissant.

1.1.8. Fer :

Les teneurs en Fer dans les sédiments superficiels (Figure 13) augmentent dans une large gamme de 4,3mg/g en 1987 à 36,21mg/g en 2009.

Fait ressortir les mêmes remarques avec le nickel cependant il y'a une augmentation importante de la pollution par le fer dans une durée de vingt deux ans.

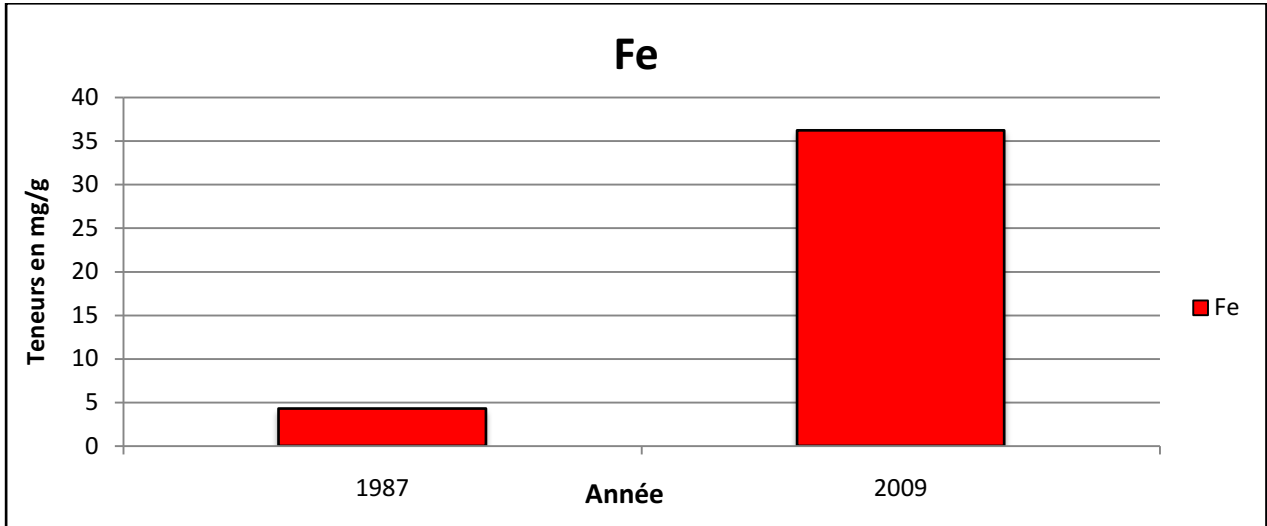


Figure 13 : Evolution de la concentration en Fer dans les sédiments superficiels da la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissante.

1.1.9. Mercure :

Les teneurs en Mercure dans les sédiments superficiels (Figure 14) diminuent de 2,7 µg/g en 1999 à 0,093 µg/g en 2005.

On remarque qu'il y'a une suite illogique des teneurs en mercure qui semble lié probablement à la variation de la station de prélèvement entre le premier travail et le deuxième travail.

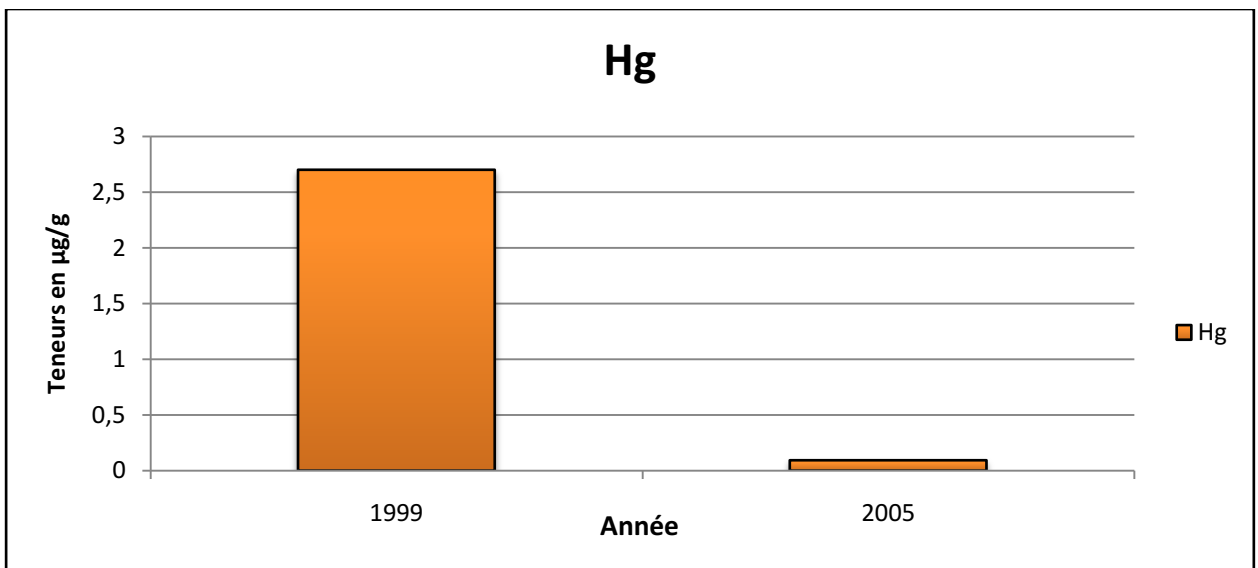


Figure 14 : Evolution de la concentration en mercure dans les sédiments superficiels da la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissante.

1.2. Baie de Bou-Ismaïl :

Tableau 27 : Résultats des teneurs en ETM dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissant.

Baie de Bou-Ismaïl	année	Zn	Cu	Pb	Mn	Cd	Cr	Ni	Fe	Hg
Boudjellal et al	1995	91	25,07	20,3	475,98	0,4	72,71	-	-	0,265
Aouidad	1996	86,43	16,98	-	229	-	21,27	-	2,09	0,0695
Benamirouche et Bacha	2000	84	12,94	29,51	-	0,18	-	-	-	0,1
Addouche	2002	80,19	4,56	9,05	274,3	0,176	-	41,98	-	-
Bellahsene et Messaoudi	2005	279,26	-	21,6	-	-	-	-	-	1,39
Rouibah et al	2005	92,2	18,38	53,95	-	0,14	-	-	-	0,093
Djerad	2010	115,9	49,53	-	-	-	88,3	-	-	-
Inal	2011	109,1	24,29	-	-	-	33,61	26,02	-	-
Meguellati et Sraoui	2012	75,71	12,42	34,28	299,57	-	-	-	-	-

1.2.1. Zinc :

Les teneurs en Zinc dans les sédiments superficiels (Figure 15) varient dans une large gamme entre un minimum de 75,71 µg/g en 2012 et un maximum de 279,26 µg/g en 2005.

On ne remarque pas une grande variation au cours des années sauf en 2005 où la concentration en zinc est très élevée, cela peut être dû à la contamination des échantillons.

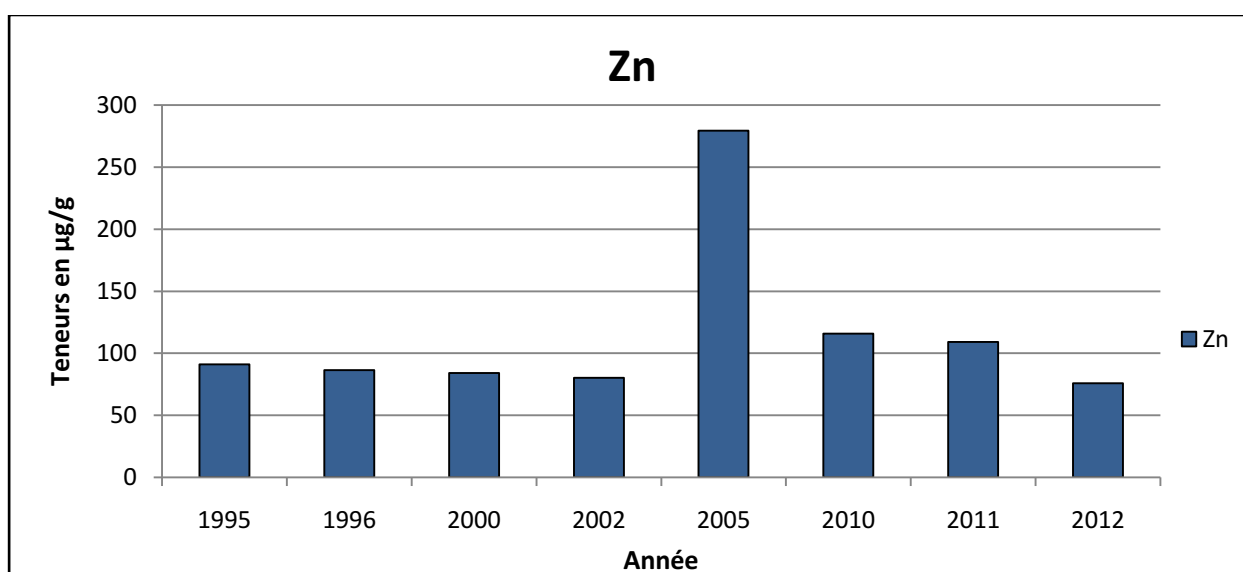


Figure 15 : Evolution de la concentration en zinc dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissant.

1.2.2. Cuivre :

Les teneurs en Cuivre dans les sédiments superficiels (Figure 16) varient dans une large gamme entre un minimum de 4,56 µg/g en 2002 et un maximum de 49,53 µg/g en 2010.

Cette distribution temporelle qui est variée d'une année à une autre semble liée également à plusieurs facteurs qu'on a déjà mentionnés dans la baie d'Alger.

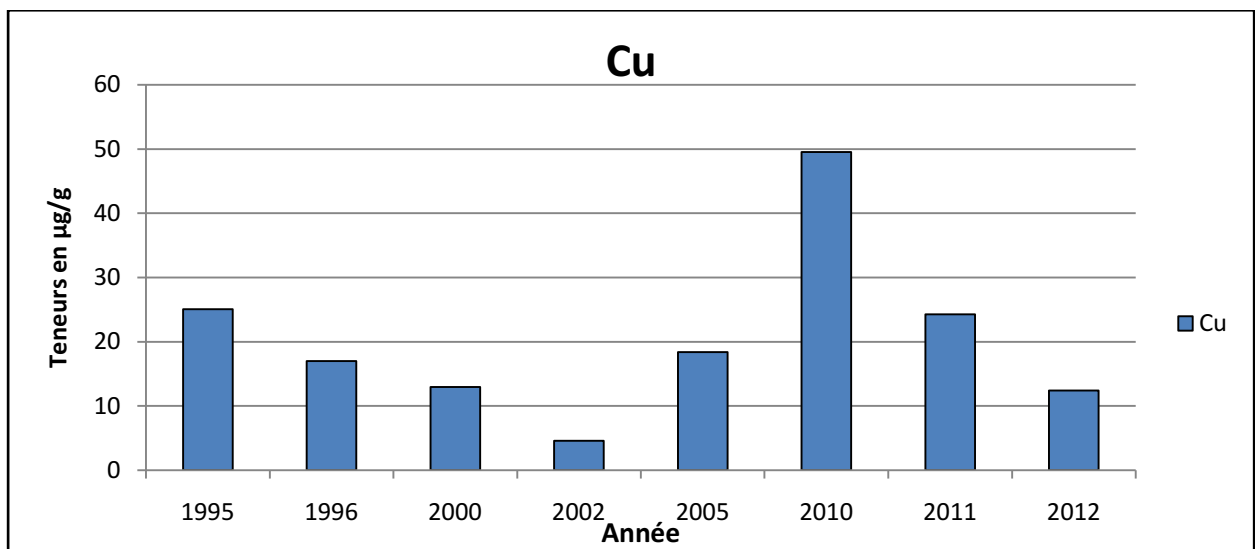


Figure 16 : Evolution de la concentration en cuivre dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissant.

