

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR EN SCIENCE DE LA MER

OPTION : Environnement

Thème :

**Etude des métaux traces dans les sédiments à l'embouchure
d'oued MAZAFRAN**

Présenté par :

-BRAHIMI Asma Sobh

-OUEDDANE Oumelkheir

Soutenu le 15/07/2018 devant le jury suivant :

Mlle. KERAGHEL M.	Maitre-assistant B	Présidente
Mr. BANHALIMA M.	Magister (Doctorant ENSSMAL)	Promoteur
Mr. BOULAHIDID M.	Professeur (ENSSMAL)	Co-promoteur
Mr. AROUA M.	Doctorant (ENSSMAL)	Examineur
Mr. ZEROUKI M.	Maitre-assistant B	Examineur

Remerciements

Nous remercions ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous voudrions tout d'abord adresser toute notre gratitude et nos sincères remerciements à notre promoteur, Mr Benhalima Moustafa., pour son encadrement et l'intérêt qu'il a porté à notre travail, avec sa disponibilité, son savoir-faire, ses judicieux conseils qui ont contribué à alimenter notre réflexion. Aussi, nous tenons à remercier notre Co-promoteur Mr Boulahdid pour sa patience, sa prévenance et ses conseils avisés.

Nos vifs remerciements vont vers Mme Keraghelle pour nous avoir fait l'honneur de présider notre jury.

Encore, nos remerciements vont vers Mr Aroua et Mr Zerrouki pour avoir accepté de juger et examiner ce travail.

Nous exprimons notre reconnaissance ainsi nos remerciements vers Mme OUNADI et Mr BOUDJELLAL.les ingénieurs de laboratoire de SIDI-Fredj pour leurs aides précieux, leurs conseils et leurs disponibilités.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A ma chère sœur ISHOU pour son encouragement permanent, et son soutien moral,

A mes chers frères, OUSSAMA et NOUNOU, pour leur appui et leur encouragement,

A mon fiancé MOHAMED pour son soutien tout au long de mon parcours universitaire,

A toute ma famille

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Asma Sobh

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et
Source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour
Me voir réussir, j'aurais aimé qu'il soit parmi nous, que dieu te garde dans son
vaste paradis, à toi*

Mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de

*Mon cœur, ma vie et mon bonheur ; **maman** que j'adore.*

Aux personnes dont j'ai bien aimé leur présence dans ce jour, à

*Mon frère et mes sœurs, **HAMOUDA, YASSMINE, SARAH,***

*À Ma chère amie **CHAHRA**, je dédie ce*

Travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour

Leurs conseils, aides, et encouragements.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient

Toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon

Chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude.

Oum El-kheir

Listes des figures

Figure 1 : Présentation du cycle géologique pouvant expliquer l'origine des sédiments (Haddou, 2017).....	17
Figure 2 : Chronologie des phénomènes diagénétiques (Bouziane, 2015).....	20
Figure 3 : Le phénomène de compaction sédimentaire (http://regentsearth.com/ , 2018). ..	21
Figure 4 : Schéma représentant les processus de la minéralisation de la Matière Organique (MONGENOT, 2001).....	22
Figure 5 :Comportement du fer et de manganèse dans la zone sédimentaire des cours d'eau (Devallois, 2009). ..	23
Figure 6 : Classification périodique des éléments métalliques (Belabed, 2010).....	26
Figure 7 : Schéma des différents transferts dans les milieux aquatiques et les processus régissant leurs échanges à l'interface eau-sédiment (Devallois, 2009). ..	28
Figure 8 : Domaine de potentiel d'oxydoréduction (Qasim, 2015).....	32
Figure 9 : Localisation de la baie de Bou-Ismail	38
Figure 10 : Le bassin versant d'oued mazafran	39
Figure 11 : Morphologie côtière de la baie de Bou-Ismail (Grimes, 2004). ..	40
Figure 12 : Débit maximal d'oued mazafran (1980-2004) (ANNEXE II-1).....	40
Figure 13 : Débit minimal d'oued mazafran (1980-2004) (ANNEXEII-3).....	41
Figure 14 : Débit moyen d'oued mazafran (1980-2004) (ANNEXE II-2).....	41
Figure 15 :Sédimentologie de la baie de Bou-Ismail (L.E.M, 1998 in Rabehi, et al., 2011). ..	42
Figure 16 : Topographie de la baie de Bou-Ismail (Leclaire, 1972). ..	43
Figure 17 : Histogramme des moyennes mensuelles des précipitations maximales de la baie de Bou-Ismail (1972-2004) selon les données de l'ANRH.	44
Figure 18 :Positionnement des stations de prélèvement dans la baie de Bou-Ismail.....	49
Figure 19 : Droites d'étalonnage des métaux traces analysés.	61
Figure 20 : Relation entre l'indice de classement et la médiane.	65
Figure 21 : Relation entre l'indice d'asymétrie et la médiane.....	66
Figure 22 : Refus cumulée de toutes les stations étudiées.....	66
Figure 23 : Taux de pélites dans les stations étudiées	67
Figure 24 : Taux de la matière organique dans les stations étudiées.....	68
Figure 25 : La répartition du zinc dans les sédiments superficiels dans la baie de Bou-Ismail.	69
Figure 26 : Histogramme présentant la concentration du zinc dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismail.....	69
Figure 27 : La répartition du fer dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismail.	70
Figure 28 : Histogramme présentant la concentration du fer dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismail.....	70
Figure 29 : Répartition du manganèse dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismail.	71
Figure 30 : Histogramme présentant la concentration du manganèse dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismail.....	72

Figure 31 : Répartition du cuivre dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismail.	73
Figure 32 : Histogramme présentant la concentration du cuivre dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismail.....	73
Figure 33 : Corrélation entre la médiane et la matière organique.	75
Figure 34 : Corrélations métaux traces-fraction pélitique dans les sédiments de la baie Bou-Ismail.	76
Figure 35 : Corrélation entre la matière organique et la fraction pélitique.	77
Figure 36 :Corrélation entre les métaux traces et la matière organique.	77
Figure 37 : Corrélations positives inter-éléments dans les sédiments de la baie de Bou-Ismail.	78
Figure 38 : Variations des concentrations en métaux traces dans les sédiments superficiels de la baie.....	79
Figure 39 : Localisation géographique des sites d'échantillonnage dans le delta d'oued Majerda. (Helali, et al., 2009).....	80
Figure 40 : Positionnement des stations de prélèvement par benne preneuse et par carottier dans la baie d'Alger. (Taieb Errahmani, 2009).	81

Liste des tableaux

Tableau 1 : Sources et utilisation du zinc	34
Tableau 2 : Sources et utilisation du fer.	35
Tableau 3 : Sources et utilisation du manganèse.....	35
Tableau 4 : Sources et utilisation du cuivre	36
Tableau 5 : Les températures mensuelles moyennes de la baie de Bou-Ismaïl durant la période 1976 – 2005 (O.N.M, 2007).	44
Tableau 6 : Les activités polluantes dans la baie de Bou-Ismaïl (Inal, 2011 <i>in</i> O.N.M, 2007).....	46
Tableau 7 :Classifications granulométriques des grains constituant la matrice solide des sédiments (Clement, et al., 1998).	54
Tableau 8 : Condition d'analyse par flamme.	58
Tableau 9 : Concentrations normales des métaux lourds dans les sédiments selon les normes algériennes, françaises et hollandaises ($\mu\text{g/gde MS}$) (Alzieu,1999 ;DGE)	62
Tableau 10 : Valeurs des différents indices granulométriques et des quartiles (Q25, Q50, Q75) au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.	64
Tableau 11 : Résultat des indices de contaminations métalliques dans le sédiment superficiel.	74
Tableau 12 : Corrélations métaux traces-médiane dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.	74
Tableau 13 : Comparaison des teneurs en métaux avec celles des autres études.....	79

Liste des acronymes

A.I.E.A : Agence International de l'Energie Atomique.

C.E.C : Capacité d'Echange Cationique

C.N.R.D.P.A : Centre National de Recherche et de Développement de Pêche et d'Aquaculture.

D.E : Direction de l'Environnement.

E.T.M : Eléments Traces Métalliques.

M.O : Matière Organique.

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

Sommaire

Introduction

1	Chapitre I : généralités	17
1.1	Les sédiments marins	17
1.1.1	Définition.....	17
1.1.2	Origine	17
1.1.3	Caractéristiques	18
1.1.3.1	Granulométrie.....	18
1.1.3.2	Composition	18
1.1.3.2.1	Phase inorganique	18
1.1.3.2.2	Phase organique.....	18
1.1.3.2.3	Eau interstitielle.....	19
1.1.4	La diagenèse sédimentaire.....	19
1.1.4.1	La diagenèse précoce	20
1.1.4.1.1	La compaction	20
1.1.4.1.2	Minéralisation de la matière organique(MO).....	21
1.1.4.1.3	Les transformations chimiques des phases minérales.....	24
1.1.4.2	La diagenèse tardive.....	25
1.2	Aperçu général sur les métaux traces (ETM)	25
1.2.1	Définition et classification des ETM.....	25
1.2.2	Origine des métaux	26
1.2.2.1	Origine naturelle.....	26
1.2.2.2	Origine anthropique.....	27
1.2.3	Comportement et devenir des ETM dans l'environnement marin	27
1.2.3.1	Phases porteuses des ETM	28
1.2.3.1.1	Les argiles	28
1.2.3.1.2	Les carbonatations.....	29
1.2.3.1.3	Les oxy-hydroxydes de fer et manganèse	29
1.2.3.1.4	Les sulfures	29
1.2.3.1.5	La matière organique.....	29
1.2.3.2	La spéciation des ETM.....	29
1.2.3.3	La mobilité des ETM dans les sédiments.....	30
1.2.3.4	Les facteurs influençant la mobilité et la spéciation des ETM	30

1.2.3.4.1	Le pH.....	30
1.2.3.4.2	Variations du potentiel d'oxydoréduction (ΔE).....	31
1.2.3.4.3	Influence des agents complexant et de la salinité.....	32
1.2.3.4.4	La température.....	33
1.2.3.4.5	Influence de l'oxygène dissous.....	33
1.2.3.4.6	Rôle de la granulométrie.....	33
1.2.3.4.7	La remise en suspension.....	33
1.2.3.5	Biodisponibilité et toxicité des ETM.....	33
1.2.3.6	Les métaux traces étudiés.....	34
1.2.3.6.1	Zinc.....	34
1.2.3.6.2	Fer.....	35
1.2.3.6.3	Manganèse.....	35
1.2.3.6.4	Cuivre.....	36
2	Chapitre II : zone d'étude.....	38
2.1	Baie de Bou-Ismaïl.....	38
2.1.1	Description géographique et présentation du site.....	38
2.1.2	Morphologie côtière.....	39
2.1.2.1	Les falaises.....	39
2.1.2.2	Les côtes rocheuses.....	39
2.1.2.3	Les plages.....	39
2.1.2.4	Les dunes.....	40
2.1.3	Le débit de bassin versant d'oued Mazafran.....	40
2.1.4	Sédimentologie.....	41
2.1.5	Bathymétrie.....	42
2.1.6	Climatologie.....	43
2.1.6.1	La température.....	43
2.1.6.2	La pluviométrie.....	44
2.1.6.3	Les vents.....	45
2.1.7	L'hydrodynamique marine.....	45
2.1.7.1	Les courants généraux.....	45
2.1.7.2	Les courants côtiers.....	45
2.1.7.2.1	Les courants d'entrainements.....	46
2.1.7.2.2	Le courant de retour.....	46

2.1.7.3	Plans de houle.....	46
2.1.7.3.1	Les houles hivernales	46
2.1.7.3.2	Les houles estivales	46
2.1.8	Les sources de pollution	46
3	Chapitre III : matériels et méthodes	49
3.1	Travaux effectués en mer.....	49
3.1.1	Choix et localisation du site	49
3.1.2	Matériel utilisé.....	50
3.1.3	Prélèvement des sédiments superficiels	50
3.1.4	Conservation des échantillons	50
3.2	Travaux effectués au laboratoire.....	51
3.2.1	Le taux de la matière organique dans le sédiment.....	51
3.2.1.1	Matériel utilisé.....	51
3.2.1.2	Mode opératoire	51
3.2.1.3	Calcul du taux d'humidité et du taux de la matière organique :	52
3.2.2	Analyses granulométriques.....	52
3.2.2.1	Principe de la méthode	52
3.2.2.2	Matériel utilisé.....	52
3.2.2.3	Mode opératoire	52
3.2.2.3.1	Traitements des données	53
3.2.3	Métaux lourds.....	55
3.2.3.1	Nettoyage des instruments	55
3.2.3.2	Traitements des sédiments	55
3.2.3.2.1	Lyophilisation.....	55
3.2.3.2.2	Broyage	55
3.2.3.2.3	Homogénéisation.....	56
3.2.3.3	Minéralisation (digestion) pour l'extraction des métaux traces	56
3.2.3.3.1	Principe de la minéralisation	56
3.2.3.3.2	Protocole expérimental.....	56
3.2.3.4	Analyse des métaux traces	57
3.2.3.4.1	La spectrométrie d'adsorption atomique (SAA).....	57
3.2.3.4.2	Calcul des concentrations des métaux : (Azemard, 1997)	61
3.2.3.4.3	Indice de contamination	62

4	Chapitre IV : résultats et discussion.....	64
4.1	Analyse granulométrique	64
4.1.1	Résultats de l'analyse granulométrique	64
4.1.2	Interprétation des résultats de l'analyse granulométrique	64
4.1.3	La fraction pélitique.....	67
4.2	Matière organique	67
4.3	Métaux traces	68
4.3.1	Le zinc	68
4.3.2	Le fer.....	69
4.3.3	Le manganèse	71
4.3.4	Le cuivre	72
4.3.5	Calcul de l'Indice de Contamination	73
4.4	Applications statistiques	74
4.4.1	Corrélations métaux traces-médiane dans les sédiments superficiels	74
4.4.2	Corrélation médiane-MO.....	74
4.4.3	Corrélation métaux traces-fraction pélitique	75
4.4.4	Corrélation MO-fraction pélitique.....	76
4.4.5	Corrélation métaux traces-MO	77
4.4.6	Corrélation inter-métaux traces	78
4.5	Comparaison des teneurs en métaux avec celles d'études antérieures	79
	Bibliographie.....	85

Introduction

Introduction

Introduction

Mer semi fermée, la mer méditerranée est sensible aux influences continentales par les apports chroniques et les crues saisonnières. Ces derniers sont le plus souvent riches en contaminants chimiques, notamment près des unités urbaines et industrielles. L'ampleur et la composition chimique de ces apports ne cesse d'évoluer surtout avec les changements globaux qui s'accroissent. Cette influence se manifeste par l'impact de ces apports sur l'écosystème marin côtier.

Les particules en suspension, lors de leur sédimentation sur le fond, entraînent les métaux traces présents dans le milieu aqueux par adsorption, complexation, précipitation, corécipitation... etc. L'Analyse des sédiments ainsi déposés permet donc de connaître l'état de pollution d'un site et de constituer un élément essentiel pour les programmes de surveillance, notamment, ceux qui concernent les immersions en mer de déchets solides (Tidjani-Athmani, 2008).

L'objectif de cette étude est la quantification de la pollution engendrée par l'oued Mazafran qui débouche dans la baie de Bou-Ismaïl et la détermination du niveau de contamination par les éléments traces métalliques (Cu, Zn, Mn, Fe) dans les sédiments superficiels afin de voir et d'évaluer l'état de la pollution et la distribution spatiale de ces éléments en face d'oued Mazafran.

Nous avons concentré sur oued Mazafran parce qu'il est le plus important oued dans la baie de Bou-Ismaïl par ce qui l'amène des polluants naturels et anthropiques ainsi leur débit durant toute l'année.

Notre travail est rassemblé dans les chapitres suivants :

Une synthèse bibliographique détaillée sur les métaux traces et ses propriétés, les sédiments marins avec ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, les mécanismes qui gouvernent la dynamique des polluants dans ce compartiment, cette synthèse fait l'objet du premier chapitre. Le second chapitre présente et décrit la zone d'étude (baie de Bou-Ismaïl). Le troisième chapitre -matériel et méthodes- décrit les travaux de conditionnement et d'analyse des échantillons effectués aux laboratoires, suivi par le quatrième chapitre consacré à la présentation des résultats obtenus, leur analyse et leur discussion. Enfin, une conclusion générale clôture ce mémoire.

Généralités

1 Chapitre I : généralités

1.1 Les sédiments marins

1.1.1 Définition

Les sédiments sont définis selon le dictionnaire de géologie et de géomorphologie, comme un ensemble de particules de tailles différentes et d'origines différentes (détritique, physico-chimique, biologique), ayant séparément subi un certain transport. Après le dépôt, le sédiment subit une diagenèse et devient une roche sédimentaire (Elkbir, 1998).

Le sédiment est défini comme un ensemble de particules minérales et de particules d'origine organique qui se déposent dans un bassin de sédimentation (Bernard, 1999).

1.1.2 Origine

Il y a plusieurs origines possibles. Les constituants du sédiment sont : soit des particules clastiques terrigènes dérivant des phénomènes d'altération et d'érosion sur le continent, soit des précipités chimiques et biochimiques à partir des solutés en milieu marin ou lacustre et en moindre importance des produits des émissions volcaniques et hydrothermales et enfin plus rare encore, la pluie de matériel extraterrestre (Bernard, 1999).

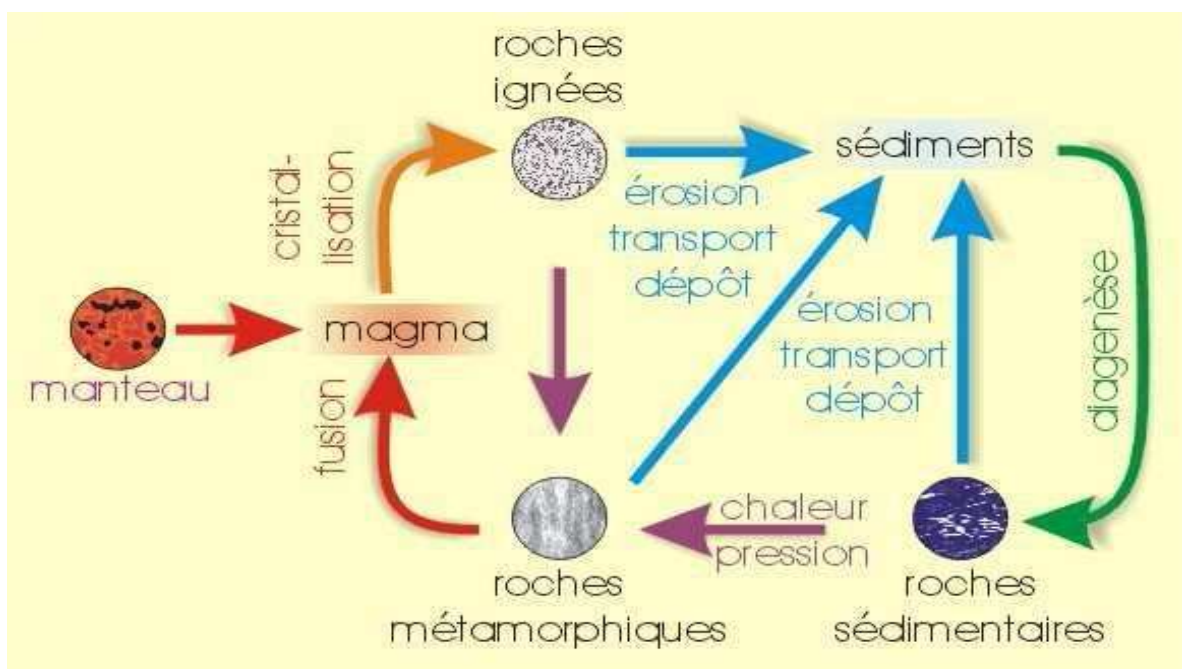


Figure 1 : Présentation du cycle géologique pouvant expliquer l'origine des sédiments (Haddou, 2017).

1.1.3 Caractéristiques

Les sédiments sont caractérisés par leur granulométrie et leur composition :

1.1.3.1 Granulométrie

L'analyse de la taille des particules ou la granulométrie fait appel à une répartition de grandes catégories de tailles (Chamley, et al., 2000).

- Les sédiments grossiers qui ont un diamètre supérieur à 63 μ m, cette fraction grossière est constituée principalement de sable et de matériel inorganique silicatée, on distingue les graviers (diamètre supérieure à 2mm) et les sables (diamètre compris entre 63 μ m et 2mm).
- Les sédiments fins qui ont une taille inférieure à 63 μ m sont constitués de minéraux argileux ayant un diamètre compris entre 0,2 et 2 μ m et de silt ayant un diamètre compris entre 2 μ m et 63 μ m. cette fraction fine peut également contenir de la matière organique (Bellair, et al., 1977 in Inal, 2011).

1.1.3.2 Composition

1.1.3.2.1 Phase inorganique

Les particules inorganiques sont formées de minéraux provenant de l'écorce terrestre et de débris coquillés (Inal, 2011), Les principales particules inorganiques sont (Devallois, 2009) :

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

1.1.3.2.2 Phase organique

La matière organique (protéines, lipides, sucres, acide humiques et fulviques) occupe dans le sédiment un faible volume.

La fraction organique comprend deux catégories :

- Les substances non humiques : agents pathogènes, acide organique, acides aminés, protéines, glucides.
- Les substances humiques qui constituent une famille de macromolécules organiques d'origine naturelle, elles peuvent constituer entre 85 et 90% de la fraction organique totale (Diop, 2014) .

1.1.3.2.3 Eau interstitielle

Elle correspond à l'eau qui occupe l'espace entre les particules sédimentaires (Forstner, 1987 in Inal, 2011). Elle représente entre 20 et 90% du volume des sédiments de surface mais ces pourcentages diminuent généralement avec la profondeur suite à la compaction des particules sédimentaires (Lesven, 2008) .

1.1.4 La diagenèse sédimentaire

Après le dépôt dans un milieu aquatique, le sédiment va être affecté par des processus physico-chimiques et biochimiques pour devenir une roche sédimentaire consolidée.

Il existe deux types de transformations :

- Transformations chimiques qui regroupent la précipitation, dissolution de minéraux et la maturation de la matière organique ;
- Transformation physique : c'est la compaction de sédiments, qui provoque l'évacuation de l'eau interstitielle (Berner, 1980 in Inal, 2011).

Ces transformations diagénitiques sont influencées par plusieurs facteurs :

- Les facteurs biologiques et microbiologiques qui sont dus à l'activité des organismes benthiques (bactérie, algue, crabes....) qui mènent à une perturbation de la couche superficielle du sédiment ; ces organismes ont un rôle soit catalyseur qui favorise la diagenèse soit inhibiteur qui bloque la diagenèse ;
- Les facteurs physiques : ce sont la pression et la température qui augmentent parallèlement lors de l'enfouissement. On distingue une pression lithostatique entre les grains (2 à 3 bar pour 10 m d'enfouissement) et une pression hydrostatique de l'eau qui circule entre les grains (1 bar à 10 mètres de profondeur).Le gradient de température est quand-à lui d'environ de 30 c° /km ;

- Les facteurs chimiques selon la composition originelle du sédiment (siliceux, argileux, carbonaté, évaporitique), selon la nature des eaux initiales et leur pH.

Dans la diagenèse, on distingue souvent la diagenèse précoce aussi appelée éogénèse et la diagenèse tardive (Chamley, et al., 2011).

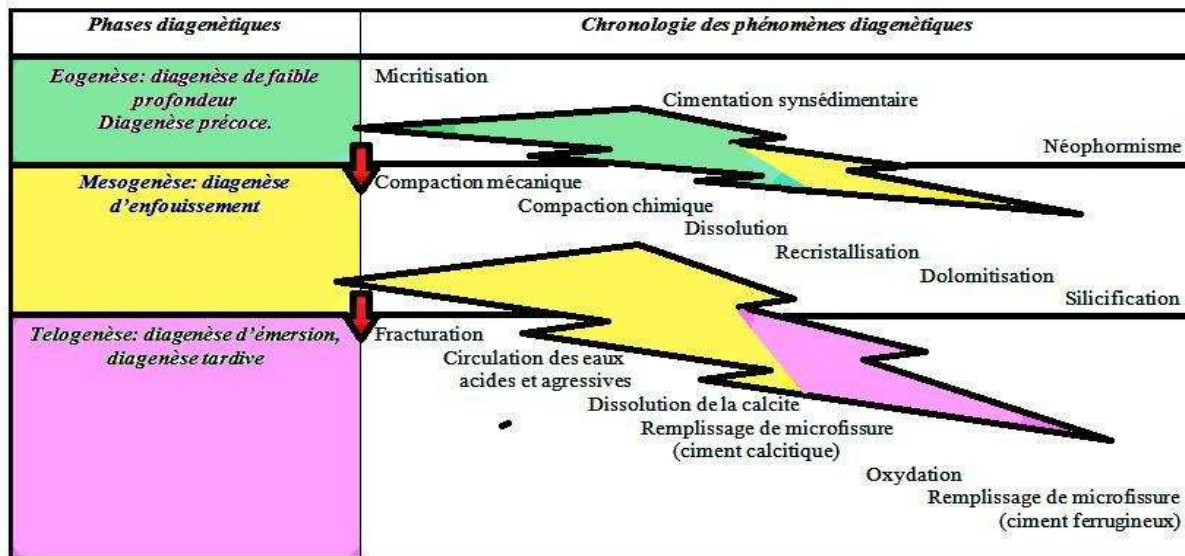


Figure 2: Chronologie des phénomènes diagenétiques (Bouziane, 2015).

1.1.4.1 La diagenèse précoce

La diagenèse précoce est la diagenèse synsédimentaire qui regroupe l'ensemble des transformations s'effectuant en surfaces dans le milieu sédimentaire au cours des premières étapes de l'enfouissement jusqu'à une centaine de mètres de profondeur à l'échelle de quelques dizaines d'années.

La matière dans les couches superficielles est affectée par plusieurs réactions diagenétiques qui sont contrôlées par plusieurs processus biologiques (minéralisation de la matière organique par l'activité bactérienne), physique (diffusion, bioturbation) et chimique (précipitation, dissolution, complexation, redox) (Tessier, 2012).

Cette diagenèse précoce regroupe des mécanismes biogéochimiques (minéralisation de la matière organique) et physiques (tassement et consolidation) (Inal, 2011).

1.1.4.1.1 La compaction

La compaction correspond au tassement d'une couche sédimentaire sous l'action du poids des sédiments sus-jacents, elle comprend une première phase quand les mécanismes physiques

dominant (compaction mécanique) conduisant au réarrangement des particules. Lorsque ces réarrangements simples sont épuisés, on observe la déformation et la fragmentation des particules, puis le développement des transformations chimiques qui sont la dissolution et la précipitation (compaction chimique).

Ce développement dépend de la granulométrie des sédiments et la composition chimique des particules (Conan, et al, 2003).

