

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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

(E.N.S.S.M.A.L)



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

**Option : ENVIRONNEMENT**

**THEME :**

**SUIVI DE LA QUALITE DES SEDIMENTS SUPERFICIELS DE FOUKA MARINE  
PAR LES METAUX LOURDS.**

**Réalisé par :**

➤ **SAIM SIDALI**

**Soutenu le 01/10/2016 devant le jury :**

Mme HAMDI. S	Maitre de conférences A	Présidente
Mr KADA. M	Maitre-Assistant B	Examineur
Mr DRICHE. M	Maitre de conférences B	Examineur
Mme BACHARI HOUMA. F	Professeur	Promotrice

**Promotion 2015/2016**

# *Remerciment*

*Au terme de ce travail, je tiens tout d'abord a remercié Allah le tout puissant, de m'avoir accordée le courage, la patience et la santé pour réaliser et mener au terme mon travail*

*Je tiens à remercier infiniment ma promotrice Mme **HOUMA-BACHARI .F** de m'avoir encadrée, les conseils, les orientations et le temps qu'elle m'a consacré afin de réaliser ce travail*

*Je tiens aussi à remercier vivement Mme **HAMDI. S** d'avoir accepté de présider ce jury. Mes remerciements à Mr **KADA. M** et Mr **DRICHE. M** qui ont accepté d'examiner mon travail.*

*Mes remerciements s'adressent aussi à Mr **BOUDJELEL** pour l'aide qu'il m'a apporté et à l'équipe des ingénieurs de laboratoire de Sidi Fredj.*

*Un remerciement spécial a Mme **OUNADI. F** pour l'aide précieuse qu'elle m'a apporté.*

*Je tiens a exprimé ma gratitude à Mme **BELKACEM. Y** pour ces conseils et ses orientations.*

*Enfin je remercie toutes les personnes qui m'ont aidée de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à **mes très chers parents** et à **ma chère sœur**, je les remercie infiniment pour leurs soutiens durant toute ma vie et que Dieu les protège.*

*A tous **mes oncles** et **tantes** sans exception et toutes leurs familles qui ont toujours suivis mon parcours.*

*A mes chères tantes Mme **DEGA. Z** et Mme **KEBAILI. H** pour le soutien qu'elles m'ont apporté*

*A mes amis **ABDEREZAK, ALI, ABDESLAM, MOUNIR, LOTH, MOHAMMED** et **HAMZA***

*A mes camarades et amis de l'**ENSSMAL**.*

*Je tiens à rendre hommage à l'ensemble de mes enseignants que ce soit à l'université, au lycée, au CEM et au primaire.*

*A tous les amis et proches et à toute personne ayant contribué à ce travail de près ou de loin.*

*A mes petits cousins **YOUCEF** et **RAYAN** qui ont à peine deux mois*

*A la mémoire de **ma très chère grand-mère** qui nous a quittés voilà 2 ans*

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.1</b> : Classification périodique des éléments ( <b>Fourest E, 1993</b> ).....	14
<b>Tableau I.2</b> : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement.....	16
<b>Tableau I.3</b> : Principaux effets des métaux lourds ( <b>Kitamura, 1971</b> ).....	21
<b>Tableau II.1</b> : Estimation de la production des déchets ménagers.....	33
<b>Tableau III.1</b> : Normes de pollution par les métaux lourds (Résultats exprimés en $\mu\text{g/g}$ ).....	47
<b>Tableau IV.1</b> : Résultats et statistiques des paramètres physico-chimiques de Fouka Marine.....	49
<b>Tableau IV.2</b> : Variation des métaux lourds dans Fouka Marine.....	54
<b>Tableau IV.3</b> : Indice de contamination des éléments métalliques de Fouka Marine.....	59
<b>Tableau IV.4</b> : Résultats des concentrations des métaux lourds des sédiments superficielles de Fouka Marine obtenus lors d'une étude précédente ( <b>2014</b> ).....	60
<b>Tableau IV.5</b> : Comparaison des teneurs en métaux lourds avec celles obtenues dans d'autres régions de la Méditerranée ( <b>mg/kg</b> ) .....	68

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure II.1</b> : Situation géographique de Fouka Marine ( <b>Google Earth, 2016</b> ).....	27
<b>Figure II.2</b> : sédimentologie de la baie de Bou-Ismaïl ( <b>PAC, 2005</b> ).....	28
<b>Figure II.3</b> : Réseau hydrique de la baie de Bou-Ismaïl.....	30
<b>Figure II.4</b> : Bathymétrie de la baie de Bou-Ismaïl ( <b>Leclaire, 1972</b> ).....	31
<b>Figure III.1</b> : Localisation des stations de prélèvement.....	36
<b>Figure III.2</b> : Sonde de mesure des paramètres physico-chimiques.....	37
<b>Figure III.3</b> : Benne « <b>Van-Veen</b> ».....	38
<b>Figure III.4</b> : Mortier en porcelaine.....	39
<b>Figure III.5</b> : Godets en Téflon sur la plaque chauffante.....	40
<b>Figure III.6</b> : Etuve.....	40
<b>Figure III.7</b> : Lyophilisateur.....	40
<b>Figure III.8</b> : Schéma récapitulatif des étapes du traitement des échantillons du prélèvement jusqu'à l'analyse.....	41
<b>Figure III.9</b> : Schéma de base d'un appareil de spectrométrie d'absorption atomique.....	43
<b>Figure IV.1</b> : Variation de la température au niveau de Fouka Marine.....	50
<b>Figure IV.2</b> : Variation de la salinité au niveau de Fouka Marine.....	51
<b>Figure IV.3</b> : Variation de l'oxygène dissous au niveau de Fouka Marine.....	52
<b>Figure IV.4</b> : Variation du pH au niveau de Fouka Marine.....	53
<b>Figure IV.5</b> : Variation de la conductivité au niveau de Fouka Marine.....	53
<b>Figure IV.6</b> : Variation du Zinc dans les sédiments superficiels de Fouka Marine.....	55

<b>Figure IV.7 :</b> Variation du Manganèse dans dans les sédiments superficiels Fouka de Marine.....	56
<b>Figure IV.8 :</b> Variation du Cuivre dans les sédiments superficiels de Fouka Marine.....	56
<b>Figure IV.9 :</b> Variation du Fer dans les sédiments superficiels de Fouka Marine.....	57
<b>Figure IV.10 :</b> Variation du Plomb dans les sédiments superficiels de Fouka Marine.....	58
<b>Figure IV.11 :</b> Variation du Cadmium dans les sédiments superficiels de Fouka Marine.....	58
<b>Figure IV.12 :</b> variation du chrome du sédiment superficiel .....	61
<b>Figure IV.13 :</b> variation du cuivre du sédiment superficiel .....	62
<b>Figure IV.14 :</b> variation du manganèse du sédiment superficiel .....	63
<b>Figure IV.15 :</b> variation du zinc du sédiment superficiel .....	64
<b>Figure IV.16 :</b> variation du fer du sédiment superficiel .....	65
<b>Figure IV.17 :</b> variation du plomb du sédiment superficiel .....	66
<b>Figure IV.18 :</b> variation du cadmium du sédiment superficiel .....	67

## **LISTE DES ACRONYMES**

**A.F.E.E** : Association Française pour l'Etude des Eaux

**AEAP** : Agence de l'Eau Artois-Picardie (France)

**APPL** : Agence de Promotion et de Protection du Littoral

**BRGM** : Bureau de Recherche Géologique et Minières

**CIRC** : Centre International de Recherche sur le Cancer.

**CNRDPA** : Centre National de Recherche et de Développement de Pêche et d'Aquaculture

**EPA** : Environmental Protection Agency (U.S.A)

**IC** : Indice de Contamination

**INERIS** : Institut National de l'Environnement industriel et des Risques.

**IPCS** : International Programme on Chemical Safety.

**OD** : Oxygène Dissous

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**RGPH** : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

**SAA** : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique

## Sommaire

Remercîment.....	II
Dédicaces.....	III
Liste des tableaux.....	IV
Liste des figures.....	V
Liste des acronymes .....	VII
Introduction.....	11

### Chapitre I : Généralités

1- Définition.....	14
2- Origine des métaux lourds.....	15
3- Classification des métaux lourds.....	16
4- Les caractéristiques des métaux lourds.....	17
5- Contamination métallique des sédiments. ....	20
6- Adsorption des métaux sur les sédiments.....	20
7- Toxicité.....	20
8- Impact des métaux lourds sur l'environnement.....	21
9- Les paramètres physico-chimiques.....	22
A- La température.....	22
B- La salinité.....	23
C- Le pH.....	23
D- L'oxygène dissous.....	23
E- La conductivité électrique.....	24

### Chapitre II : Description de la zone d'étude

1- Situation géographique.....	26
2- Sédimentologie.....	27
3- Réseau hydrographique.....	29
4- Bathymétrie.....	30
5- Les facteurs hydrodynamiques et climatiques.....	31
A- Les vents.....	31
B- Les courants.....	32
C- Les précipitations.....	32

D- La température atmosphérique.....	32
6- Les sources potentielles de la pollution .....	33

## **Chapitre III : Matériel et Méthode**

<b>Introduction.....</b>	<b>36</b>
<b>1- Préparation du matériel.....</b>	<b>37</b>
1-1- Présentation du matériel destiné au prélèvement des sédiments.....	37
1-2- Nettoyage des instruments.....	37
<b>2- Travaux effectués en mer.....</b>	<b>37</b>
2-1- Mesure des paramètres physico-chimiques.....	37
2-2- Prélèvement des sédiments .....	38
2-3- Conservation des sédiments.....	38
<b>3- Travaux effectués au laboratoire.....</b>	<b>38</b>
A- Traitement des sédiments destinés aux analyses des métaux lourds.....	38
1- Lyophilisation.....	38
2- Broyage .....	39
3- Digestion ou Minéralisation .....	39
a- Minéralisation à blanc.....	39
b- Minéralisation des échantillons.....	40
B- Méthode d'analyse.....	42
<b>4- La Spectrophotométrie d'absorption atomique (S.A.A).....</b>	<b>42</b>
4-1- Principe de la S.A.A.....	42
4-2- Appareillage.....	43
4-2-1- Source de radiation .....	44
4-2-2- Dispositif de transformation de l'échantillon en atomes libres.....	44
A- Système Flamme (Bruleur) .....	44
B- Système Electrothermique (Four graphite).....	44
4-2-3- Un ensemble de mesure du degré d'absorption de la radiation.....	45
A- Monochromateur.....	45

B- Détecteur.....	45
4-3- Limites de la technique .....	45
4-4- Interférences .....	45
4-5- Etalonnage .....	46
4-6- Calcul des concentrations des métaux .....	46
4- 7- Les indices de contaminations .....	47

## **Chapitre IV : Résultats et Discussion**

<b>Introduction.....</b>	<b>49</b>
<b>1- Les paramètres physico-chimiques.....</b>	<b>49</b>
1-1- La température.....	50
1-2- La salinité.....	50
1-3- L'oxygène dissous.....	51
1-4- Le potentiel d'hydrogène (pH).....	52
1-5- La conductivité.....	53
<b>2- Concentration en métaux lourds dans les sédiments superficiels.....</b>	<b>54</b>
2-1- Zinc (Zn).....	55
2-2- Manganèse (Mn).....	55
2-3- Cuivre (Cu).....	56
2-4- Fer (Fe).....	57
2-5- Plomb (Pb).....	57
2-6- Cadmium (Cd).....	58
<b>3- L'état de pollution de Fouka Marine.....</b>	<b>59</b>
<b>4- Comparaison des teneurs en métaux lourds dans Fouka Marine avec celles obtenues lors d'une étude précédente.....</b>	<b>60</b>
<b>5- Comparaison des teneurs en métaux lourds obtenus dans Fouka Marine avec celles signalées dans d'autres régions de la Méditerranée.....</b>	<b>68</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>69</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>71</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>82</b>

## Introduction

Les zones côtières sont le lieu d'activités nécessitant des eaux de bonne qualité physico-chimique : usages récréatifs, aquaculture et pêche. Ces zones sont sous l'influence directe des eaux d'oueds et des eaux usées, par où transitent les apports des bassins versants, rejets urbains et industriels. Ces rejets entraînent, lorsque le renouvellement des masses d'eau est faible par rapport aux quantités rejetées, des dégradations notables de la qualité des eaux et des écosystèmes marins. Les activités humaines passés et présentes, et en particulier les activités industrielles, mais aussi agricoles ou domestiques, libèrent dans l'environnement une grande variété de substances potentiellement dangereuses, appelés globalement contaminants ou polluants (**BRGM, 2000**).

En Algérie, plus du 1/3 de la population est installé sur le littoral. Les multiples pollutions qui découlent d'une telle concentration urbaine sur la côte ont comme point de convergence le milieu marin, et plus particulièrement les environnements côtiers qui subissent ainsi des perturbations de plus en plus importantes (**APPL, 2011**).

Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général, en quantité très faibles. On dit que les métaux sont présents « en traces ». Les métaux sont souvent indispensables au métabolisme des êtres vivants (oligo-éléments), mais ils peuvent être toxiques lorsque leur concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre et du zinc. Le cadmium et le plomb en revanche, ne sont pas nécessaires à la vie et sont préjudiciables dans tous les cas. (**Pepe et al., 2008**).

Aujourd'hui, les "métaux lourds" représentent une sérieuse menace pour l'équilibre de la nature et la survie de nombreuses espèces vivantes.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (**OMS**), 80% des maladies chroniques peuvent être causées, directement ou indirectement, par la pollution environnementale. Parmi les polluants les plus dangereux se trouvent ces fameux métaux lourds, à savoir le mercure, le cadmium, le plomb, l'arsenic, l'aluminium et le cuivre (**OMS, 2010**).

Le présent travail, a pour objectif d'évaluer l'impact de la contamination et la pollution métallique dans la zone côtière de Fouka marine via l'étude de l'accumulation des métaux lourds (Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Fe) dans les sédiments superficiels.

Ce mémoire se compose principalement de quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à des généralités sur les métaux lourds : définition, origine, classification, toxicité...etc.
- Le deuxième chapitre présente le site de notre étude, sa sédimentologie, son réseau hydrographique, sa bathymétrie et les sources potentiels de pollution.
- Le troisième chapitre contient les matériels et les méthodes nécessaires utilisés pour le traitement et l'analyse des métaux lourds ciblés.
- Le dernier chapitre présente l'essentiel des résultats obtenus et leur interprétation.

On terminera notre travail par une conclusion générale.

*Chapitre I :*  
*Généralités*

## 1- Définition :

Un métal est une matière, issue le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal, dotée d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie (Gérard, 2001).

On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels, de densité supérieure à **5 g/cm<sup>3</sup>** et tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général ils commencent de **Z=23**. Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles sous forme de traces. Il s'agit de tous les éléments de transition possédant une orbital d'insaturée, y compris les lanthanides et les actinides (bloc d et f de la classification de Mendeleïev). On classe de même parmi les métaux lourds, les éléments intermédiaires les moins électronégatifs du bloc p, parmi lesquels figurent le plomb et l'étain (Fourest, 1993).

**Tableau I.1 :** Classification périodique des éléments. (Fourest, 1993)

Bloc S												Bloc p					
H		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #cccccc; margin-right: 5px;"></div> <b>Métaux lourds de densité &gt; 5</b> </div>															He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Bloc d										Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Bloc f														
Lanthanides			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
Transuraniens			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Cf	Bk	Es	Fm	Md	No	Lr	

## **2- Origine des Métaux lourds :**

### **A- Origine naturels :**

Les métaux sont naturellement présents dans la croûte terrestre. Les métaux sont des éléments lourds, concentrés dans le magma granitique. Depuis la formation de la Terre, ils suivent un cycle géochimique qui conduit à une distribution hétérogène de leurs concentrations à la surface du globe (**Garret, 2000**). Les métaux sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles (en traces). Néanmoins, des concentrations importantes peuvent être mesurées dans certains sites, tout particulièrement autour des massifs granitiques.

Les métaux lourds sont présents naturellement dans l'environnement marin avec des concentrations variables. Ils proviennent à 80% des altérations physiques et chimiques des roches sédimentaires (**Devallois, 2009**).

Des apports par la voie atmosphérique existent également : volcanisme, érosion et transport éoliens de poussières, transport d'aérosols d'origine océanique, feux de forêts, etc.

Certaines eaux souterraines, en particulier dans les régions volcaniques ou les nappes profondes, sont très riches en métaux. Pour le cas particulier des eaux marines, l'activité tectonique et le volcanisme sous-marins sont également à l'origine d'un apport en éléments métalliques.

### **B- Origine anthropiques :**

Du fait de leurs propriétés physiques intéressantes (bons conducteurs de chaleur et d'électricité, caractéristiques de dureté, de malléabilité, possibilités d'alliages, propriétés catalytiques, etc.) les métaux sont très largement utilisés par l'homme. Cette utilisation n'a apporté aucun changement quant aux quantités de métaux présentes sur Terre : l'activité humaine ne crée ni ne détruit des éléments métalliques. En revanche, elle modifie très significativement leur répartition et les formes chimiques sous lesquelles ils sont présents dans l'environnement (**Miquel, 2001**).

**Tableau I.2 : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement  
(INERIS, 2009)**

Utilisations	Métaux
Batteries et autres appareils électriques	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni,
Pigments et peintures	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe
Alliages et soudures	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
Biocides (pesticides, herbicides, conservateurs)	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
Agents de catalyse	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn
Verre	As, Sn, Mn
Engrais	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
Matières plastiques	Cd, Sn, Pb
Produits dentaires et cosmétiques	Sn, Hg
Textiles	Cr, Fe, Al
Raffineries	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn
Carburants	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

### 3- Classification des métaux lourds :

Les métaux lourds peuvent être classés en deux catégories :

#### A- Les métaux lourds essentiels ou oligo-éléments :

Les oligo-éléments sont une classe de nutriments, éléments minéraux purs nécessaires à la vie d'un organisme, mais en quantités très faibles. On appelle oligo-éléments les éléments chimiques qui représentent une masse inférieure à  $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Les oligo-éléments possèdent également une toxicité pour l'organisme lorsqu'ils sont présents à des taux trop élevés. L'effet d'un oligo-élément dépend de la dose d'apport. Lorsque l'oligo-élément est dit essentiel, l'absence, comme un apport excessif peut entraîner des problèmes sérieux rarement létaux.

Les oligo-éléments essentiels répondent aux critères suivants :

- Être présents à une concentration peu variable dans les tissus d'un organisme ;

- Provoquer, par leur absence, des anomalies structurelles et physiologiques proches, et ce de façon similaire dans plusieurs espèces ;
- Prévenir ou corriger ces troubles par leur seule présence.

C'est le cas du fer (**Fe**), du cuivre (**Cu**), du zinc (**Zn**), du nickel (**Ni**), du cobalt (**Co**), du vanadium (**V**), du sélénium (**Se**), du molybdène (**Mo**), du manganèse (**Mn**) et du chrome (**Cr**).

#### **B- Les métaux lourds toxiques :**

Ce sont des métaux qui n'ont aucun intérêt pour l'organisme, car ils ne présentent aucune activité biologique définit. Ce sont les métaux qui n'entrent dans aucun cycle biologique dans l'organisme et présente un réel danger à des concentrations faibles. Les plus dangereux et toxiques sont : le cadmium (**Cd**), le mercure (**Hg**), le plomb (**Pb**) et l'arsenic (**As**).

#### **4- Les caractéristiques des métaux lourds :**

Les métaux lourds possèdent les propriétés physiques générales des métaux (bonne conductivité thermique et électrique). Ils sont fortement électropositifs et donnent par perte d'électrons des cations métalliques de charge variable. Ces cations métalliques, qui présentent à la fois des densités de charge élevées et un caractère électrophile, peuvent former avec des ligands des liaisons ioniques, covalentes ou intermédiaires, et donnent naissance à des complexes plus ou moins stables (**Diard P, 1996**).

#### **A- Mercure (Hg) :**

Elément non essentiel et hautement toxique pour la vie des organismes, rare dans la croûte terrestre. C'est le seul métal liquide à température ordinaire et le seul à être volatil (**Ramade, 1993**). Les origines naturelles du mercure sont les éruptions volcaniques et l'érosion hydrique qui, par lessivage, entraîne dans les cours d'eau puis dans les océans une fraction du mercure contenu dans les roches superficielles (**Ramade, 1978**). Certaines bactéries des sédiments benthiques ont un rôle essentiel, car elles transforment le mercure minéral en monométhylmercure. Ce dernier reste dans l'hydrosphère, où il est incorporé aux chaînes alimentaires et provoque chez l'homme divers symptômes caractéristiques de la maladie de Minamata. Les principales causes de pollution par cet élément sont les usages industriels, agricoles ainsi que la combustion du charbon et du pétrole.

### **B- Arsenic (As) :**

De très forte toxicité, il est aussi bien présent dans les tissus des plantes que des animaux et est devenu synonyme de " poison a dans l'esprit du public. Il est assez répandu dans la biosphère (1-100 ppm) et sa présence a été décelée dans les pyrites.

Les dérivés arsenicaux sont utilisés dans les tanneries, dans la fabrication de certaines peintures, dans la métallurgie, la coloration des verres et des céramiques et dans l'agriculture. Sa présence dans l'environnement est liée à des rejets industriels ainsi qu'à l'utilisation d'engrais phosphatés et de détergents (**AEAP, 1991**).

### **C- Cadmium (Cd) :**

Présent en faible quantité dans la biosphère (0.1-0.2 ppm). Ses minerais sont liés à ceux du plomb et du zinc et ses sels sont très toxiques. Le **Cd** étant souvent associé au zinc (Zn) dans les rejets, il existe une parente chimique ainsi qu'une compétition entre ces 2 métaux (**Bovard et al, 1978**). Les principales sources dans l'environnement proviennent de la métallurgie du zinc; des synthèses de produits organiques; de la fabrication des ciments, des piles électriques et des peintures; des produits des raffineries et de la galvanoplastie. La forme stable du cadmium, dans le milieu aquatique, est le **Cd<sup>2+</sup>** (**Moore et Ramamoorthy, 1984**). Ce dernier peut en particulier occuper des sites actifs du zinc dans les enzymes et perturber les mécanismes qui en dépendent. Il est donc toxique, cumulatif et peut provoquer chez l'homme la maladie d'**Itai-itai**.

### **D- Plomb (Pb) :**

Métal assez répandu dans le globe (8-20 ppm) et présent dans divers minerais (galène...). Le plomb est relâché dans l'environnement suivant divers processus naturels, mais depuis le développement d'industries telles que la métallurgie, la combustion des charbons, l'emploi des peintures et surtout l'utilisation de composés à base de plomb dans les carburants, les quantités de plomb émises dans le milieu naturel sont considérables (**A.F.E.E, 1979**). Les métabolismes du plomb et du calcium sont similaires pour ce qui concerne le dépôt et la mobilisation dans les os. De plus, absorbé en grande quantité chez l'homme, il devient toxique et provoque le saturnisme.