1.1.3. Plomb :

Les teneurs en Plomb dans les sédiments superficiels (Figure 17) varient dans une large gamme entre un minimum de 9,05 µg/g en 2002 et un maximum de 53,95 µg/g en 2005.

Fait ressortir les mêmes remarques avec le cuivre cependant il y'a une augmentation des teneurs dans les dernières années.

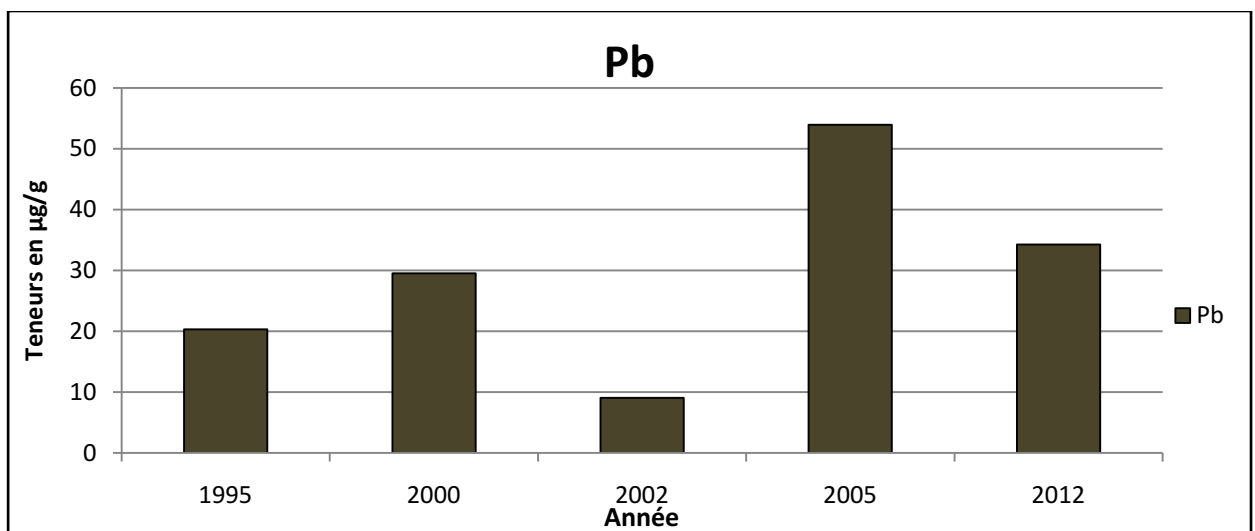


Figure 17 : Evolution de la concentration en Plomb dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissant.

1.1.4. Manganèse :

Les teneurs en Manganèse dans les sédiments superficiels (Figure 18) varient dans un intervalle assez étroit entre un minimum de 229 µg/g en 1996 et un maximum de 475,98 µg/g en 1995.

Cette distribution temporelle qui est variée d'une année à une autre semble liée également à plusieurs facteurs qu'on a déjà mentionnés dans la baie d'Alger.

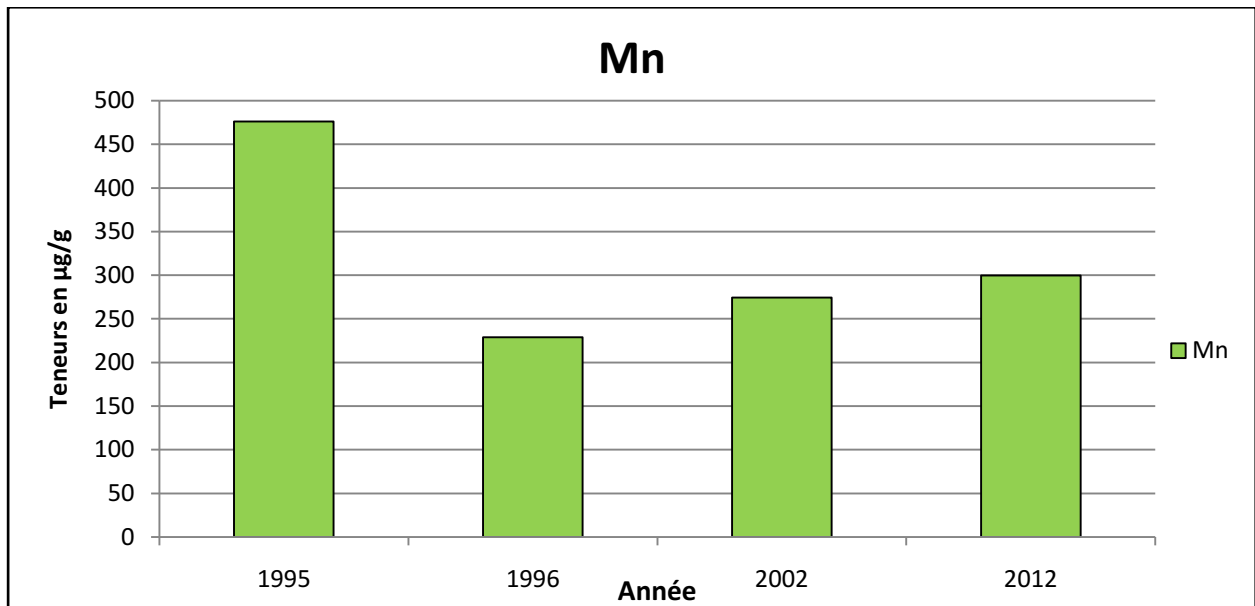


Figure 18 : Evolution de la concentration en manganèse dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissant.

1.1.5. Cadmium :

Les teneurs en Cadmium dans les sédiments superficiels (Figure 19) varient dans un intervalle assez étroit entre un minimum de $0,14 \mu\text{g/g}$ en 2005 et un maximum de $0,4 \mu\text{g/g}$ en 1995.

On remarque qu'il y a une diminution de la concentration en cadmium au cours des années, donc il y a une suite illogique. Cela peut être dû au changement du positionnement de la station d'échantillonnage.

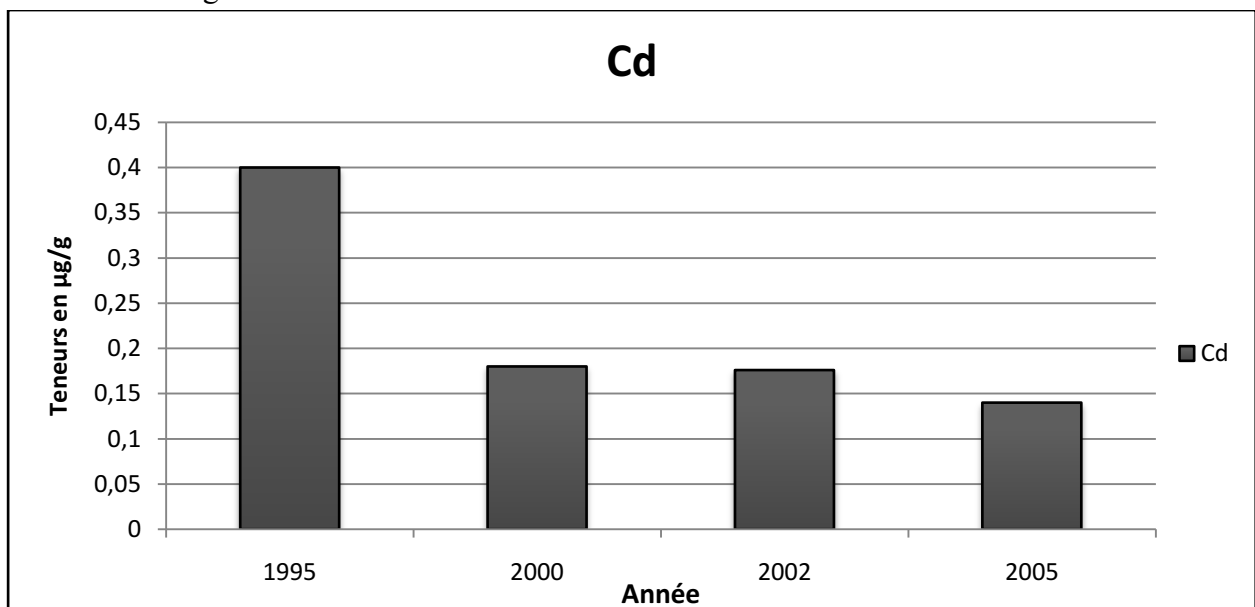


Figure 19 : Evolution de la concentration en cadmium dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissant.

1.1.6. Chrome :

Les teneurs en Chrome dans les sédiments superficiels (Figure 20) varient dans une large gamme entre un minimum de $21,27 \mu\text{g/g}$ en 1996 et un maximum de $88,3 \mu\text{g/g}$ en 2010.

Cette distribution temporelle qui est variée d'une année à une autre semble liée également à plusieurs facteurs qu'on a déjà mentionnés dans la baie d'Alger.



Figure 20 : Evolution de la concentration en chrome dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissant.

1.1.7. Nickel :

Les teneurs en Nickel dans les sédiments superficiels (Figure 21) diminuent de 41,98 $\mu\text{g/g}$ en 2002 à 26,02 $\mu\text{g/g}$ en 2011.

On remarque qu'il y a une suite illogique des teneurs en nickel qui semble liée probablement à la variation de la station de prélèvement entre le premier travail et le deuxième travail.