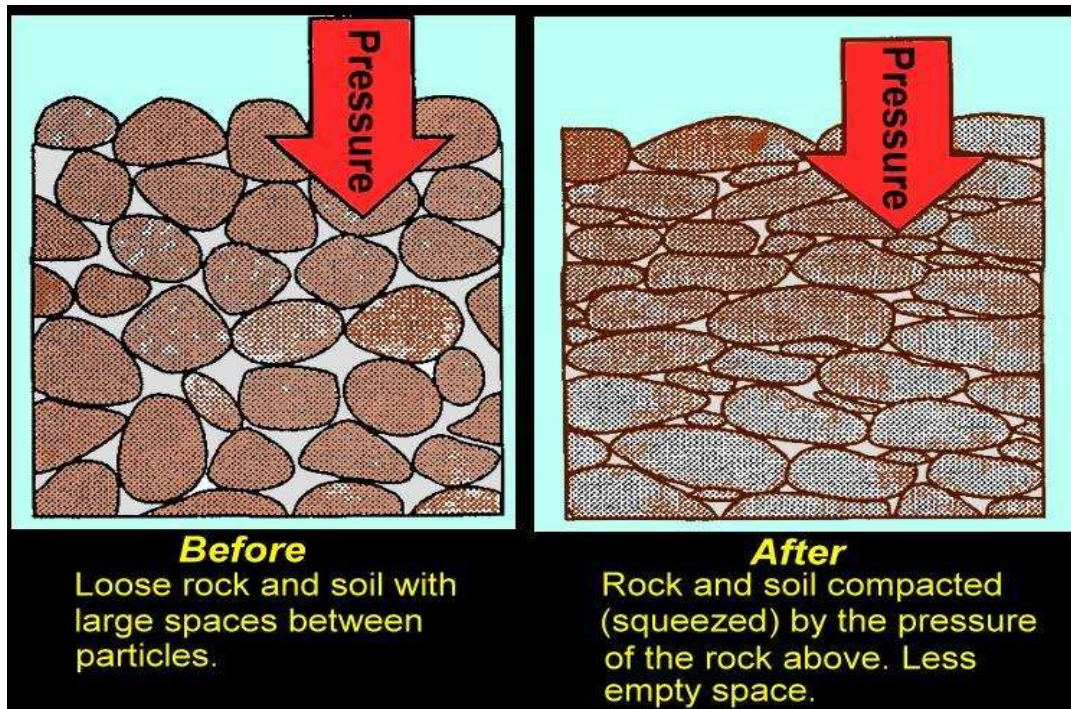


Figure 3: Le phénomène de compaction sédimentaire (<http://regentsearth.com/>, 2018).

1.1.4.1.2 Minéralisation de la matière organique(MO)

La dégradation de la MO est le mécanisme principal de la diagenèse précoce, elle est associée aux particules qui sédimentent et catalysée majoritairement par des réactions enzymatiques provoquées par les microorganismes benthiques hétérotrophes, qui vont utiliser la MO comme source d'énergie et de carbone.

Ces réactions de dégradation sont des réactions redox qui conduisent à l'oxydation de la MO particulaire en dioxyde de carbone (Tessier, 2012) .

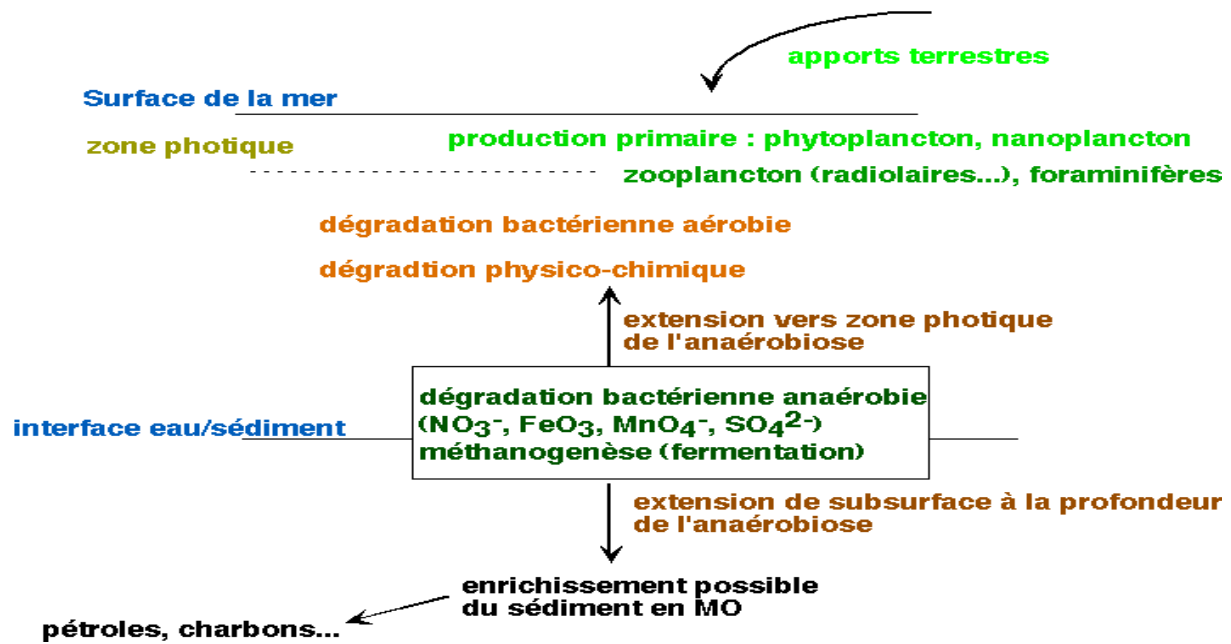
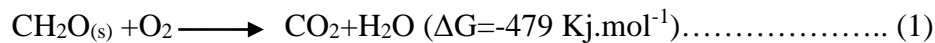


Figure 4 : Schéma représentant les processus de la minéralisation de la Matière Organique (MONGENOT, 2001).

1.1.4.1.2.1 Respiration aérobie

Pendant la respiration aérobie des organismes et microorganismes benthiques, le premier oxydant consommé dans l'interface eau-sédiment est l'oxygène dissous, sa consommation est la première étape de la dégradation de la MO selon la réaction suivante :



La quantité de la MO présente influe sur la profondeur de la pénétration de l'oxygène dans le sédiment, et dans les premiers millimètres sous l'interface eau-sédiment, l'oxygène dissous sera très rapidement consommé. Il faut également connaître qu'il y a d'autres réactions biologiquement catalysées auxquelles il participe : par exemple, l'oxydation des espèces inorganiques réduites (NH₄⁺, Mn²⁺, Fe²⁺, H₂S et CH₄) (Santschi, et al, 1990).

1.1.4.1.2.2 Dénitrification

La dénitrification s'opère sous l'action des bactéries dénitrifiantes ou les teneurs en oxygène dissous deviennent très faibles, dans ce cas les nitrates jouent le rôle des accepteurs d'électrons pour la dégradation de la MO (Tessier, 2012).

C'est la réduction de NO₃⁻ en N_{2(g)} par la réaction suivante :



L'azote gazeux (N₂) ne peut pas être oxydé en NO₃⁻ par des processus biologiques, il doit passer par la fixation de l'azote et ensuite la nitrification (Laura, et al., 2006).

Il y a des paramètres très variables qui influent sur la dénitrification tel que : pH, O₂, C et NO₃⁻ dans les sédiments, ainsi dans les eaux interstitielles, le comportement de l'azote dissous ainsi que son rôle dans le cycle des nutriments est réellement méconnu (Marchan, 2003).

1.1.4.1.2.3 Réduction des hydroxydes de Mn et Fe

Les hydroxydes de fer et de Mn qui sont instables en milieu réducteur peuvent également jouer le rôle d'accepteurs d'électrons ce qui conduit à la formation des ions de Mn⁺² et Fe⁺², ces ions diffusent vers le liquide interstitiel et précipitent à l'interface eau-sédiment car les eaux de fond sont riches en O₂, et cela peut provoquer la formation des nodules de MnO₂ dans les zones de très faible sédimentation (Mathieu, et al., 2011). On note aussi que les oxydes de fer jouent un rôle plus actif que les oxydes de manganèse en fonction de leur abondance dans le sédiment (Inal, 2011).

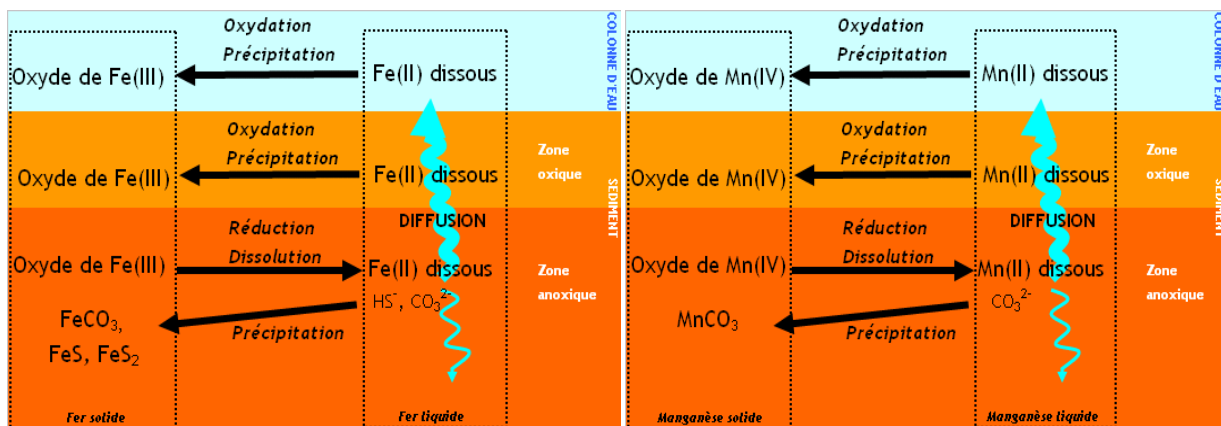
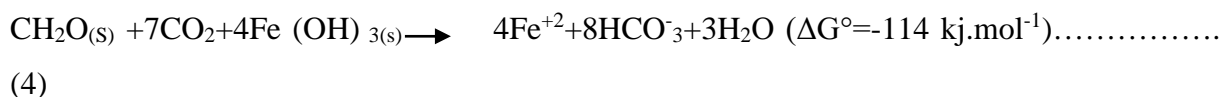
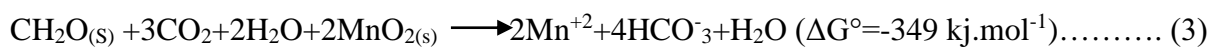


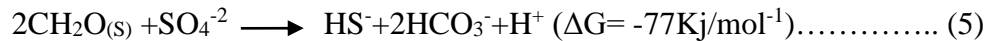
Figure 5: Comportement du fer et de manganèse dans la zone sédimentaire des cours d'eau (Devallois, 2009).

1.1.4.1.2.4 Réduction des sulfates

Les sulfates dissous sont utilisés pour dégrader la matière organique en CO₂ lorsque le stock des autres accepteurs d'électrons a été épuisé (Tessier, 2012).

La sulfato-réduction est une réaction emblématique de l'activité bactérienne dans les sédiments marins, elle se produit tant que les eaux interstitielles contiennent des ions sulfates et de la matière organique utilisable par les bactéries sulfato-réductrices produisant l'ensemble

des ions sulfures libérés dans le milieu de dépôt ($\text{HS}^-/\text{H}_2\text{S}$) par la réaction suivante : (Baudin, 2007).

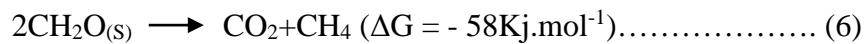


La production de sulfure lors de la diagenèse précoce est souvent déterminante pour le devenir d'un certain nombre de métaux présents ou non à l'état de traces, comme Fe, Mn, Pb, Cd, Hg, Cu, As et Zn (Inal, 2011).

1.1.4.1.2.5 Méthanogènes

Plus en profondeur et quand les oxydants sont épuisés dans les eaux interstitielles, on trouve les bactéries fermentatrices qui continuent le travail de reminéralisation (Baudin, 2007).

La fermentation méthanique peut être décrite de la manière suivante :



Généralement, les bactéries réductrices des sulfates et les micro-organismes consomment tout le méthane produit pour y puiser leur énergie vitale. Donc la concentration en méthane est faible dans la zone de réduction des sulfates et peut atteindre de fortes valeurs dans les grandes profondeurs (Cojan, et al, 2003).

1.1.4.1.3 Les transformations chimiques des phases minérales

Ces transformations jouent un rôle plus important que les transformations physiques dans la modification des caractéristiques originelles des sédiments. Ces processus chimiques impliquent des interactions complexes entre les particules solides et les fluides interstitiels puisque la diagenèse tend à réduire l'énergie libre du système étudié pour lui donner une plus grande stabilité (Cojan, et al, 2006).

1.1.4.1.3.1 Les réactions de précipitations

La précipitation est la cristallisation de solides à partir d'une solution aqueuse, elle contient deux étapes essentielles :

- la nucléation et la croissance des cristaux : elle contribue par la cimentation des pores pour la réduction de la porosité et à la transformation des sédiments meubles en roches solides (Cojan, et al, 2003).
- concernent la précipitation de surface : c'est un mécanisme de sorption qui peut se produire alors que la saturation des sites de surface n'est pas observée, la composition de la surface est modifiée à la suite de l'apparition d'une nouvelle phase dont la

composition varie continuellement entre celle du solide original et celle du précipité du soluté de surface (Laura, et al, 2006).

1.1.4.1.3.2 Les réactions de dissolution

On peut considérer la dissolution comme la réaction inverse de la précipitation, elle modifie la composition minéralogique originelle et crée de la porosité secondaire ou la dissolution des ciments.

Elle contribue largement à la cristallisation car elle permet la croissance rapide de nouveaux minéraux grâce au renouvellement des éléments en solution (Cojan, et al, 2003).

1.1.4.1.3.3 Les réactions de recristallisation

Dans la recristallisation, on observe une évolution et pas un changement dans la composition chimique des minéraux, conditionnée par une pression et température données (Cojan, et al, 2003).

1.1.4.2 La diagenèse tardive

Elle comprend toutes les autres modifications physico-chimiques qui sont beaucoup plus lentes (compaction, transformations minéralogiques, dissolution) (Cojan, et al., 2013), dans cette diagenèse, on distingue la mésogenèse et la télogenèse. Le passage à la mésogenèse, progressif et difficile à définir avec précision, s'effectue lorsque la surcharge sédimentaire devient significative (diagenèse d'enfouissement). Après l'inversion tectonique du bassin sédimentaire, le régime diagénétique de la télogenèse intervient et débute à n'importe quel moment des deux régimes précédents (Chamley, et al., 2000).

1.2 Aperçu général sur les métaux traces (ETM)

1.2.1 Définition et classification des ETM

Les Eléments Traces Métalliques sont conventionnellement définis comme les métaux dont la concentration naturelle moyenne dans la croûte continentale supérieure est inférieure à 1000 mg.kg-1. Parmi eux, certains sont indispensables au fonctionnement des processus biologiques : ce sont les oligo-éléments. Ils peuvent néanmoins s'avérer toxiques pour diverses formes de vie, à des teneurs plus élevées (ex : Cu et Zn). Il en va de même pour d'autres ETM dont le caractère indispensable n'est pas démontré (D.E, 2010).

D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être également définis comme :

- tout métal ayant une densité supérieure à 5,

- Les activités sismiques et volcaniques ;
- Les sources hydrothermales sous-marines ;
- La dégradation de la matière organique (végétale, animale et fossile) contenant les métaux trace en concentration plus ou moins faibles (Taieb Errahmani, 2009) .

1.2.2.2 Origine anthropique

Cette origine regroupe toutes les sources de métaux en relation avec les différentes activités humaines. On peut distinguer :

- L'emploi des produits dans l'agriculture (pesticides) ;
- Les rejets domestiques ;
- Les déversements industriels ;
- L'exploitation des gisements miniers ;
- La navigation maritime et accidents en mer ;
- Les activités portuaires, entretien et réparation navale (Taieb Errahmani, 2009).

1.2.3 Comportement et devenir des ETM dans l'environnement marin

Les ETM sont présents dans les sédiments sous des formes dissoutes dans l'eau interstitielle et des formes fixées sur les particules solides. Leur fractionnement et leur mobilité au sein de la colonne sédimentaire dépendent des couplages entre les processus d'échanges solides - liquide et des mécanismes de transferts spécifiques à chaque phase. Ainsi les formes dissoutes et colloïdales peuvent diffuser (diffusion interstitielle, bioturbation), être transportées (battement de nappe, tassement, bioturbation) et être érodées.

Les formes particulières peuvent diffuser par bioturbation, être transportées (accumulation, tassement, bioturbation) et être érodées (Devallois, 2009).

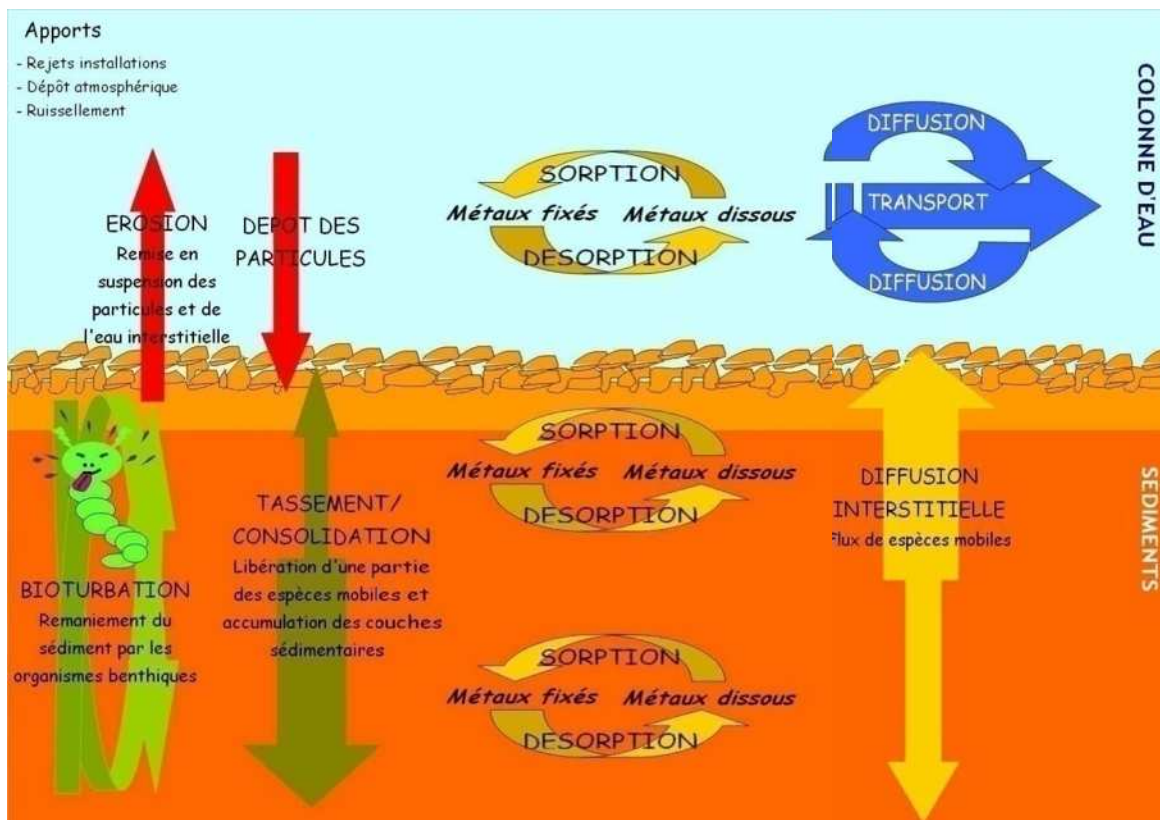


Figure 7 : Schéma des différents transferts dans les milieux aquatiques et les processus régissant leurs échanges à l'interface eau-sédiment (Devallois, 2009).

1.2.3.1 Phases porteuses des ETM

Les agriles, oxy-hydroxydes de fer, et de manganèses, les carbonates, les sulfures et la matière organique constituent les principales phases fixatrices des ETM dans le compartiment sédimentaire (Diop, 2014) .

1.2.3.1.1 Les argiles

Les argiles sont constituées principalement de silicate d'aluminium hydratés (taille <math>< 2\mu\text{m}</math>).

Les argiles possèdent des charges permanentes (substitutions isomorphiques) et des charges variables (par exemple les groupements silanol (Si-OH)) qui leur confèrent la capacité de fixer une grande variété de cations (Zn, Ni, Co, Cu, Cd, Pb, Ba, Cs ...) (Panfili, 2012).

Les argiles de type Kaolinite, illite, smectite fixent préférentiellement de l'ordre croissant des éléments traces métalliques qui sont inclus dans les réseaux silicatés sous une forme très peu disponible ou encore adsorbée à la périphérie des argiles (Diop, 2014).

1.2.3.1.2 Les carbonatations

Les minéraux carbonatés les plus fréquemment rencontrés dans les sédiments sont la calcite (CaCO_3) et la dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Les flux continus de cations et de carbonates à la surface des solides générés par des réactions de dissolution et de précipitation qui ont lieu à l'interface entre la solution et les minéraux, peuvent Co-précipiter avec la calcite (CaCO_3). Cette dernière est, en effet, le constituant majeur qui intervient dans la fixation des éléments traces, soit par adsorption, précipitation d'hydroxydes ou de carbonates, soit par insertion dans le réseau de CaCO_3 (Diop, 2014).

1.2.3.1.3 Les oxy-hydroxydes de fer et manganèse

Les oxydes sont des solides ioniques chargés négativement en surface du fait de la présence de groupement OH à leur surface. Les ETM, chargés positivement, peuvent être complexés en surface de ces hydroxydes (Laure, 2012).

1.2.3.1.4 Les sulfures

Le soufre existe dans l'environnement à divers degrés d'oxydation, compris entre -2 et +6 selon les conditions oxydo-réductrices du milieu (Inal, 2011). Il est majoritairement présent sous forme de sulfures dans les sédiments (Poitevin, 2012).

1.2.3.1.5 La matière organique

La matière organique dans les cours d'eau tient un rôle majeur puisqu'elle est le moteur de la diagenèse précoce. Sa dégradation débute dès la colonne d'eau et se poursuit dans le sédiment (Diop, 2014).

On estime que la structure d'au moins 80% de ces composés n'est pas identifiée jusqu'au début des années 2000 (Garnier, 2004), parmi les composés identifiables, on relève principalement les acides aminés, les protéines, les sucres et les lipides (MacCarthy, 1987 in Inal, 2011).

1.2.3.2 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, C'est la distribution des espèces chimiques d'un élément donné dans un système.

La spéciation des métaux lourds peut être étudiée par :

- des méthodes spectroscopiques diffraction des rayons x microsonde spectrométrie infrarouge ...etc.

- des méthodes chimiques l'extraction séquentielle consiste en la mise en solution des espèces chimiques dans un échantillon de sol en ajoutant plusieurs réactifs successivement au même aliquote de sédiment (Inal, 2011).

1.2.3.3 La mobilité des ETM dans les sédiments

La mobilité des métaux se traduit généralement par le passage de la forme colloïdale et particulaire à la forme dissoute.

La mobilité des ETM est directement proportionnelle à leurs distributions entre la phase dissoute et la phase solide. Cette répartition est grandement affectée par les différentes réactions biogéochimiques liées à la diagenèse précoce, mais également par les propriétés chimiques des ETM, comme leurs différents degrés d'oxydation, solubilités et affinités pour les autres éléments (Tessier, 2012).

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 et les sédiments (Meguellati, 2012).

1.2.3.4 Les facteurs influençant la mobilité et la spéciation des ETM

Les formes chimiques des éléments en solution sont déterminées par le *pH*, Eh, force ionique, température, et autres conditions de milieu, et par la réactivité intrinsèque des éléments considérés. En gouvernant la spéciation et l'état d'oxydation des éléments, les variations de ces conditions physicochimiques peuvent agir directement sur leur mobilité (Sylvie, et *al.*, 2003).

1.2.3.4.1 Le *pH*

Le *pH* des sols est l'une des propriétés essentielles déterminant le comportement des éléments chimiques. Il tient un rôle majeur dans la mise en solution et la mobilité des ETM à travers le solum (Ben-seghier, 2012). Dans les sédiments, les activités biologiques naturelles, par la réduction des nitrates en azote, l'oxydation des sulfures en sulfate et la production d'acide organiques entraînent une baisse du *pH* dans la phase aqueuse (Diop, 2014). Cette diminution du *pH* de la solution du sol est accompagnée par un accroissement du nombre de protons dans la solution, qui entrent en compétition avec les cations métalliques adsorbés sur la capacité d'échange cationique (CEC) et provoquent finalement leur libération dans la phase aqueuse (Ben-seghier, 2012).

Il y a aussi un effet du pH sur l'adsorption des métaux qui provoque la formation de sulfures et la biodégradation de la matière organique, ces deux derniers permettent d'interpréter la spéciation des métaux dans les sédiments et leur biodisponibilité, et pour bien détailler, une augmentation du pH favorise l'adsorption métallique sur la fraction réductible des sédiments (oxydes de fer et de manganèse), après échange des cations métalliques avec les ions H^+ sur certains sites de surface (Serpaud, et al., 1994).

1.2.3.4.2 Variations du potentiel d'oxydoréduction (ΔE)

Les conditions d'oxydoréduction (Eh) déterminent le comportement des éléments chimiques à plusieurs valences. Elles mesurent la capacité d'un milieu à fournir les électrons à un agent oxydant ou à retirer des électrons à un agent réducteur. L'Eh influence notamment la capacité d'un ETM à se fixer sur une phase réceptrice en modifiant le degré d'oxydation de l'élément (Qasim, 2015).

Quand le potentiel redox est élevé, les formes oxydées prédominent, alors que les faibles valeurs favorisent l'apparition d'espèces réduites. Le Cr^{3+} peut ainsi subir une oxydation directe en Cr^{6+} , plus mobile et plus toxique, et en conditions réductrices, les sulfates sont réduits en sulfures qui piègent les éléments chalcophiles tels que Fe, Zn, Pb, Cd, d'autre part, la dissolution des oxydes est favorisée entraînant de manière opposée la solubilisation des métaux associés (Baba-Ahmed, 2012).

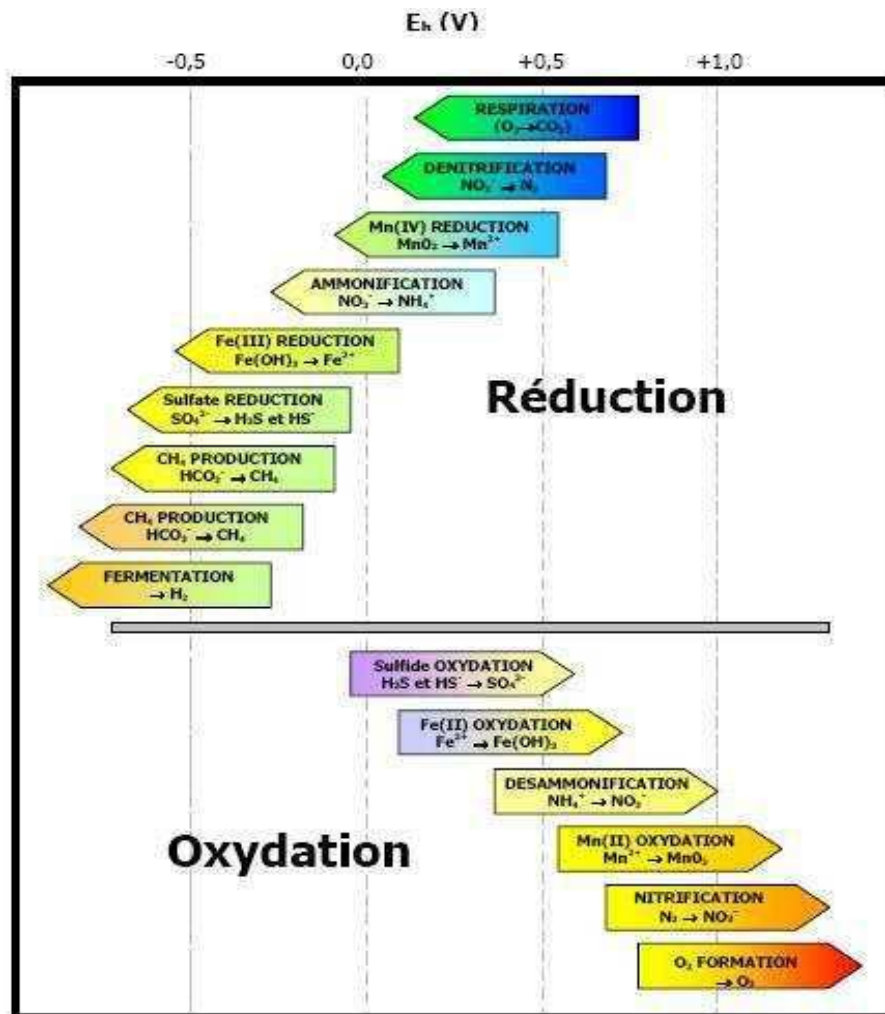


Figure 8: Domaine de potentiel d'oxydoréduction (Qasim, 2015).