### **E- Chrome (Cr) :**

Le chrome existe sous deux formes (trivalent et hexavalent) et Cr(VI) est approximativement 100 fois plus toxique que les sels de Cr (III) (**Forstner et Wittman,**

**1981**). Les minerais de chrome (chromite ...) sont essentiellement utilisés par l'industrie métallurgique, l'industrie des pierres réfractaires et l'industrie chimique (**A.F.E.E, 1979**). Il est également indispensable à la vie, car il est utilisé comme cofacteur dans les réactions de l'insuline et stimule la synthèse de plusieurs enzymes (**Bennouna, 1990**).

#### **F- Cuivre (Cu) :**

Métal largement répandu dans le globe (0.01% de la croûte terrestre), sous la forme de cuprite, de chyrocolle, ou de malachite. En raison de ses propriétés physiques particulières (conductivité électrique, thermique et résistance à la corrosion), le cuivre métal a un large éventail d'utilisations industrielles. Les sels de cuivre sont utilisés dans de nombreux domaines (agriculture, industrie textile, fabrication de pigments, industrie photographique) (**A.F.E.E, 1979**). De plus, il est reconnu comme élément essentiel de l'alimentation des oiseaux, des plantes et des mammifères, et participe au métabolisme de la purine et au développement du système nerveux (**Bennouna, 1990**). La toxicité du cuivre (dûe à Cu<sup>2+</sup>) est assez importante pour les êtres vivants à des doses relativement faibles (**Hellawell, 1988**).

#### **G- Zinc (Zn) :**

Métal essentiel pour la croissance et le développement normal d'espèces animales et végétales, il devient nuisible quand il est en excès (**Bennouna, 1990**). La forme la plus exploitée est le sulfure. Il est accompagné d'autres métaux (Cd, Pb, ...) qui peuvent faire l'objet d'une exploitation simultanée. L'utilisation la plus importante est la galvanisation. Viennent ensuite la préparation d'alliages et du laiton. L'oxyde est utilisé comme catalyseur de vulcanisation dans la préparation des caoutchoucs et le zinc-métal en feuilles, sert dans le bâtiment et dans la fabrication des piles électriques. C'est donc un métal très commun des effluents industriels.

#### **H- Nickel (Ni) :**

Élément métallique de numéro atomique 28 (symbole Ni), le nickel est abondant dans les météorites et à l'intérieur du globe terrestre (manteau et noyau), où il se classerait au cinquième rang par ordre d'abondance. Il arrive au vingt-troisième ou au vingt-quatrième rang dans la croûte terrestre. Malgré cette relative abondance, les minerais de nickel (sulfures, oxydes et silicates) exploitables dans des conditions économiques convenables sont localisés dans quelques régions seulement. Le nickel est un métal blanc brillant,

relativement dur, malléable et ductile, de densité 8,90 à 20°C. Il fond à 1 453°C et bout à environ 2 800°C et il est ferro-magnétique jusqu'à 355°C (point de Curie).

## **5- Contamination métallique des sédiments :**

Lorsque les polluants sont libérés dans l'environnement, ils sont fréquemment mobilisés dans la rivière et dans l'atmosphère et durant leur transport, ils peuvent être incorporés dans les sédiments. Dans la plupart des systèmes aquatiques, les sédiments contiennent significativement plus de métaux lourds que l'eau et ils jouent un grand rôle dans le cycle hydrologique. C'est pourquoi l'analyse des métaux lourds est un outil de reconnaissance de localisation d'un minerai, de détermination de la qualité de l'eau et d'identification des sources de pollution (**Horowitz et Elrick, 1988**).

## **6- Adsorption des métaux sur les sédiments :**

L'adsorption des métaux sur les sédiments fait intervenir plusieurs types de phénomènes de surface : la précipitation, la coprécipitation et l'adsorption sur les composés minéraux et organiques. Dans le cas des métaux, les formes majeures sont adsorbées sur les particules minérales par des interactions ioniques ou liées à la matière organique formant ainsi des complexes métalliques par l'intermédiaire de liaisons covalentes. De plus, l'adsorption dépend de l'origine des substances et des conditions environnementales (pH, potentiel redox ...). L'influence de ces dernières est importante, car elles définissent les liens participant à la fixation des cations métalliques sur les sédiments, ainsi que les capacités d'adsorption, variables selon la nature du métal. (**Serpaud et al, 1994**).

## **7- Toxicité :**

La toxicité des métaux lourds est due essentiellement à :

- Leur non bio-dégradabilité.
- Leur effet néfaste à faible concentration.
- Leur bio-accumulation dans les organismes vivants.

La toxicité est un phénomène très complexe, résultant d'interactions multiples entre des substances néfastes et des organismes vivants. On distingue alors 3 formes différentes de toxicité : aigüe provoquant la mort ou de graves troubles physiologiques, subaigüe ou chronique. De plus, la toxicité d'un métal est déterminée par la nature chimique de

l'environnement aqueux et par la spéciation des métaux (forme chimique sous laquelle le métal est considéré).

Le tableau ci-dessous montre les effets néfastes les plus importants des métaux lourds sur le corps humain :

**Tableau I.3 : Principaux effets des métaux lourds (Kitamura, 1971)**

<b>Eléments</b>	<b>Effets</b>
<b>As</b>	Très toxique, possible cancérigène
<b>Cd</b>	Hypertension, dommage sur le foie
<b>Cr</b>	Cancérigène sous forme de Cr (VI)
<b>Cu</b>	Provoque des vomissements, des fièvres proches à des maladies virales
<b>Hg</b>	Effet cytotoxique sur les cellules souches du système nerveux central
<b>Ni</b>	Allergies de peau, maladie respiratoires possible cancérigène
<b>Pb</b>	Cause le Saturnisme par intoxication aigue ou chronique
<b>Se</b>	Essentielle à faible doses, à doses élevées il cause des irritations respiratoires, inflammation bronchique et la pneumonie
<b>Zn</b>	Provoque des irritations de la peau, des vomissements, des nausées, de l'anémie.

### **8- Impact des métaux lourds sur l'environnement :**

Les métaux peuvent être absorbés sous la forme inorganique ou sous la forme organique. Pour certains éléments, comme l'arsenic et le cuivre, la forme inorganique est la plus toxique. Pour d'autres, comme Hg, Sn et Pb, les formes organiques sont les plus toxiques. A de faibles concentrations, beaucoup de métaux lourds, dont **Hg, Cd, Pb, As** et **Cu**

inhibent la photosynthèse et la croissance du phytoplancton. Les effets observés à des niveaux trophiques supérieurs se manifestent notamment par un retard du développement des embryons, des malformations et une moins bonne croissance des adultes chez les poissons, les mollusques et les crustacés. **(Horowitz et Elrick, 1988)**.

Il a été démontré que les végétaux aquatiques accumulent des métaux lourds dans leurs tissus et c'est pourquoi ils ont été utilisés comme indicateurs biologiques pour le suivi de la pollution par les métaux dans l'écosystème aquatique. Par ailleurs, selon certaines études, les métaux lourds auraient aussi un impact négatif sur les communautés bactériennes telluriques.

En effet, les métaux lourds sont réputés toxiques pour la plupart des microorganismes du sol car ils affectent leurs croissances, leurs morphologies, et leurs métabolismes. Ces altérations conduisent à des réductions de la biomasse bactérienne. Les métaux lourds peuvent aussi entraîner des modifications des communautés bactériennes (disparition des espèces les plus sensibles et sélection des espèces les plus résistantes aux métaux lourds) et également cela peut affecter leur activité enzymatique. Ainsi les microorganismes sont susceptibles d'être affectés au niveau de leurs activités, leur physiologie et de leur diversité, par conséquent, ces perturbations peuvent avoir des conséquences sévères sur l'ensemble de l'écosystème **(Dehaine, 1992)**.

Afin de mieux étudier les métaux lourds décrite précédemment, on doit étudier et définir quelques paramètres physico-chimiques nécessaires comme la température et l'oxygène dissous qui nous aident à valoriser la qualité des eaux.

## **9- Les paramètres physico-chimiques :**

### **A- La Température :**

C'est une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels. Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants **(Rodier, 1997)**. D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond. Par sa contribution à la détermination de la densité des eaux **(Gaujous, 1995)**, sa mesure est nécessaire à la détermination de la stratification verticale,

la valeur de saturation des gaz dissous (en particulier l'oxygène) et la circulation océanique (**Aminot & Kérouel, 2004**).

Dans les eaux de surface, sa variation dépend essentiellement des phénomènes climatiques (**Aminot et Chausse-Pied, 1983**). La mesure de la température est indispensable pour le traitement ou l'interprétation d'autres paramètres tel que : la saturation des gaz dissous et la mesure du pH. (**Aminot et Kérouel, 2004**).

#### **B- La Salinité (S) :**

La salinité est importante dans le milieu marin, par son influence sur la densité de l'eau de mer, elle permet de connaître la circulation océanique, d'identifier les masses d'eaux d'origines différentes et de suivre leurs mélanges au large comme à la côte ou dans les estuaires. La salinité est une propriété de l'eau de mer qui est fondamentale à l'étude du milieu marin, (**Aminot & Kérouel, 2004**), il forme avec la température deux descripteurs de base des masses d'eaux (bon traceur du mélange des eaux) (**Aminot & Chausse-Pied, 1983**). Elle correspond à la teneur en sels dissous de l'eau de mer peut être mesurée et exprimée de différentes manières suivant que l'on considère l'ensemble des corps ; ou seulement les sels dominants (**Rodier, 1996**).

#### **C- Le potentiel d'hydrogène (pH) :**

C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. Il résulte de la composition ionique de l'eau, et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) à l'interface air-mer, ainsi que de la dissolution du calcaire (**Aminot & Kérouel, 2004**). En théorie, le *pH* est défini comme le cologarithme décimal de l'activité de l'ion  $\text{H}^+$ . Le *pH* dépend de la teneur en dioxyde de carbone; c'est à dire une modification de  $\text{CO}_2$  (Respiration, photosynthèse, échange air- océan) entraînera donc une modification du *pH*. (**Ramade, 2000**). En plus des processus physiques, chimiques, biologiques, l'accumulation de matières organiques d'origine continentale et la contamination par des rejets urbains ou industriels contribuent à la modification du pH naturel. En l'absence d'influences externes, le pH est le reflet des équilibres entre les espèces chimiques majeures du milieu, mais il est également l'indicateur de certaines pollutions directes ou indirectes (**Aminot & Kérouel, 2004**).

#### **D- L'oxygène dissous (OD) :**

L'oxygène moléculaire dissous est un paramètre important du milieu qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. La concentration en oxygène dissous est la résultante des facteurs physiques (température, échange air-mer et la salinité), chimiques (oxydation chimique) et biologiques (photosynthèse, respiration et régénération). **(Rodier, 2005)** La teneur en oxygène dissous peut subir des variations importantes. Elle dépend de la température et de la salinité de l'eau, de la pression et de la température de l'air. Le déficit en oxygène est évalué par la teneur en matière oxydable **(Burns & Saliot, 1986)**. Dans les eaux de surface l'oxygène joue un rôle fondamental dans le maintien de la vie aquatique et dans les phénomènes d'auto-épuration. Par exemple, quand la température augmente, la solubilité de l'oxygène diminue et les bactéries plus nombreuses consomment plus d'oxygène, d'où la diminution de la teneur en oxygène dissous.

#### **E- La conductivité électrique (C) :**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques **(Rodier, 2005)**. La conductivité de l'eau de mer est très élevée en raison de la forte concentration en sels dissous **(Aminot & Kérouel, 2004)**, du fait qu'elle permet d'évaluer la charge en électrolytes d'une eau **(Ramade, 2000)**.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25°C. Mesuré sur le terrain, ce paramètre permet de caractériser l'eau. La conductivité d'un échantillon peut être déterminée par comparaison avec la conductivité d'une eau de mer standard (eau de mer normale) dont la salinité est de 35% **(Rodier, 2005)**.

*Chapitre II :*

*Description Du Site*

## 1- Situation géographique :

Fouka est une commune côtière de la wilaya de Tipaza. Elle a été érigée en chef lieu de daïra après le découpage territorial et conformément au décret exécutif n° 91.306 du 24 Août 1991. La commune se situe au nord-est de la wilaya à 20 km du chef lieu de Tipaza et à 40km d'Alger. Elle est sillonnée par la route nationale n°11 en provenance d'Alger et en direction de Chlef; et reliée à koléa par le chemin de wilaya n°110 et à Bousmaïl par le chemin de wilaya n°126.

Elle s'étend sur une superficie totale de 1273 ha et est délimitée :

- Au Nord par la mer Méditerranée.
- Au Sud par la commune de Koléa.
- A l'Est par la commune de Douaouda.
- A l'Ouest par la commune de Bou Ismail.

Au point de vue géographique, elle se situe sur le versant Nord du Sahel, son relief est composé de deux parties:

- La plaine côtière qui s'étend sur 4,92 km où se localisent les terrains agricoles les plus riches.
- Les collines séparées de la plaine littorale par une forte pente.

Fouka marine a comme coordonnées géographiques :

- Latitude Nord : **36° 66'**
- Longitude Est : **2° 74,2'**

Cette zone comprend de l'Ouest à l'Est :

- Une série de falaises abruptes constituées d'un grès dunaire
- Une plage d'environ 20 m de large et 300m de long, portant une série d'habitations.
- Zone rocheuse déchiquetée, se prolongeant sur environ 800m de long. Cette zone est intercalée par petites grèves à galets.
- Le dernier tançon se compose de falaises et de blocs de roches (éboulis), jusqu'à Douaouda Marine.



**Figure II.1 :** Situation géographique de Fouka marine (Google Earth, 2016).

## 2- Sédimentologie :

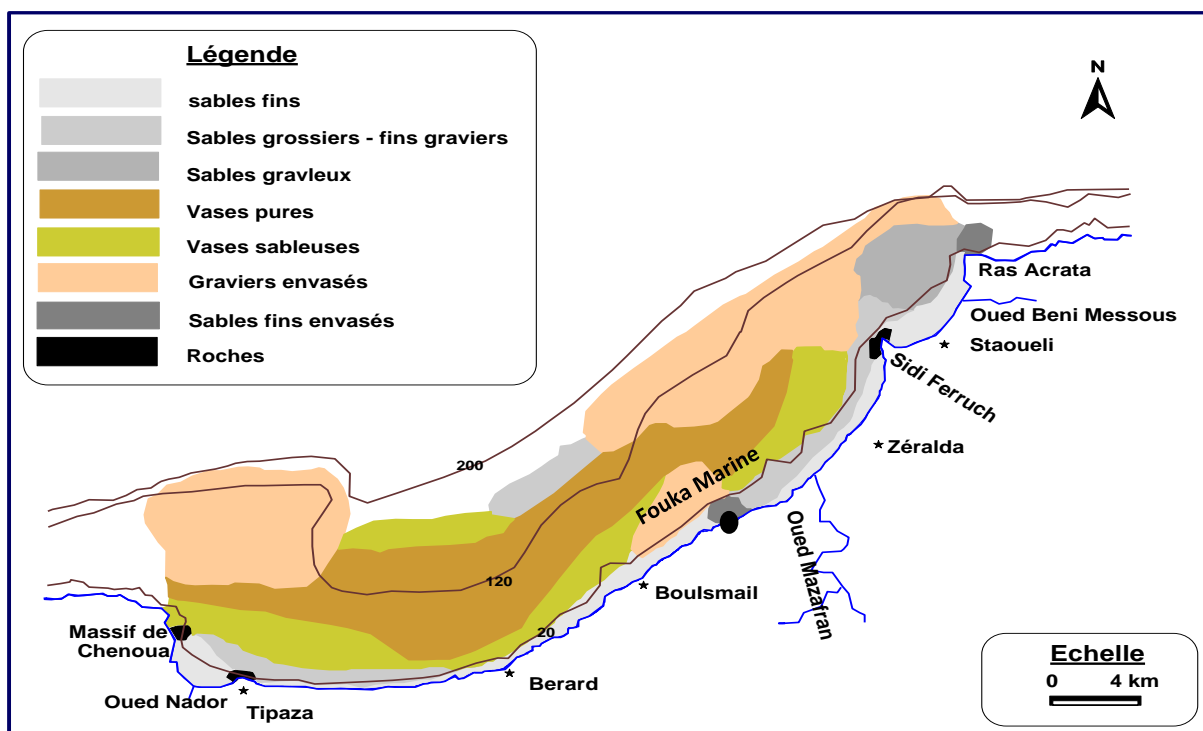
La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par des sédiments uniformes (**Coumes et Ronseau, 1967**). Au-delà de 30m de profondeur, ces sédiments deviennent rapidement homogènes dans presque l'ensemble de la baie, ce ne sont que les sédiments côtiers qui présentent les aspects les plus divers en raison des apports terrigènes, l'agitation des eaux et de l'activité biologique. Les sables fins cités par **Dagorne (1970)**, font partie des catégories des sables (0,04 et 1mm) infralittoraux. **Leclaire (1972)** les qualifie de sable fins très quartzeux, formant une succession de belles plages de Douaouda à Ras Acrata. Ces sables côtiers à double origine (terrigenè et bioclastique) se chargent progressivement vers le large, en matériel argileux détritique et passent successivement à des sables vaseux et des vases sableuses surtout à l'Est de la baie, pour donner des vasières qui prédominent à l'Ouest de la baie (**Dagorne, 1970**).

**Ait-Kaci et Pauc (1981, 1983)**, mettent en évidence le rôle de l'Oued Mazafran dans la sédimentation fine dans la baie de Bou-Ismaïl, ainsi que les apports en suspension saisonniers transportés par cet oued.

Entre Fouka et Bou-Ismaïl, le sable grossier prédomine, les sables moyens succèdent aux sables fins dans la baie d'El-Djamila, et au sable grossier en face de Bou-Ismaïl et au large de Chenoua.

D'après les études faites par **Muraour et Hollands (1951)** et **Durand (1952, 1958)**, sur quelques sédiments de la baie, la bordure rocheuse de Tipaza à Khmesti est constituée de gré calcaire. Sur le prolongement de la bordure, le sable se mêle à des algues calcaires et à des débris de coquilles de mollusques et de tests d'oursins. De Bou-Ismaïl à Sidi-fredj nous trouvons des plages d'algues calcaires, des coquilles et des débris d'oursins.

L'analyse des sédiments de la baie de Bou Ismaïl a permis de mettre en évidence la grande diversité sur le plan sédimentaire des fonds de cette baie. Neuf faciès sont identifiés : 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 et le faciès rocheux. L'importance et la répartition de ces faciès ne sont pas identiques en tout point de la baie.



**Figure II.2 : Sédimentologie de la baie de Bou Ismaïl (PAC, 2005).**

### **3- Réseau hydrographique :**

La baie de Bou-Ismaïl est traversée par trois oueds découlant du bassin versant, et traversant la plaine de la Mitidja avant de se jeter à la mer. On trouve d'Est en Ouest :

L'oued Beni Messous, et les deux principaux oueds issus de l'Atlas blidéen l'Oued Mazafran et l'Oued Nador et franchissent les obstacles du sahel et se déversent directement en mer avec de faibles débits.

#### **A- Oued Beni Messous :**

Il prend naissance dans le massif de Bouzréah, il reçoit plusieurs affluents et se jette dans la baie d'El-Djamila, son bassin versant s'étend sur 33 km<sup>2</sup>, son sol est considéré comme semi-perméable.

Ce caractère hydrologique limite l'infiltration et diminue l'importance des nappes phréatiques ce qui favorise le lessivage des sols par les eaux de ruissellement. Ces apports alimentent surtout la baie d'El-Djamila.

#### **B- Oued Mazafran :**

L'oued Mazafran est considéré comme le cour d'eau le plus important de la région. Il résulte de la jonction de trois oueds : l'oued Djer, l'oued Bou-Roumi et l'oued Chiffa.

L'oued Chiffa et ses affluents prennent leurs sources sur le versant Sud de l'Atlas, et reçoivent en basse Mitidja un affluent important : l'Oued Anasseur

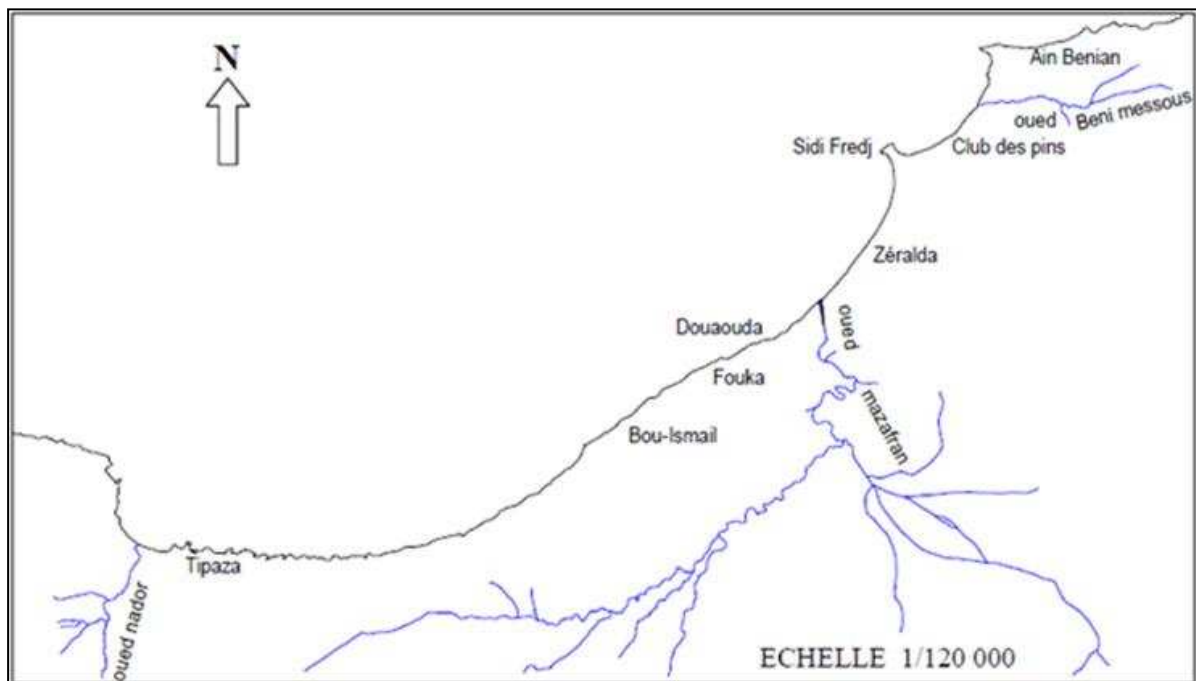
L'oued Djer prend sa source dans le massif de Zaccar (Miliana) à plus de 1000m d'altitude. Le Mazafran arrache chaque année une masse importante de matériaux de l'Atlas.