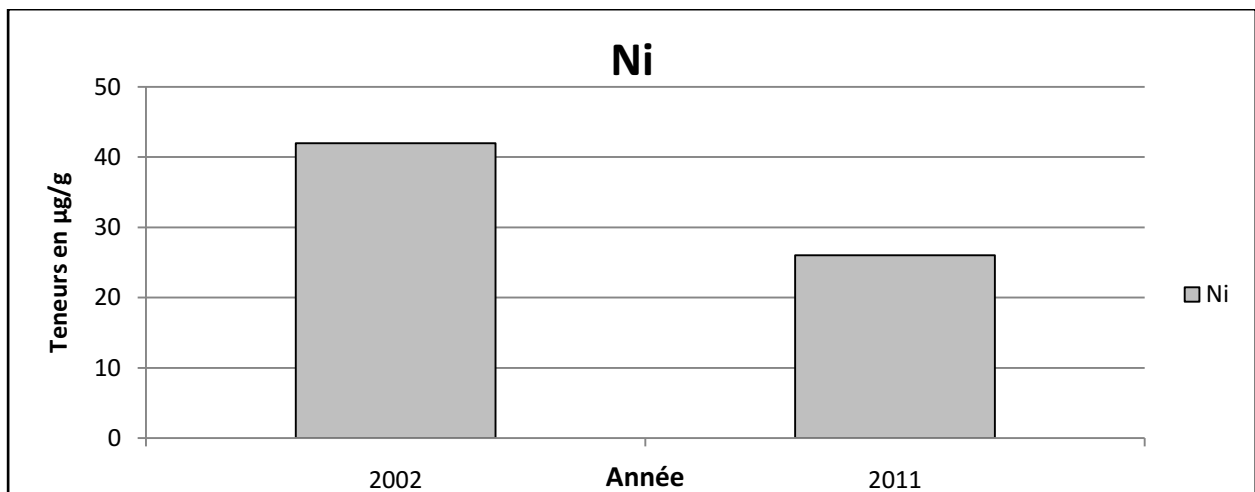


Figure 21 : Evolution de la concentration en nickel dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissant.

1.1.8. Fer :

Il y a une seule étude en 1996 où la concentration est 2,09 mg/g.

1.1.9. Mercure :

Les teneurs en Mercure dans les sédiments superficiels (Figure 22) varient dans une large gamme entre un minimum de 0,0695 $\mu\text{g/g}$ en 1996 et un maximum de 1,39 $\mu\text{g/g}$ en 2005.

Il y a une augmentation de la concentration du mercure au cours des années, donc une augmentation de la pollution par ce métal dans une durée de dix ans. Cela probablement due aux développements des activités urbaines et industrielles.

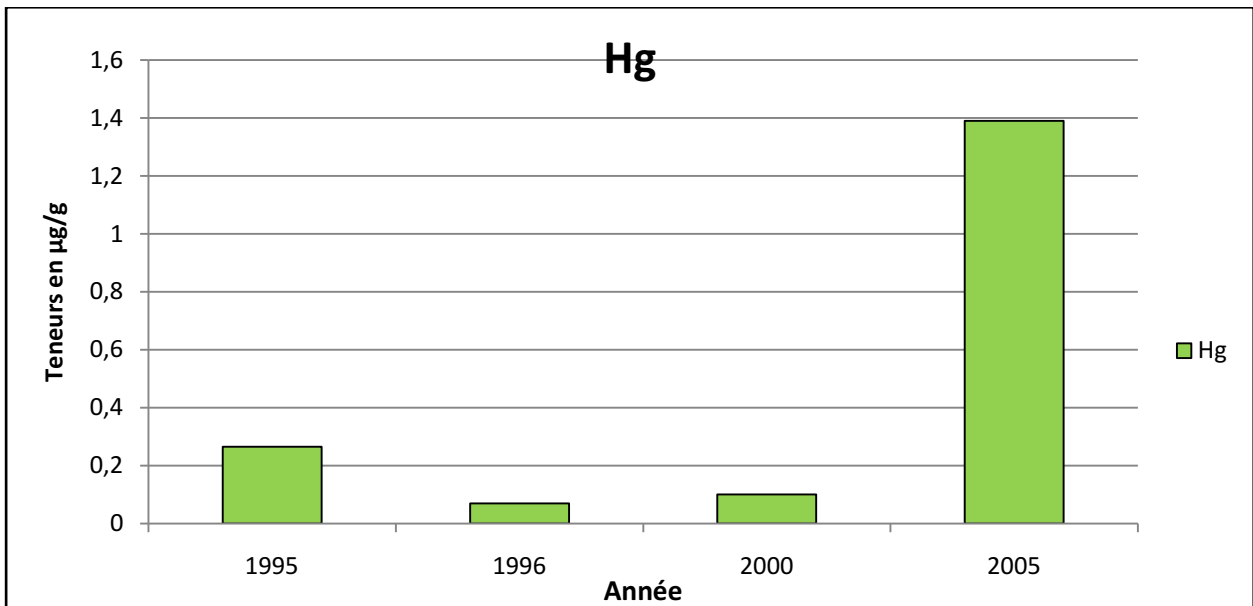


Figure 22 : Evolution de la concentration en mercure dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissant.

2. Analyse statistique des données acquises :

2.1. Analyse binaire :

Le tableur *Excel* de Microsoft est utilisé pour le stockage et l'analyse des données, le traitement des séries temporelles et l'élaboration de graphiques.

Dans le but de pouvoir expliquer les relations que les métaux peuvent avoir, des corrélations sont réalisées. Pour cela, à partir de (n) couples de variable une droite de régression linéaire de la forme ($Y = a X + b$) est obtenue par la méthode des moindres carrés.

Les coefficients de corrélation (r) calculés, compris dans l'intervalle [-1, 1], permettent de vérifier l'existence ou non d'une relation (ou corrélation) entre les deux éléments considérés. Cependant, au préalable, ces coefficients sont validés au moyen d'un test statistique, le test du coefficient de corrélation (r) qui s'exprime comme suit (Schwartz, 1969) :

$$tc = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2} \quad (1)$$

Où :

r : Coefficient de corrélation ;

n : Effectif des variables ;

tc : valeur calculée comparée à « t » de la table de Student (t_t) pour un degré de liberté (ddl) égale à n-2 avec, pour cette étude, une précision de 95% ($\alpha = 5\%$).

Si $|tc| > |t_t|$, la corrélation entre les deux variables est significative.

Si $|tc| < |t_t|$, la corrélation entre les deux variables n'est pas significative.

2.1.1. Baie d'Alger :

Les résultats obtenus au cours des années (Tableau 28) révèlent pour les neuf métaux cinq corrélations significatives entre le Zn-Cu, Zn-Cr, Cu-Mn, Cu-Cd et Mn-Cr. Cela signifie que ces éléments évoluent dans le même sens et peuvent avoir la même origine.

Tableau 28 : Corrélation inter métaux dans le sédiment superficiel de la baie d'Alger.

Type de corrélation	n	r	t Calculé	t de Student	Conclusion
Zn - Cu	11	0,778	3,72	2,262	Corrélation significative
Zn - Pb	8	0,42	1,14	2,447	Corrélation non significative
Zn - Mn	8	0,26	0,68	2,447	Corrélation non significative
Zn - Cd	7	0,62	1,77	2,571	Corrélation non significative
Zn - Cr	6	0,82	2,9	2,776	Corrélation significative
Zn - Ni	3	0,59	0,73	12,7	Corrélation non significative
Zn - Fe	2	1	-	-	-
Zn - Hg	2	1	-	-	-
Cu - Pb	9	0,31	0,88	2,365	Corrélation non significative
Cu - Mn	8	0,82	3,62	2,447	Corrélation significative
Cu - Cd	8	0,81	3,44	2,447	Corrélation significative
Cu - Cr	7	0,69	2,13	2,571	Corrélation non significative
Cu - Ni	3	0,61	0,78	12,7	Corrélation non significative
Cu - Fe	2	1	-	-	-
Cu - Hg	2	1	-	-	-
Pb - Mn	6	0,14	0,29	2,776	Corrélation non significative
Pb - Cd	7	0,25	0,58	2,571	Corrélation non significative
Pb - Cr	5	0,07	0,13	3,18	Corrélation non significative
Pb - Ni	1	-	-	-	-
Pb - Fe	2	1	-	-	-
Pb - Hg	2	1	-	-	-
Mn - Cd	5	0,87	3,08	3,18	Corrélation non significative
Mn - Cr	6	0,84	3,19	2,776	Corrélation significative
Mn - Ni	3	0,1	0,11	12,7	Corrélation non significative
Mn - Fe	2	1	-	-	-
Mn - Hg	-	-	-	-	-
Cd - Cr	6	0,34	0,73	2,776	Corrélation non significative
Cd - Ni	2	1	-	-	-
Cd - Fe	-	-	-	-	-
Cd - Hg	1	-	-	-	-
Cr - Ni	3	0,55	0,66	12,7	Corrélation non significative
Cr - Fe	1	-	-	-	-
Cr - Hg	-	-	-	-	-
Ni - Fe	1	-	-	-	-
Ni - Hg	-	-	-	-	-
Fe - Hg	-	-	-	-	-

Les corrélations non significatives constatées entre les autres couples de métaux laisseraient apparaître que ces éléments évoluent indépendamment les uns par rapport aux autres et proviendraient probablement des sources différentes.

La figure ci-dessous représente la corrélation inter métaux dans le sédiment superficiel de la baie d'Alger.

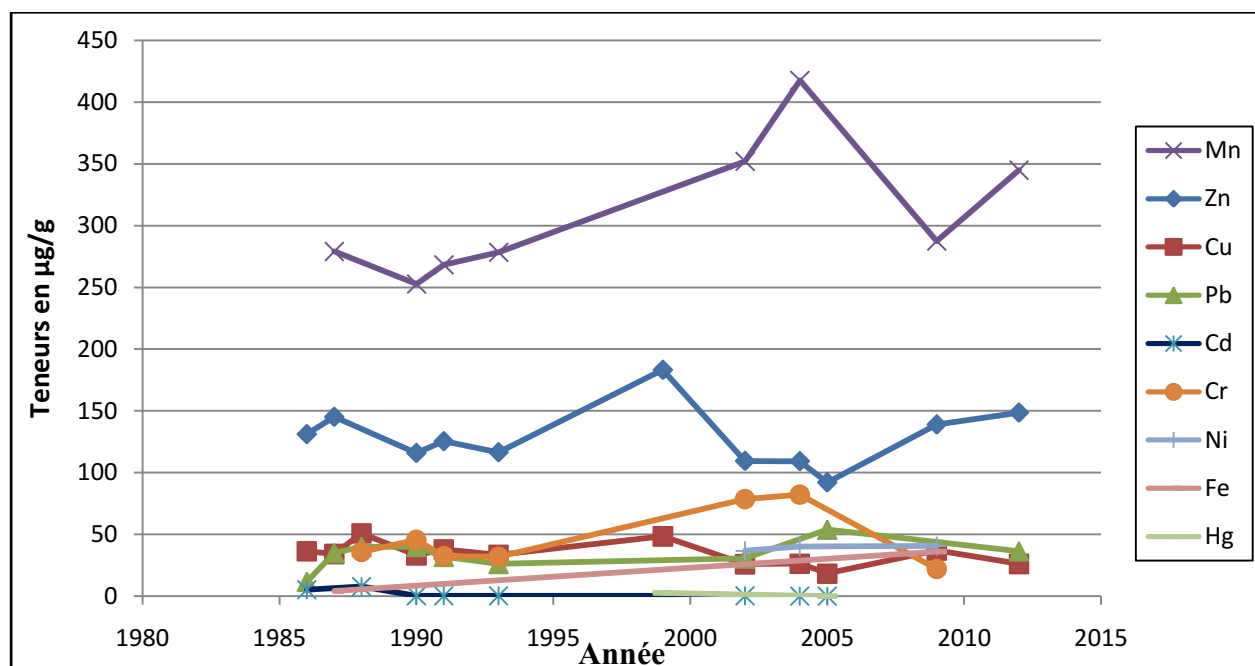


Figure 23 : Evolution de la concentration en ETM dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger selon un ordre chronologique croissant.