1.2.3.4.3 Influence des agents complexant et de la salinité

Les agents complexant peuvent être organiques (acides humiques et fulviques, NTA, EDTA, oxalates,.....) et inorganiques (Cl^- , SO_4^{2-} , OH^- ...) et provenir de sources naturelles ou anthropiques. Ces ligands ont la capacité de former des complexes plus ou moins stables avec les métaux traces, lorsque ces ligands sont solubles dans l'eau, ils peuvent favoriser le passage ainsi que le maintien des métaux en solution.

La salinité agirait essentiellement sur la vitesse de fixation et légèrement sur la quantité fixée, les salinités basses modifient la forme chimique des métaux qui sont rendus disponibles pour les organismes en raison de leur mise en solution ou en suspension, cela permet aux métaux de s'adsorber à la surface des organismes et de la matière organique inerte (Rezzoug, 2000).

1.2.3.4.4 La température

La température entraîne d'une façon générale une augmentation de l'activité physiologique des organismes, en augmentant les risques d'ingestion et de bioaccumulation des métaux. De plus, elle stimule la croissance bactérienne dont celles des bactéries aérobies et anaérobies qui vivent dans les sédiments et qui sont en partie responsables de la méthylation du mercure (Tidjani-Athmani, 2008).

1.2.3.4.5 Influence de l'oxygène dissous

La concentration en oxygène dissous ne semble pas influencer directement sur les polluants, mais elle accroît l'irrigation des surfaces respiratoires, exposant davantage les transferts de polluants au sein des organismes. De plus, on constate que le taux de production de méthylmercure augmente lorsque la teneur en oxygène diminue dans le milieu (Tidjani-Athmani, 2008).

1.2.3.4.6 Rôle de la granulométrie

D'après Georges, et al, (1998), la détermination de la localisation des ETM est par ailleurs une étape importante pour aborder l'étude de leur spéciation dans les sols, et généralement les plus fortes concentrations apparaissent liées aux constituants de la fraction la plus fine (fraction argile granulométrique) ; toutefois les ETM sont également présents dans des proportions très variables dans des minéraux de la taille des sables ou des limons.

1.2.3.4.7 La remise en suspension

Les matières en suspension jouent le rôle de capteur de métaux, car elles constituent le support de certains métaux notamment le Hg, le Cd, le Pb et qu'elles sont absorbées par les suspensivores (Abdelouahab, 1998).

1.2.3.5 Biodisponibilité et toxicité des ETM

La biodisponibilité désigne la capacité d'une quantité d'un élément présent dans le sol à être absorbé par un organisme vivant. C'est un outil d'évaluation de la toxicité et du risque de pollution. Le changement de la biodisponibilité d'un polluant correspond à un changement de toxicité. La quantité phytodisponible d'un élément dans un sol correspond aux ETM capables de passer en solution et d'être absorbés par la plante. En effet, l'ion sous forme libre (Zn^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , ... etc.) est l'une des formes les plus réactives, avec les espèces neutres et la plus facilement assimilable par les organismes vivants (Qasim, 2015).

La biodisponibilité d'une substance liée au sédiment ne peut pas se résumer à sa capacité à se solubiliser dans la phase aqueuse sous l'action de facteurs externes, en effet les organismes

benthiques se nourrissent en ingérant des particules sédimentaires riches en MO et éventuellement en polluant (Ettajani, et al., 1995).

1.2.3.6 Les métaux traces étudiés

Les sédiments sont capables d'accumuler les polluants organiques et inorganiques plus que l'air et l'eau, on retrouve de manière significative dans ces sédiments les métaux les plus dangereux pour la santé comme : le cuivre(Cu), et le zinc(Zn) (Haddou, 2017).

Le manganèse, le fer, le cuivre et le zinc sont essentiels (indispensables à la vie) car ils ont un rôle physiologique important.

Certains d'entre eux sont indispensables au fonctionnement des enzymes, jouant le rôle d'un catalyseur (Mn, Cu, Zn) (Amirad, 2011).

La nocivité de ces métaux est liée à leur rémanence et à leur spéciation. À l'inverse des polluants organiques, les métaux lourds sont peu métabolisés, ils peuvent donc être transférés dans le réseau trophique et s'accumulés dans la matière vivante (Duquesne, 1992).

1.2.3.6.1 Zinc

Il est présent dans l'écorce terrestre principalement sous forme de sulfure (blende) ; accessoirement sous d'autres formes telle que la smithsonite ($ZnCO_3$).

Il est assez uniformément distribué dans les roches magmatiques (40 à 120 mg/kg), sa concentration est un peu élevée dans le sédiment argileux (80 à 120 mg/kg) et les schistes, par contre il a une faible concentration dans les roches mères sableuses (Amiard, 2001).

Tableau 1 : Sources et utilisation du zinc.

Sources naturelles	Sources anthropiques	Son utilisation
<ul style="list-style-type: none"> -Transporter par le vent de particules du sol. -Eruptions volcaniques. -Les feux de forêts et émission d'aérosols marins. 	<ul style="list-style-type: none"> -Les sources minières et industrielles. -Le traitement du minerai -Les épandages agricoles. 	<ul style="list-style-type: none"> -Pour les revêtements de protection des métaux contre la corrosion (galvanoplastie, métallisation, traitement par immersion) -Il entre dans la composition de divers alliages (laiton, bronze, alliages légers) -La construction immobilière -Les équipements pour l'automobile.

1.2.3.6.2 Fer

C'est un élément métallique blanc argenté, de symbole Fe, et de numéro atomique 26.
Sa toxicité pour la vie aquatique est en fonction de son état chimique, le fer ferreux (Fe^{2+}) étant beaucoup plus toxique que le fer ferrique (Fe^{3+}).

Tableau 2 : Sources et utilisation du fer.

Sources naturelles	Sources anthropiques	Son utilisation
-La dissolution superficielle des roches.	- Le lessivage des terrains miniers - Les rejets industriels. directement dans les eaux ou bien dans l'atmosphère et les particules émises retombant à la surface de la terre avec les pluies.	- Les constructions des ports. -L'architecture.

1.2.3.6.3 Manganèse

Il représente environ 0,1% de la croûte terrestre.

Tableau 3 : Sources et utilisation du manganèse.

Source naturelle	Sources anthropiques	Son utilisation
-les nodules polymétalliques présents dans les grands fonds marins	-L'activité industrielle. -Consommations des énergies fossiles.	-Il entre dans la composition de nombreux alliages parmi eux : *avec le fer (ferromanganèse, le ferromanganèse carburé utilisé dans les aciers spéciaux et dans l'affinage de l'acier, fonte manganèse) *avec le cuivre (bronze au manganèse utilisé pour les hélices de bateaux, manganine utilisée pour les résistances électriques, laiton au manganèse utilisé sans la construction navale pour sa résistance à l'eau de Mer)

1.2.3.6.4 Cuivre

Le sol est le milieu environnemental le plus exposé au cuivre où se retrouve 97% du cuivre libéré dans l'environnement contre seulement environ 3% dans les eaux et 0,04 dans l'air. Sa concentration dans l'écorce terrestre est estimée à environ (70 mg/kg).

Tableau 4 : Sources et utilisation du cuivre.

Sources naturelles	Sources anthropiques	Son utilisation
<ul style="list-style-type: none"> -Il est transporté par le vent des poussières de sol. -Les éruptions volcaniques. -Les décompositions végétales. -Les feux de forêts. -Les aérosols marins. 	<ul style="list-style-type: none"> -L'industrie du cuivre. -L'industrie du bois. -L'incinération des ordures ménagères. -La combustion du charbon. -L'huile et l'essence et la fabrication de fertilisants (phosphate). 	<ul style="list-style-type: none"> -En métallurgie dans la fabrication des alliages suivants : *Le bronze (avec l'étain). *le laiton (avec le zinc). *le monel (avec le nickel , le fer et le manganèse) *les alliages de joaillerie (avec l'or et l'argent). -La fabrication de matériels électriques (fils, enroulement de moteurs.) -La plomberie. -Les équipements industriels.

Chapitre II :

Zone d'étude

2 Chapitre II : zone d'étude

2.1 Baie de Bou-Ismaïl

2.1.1 Description géographique et présentation du site

La Baie de Bou-Ismaïl, anciennement appelée **Castiglione** (Abdelali, 2011), se situe dans la wilaya de Tipaza à 30 km à l'ouest d'Alger, de Ras Acrata [36°.48'09.70''N - 2°54'29.70''E] jusqu'au Cap Mont chenoua [36°.37'43.77''N - 2°24'08.21''E]. Ayant un plateau continental de 509km² (Bensaid, et al. 2008).

La baie de Bou-Ismaïl est répartie en 04 zones géographiques (Djanet, et al, 2013 ; Harkat, 2017) :

- La baie d'el-Djamila est caractérisée par de nombreuses formations dunaires et une côte basse sableuse, cette baie est limitée à l'Est par ras-Acrata et à l'ouest par la presqu'île de sidi-Fredj.
- Région de sidi-Fredj /oued Mazafran sur environ 12Km de plage de sables fins, c'est le secteur ou notre étude s'est focalisée.
- Une côte rocheuse d'une longueur de 30Km dont la limite à l'ouest est Tipaza (Harkat, 2017).
- La baie de chenoua est caractérisée par une plage de sable fin, dans cette zone se jette Oued Nador.

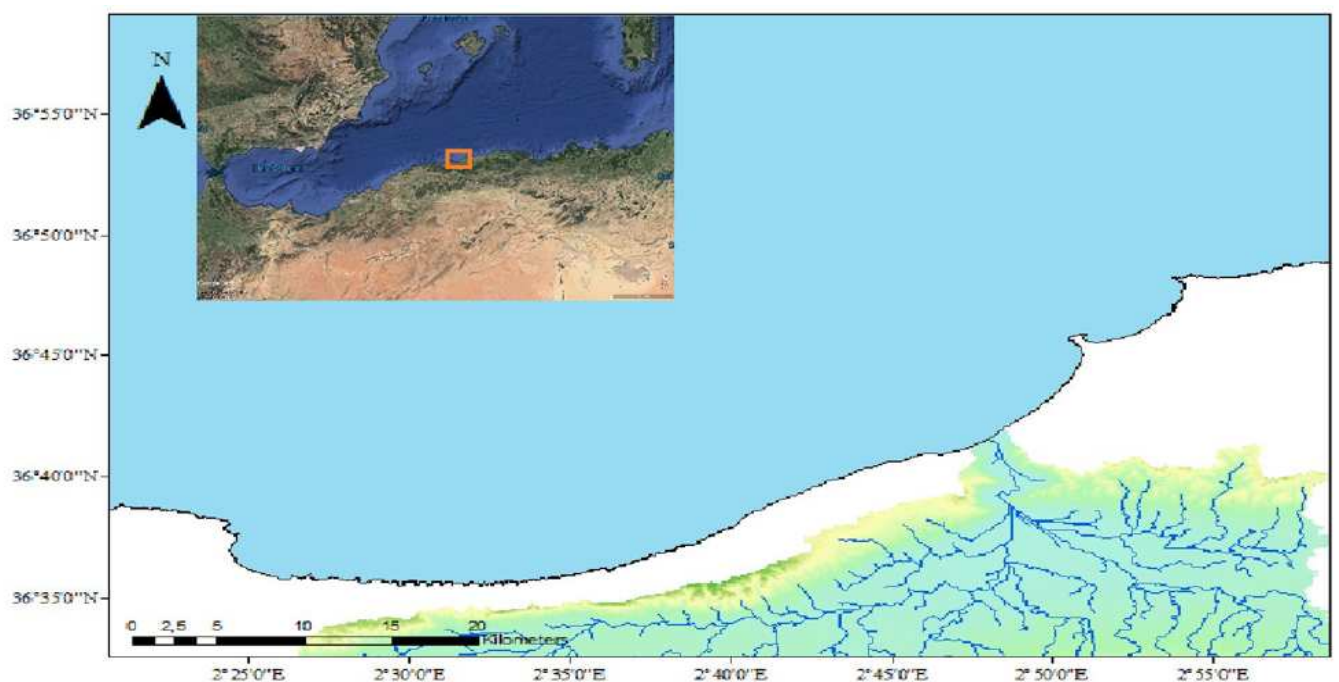


Figure 9: Localisation de la baie de Bou-Ismaïl

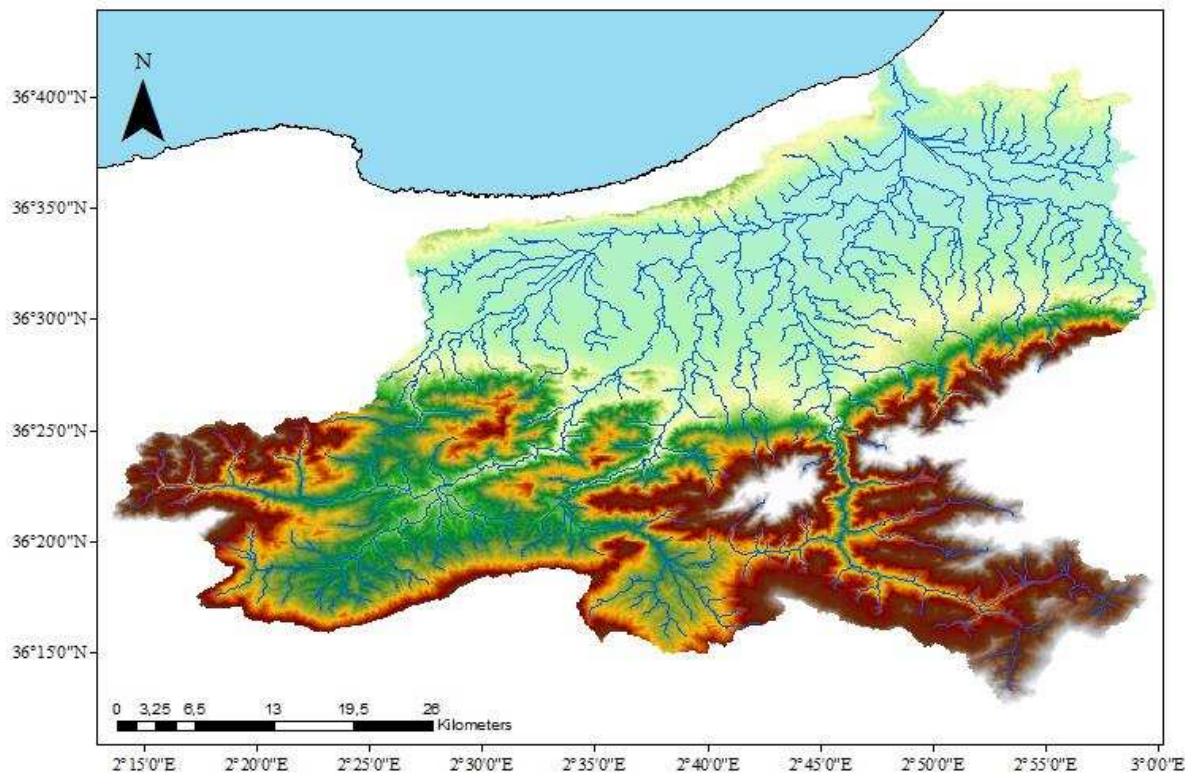


Figure 10 : Le bassin versant d'oued Mazafran

2.1.2 Morphologie côtière

La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par une morphologie côtière diversifiée, composée de côtes rocheuses, de falaises, de plages et de dunes :

2.1.2.1 Les falaises

La falaise la plus importante dans la baie de Bou-Ismaïl est celle du Mont Chenoua qui est située à l'Ouest de la commune du chef-lieu de Tipaza.

2.1.2.2 Les côtes rocheuses

Il s'agit de formes rocheuses quelconques localisées entre Tipaza (les différentes anses) et Bou Haroun (rocher plat) (Achiche, et al, 2010).

2.1.2.3 Les plages

La baie de Bou-Ismaïl comprend 16 plages dont la plus développée est celle de Colonel Abbas où se situe oued Mazafran (située dans la commune de Douaouda), il s'étale sur une longueur de 3.000 m. La granulométrie de ces plages est constituée de sable fin, moyen et de galets.

2.1.2.4 Les dunes

C'est des formations qu'on retrouve immédiatement sur la continuité des plages puisqu'elles sont à l'origine de leur formation (Samari, 2008).

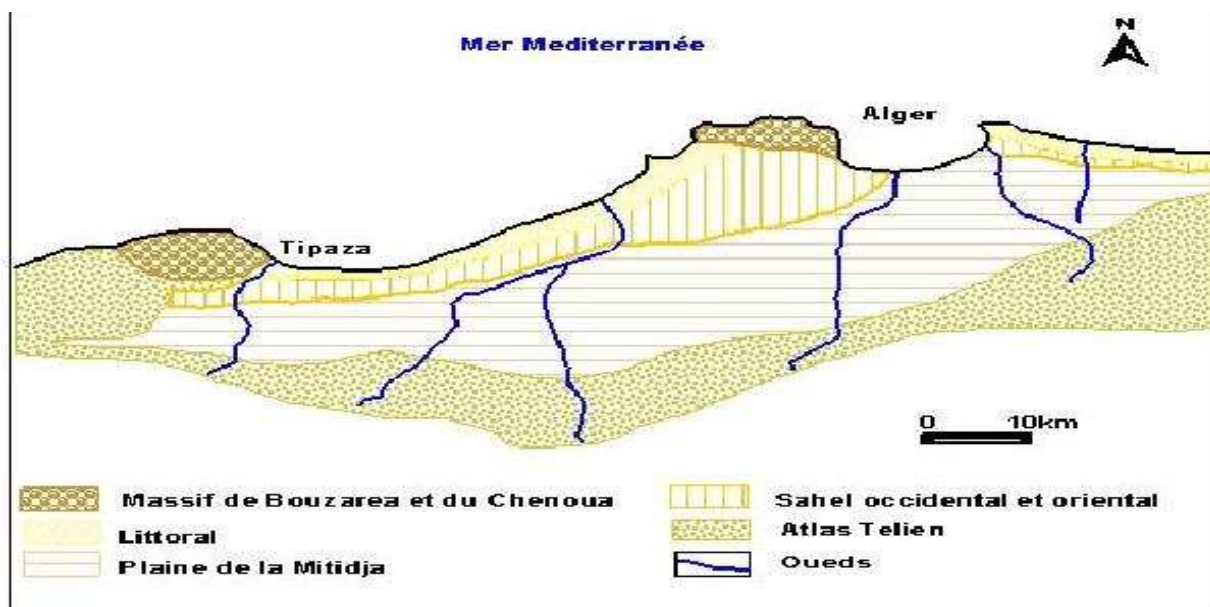


Figure 11: Morphologie côtière de la baie de Bou-Ismaïl (Grimes, 2004).

2.1.3 Le débit de bassin versant d'oued Mazafran

Oued Mazafran possède un débit maximal très important entre le mois d'octobre et avril avec une moyenne de 94,96% du débit annuel et un débit maximal faible entre le mois de mai et septembre avec une moyenne de 5,03% du débit annuel (A.N.R.H, 2018).

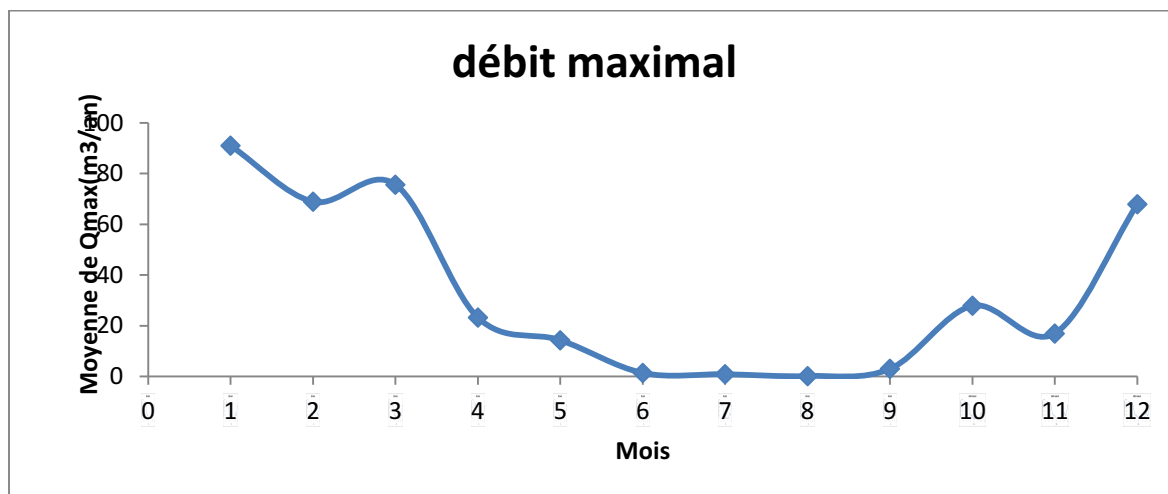


Figure 12 : Débit maximal d'oued Mazafran (1980-2004) (ANNEXE II-1).

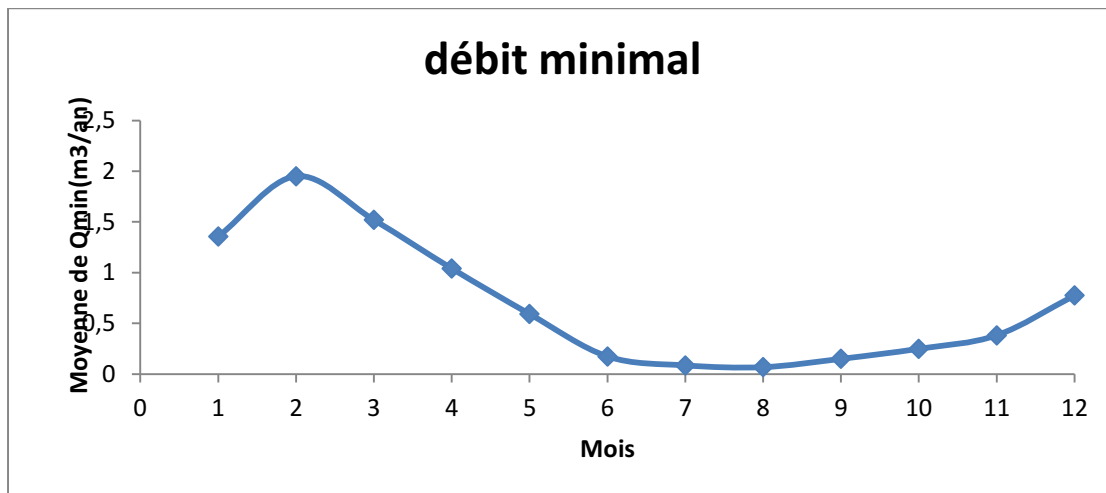


Figure 13 : Débit minimal d'oued Mazafran (1980-2004) (ANNEXE II-3).

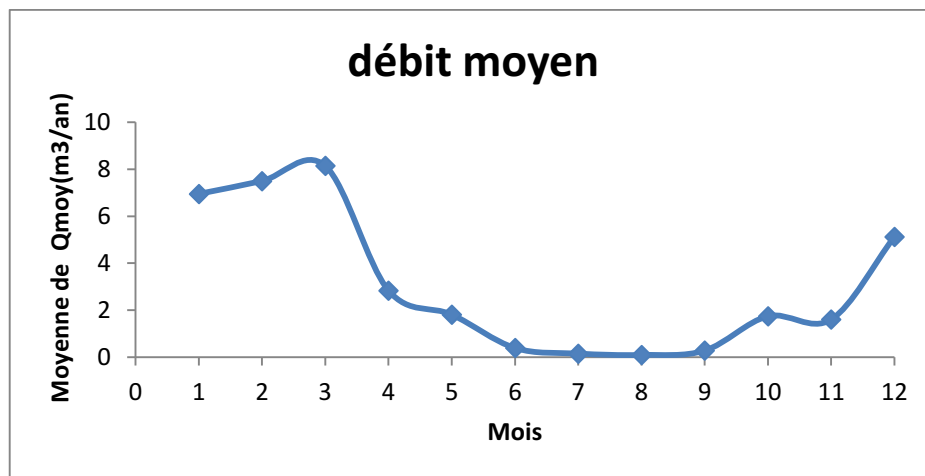


Figure 14 : Débit moyen d'oued Mazafran (1980-2004) (ANNEXE II-2).

2.1.4 Sédimentologie

La répartition sédimentaire de la baie de Bou-Ismaïl montre une grande diversité sur le plan sédimentaire, on a identifié neuf faciès : les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures, le faciès rocheux (Samari, 2008).

La dynamique sédimentaire dans la baie de Bou-Ismaïl est régie essentiellement par :

- ✓ La dérive littorale due aux houles du Nord-Ouest.
- ✓ La dérive littorale dus aux houles du Nord Est.

Les houles du Nord Est engendrent des courants qui vont reprendre les sédiments au large pour les déposer à proximité et à l'intérieur du port de Bouharoun par la passe d'entrée orientée Nord Est (Mokrani, 1998).

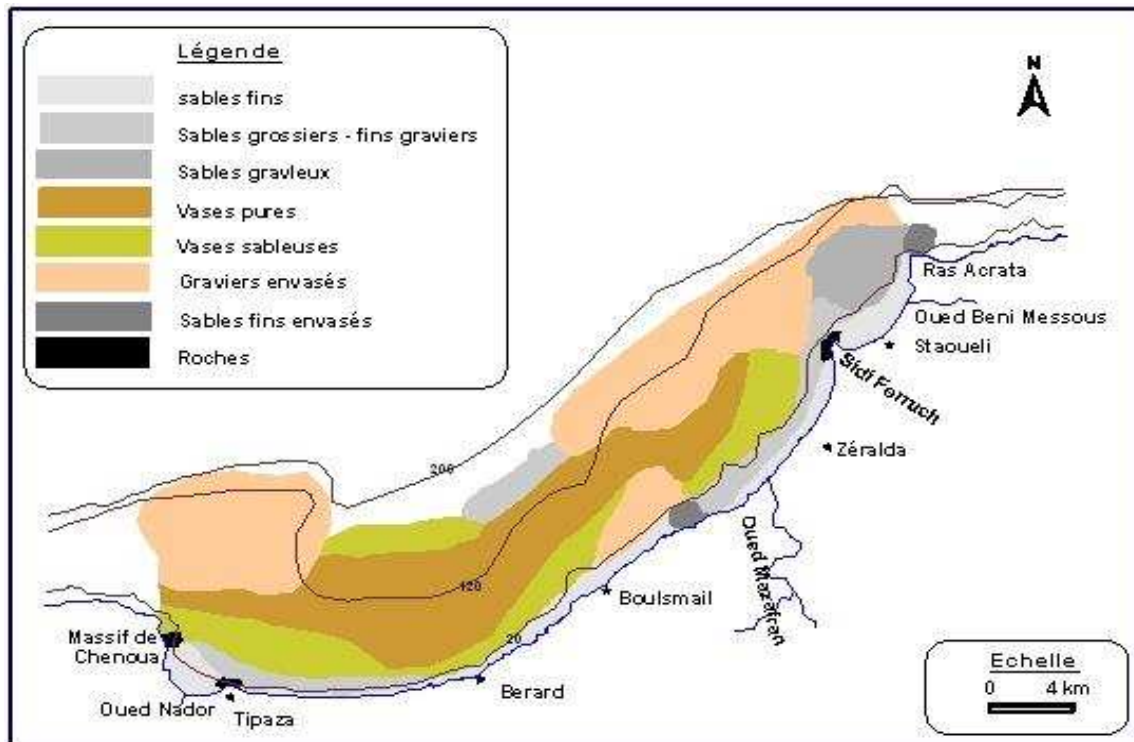


Figure 15: Sédimentologie de la baie de Bou-Ismaïl (L.E.M, 1998 in Rabehi, et al., 2011).