Le bilan de ses écoulements annuel moyen est de l'ordre de 4000 m<sup>3</sup>/s. En période de crue, cet oued recueille une partie des eaux de ruissellement des régions montagneuses a très forte pluviométrie. En raison de sa pente nulle, ne permettent d'évacuer qu'1/5 de son débit, des inondations importantes sont courantes.

#### **C- Oued Nador :**

Situé sur la partie occidentale, entre Tipaza et le mont Chenoua, son bassin versant est drainé par un réseau d'affluents dont l'oued Bouyersen, l'oued Bouardoun, l'oued Meurad, l'oued Boukika.

La surface de son bassin versant est de l'ordre de 230 km<sup>2</sup> son débit annuel est de 0,89 et sa charge sédimentaire est d'environ 28.106 m<sup>3</sup>/an (**Boukretaoui, Boutouili, 1989**).

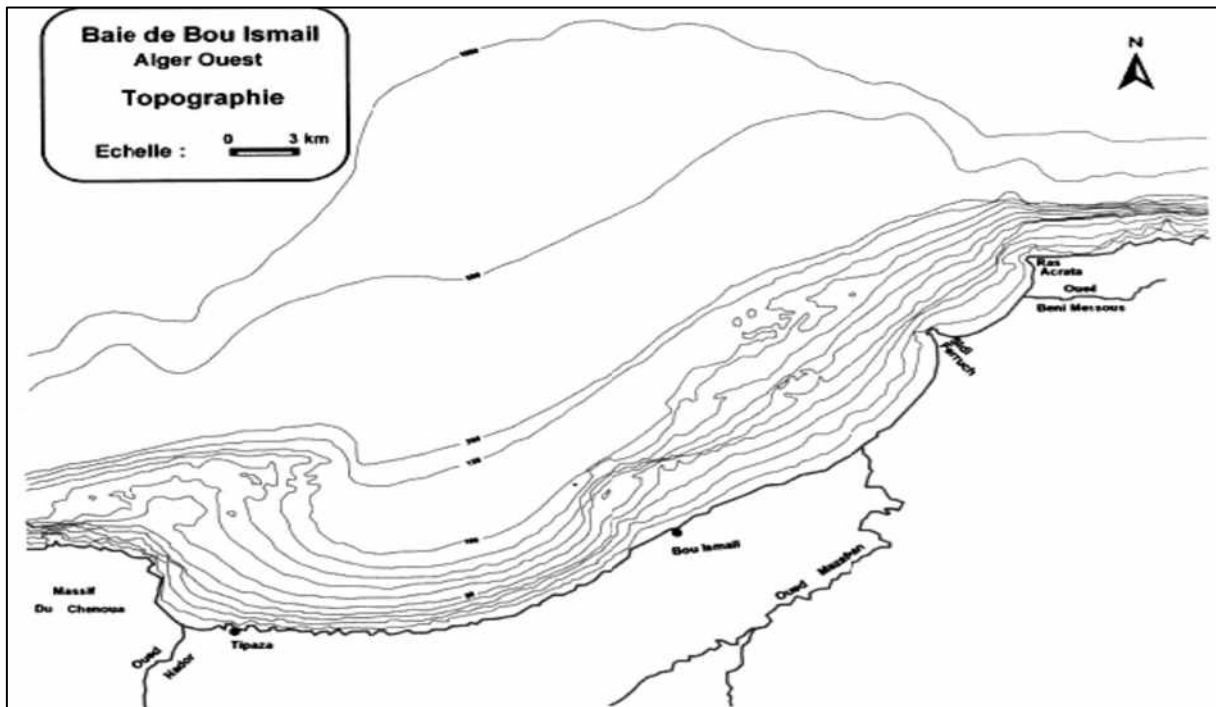


**Figure II.3** : Réseau hydrique de la baie de Bou-Ismaïl.

#### 4- Bathymétrie :

**Leclaire (1972)** a dressé une carte de la couverture sédimentaire de toute la baie de Bou-Ismaïl, il distingue ainsi trois zones d'affleurement rocheux difficilement chalutables, qui sont comme suit :

- Le prolongement du massif de Chenoua, lequel rejoint la vallée sous-marine de Ras-Nador depuis la cote jusqu'à l'isobathe 180m en direction Nord Nord-Est.
- Entre Bouharoun et Douaouda Marine, depuis la cote jusqu'à l'isobathe 100m.
- Depuis les fonds de 110 à 150 m au Nord de Bou-Ismaïl jusqu'à la hauteur de Sidi-Fredj.



**Figure II.4 : Bathymétrie de la baie de Bou-Ismaïl (Leclaire, 1972)**

## **5- Les facteurs hydrodynamiques et climatiques :**

On regroupe sous le nom de facteurs hydrodynamiques tous les facteurs liés aux mouvements de l'eau, tels que les vagues, les courants et les marées. Les facteurs hydrodynamiques sont des agents érosifs très efficaces et jouent un rôle déterminant dans la répartition et plus précisément dans l'étagement des organismes benthiques.

### **A- Le vent :**

Le vent est un élément important dans la dynamique des eaux marines, il est à l'origine des houles et des courants superficiels. Fouka Marine appartient à la baie de Bou Ismail qui est caractérisée par une périodicité des vents qui se traduit par :

- Des vents d'Ouest en Hiver et Printemps induisant des houles de grandes amplitudes, d'une vitesse moyenne de 3m/s.
- Des vents de l'Est en Eté et début Automne avec de faibles amplitudes, avec une vitesse moyenne supérieure à 2m/s. Ils peuvent être très violents de 15 à 20m/s durant 3 jours consécutifs (Asso. A, 1982, in Zeghdoudi, 2006).

Les vents Ouest, et Nord-Ouest sont les plus dominants. Ils soufflent le plus souvent sur la région et peuvent engendrer des tempêtes.

#### **B- Les courants :**

La Méditerranée est un bassin semi-fermé avec une ouverture naturelle (Gibraltar) sur l'Océan Atlantique et une autre ouverture artificielle (le canal de Suez) sur la mer rouge (océan Indien). La largeur du détroit de Gibraltar est de 14,5 Km et sa profondeur avoisine 160m, ce qui rend les échanges difficiles avec l'océan Atlantique.

Un manque de précipitations, lié à la position géographique fait de la Méditerranée un bassin de concentration. Il se crée un déficit hydrique compensé par une entrée d'eau de Gibraltar. Ce flux océanique appelé d'abord courant atlantique pénètre sous forme d'un flot formant des tourbillons au niveau de la mer d'Alboran, puis selon **Millot et al (1989)**, il quitte la côte espagnole près d'Almeria en direction de la cote Algérienne qu'il atteint près d'Oran à environ 1°W. Il porte alors le nom de courant Algérien à cause des caractéristiques spécifiques.

#### **C- Les précipitations :**

Le régime des pluies dans la région de Fouka marine obéit au cycle méditerranéen caractérisé par son irrégularité et l'alternance de deux saisons distinctes :

- Une saison estivale sèche allant de Mai à Septembre (précipitation moyenne est de **15,12 mm**).
- Une saison hivernale humide allant du mois d'Octobre au mois d'Avril (précipitation moyenne est de **61,53 mm**).

La moyenne mensuelle des précipitations le long de l'année est de **45,59 mm**.

#### **D- La température atmosphérique :**

La température en baie de Bou-Ismaïl est marquée par deux périodes où les températures superficielles maximales se situent dans le mois de Juillet et Août, et les températures minimales en Janvier et Février.

- Période chaude : Juin à Octobre : **20,4°C < T° < 26,5°C**
- Période froide : Novembre à Mars : **11,5°C < T° < 15,4°C**

## 6- Les sources potentielles de la pollution :

La pollution est un problème préoccupant pour l'environnement, elle constitue un facteur majeur de dégradation du milieu naturel et de destruction des écosystèmes.

Fouka Marine connaît plusieurs types de pollution parmi lesquelles : la pollution physique, la pollution atmosphérique, la pollution agricole et la pollution hydrique.

### A- Pollution agricole :

La pollution agricole est développée par la vocation agricole de la commune de Fouka. Les cultures maraichères demandent beaucoup d'engrais et la nature du sol ne retient que 50% des engrais permettant ainsi le lessivage des sols par les eaux de pluie. Une grande quantité d'engrais et de pesticides est véhiculée par les eaux de ruissellement vers les cours d'eau côtiers qui se déversent en mer.

### B- Pollution physique :

Les déchets solides constituent une source majeure de pollution. La quantité des déchets ménagers produits par la commune de Fouka Marine est de **11,864 T/j**, calculée théoriquement à partir d'une population de **39549** habitants (RGPH) et la production moyenne par habitant est estimée à **0,3 kg/hab/j (RGPH, 1998)**.

Ajoutée à cela les déchets issus des activités industrielles existantes, tels que les déchets de cartons, plastiques et autres ainsi que les déchets inertes provenant des démolitions qui sont éparpillés dans toute la région.

**Tableau II.1** : Estimation de la production des déchets ménagers (RGPH, 1998).

Année	Population (habitants)	Quantité (kg/j)
1988	39 549	23 729,4
2005	46 310	27 786
2010	51 533	30 919,8
2015	57 009	34 205,4
2025	60 143	36 085,8

Cette pollution est accélérée pendant la saison estivale, du fait de la présence d'une population importante sur le littoral qui sera accompagnée de la prolifération de commerces temporaires et d'autres activités induisant une production importante de déchets supplémentaires.

### **C- Pollution hydrique :**

La pollution hydrique provient des eaux usées collectées par le réseau d'assainissement de la zone urbaine constituée du chef-lieu de Fouka et des deux agglomérations secondaires Fouka Marine et quartier Ben Henni.

Ces collecteurs se déversent directement en mer sans aucune épuration. De plus de l'existence de plusieurs rejets individuels vers la mer, ces derniers proviennent des constructions et des habitations sur le rivage en dépit de la loi interdisant ces pratiques.

Le débit des eaux usées rejetées est de 2 357,06 m<sup>3</sup>/j, estimé sur la base de la population totale de la commune évaluée à 39 548 habitants (**RGPH, 1998**).

Ainsi, une étude menée par les services de secrétariat d'état aux forêts et à la mise en valeur des terres (**ANPE in Ouled Hocine et Hedrougue, 1993**) a recensé 99 unités pour la fertilisation des sols, elles utilisent des produits phytopharmaceutiques tels que les organochlorés, engrais à base de nitrates, phosphates et potassium ou produits à base de cuivre. Les plus importantes sont les suivantes :

- Base centrale logistique de Beni Mered (rejets de cyanure, chrome, nickel et cuivre).
- Office nationale des aliments de bétail d'Attaba.
- Unité Satti de Koléa (utilisation de 44 colorants et 22 produits chimiques).
- Unité de tissage.
- Finissage et teinturerie utilisant des produits chimiques tels que les colorants à base de métaux (chrome etc...).

*Chapitre III :*  
*Matériel et Méthode*

## Introduction :

Le présent travail concerne le dosage des métaux lourds au niveau d'une matrice très importante : le sédiment dans Fouka marine.

Les métaux lourds s'accumulent dans les sédiments grâce aux phénomènes d'adsorption et de décantation, ce qui rend le sédiment un témoin important pour connaître l'état de pollution acquise par un site (ARNOUX, 1993).

Quatre stations de prélèvement ont été choisies ; trois stations situées à Fouka Marine et une station située dans une zone qui reçoit des apports anthropiques (en face l'embouchure de l'oued Mazafran), en plus de cinq autres échantillons fournis par le CNRDPA qui ont été effectués lors d'une campagne précédente.

Nos stations de prélèvements sont représentées avec une couleur rouge, tandis que les stations de prélèvement des échantillons fournis par le CNRDPA sont représentées avec une couleur noire.



**Figure III.1 : Localisation des stations de prélèvement (Google Earth, 2016)**

## 1- Préparation du matériel :

### 1-1- Présentation du matériel destiné au prélèvement des sédiments :

- La benne « Van-Veen »
- Spatule inoxydable
- Sachets en plastiques numérotés

### 1-2- Nettoyage des instruments :

Pour éviter toute source de contamination, le matériel qui servira à l'échantillonnage, au prétraitement et au traitement doit être soigneusement nettoyé selon la procédure suivante :

- Lavage aux détergents commerciaux
- Rinçage à l'eau courante
- Rinçage à l'acide chlorhydrique dilué (**HCl à 5%**)
- Rinçage à l'eau bidistillée
- Séchage à l'étuve (**70°C**)

## 2- Travaux effectués en mer :

Les travaux de prélèvement de sédiment ont été effectués le **25/05/2016** à bord du navire océanographique « **BABA ARROUDJ** » de l'école nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral. Notre point de départ été le port de Sidi Fredj à destination de la petite baie de Fouka Marine. La sortie a été assisté par deux doctorants qui nous ont aidé et monter l'usage des différents appareils. Les stations de prélèvement ont été repérées à l'aide d'un **GPS**.

### 2-1- Mesure des paramètres physico-chimiques :

La mesure des paramètres physico-chimiques a été réalisée par une valise multi-paramètres de type **HI-9829** qui mesure la température, la salinité, l'oxygène dissous, le potentiel d'hydrogène, la conductivité et ainsi que d'autres paramètres.



**Figure III.3** : Sonde de mesure des paramètres physico-chimiques

## 2-2- Prélèvement des sédiments :

Les prélèvements des sédiments sont réalisés à l'aide d'une benne inoxydable de type « Van-Veen ».

Afin d'éviter le contact avec les parois de la benne, le prélèvement du sédiment est effectué grâce à une spatule inoxydable du cœur du sédiment ramené par la benne. Enfin les échantillons sont recueillis dans des sachets en plastique bien fermés et étiquetés.



**Figure III.4 :** Benne « Van-Veen »

## 2-3- Conservation des sédiments :

Les échantillons de sédiments marins, dans l'attente d'être traités au laboratoire, sont maintenus congelés à **-18°C**. La congélation permet de conserver pour l'essentiel les propriétés chimiques des échantillons, d'éviter une contamination avec le milieu ambiant et les pertes d'éléments volatils tel que le mercure (**Charlou et Joanny, 1983**).

## 3- Travaux effectués au laboratoire de Sidi Fredj :

### A- Traitement des sédiments destinés aux analyses des métaux lourds :

La méthodologie appliquée pour le traitement des échantillons destinés à l'analyse des métaux lourds est celle préconisée par l'**AEA (2001)** qui s'effectue à partir des opérations suivantes :

#### 1- Lyophilisation :

La lyophilisation est une technique permettant la déshydratation de l'échantillon congelé par sublimation à basse température (**-55°C**) et sous vide (**0,1 bar**) pendant **48 heures**. La lyophilisation est préférable à la déshydratation à l'étuve car cette

dernière entraîne une perte des éléments-traces métalliques les plus volatils en particulier le mercure (Charlou et Joanny, 1983).

## 2- Broyage:

Les échantillons lyophilisés de sédiment sont broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine. Puis on récupère le sédiment broyé et on le stocke dans des piluliers en verre dans un endroit sec (dessiccateur en présence de gel de silice activé).



**Figure III.5 :** Mortier en porcelaine

## 3- Digestion ou minéralisation

La digestion ou minéralisation est une opération d'extraction et de solubilisation des éléments-traces métalliques après décomposition des échantillons.

### a- Minéralisation à blanc :

On met **4ml** d'acide nitrique (**HNO<sub>3</sub> à 69%**) dans chaque godet en téflon puis on les ferme bien et on les met sur la plaque chauffante à **120°C** pendant **2h 30min**. Une fois les godets refroidi, on les rince bien avec l'eau bi-distillée et on les met à l'étuve à **70°C** pendant une nuit.



**Figure III.6 :** Godets en Téflon sur la plaque chauffante

**b- Minéralisation des échantillons :**

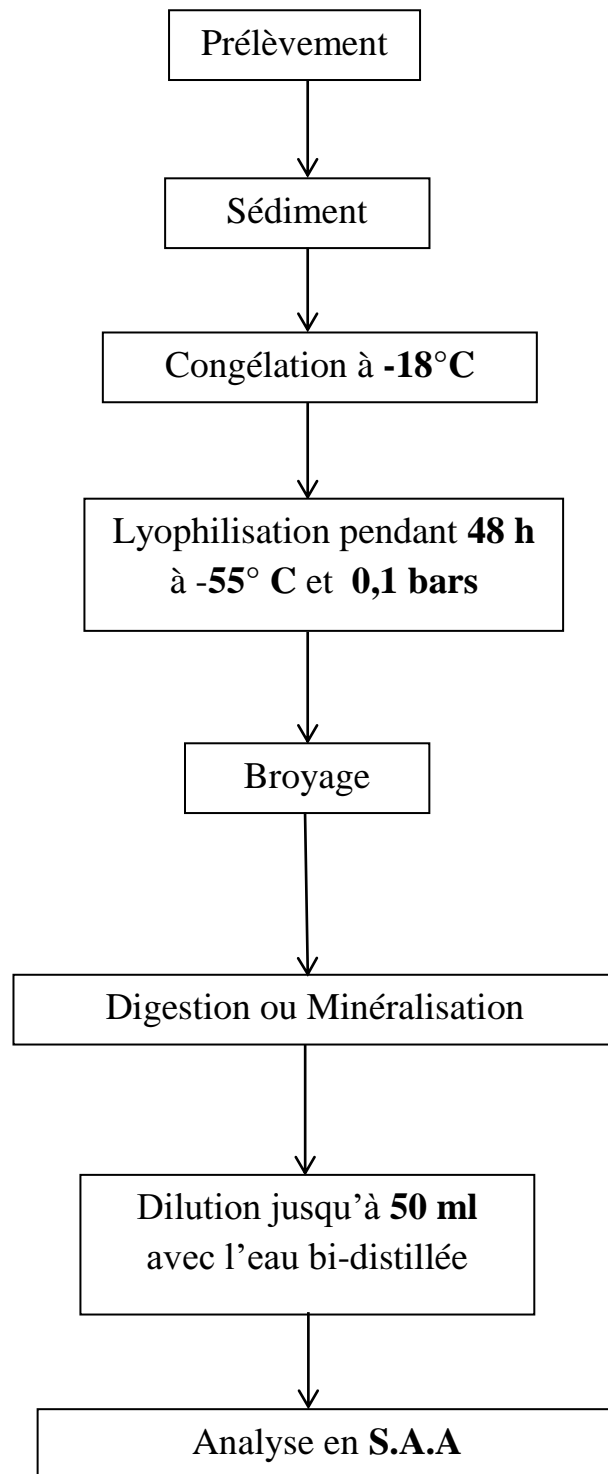
On met 0,5 g de sédiment dans chaque godet en téflon, puis on y ajoute 6ml d'aurégale (4,5ml 'Hcl + 1,5ml d'HNO<sub>3</sub>). Un godet est réservé au blanc dans lequel il suffit de mettre 6ml d'aurégale. On ferme les godets et on les laisse pendant une nuit (**minéralisation à froid**). Puis on les met sur la plaque chauffante à **120°C** pendant **2h 30min**. Une fois refroidi, on transfère le contenu des godets dans des tubes conique et on complète avec l'eau bi-distillée jusqu'à **50 ml**. La solution obtenue est prête pour l'analyse



**Figure III.7 :** Etuve



**Figure III.8 :** Lyophilisateur



**Figure III.9 :** Schéma récapitulatif des étapes du traitement des échantillons du prélèvement jusqu'à l'analyse.

## **B- Méthode d'analyse :**

Les mesures des métaux lourds sont des opérations délicates à mener, d'autant plus que le nombre d'éléments est grand et qu'ils sont présents le plus souvent à l'état de traces. Les méthodes de mesure sont très variées et ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients, le choix de l'une d'elles dépendra de l'exploitation que l'on désire faire du résultat (**Département environnement, Faits marquants, 1993**).

Parmi les méthodes d'analyse des métaux lourds, les deux techniques les plus utilisées qui garantissent des analyses fiables et à des seuils de détection très bas sont :

- La Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (**SAA**).
- La Torche à Plasma (**ICP**).

La méthode utilisée dans les analyses des métaux lourds présentés dans ce mémoire est la méthode Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (**SAA**).

## **4- La Spectrophotométrie d'absorption atomique (S.A.A) :**

En chimie analytique, la spectrométrie d'absorption atomique (*Atomic absorption spectroscopy en anglais ou AAS*) est une technique de spectroscopie atomique servant à déterminer la concentration de certains métaux dans un échantillon. Elle peut servir à mesurer la concentration de plus de 60 métaux différents en solution. Elle fait partie des méthodes classiques d'analyse en chimie analytique. Basée sur des méthodes optiques, elle conduit aussi bien à des résultats qualitatifs qu'à des données quantitatives. L'absorption est utilisée généralement pour faire un dosage, l'élément est connu, on détermine une concentration.

### **4-1- Principe de la S.A.A :**

L'absorption atomique est un processus qui se produit lorsqu'un atome appartenant à l'état fondamental passe à l'état excité par l'absorption d'une énergie, sous la forme d'un rayonnement électromagnétique, qui correspond à une longueur d'onde spécifique. Le spectre d'absorption atomique d'un élément est constitué d'une série de raies de résonance, tous originaires de l'état électronique fondamentale et finissent dans différents états excités. En général, la raie de la transition entre l'état fondamental et le premier état excité définit la plus forte capacité d'absorption, et c'est la raie habituellement utilisée (**PRADYT, 2004**).

Les transitions entre l'état fondamental et l'état excité se produisent uniquement lorsque le rayonnement incident, provenant d'une source lumineuse, est exactement égale à la fréquence d'une transition spécifique. Il en résulte une absorption du rayonnement incident liée à la concentration de l'élément considéré suivant la loi de Beer-Lambert.

$$\text{Log} \frac{I_0}{I} = \epsilon LC \quad \dots\dots\dots (III.1)$$

$I_0$  : Intensité de la radiation incidente

$I$  : Intensité de la radiation après absorption atomique

$\epsilon$  : Constante caractéristique de l'échantillon ( $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ )

$L$  : Longueur du chemin optique (cm)

$C$  : Concentration dans la solution de l'élément (mol/L)

#### 4-2- Appareillage :

Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique comportent quatre parties principales (Pradyt, 2004 ; Vandegans, 2013) : Le faisceau lumineux issu de la source (1) traverse la chambre d'absorption (2) dans laquelle l'élément se trouve porté à l'état atomique, avant d'être focalisé sur la fente d'entrée d'un monochromateur (3) qui sélectionne un intervalle très étroit de longueurs d'onde. Le trajet optique se termine sur la fenêtre d'entrée du détecteur-amplificateur (4). La lecture est possible grâce à un ordinateur qui pilote l'ensemble des instruments.