2.1.2. Baie Bou-Ismaïl :

Tableau 29 : Corrélation inter métaux dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl.

Type de corrélation	n	r	t Calculé	t de Student	Conclusion
Zn - Cu	8	0,875	4,44	2,447	Corrélation significative
Zn - Pb	6	0,17	0,36	2,776	Corrélation non significative
Zn - Mn	4	0,54	0,92	4,3	Corrélation non significative
Zn - Cd	4	0,36	0,52	4,3	Corrélation non significative
Zn - Cr	4	0,47	0,77	4,3	Corrélation non significative
Zn - Ni	2	1	-	-	-
Zn - Fe	2	1	-	-	-
Zn - Hg	5	0,99	13,58	3,18	Corrélation significative
Cu - Pb	5	0,37	0,7	3,18	Corrélation non significative
Cu - Mn	4	0,68	1,34	4,3	Corrélation non significative
Cu - Cd	4	0,67	1,28	4,3	Corrélation non significative
Cu - Cr	4	0,68	2,1	4,3	Corrélation non significative
Cu - Ni	2	1	-	-	-
Cu - Fe	1	-	-	-	-
Cu - Hg	4	0,84	2,26	4,3	Corrélation non significative
Pb - Mn	3	0,044	0,044	12,7	Corrélation non significative
Pb - Cd	4	0,4	0,6	4,3	Corrélation non significative
Pb - Cr	1	-	-	-	-
Pb - Ni	1	-	-	-	-
Pb - Fe	-	-	-	-	-
Pb - Hg	4	0,5	0,8	4,3	-
Mn - Cd	2	1	-	-	-
Mn - Cr	2	-	-	-	-
Mn - Ni	1	-	-	-	-
Mn - Fe	1	-	-	-	-

Mn – Hg	2	1	-	-	-
Cd – Cr	1	-	-	-	-
Cd – Ni	1	-	-	-	-
Cd – Fe	1	-	-	-	-
Cd – Hg	3	0,99	9,07	12,7	Corrélation non significative
Cr – Ni	1	-	-	-	Corrélation non significative
Cr – Fe	1	-	-	-	-
Cr – Hg	2	1	-	-	-
Ni – Fe	1	-	-	-	-
Ni – Hg	-	-	-	-	-
Fe - Hg	1	-	-	-	-

Les résultats obtenus au cours des années (Tableau 29) révèlent pour les neuf métaux deux corrélations significatives entre le Zn-Cu et Zn-Hg. Cela signifie que ces éléments évoluent dans le même sens et peuvent avoir la même origine.

Les corrélations non significatives constatées entre les autres couples de métaux laisseraient apparaître que ces éléments évoluent indépendamment les uns par rapport aux autres et proviendraient probablement des sources différentes.

La figure ci-dessous représente la corrélation inter métaux dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl.

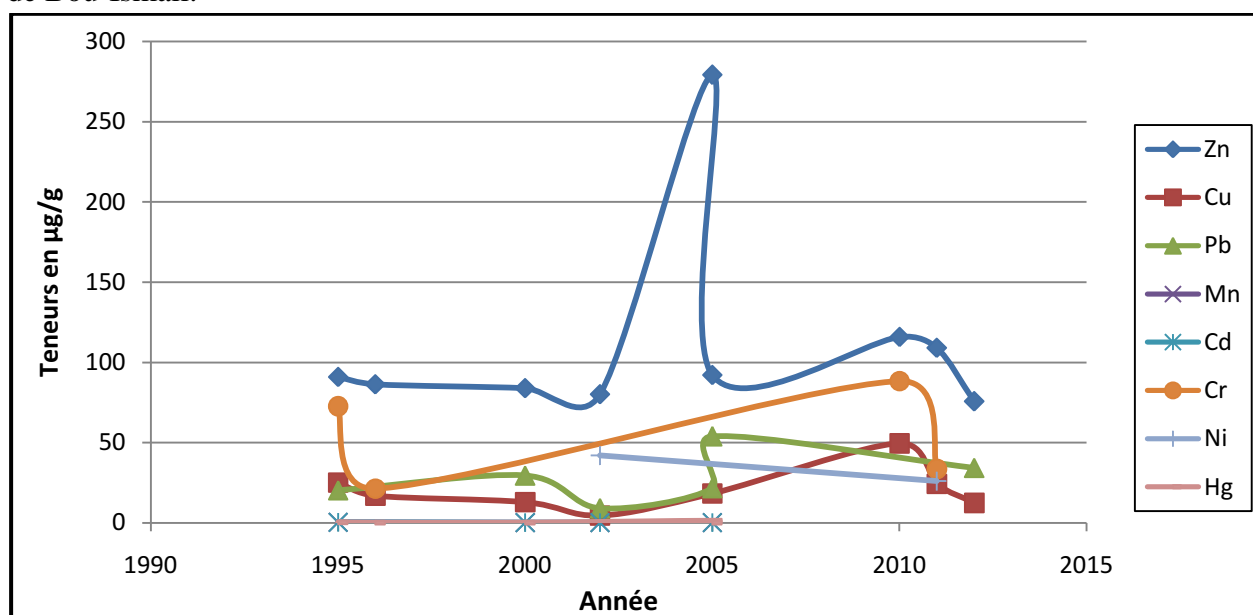


Figure 24 : Evolution de la concentration en ETM dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl selon un ordre chronologique croissant.

2.2. L'analyse en composantes principales (ACP) :

Le traitement des données peut être effectué par quatre méthodes: l'analyse en composantes principales (ACP), l'analyse factorielle des correspondances simples (AFC) ou multiples (AFCm) et l'analyse discriminante. Le principe général de ces techniques statistiques est synthétisé à partir de plusieurs documents : Daget (1976), Legendre et Legendre (1979), Delagarde (1983), Ainouche (1984) et Saporta (1990) ; on entre des les données à traiter, on sélectionne la méthode à utiliser et on obtient les résultats sans aucun regard sur les calculs intermédiaires.

L'ACP a été mise au point définitivement par Hotelling (1933, in Daget, 1976), elle s'applique à des matrices de corrélation. Le problème que se propose de résoudre celle-ci, est de déterminer un système d'axes de référence hiérarchisé tel qu'en diminuant le nombre de dimensions de l'espace dans lequel sont projetés les points d'observations, la perte d'information soit minimale. Elle permet d'établir un diagramme de dispersion unique dans lequel apparaissent à la fois, chacune des variables considérées et chacun des objets observés (Dagnelie, 1975).

Si l'on étudie un échantillon de n individus caractérisés chacun par un nombre de variables (p), il est possible de représenter cet échantillon par un nuage de n points dans un espace à p dimensions; la proximité des points traduit la ressemblance des individus.

Le nuage de points s'allonge suivant certaines directions privilégiées, l'ACP permet de mettre en évidence ces axes, ainsi que leur ordre d'importance. L'axe qui donne le maximum d'information est appelé axe factoriel et la combinaison de celui-ci avec le deuxième axe factoriel constitue le premier plan factoriel. Ceci se ramène à une détermination de valeurs propres et de vecteurs propres, qui assurent une parfaite symétrie entre les variables et les données. Chaque point-variable se place au sein du groupe de point-donnée qu'il caractérise le plus.

Dans ce travail, les calculs sont effectués à l'aide du logiciel **Statistica (version, 5.1. Edit.'97)**.

- Année : variable qualitatif.
- ETM : variables quantitatifs.

La représentation graphique est réalisée en projetant sur le plan formé par les deux axes factoriels retenus. Ce sont les premiers axes qui fournissent le plus d'information (Philippeau, 1986).

Le résultat final se traduit par des ensembles de sous nuages de points où années se regroupent par affinité autour des ETM qui les caractérisent.

2.2.1. Baie d'Alger :

L'analyse est effectuée en fonction des années inscrites en ligne et 13 variables (ETM) en colonne. La combinaison matricielle des profils lignes et profils colonnes déduits de ce tableau, donne les valeurs propres et les vecteurs propres.

Tableau 30 : Valeurs propres et inertie (baie d'Alger).

AXES	Val Propres	% Total Variance	Cumul Val Propres	% Cumul
1	2,73474	30,386	2,73474	30,386
2	1,984696	22,05218	4,719436	52,43817
3	1,445239	16,05821	6,164674	68,49638

Le nombre de dimensions retenu est de trois, correspondant aux plus fortes valeurs propres (plus de 68,5% de l'inertie totale). Ce pourcentage permet de quantifier la part de l'information expliquée par les 3 premiers axes.

D'après la figure ci-dessous, les 3 premiers axes factoriels présentent les 3 plus grands valeurs propres avec un **% Cumul** est presque 70%, c'est-à-dire 70% de notre données sont représentées sous forme nuage de point en 2D ou graphique en 3D et ce pourcentage c'est suffisant.

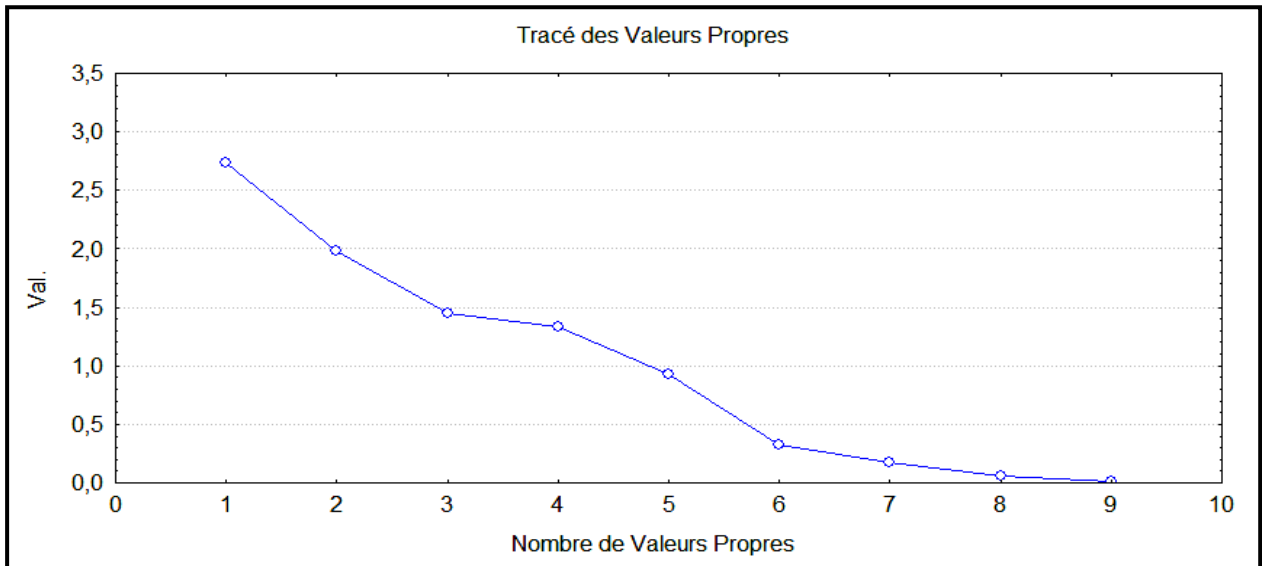


Figure 25 : Valeurs propres en fonction des axes factoriels (baie d'Alger).