2.1.5 Bathymétrie

D'une manière générale, le plateau continental est étroit (4Km) , le rebord très accusé et festonné, est l'amorce d'une pente très accore (12°), ces derniers sont la continuation de la marge continentale surplombée par le massif de Beni-Ménacer jusqu'au massif du chenoua ,au droit du chenoua , ce plateau prend la forme de falaise de plus de 100m de haut qui surplombe un large méplat, une entaille dans la pente continentale ; l'isobathe 400m est ainsi rejetée à 14km du rivage dans le Nord-est du massif chenoua.

Entre TIPAZA et BOUHAROUN, le plateau devient peut différencier ; il se prolonge vers les fonds de 1000m après une légère rupture de pente vers 120m, on distingue à Peine des bordures littorales à pente accusée. Là l'allure très coulée de cette topographie sous-marine disparaît devant Bou-Ismaïl ou un bombement domine un méplat sous-marin qui s'étend jusqu'au nord-ouest de la presqu'île de sidi Fredj.

Le plateau continental retrouve son individualité et prend une extension maximum (11 km) devant l'embouchure d'oued MAZAFRAN (Leclaire, 1972).

Il y a trois zones d'affleurement rocheux difficilement chalutable qui sont les suivants :

1-Le prolongement du massif de chenoua, lequel rejoint la vallée sous-marine du Ras-Nador depuis la cote jusqu'à l'isobathe 180 m en direction Nord Nord-est.

2-Entre Bouharoun et Douaouda Marine, de puis la côte jusqu'à l'isobathe 100m.

3-Depuis les fonds de 110 jusqu'à 150 m au Nord de Bou-Ismaïl jusqu'à la hauteur de sidi Fredj.

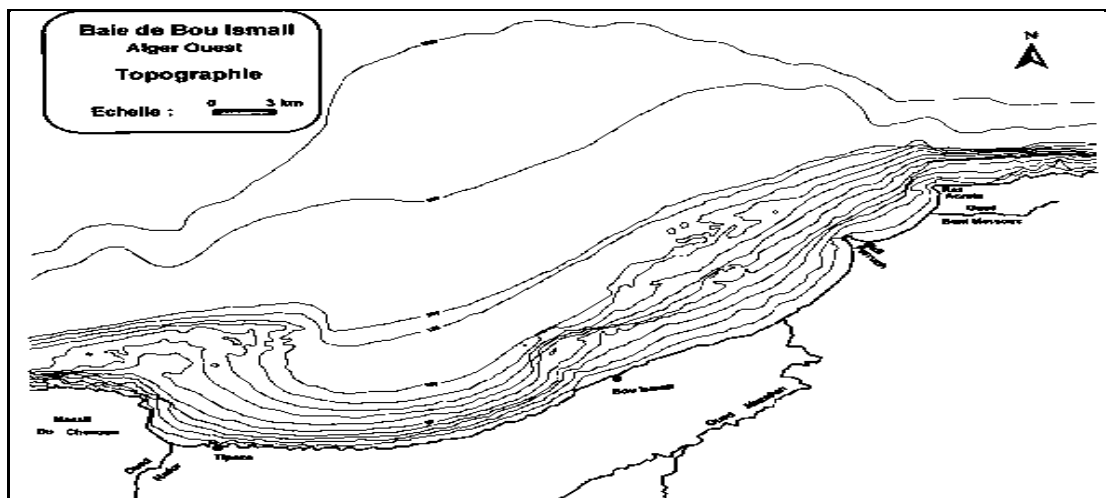


Figure 16: Topographie de la baie de Bou-Ismaïl (Leclaire, 1972).

2.1.6 Climatologie

Le facteur climatique influe directement sur les ressources hydriques, la couverture végétale, la population ...etc. Du fait de sa proximité de la mer méditerranée, la baie de Bou- Ismaïl est caractérisée par un climat subhumide, un hiver humide et un été chaud et sec. (C.N.R.D.P.A, 2005 in Achiche, et al, 2010).

2.1.6.1 La température

Selon les données de l'ONM (2007), la température dans la baie de Bou-Ismaïl est marquée par deux périodes ou les températures superficielles maximales se situent en été entre Août et Septembre, et les températures minimales en Janvier, Février et Mars.

Période chaude : Juin à Octobre : $20^{\circ}\text{c} < T^{\circ} < 23,5^{\circ}\text{c}$.

Période froide : Novembre à Mars : $14,5^{\circ}\text{c} < T^{\circ} < 16^{\circ}\text{c}$.

Tableau 5: Les températures mensuelles moyennes de la baie de Bou-Ismaïl durant la période 1976 – 2005 (O.N.M, 2007).

Mois		Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill et	Août	Sep	Oct	Nov.	Des
T(C °)	Min	5,5	5,9	7,1	8,8	12,3	16,1	18,9	19,8	17,6	14,2	9,8	7,2
Moy	Max	16,7	17,4	19,2	20,9	23,9	28,2	31,2	32,2	29,6	25,9	20,8	17,9

2.1.6.2 La pluviométrie

La pluviométrie traduit en général l'alternance de deux saisons distinctes : une saison estivale chaude et sèche, et une saison hivernale froide et humide.

Les données de précipitation acquises au niveau de l'ANRH pour la station de la baie de Bou-Ismaïl, couvrent une période de 45 ans allant de 1967 à 2012.

L'analyse statistique des données a permis de réaliser les histogrammes des moyennes des précipitations.

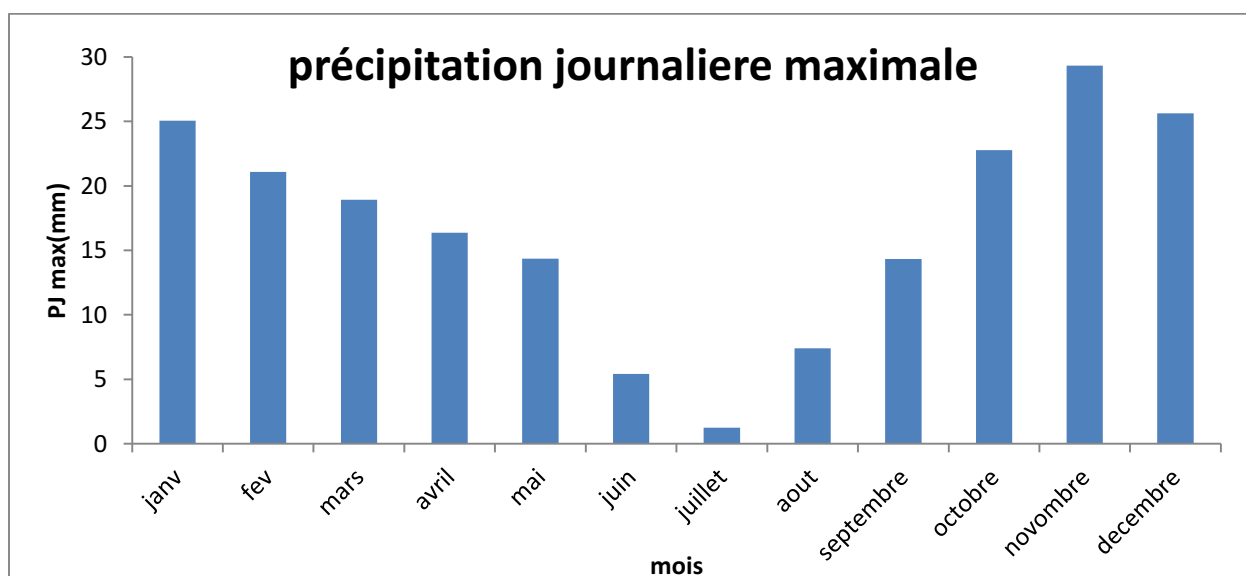


Figure 17: Histogramme des moyennes mensuelles des précipitations maximales de la baie de Bou-Ismaïl (1972-2004) selon les données de l'ANRH.

La distribution des pluies maximales journalières observées dans les différentes stations montre l'importance de l'intensité des averses. Les valeurs atteintes son maximum de 126 mm/24H en novembre 1971 dans la baie de Bou-Ismaïl, et son minimum en juillet.

Les mois de Septembre à Mai et plus particulièrement de octobre à mars sont les plus arrosés.

On remarque aussi que les précipitations des années dans cette période sont très variables, il y'a des années très humides (1971) et d'autres beaucoup plus sèches (1998).

2.1.6.3 Les vents

Le vent est une des forces physiques régissant les courants et les houles. La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par une périodicité des vents qui se traduit par une prédominance :

- Des vents d'Ouest en Hiver et Printemps induisant des houles de grandes amplitudes, d'une vitesse moyenne de 2m/s.
- Des vents de l'Est en Eté et début Automne avec de faibles amplitudes, avec une vitesse moyenne supérieure à 2m/s et peuvent être très violents de 15 à 20m/s durant 3 jours consécutifs (Asso, 1982).

2.1.7 L'hydrodynamique marine

Les courants induits par la houle au large ou à la côte, sont à peu près les seuls à agir de façon active sur la sédimentation actuelle (Boughrira, 2012), car ils jouent un rôle très important dans le transport sédimentaire et participent dans l'évolution de la morphologie côtière en conduisant à des ensablements, des envasements et des érosions (Abderrahmani, 2011).

2.1.7.1 Les courants généraux

La côte algérienne est traversée par un courant général dénommé courant Algérien résultant d'un écoulement d'eau atlantique à travers le détroit de Gibraltar, le courant Algérien pénètre sous forme de veine et circule d'ouest en est, et dès 1° et 2° est, il donne naissance à des méandres et des tourbillons côtier (50-100 km) associés à des upwellings (Milot, 1989).

2.1.7.2 Les courants côtiers

En absence de courant permanent ou de marée suffisamment importante, les courants induits par la houle au large ou à la côte sont à peu près les seuls à agir sur la sédimentation actuelle. (Caulet, 1972).

2.1.7.2.1 Les courants d'entrainements

Sont provoqués par les mouvements des masses d'eaux dans le sens de propagation des houles, ils sont aussi à l'origine des apports sédimentaires lors de son déploiement à la côte notamment ceux en suspension, donc ils participent d'une façon active dans la sédimentation actuelle.

2.1.7.2.2 Le courant de retour

Participe activement à l'érosion côtière de la zone d'étude, c'est le courant compensateur sur le fond qui s'effectue en direction du large résultant du retour des masses d'eau déployées par la houle sur la côte. Leur effet est remarquable surtout par mauvais temps généralement en hiver.

2.1.7.3 Plans de houle

2.1.7.3.1 Les houles hivernales

Sont de direction Ouest et Nord-Ouest. Elles engendrent des courants de retour dès leurs arrivées perpendiculairement à la côte, ces courants entraînent le transport d'un sédiment fin.

2.1.7.3.2 Les houles estivales

Sont de direction Nord-est, et entraînent une dérive littorale de l'Est vers le Sud-ouest, dès leurs arrivées tangentiellement à la côte (Haddouche, 2003).

2.1.8 Les sources de pollution

L'Oued Mazafran est un vecteur important de la pollution de cette zone car il draine vers la mer tous les rejets issus des zones urbaines ; industrielles et agricoles se trouvant dans la plaine de la Mitidja. A ces sources de pollutions potentielles, il convient d'ajouter les rejets de l'ensemble des unités industrielles de la zone côtière de la baie de Bou-Ismaïl.

Tableau 6: Les activités polluantes dans la baie de Bou-Ismaïl (Inal, 2011 *in* O.N.M, 2007).

Denomination de l'unité	Nature de l'activité	Nature de la pollution générée
SARL RESITECK	Production de peinture bâtiments	Apports importants de métaux lourds
ALUFER	métallurgie	chutes d'aluminiums et poussière de fer

ALUMINAL		
SARL PROCHIMAL	Fabrication des produits d'entretiens	Eaux usées chargées d'éléments chimiques, rejets de savons, agent de lavage et rinçage caractérisé par une teneur élevée en savons saponifiés et en DBO
PLASTRAM	Transformation plastique	Eaux de nettoyage
PFIZER	Fabrication produits vétérinaires	Eaux usées chargées d'éléments chimiques
IMPRIMERIE SHELLIA	Utilisation importante d'encre	Déversement des encres avec les eaux domestiques
TONIC EMBALLAGE	Fabrication de boîtes, gobelets, emballage de différentes dimensions	Rejets d'eaux usées domestiques, chutes de cartons, papiers, colorants, matières plastiques.
TERRA CERAMIQUE	production céramique et potteries	Lessivage d'argile vers la mer

Chapitre III

Matériels et méthodes

3 Chapitre III : matériels et méthodes

3.1 Travaux effectués en mer

La sortie en mer a eu lieu le 1 mai 2018, de 10h jusqu'à 15h, à bord de l'embarcation «Aouress». Des échantillons de sédiment ont été prélevés au niveau de 17 stations, à l'aide d'une benne "Van Veen" en face de l'embouchure du l'oued MAZAFRAN, situé dans la baie de Bou-Ismaïl.

3.1.1 Choix et localisation du site

Notre choix pour la matrice d'étude s'est orienté vers les sédiments, car ces derniers piègent facilement les métaux traces. En outre, cette matrice présente une mémoire assez longue pour ces indicateurs de pollution et d'impact environnementaux naturel et anthropique.

Dans notre cas, il y a lieu à choisir plusieurs points (17 points) de prélèvement, qui sont réparties de la côte, vers le large, pour mieux évaluer la pollution d'oued, et son impact en vers la baie de Bou-Ismaïl.

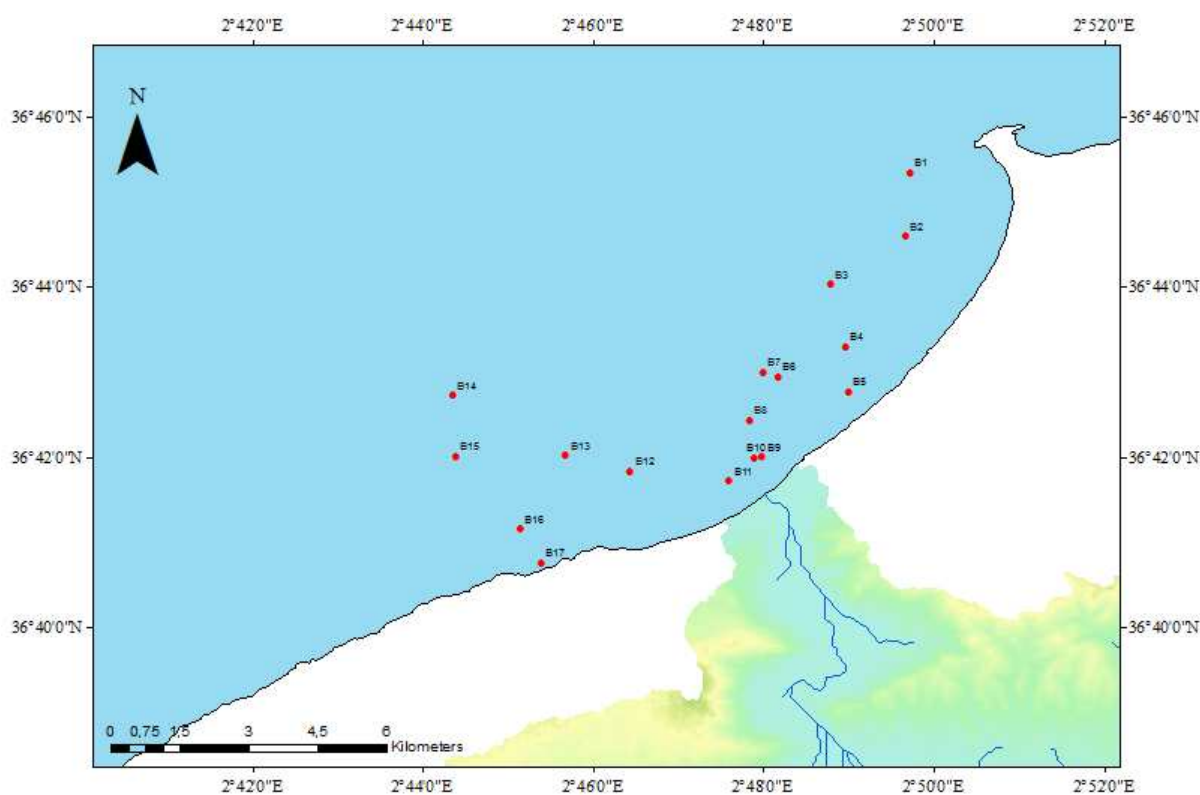


Figure 18: Positionnement des stations de prélèvement dans la baie de Bou-Ismaïl.

3.1.2 Matériel utilisé

Pour la réalisation et le succès du processus de collecte des échantillons, le matériel suivant est indispensable :

- Une benne de type van Veen (**annexe III-2**), constitué d'acier inoxydable (surface occupé 0,19m²).
- DGPS (Differential Global Positioning System).
- Echosondeur (pour la profondeur).
- Une glacière avec deux ice box.
- Des sachets en plastiques stériles pour les sédiments destinés aux analyses des métaux traces et de matière organique.
- Des sachets en plastiques pour les sédiments destinés aux analyses granulométriques.
- Une spatule en plastique.

3.1.3 Prélèvement des sédiments superficiels

Le matériels utilisés pour les prélèvements sur le terrain ; doit être maintenu en bon état de fonctionnement, de propretés et ne contenir aucunes traces de corrosion (Chiffolleau ,2003).

Pour éviter toute contamination, il faut :

- Utiliser des sachets propres pour les échantillons destinés à l'analyse des métaux.
- Rincer la spatule et la benne avant chaque prélèvement avec l'eau de mer.
- Lors de l'échantillonnage, éliminer les sédiments qui sont en contact avec la paroi de la benne pour les échantillons des métaux traces.

3.1.4 Conservation des échantillons

La conservation des échantillons à l'aide d'une glacière à bord de l'embarcation est indispensable, elle permet de conserver les propriétés chimiques des échantillons, et bloquer les activités du M.O.

3.2 Travaux effectués au laboratoire

3.2.1 Le taux de la matière organique dans le sédiment

3.2.1.1 Matériel utilisé

- Des creusets en porcelaine (**annexe III-3**).
- Spatule en téflon.
- Balance de précision KERN (0,1mg) (**annexe III-4**).
- Four à moufle de type (WiseTherm) (**annexe III-5**).
- Dessiccateur (**annexe III-6**).

3.2.1.2 Mode opératoire

La perte au feu est l'une des méthodes d'évaluation du taux de la matière organique dans le sédiment. Cette méthode se décline comme suit :

- Après lyophilisation et broyage des échantillons, peser 5g (P0) de sédiment dans des creusets en porcelaine à l'aide d'une balance de précision.
- Noter le poids du creuset + l'échantillon.
- Mettre les creusets dans l'étuve 100C° pendant 24h.
- Laisser refroidir et on effectue une deuxième pesée (P creuset + échantillon) qui est le poids du sédiment sec.
- Mettre les échantillons dans le four à moufle à 600C° pendant 2h.
- Laissez refroidir dans un dessiccateur qui conserve les échantillons de l'humidité à l'aide de gel de silice.
- Effectue, une troisième pesée (P creuset+échantillon) qui est le poids du sédiment calciné.

3.2.1.3 Calcul du taux d'humidité et du taux de la matière organique

Le taux d'humidité(%) = $(P_0 - P_{\text{creuset+échantillon, après séchage}}) * 100$ (1)

Le taux de la matière organique (%) = $(P_1 - P_2) / P_1 * 100$ (2)

P1 :c'est la différence entre ($P_{\text{creuset+échantillon}}$) après le séchage et le poids du creuset.

P2 :c'est la différence entre ($P_{\text{creuset+échantillon}}$) après calcination et le poids du creuset.

3.2.2 Analyses granulométriques

3.2.2.1 Principe de la méthode

La granulométrie consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale correspondant à chaque dimension de particules (Riviere, 1977).

Cette technique consiste à obtenir le poids partiel de chaque quantité de sédiments à taille précise après avoir passé l'échantillon dans une série de tamis de mailles décroissantes. Elle permet aussi de définir, suivant leurs calibres, diverses classes de sédiments séparément de leur nature chimique (Bachouche, 2010).

On appelle tamisât le pourcentage en poids des grains passant au travers les mailles des tamis considérés, et le refus, le pourcentage en poids des grains qui refusent de passer au travers des mailles des tamis considérés (Ghomari et al, 2008).

3.2.2.2 Matériel utilisé

- Etuve (Prolabo, Memmert).
- Boites de pétries.
- Balance (Adventurer).
- Spatule.
- Séries de tamis et une table vibrante (**annexe III-8**).

3.2.2.3 Mode opératoire

- Au début, les échantillons sont mis dans des boites de pétris étiquetées selon les stations.
- Ils sont placés dans l'étuve pendant 24h à une température de 105C°.

- Après le premier séchage, pesé une masse de 100g (P0) d'échantillons.
- Ces derniers ont été rincés dans un tamis de 40µm par l'eau douce du robinet aidé par une agitation manuelle afin d'éliminer les fractions pélitiques.
- Les échantillons ont été remis dans les boites de pétris et placés à l'étuve pendant 24h à 105C°.
- Après le deuxième séchage, peser la nouvelle masse de chaque échantillon (P1).
- On respectant les normes AFNOR pour l'écartement des mailles avec un ordre décroissant ; on a utilisé la série suivante de tamis :
(500µm, 400 µm, 315µm ,250µm, 200µm, 160µm ,140µm ,100 µm, 80 µm, 63µm, 40µm).
- La série de tamis été divisée en deux colonnes de six tamis ; chaque colonne placée sur une table vibrante pendant dix minutes.
- Peser le refus de chaque tamis à l'aide d'une balance de précision en gramme.

3.2.2.3.1 Traitements des données

A partir les masses cumulées, on calcule les pourcentages cumulée et pondérés, après on trace des courbes cumulatives pour chaque stations, ou on met dans l'abscisse les diamètres des grains estimés en micron et dans l'ordonnée, on met les pourcentages des refus cumulées.

Cela nous permettra de comparer les échantillons et de déterminer graphiquement les différents paramètres grâce auxquels nous calculerons les indices granulométriques.

3.2.2.3.1.1 La fraction pélitique

L'étude de la fraction fine consiste, d'abord à évaluer pour chaque échantillon, le pourcentage de cette fraction fine inférieure à 40 µm.

$$P_p(\%) = (P_0 - P_1) * 100 \dots\dots\dots (3)$$

Pp : pourcentage des pélites.

P0: poids initial (g).

P1: poids final (g).

3.2.2.3.1.2 Les indices granulométriques

La médiane (Q50) : Elle correspond au diamètre du grain dont l'ordonnée est à 50% du poids total du sédiment.

Le 1^{er} Quartile (Q25) : Correspond au diamètre du grain représentant 25% en poids du sédiment.

Le 3^{ème} Quartile (Q75) : Correspond au diamètre du grain représentant 75 % en poids du sédiment.

Indice de classement Sorting de Trask (So) : Il permet d'étudier le classement des sédiments.

$$S_0 = (Q75/Q25)^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

Pour le classement, les valeurs adoptées sont les suivantes :

- ✓ So < 1 très bien classé.
- ✓ 1 < So < 2.5 bien classé.
- ✓ 2.5 < So < 3 normalement classé.
- ✓ 3 < So < 4 mal classé.

Indice d'asymétrie Skewness (SK) : Il permet d'évaluer la tendance des sédiments vers le grossier, ou vers le fin.

$$SK = (Q75*Q25)/(Q50)^2 \dots\dots\dots (5)$$

L'asymétrie informe la prédominance ou non de la fraction pélitique ou grossière par rapport à la moyenne de l'échantillon.

- ✓ Si Sk < 1, le classement est maximum vers les fins.
- ✓ Si Sk = 1, la symétrie est parfaite.
- ✓ Si Sk > 1, le classement est maximum vers les grossiers.

Tableau 7: Classifications granulométriques des grains constituant la matrice solide des sédiments (Clement, et al., 1998).

Appellation	Diamètre
Argiles	0 < d < 2 μm
Limons fins	2 μm < d < 20 μm
Limons grossiers	20 μm < d < 50 μm
Sables très fins	50 μm < d < 100 μm
Sables fins	100 μm < d < 200 μm
Sables moyens	200 μm < d < 500 μm
Sables grossiers	500 μm < d < 1 mm
Sables très grossiers	1 mm < d < 2 mm

3.2.3 Métaux lourds

3.2.3.1 Nettoyage des instruments

Les analyses des métaux consistent à prendre en considération le nettoyage et le conditionnement du matériel avant chaque utilisation ; pour avoir des résultats précis en évitant toute contaminations selon les étapes suivantes :

- Lavage au détergent commercial.
- Rinçage avec l'eau douce tiède (l'eau de robinet).
- Rinçage avec l'eau distillée.
- Rinçage avec l'eau acidulé (laisser l'eau acidulé dans les tubes pendant toute une nuit).
- Rinçage avec l'eau Milli-Q (l'eau bidistillée).
- Séchage à l'étuve à une température de 60C°.

3.2.3.2 Traitements des sédiments

3.2.3.2.1 Lyophilisation

Le principe est la déshydratation des échantillons par sublimation qui s'effectue par la libération de l'eau de l'échantillon en passant de la phase solide à la phase vapeur sans passer par la phase liquide.

Passer les échantillons du sédiment bien congelés au lyophilisateur (**ANNEXE III-9**) de type CHRIST, à une basse température de -57 C° et une pression de 0,1 bar pendant 48h.

L'utilisation de lyophilisateur est préférable par rapport à l'étuve, car cette dernière provoque la perte des métaux volatils tels que le mercure.

3.2.3.2.2 Broyage

Après la lyophilisation (**annexe III-10**), l'étape suivante consiste à bien broyer le sédiment à l'aide d'un mortier en porcelaine (**annexe III-11**) jusqu'à ce qu'on obtienne une poudre fine, puis on met cette dernière dans des flacons en plastiques stériles.

3.2.3.2.3 Homogénéisation

Pour avoir une répartition homogène des particules de sédiment dans l'échantillon, et de prélever une quantité de sédiment représentative de l'échantillon, ce dernier nécessite une opération d'homogénéisation qui se fait par un agitateur électrique (**annexe III-12**) pendant quelques minutes.

3.2.3.3 Minéralisation (digestion) pour l'extraction des métaux traces

3.2.3.3.1 Principe de la minéralisation

La digestion consiste à extraire les différents métaux fixés à la surface des particules sédimentaires et piégés par la MO et les minéraux.

3.2.3.3.2 Protocole expérimental

3.2.3.3.2.1 Minéralisation à blanc

Avant l'utilisation des godets (**annexe III-13**), on met dans chaque godet 4ml d'acide nitrique 69%, puis bien les fermer à l'aide de pinces, laisser digérer toute une nuit (minéralisation à froid), chauffer dans une plaque chauffante à 120C° pendant 2h30min, laisser refroidir . Par la suite, nettoyer avec l'eau Milli-Q puis sécher à l'étuve.

3.2.3.3.2.2 Minéralisation des échantillons

Selon le protocole de l'A.I.E.A(2001) :

- Dans un godet en téflon bien stérile, peser environ 0,5g de sédiment lyophilisé.
- Sous une hotte aspirante, ajouter 1,5 ml d'acide nitrique (69%) et 4,5 ml d'acide chlorhydrique (37%) pour former l'eau régale (HNO₃ : HCl, 1 :3 V/V) (**annexe III-14**).
- Fermer hermétiquement les godets à l'aide des pinces et les laisser à température ambiante toute une nuit pour la digestion à froid afin d'éviter un début de réaction trop brusque.
- On met les godets dans une plaque chauffante à 120C° pendant 2h30min.
- Laisser les échantillons refroidir, puis on ouvre les godets et on transfère les minéralisâtes dans des tubes coniques en polypropylène de 50ml qui sont déjà remplis avec 0,5ml d'eau Milli-Q.

- On rince les godets avec l'eau bidistillée au moins 3 fois en récupérant les rinçages des godets dans les tubes coniques et on ajuste jusqu'au trait de jauge de 50 ml avec l'eau Milli-Q.
- Agiter les solutions obtenues, étiqueter les tubes et les garder verticalement dans un réfrigérateur à 4°C pour la décantation des sédiments et pour éviter toute perte et contamination.