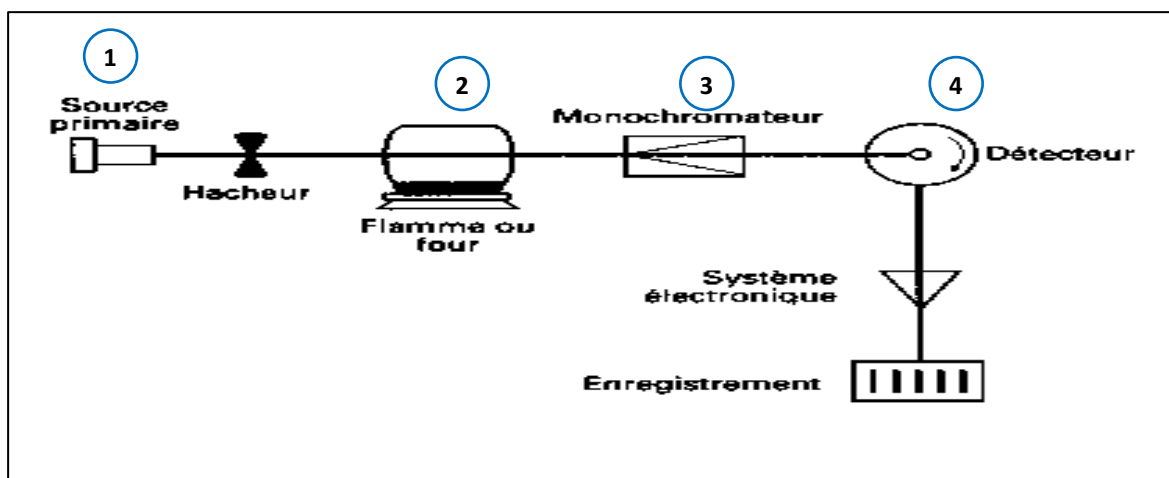


Figure III.10 : Schéma de base d'un appareil de spectrométrie d'absorption atomique.

L'appareil employé pour le dosage des éléments métalliques est un spectrophotomètre **HITACHI, modèle Z-5000**, cet appareil est principalement constitué de :

- 1- Source de radiation
- 2- Dispositif de transformation de l'échantillon en atomes libres.
- 3- Un ensemble de mesure du degré d'absorption de la radiation

#### **4-2-1- Source de radiation :**

La lampe a cathode creuse est constitué d'une cathode composée de l'élément à analyser lui-même que l'on veut doser et qui fournit lors de son excitation électrique, un spectre d'émission spécifique de l'élément à doser.

#### **4-2-2- Dispositif de transformation de l'échantillon en atomes libres :**

##### **A- Système Flamme (Bruleur) :**

Les échantillons doivent être en solution. Il y a d'abord nébulisation (dispersion en un fin brouillard du liquide à analyser) à l'aide d'un nébuliseur pneumatique puis atomisation (dissociation en atomes du composé chimique introduit) à l'aide d'une flamme obtenue par combustion grâce aux combustibles soit l'Air – Acétylène ou le Protoxyde d'azote – Acétylène.

##### **B- Système Electrothermique (Four graphite) :**

Un volume connu de la solution (quelques microlitres) à analyser est introduit via un capillaire dans un tube en graphite (Four) par injection automatique du robot et maintenu dans une atmosphère inerte. Le tube est porté ensuite à de très hautes températures (2000 – 2800°C), selon un programme de chauffage thermique comportant les étapes suivantes : Séchage, minéralisation, atomisation et nettoyage.

L'absorption atomique électrothermique est 100 à 1000 fois plus sensible que la flamme. Elle est utilisée notamment pour la détermination de concentration très faible (traces).

#### 4-2-3- Un ensemble de mesure du degré d'absorption de la radiation :

##### A- Monochromateur :

Le monochromateur a un pouvoir de résolution important. Il sélectionne la raie la plus intense du spectre de l'élément à analyser.

##### B- Détecteur :

Le détecteur et le photomultiplicateur convertissent la lumière en signal électrique.

#### 4-3- Limites de la technique :

Pour des raisons technologiques et non de principes, certains éléments, comme les gaz rares, les halogènes... ne peuvent être analysés par spectrométrie, leur énergie d'absorption n'étant pas comprise entre **180** et **1000 nm**. Les concentrations doivent être à l'échelle de traces afin de rester dans le domaine de linéarité de la loi de Beer-Lambert, car sa dynamique est limitée.

#### 4-4- Interférences :

L'analyse d'un composé peut être perturbée par deux types d'interférences :

- **Chimique** : C'est une des interférences les plus courantes, elle est due au fait que certains sels métalliques sont difficiles à atomiser, ou qu'ils forment des composés peu volatils qui sont également difficiles à atomiser. Ce qui aura pour effet de réduire la vitesse d'atomisation ainsi que l'intensité du signal.

Pour corriger ce problème il faudrait travailler à une température plus élevée ou ajouter un complexant à l'échantillon.

- **Spectrale** : Cette interférence est due à la présence de particules solides qui diffusent le rayonnement de la lumière incidente dans l'atomiseur mais également à cause de la présence de produits de combustion, dont les bandes d'absorption sont larges. Ce qui a pour effet de diminuer l'intensité du signal.

Pour corriger ce problème il faudrait changer la composition du comburant ou du combustible. L'appareil que nous avons utilisé pour l'analyse est muni d'un correcteur spectral à **effet Zeeman**.

#### 4-5- Etalonnage :

L'étalonnage doit être réalisé très soigneusement, pour chaque métal on prépare une série d'étalon à partir de solution mère qui a une concentration connue de l'élément à doser. Les standards ne sont préparés qu'au moment de l'analyse.

Les absorbances de ces solutions standards sont mesurés, ce qui permet de tracer la courbe d'étalonnage (**Absorbance = f (Concentrations)**). Dans le cas des faibles concentrations, c'est-à-dire pour de faibles absorbances, la courbe est quasi linéaire, de la forme :

$$Y = aX + b \dots\dots\dots (III.2)$$

*Avec :*

**Y** : Densité Optique (DO)

**X** : Concentration de métal à analyser

**a** : Pente de la courbe

**b** : Ordonnée à l'origine

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

#### 4-6- Calcul des concentrations des métaux :

La concentration du métal dans l'échantillon minéralisé est obtenue à partir de la droite d'étalonnage, on calcule la concentration finale des échantillons selon la relation suivante :

$$C = ((Cc - Cb) \times V) / P \dots\dots\dots (III.3)$$

*Avec :*

**C** : Concentration final du métal exprimé (**µg/g**).

**Cc** : Concentration de l'échantillon donnée par l'équation de la droite d'étalonnage exprimée en (**µg/ml**).

**Cb** : Concentration du blanc en (**µg/ml**).

**V** : Volume de dilution (**50ml**).

**P** : Poids de sédiments minéralisé corrigé (**g**).

#### 4- 7- Les indices de contaminations :

On se base sur les résultats trouvés pour l'ensemble des métaux dosés dans la matrice sédimentaire ; on évalue approximativement l'état de pollution des sédiments, en s'inspirant des normes établies par des pays et communautés industrialisés (Union Européenne, France, Allemagne...), par le calcul de l'indice de contamination (IC) qui est le rapport entre la teneur en métal observée et celle considérée comme normale :

$$I.C = \frac{\textit{Teneur Observée dans le sédiment}}{\textit{Teneur Considérée comme normale}} \dots\dots\dots (III.4)$$

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

***I.C < 3*** : les sédiments correspondants sont considérés comme normaux

***3 ≤ I.C ≤ 10*** : l'indice de contamination caractérise des sédiments pollués

***I.C > 10*** : les sédiments correspondants représentent des risques pour les écosystèmes marins.

**Tableau III.1** : Normes de pollution par les métaux lourds (Résultats exprimés en **µg/g**).

Normes	Hg	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni	Mn	Fe
Algériennes	1,5	250	2	150	500	250			
Françaises	0,2	22	0,6	26	88	45	45	400	37400
Hollandaises	0,3	85	0,8	36	140	100			

*Chapitre IV :*  
*Résultats et Discussion*

## Introduction

L'évaluation de la qualité de l'eau de mer des **4 stations** choisis a été déterminée par la mesure des paramètres physico-chimiques. Les résultats obtenus ont été présentés dans le **tableau IV.1**

L'analyse des éléments traces métalliques dans les sédiments superficiels de Fouka Marine qui a été déterminée pour **9 stations** (les 4 stations de notre étude en plus de 5 autres stations qui ont été fait lors d'une campagne précédente fournit par le **CNRDPA**), a permis l'évaluation du niveau de contamination de Fouka Marine. Les résultats de ces derniers ont été récapitulés dans le **tableau IV.2**

### 1- Les paramètres physico-chimiques :

**Tableau IV.1** : Résultats et statistiques des paramètres physico-chimiques de Fouka Marine

Station	T (°C)	S (PSU)	O2 (mg/l)	pH	C (mS/cm)
<b>Stat 1</b>	20,1	37,009	7,10	8,16	50,46
<b>Stat 2</b>	19,96	37,340	7,06	8,18	50,71
<b>Stat 3</b>	20,02	36,997	7,08	8, 17	50,36
<b>Stat 4</b>	20,13	35,282	5,58	8,07	48,39
<b>Maximum</b>	<b>20,13</b>	<b>37,340</b>	<b>7,10</b>	<b>8,18</b>	<b>50,71</b>
<b>Minimum</b>	<b>19,96</b>	<b>35,282</b>	<b>5,58</b>	<b>8,07</b>	<b>48,39</b>

### 1-1- La température :

La température est un élément fondamental en océanographie, ce paramètre est important pour l'identification des masses d'eaux et leur circulation, car elle définit la densité et elle permet de déterminer le taux de saturation des gaz.

Les valeurs de température observées sont comprises entre **19,96°C** et **20,13°C**, avec une moyenne de **20,05°C** et un écart-type de **0,08**. Ces variations reflètent la période saisonnière (Printemps et Eté) en relation avec les conditions météorologiques et hydrodynamiques.

La valeur la plus élevée a été enregistrée à la station **4** en face de l'embouchure de l'oued mazafran. A cet endroit, on constate que l'eau est polluée et est d'une mauvaise qualité. Ceci nous indique la relation qu'il y a entre la température et la qualité des eaux (plus une eau est polluée, plus la température est élevée).

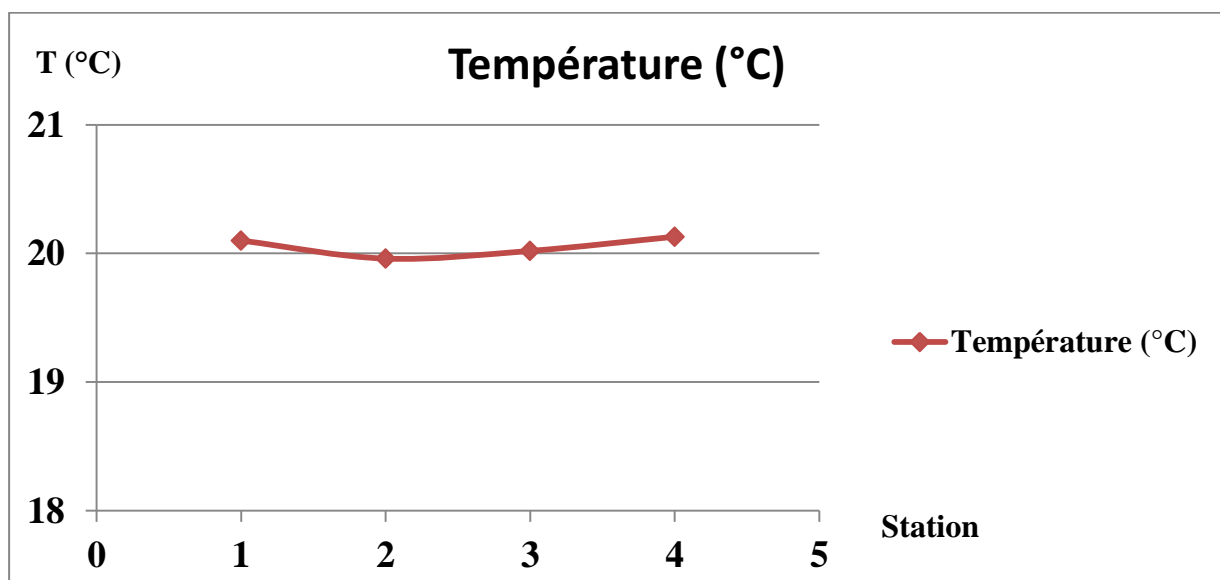


Figure IV.1 : Variation de la température au niveau de Fouka Marine

### 1-2- La salinité :

La salinité représente la proportion des sels minéraux dissous dans l'eau de mer. Les valeurs de salinité mesurée se situent entre **35,282 psu** et **37,340 psu** avec une moyenne de **36,657 psu** et un écart-type de **0,93**. La salinité des eaux Méditerranéens est comprise entre **37,8 psu** et **39,39 psu** (in Boughrira, 2012).

La valeur la plus faible est localisée au niveau de la station 4 ce qui peut s'expliquer par les apports en eau douce par les cours d'eau (Draredja, 2007 ; Foussard et Etcheber, 2011).

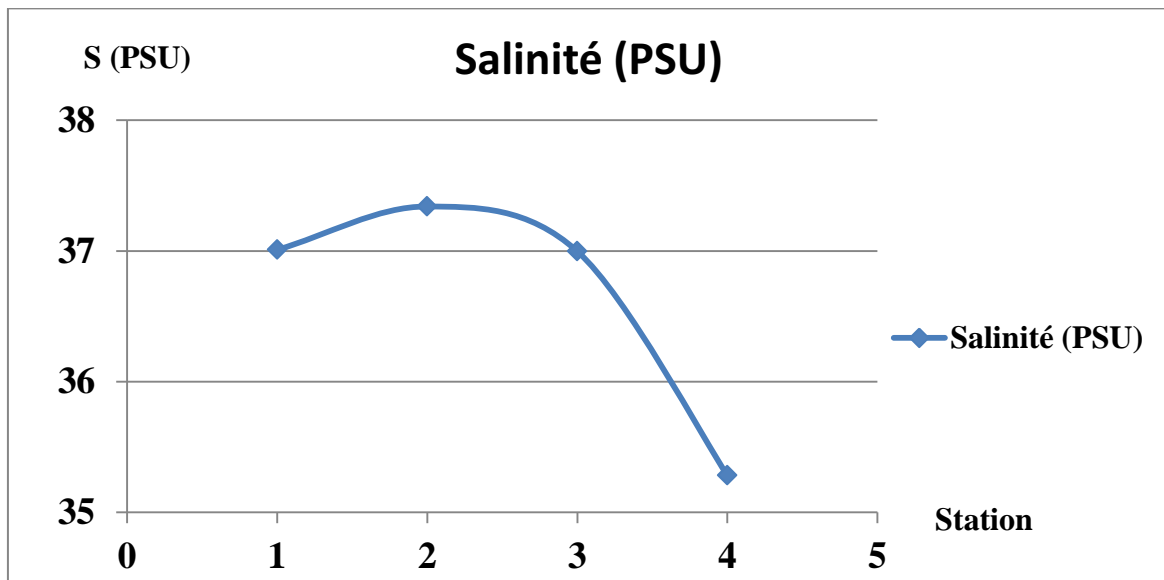


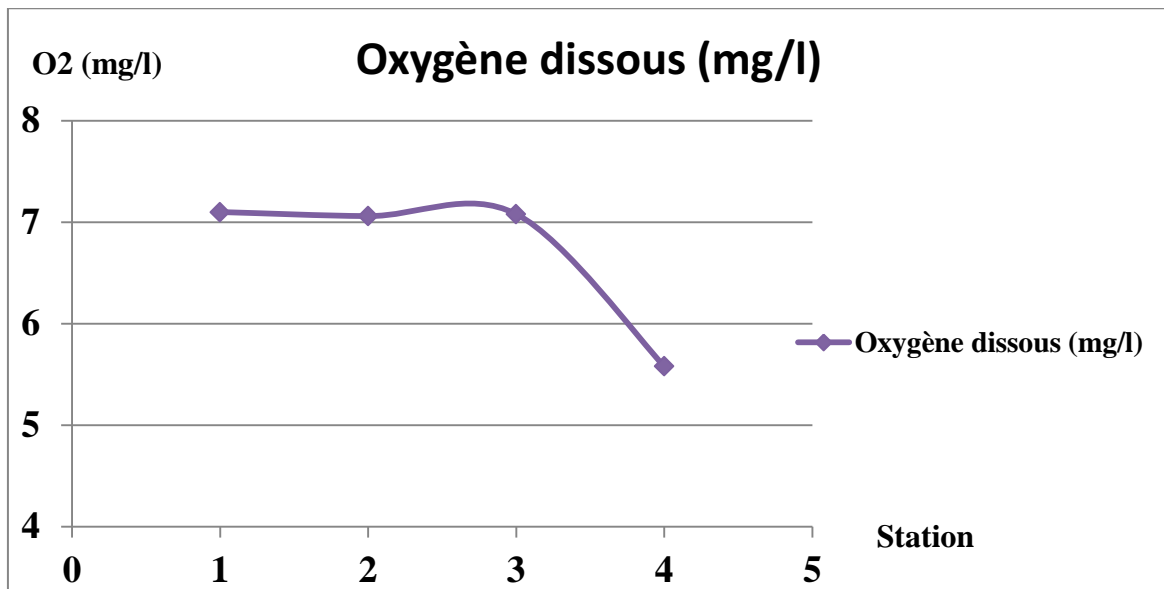
Figure IV.2 : Variation de la salinité au niveau de Fouka Marine

### 1-3- Oxygène dissous :

L'oxygène dissous est un paramètre essentiel qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que les pressions partielles d'oxygène dans le liquide et dans l'air soient en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est en fonction de la pression atmosphérique, de la température et de la minéralisation de l'eau.

Les teneurs en oxygène des eaux de surface de Fouka Marine varient entre **5,58 mg/l** et **7,10 mg/l**. Les teneurs élevées ont été enregistrées aux stations 1, 2 et 3. A ces endroits, les eaux sont relativement bien oxygénées par le brassage des eaux et la libération d'oxygène lors de la production primaire (Faurie et al, 2012) qui est importante dans ces régions.

Alors que la faible teneur a été observée à la station 4. Ceci pourrait être expliqué par les apports en eaux polluées, qui se déversent dans cette zone, conduisant à la dominance du phénomène de minéralisation de la matière organique (Kankou, 2004 ; Harid, 2014).



**Figure IV.3 :** Variation de l'oxygène dissous au niveau de Fouka Marine

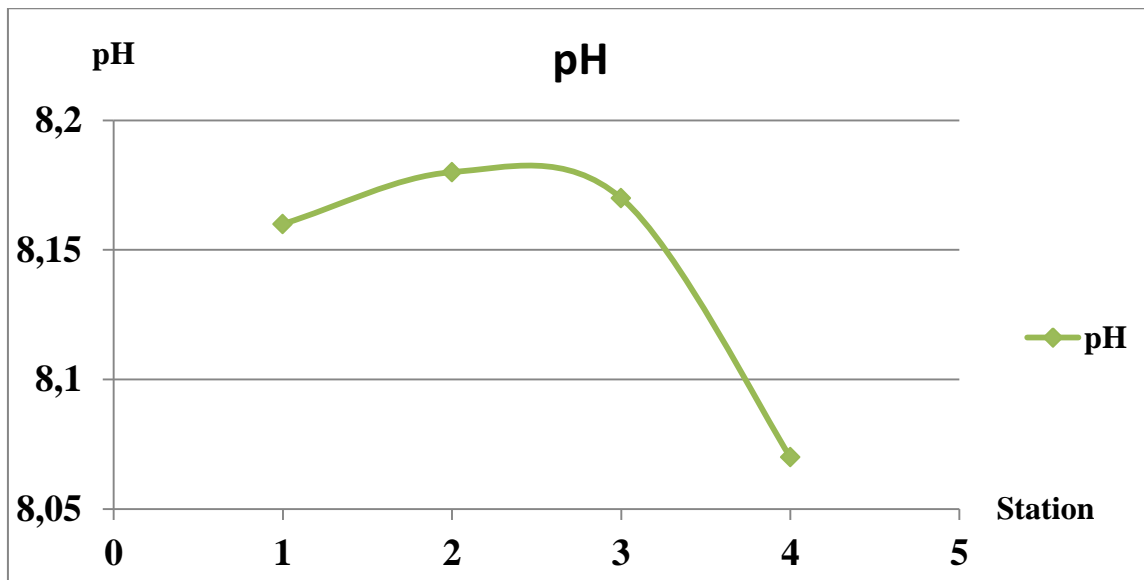
#### 1-4- Le potentiel d'hydrogène :

Le pH mesure la concentration en ions  $H^+$  de l'eau. Il traduit la balance entre acide et base sur une échelle de **0** à **14**. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimiques et dépend de plusieurs facteurs dont l'origine de l'eau.

Les valeurs de pH sont comprises entre **8,07** et **8,18**. La valeur moyenne du pH dans les eaux de la Méditerranée est de **8,2** (Pilson, 2013).

La faible valeur trouvée au niveau de la station **4** en face de l'embouchure de l'oued Mazafran coïncide avec la température élevée à ce niveau.

Cette diminution est en corrélation avec le taux des rejets d'eaux usées, urbains ou industrielles et la quantité de la matière organique présente au niveau de ces stations et sa dégradation. En effet, la dégradation de la matière organique va enrichir le milieu en proton, donc diminution du pH (Aminot et Keroul, 2004).

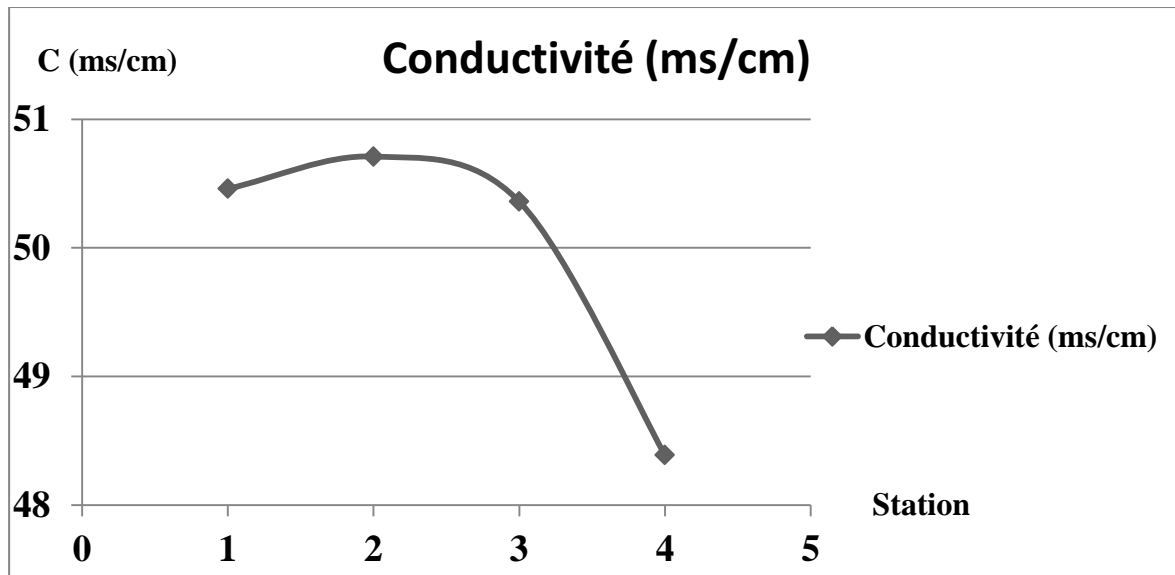


**Figure IV.4 :** Variation du pH au niveau de Fouka Marine

**1-5- La conductivité :**

La conductivité varie entre **48,39** et **50,71 ms/cm**, avec une moyenne de **49,98 ms/cm** et une écart-type de **1,07**.