Pour la clarté des représentations graphiques, seuls les trois premiers axes factoriels pris deux à deux sont utilisés pour la projection des variables.

- La projection des variables sur les Axes 1(Mn, Cr, Ni) et 2 (Zn, Hg) permet de faire les remarques suivantes (Figure 26):

Par rapport l'axe 1 ; les points 1989, 2002, 2005 et 2009 sont bien représentés sur cet axe parce que les valeurs sont proche de 1. Pour les valeurs proches de 0, ces points qui forment un nuage sont mal représentés sur l'axe factoriel. D'autre part, plus le cosinus est élevé, plus le point est corrélé avec l'axe (Philippeau, 1986).

Par rapport l'axe 2 ; la majorité des valeurs sont proches de 0, ces points qui forment un nuage sont mal représentés. Les points 1988, 1989 et 2005 sont bien représentés sur cet axe parce que les valeurs sont proches de 1.

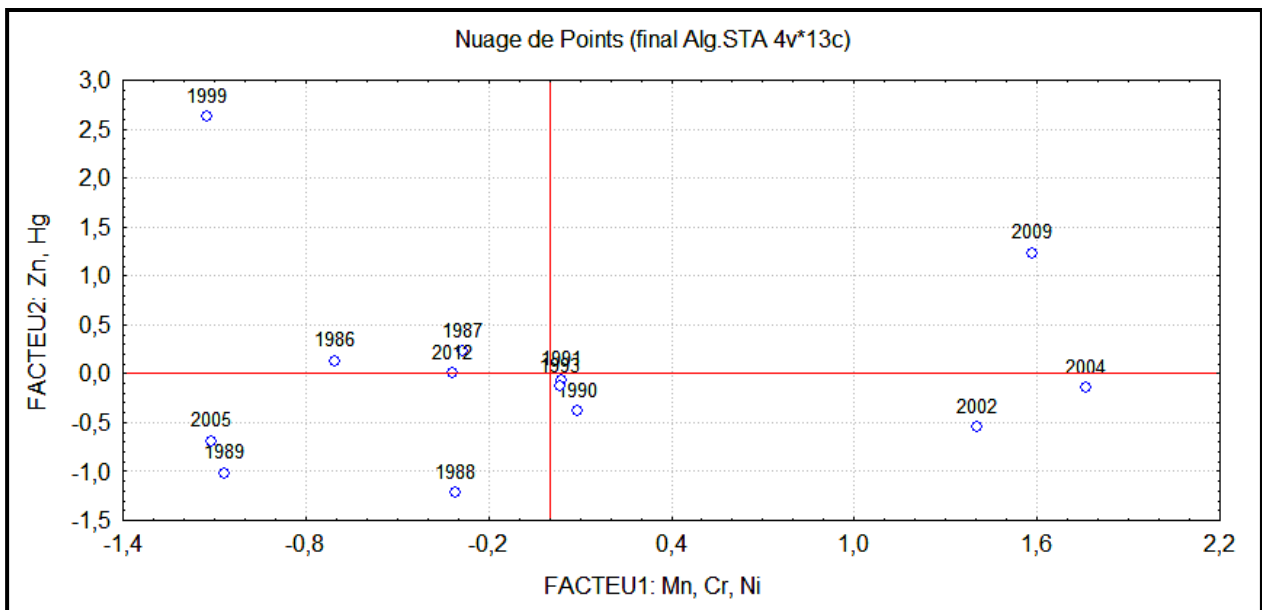


Figure 26 : Nuage de points sur les axes 1 et 2 dans la baie d'Alger (premier plan factoriel).

- La projection des variables sur les Axes 1(Mn, Cr, Ni) et 3 (Cu, Cd) permet de faire les remarques suivantes (Figure 27) :

Fait ressortir les mêmes remarques avec la précédente cependant une plus grande dispersion des variables.

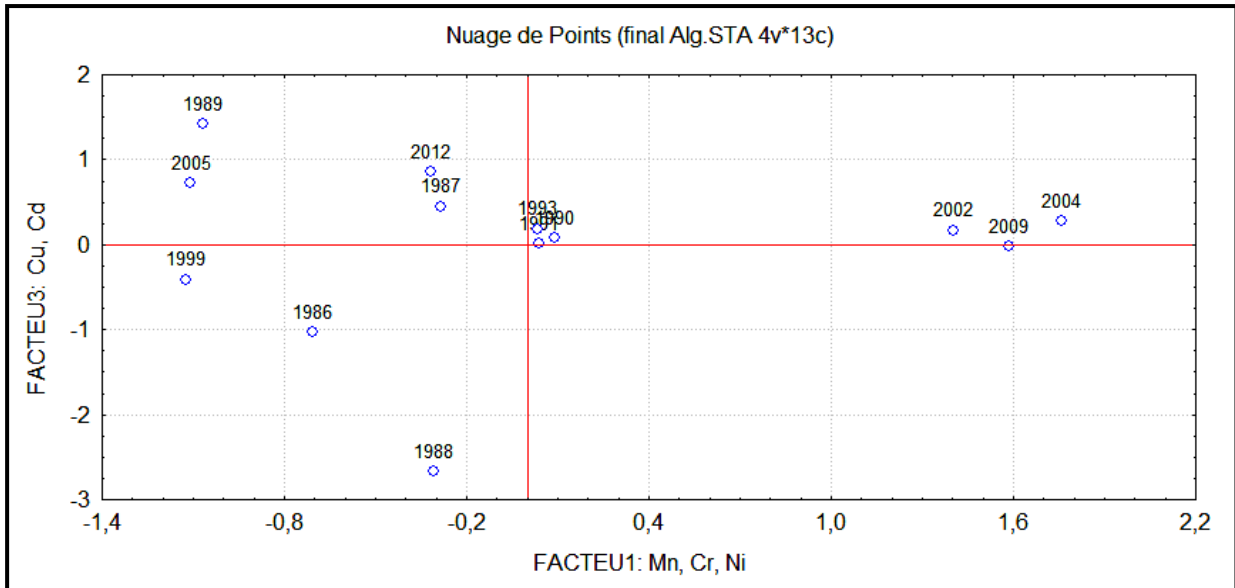


Figure 27 : Nuage de points sur les axes 1 et 3 dans la baie d'Alger (deuxième plan factoriel).

- La projection des variables sur les Axes 2(Zn, Hg) et 3 (Cu, Cd) permet de faire les remarques suivantes (Figure 28) :

Il y'a un nuage de point dans la partie à gauche en haut, les autres points présentent une dispersion.

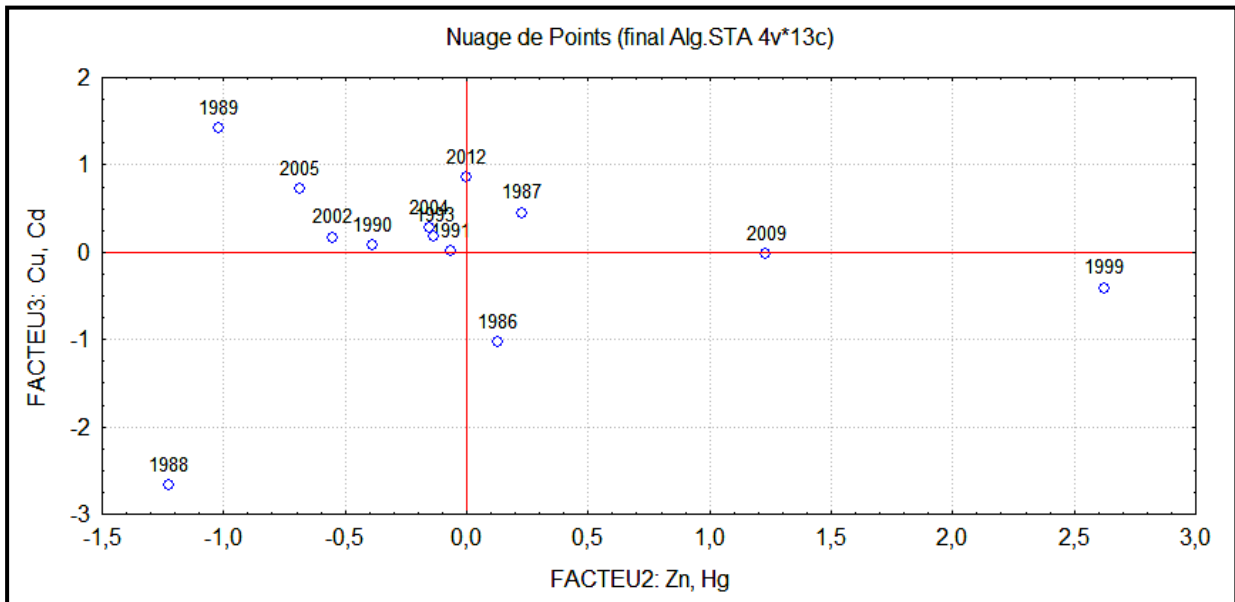


Figure 28 : Nuage de points sur les axes 2 et 3 dans la baie d'Alger (troisième plan factoriel).

- La présentation graphique en 3D (Figure 29) montre une ressemblance en 2004 et 2002 pour le Mn, Cr et Ni, ils sont bien réunis entre elles. On remarque une dispersion pour le Zn et Hg. Le Cu et Cd sont bien réunis au cours des années. Ainsi les diagrammes où la valeur est proche de 1 ou -1 présentent des variables bien représentés et l'inverse pour les diagrammes où la valeur est proche de 0.