3.2.3.3.2.2.1 Le blanc

Pour le blanc, on met 1,5 ml d'acide nitrique (69%) et 4,5 ml d'acide chlorhydrique 37% pour former l'eau régale ($\text{HNO}_3 : \text{HCl}, 1 : 3 \text{ V/V}$) sans échantillon et on termine avec les mêmes étapes de la minéralisation des échantillons.

3.2.3.4 Analyse des métaux traces

3.2.3.4.1 La spectrométrie d'adsorption atomique (SAA)

C'est une technique d'analyse, qui permet de déterminer et de quantifier de faibles teneurs en éléments traces métalliques (E.T.M.) (Belabed, 2006), suivant l'absorption d'une radiation caractéristique de l'élément chimique recherché.

3.2.3.4.1.1 Principe de la SAA

Le principe de la mesure repose sur la vaporisation (ou atomisation) de l'échantillon liquide par une source de chaleur (atomiseur = flamme ou four graphite électrothermique) (Tessier, 2012).

Un faisceau parallèle de lumière monochromatique traverse une flamme dans laquelle on introduit l'élément sous forme de fines gouttelettes pulvérisées. Une partie du faisceau incident de la lampe est alors absorbée par la vapeur atomique présente dans la flamme ou dans le four suivant le cas d'analyse.

Il repose aussi sur le principe d'un atome soumis à un rayonnement d'énergie (E) pour passer d'un état fondamental à état excité caractérisé par des énergies à un niveau d'énergie plus élevé et instable. Le retour de l'atome à son état fondamental suivi de l'émission d'un rayonnement photospécifique caractérisé par une longueur λ .

3.2.3.4.1.2 Description de la méthode d'analyse

Tableau 8: Condition d'analyse par flamme.

Les éléments	Zn	Mn	Fe	Cu
Raie analytique (nm)	213,9	279,6	248,3	324,8
Intensité de lampe (mA)	6,5	9	15	9
Largeur de fente (nm)	1,3	0,4	0,2	1,3
Temps de lecture	3 secondes	3 secondes	3 secondes	3 secondes
Système de correction	Effet Zeeman	Effet Zeeman	Effet Zeeman	Effet Zeeman
Source d'atomisation	flamme	flamme	flamme	flamme
Type de flamme	Air-acétylène	Air-acétylène	Air-acétylène	Air-acétylène

3.2.3.4.1.3 La loi de Beer-Lambert

L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la loi de Beer-Lambert (Audigie et al, 1995).

La densité optique d'une solution d'une substance absorbante dépend de l'épaisseur de la solution traversée et de la concentration de la solution, d'où l'équation :

$$I = I_0 \times e^{-K.L.C} \dots\dots\dots (6)$$

I_0 : intensité de l'énergie lumineuse émise (incidente).

I : intensité de l'énergie lumineuse transmise.

K : coefficient d'absorption atomique (cte).

L : longueur du trajet optique (cte).

C : concentration de l'élément absorbant.

3.2.3.4.1.4 Appareillage

L'appareil employé pour le dosage des éléments métalliques est un spectrophotomètre HITACHI, modèle Z-5000 (annexe III-15), avec type de correction de l'absorbance non

spécifique (ANS) par utilisation de l'effet Zeeman (courbe bleu). Cet appareil est principalement constitué de (HITACHI, 2000) :

- Source d'atomisation.
- Source de radiation.
- Brûleur.
- Monochromateur.

✓ **Source de radiation**

La source de radiation est spécifique selon les métaux étudiés. Pour cela nous utilisons une lampe à cathode creuse constituée par le métal à analyser et qui émet sous tension le spectre de l'élément.

La lampe à cathode creuse est actuellement la plus fréquemment adoptée. Sa fabrication est bien maîtrisée et sa durée de vie a sensiblement été améliorée. En effet, elle fournit généralement un service supérieur à 500 heures, dépassant souvent 1000 heures.

✓ **Source d'atomisation**

Afin de permettre le passage des métaux de la forme ionique à la forme atomique, on utilise la source d'atomisation suivante :

- **Source d'atomisation par flamme**

C'est le moyen le plus simple consiste à nébuliser l'échantillon dans une flamme, la géométrie et la stabilité de cette dernière a une influence sur la qualité des mesures. Le brûleur est l'élément le plus important dans le photomètre d'absorption, dans ce dernier on cherche une flamme large, alors on tend à élargir le panache ou va se produire l'absorption (Audigie et al, 1985).

La source d'atomisation par flamme a été utilisée pour la détection du manganèse (Mn), du Zinc (Zn), du Cuivre (Cu) et du fer (Fe). Les métaux sont atomisés par le biais d'un brûleur à flamme, alimenté par le mélange air-acétylène. Au brûleur est couplé un nébuliseur qui transforme la solution aspirée au moyen d'un capillaire en aérosol, injectable directement dans la flamme.

3.2.3.4.1.5 Etalonnage

Pour l'analyse des métaux, On a utilisé quatre solutions standards pour le zinc, le fer et le cuivre, et cinq solutions standards pour le manganèse, de concentrations croissantes (S1, S2, S3, S4, S5).

Les concentrations choisies pour les solutions étalons sont :

- Pour le zinc : 300, 600,900 ng/l ;
- Pour le manganèse : 500, 1000, 1500,4000 ng/l ;
- Pour le fer : 4000 8000 1200 ng/l
- Pour le cuivre : 300, 600,900 ng/l

Tracer la courbe d'étalonnage par les absorbances mesurées, absorbance=f (concentrations) et on obtient la forme d'une fonction affine.

$$Y=aX +b \dots\dots\dots (7)$$

Où :

Y : Densité optique (DO).

X : Concentration du métal à analyser.

a : Pente de la courbe.

b : Ordonnée à l'origine.

A l'aide de la droite d'étalonnage, nous pouvons déterminer les concentrations inconnues en métaux des échantillons de sédiments marins à analyser.

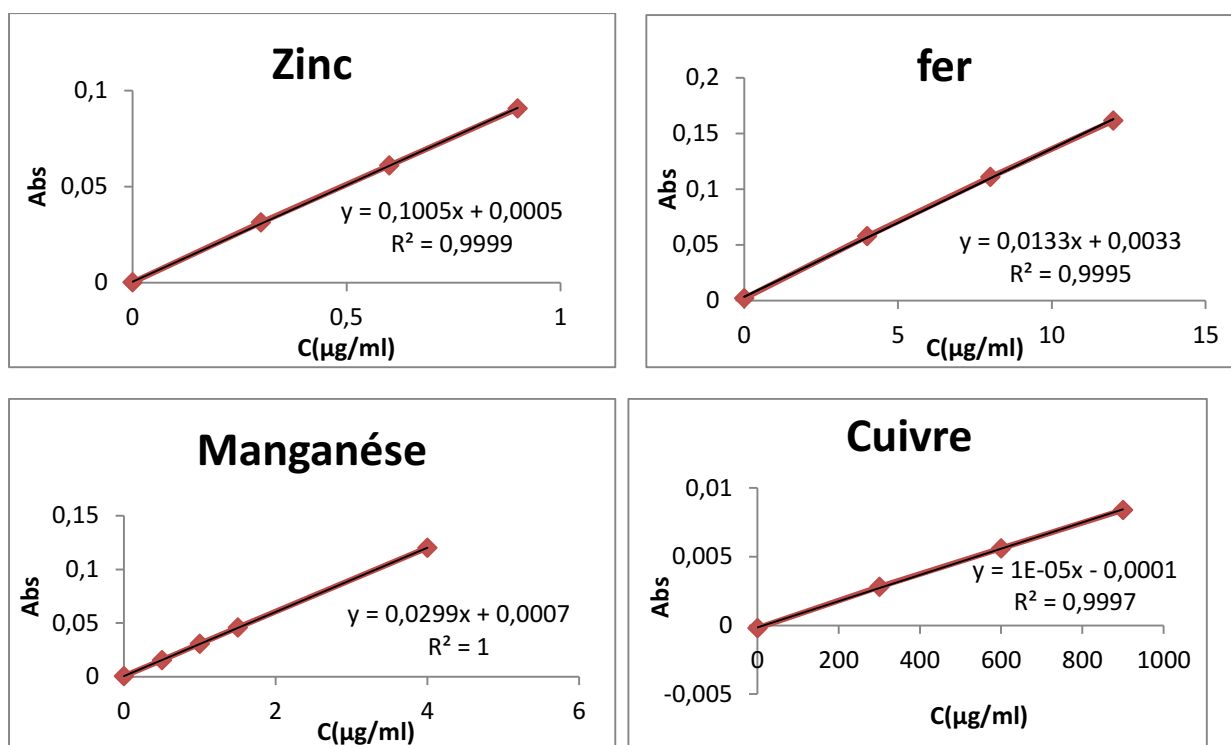


Figure 19 : Droites d'étalonnage des métaux traces analysés.

3.2.3.4.2 Calcul des concentrations des métaux : (Azemard, 1997)

$$\text{Concentration } (\mu\text{g/g}) = \frac{(C - C_b) * V * F}{P} \dots\dots\dots (8)$$

P : est le poids d'échantillon de départ (prise d'essai en mg) 0,5 g pour l'échantillon et 0,25 g pour l'inter-calibration.

V : le volume final du minéralisa en ml (50ml).

C : la concentration en élément mesurée dans le minéralisa en µg /l.

C_b: la concentration en élément mesurée dans le blanc en µg /l.

F : facteur de dilution (=1 si il n'y a pas de dilution).

3.2.3.4.3 Indice de contamination

Tableau 9: Concentrations normales des métaux lourds dans les sédiments selon les normes algériennes, françaises et hollandaises ($\mu\text{g/gde MS}$) (Alzieu, 1999 ; DGE).

	Zn	Mn	Fer	Cu
Algériennes	500	/	/	150
Françaises	88	400	20000	26
Hollandaises	140	/	/	36

L'indice de contamination correspond au rapport de la concentration observée sur la concentration considérée comme normale.

$$\text{IC} = \frac{\text{concentration observé}}{\text{concentration normal}} \dots\dots\dots (9)$$

L'interprétation de l'état de pollution par l'IC est faite comme suit :

- **IC < 3** : les sédiments correspondants sont considérés comme normaux.
- **3 ≤ IC ≤ 10** : l'indice de contamination caractérise des sédiments pollués.
- **IC > 10** : les sédiments correspondants des risques pour les écosystèmes marins.

Chapitre IV

Résultats et discussion

4 Chapitre IV : résultats et discussion

4.1 Analyse granulométrique

4.1.1 Résultats de l'analyse granulométrique

Les résultats de l'analyse granulométrique des sédiments prélevés dans 17 stations dans la baie de Bou-Ismaïl, sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10 : Valeurs des différents indices granulométriques et des quartiles (Q25, Q50, Q75) au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.

station	Q25 (μm)	Q50 (μm)	Q75 (μm)	S0	SK
B1	0,496	29,527	35,265	8,424	0,020
B2	0,344	18,020	30,747	9,450	0,032
B3	0,884	7,622	42,558	6,935	0,648
B4	0,205	15,070	37,041	13,416	0,033
B5	5,887	31,873	44,645	2,753	0,258
B6	1,039	23,098	34,737	5,781	0,067
B7	0,525	12,380	39,579	8,675	0,135
B8	1,001	20,718	36,418	6,030	0,084
B9	15,730	46,825	48,593	1,757	0,348
B10	3,026	25,272	31,975	3,250	0,151
B11	39,063	42,096	57,777	1,216	1,273
B12	0,919	17,102	28,609	5,579	0,089
B13	1,076	5,369	28,163	5,115	1,051
B14	7,415	13,241	40,095	2,325	1,695
B15	7,161	14,746	43,180	2,455	1,421
B16	0,366	17,157	25,735	8,379	0,032
B17	4,131	37,112	39,361	3,086	0,118

4.1.2 Interprétation des résultats de l'analyse granulométrique

Le 1^{er} quartile (Q25) : les valeurs de Q25 varient entre 0,205 μm (station B4) et 39,063 μm (station B11). D'après la classification de Clément et al, (1998), on trouve de l'argile et du limon grossier et fin. La moyenne du Q25 est de 5,251 μm , il y a donc prédominance du limon fin.

Le 3^{ème} quartile (Q75) : les valeurs de Q75 varient entre 25,735 μ m dans la station B16 et 57,777 μ m dans la station B11. D'après la classification de Clément, et al, (1998), on trouve du limon grossier et sable très fin. La moyenne de Q75 est de 37,910 μ m, il y a donc prédominance de limon grossier.

La médiane (Q50) : d'une manière générale, les sédiments sont hétérogènes, les valeurs de la médiane varient entre 5,369 μ m (station B13) et 46,825 μ m (station B9). En plus la moyenne de Q50 est 22,190 μ m, ceci traduit en majorité selon Clément, et al, (1998), la prédominance de limon grossier.

Indice de classement Sorting de Trask (SO) : les valeurs de SO dans les 17 stations varient entre 1,216 (station B11) et 13,416 (station B4), avec une moyenne de 5,566 μ m ce qui se traduit par un très mal classement des sédiments de l'embouchure d'oued Mazafran selon le classement Sorting de Trask qui est présente dans la figure suivante.

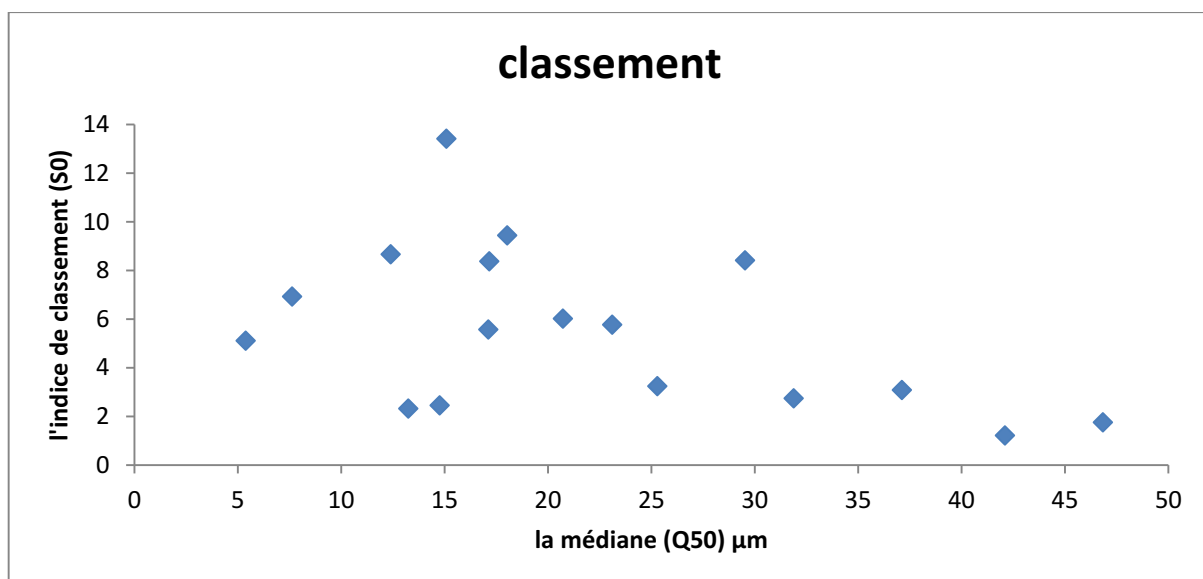


Figure 20 : Relation entre l'indice de classement et la médiane.

L'asymétrie (SK) : d'après les valeurs d'asymétrie qu'on a :

- 76,47% des échantillons (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B12, B16, B17) ont un $SK < 1$, ce qui signifie que le classement du sédiment maximal est du côté fin.
- 23,53% des échantillons (B11, B13, B14, B15) ont un $SK > 1$, ce qui se traduit par un classement du sédiment vers le côté grossier.

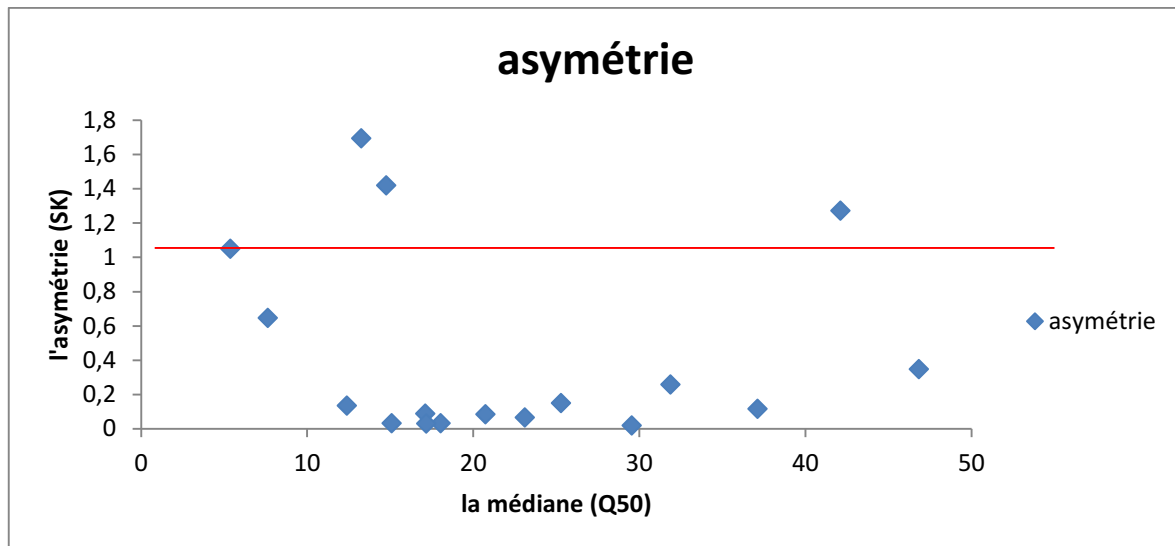


Figure 21 : Relation entre l'indice d'asymétrie et la médiane.

Les courbes granulométriques : Nous décrirons les traits essentiels des courbes granulométriques cumulatives des échantillons analysés.

Les courbes ne sont pas généralement redressées ce qui traduit qu'il y a des sédiments ne sont pas homogènes.

Dans l'ensemble, les courbes ne sont pas en pente, ce qui souligne le très mal classement des sédiments.

Notons également qu'il y a des sédiments qui sont mélangés à des débris de coquilles et végétaux en grande quantité.

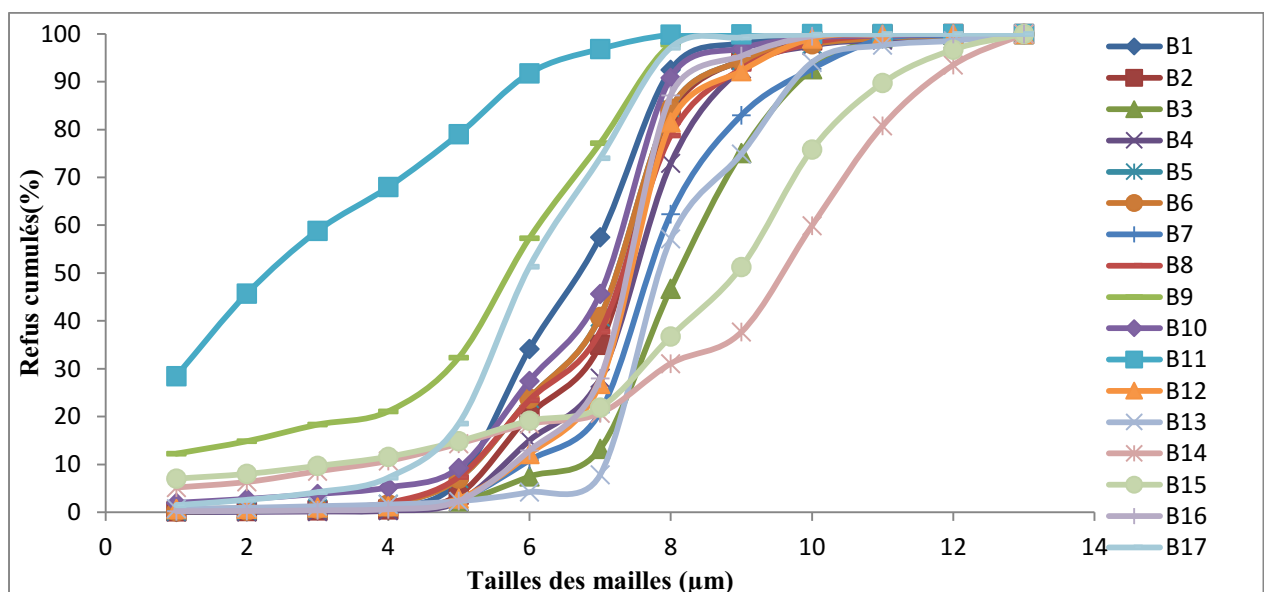


Figure 22: Refus cumulée de toutes les stations étudiées.

4.1.3 La fraction pélitique

Selon la figure 21, le taux de pélites varie entre un minimum de 7.05% trouvé dans la station B2 et un maximum de 81.11% dans la station B14. On remarque que le taux de pélite augmente en allant vers le large, les taux les plus faibles de la fraction pélitique se retrouvent dans la côte là où on observe gradient élevé de courant. On constate alors que la présence ou l'absence des pélites est conditionnée par la puissance du courant et la remise en suspension des sédiments.

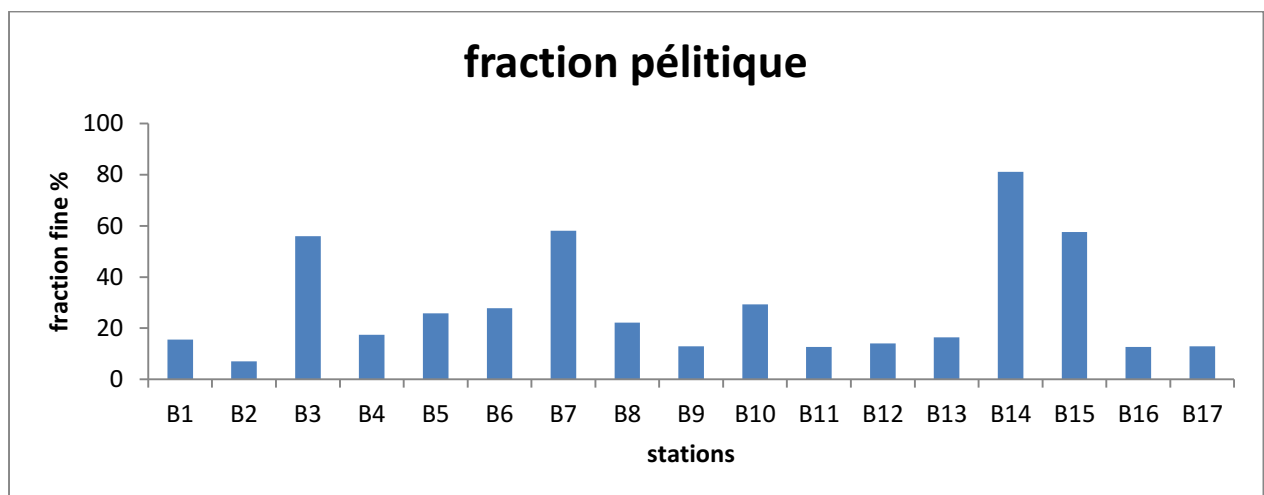


Figure 23 : Taux de pélites dans les stations étudiées

4.2 Matière organique

Selon la figure 22, le taux de la matière organique varie entre un minimum de 3,68% trouvé dans la station B9 qui se situe à 4,6m de profondeur, et un maximum de 13,46% dans la station B7 qui se situe à 19,4m de profondeur, avec une moyenne de 7,12%.

Le taux de la matière organique augmente de la côte vers le large. On peut expliquer cette répartition par l'oxydation rapide de la matière organique dans les zones moins profondes par rapport aux zones plus profondes, ainsi que la caractérisation de la zone côtière par la granulométrie grossière au contraire au large on trouve la granulométrie fine.

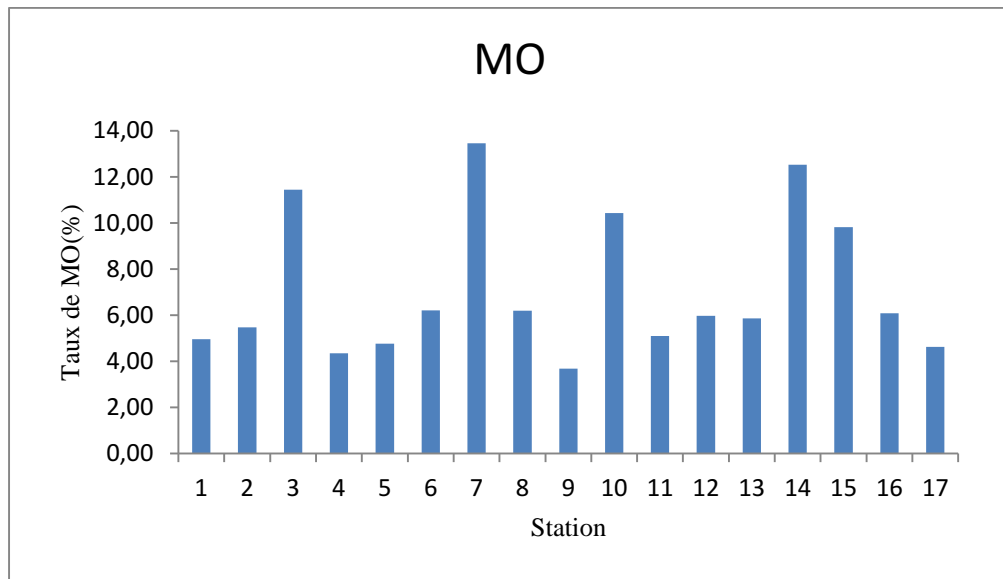


Figure 24 : Taux de la matière organique dans les stations étudiées.

4.3 Métaux traces

4.3.1 Le zinc

Les concentrations en zinc sont comprises dans l'intervalle [52,35-167,04] $\mu\text{g/g}$ de poids sec. La moyenne de cette distribution est de 81,58 $\mu\text{g/g}$.

La plus faible teneur s'observe à la station 11. La teneur la plus élevée quant-à-elle se trouve à la station 7 de profondeur 19,4m, qui se situe à l'est d'oued Mazafran.

D'une manière générale, et selon la carte de répartition des teneurs en zinc dans la figure 23, les valeurs élevées des concentrations de zinc sont situées à l'est d'oued Mazafran, ces augmentations sont dues probablement aux rejets anthropiques principalement charriés par cet oued, et probablement la fertilité de ce secteur par les substances organiques.

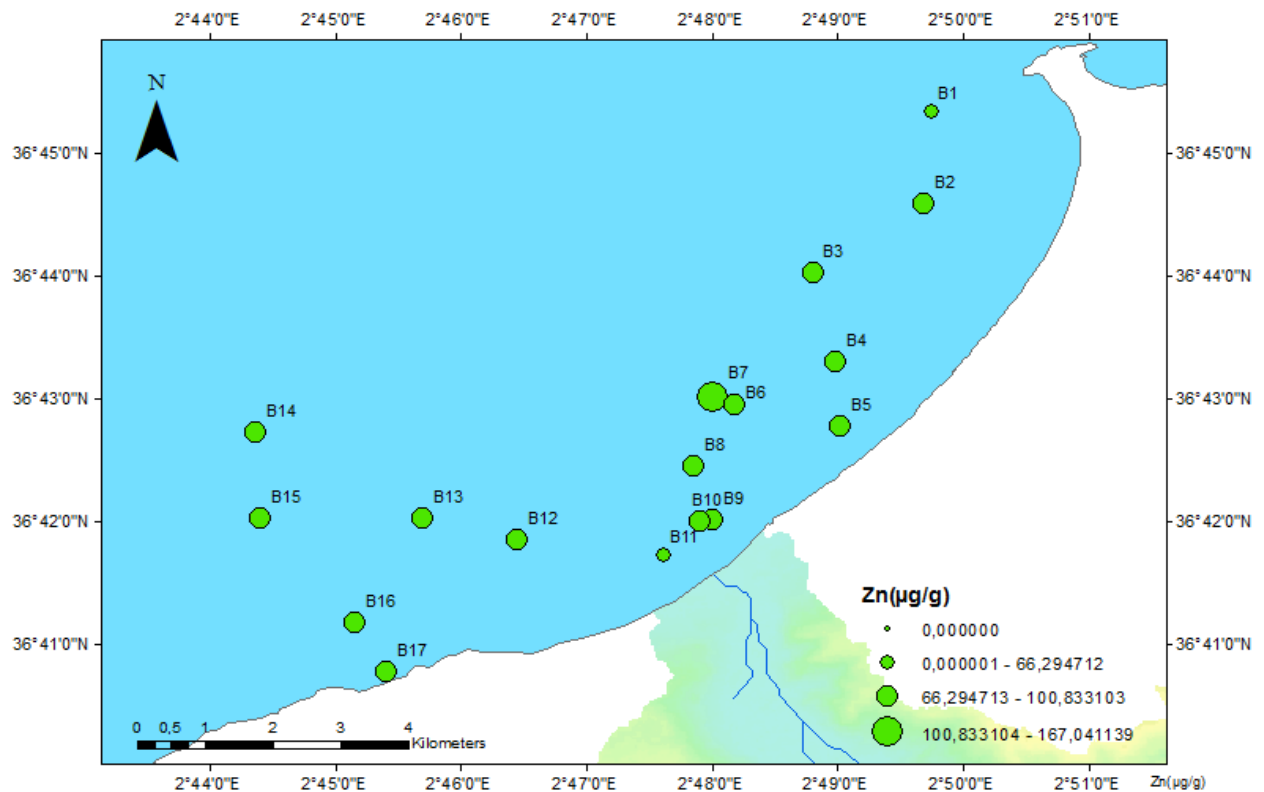


Figure 25 : La répartition du zinc dans les sédiments superficiels dans la baie de Bou-Ismaïl.