Plus une eau est salée, mieux elle conduit le courant, on remarque qu'il y a une correspondance de conductivité avec la salinité, donc l'évolution de la conductivité est proportionnelle à la salinité.



**Figure IV.5 :** Variation de la conductivité au niveau de Fouka Marine

## 2- Concentration en métaux lourds dans les sédiments superficiels :

Tableau IV.2 : Variation des métaux lourds dans Fouka Marine

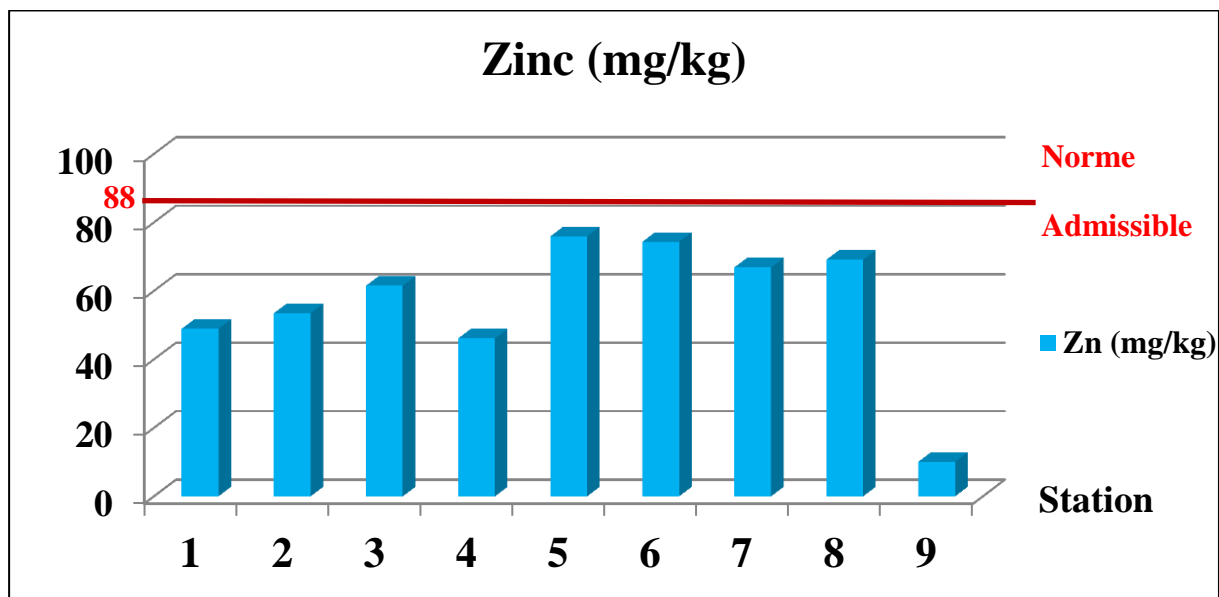
<b>Elément</b> <b>Stations</b>	<b>Zn</b> <b>(mg/kg)</b>	<b>Mn</b> <b>(mg/kg)</b>	<b>Cu</b> <b>(mg/kg)</b>	<b>Fe</b> <b>(g/kg)</b>	<b>Pb</b> <b>(mg/kg)</b>	<b>Cd</b> <b>(mg/kg)</b>
<b>1</b>	48,9008	81,7045	2,8155	26,6857	1,1446	0,0534
<b>2</b>	53,4668	84,5329	5,0452	26,0395	1,1845	0,0346
<b>3</b>	61,5157	89,3120	3,6172	31,5520	1,2100	0,1280
<b>4</b>	46,1158	95,7774	1,2442	35,2025	0,5544	0,0806
Stations fourni par le <b>CNRDPA</b>						
<b>5</b>	75,9246	79,3772	3,9084	32,6729	1,2285	0,0909
<b>6</b>	74,334	74,709	3,644	29,298	1,062	0,038
<b>7</b>	66,8667	69,3906	6,2753	28,0455	1,0135	0,1154
<b>8</b>	69,0965	80,1929	1,5000	30,5130	0,8598	0,0504
<b>9</b>	10,1090	89,4064	6,7167	36,3649	1,0554	0,1847
<b>Maximum</b>	<b>75,9246</b>	<b>95,7774</b>	<b>6,7167</b>	<b>36,3649</b>	<b>1,1845</b>	<b>0,1847</b>
<b>Minimum</b>	<b>10,1090</b>	<b>69,3906</b>	<b>1,2442</b>	<b>26,0395</b>	<b>0,5544</b>	<b>0,0346</b>

Les principaux métaux lourds présents dans les sédiments de Fouka Marine sont le zinc, le manganèse, le cuivre, le fer, le plomb et le cadmium. Ces constituants naturels de l'écorce terrestre, sont, après altération géologique et l'érosion, transportés vers la mer par les eaux de ruissellement des pluies et les oueds. A ces apports naturels, il faut considérer des apports anthropiques parfois considérables liés aux diverses activités industrielles menées à terre.

### 2-1- Le Zinc (Zn) :

Les concentrations de zinc dans le sédiment superficiel de Fouka Marine sont comprises entre **10,10** et **75,92 mg/kg**, avec une moyenne de **56,25 mg/kg** et un écart-type de **20,35**.

La plus faible valeur s'observe à la station **9**, tandis que la valeur élevée s'observe à la station **5**. Les autres stations ont des teneurs plus au moins homogènes.



**Figure IV.6 :** Variation du zinc dans les sédiments superficiels de Fouka Marine

### 2-2- Le Manganèse (Mn) :

Les teneurs de manganèse dans les sédiments superficiels varient entre **69,39** et **95,77 mg/kg** avec une moyenne de **82,71 mg/kg** et un écart-type de **8,0807**.

La valeur la plus élevée est signalée au niveau de la station **4**, qui se trouve en face de l'oued Mazafran, cependant la valeur la plus faible est trouvée au niveau de la station **7**.

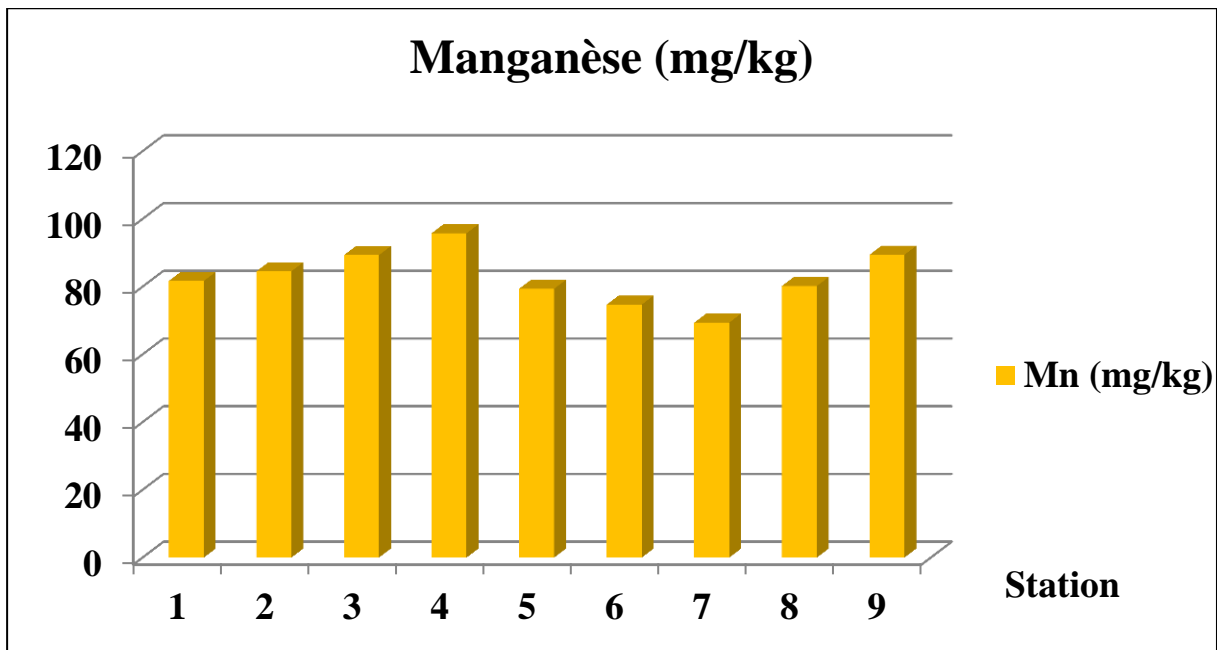


Figure IV.7 : Variation du manganèse dans les sédiments superficiels Fouka Marine

### 2-3- Le Cuivre (Cu) :

Les teneurs en cuivre dans les sédiments superficiels de Fouka Marine sont comprises dans l'intervalle [1,24-6,71] mg/kg, avec une moyenne de 3,86 mg/kg et un écart-type de 1,9043

La station 4 indique la valeur la plus faible, tandis que la station 9 indique la valeur la plus élevée, cette station semble être contaminée par un rejet industriel.

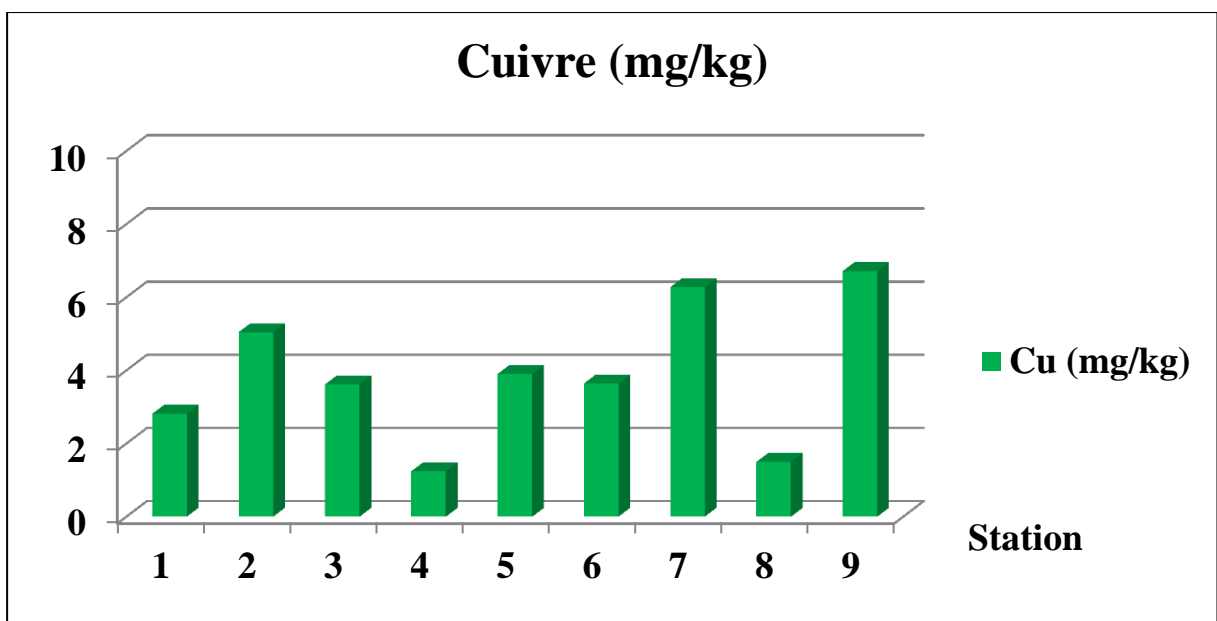
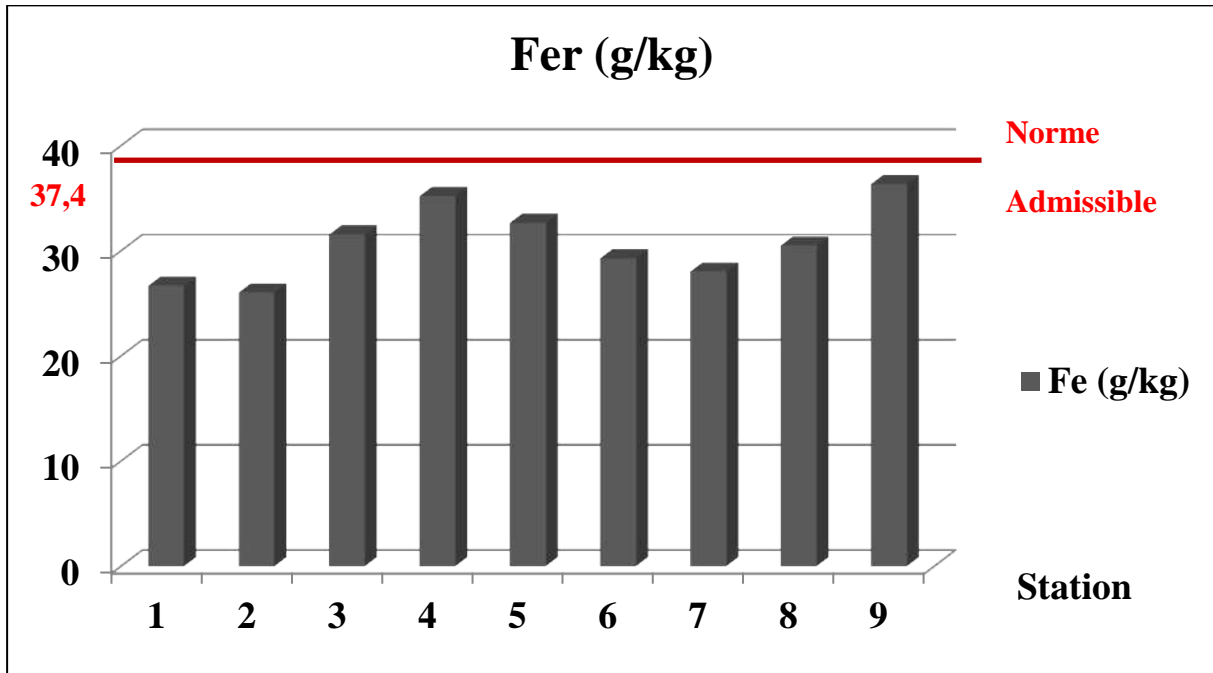


Figure IV.8 : Variation du cuivre dans les sédiments superficiels de Fouka Marine

#### 2-4- Le Fer (Fe) :

Les valeurs de fer du sédiment superficiel varient entre **26,0395** et **36,3649 g/kg**, avec une moyenne de **30,7082 g/kg** et un écart-type de **3,6032**.

Ces teneurs élevées de fer sont dues à l'abondance élevée de cet élément dans l'écorce terrestre.



**Figure IV.9 :** Variation du Fer dans les sédiments superficiels de Fouka Marine

#### 2-5- Le Plomb (Pb) :

Les valeurs de plomb du sédiment superficiel varient entre **0,5544** et **1,1845 mg/kg**, avec une moyenne de **1,0347 mg/kg** et un écart-type de **0,2138**.

La valeur la plus faible est observée à la station 1, tandis que la valeur la plus élevée est observée à la station 4.

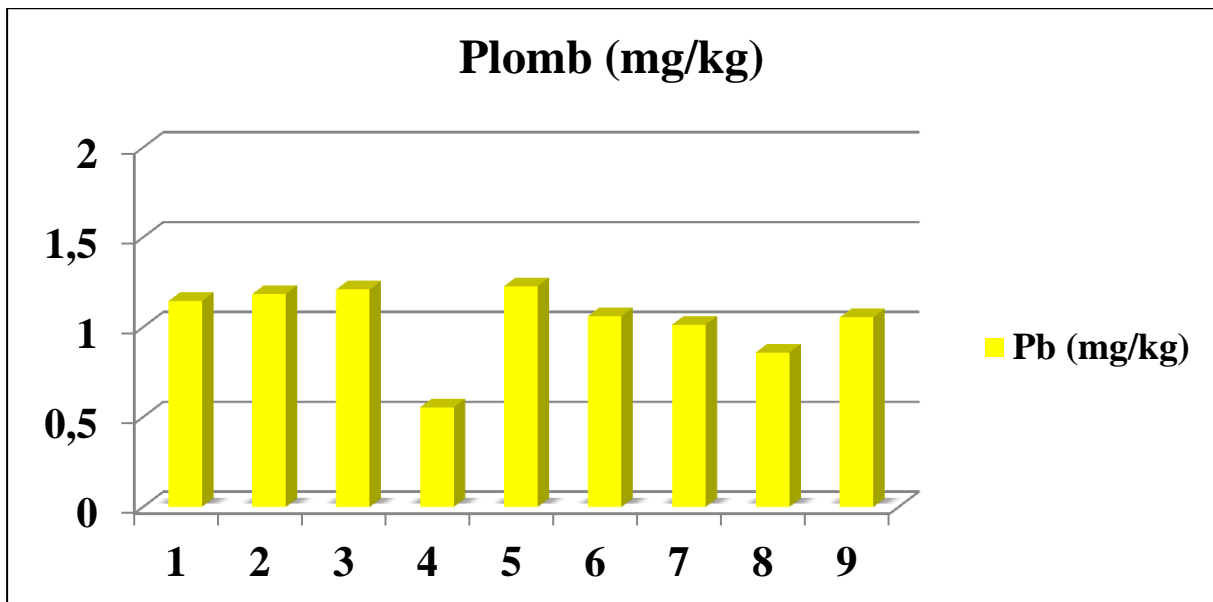


Figure IV.10 : Variation du plomb dans les sédiments superficiels de Fouka Marine

#### 2-6- Le Cadmium (Cd) :

Les valeurs de cadmium du sédiment superficiel de Fouka Marine sont comprises entre **0,0346** et **0,1847 mg/kg**, avec une moyenne de **0,0862 mg/kg** et un écart-type de **0,0496**.

La valeur la plus élevée est signalé à la station **9**, tandis que la valeur la plus faible a été enregistrée à la station **2**

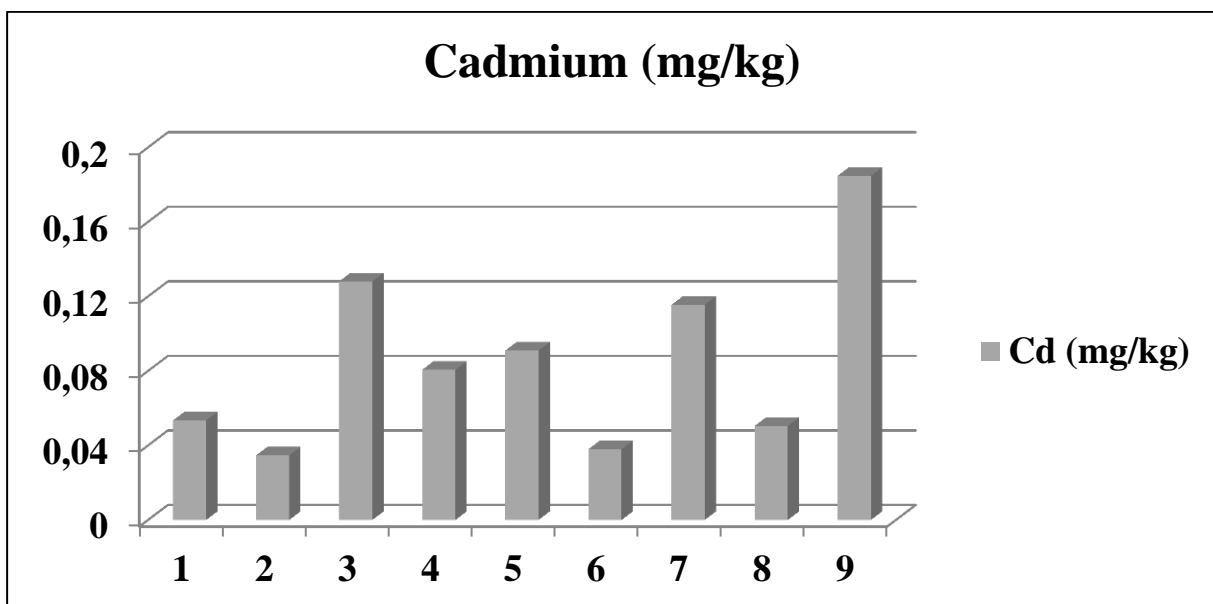


Figure IV.11 : Variation du cadmium dans les sédiments superficiels de Fouka Marine

### 3- L'état de la pollution de Fouka Marine :

Comparées aux concentrations considérées comme normales, les teneurs signalées dans les sédiments superficiels de Fouka Marine ne présentent pas de contamination alarmante. Ainsi l'examen des indices de contamination (**I.C**) des métaux étudiés ne présente pas des valeurs de pollution (**I.C < 3**).

**Tableau IV.3 :** Indice de contamination des éléments métalliques de Fouka Marine

Métaux	Variation de l'indice de contamination (I.C)
Zn	0,11 – 0,86
Mn	0,17 – 0,23
Cu	0,04 – 0,25
Fe	0,69 – 0,97
Pb	0,02 – 0,05
Cd	0,05 – 0,3

Les résultats de l'examen des indices de contamination indiquent que les teneurs des métaux lourds étudiés dans les sédiments superficiels de Fouka Marine sont nettement inférieurs aux concentrations de références (**Tableau III.1**). A partir de ces résultats, on peut en déduire que les sédiments superficiels de Fouka Marine sont considérés comme des sédiments normaux (**I.C < 3**).