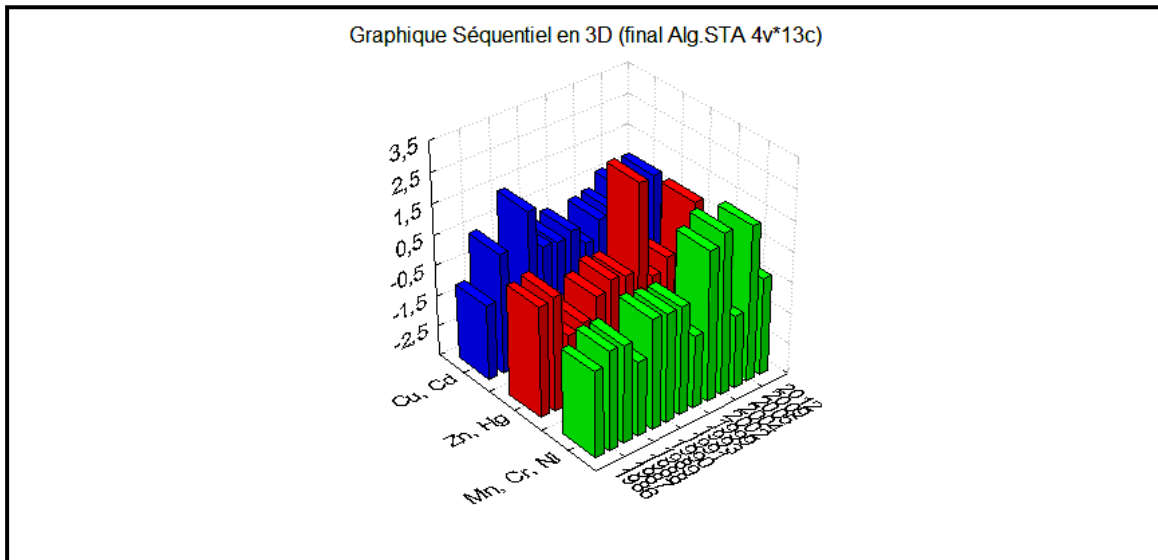


Figure 29 (a): Graphique séquentiel en 3D dans la baie d'Alger (a).

- La présentation graphique en 3D ci-dessous montre l'évolution de la concentration de chaque métal en $\mu\text{g/g}$ depuis 1986 jusqu'à 2012.

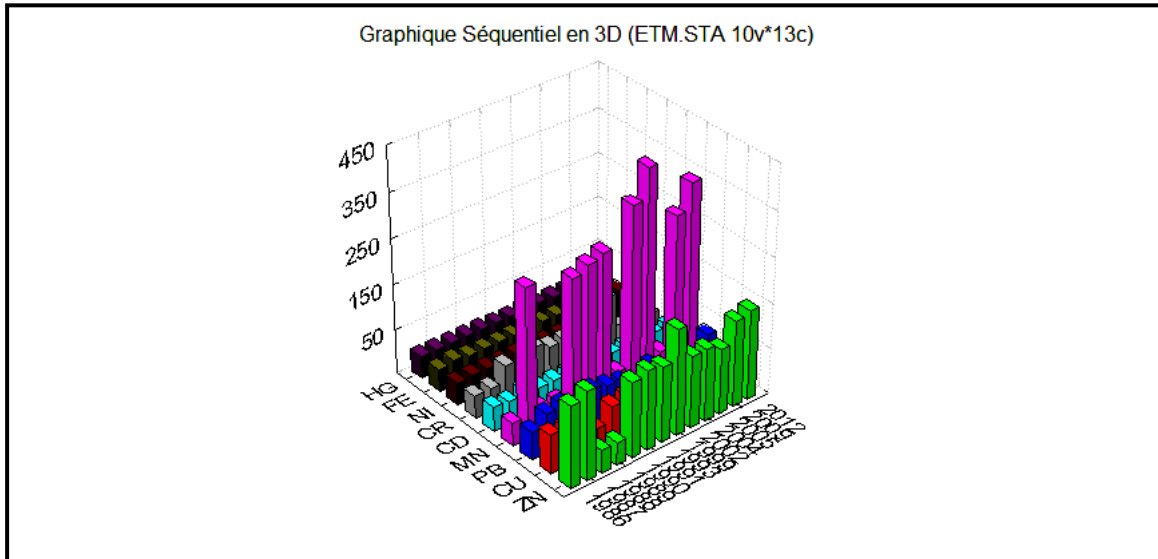


Figure 29 (b) : Graphique séquentiel en 3D dans la baie d'Alger (b).

2.2.1. Baie Bou-Ismaïl :

Le nombre de dimensions retenu est de trois, correspondant aux plus fortes valeurs propres (plus de 69,5% de l'inertie totale). Ce pourcentage permet de quantifier la part de l'information expliquée par les 3 premiers axes.

Tableau 31 : Valeurs propres et inertie (baie Bou-Ismaïl).

AXES	Val Propres	% Total Variance	Cumul Val Propres	% Cumul
1	2,752011	30,5779	2,752011	30,5779
2	1,964742	21,83047	4,716754	52,40837
3	1,526884	16,96538	6,243638	69,37376

Fait ressortir les mêmes remarques avec la baie d'Alger, cependant presque 70% de notre données sont représentées et cela c'est suffisant.

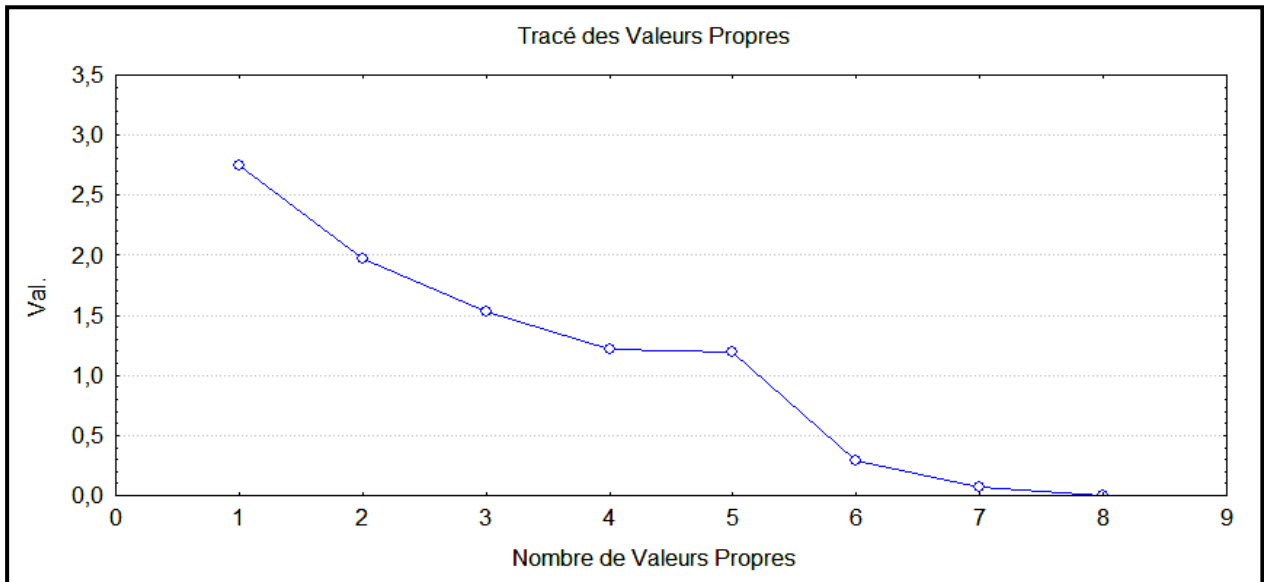


Figure 30 : Valeurs propres en fonction des axes factoriels (baie Bou-Ismaïl).

- La projection des variables sur les Axes 1(Zn, Hg) et 2 (Cu, Cr) permet de faire les remarques suivantes (Figure 31):

Si l'on s'intéresse aux proximités, il y a d'une part, formation de nuages de points et d'autre part, dispersion d'un certain nombre de points.

Par rapport l'axe 1, les points 1995 et 1996 sont proches de 1 donc sont bien représentées, les autres sont mal représentées.

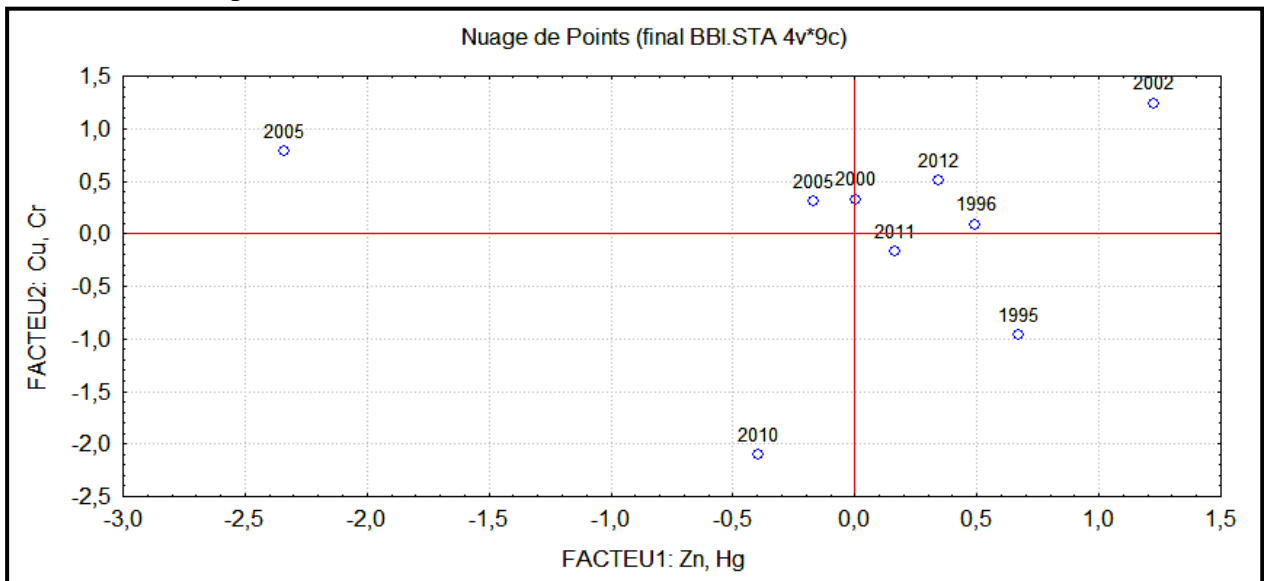


Figure 31 : Nuage de points sur les axes 1 et 2 dans la baie de Bou-Ismaïl (premier plan factoriel).

- La projection des variables sur les Axes 1(Zn, Hg) et 3 (Pb, Cd) permet de faire les remarques suivantes (Figure 32):

Cette projection fait ressortir les mêmes remarques avec la précédente, cependant avec une plus grande dispersion de tous les variables.