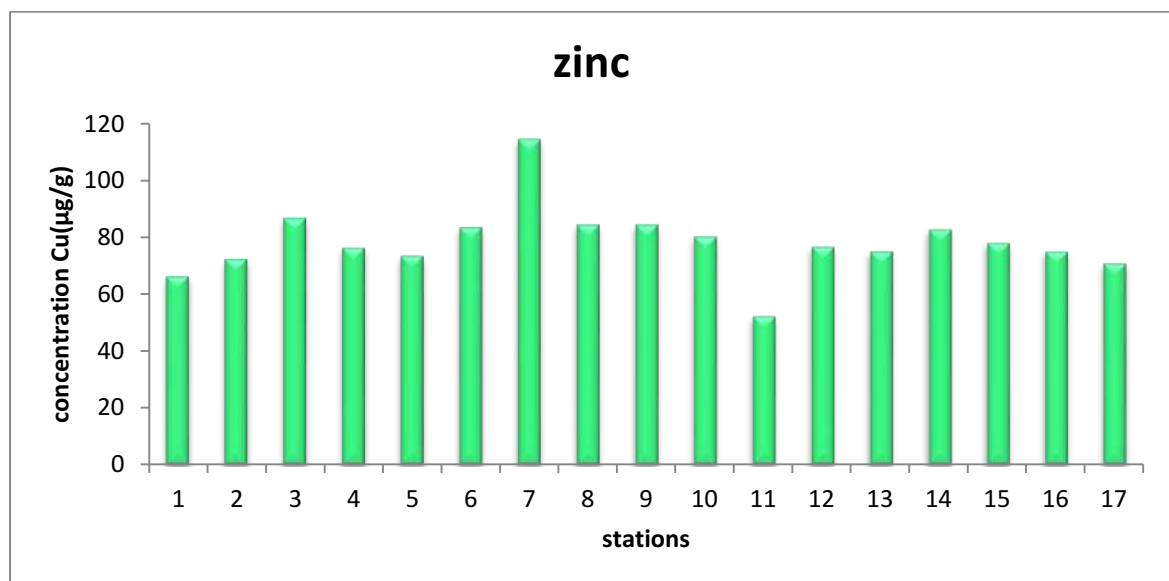


Figure 26 : Histogramme présentant la concentration du zinc dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

4.3.2 Le fer

Le fer contenu dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl a des valeurs comprises entre 11,99287 mg/g et 20,34606 mg/g de poids sec avec une moyenne de 16217,95µg/g. On

trouve la plus haute valeur à la station 8 qui se situe à l'est d'oued Mazafran, et la plus basse valeur à la station 14 qui se trouve au large.

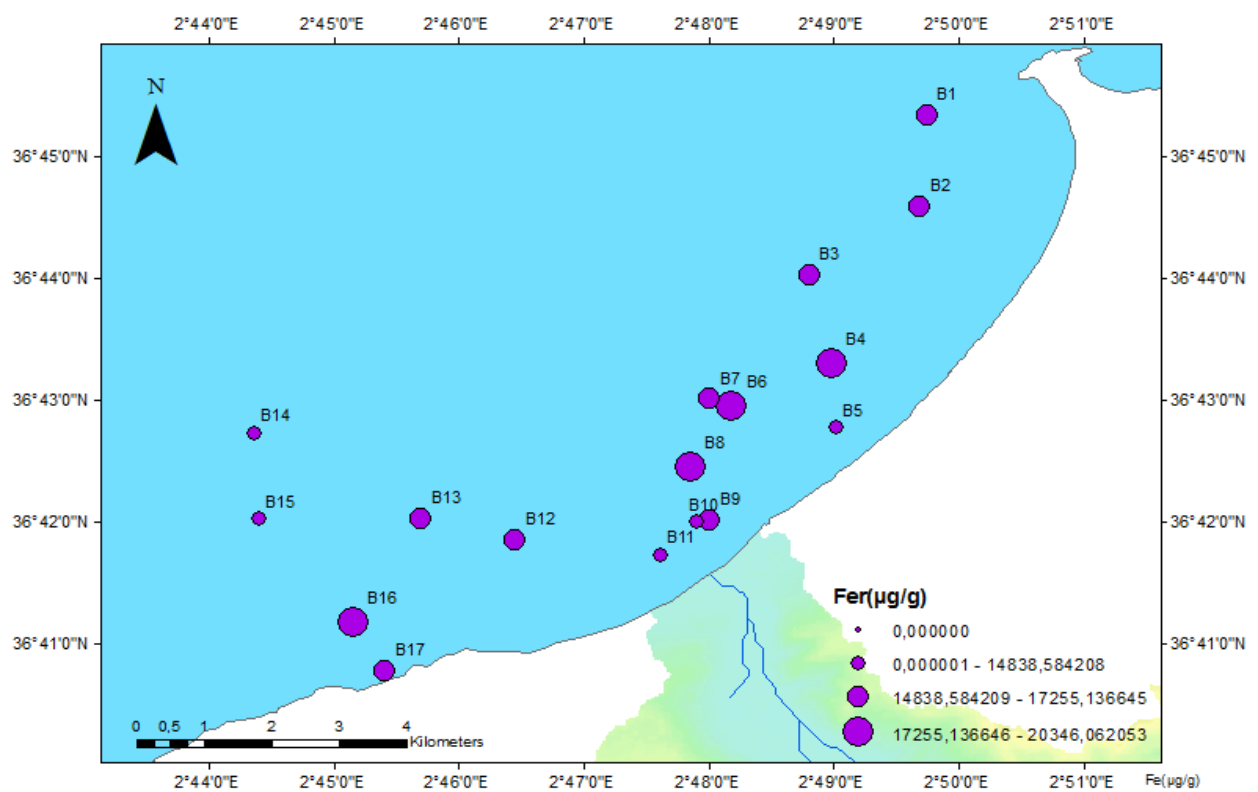


Figure 27 : La répartition du fer dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

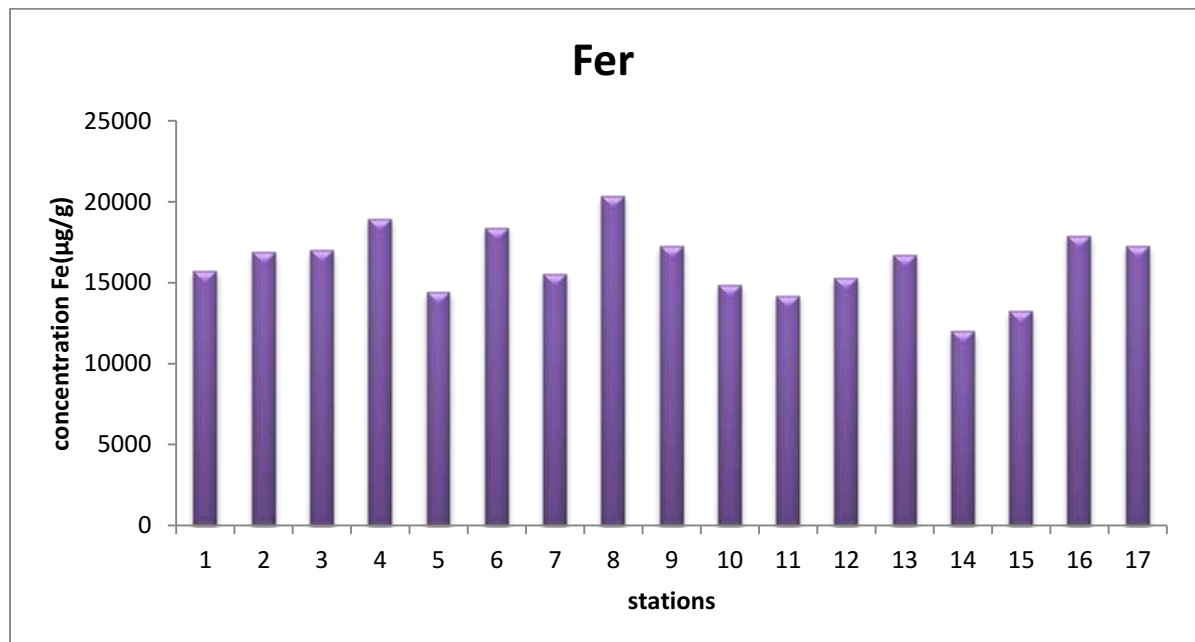


Figure 28 : Histogramme présentant la concentration du fer dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

4.3.3 Le manganèse

Les concentrations de manganèse dans les sédiments de la baie de Bou-Ismaïl sont presque identiques, elles varient entre $215,34\mu\text{g/g}$ et $303,78\mu\text{g/g}$, elles ont une moyenne de $276,20\mu\text{g/g}$. On remarque que les concentrations diminuent de la côte vers le large, et on peut expliquer les concentrations élevées de ce métal par le phénomène de floculation observé par Chester, et al, (1985) (précipitation rapide à l'interface eau douce-eau salée).

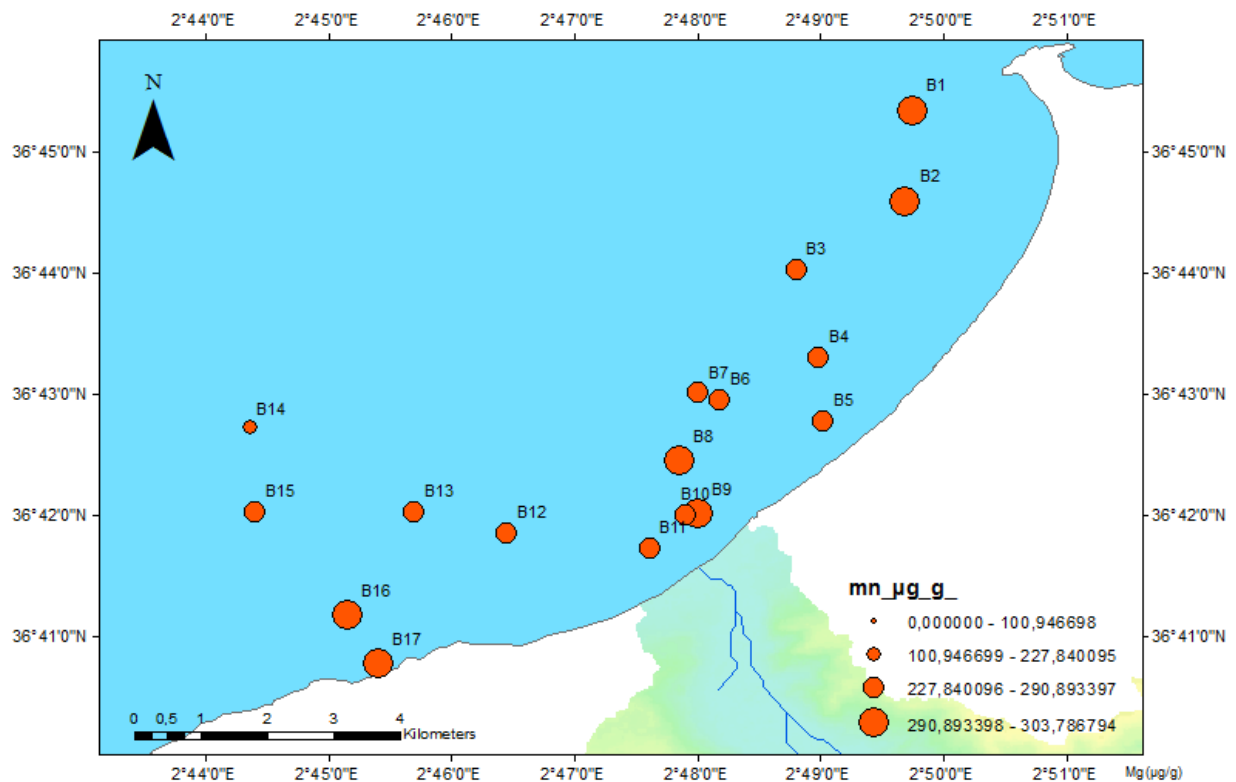


Figure 29 : Répartition du manganèse dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

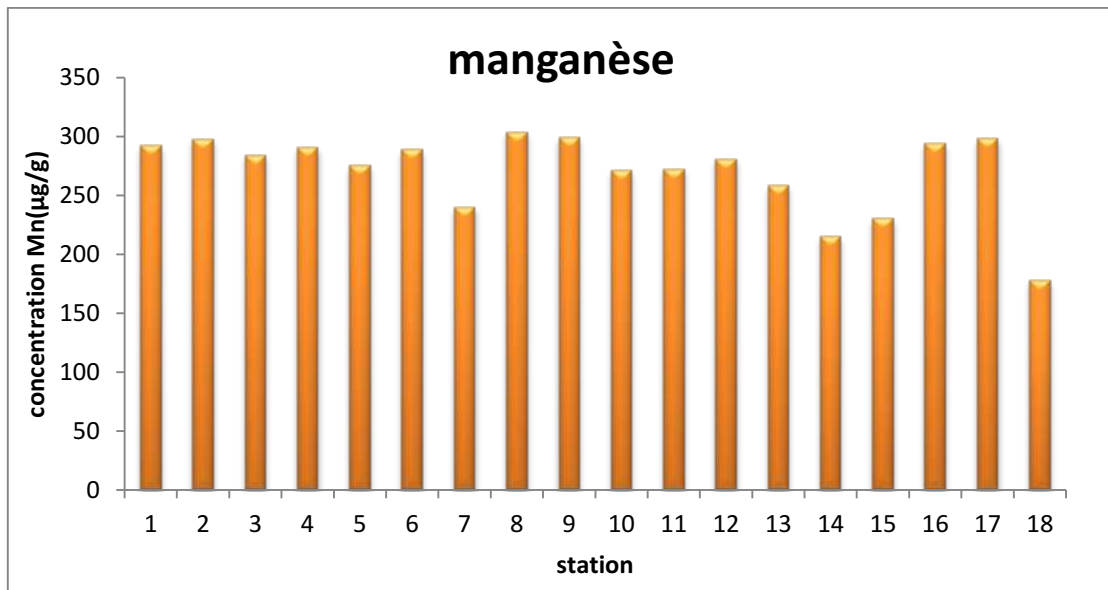


Figure 30: Histogramme présentant la concentration du manganèse dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

4.3.4 Le cuivre

Les teneurs en cuivre dans les sédiments superficiels varient dans l'intervalle $2,78\mu\text{g/g}$ dans la station 7 et $28,70\mu\text{g/g}$ dans la station 17 qui se situe à l'ouest d'oued Mazafran, avec une moyenne de $9,98\mu\text{g/g}$. D'après la carte de distribution de cuivre, on constate que oued Mazafran est la source naturelle ou anthropique de cuivre, vu que c'est une zone d'agriculture, on peut considérer que l'utilisation de fertilisants (phosphate de cuivre) est la source anthropique.

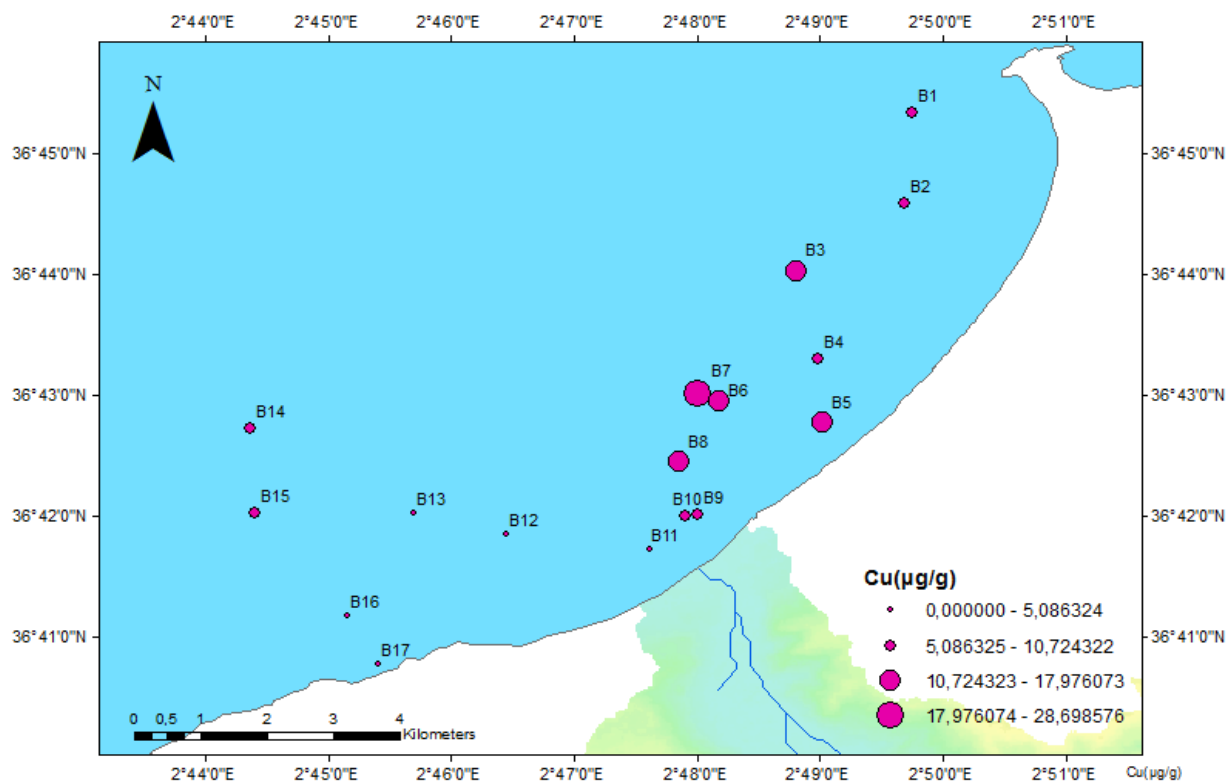


Figure 31 : Répartition du cuivre dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

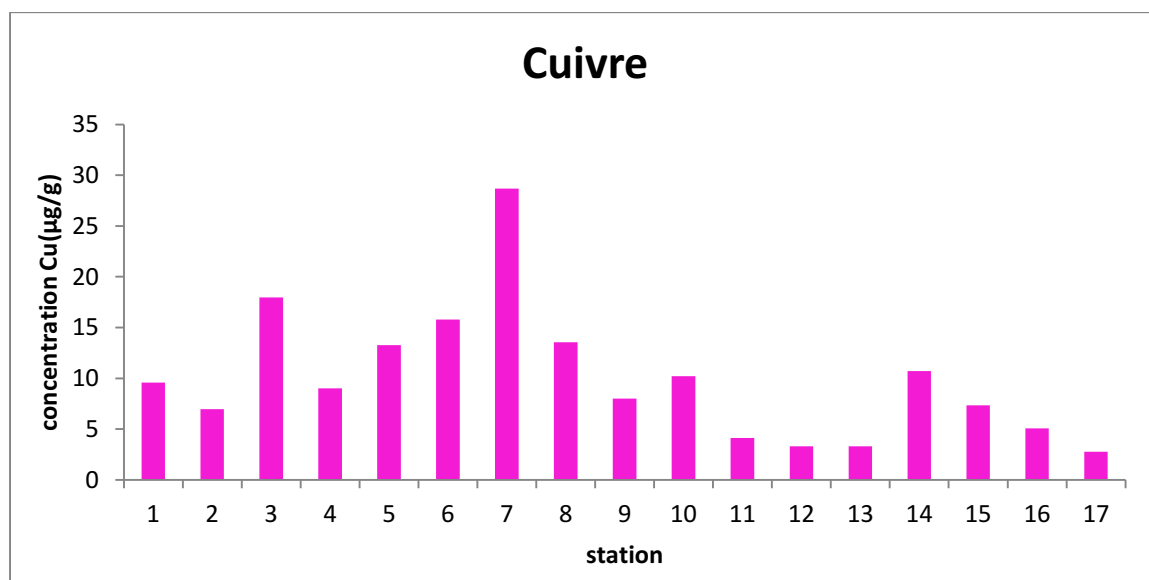


Figure 32 : Histogramme présentant la concentration du cuivre dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

4.3.5 Calcul de l'Indice de Contamination

Pour déterminer le niveau de contamination des sédiments superficiels par les quatre métaux traces analysés dans cette étude, les concentrations de ces éléments métalliques sont comparés

à des données considérées comme valeurs de références selon les normes algériennes les normes françaises par le calcul de l'indice de contamination. Les résultats du calcul de ces indices sont présentés dans le **tableau11**. Ces résultats montrent que les teneurs déterminées pour tous les métaux étudiés dans le sédiment superficiel sont considérées comme normales.

Tableau 11: Résultat des indices de contaminations métalliques dans le sédiment superficiel.

métaux	IC selon les normes algériennes		IC selon les normes françaises		interprétation
	Intervalles des IC	Moyenne ($\mu\text{g/g}$) (n=17)	Intervalles des IC	Moyenne ($\mu\text{g/g}$) (n=17)	
Zn	0,05-0,33	0,16	0,28-1,90	0,89	Concentrations normales pour toutes les stations (IC < 3)
Mn	/	/	0,54-0,76	0,69	Concentrations normales pour toutes les stations (IC < 3)
Cu	0,02-0,19	0,07	0,11-1,10	0,38	Concentrations normales pour toutes les stations (IC < 3)
Fe	/	/	0,60-1,02	0,81	Concentrations normales pour toutes les stations (IC < 3)

4.4 Applications statistiques

4.4.1 Corrélations métaux traces-médiane dans les sédiments superficiels

Les résultats obtenus montrent qu'il y a des corrélations non significatives pour tous les métaux, ça peut être dû au mauvais temps.

Tableau 12 : Corrélations métaux traces-médiane dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl.

corrélation	R^2	conclusion
Zn-Q(50)	0,117	Corrélation non significative
Fe-Q(50)	0,00	Corrélation non significative
Mn-Q(50)	0,167	Corrélation non significative
Cu-Q(50)	0,074	Corrélation non significative

4.4.2 Corrélation médiane-MO

On remarque qu'il y a une faible corrélation significative entre la médiane et le taux de la M.O. Le graphe suivant nous donne l'information que plus la médiane est faible, plus le taux de la M.O augmente, comme on a mentionné dans la répartition de la M.O.

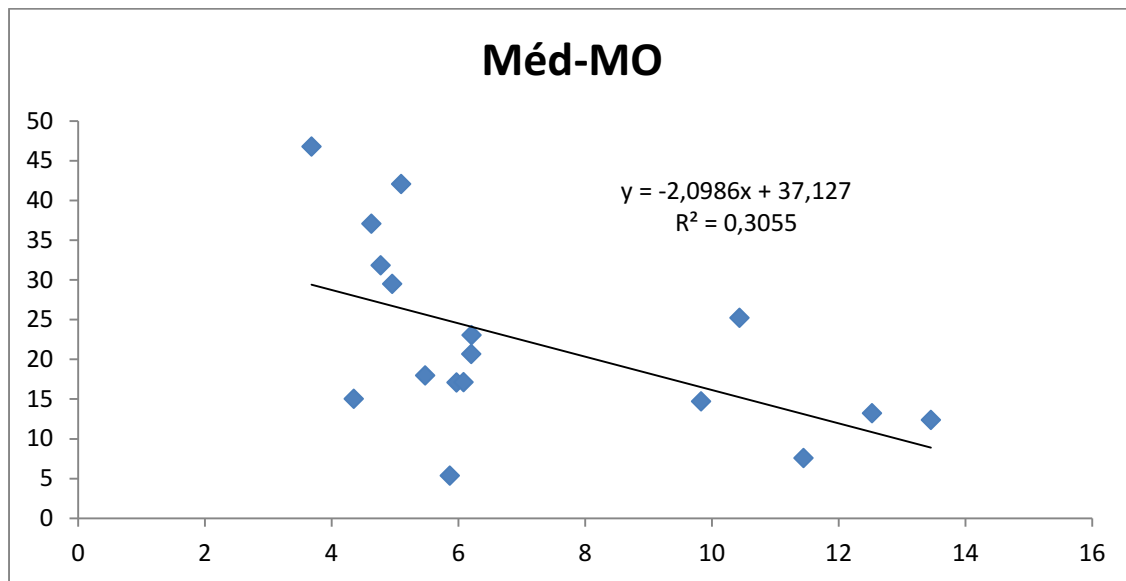


Figure 33 : Corrélation entre la médiane et la matière organique.

4.4.3 Corrélation métaux traces-fraction pélitique

D'après les résultats obtenus, on remarque qu'il y a des corrélations significatives entre tous les métaux et le taux de pélites, ça nous montre que les concentrations des métaux traces sont relatives au taux de pélites, car la surface de contact de cette dernière est très importante. De plus elle est chargée négativement, ce qui favorise la fixation des métaux sur cette fraction pélitique.

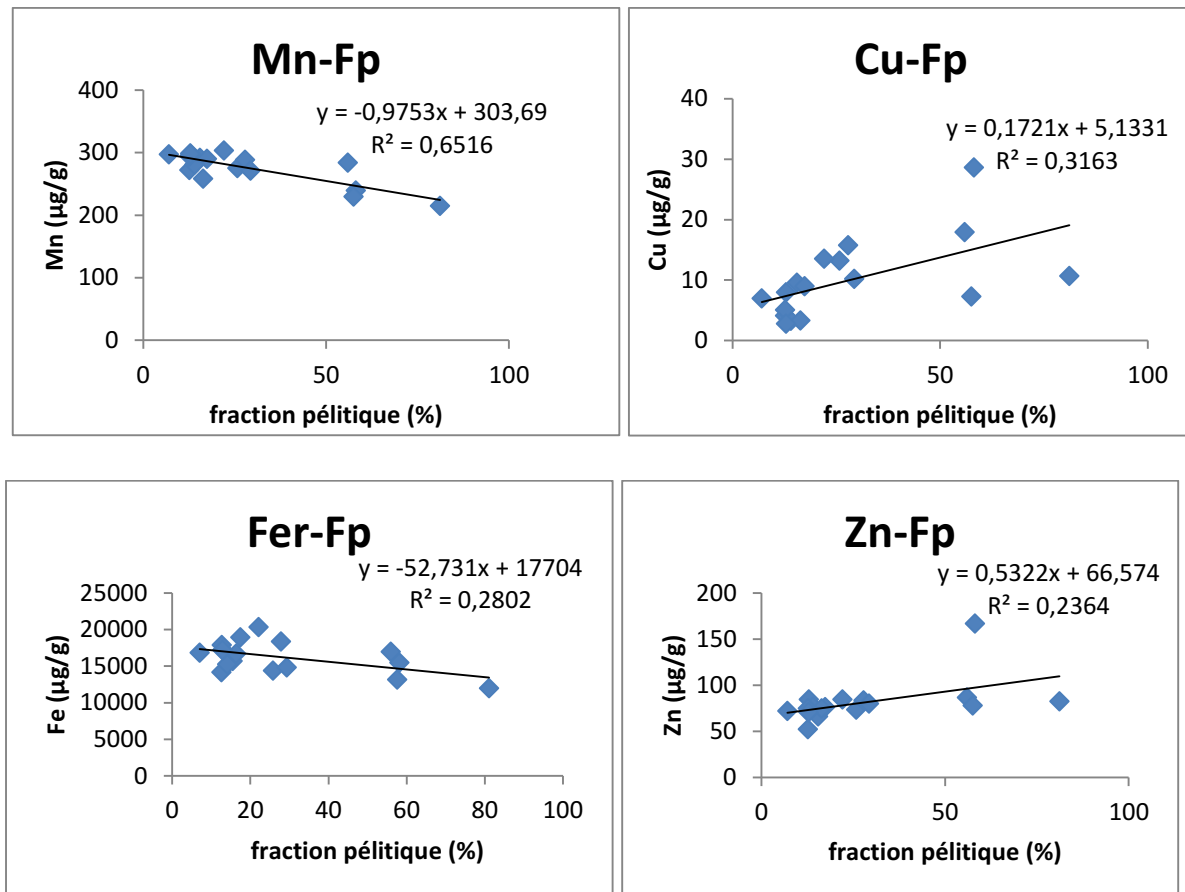


Figure 34: Corrélations métaux traces-fraction pélitique dans les sédiments de la baie Bou-Ismail.