#### 4- Comparaison des teneurs en métaux lourds dans Fouka Marine avec celles obtenues lors d'une étude précédente :

L'analyse par les métaux lourds a été effectuée en **2014** dans le cadre du programme de surveillance de la qualité de l'eau et le sédiment dans l'environnement. Ainsi les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

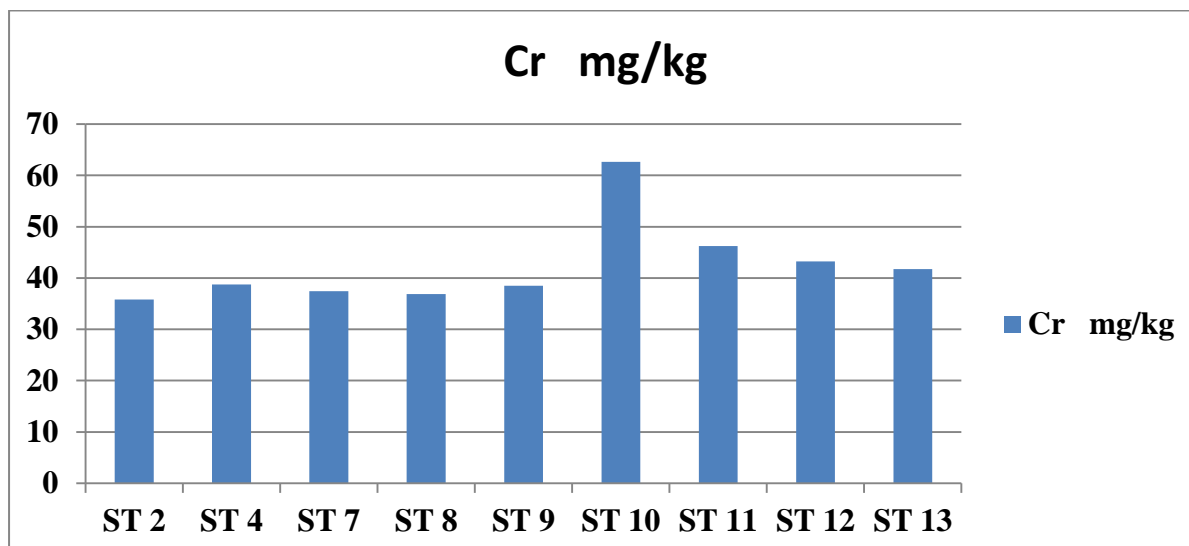
**Tableau IV.4** : Résultats des concentrations des métaux lourds des sédiments superficiels de Fouka Marine obtenus lors d'une étude précédente (**2014**).

Station	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (g/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)
<b>ST 2</b>	35,79	28,49	750,76	40,45	23,52	17,56	0,53
<b>ST 4</b>	38,77	18,35	713,58	35,11	26,42	11,34	0,63
<b>ST 7</b>	37,42	9,96	726,51	60,36	21,96	18,26	0,61
<b>ST 8</b>	36,87	21,13	723,81	41,07	22,31	21,3	0,58
<b>ST 9</b>	38,51	19,92	677,98	41,07	24,27	17,92	0,28
<b>ST 10</b>	62,62	26,07	738,36	51,89	36,47	29,44	0,38
<b>ST 11</b>	46,22	13,04	701,18	52,66	37,04	27,82	0,47
<b>ST 12</b>	43,24	26,56	711,8	73,26	29,12	21,07	0,52
<b>ST 13</b>	41,75	16,9	708,26	61,05	39,11	20,26	0,25
<b>Moyenne</b>	<b>42,35</b>	<b>20,05</b>	<b>716,92</b>	<b>50,77</b>	<b>28,91</b>	<b>20,55</b>	<b>0,47</b>
<b>Maximum</b>	<b>62,62</b>	<b>28,49</b>	<b>750,76</b>	<b>73,26</b>	<b>39,11</b>	<b>29,44</b>	<b>0,63</b>

## A- Les métaux lourds essentiels (oligo-éléments) :

### 1- Le chrome (Cr) :

Les valeurs du chrome du sédiment superficiel varient entre **35,79** et **62,62 mg/kg**, avec une moyenne de **42,35 mg/kg** et un écart-type de **8,31**.



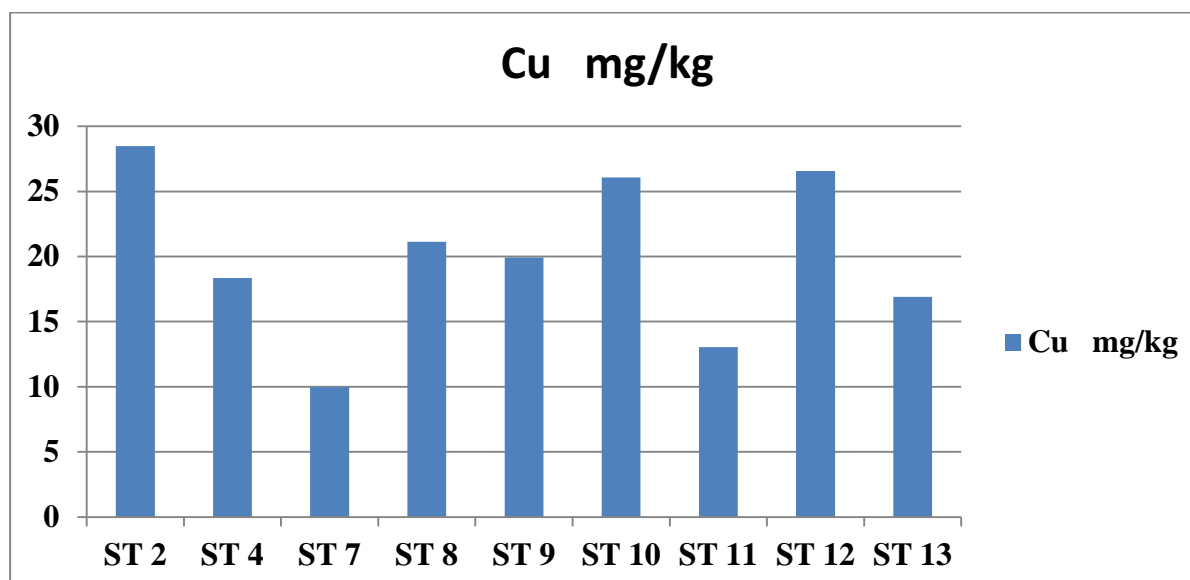
**Figure IV.12** : variation du chrome du sédiment superficiel.

- Le chrome est présent dans la nature en petite quantité mais il est très utilisé dans les industries métallurgiques et sidérurgiques pour la fabrication d'alliages ferreux et non ferreux (76%). Les apports en chrome aux eaux continentales et côtières proviennent majoritairement d'effluents industriels, des eaux de refroidissement, des eaux de blanchissage et des rejets de teintureries.
- En ce qui concerne le milieu aquatique, les organismes inférieurs sont plus sensibles que les poissons. De plus, le chrome hexavalent ( $\text{Cr}^{6+}$ ), qui est toxique pour la faune aquatique d'eau douce à une concentration relativement élevée, est peu toxique dans l'eau salée.

## 2- Le cuivre (Cu) :

Les valeurs du cuivre du sédiment superficiel varient entre **9,96** et **28,49 mg/kg**, avec une moyenne de **20,05 mg/kg** et un écart-type de **6,25**.

Les résultats des concentrations du cuivre obtenus lors de l'étude précédente indique qu'il y a une diminution de la concentration du cuivre.



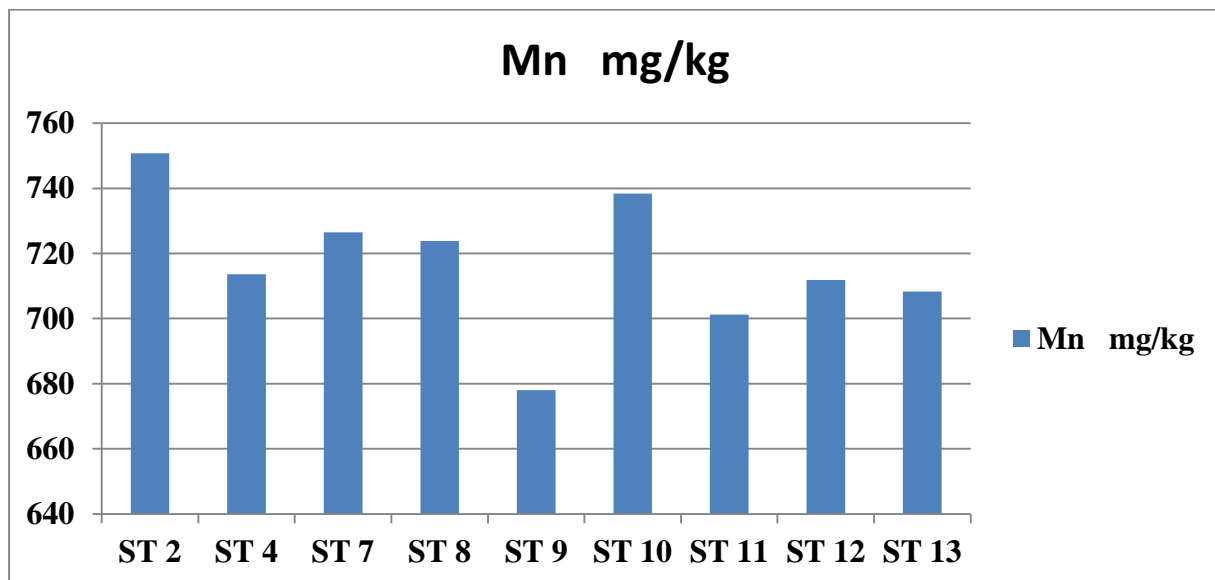
**Figure IV.13** : variation du cuivre du sédiment superficiel.

- Le cuivre est un élément naturellement présent dans la nature et principalement sous forme de minerais de cuivre. Il s'agit d'un métal "essentiel" c'est-à-dire qu'il intervient dans les processus du métabolisme des organismes.
- La toxicité du cuivre en milieu marin est fonction de sa forme chimique et son état d'oxydation. Cependant, des inhibitions de croissance du phytoplancton ont été observées à partir de 4 µg de cuivre par litre. L'utilisation d'oxyde de cuivre comme matière active dans certaines peintures antisalissure constitue une source importante de cuivre en zone portuaire et côtière.

### 3- Le manganèse (Mn) :

Les valeurs du manganèse du sédiment superficiel varient entre **677,98** et **750,76 mg/kg**, avec une moyenne de **716,92 mg/kg** et un écart-type de **21,27**.

En ce qui concerne les concentrations du manganèse, les résultats obtenus dans notre cas montrent une diminution considérable du taux de manganèse dans le sédiment de fouka marine



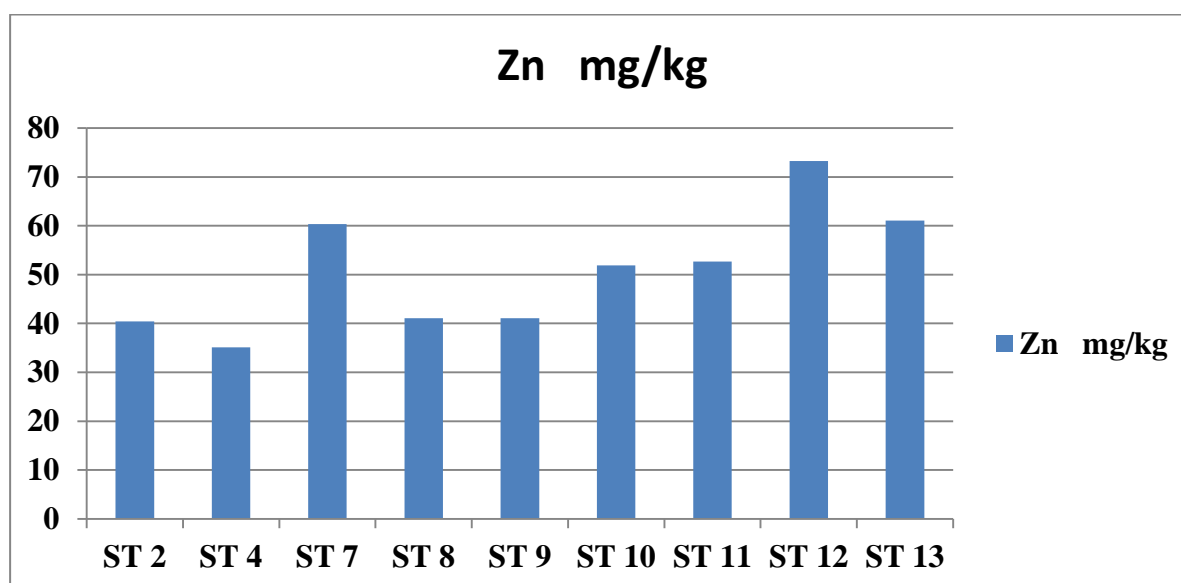
**Figure IV.14** : variation du manganèse du sédiment superficiel.

- Dans le milieu aquatique ses deux formes principales sont Mn (II) et Mn (IV), avec un mouvement entre ces deux formes, contrôlé par le contexte abiotique ou microbien plus ou moins oxydoréducteur. Dans l'eau, la chimie de l'environnement du manganèse est principalement régie par le pH et les conditions redox du milieu.
- À la limite sédiment-eau, et dans le sédiment les facteurs chimiques qui contrôlent la forme chimique du manganèse sont le taux d'oxygène de l'eau sus-jacente, et la pénétration de cet oxygène dans le sédiment, ainsi que la quantité de carbone organique benthique

#### 4- Le zinc (Zn) :

Les valeurs du zinc enregistrés du sont comprises entre **677,98** et **750,76 mg/kg**, avec une moyenne de **716,92 mg/kg** et un écart-type de **21,27**.

On remarque que les résultats obtenus lors de l'étude précédente et cette étude, les concentrations du zinc observés sur les différentes stations sont plus au moins homogène.



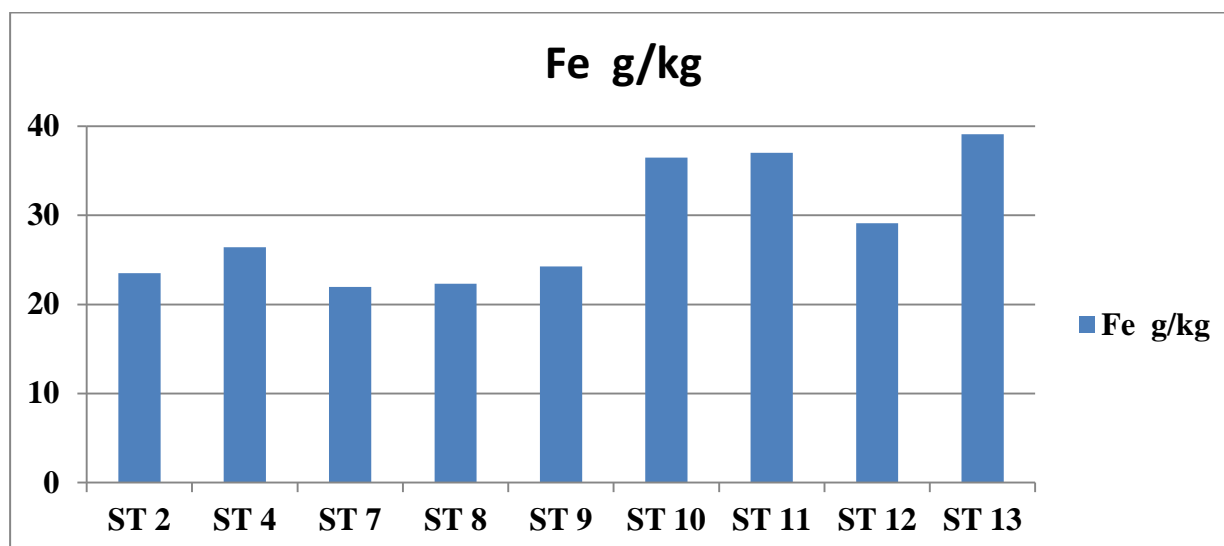
**Figure IV.15** : variation du zinc du sédiment superficiel.

- Le zinc est naturellement présent dans la nature, principalement sous forme de sulfure. Le minerai le plus courant est le sulfure de zinc ou blende. Les apports de zinc au milieu marin sont principalement dus à la métallurgie et à la combustion des bois et des charbons. De plus, les zones portuaires sont soumises à la dissolution des anodes destinées à la protection des coques de bateaux contre la corrosion et au relargage de zinc présent dans certaines peintures antisalissure
- Les sels de zinc sont moins nocifs pour les organismes marins que pour ceux des eaux douces. Cependant, la toxicité du zinc s'exerce à partir de quelques milligrammes par litre chez le poisson.

## 5- Le fer (Fe) :

Les valeurs du fer du sédiment superficiel varient entre **21,96** et **39,11 g/kg**, avec une moyenne de **28,91 g/kg** et un écart-type de **6,86**.

On constate qu'il y a une équivalence concernant les concentrations de fer des sédiments superficiels de notre étude et l'étude précédente.



**Figure IV.16** : variation du fer du sédiment superficiel.

- Le fer minéral est présent dans la nature sous forme pure ou d'alliages à base de nickel, le plus souvent d'origine météoritique mais aussi sous forme de fer terrestre dit "tellurique". Constituant ainsi **35 %** de la masse de la Terre dans son ensemble. Le fer est peut-être, en fait, l'élément le plus abondant sur Terre ou du moins comparable (en juste 2<sup>e</sup> position) en masse à l'oxygène, mais seulement le 4<sup>e</sup> élément le plus abondant dans la croûte terrestre.

En solution aqueuse, l'élément chimique fer est présent sous forme ionique avec deux valences principales :

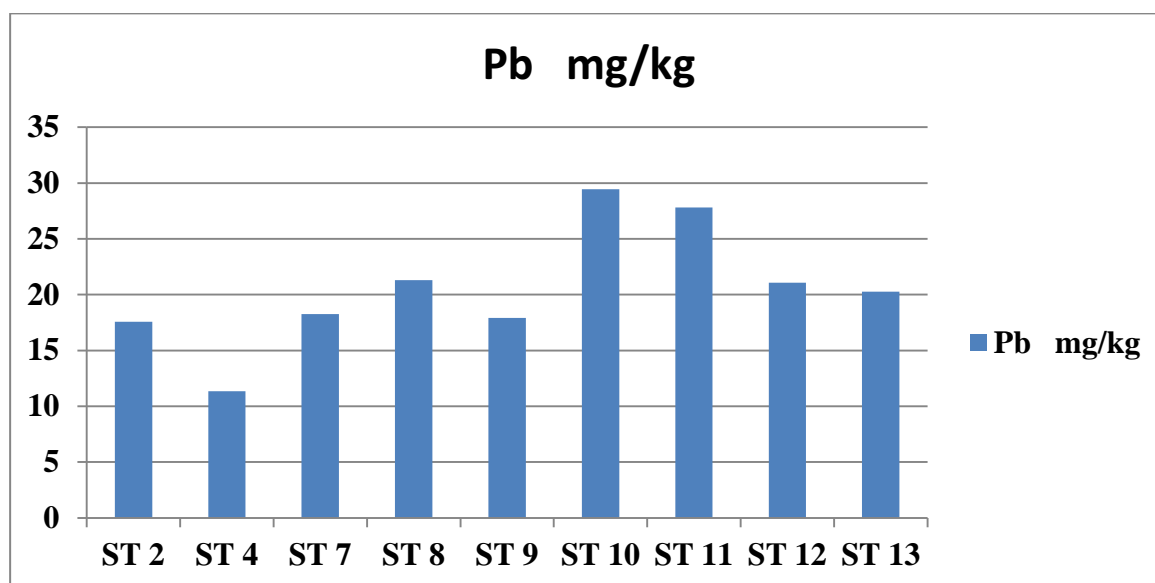
- **Fe<sup>2+</sup>** (l'ion fer(II), anciennement appelé *ferreux*). Suivant l'environnement chimique en solution, il peut prendre différentes couleurs. Une telle solution est stable pour les pH inférieurs à 6. Pour un pH supérieur à cette valeur, l'hydroxyde de fer(II) Fe(OH)<sub>2</sub> précipite.
- **Fe<sup>3+</sup>** (l'ion fer(III), anciennement appelé *ferrique*). Les solutions de chlorure de fer(III) sont orange, et celle de nitrate de fer(III) sont incolores. Ces solutions doivent avoir un pH inférieur à 2 car l'hydroxyde de fer(III) Fe(OH)<sub>3</sub> est peu soluble.

## B- Les métaux lourds toxiques :

### 1- Le plomb (Pb) :

Les valeurs du plomb du sédiment superficiel varient entre **11,34** et **29,44 mg/kg**, avec une moyenne de **20,55 mg/kg** et un écart-type de **5,46**.

Comparés aux résultats de notre étude, les concentrations du plomb trouvé lors d'une étude précédente sont plus importantes que ceux de notre cas. Cette différence peut être à l'origine de la précision de l'appareil de mesure.



**Figure IV.17** : variation du plomb du sédiment superficiel.

- Le plomb, largement répandu dans la croûte terrestre, est l'un des métaux les plus utilisés dans l'industrie, et les risques de pollution sont donc très nombreux. Les apports à l'océan se font principalement par voie atmosphérique et la source principale est la combustion des carburants automobiles, malgré la généralisation de l'essence sans plomb. Les pluies et les effluents sont également des sources de pollution en plomb pour les océans.
- Chez les organismes phytoplanctoniques, un retard de croissance est observé à partir de **0,5 µg Pb/l**. Chez l'homme, le plomb provoque une maladie appelée le saturnisme : le plomb entre en compétition avec le calcium dans la formation des os. Une intoxication au plomb peut entraîner des troubles cliniques, des anomalies biologiques et des altérations histopathologiques variées.

## 2- Le cadmium (Cd) :

Les valeurs du plomb du sédiment superficiel varient entre **0,25** et **0,63 mg/kg**, avec une moyenne de **0,47 mg/kg** et un écart-type de **0,14**.

Les résultats des concentrations du cadmium obtenus lors de l'étude précédente indique qu'il n'y a pas une grande différence dans les concentrations du cadmium de ce fait on constate que les concentrations sont homogène.

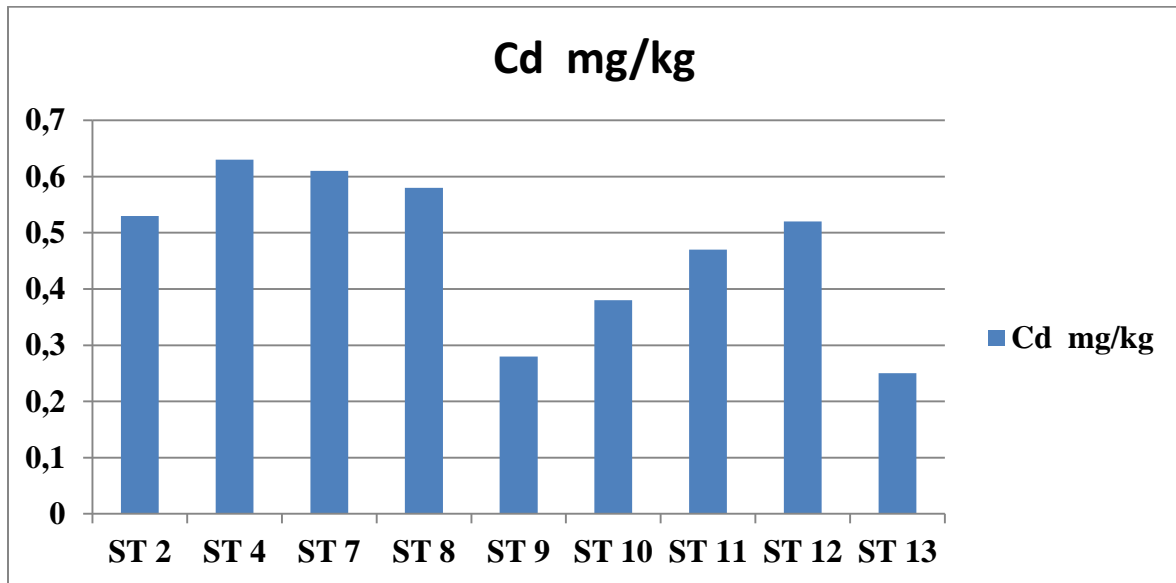


Figure IV.18 : variation du cadmium du sédiment superficiel.