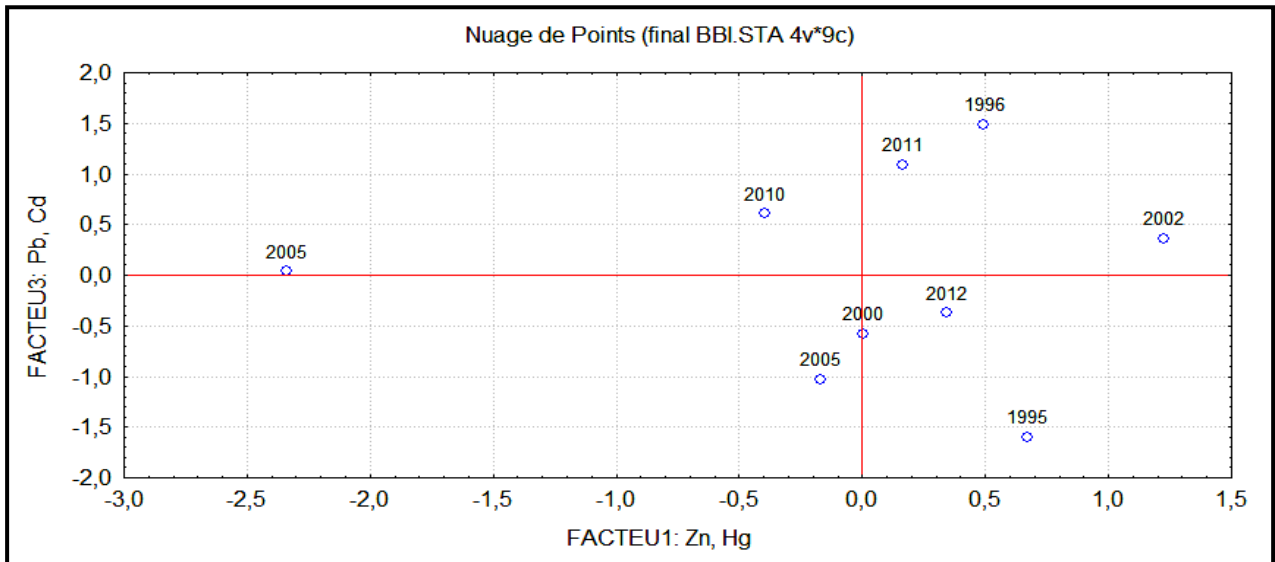


Figure 32 : Nuage de points sur les axes 1 et 3 dans la baie de Bou-Ismaïl (deuxième plan factoriel).

- La projection des variables sur les Axes 2 (Cu, Cr) et 3 (Pb, Cd) permet de faire les remarques suivantes (Figure 33):

Formation un nuage de point à droite de la figure englobe les points 2005, 2000, 2012, 2005 et 2002. Donc ces variables révèlent un comportement semblable pour les deux axes de projections.

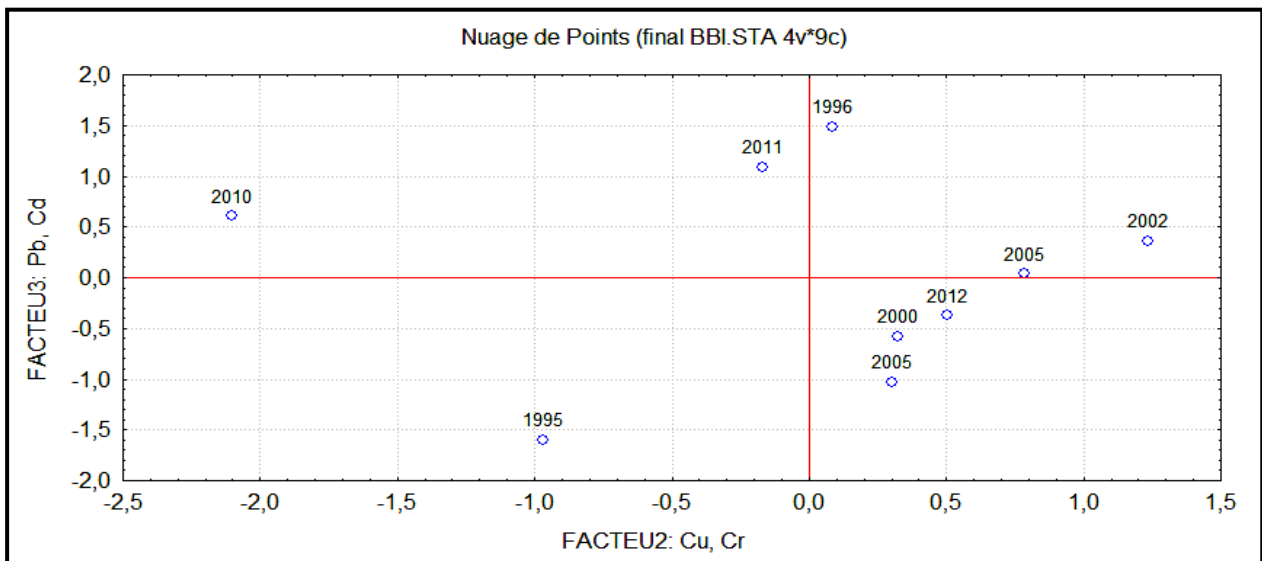


Figure 33 : Nuage de points sur les axes 2 et 3 dans la baie de Bou-Ismaïl (troisième plan factoriel).

- La présentation graphique en 3D (Figure 34) montre une dispersion pour tous les variables au cours des années, ainsi les diagrammes où la valeur est proche de 1 ou -1 présentent des variables bien représentés et l'inverse pour les diagrammes où la valeur est proche de 0.

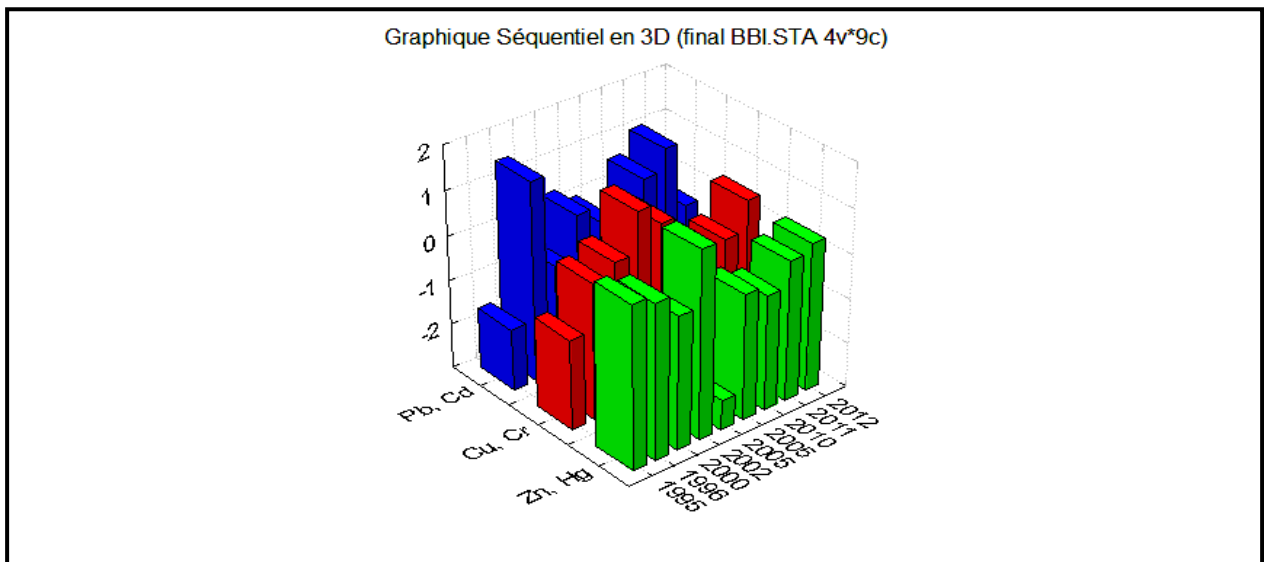


Figure 34 (a): Graphique séquentiel en 3D dans la baie de Bou-Ismaïl (a).

- La présentation graphique en 3D ci-dessous montre l'évolution de la concentration de chaque métal en µg/g depuis 1995 jusqu'à 2012.

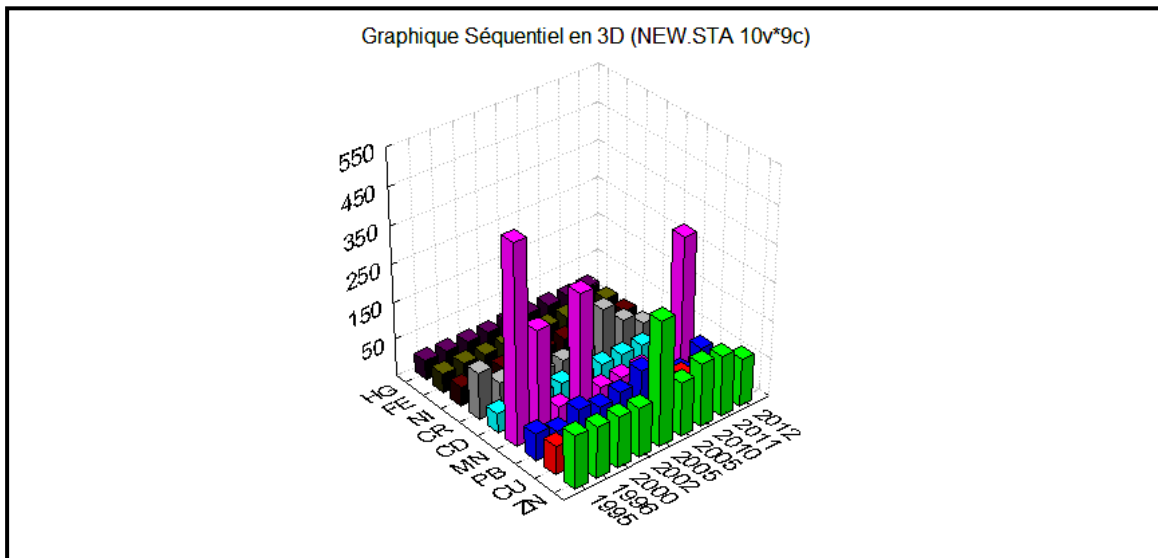


Figure 34 (b): Graphique séquentiel en 3D dans la baie de Bou-Ismaïl (b).

[Conclusion générale]

La présente étude, rentre dans le cadre de suivi l'évolution et d'évaluer l'état de pollution du littoral algérois par les métaux traces. Cependant, cette recherche bibliographique constitue une base de données sur le maximum de travaux réalisés sur la contamination des sédiments des baies d'Alger et de Bou-Ismaïl par les métaux traces.

A la lumière des résultats obtenus, un diagnostic de l'état de pollution est établi pour chaque site étudié ; L'évolution de l'état de pollution par les neuf métaux traces depuis les années quatre-vingts jusqu'à l'heure actuel n'est pas marqué de façon croissante, il est varié d'une année à une autre, ainsi Les travaux antérieurs effectués dans le secteur Algérois montrent des teneurs en certains métaux extrêmement élevées par rapport à celles observées dans les derniers années, cela due à plusieurs facteurs :

- La variation de la période de prélèvement (estival ou hivernal) d'un travail à un autre ;
- La méthode et les moyens utilisés pour le traitement des échantillons et l'extraction des métaux traces ;
- La nature de sédiment qui a été prélever lors de l'échantillonnage et la profondeur variés d'un travail à un autre (le positionnement des stations ce n'est pas le même).
- Quelques travaux ne sont pas fiables (manque d'échantillon d'intercalibration).