4.4.4 Corrélation MO-fraction pélitique

On sait qu'il y a une corrélation significative entre la fraction pélitique et le taux de la M.O, le graphe suivant nous indique que plus le taux de la fraction pélitique augmente, plus le taux de la M.O augmente, c'est dû aux caractéristiques des pélites qu'on a mentionnées précédemment.

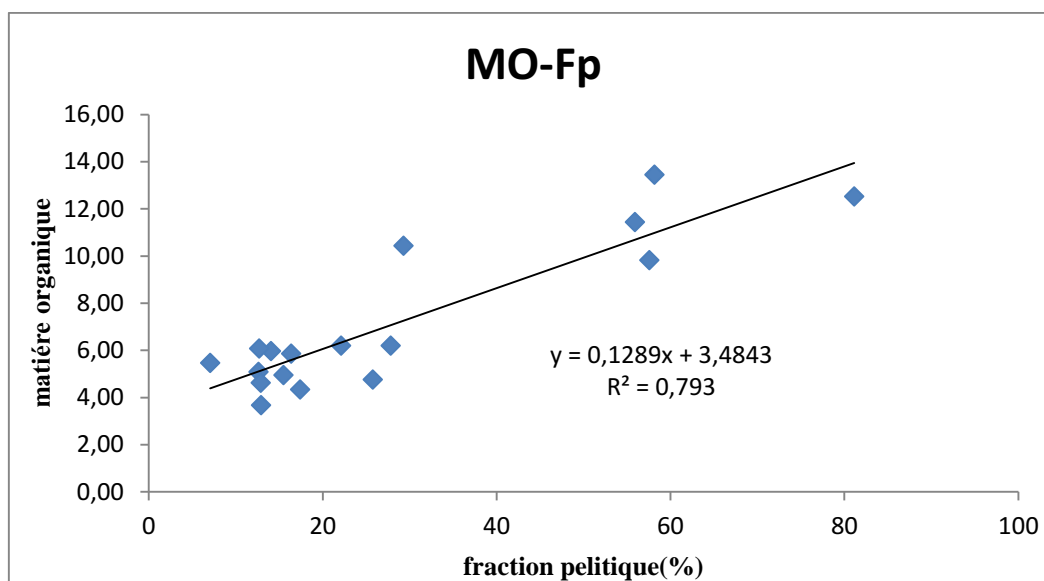


Figure 35 : Corrélation entre la matière organique et la fraction pélitique.

4.4.5 Corrélation métaux traces-MO

On sait que la MO est le processus de transport des métaux traces, alors les corrélations sont significatives entre les métaux et la MO.

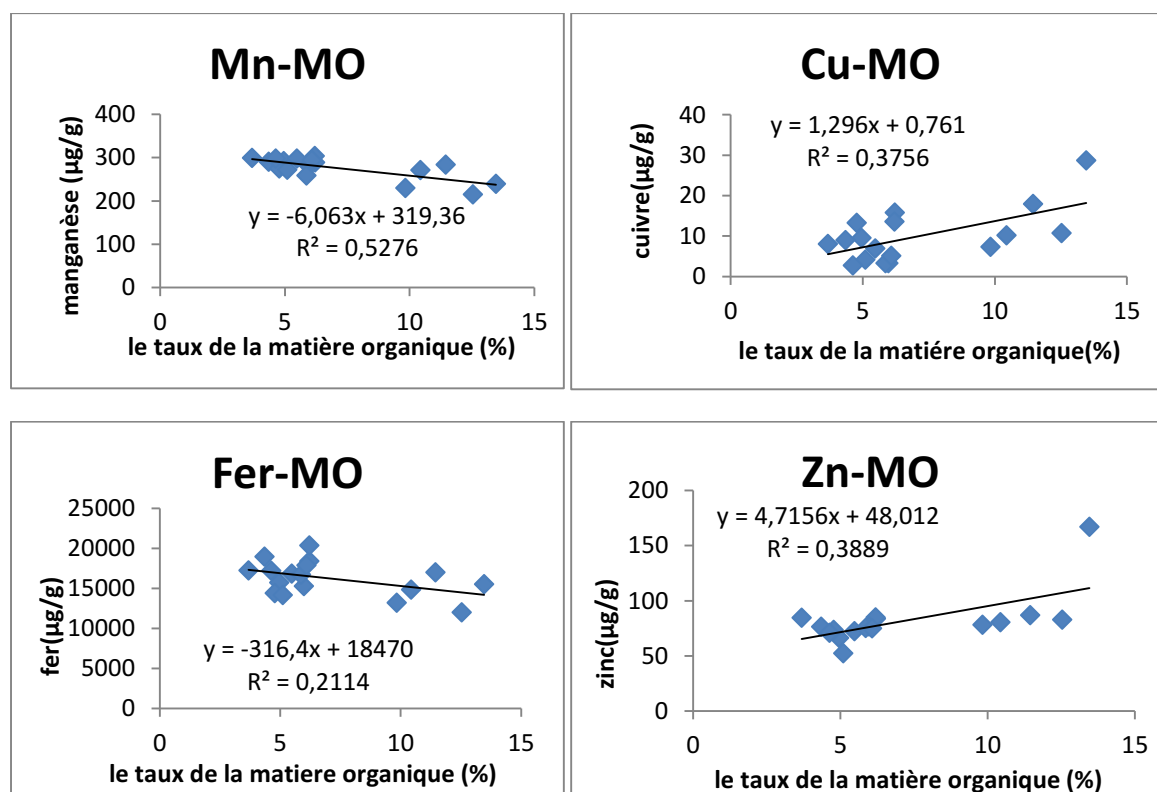


Figure 36: Corrélation entre les métaux traces et la matière organique.

4.4.6 Corrélation inter-métaux traces

Les résultats obtenus sur les 17 échantillons révèlent pour les quatre métaux traces analysés deux corrélations significatives, avec un coefficient de corrélation ($r^2=0,676$) entre le zinc et le cuivre, et un coefficient de corrélation ($r^2=0,607$) entre le manganèse et le fer. Ces résultats signifient que chaque 2 éléments d'un couple évoluent dans le même sens et peuvent avoir la même origine et la même source de contamination.

D'abord, on remarque que ces deux couples évoluent entre eux dans le sens inverse, ça veut dire la croissance d'un couple dans une station fait face à la décroissance de l'autre couple dans la même station.

En plus, les autres couples métalliques tels que : Zn-Mn, Fe-Cu ont un coefficient de corrélation très faible ($<0,13$), alors ils n'ont probablement pas la même source naturelle ou anthropique.

Pour le couple Fe-Zn, il a un coefficient de corrélation nulle, ça veut dire que ces deux métaux évoluent indépendamment l'un de l'autre et qu'ils ont des sources différents et des apports non réguliers.

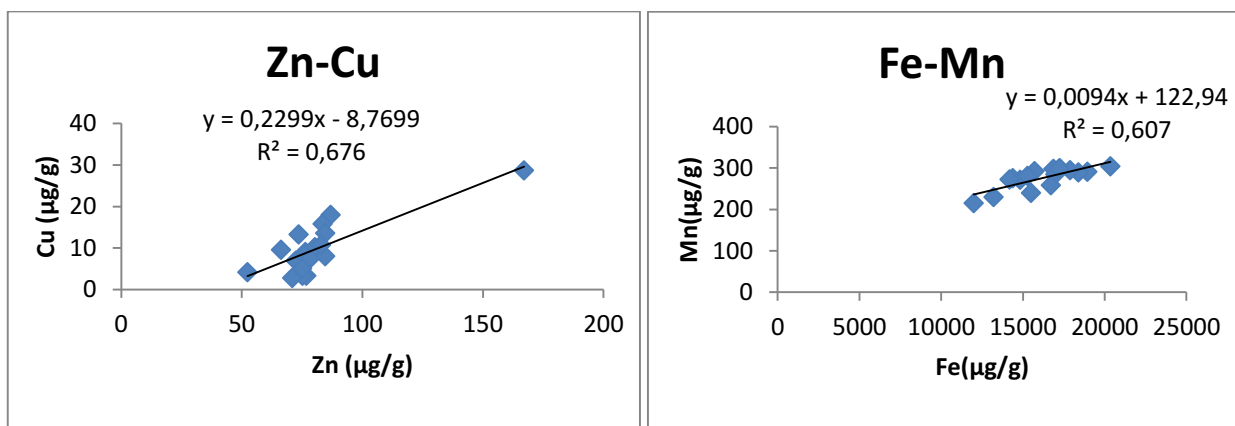


Figure 37 : Corrélations positives inter-éléments dans les sédiments de la baie de Bou-Ismaïl.

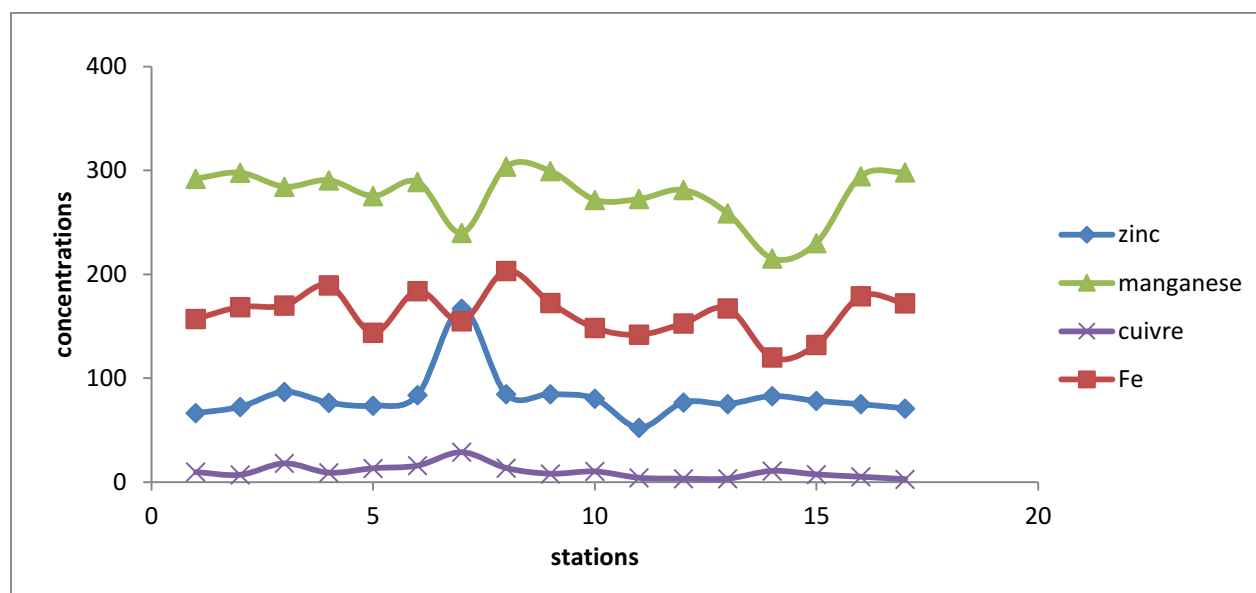


Figure 38 : Variations des concentrations en métaux traces dans les sédiments superficiels de la baie.

4.5 Comparaison des teneurs en métaux avec celles d'études antérieures

Les concentrations en métaux des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl sont comparées à celles des sédiments superficiels de la baie d'Alger (Tayeb errahmani, 2009) et à celles des sédiments superficiels du delta de l'Oued Mejerda qui se situe dans le golfe de Tunis, ce dernier est situé au nord de la Tunisie entre les parallèles 36°42' et 37°10' et les méridiens 10°15' et 11°5' (Helali et al, 2009).

Tableau 13: Comparaison des teneurs en métaux avec celles des autres études.

Site d'étude	Métaux			
	Zn	Mn	Cu	Fe
	(µg/g)			(mg/g)
Baie de Bou-Ismaïl	52,35-167,04	215,34-303,78	2,78-28,70	11,99-20,34
Présente étude	81,58	276,20	9,98	16,21
Baie d'Alger (Tayeb errahmani, 2009)	85,81-400,63	195,43-540,67	15,7-143,5	28,26 - 45,69
delta d'oued Mejerda (Helali et al, 2009)	80-110	250-350	14 - 17	/

Delta d'Oued Mejerda

Le delta forme une zone de transition entre la mer et le continent, le flux des éléments métalliques est relativement élevé, ce qui est expliqué par Le rejet de plusieurs substances contaminants dans ce delta.

Le golfe de Tunis est situé au nord de la Tunisie entre les parallèles 36°42' et 37°10' et les méridiens 10°15' et 11°5'. Oued Mejerda est le plus important des cours d'eau de la Tunisie ; il constitue la principale source d'apport d'eau et de sédiments dans le golfe avec un débit en eau de 30m³/s et en sédiments qui varie de 10à 30g/l selon les crues provenant d'un bassin versant qui s'étend sur une superficie de 23700 km² et qui se caractérise par la présence de plusieurs mines de plomb et de zinc essentiellement.

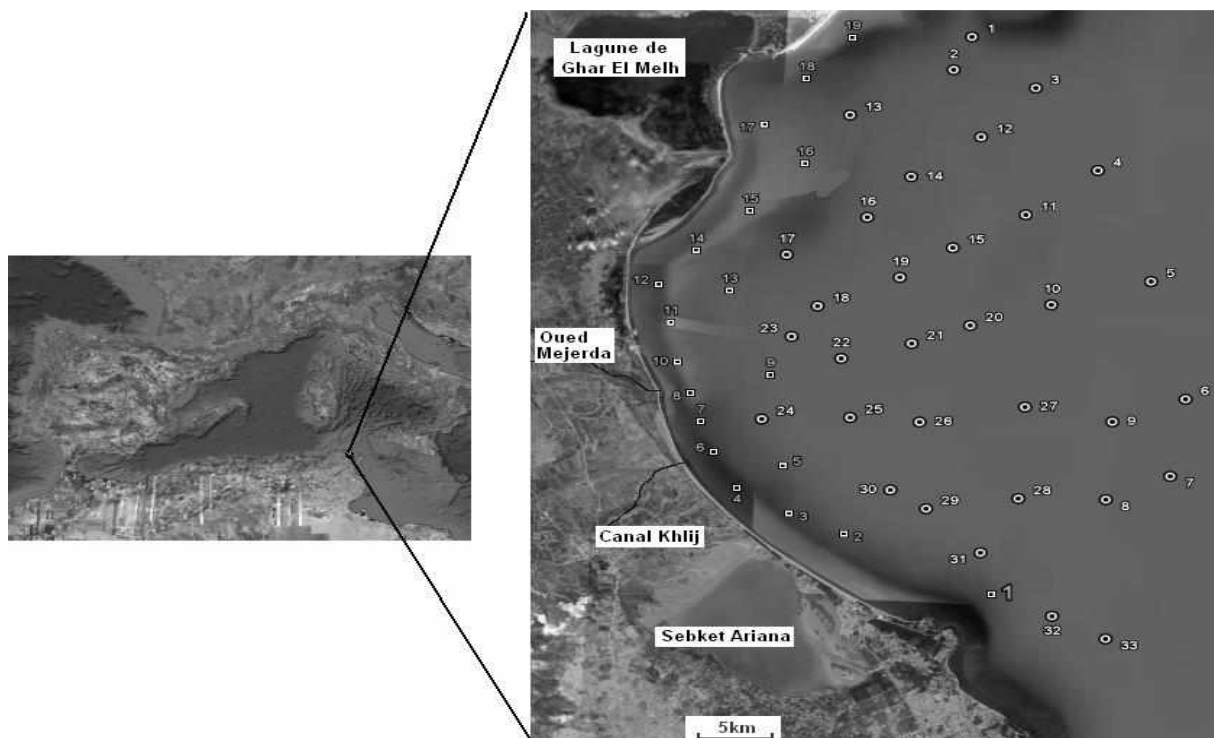


Figure 39 : Localisation géographique des sites d'échantillonnage dans le delta d'Oued Mejerda. (Helali, et al., 2009)

La baie d'Alger

La baie d'Alger c'est la partie centrale de la côte algérienne, elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Mitidja et d'une forme semi-circulaire. À l'ouest, elle est délimitée par la pointe Pescade (Rais Hamidou), et à l'est par le cap Matifou, au Sud la ville d'Alger et le bassin de la Mitidja et au Nord par la mer Méditerranée.

Les marges étroites du massif d'Alger et du cap Matifou, le plateau continental se développe 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. Toujours de la pointe Pescade au cap Matifou, le rivage s'étend sur environ 31 Km dont 22 de côte basse constituées de dunes et de trottoirs à algues construits en dalle comme à l'Est de Bordj El Kiffane (Maouche, 1987)in(Taieb Errahmani, 2009).

Concernent les analyses des métaux dans la baie d'Alger, il suit le protocole d'A.I.E.A (2001) : lyophilisation, broyage, minéralisation et lecture par S.A.A.

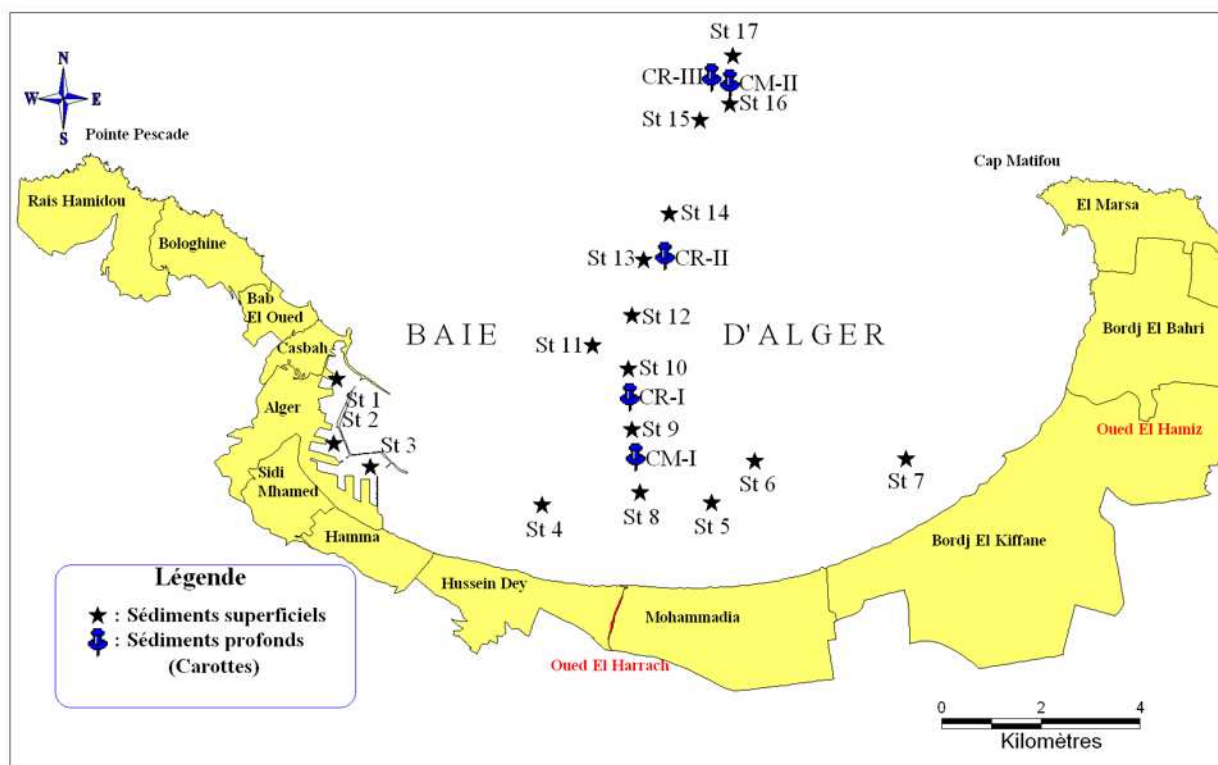


Figure 40: Positionnement des stations de prélèvement par benne preneuse et par carottier dans la baie d'Alger. (Taieb Errahmani, 2009).

Les teneurs en zinc et cuivre sont très élevées dans la baie d'Alger par rapport au delta d'oued Mejerda alors que les concentrations de manganèse du delta d'oued Mejerda sont dans l'intervalle des concentrations de la baie d'Alger.

Les concentrations de zinc et de fer dans notre étude sont inférieures à celles de Tayeb Errahmani (2009), par contre les concentrations de cuivre dans la zone de Bou-Ismaïl est dans l'intervalle des concentrations de la baie d'Alger.

Conclusion

Conclusion et perspectives

La qualité du milieu marin littoral nécessite non seulement une connaissance quantitative des apports polluants vers l'environnement marin, mais aussi la connaissance des niveaux de présence de contaminants chimiques identifiés dans cet environnement, ainsi le rôle des sédiments marins pour l'évaluation et la détermination du niveau de contamination et maîtriser la source de cette pollution.

Notre étude s'est basée sur la répartition des quatre métaux traces qui sont le zinc, le manganèse, le cuivre et le fer dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl. D'après les résultats obtenus, on conclut qu'il n'y a pas de contamination dans cette zone malgré des concentrations élevées de ces métaux (20,346mg/g pour le fer, 167,04µg/g pour le zinc, 303,78µg/g pour le manganèse et 28,70µg/g pour le cuivre) qui ne dépassent pas les normes algériennes et françaises.

Le taux de la M.O est également élevé, ça nous indique la richesse relative de notre zone d'étude (de 4 à 12%), elle est due à la contribution des apports anthropiques de l'oued Mazafran.

Par contre le taux de pélite varie de la côte vers le large de manière croissante (de 7% à 81%), cette croissance est due à la puissance du courant et la remise en suspension des sédiments.

On a cité aussi la relation entre les concentrations des métaux et le taux de la matière organique, le taux de pélite et la granulométrie de la zone d'étude, on a trouvé des relations significatives entre les métaux, le taux de pélite et le taux de la matière organique, par contre nous avons trouvé une très faible corrélation entre les métaux et la granulométrie de la zone étudiée, nous pouvons expliquer ça par la période de prélèvement qui coïncidait avec du mauvais temps.

Dans la situation actuelle, la responsabilité de la gestion des rejets repose sur ceux qui les produisent. L'état fixe la politiques et le cadre réglementaire, avec comme priorité la réduction des impacts environnementaux et sanitaire. Il faut aussi réaliser un programme de sensibilisation environnementale et exiger aux usines de faire des traitements de rejets locaux.

Références bibliographiques

Bibliographies

Bibliographie

A.I.E.A. (2001). Agence internationale de l'énergie atomique, p. 45.

A.N.R.H. (2018). Agence National des Ressources Hydrauliques.

Abdelali, Berkani .(2011). Contribution à l'étude de la croissance du *Pagellus acarne* (Risso, 1826) dans la baie de Bou-Ismaïl. thèse magister. Dely Brahim : ENSSMAL p 38- 42

Abdelouahab, Nadia. (1998). Détermination de la teneur de quelques métaux lourds dans deux espèces de moules de la région d'Alger. mémoire de Magister. Environnement. Dely Brahim : ENSSMAL , p. 119.

Abderrahmani, Khaled .(2011). Les hydrocarbures poly-aromatiques dans la baie de bou-ismail : surveillance et évolution de la contamination en fonction de la profondeur. mémoire de Magistère. environnement. Dely Brahim: Enssmal, p. 99.

Achiche, Krimo et al.(2010). impact des eaux usées et des embouchures des oueds sur la qualité des eaux de la baie de Bou-Ismaïl. mémoire d'ingénieur. environnement. Dely Brahim : ENSSMAL, p. 100.

Alzieu, C, et al. (1999). Dragage et environnement marin: état de connaissances. France : ifremer, p. 223.

Amiard, j.(2001). les risques chimiques environnementaux: méthodes d'évaluation et impact sur les organismes. Paris : TEC & DOC, p. 782.

Amirad, Jean-Claude. (2011). Les risques chimiques environnementaux, méthodes d'évaluations. Paris : Lavoisier, pp. XIV-782.

Annane, Souad. (2003). caractérisation de la pollution des eaux de mer de la baie de bou-ismail en utilisant des images satellites. mémoire d'ingénieur. environnement. Dely Brahim : ENSSMAL, p. 127.

Asso, André. (1982). contribution à l'étude de polluants métalliques chez la moule *Perna perna* dans la région d'alger. mémoire doctorat. Paris : Univ. D'Aix Mars. p. 149.

Audigié, Cl, et al. (1995). Principes des méthodes d'analyse biochimique. 2. Paris : Doin, p. 207.

Audigié, Cl, et al. (1985). Principes des méthodes d'analyse biochimique. Paris : Doin, p. 144.

Azemard, Set. (1997). Standard operating procedure for trace metals determination.

Baba-Ahmed, Abderrazzak.(2012). ETUDE DE CONTAMINATION ET D'ACCUMULATION DE QUELQUES MÉTAUX LOURDS DANS DES CÉRÉALES, DES LÉGUMES ET DES SOLS AGRICOLES IRRIGUÉS PAR DES EAUX USÉES DE LA VILLE DE HAMMAM BOUGHRARA. mémoire de doctorat. chimie de l'environnement. Tlemcen : facultés des sciences, p. 256.

Bibliographies

- Bachouche, Samir. (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. Pollution marine et écotoxicologie. Dely Brahim : ENSSMAL, p. 127.
- Baudin, François. (2007).** Géologie de la matière organique. Paris : Vuibert, p. 263.
- Belabed, Bourhane-eddine. (2006).** évaluation de la contamination par les métaux lourds dans le littoral d'Annaba et la lagune ELMALLAH. Mémoire de magistère. Biologie et physiologie des organismes marins. Annaba. Université Badji-Mokhtar, p. 89.
- Balabed, Bourhane-Eddine. (2010).** La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba « Sources de contamination des écosystèmes aquatiques ». mémoire de doctorat. biologie et physiologie des organismes marins. Annaba : univ Badji-Mokhtar, p. 176.
- Bellair, P et Pomerol, C. (1977).** éléments de géologie. Paris : Armand Colin, p. 528.
- Bensaid, Farid et al. (2008).** relation entre la morphologie du littoral cotier et de la salubrité des plages de la baie de Bou-Ismaïl. Alger, p. 95.
- Ben-seghier, Taïba. (2012).** Evaluation de la contamination métallique dans des sols agricoles situés à Maghnia (Hammam Boughrara). mémoire de magistère. chimie inorganique et environnement. Tlemcen : faculté des sciences, p. 110.
- Bernard, Biju-Duval. (1999).** géologie sédimentaire. PARIS : technip, p. 735.
- Berner, R A. (1980).** early diagenesis : a theoretical approach . Princeton university press. Princeton, p. 241.
- Boughrara, Abdelhak. (2012).** Modélisation spatio-temporelle des paramètres de la pollution organique dans la baie de Bou-Ismaïl. mémoire de magistère. Environnement. Alger : ENSSMAL, p. 128.
- Boutouchent, Toufik. (1988).** Contribution à l'étude de la pollution par quatre métaux lourds (zinc, plomb, cadmium, cuivre) chez deux espèces de moules *Mytilus galloprovincialis* Lmk et *Perna perna* L, et mise en évidence de l'auto-épuration dans l'intérêt d'une mytiliculture en mer ouverte. Mémoire de technicien supérieur. Aquaculture. Alger : ITPA, p. 82.
- Bouziane, Hanane. 2015.** les formations sédimentaires du bassin du Timgad : étude des déformations tectoniques et repérage des pièges potentiels en hydrocarbure. Thèse de magistère. ressources énergétiques. Constantine : Univ de Constantine 1, p. 217.
- C.N.R.D.P.A. (2005).** Centre National de Recherche et de Développement de Pêche et d'Aquaculture. Document non publié. Alger : CNRDPA.
- Caulet, J. (1972).** les sédiments organogènes du précontinent algérien. Paris : Du Muséum, pp. 25-289.
- Chamley, Hervé et al. (2000).** bases de sédimentologie. 2. Paris : Dunod, p. 178.