- Le cadmium, naturellement présent dans les minerais de zinc, est un sous-produit important de la métallurgie du zinc. Les apports de cadmium au milieu marin, principalement par les fleuves et les pluies, sont liés à l'industrie du zinc, à la combustion du charbon, à la sidérurgie et à la fabrication et l'utilisation des engrais phosphatés.
- Cet élément métallique ne présente pas de toxicité aiguë pour les organismes marins aux concentrations susceptibles d'être rencontrées dans le milieu. Cependant, il a été observé que des concentrations de **0,05** à **1,2 µg/l** pouvaient avoir des conséquences physiologiques sur les larves de crustacés (respiration, activité enzymatique) et sur le phytoplancton (inhibition de la croissance). Les crustacés et les mollusques sont les plus sensibles à ce polluant. Chez l'homme, il s'accumule principalement dans le foie et les reins et peut entraîner des troubles rénaux, des altérations osseuses et de l'hypertension artérielle.

## 5- Comparaison des teneurs en métaux lourds obtenus dans Fouka Marine avec celles signalées dans d'autres régions de la Méditerranée :

Afin de donner une approche aux teneurs en métaux lourds obtenus dans les sédiments superficiels de Fouka Marine, on a procédé à une comparaison avec les données trouvées par d'autres auteurs (**Tableau IV.5**)

**Tableau IV.5 :** Comparaison des teneurs en métaux lourds avec celles obtenues dans d'autres régions de la Méditerranée.

<b>Eléments</b> <b>Régions</b>	<b>Zn</b> <b>mg/kg</b>	<b>Mn</b> <b>mg/kg</b>	<b>Cu</b> <b>mg/kg</b>	<b>Fe</b> <b>g/kg</b>	<b>Pb</b> <b>mg/kg</b>	<b>Cd</b> <b>mg/kg</b>	<b>Références</b>
<b>Baie de Mersin</b> <b>(Turquie)</b>	25 - 187	236 - 550	14 - 47	-	-	-	<b>ERGIN</b> <b>1988</b>
<b>Golf d'Olbia</b> <b>(Italie)</b>	40 - 20	-	5 - 78,52	30 - 41,2	-	-	<b>CONTU et</b> <b>Al 1988</b>
<b>Baie de Patraikos</b> <b>(Grèce)</b>	104 - 430	-	23 - 101	-	-	-	<b>VARNVAS et</b> <b>Al 1982</b>
<b>Baie d'Alger</b>	112 - 253	235 - 397	24 - 72	-	16 - 93	0.16 - 1.12	<b>ISMAL</b> <b>1993 - 2000</b>
<b>Baie de Bou Ismail</b> <b>(Tipaza)</b>	69 - 98	329 - 649	18 - 26	-	21 - 37	0.1 - 0.26	<b>ISMAL</b> <b>1993 - 2000</b>
<b>Fouka Marine</b> <b>(Algérie)</b>	35,11 - 73,26	677,98 - 750,76	9,96 - 28,49	21,96 - 39,11	11,34 - 29,44	0,25 - 0,63	<b>ENSSMAL</b> <b>2014</b>
<b>Fouka Marine</b> <b>(Algérie)</b>	<b>10</b> - <b>75</b>	<b>69</b> - <b>95</b>	<b>1</b> - <b>6</b>	<b>26,039</b> - <b>36,364</b>	<b>0,5</b> - <b>1,2</b>	<b>0,03</b> - <b>0,18</b>	<b>Notre étude</b>

## Conclusion Générale

Cette étude réalisée au niveau de Fouka Marine, a permis, de maîtriser les différentes techniques utilisées pour le dosage des métaux lourds dans les sédiments superficiels, et de mesurer les paramètres physico-chimiques dans l'eau et d'avoir une idée générale sur l'état de la pollution marine de la zone étudiée.

L'analyse des eaux de surface montre une homogénéité au niveau du pH, sauf pour la station qui se situe en face de l'embouchure de l'oued Mazafran qui montre une diminution. Les valeurs de la température, salinité et oxygène dissous marquent un gradient croissant cote-large, en face de l'oued Mazafran. Ceci peut s'expliquer par le phénomène de dilution liée aux apports de cet oued en eaux douces.

Les principaux métaux lourds présents dans les sédiments de Fouka Marine sont le zinc, le manganèse, le cuivre, le fer, le plomb et le cadmium. Ces constituants naturels de l'écorce terrestre, sont, après altération géologique et l'érosion, transportés vers la mer par les eaux de ruissellement des pluies et les oueds. A ces apports naturels, il faut considérer des apports anthropiques parfois considérables liés aux diverses activités industrielles menées à terre.

Les teneurs des métaux lourds signalées dans les sédiments superficiels de Fouka Marine sont nettement inférieures comparées aux concentrations considérées comme normales, ceci a été vérifié par l'examen des indices de contamination et par une comparaison avec les données d'une étude précédente qui a été effectuée dans le cadre du programme de surveillance de la qualité de l'eau et le sédiment dans l'environnement.

Les teneurs en métaux lourds étudiés dans les sédiments superficiels de Fouka Marine restent inférieures aux valeurs trouvées dans d'autre site de la Méditerranée.

A la base des résultats obtenus, il ressort que le niveau de pollution par les métaux étudiés à Fouka Marine n'atteint pas encore des limites alarmantes. Cependant, il conviendrait de continuer la surveillance de la zone, et pour être fiable, les contrôles de pollution doivent être repartis dans l'espace et dans le temps.

*Références*

*Bibliographiques*

## Références bibliographiques

### A

- **AESN DAI. (2004).** Bilan des flux : sources et voies de transfert aux eaux de surface du bassin Seine-Normandie des 4 métaux prioritaires (Cd, Hg, Pb, Ni). Paris : Tec & Doc. Vol. 4 (1), 386 p.
- **AFSSA, (2006).** Etude Calipso (consommation alimentaires de produits de la mer et imprégnation aux éléments traces, polluants et oméga). Paris : Tec & Doc, 160 p.
- **AIR BREIZH.** La qualité de l'air en Bretagne. [en ligne]. [Consultée le 11/02/2016]. Disponible sur le web : <<http://www.airbreizh.asso.fr/polluants/les-metaux-lourds/>>.
- **AIT-KACI, D., H. PAUC. (1981).** Le rôle de l'oued Mazafran dans la sédimentation fine en baie de Bou-Ismaïl. Pélagos. Vol. 6 (1), 86 p.
- **AIT-KACI, D., H. PAUC., (1983).** La couverture sédimentaire récente en baie de Bou-Ismaïl : nature et structure. Rapp et PV. CIESM, 246 p.
- **AMINOT, A., CHAUSSPIED, M. (1983).** *Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* Brest : CNEXO, 395 p.
- **AMINOT, A., KEROUEL, R. (2004).** *Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses.* France : Ifremer, 336 p.
- **AMROUCHE, S., MOUSSAOUI. Z (2010).** *Erosion du littoral de Fouka Marine : Causes, conséquences et solutions d'aménagement.* Mémoire d'ingénieur : Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 76 p.
- **AOUIDAD, Z., (1997).** *Contribution à l'étude de la pollution par les métaux lourds dans les sédiments superficiels et les particules en suspension dans la baie de Bou-Ismaïl.* Mémoire d'ingénieur : Pollution marine. Alger : ISMAL, 72 p.

- **Apports nutritionnels conseillés pour la population Française. (2009)** Agence Française de sécurité sanitaire des aliments. 3<sup>e</sup> éd. Paris : Tec & Doc, 81 p.

## B

- **BELADJINE, S., H. GUERFI. (2015).** *Evaluation des teneurs en métaux lourds dans l'environnement marin du littoral Algérois chez Patella sp et les moules.* Mémoire d'ingénieur : Environnement. Alger : ENSSMAL, 73 p.
- **BENNOUNA, T. (1990).** *Bioaccumulation des métaux lourds chez les invertébrés dulçaquicoles. effets histopathologiques et moyens de défense développés par un poisson d'eau douce : Le Gardon (Rutilus rutilus).* Rapport de stage de DEA de toxicologie de l'environnement. Paris : Université de Metz. 40 p.
- **BERNE, F. CORDONNIER, J., (1991).** *Traitement des eaux : épuration des eaux résiduaires de raffinage. conditionnement des eaux de réfrigération.* France : TECHNIP. 306 p.
- **BISSON, M., N. HOUEIX, G. GAY (2006).** Nickel et ses dérivés. I N E R I S. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques [en ligne]. [Consulté le 05/04/2016]. Disponible sur le web : <<http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/getDocument/2812>>.
- **BOUGHRIRA, A. (2012).** *Modélisation spatiotemporelle des paramètres de la pollution organique dans la baie de Bou Ismail.* Mémoire de magister. Environnement. Dely Brahim : ENSSMAL, 111 p.
- **BOULKRAH, H. (2008).** *Etude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants.* Mémoire de magister. Chimie. Skikda : Université du 20 Aout 1955, 140 p. [en ligne]. [Consulté le 06/04/2016]. Disponible sur le web : <[http://www.univ-skikda.dz/doc\\_site/recherchePG/theses\\_memoires/fac\\_sciences/Chimie/Opt\\_Pollu\\_Chim\\_Environnement/memoire\\_magistere\\_boulkrah.pdf](http://www.univ-skikda.dz/doc_site/recherchePG/theses_memoires/fac_sciences/Chimie/Opt_Pollu_Chim_Environnement/memoire_magistere_boulkrah.pdf)>.

- **BOVAD, P., L. FOULQUIER, M. PALLY (1978).** *Transfert du cadmium dans les eaux douces* Rapport de stage de DEA de toxicologie de l'environnement. France : *B.I.S.T.*
- **BURNS, K.A, SALIOT, A. (1986).** Petroleum hydrocarbons in the Mediterranean sea: A mass Balance. *Marine chemistry*. Vol. 20 (5), 198 p.
- **BURNS, K.A, VILLENEUVE, J.P. (1982).** Dissolved and particulate hydrocarbons in water from spring sampling of the Var river estuary (S. France). *Toxicological and environmental chemistry*. Vol. 5 (2), 195-203 p.

## C

- **CLAUDE K. W. FRIEDLY. (2002).** *Chimie générale pour l'ingénieur*. France : *PUR*, 747 p.
- **CORDERO, B., GOMEZ, V. REVES, M. et al . (2008).** « Covalent radii revisited ». Berne : Dalton Transactions. 2886 p.
- **COUMES, F., P.ROUSSEAU. (1967).** *Etude de la sédimentation actuelle de la baie de BOU-Ismail (ouest Alger)*. *Annales Algériens de géographie*, n°7, 86 p.

## D

- **DAGORNE, A. (1973).** *Sédimentologie et bionomie benthique de la baie de Bou-Ismail*. *Pélagos*. Vol. 6 (2), 75 p.
- **DAVID, R. LIDE. (2009).** *CRC Handbook of chemistry and physics*. London: CRC Press Inc, 9<sup>e</sup> éd. 2804 p.

- **DEHAINE, C. (1992).** *Contamination métallique et microorganique des poissons d'eau douce ; synthèse bibliographique.* Mémoire de DESS. Chimie marine. Lille : UST, 52 p.
- **DIARD, P. (1996).** *Etude de la biosorption du plomb et du cuivre par des boues de stations d'épuration : mise en œuvre d'un procédé de biosorption à contrecourant.* Thèse de doctorat. Pollution marine. LYON : INSA, 328 p.
- **DRAREGJA, B. (2007).** *Structure et fonctionnement d'un milieu lagunaire méditerranéen : lagune mellah (El-kala, Algérie Nord-Est).* Thèse de doctorat. Sciences de la Mer. Dely Brahim : ISMAL, 178 p.
- **DUCHEMIN J., MIGNARD, C. (2005)** *Cadmium, phtalates, alkylphénols, présentation.* Loire : B.I.S.T. 3<sup>e</sup> éd, 240 p.
- **DURAND, J. (1952).** *Etude de quelques sédiments de la baie de Castiglione.* Travaux station aquaculture et pêche, Castiglione. N° 59. 229 p.
- **ETSC, (2014).** Cadmium et ses dérivés. INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. [en ligne]. [Consulté le 03/04/2016]. Disponible sur le web : <http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/getDocument/2725> ».

## F

- **FAURIE, C. et al. (2012).** *Ecologie : approche scientifique et pratique.* 6<sup>e</sup> éd. France : TEC et DOC. 491p.
- **FORSTNER, U., WITTMAN, G. (1981).** *Metal pollution in aquatic environment.* 2<sup>e</sup> éd. London : Springer-Verlag. 486 p.

- **FOUREST, E. (1993).** Etude des mécanismes de biosorption des métaux lourds par des biomasses fongiques industrielles en vue d'un procédé d'épuration des effluents aqueux contaminés. Thèse de Doctorat. Chimie marine. France : Université Joseph Fourier-Grenoble. 284 p.
- **FOUSSARD, V., ETCHEBER, H. (2011).** Proposition d'une stratégie de surveillance des paramètres physico-chimiques pour les estuaires de la seine, de la Loire et de la gironde. France : Tec & Doc. 385 p
- **François, L., Vincent, B. (2004).** Devenir et comportement des métaux dans l'eau : biodisponibilité et modèles BLM. Rapport technique. [en ligne]. [Consulté le 12/04/2016]. Disponible sur le web : < [http://www.ineris.fr/centredoc/03\\_0693\\_Rapp\\_Technique\\_biodisp\\_ecot.pdf](http://www.ineris.fr/centredoc/03_0693_Rapp_Technique_biodisp_ecot.pdf) >.

## G

- **GERARD, M. (2001).** *Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé.* Vol. 2 (1), 95 p.
- **GILLET, C. (2006).** Fiche mercure INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. [en ligne]. [Consulté le 05/04/2016]. Disponible sur le web : < [http://www.non-au-mercure-dentaire.org/fichiers/8\\_fiche-mercure-ineris.pdf](http://www.non-au-mercure-dentaire.org/fichiers/8_fiche-mercure-ineris.pdf) >.
- **GUEBBABI, I., SALEM, W (2012).** Etude de protection du rivage de Fouka Marine. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 50 p.

## H

- **HADE, A. (2002.)** Nos lacs – les connaître pour mieux les protéger. France : *Fides*, 360 p.
- **HAMMOND, C. R. (2004).** The Elements, in handbook of chemistry and physics. Cambridge: *CRC press*, 81 p.

- **HAOUAS, K., A . RARRBO. (2013).** *Evaluation des paramètres du littoral de la baie de Bou-Ismaïl : détermination de la pollution marine par les métaux lourds.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Dely brahim : *ENSSMAL*, 70 p.
- **HARID, R . (2014).** *Etude de l'oxygène dissous et des paramètres du carbone dans la baie de Bou Ismaïl en été 2014.* Mémoire d'ingénieur. Environnement. Dely brahim : *ENSSMAL*, 72 p.
- **HOROWITZ, A.J., K.A. ELRICK. (1988).** *Interpretation of bed sediment trace metal data.* American Society for Testing and Materials. Vol. 1 (2). 59 p.
- **HOUMA BACHARI, F. (2009).** *Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire.* Thèse de doctorat : Sciences de l'univers et de l'environnement : Université du val de marne Paris XII France. 272 p. [en ligne]. [Consulté le 25/03/2016]. Disponible sur le web : < <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00504378/document> >.

## I

- **INERIS.** *Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques.* « Cadmium et ses dérivés ». [en ligne]. [Consulté le 29/09/2011]. Disponible sur le web : < <http://www.ineris.fr/> >.
- **INERIS.** *Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques.* « Chrome et ses dérivés ». [en ligne]. [Consulté le 29/09/2011]. Disponible sur le web : < <http://www.ineris.fr/> >.
- **INERIS.** *Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques.* « Zinc et ses dérivés ». [en ligne]. [Consulté le 29/09/2011]. Disponible sur le web : < <http://www.ineris.fr/> >.

- **Institut numérique.** *Définitions et caractéristiques des métaux lourds.* [en ligne]. [Consulté le 03/03/2016]. Disponible sur le web : < <http://www.institut-numerique.org/i2-definitions-et-caracteristiques-des-metaux-lourds-5306014f2e326> >.
- **IVANOFF, A. (1972).** *Paramètres physico-chimiques des eaux de mer.* France : Librairie Vuibert. Vol. 3 (2). 208 p.

## J

- **JACQUES, R.B., PIRE. et al.** « NICKEL ». *Encyclopædia universalis.* [en ligne]. [Consulté le 5/04/2016]. Disponible sur le web : <<http://www.universalis.fr/encyclopedie/nickel/>>.

## K

- **KANKOU, M. (2004).** *Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en mauritanie-étude en laboratoire du comportement de deux pesticides.* Thèse de Doctorat. Pollution marine. France : Université de Limoges. 159 p.
- **KARINE, N. (1996).** *Contamination métallique des sédiments des cours d'eau du bassin Artois-Picardie et son impact sur la contamination des chairs et des foies de poissons.* Mémoire de D.E.A. Hydrogéologie, Paris : Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 92 p.

## L

- **LAATRA, M., H. CHENINI (2013).** *Etude comparative entre deux plantes (Typha latifolia et Phragmites Australis) à accumuler le zinc (Zn).* Mémoire de master. Génie civil et hydraulique. Biskra : Université Mohamed Khider, 79 p.
- **LECLAIRE, L. (1972).** *La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro Baléares (précontinent Algérien).* Manuel du littoral Algérien. Vol. 3 (1), 386 p.

## M

- **MAHEROU, J., S.NOEST& L.FERRER.** *Les métaux lourds, quels risques pour la santé ?* [en ligne]. [Consultée le 13/02/2016]. Disponible sur le web : < <http://www.asef-asso.fr/problematiques-emergentes/nos-syntheses/1535-les-metaux-lourds-quels-risques-pour-la-sante-la-synthese-de-l-asef> >.
- **MELET, JJ.** (2010). *Le mercure des amalgames dentaires.* [en ligne]. [Consulté le 05/04/2016]. Disponible sur le web : <[http://www.hyperactif.net/images/PDE\\_Le\\_mercure\\_des\\_amalgames\\_dentaires\\_Melet\\_JJ.pdf](http://www.hyperactif.net/images/PDE_Le_mercure_des_amalgames_dentaires_Melet_JJ.pdf) >.
- **MERTES, L.A.K., SMITH M.O., ADAMS J.B., (1993).** *Estimating suspended sediment concentrations in surface waters of the Amazon river wetlands from Landsat images.* Remote Sensing of Environment. New York : Cambridge university press. Vol. 43 (3), 351 p.
- **Ministère du Développement durable.** (2013). *Réseau de surveillance volontaire des lacs (RSVL).* [en ligne]. [Consulté le 05/04/2016]. Disponible sur le web : <[www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rsv-lacs/index.htm](http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rsv-lacs/index.htm) >.
- **MIQUEL, G. (2001).** Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. France : Tec & Doc. 89 p.
- **MOORE, J., RAMAMOORTLY, W. (1984).** *Heavy metals in natural waters.* Berlin : Sprinzer-Verlag, 268 p.

## P

- **PILSON, M. (2013).** An introduction to the chemistry of the sea. New York : Cambridge university press. 314 p.

## R

- **RAMADE, F. (1978).** *Eléments d'écologie appliquée.* Paris: Mc Graw Hill. 451 p.
- **RAMADE, F., (1993).** *Dictionnaire encyclopédique des éléments de l'écologie des sciences de l'environnement.* Paris : Science internationale. 822 p.
- **RAZEGHI, M. (2006).** *Fundamentals of solid state engineering.* New York: Cambridge university press. 156 p.
- **RICOUX C., GASZTOWTT B. (2005).** *Evaluation des risques sanitaires liés à l'exposition de forts consommateurs de produits de la pêche de rivière contaminée par des toxiques de l'environnement.* Rapport IVS. Marseille : AEAG.
- **RODIER, J. (1996).** *L'analyse de l'eau eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer.* Paris : Dunod. 39 p.
- **RODIER, J. (1997).** *L'analyse de l'eau eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer.* Paris : Dunod. 87 p.
- **RODIER, J. (2005).** *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer.* Paris : Dunod. 24 P.

## S

- **STEPHANIE, A., B. EMMANUEL., B. MARIE. ; H. FRANCOIS ; K. FLORENCE. (1997).** *Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation.* [en ligne]. [Consulté le 07/03/2016). Disponible sur le web : < <https://www.emse.fr/spip/IMG/pdf/metlourd.pdf> >.

## T

- **TARMOUL, F. (2014).** *Évaluation de la qualité du milieu marin dans la Baie d'El Djamila en vue de la mise en place d'un réseau de surveillance.* Mémoire magister. Gestion et surveillance du milieu marin et littoral. Dely brahim : ENSSMAL, 105 p.

## V

- **VOLHARDT, K.P et SCHORE N.E., (1995).** Traité de chimie organique. Paris : Boeck. 1156 p.

## W

- **Waterwatch Australia Steering Committee, (2003).** Waterwatch australia national technical manual, environment australia. 156 p. [en ligne]. [Consulté le 03/04/2016]. Disponible sur le web: < [www.waterwatch.org](http://www.waterwatch.org)>.
- **WIKIPEDIA.** *Élément-trace métallique.* [en ligne]. [ consultée le 08/01/2016]. Disponible sur le web : <[https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89%C3%A9ment-trace\\_m%C3%A9tallique](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89%C3%A9ment-trace_m%C3%A9tallique)>.
- **WILLIAM, F., JAVAD, S. (2003).** *Foundations of materials science and engineering.* New York: McGraw-Hill Professional. 223 p.