A la suite de cet état, il est important de souligner que l'évaluation de la pollution en quelque site que ce soit, nécessite une surveillance continue qui n'a de sens que si elle complétée par une estimation des apports et une réduction des rejets polluants.

A ce titre il convient d'améliorer la stratégie d'échantillonnage devant répondre à la particularité du site et d'apporter un complément d'informations (étude des apports des oueds ainsi que leurs effluents, courantologie et identification plus précise de l'origine et de la source des polluants).

D'après l'ensemble des données recueillies, l'analyse en composante principale (ACP) montre d'une part, qu'il y'a des ressemblances certaines entre les métaux traces représentés sous forme de nuage de point, cela signifie que certains ETM évoluent dans le même sens et peuvent avoir la même origine. D'autre part, il y'a des dispersions entre les métaux traces et cela signifie que ces derniers proviendraient probablement des sources différentes.

Ainsi, l'ACP montre qu'il y'a certains métaux traces sont biens représentés et d'autres sont mal représentés.

Il est important de noter que l'application de l'ACP par le logiciel **Statistica** dans ce domaine là est très utile et très efficace mais les difficultés se trouvent lors de l'interprétation des résultats qui demande beaucoup du temps.

[Bibliographie]

Références bibliographiques :

A.B.R.M.C., 1988. Qualité du fleuve Rhône, synthèse des connaissances. *Ministère de l'environnement*, 251p + annexes.

A.I.E.A., 1998. Programme préliminaire pour MED POL sur l'analyse des métaux traces dans les échantillons biologiques et les sédiments. IAEA-MEL, *Laboratoire sur l'Etude de l'Environnement Marin, Monaco*, 53p.

A.I.E.A., 2001. Training workshop on the analysis of trace metals in biological and sediment samples; *Laboratory Procedure Book*, 45p.

Addouche, I., 2002. L'étude de l'état de pollution de la baie de Bou-Ismaïl par les sels nutritifs et les métaux lourds en Juillet 2002. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer., Option : chimie et Pollution marine, Ismal.*

Andral, B., 2001. Les guides méthodologiques du RLM. Evaluation de la contamination chimique et radiologique du sédiment, *Ifremer, Édition 2001.*

Aouameur, D., 1990. La contribution à l'étude de certains métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer., Option : Pollution, Ismal.*

Aouidad, Z., 1996. La contribution à l'étude de la pollution par les métaux lourds dans les sédiments superficiels et les particules en suspension dans la baie de Bou-Ismaïl. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer., Option : chimie et Pollution marine, Ismal.*

Bachouche, S., 2010. Les ports d'Alger et de Bouharoun : Etude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage. *Mémoire de Magister en Sciences de la Mer, Option: Pollution marine et écotoxicologie, ENSSMAL.*

Bellahsene, Y., et Messaoudi, S., 2005. L'étude bathymétrique, sédimentologique et pollution par les métaux lourds (Zn, Pb, Hg) de la baie d'El Djamila. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer., Option : Aménagement de littoral, ENSSMAL.*

Benamirouche S. et Bacha F., 2000. Contribution à l'étude de la pollution dans la baie de Bou-Ismaïl par les métaux lourds (Cu, Zn, Mn, Pb, Cd et Hg). *Mém. D.E.U.A.*

Benoud et Mallem, 1991. La contribution à l'étude du comportement de quelques métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger. *Mémoire de technicien supérieur en biologie des pêches. Option : Pollution et chimie marine, Ismal.*

Billon, G., Magnier, A., Lourino-Cabana, B., Baeyens, W., Fischer, J.C., et Ouddane, B., 2010. Mise en place d'un suivi en continu d'éléments traces métalliques dans la colonne d'eau du canal de la Deûle. *Université de Lille 1*, 1-36p.

Billon, G., Magnier, A., Lourino-Cabana, B., Baeyens, W., Fischer, J.C. et Ouddane, B., 2009. Suivi en continu d'éléments traces métalliques dans le canal de la Deûle. Rapport d'étude. *Agence de l'Eau Artois-Picardie et Université des Sciences et Technologies de Lille 1, UMR Géosystèmes, CNRS*, 33p.

Boudjellal, Y., Frehat, N., Djillali, M., Azzouz, M., 1995. Heavy metals the superficial sediments of Bouismail bay. Laboratory of chemistry and marine pollution, *ISMAL. Rapp. Com. Int. Mer. Méd.* 34, 134p.

Boudjellal, Y., Sellali, B., Benoud, D. et Mallem, M.T., 1993. Métaux lourds dans le sédiment superficiel de la baie d'Algerin Chouikhi, A., et al. (Eds) : circulation des eaux et pollution des côtes méditerranéennes du Maghreb. *INOC, Izmir*, p 153-156.

Boulaïdid, M., Khatib., Rezzoug, S., Azzouz, M. et Boudjellal, Y., 1992. Les métaux lourds dans les sédiments des côtes occidentales d'Algérie. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, pp.33-197.

Chouikhi, A., Izdar E., Menioui M., 1993. Circulation des eaux et pollution des côtes méditerranéennes des pays du Maghreb. *INOC, Izmir, Turquie*, p153-156. Contrat ISMAL-APPL, 36p.

Devallois, V., 2009. Transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydro systèmes continentaux. *Thèse de doctorat Université de Provence*, 10-237p+annexes.

Djerad, C., 2010. L'évaluation de l'état de pollution par les sels nutritifs et les métaux lourds dans l'eau et les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer., Option : Environnement, ENSSMAL*.

Dubois, V., 2006. Etude du comportement physico-mécanique et caractérisation environnementale des sédiments marins – Valorisation en technique routière. *Thèse de doctorat Université d'Artois*, 6p.

Erdoğan, M., 2009. Monitoring and statistical assessment of heavy metal pollution in sediments along izmir bay using ICP-MS. *Thèse de doctorat en chimie Ecole des sciences et de la génie de Izmir, Turquie*, 9p.

Gabelle, C., 2006. Etude de la contamination des sédiments par les métaux dans les canaux et rivières du nord de la France. *Thèse de Doctorat, Université des Sciences Et Technologies de Lille*, 8p.

Geffard, O., 2001. Toxicité potentielle des sédiments marins et estuariens contaminés : évaluation chimique et biologique, biodisponibilité des contaminants étudiés. *Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I, France, 9-26p.*

Ifremer., 2002., Evaluation de la contamination chimique basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules. *Guide méthodologique réseau intégrateurs biologique Édition 2002.*

Ifremer., 2005. Réseau Benthique, *suivi stationnel des sables sublittoraux, Édition 2005.*

Inal, A., 2011. Les métaux traces dans les sédiments de la baie de Bou-Ismaïl. Surveillance de la pollution et étude des processus géochimiques. *Mémoire de Magister en Sciences de la Mer, Option: Gestion et Surveillance de l'Environnement Marin et Littoral, ENSSMAL, 44-56p. ISMAL, 51p.*

Khiari, N., 1999. Khiari N., 1999 - Contribution à l'étude de la pollution par quelques métaux lourds (Zn, Cu, Mn, Fe et Hg) dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger. *Mém. Ingén. ISMAL, 64 p + annexes.*

Lahmar, N., 2010. Etude du comportement des métaux lourds Pb, Zn, Cu et Cd en surface d'une matrice de type sédiment. *Mémoire de Magister en Sciences de la Mer, Option: Pollution marine et écotoxicologie, ENSSMAL, 15-21p.*

Leclaire, L., 1972. La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares. *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, nouvelle série, C, Sciences de la terre. Tome XXIV, fascicule unique, 29p.*

Lesven, L., 2008. Devenir des éléments traces métalliques au sein du sédiment, un compartiment clé de l'environnement aquatique. *Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, France, 23-29p.*

Madi, F., 2009. Apport du système d'information géographique (SIG) pour la modélisation de la couleur des eaux marines. (Cas : la baie d'Alger). *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer., Option : Environnement, ENSSMAL*

Maouche, S., 1987. Mécanisme hydro sédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologiste, géochimique et traitement statistiques. *Thèse de Doctorat en Océanologie, Université de Perpignan, 214p.*

Maouche, S., 1987. Mécanismes hydro sédimentaires en baie d'Alger (Algérie): Approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique. *Thèse de 3ème cycle.*

Matmed, A., 2004. Contribution à l'étude de métaux lourds et du carbone dans le sédiment profond au large d'Alger et de Jijel. *Mémoire de Magister en Environnement Littoral et Ressources Vivantes. Université Badji-Mokhtar-Annaba.120p.*

Meguellati, A. et Sraoui, A., 2012. Les métaux traces dans le sédiment et les biotes du milieu marin dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer., Option : Environnement, ENSSMAL.*

Mennad, M., 2008. Approche des systèmes d'information géographique(SIG) pour l'analyse spatio-temporelle de la pollution marine des eaux côtières. Application à la baie d'Alger. *Mémoire de magister en océanographie biologique et environnement marin, U.S.T.H.B.110p.* Océanologie. Univ. Perpignan, 225p + annexes.

Programme d'Aménagement Côtier Algérois (PAC), 2005. Protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djinet au Mont Chenoa. Impacts des activités anthropiques, *Projet PAC/MATE-PAM/CAR ASP, 62p.*

Refes N., Azzouz M. et Boudjellal B., 1999. Etude diagnostique du milieu littoral Est de la baie d'Alger : détermination des causes de l'altération et identification des contaminants.

Rezzoug, S., 2000. Contribution à l'étude de la contamination par les métaux lourds dans la matière en suspension et le sédiment marin superficiel des golfes de Béjaïa et de Skikda. *Mémoire de Magister en Sciences de la Mer, Option : pollution marine, ISMAL, 33-65p.*

Rouibah, M., Boulahdid, M., Boudejellal, B., Eddalia, N., Ounadi, F., 2005. Etude de la pollution du littoral Algérois et du lac de Reghaïa. *Contrat Ismal-Appl.*

Sellali B., Benchikh S., Ounadi F., Khiari N., Eddalia N., Sellali-Merabtine H., Taguine, k., 1988. Contribution à l'étude de la pollution par quatre métaux lourds dans trois zones dans littoral Algérien : Alger, Arzew et Skikda. *Mém. T.S., Ismal.*

Taieb errahmani, D., 2009. Etude de la pollution et de la géochimie par les métaux traces et les radioéléments dans les sédiments de la baie d'Alger. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer., Option : Environnement, ENSSMAL.*

Tidjani –athmani, H., 2007. Géochimie et pollution par les métaux lourds dans les sédiments profonds de la Mer Méditerranée. *Mémoire de Magister en Sciences de la Mer, Option: en environnement et écosystèmes littoraux, ISMAL, 21-41p.*

Zegar, S., 2000. La comparaison des profils des métaux lourds entre deux carottes de sédiment prélevées à Alger et Jijel. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer., Option : chimie et Pollution marine, Ismal.*