Bibliographies

- Chamley, hervé, et al . (2011).** bases de sédimentologie. 3 .Paris :Dunod. p. 213.
- Chester, R et al (1985).** trace element in total particulate material from surface sea water .Nature, Vol. 255, pp. 50-51.
- Chiffolleau, et al. (2003).** Dosage de certains métaux dans les sédiment et la matière en suspension par absorption atomique. Plouzané : ifremer,p. 45.
- Clement, Mathieu, et al. (1998).** Analyse physique des sols méthodes choisies. Paris : TEC & DOC, p. 275.
- Cojan, Isabelle et al. (2013).** sédimentologie.3. paris : Dunod, p. 480.
- Cojan, isabelle et al. (2006).** Sédimentologie: cours. 2. paris : Masson, p. 444.
- Cojan, Isabelle et al. (2003).** Sédimentologie:cours. paris : Masson, p. 418.
- Devalois, Valérie. (2009).** Transfert et mobilite des elements traces.mémoire doctorat. Sciences de l'Environnement. Académie D'Aix-Marseille : Université de Provence, p. 277.
- Diop, Cheikh. (2014).** Etude de la contamination de la spéciation et la biodisponibilité des éléments traces métalliques dans les eaux et sédiments côtiers et estuaire au Sénégal.mémoire de doctorat.Science de l'eau.lille : Univ de Lille 1 ,p. 221.
- Djahnit, Nora et al. (2013).** impacts des apports de l'oued Mazafran sur le système des carbonates et sur les parametres du milieu est de la baie de bou-ismail.mémoire d'ingénieur.mémoire d'ingénieur.Environnement. Dely Brahim : ENSSMAL, p. 106.
- Duquesne, Sabine. (1992).** BIOACCUMULATION METALLIQUE ET METALLOTHIONEINES CHEZ TROIS ESPECES de POISSONS DU LITTORAL NORD-PAS DE CALAIS. lille : Univ de lille, p. 264.
- Elkbir, SAAIDI (1998).** Dictionnaire de la géologie et la géomorphologie.
- Ettajani, H et Amirad, j-c.(1995).** biodisponibilité de quelques métaux fixés sur les matières en suspension (MES) en milieu estuarien.Hydroécol.appl .Vol. 1-2,7, pp. 75-89.
- Forstner, U(1987).** sediment -associated contaminants an overview of sientific bases for distribution of humic substances in profundal sediments of lake constance .organic geochemistry., pp. 3-10.
- Garnier, Cédric. (2004).** modélisation et évaluation des équilibres de complexation entre la matiere organique naturelle,les metaux traces et les protons:application aux eaux naturelles.mémoire de doctorat. CHIMIE – Chimie fine, chimie analytique, chimie de l'environnement marin.Toulon : Univ du sud Toulon Var, p. 202.
- Georges, Pédro et al.(1998).** Contamination des sols par les éléments en traces: les risques et leur gestion. paris : Technique & documentation, p. 440.

Bibliographies

- Ghomari, F et Bendi-Ouis, A (2008).** science de matériaux de construction analyse granulométrique. [En ligne].
- Grimes, Samir.(2004).** Biodiversité marine et littoral algérienne. Alger : Eldjazair, p. 362.
- Haddou, aouicha. (2017).** contamination des sédiments marins superficiels de la baie d'oran par les métaux lourds et application au laboratoire de bioessais sur la toxicité potentielle d'un sédiment marin sur un outil biologique.mémoire de doctorat.sciences de l'environnement. oran : Univ d'Oran 1, p. 117.
- Haddouche, Idir. (2003).** Etude de l'état de pollution de la baie de bou-ismail par les sels nutritifs et les métaux lourds en juillet 2002.mémoire d'ingénieur.Environnement.Dely Brahim : ENSSMAL,p. 88.
- Harkat, Imed.(2017).** Etude et suivi des paramètres physico-chimiques et sels nutritifs dans les eaux côtiers de la baie de bou-ismail.mémoire d'ingénieur.environnement.Dely Brahim : enssmal, p.74.
- Helali, Mohamed Amine, et al. (2009).** géochimie des métaux lourds dans les sédiments marins de surface du delta de l'oued Majerda. Méditerranéenne de l'Environnement .3, pp. 484-495.
- regentsearth. (2018).** regentsearth.com.
<https://www.pinterest.com/pin/573786808749245880/?lp=true>.
- Inal, ahmed. (2011).** étude des meatux traces dans les sédiments de la baie de bou-ismail.mémoire de magistere.Environnement.Dely Brahim : ENSSMAL,p 99.
- L.E.M. (1998).** Laboratoire des études maritimes.
- Laura, Sigg, et al (2006).** Chimie des milieux aquatiques: chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement. 4. Paris : Dunod,p. 564.
- Laure, Gandois. (2012).** Dynamique et bilan des Elements Traces Métalliques (ETM) dans des écosystèmes forestiers français.Modélisation, spéciation et charges critiques.these de doctorat. Géochimie de l'Environnement. Toulouse : Univ de toulouse 3, p. 244.
- Leclaire, L. (1972).** La Sédimentation Holocène Sur le Versant Méridional du Bassin Algéro-Baléares. Paris : Du muséum, p. 572.
- Lesven, ludovic.(2008).** Devenir des éléments traces métalliques au sein du sédiment, un compartiment clé de l'environnement aquatique.mémoire doctorat. Optique, Lasers, Physico-chimie, Atmosphère. lille : Université des Sciences et Technologies de Lille, p. 180.
- MacCarthy, P (1987).** aquatic humic sustances. influence on fate and treatment of pollutants.American Chemical Society, washington DC, unitete states,193rd National Meeting of the american chemical society. Denver ,p.24-35.

Bibliographies

- Marchand, Cyril (2003).** Origine et devenir de la matière organique des sédiments.thèse de doctorat.Géochimie sédimentaire. orléans : Univ d'orléans, p. 272.
- Mathieu, Roy-Barman, et al (2011).** géochimie marine:circulation océanique, cycle de carbone et changement climatique. Paris : Vuibert, p. 362.
- Meguellati, Abderrahmen (2012).** Les métaux traces dans les sédiments du littoral Algérois : état et analyse rétrospective.mémoire d'ingénieur .environnement. Dely Brahim : ENSSMAL, p. 49.
- Millot.C, (1989).** La circulation générale en Méditerranée occidentale. Aperçus de nos connaissances et projet d'études. *Annales de géographie.n° 549, XCII*, p498-515.
- Mokrani, Dorra. (1998).** Aménagement du port de Bouharoun: contribution à l'étude d'envasement et de dragage.mémoire d'ingénieur.Aménagement. Dely Brahim: ISMAL. p. 79.
- MONGENOT, Thierry. (2001).** La matière organique sédimentaire. [En ligne]. [04 /2018].disponible sur le web : < <http://tmongenot.free.fr/science1.html> >.
- O.N.M(2007).** office nationale météorologique.
- Panfili, Frédéric(2004).** Etude de l'évolution de la spéciation du zinc dans la phase solide d'un sédiment de curage contaminé, induit par phytostabilisation.mémoire de doctorat.géochimie de l'environnement. marseille : université de provence aix-marseille 1, p. 210.
- Poitevin, Antonine(2012).** Caractérisation multi-échelles des phases porteuses des polluants métalliques Zn et Pb dans un sédiment mis en dépôt. De l'analyse de terrain au rayonnement synchrotron.mémoire de doctorat.physique et chimie de l'environnement. Orléans : université d'orléans, p. 131.
- Qasim, Bashar Hussein.(2015).** Détermination, spéciation et biodisponibilité des éléments traces métalliques dans les sols contaminés et technosols.mémoire de doctorat.chimie analytique.Orléans : Institut des Sciences de la Terre d'Orléans, p. 253.
- Rabehi, Walid et al. (2011).** Aménagement du port d'El-Djamila, avantages et inconvénients et comportement des structures.mémoire d'ingénieur.Aménagement du littoral. Dely Brahim : ENSSMAL, p. 82.
- Rezzoug, Samya. (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 bejaia et de skikda.Mémoire de Magistère.Pollution marine. Dely Brahim : ISMAL, p. 244.
- Riviere, André. (1977).** méthodes granulométriques: techniques et interprétations. Newyork : Dunod, p. 170.

Bibliographies

Samari, Nadia (2008). Qualité physico-chimique, sels nutritifs et bactériologique dans la baie de bou-ismail et le port de Bouharoun.mémoire d'ingénieur.environment.dely Brahim :ENSSMAL , p. 93.

Samir, ACHICHE Krimo LARBI (2010). Impact des eaux usées et des embouchures des oueds sur la qualité des eaux de la baie de Bou-ismail.mémoire d'ingénieur.environment.Dely Brahim : ENSSMAL,p.100.

Santschi, Peter, et al (1990). chemical processes at the sediment-water interface.*marine chemistry*.30, p. 269-315.

Serpaud, B, et al(1994). Adsorption des métaux lourds (Cu, Zn, Cd et Pb) par les sédiments superficiels d'un cours d'eau: role de PH ,de la temperature et de la composition du sédiment . revue des sciences de l'eau. 7, 4, p343-365.

Sylvie, Deneux-Mustin, et al . (2003). Mobilité et transfert racinaire des éléments en traces: influence des micro-organismes du sol. Paris : Tec et Doc, pp. XX-282.

Taieb Errahmani, Djamel. (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.Environment.Dely Brahim : ENSSMAL, p. 79.

Tessier, erwan. (2012). diagnostic de la contamination sédimentaire par les métaux/métalloïdes dans la rade de toulon et mécanismes controlant leur mobilité.mémoire de doctorat.Chimie de l'environnement. toulon : Univ de sud toulon Var, p. 273.

Tidjani-Athmani, Houria. (2008). géochimie et pollution par les metaux lourds dans les sédiments profond de la mer méditerranéethée.mémoire de magistère.Environment et ecosystème littoraux.DelyBrahim :ISMAL,p.106.

Annexes

Tableau II-1 : Débit maximal d'oued Mazafran

	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	septembre	octobre	novembre	décembre
1980									0,16	0,42	0,96	200,88
1981	60,96	262,88	38,56	17,75	24,17	1,25	0,25	0,31	0,31	0,54	0,42	1,79
1982	71,6	95,45	12	3,4	15,08	1,52	0,02	0	0,22	14,6	140,5	305,2
1983	13,2	16	5,88	3,1	0,4	0,26	0,16	0	0	0	0,3	7,85
1984	34,65	75	9,35	17,96	17,08	7,86	0,18	0	0	346,71	6,24	110,5
1985	57,05	50	236	7,2	15,08	1,17	0,34	0,12	9,98	6,09	31,25	22,21
1986	43	125,1	298,87	7,7	0,92	1,27	0,26	0,15	10,46	4,8	7,32	226,5
1987	118,4	292	23,12	6,2	3,64	0,562	0,334	0,248	0,436	3,546	20,6	2,8
1988	16,7	1,268	25,23	1,268	2,8	4,37	0,3	0,248	10,64	0,334	1,26	233,4
1989	7,6	6,76	141	7,6	2,328	0,3	0,16	0,02	0,654	0,47	0,856	0,402
1990	3,28	0,47	1,704	4	3,37	0,272	11	0	0	1,08	3,988	24,8
1991	38,9	130	123,5	68,9	2,392	0,14	0,014	0	0,00	37,70	0,72	0,53
1992	362,00	12,20	48,20	216,00	66,90	1,52	0,38	0,10	0,09	15,00	24,80	16,50
1993	9,00	1,74	27,20	2,56	54,40	0,44	0,20	0,12	7,00	0,36	9,80	6,20
1994	338,00	26,90	0,67	0,78	0,32	0,14	0,02	0,01	9,00	35,00	29,60	27,50
1995	262,00	2,31	202,40	1,60	0,58	0,72	0,78	1,04	1,38	6,36	9,00	2,31
1996					18,00	0,40					0,32	0,48
1997					0,72	0,28	0,20					
2003									0,53	0,62	17,61	32,08
2004	19,57	4,50	16,76	5,53	29,19	2,30	0,22	0,21				
la moyenne	90,994675	68,9107044	75,6529875	23,2216403	14,2980756	1,37644444	0,87147647	0,16059375	2,99205882	27,8604706	16,9744278	67,8850811

Tableau II-2 : Débit moyen d'oued Mazafran

	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	septembre	octobre	novembre	décembre
1980									0,09	0,19	0,43	16,12
1981	7,14	14,8	6,05	4,28	4,11	0,49	0,23	0,24	0,24	0,3	0,33	0,54
1982	4,88	9,74	4,04	1,54	2,06	0,41	0,01	0	0,01	0,57	12,05	25,69
1983	7,18	5,83	3,25	1,44	0,33	0,21	0,05	0	0	0	0,07	0,65
1984	3,04	7,09	2,81	2,28	2,21	0,87	0,01	0	0	17,26	1,49	8,93
1985	9,5	3,65	32,1	3	2,35	0,51	0,19	0,06	0,1	0,27	1,58	1,97
1986	2,64	10,87	20,67	4,16	0,38	0,23	0,19	0,15	2,028	1,945	2,944	15,34
1987	11,31	47,22	17,32	3,825	3,181	0,3527	0,2684	0,2262	0,2309	0,3962	1,576	0,8075
1988	1,356	0,7272	2,519	0,5189	0,4761	0,2953	0,2075	0,0541	0,5093	0,2081	0,3505	11,47
1989	2,098	1,563	3,126	1,854	0,697	0,2239	0,0935	0,0006	0,2091	0,2499	0,3991	0,2874
1990	0,6147	0,3619	0,4009	0,5576	0,5634	0,1463	0,1837	0	0	0,159	0,7443	2,627
1991	2,491	8,583	8,541	3,55	1,114	0,0658	0,0038	0	0,00	2,19	0,25	0,17
1992	29,37	2,76	6,49	14,13	4,64	0,67	0,20	0,09	0,08	1,88	2,07	1,59
1993	1,41	0,87	1,64	0,83	2,10	0,30	0,14	0,04	0,20	0,21	0,68	0,84
1994	8,70	3,16	0,50	0,47	0,22	0,05	0,01	0,01	0,35	2,55	1,63	1,23
1995	14,94	0,95	16,88	1,12	0,58	0,51	0,48	0,46	0,57	1,09	1,08	0,87
1996					3,79	0,35					0,29	0,35
1997					0,48	0,22	0,15					
2003									0,17	0,19	0,94	2,80
2004	4,53	1,82	3,91	1,87	3,34	1,12	0,19	0,18				
la moyenne	6,94994044	7,49988562	8,14070099	2,83828564	1,81220165	0,39076612	0,15329999	0,09466331	0,28089189	1,74445242	1,6054536	5,12717377

Annexes

Tableau II-3 : Débit minimal d'oued Mazafran

	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	septembre	octobre	novembre	décembre
1980									0,03	0,11	0,22	0,51
1981	3,99	3,38	3,55	2,95	1,52	0,25	0,22	0,22	0,18	0,22	0,31	0,37
1982	0,48	1,65	1,94	0,89	0,48	0,05	0	0	0	0	0,21	4,97
1983	4,98	3,95	1,66	0,4	0,26	0,16	0	0	0	0	0	0,15
1984	0,2	0	1,5	0,35	0,29	0,05	0	0	0	0	0,6	0,6
1985	1,4	1,27	0,87	1,96	0,82	0,34	0,03	0,02	0	0,02	0,06	0,82
1986	1,5	3,95	2,94	0,31	0,15	0,1	0,15	0,15	1,404	1,26	2,136	2,636
1987	4	10,1	4,6	2,328	3,1	0,274	0,248	0,196	0,196	0,274	0,248	0,368
1988	0,47	0,436	0,562	0,368	0,222	0,196	0,15	0	0	0,188	0,188	0,272
1989	1,476	1,08	0,47	0,908	0,3	0,12	0	0	0,14	0,16	0,244	0,272
1990	0,3	0,3	0,272	0,3	0,216	0	0	0	0		0,28	0,224
1991	0,624	2,14		1,452	0,168	0,008	0	0	0,00	0,00	0,02	0,14
1992	0,12	0,04	1,04	1,74	0,72	0,36	0,10	0,09	0,04	0,85	0,67	0,62
1993	0,67	0,67	0,67	0,53	0,48	0,17	0,02	0,01	0,02	0,14	0,25	0,48
1994	0,53	0,67	0,28	0,25	0,14	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,48	0,28
1995	0,62	0,67	0,67	0,78	0,58	0,40	0,28	0,25	0,40	0,62	0,58	0,62
1996					0,40	0,28					0,25	0,28
1997					0,25	0,14	0,12					
2003									0,14	0,14	0,14	0,32
2004	0,32	0,90	1,76	1,14	0,58	0,23	0,14	0,15				
la moyenne	1,35525001	1,95100002	1,51946668	1,04125	0,59277778	0,17453889	0,08588235	0,0685875	0,15047059	0,2495	0,38266667	0,77466667

Tableau II-4 : La pluviométrie de la baie de Bou-Ismaïl

	janv.	Fev	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	septembre	octobre	novembre	décembre
1967			30,8	15,9	9	1,2	0	1,4				
1968	23,9	26	13,4	33,9	8	59,8	0	7,5	59,8	0	19,2	23,5
1969	9,6	9,3	10,5	23,5	17,5	3,5	0	0	21,3	49,7	10,7	31,9
1970	64,6	8,4	17,4	12	11,4	8,7	1,6	0	0,8	25,7	8,2	39,9
1971	28,1	12,8	23,3	11,5	28,2	9	1,6	37,2			126	53,5
1972	59	39,3	28,6	33,2	0	11,5	0	0,3	33,1	12,5	42,9	29,6
1973	5,2	28,3	30,3	16,9	0,2	10,5	0,4	0	43,9	10,3	16,8	41,5
1974	8,9	34,4	22,6	10	74,7	8,7	0	5,9	26,7	38,5	24,8	1,2
1975	38,8	23,8	14,4	8,3	27,9	4,3	18,5	23,8	2,4	15,2	32,1	20,9
1976	29,1	16,7	18,1	17,8	12,7	2,4	0	6,7	4,2	15,7	13,7	20,6
1977	13,3	12,2	11,8	25,8	17,8	0,4	0,8	0	0,4	10,4	24,9	4,1
1978	8,3	25,8	32,4	19,4	2,3	0,8	0,2	0,1	5,3	17,7	17,4	21,3
1979	25,7	11,2	54,9	44	4,9	2,9	0	18,9	24,8	53,3	26,6	17,9
1980	9,6	11,9	27,2	15,7	25,5	0,5	0	12,7	7,4	14,9	16,7	38,5
1981	28	20,4	16,9	8,9	14,7	0	0	6,5	1,3	20,6	11	16,9
1982	0,7	30,8	17,6	0,1	0	0	0	0	13,4	38	70,6	58,9
1983	23,7	16,6	10,8	25	29,7	14,1	0	0	0	14,7	10,6	51,9
1984	22,1	11,2	49,1	8	23,9	0	0	0	10	78,4	28,9	40,1
1985	15,6	11,7	20,5	9,9	0	9,2	4,6	0	2	22,9	22,7	26
1986	28,9	32,3	5,4	0	4,1	8	0	0	33,7	10,2	16,8	42,8
1987	10,8	18	22,6	3,5	17,9	21,9	0		8,9	5,5	16,8	14,8
1988	22,2	9,2	20	24,2	3,1	9,2	2,9	7,5	13,9	14,4	35	57,2
1989	15,5	0	9,8	19,4	16,7	0	8,4		20,8	9,8	22,1	9,1
1990	32,8	19,5	9,3	7	19,6	7	0		0,5	21,5	22,3	15,1
1991	52,8	11,5	15,8	23,6	23,2	4,2	1		0,9	62,3	9,4	8,1

Annexes

1992	14,7	25,8	14,3	22,6	20,5	0	0		2,5	70,4	24,5	20,8
1993	33,7	22,4	0,9	15,7	4,8	0	0		11,5	14,3	33,1	19,3
1994	48,2	28,3	38,2	5,2	0	4,5	0	32	56,1	20,7	35	15,1
1995	62,1								9,7	14,8	21,4	12,1
1996												
1997												
1998			19,1	12,5	0	0	0	0,3				
1999	12,8	0	0,6	8,2	24,6	0	0	0	15,9	4,2	35,2	37,1
2000	30,5	29,8	0	22,3	3,2	0	0		2	1,6	30,1	2,5
2001	12,1	3,5	14,7	12	1,5	0,2	1,5	18	4	28,2	28	22
2002	36,7	39,3	6,8	25,3	8,7	0	0,8	1,1	6,1	19,4	19	22,6
2003	36,4	26,2	13	25,4	50,7	4,9	0	0	1	11,3	31,4	25,7
2004	17,3	17	10,2	5,5	3	0	0,9	0	39,5	20	23,5	35,9
2005	19	37	5,5	3,5	39,3	1,4	1,4	1,3	3,3	25,5	36,4	17,2
2006	8,2	11,2	15,3	11,8	1,8	4	0	1,8	19,3	17,9	23,3	28,6
2007	10	28,1	15,4	13,7	12,3	7	5,2	0	15,6	27,6	112,8	25
2008	15,7	4	19,4	13,4	7	0	0	4	27	10,2	40,1	30,2
2009	36	37,1	37,1	14,4	6,4	2		20,5	28,4		16,2	28,7
2010	39,7	31,8	21,8	23,9	19,7				9,5	25,9	36,4	24,2
2011	17	48,8	36,2	25,4	6,6	0	0	43,9	1	15	16,4	15,5
somme	1027,3	864,3	813,4	704	603,1	221,8	49,8	251,4	587,9	910,9	1231,5	1076,8
moyenne	25,05609	21,08048	18,91627	16,372	14,359524	5,4097561	1,245	7,394117	14,339024	22,7725	29,3214286	25,638095



Figure III-2 : La benne VanVeen



Figure III-3 : Les creusets

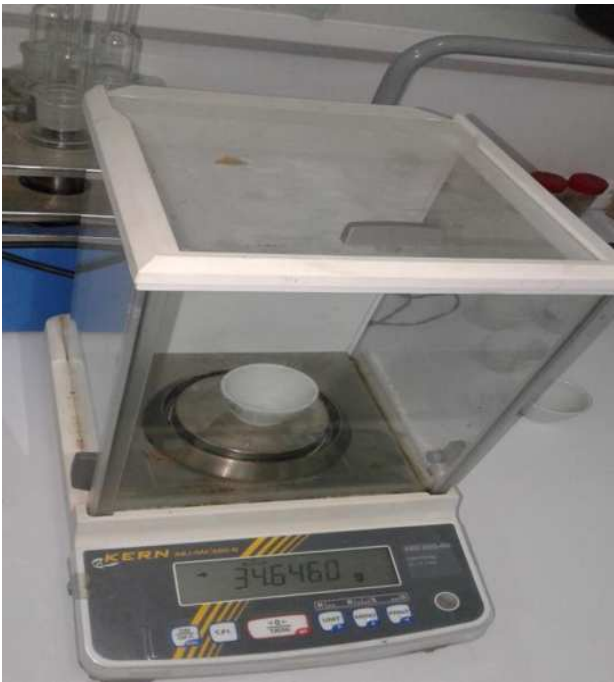


Figure III-4 : La balance de précision



Figure III-5 : Four à moufle



Figure III-6 : Dessiccateur



Figure III-7 : Les échantillons avant le séchage



Figure III-8 : Tamiserie



figureIII-9 : Lyophilisateur



Figure III-10 : L'échantillon de B7 après lyophilisation



figure III-11 : Mortier en porcelaine



Figure III-12 : Homogénéisation



figure III -13 : Les godets



Figure III-14 : Minéralisation des échantillons



Figure III-15 : spectroscopie d'absorption atomique

Tableau III-2 : gammes-étalons des métaux traces analysées dans les sédiments superficiels

sample ID	Zn (ng/ml)	ABS
STD 1	0	0,0001
STD2	300	0,0313
STD3	600	0,0609
STD4	900	0,0907

sample ID	Mn (ng/ml)	ABS
STD 1	0	0,0004
STD2	500	0,0155
STD3	1000	0,0308
STD4	1500	0,0458
STD5	4000	0,1201

sample ID	Fe (µg/ml)	ABS
STD 1	0	0,002
STD2	4	0,0578
STD3	8	0,1109

Annexes

STD4	12	0,1616
------	----	--------

sample ID	Cu (ng/ml)	ABS
STD 1	0	-0,0002
STD2	300	0,0028
STD3	600	0,0056
STD4	900	0,0084

Résumé :

L'objectif de cette étude était de déterminer les profils de concentration en éléments traces métalliques (Cu, Zn, Mn, Fe) des sédiments superficiels et les comparer avec les normes à fin d'évaluer l'état de pollution de cette zone ; et les utilisé aussi, en comparant avec celle de la Tunisie et de la baie d'Alger. l'analyse chimique des métaux lourds a été faite par la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA), les résultats obtenues par notre étude confirme qu'il n y a pas de pollution dans la baie de Bou-Ismaïl , même en comparant avec oued Madjerda de la Tunisie, on a trouvé que notre étude présente des concentration faible par rapport à celle qui a été trouvé dans oued Mejerda.

Mots clés : les ETM, Matière organique, granulométrie, taux de pélites, sédiments superficiels.

Abstract:

The aim of this study was to determine the profiles in terms of metallic signs elements (Cu, Zn, Mn, Fe) as far as the superficial sediments are concerned, to compare them with the worms in order to evaluate the state of this area's pollution and to use them with a comparison to that of Tunisia and the bay of Algiers. The chemical analysis of the heavy metals was done by the Spectrophotometry of Atomic Absorption (SAA).The results obtained in our study confirm that the bay of Bou-Ismaïl is clear of pollution. Even compared to the Oued Madjerda (Tunisia), we found out that our study discloses just a low concentration with regard towards that one in the Oued Madjerda.

Key words: the ETM, organic matter, granulometry, rate of the pelites, surface sediment.

الملخص:

كان الهدف من هذه الدراسة هو تحديد تركيز المعادن الثقيلة (Fe، Mn، Zn، Cu) للرواسب السطحية ومقارنتها مع المعايير من أجل تقييم حالة تلوث هذه المنطقة؛ أيضا، مقارنتها مع تونس وخليج الجزائر. تم إجراء التحليل الكيميائي للمعادن الثقيلة بواسطة آلة طيف الامتصاص الذري (SAA)، النتائج التي تم الحصول عليها من دراستنا تؤكد أنه لا يوجد تلوث في خليج بو إسماعيل، حتى عند المقارنة مع وادي ماجردة بتونس، وجدنا أن دراستنا لديها تراكيز منخفضة بالمقارنة مع تلك الموجودة في وادي ماجردة.

كلمات مفتاحية: المعادن الثقيلة، المادة العضوية، حجم الجسيمات، الجزيئات الدقيقة، الرسوبيات السطحية.