# *Annexes*

**Annexes 1 :****Coordonnées géographiques des stations de prélèvement des sédiments :**

<b>Station</b>	<b>Coordonnées</b>		<b>Profondeur (m)</b>
	<b>Latitude (N)</b>	<b>Longitude (E)</b>	
<b>1</b>	36° 40' 30,94''	2° 44' 17,19''	4
<b>2</b>	36° 40' 28,17''	2° 44' 6,84''	3
<b>3</b>	36° 40' 21,07''	2° 44' 1,88''	3,4
<b>4</b>	36° 42' 1,9''	2° 48' 08,5''	2,8
<b>Stations de la CNRDPA</b>			
<b>5</b>	36° 42' 00''	2° 45' 30''	-
<b>6</b>	36° 41' 52,31''	2° 45' 29,42''	-
<b>7</b>	36° 39' 55''	2° 45' 36''	-
<b>8</b>	36° 40' 04''	2° 46' 2''	-
<b>9</b>	36° 40' 53''	2° 47' 9''	-

## Annexe 2 :

### Propriétés physico-chimiques des métaux lourds

<b>Elément</b>	<b>Température de fusion (°C)</b>	<b>Température d'ébullition (°C)</b>	<b>Densité (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Plomb (Pb)</b>	327,5	1749	11,3
<b>Cadmium (Cd)</b>	321,1	766,8	8,6
<b>Mercure (Hg)</b>	- 38,83	356,7	13,5
<b>Chrome (Cr)</b>	1907	2672	7,2
<b>Fer (Fe)</b>	1538	2862	7,9
<b>Cuivre (Cu)</b>	1085	2562	8,9
<b>Nickel (Ni)</b>	1455	2913	8,9
<b>Zinc (Zn)</b>	419,5	907	7,1
<b>Manganèse (Mn)</b>	1246	2061	7,44

### Annexe 3 :

#### Longueur d'onde d'absorption des métaux lourds

<b>Eléments</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>
<b>Paramètres</b>						
<b>Longueur d'onde (nm)</b>	228,8	217,0	213,9	248,3	279,5	324,8
<b>Temps de lecture en (S)</b>	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

## Annexe 4 :

### Courbe d'étalonnage des métaux étudiés

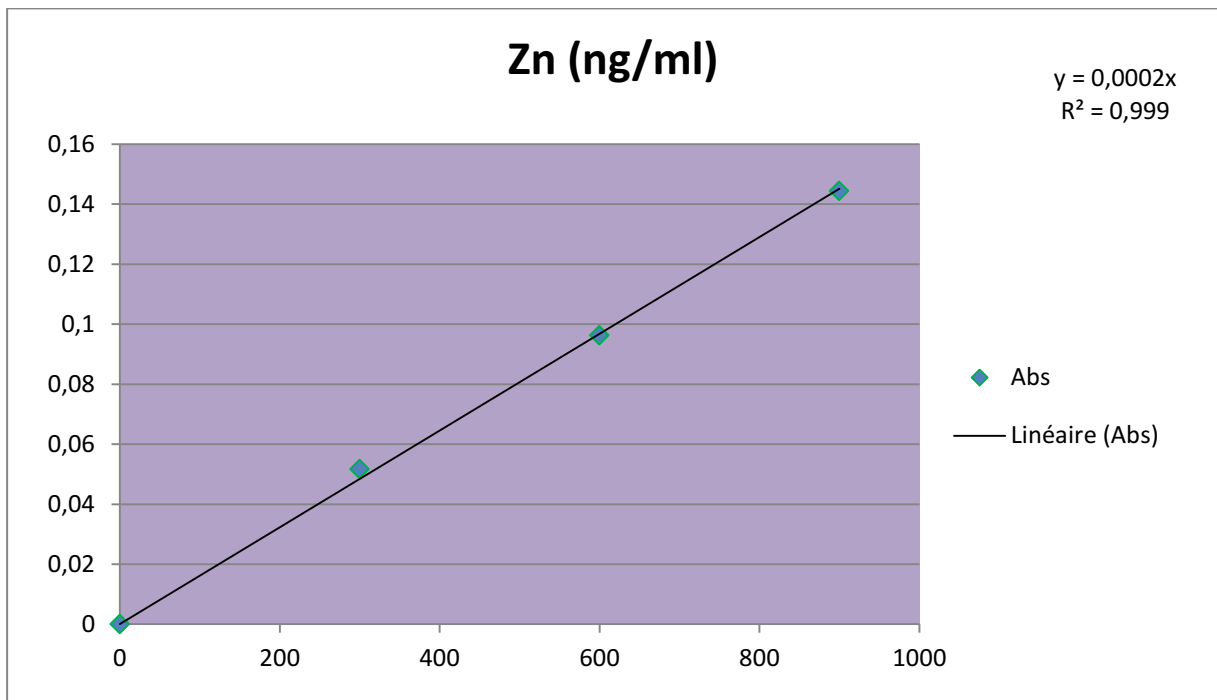


Figure III.12 : Courbe d'étalonnage du Zinc

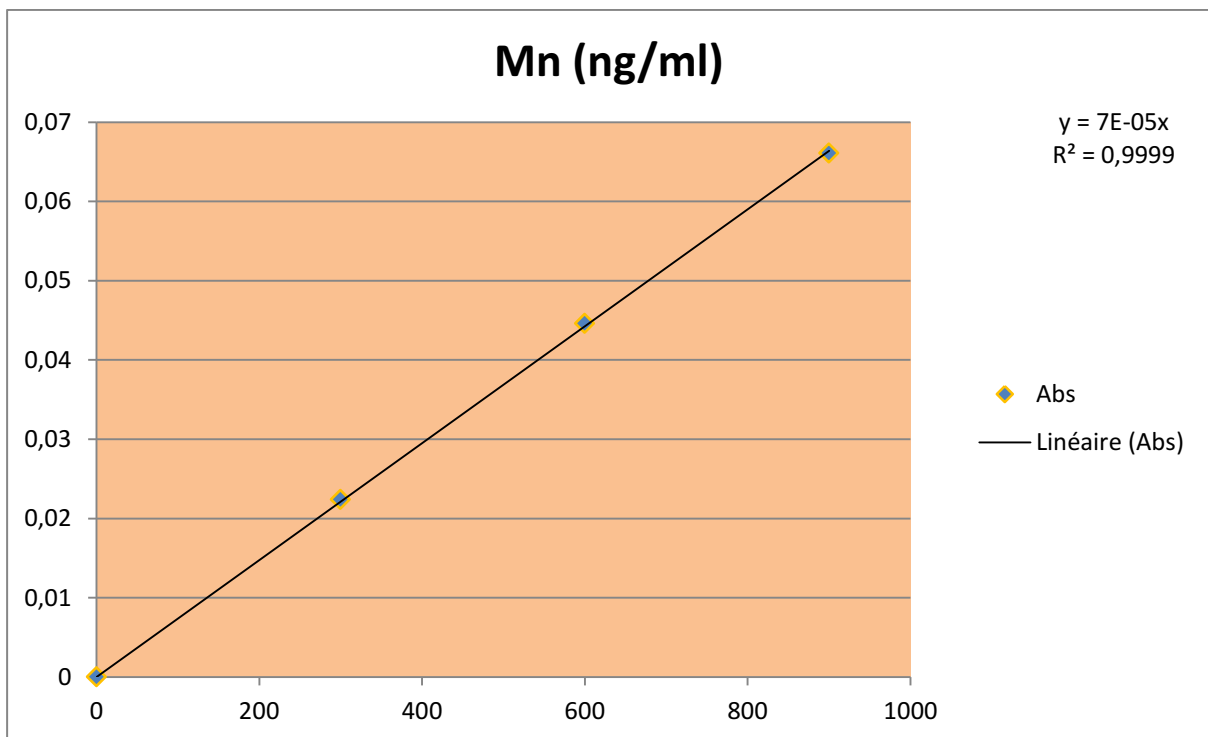
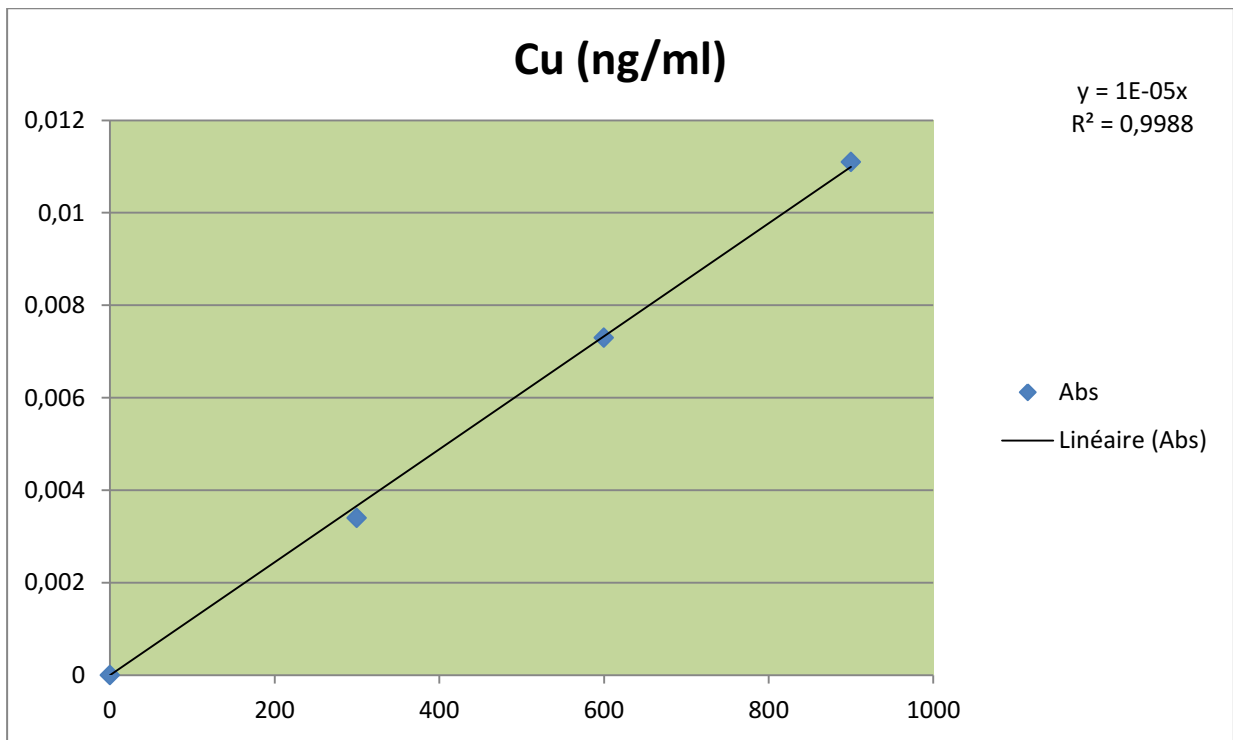
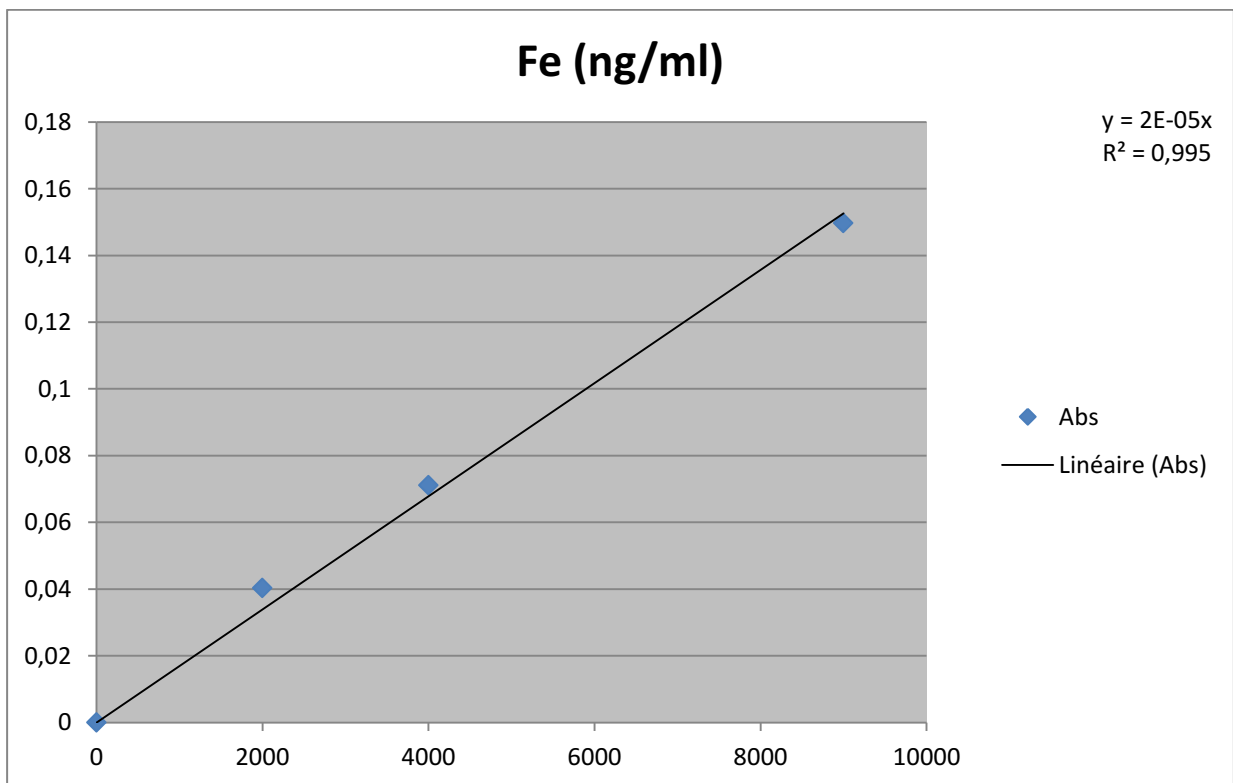


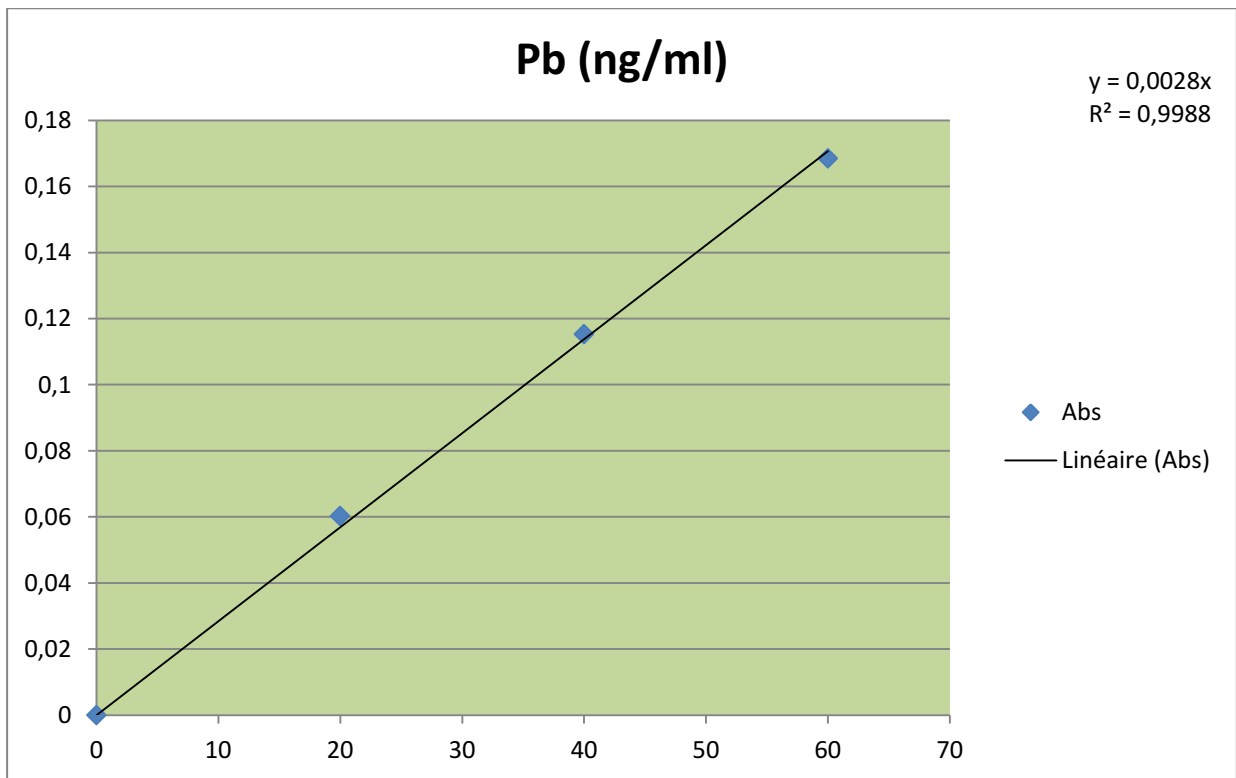
Figure III.13: Courbe d'étalonnage du Manganèse



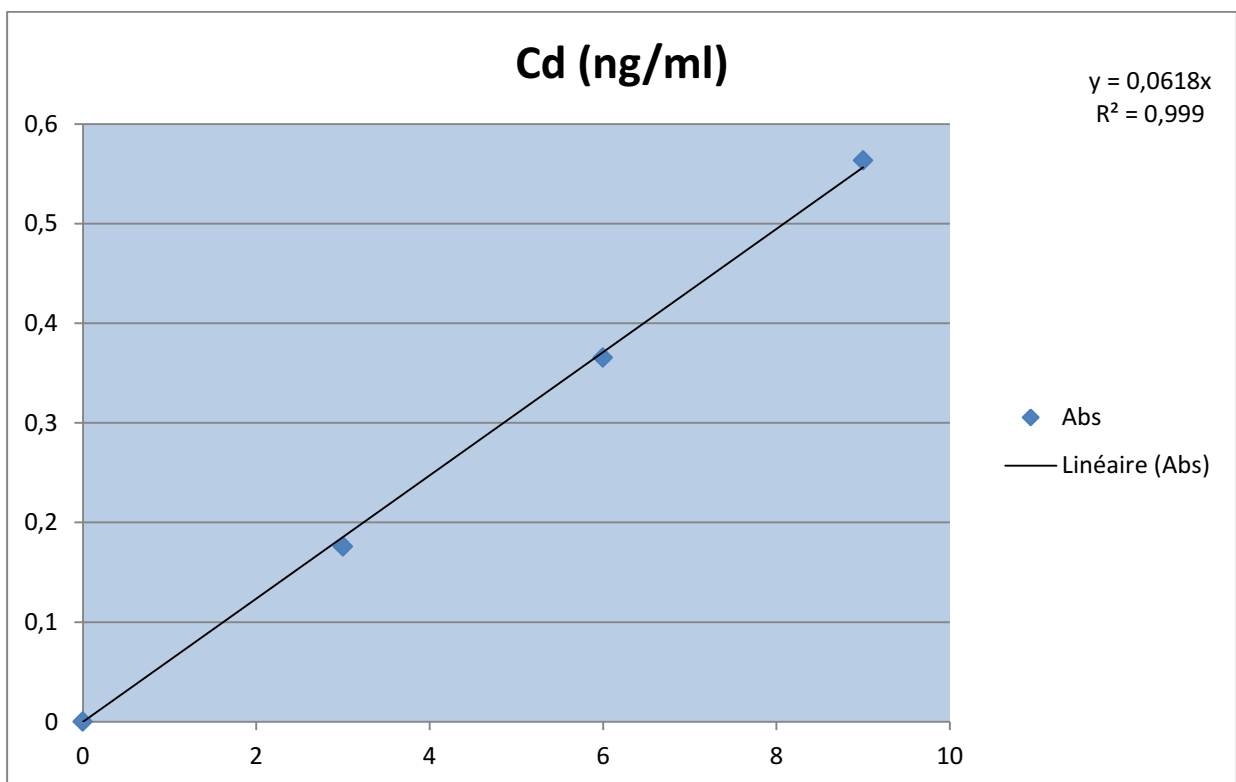
**Figure III.14 : Courbe d'étalonnage du Cuivre**



**Figure III.15 : Courbe d'étalonnage du Fer**



**Figure III.16 : Courbe d'étalonnage du Plomb**



**Figure III.17 : Courbe d'étalonnage du Cadmium**

**Annexe 5 :**

**Coordonnées géographiques des stations de l'étude de 2014**

<b>Stations</b>	<b>Latitude (N)</b>	<b>Longitude (E)</b>
<b>ST 2</b>	36° 37' 48''	2° 25' 12''
<b>ST 4</b>	36° 40' 48''	2° 28' 48''
<b>ST 7</b>	36° 35' 24''	2° 26' 42''
<b>ST 8</b>	36° 38' 45,6''	2° 29' 31,2''
<b>ST 9</b>	36° 34' 48''	2° 30'
<b>ST 10</b>	36° 38' 42''	2° 30'
<b>ST 11</b>	36° 34' 30''	2° 35' 6''
<b>ST 12</b>	36° 35' 20,4''	2° 35' 6''
<b>ST 13</b>	36° 39' 50,4''	2° 35' 6''

**Annexe 6 :**

**Spectrophotomètre d’Absorption Atomique (Modèle HITACHI Z-5000)**



# Suivi de la qualité des sédiments superficiels de Fouka Marine par les métaux lourds

## Résumé :

Les écosystèmes marins côtiers sont des milieux de plus en plus affectés par l'activité humaine à cause des rejets urbains et l'utilisation de l'océan comme dépotoir pouvant mener à de hauts niveaux de pollution. L'objectif de cette étude était de déterminer les concentrations en éléments traces métalliques (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) des sédiments superficiels et d'évaluer leur qualité. Pour ce faire, des échantillons de sédiments ont été prélevés au niveau de quatre points dans la zone de Fouka Marine. L'évaluation de la qualité des sédiments a été effectuée par le calcul de l'indice de contamination qui estime le degré de pollution d'un site en fonction de la toxicité relative de chaque métal considéré. Les résultats obtenus ont permis d'évaluer l'état de pollution du site d'étude et qui s'est avéré un site non pollué.

**Mots clés :** Pollution marine, contamination métallique, métaux lourds.

## Abstract :

Coastal marine environments are increasingly affected by human activity because of urban waste, and use of the ocean as a dumping ground could lead to high levels of pollution. The objective of this study was to determine the concentration of trace metals (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) in surficial sediments and assess their quality. To do this, sediment samples were collected at four points in the region of Fouka Marine. The quality assessment sediment has been done by calculating the contamination index that estimates the degree of pollution of a site depending on the relative toxicity for each metal considered. The obtained results allowed assessing the study site's pollution status and which has proven that it is a non-polluted site.

**Keywords :** Marine pollution, metal contamination, heavy metals

## ملخص :

البيئات البحرية الساحلية تتأثر بصورة متزايدة بالنشاط البشري بسبب المخلفات الحضرية واستخدام المحيط كمنطقة للتخلص من النفايات و هذا ما يؤدي الى ارتفاع مستويات التلوث. الهدف من هذه الدراسة هو تحديد تراكيز المعادن الموجودة بكميات قليلة (الكاديوم، الكروم، النحاس، النيكل، والرصاص، والزنك) في الرواسب السطحية و تقييم نوعيتها. وللقيام بذلك, تم جمع عينات الرواسب عند اربع نقاط في منطقة فوكا بحرية. لتقييم جودة الرواسب تمت حسابة مؤشر التلوث الذي يقدر درجة تلوث الموقع المدروس بدلالة السمية النسبية لكل معدن معتبر. النتائج المنحصلة عليها مكنت من تقييم حالة تلوث الموقع المدروس و الذي تم اثباته هو أن الموقع غير ملوث.

**الكلمات الرئيسية :** التلوث البحري, المعادن الثقيلة , التلوث بالمعادن.