

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



**Mémoire de Fin d'Études en vue de l'obtention  
du Diplôme d'Ingénieur en Sciences de la Mer**

**Option : Environnement**

**Thème :**

**Pollution tellurique dans les eaux et sédiments  
superficiels de la baie de Bou-Ismaïl**

**Présenté par :**

- ANAYAT Mourad
- MOUDACHE Anissa

**Soutenu le 18. 07. 2010 devant le jury suivant :**

M <sup>r</sup> : BELKESSA. R	Maitre de conférences	Président
M <sup>r</sup> : REFES. W	Maitre assistant A	Examineur
M <sup>me</sup> : BENTCHIKOU. L	Maitre assistant A	Examinatrice
M <sup>me</sup> : BACHARI HOUMA. F	Maitre de conférences	Promotrice

**Promotion 2009 -2010**

## *Remerciements*

Au terme de cette étude nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à tous ceux qui par leur aide, leur conseil, leur compétence et leur intérêt ont contribué à la réalisation de ce travail.

Que soient particulièrement remerciés le membre de jury :

Mr BELKESSA. K maitre de conférences à l'ENSSMAL qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

Madame BACHARI HOUMA. F d'avoir accepté d'encadrer ce travail. Pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et ses précieux conseils qu'elle à tenue à nous prodiguer au cours de la réalisation de ce travail.

Madame HOCINI.N pour sa coopération au niveau du CRNA.

Mr REFES. W et Mme BENCHIKOU. L d'avoir consacré du temps et accepter d'examiner ce modeste travail.

Nous tenons aussi à remercier tous le personnels de la bibliothèque de l'ENSSMAL et du laboratoire de Sidi Fredj pour leur précieuse aide.

Ce travail n'aurait jamais été réalisé sans l'encouragement, le soutien et l'aide de nos parents et de nos ami(e)s tout au long de nos études.

# Sommaire

Introduction.....	1
<i>Chapitre I : Généralités</i>	
1. La pollution.....	2
1.1. Définition de la pollution.....	2
1.2. Les principaux types de pollution.....	2
1.2.1. Pollution chimique.....	3
1.2.2. Pollution biologique.....	3
1.2.3. Pollution physique.....	4
1.3. Sources de pollution.....	4
1.3.1. Rejets d'effluents domestiques.....	4
1.3.2. Pollution d'origine industrielle.....	4
1.3.3. Pollution agricole.....	4
2. Les paramètres physico-chimiques de l'eau.....	5
2.1. La température.....	5
2.2. La salinité.....	5
2.3. Le potentiel hydrogène (PH).....	6
2.4. La conductivité électrique.....	7
3. Les paramètres indicateurs de pollution.....	7
3.1. La matière en suspension (MES).....	7
3.2. L'oxygène dissous (OD).....	8
3.3. La turbidité (TU).....	8
3.4. Le carbone organique total (COT).....	9
3.5. La matière organique (MO).....	9
4. Les sels nutritifs.....	9
4.1. L'azote.....	10
4.1.1. L'ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	10
4.1.2. Les nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).....	10
4.1.3. Les nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	11
4.2. Les phosphate.....	11
4.3. Le silicium.....	11
5. Chlorophylle et phéopigments.....	12
5.1. La Chlorophylle.....	12
5.2. Les phéopigments.....	12
6. Les métaux lourds.....	13
6.1. Origine.....	13
6.2. Métaux non essentiels (toxiques).....	13
6.2.1. Le plomb (Pb).....	13
6.2.2. Le cadmium (Cd).....	14
6.2.3. L'arsenic (As).....	14
6.2.4. Le mercure (Hg).....	15
6.3. Les conséquences de leurs degrés de toxicité sur l'homme et l'écosystème.....	15
6.4. Éléments essentiels (oligo-éléments).....	16
6.4.1. Le chrome(Cr).....	16
6.4.2. Le zinc(Zn).....	16
6.4.3. Le cuivre(Cu).....	17
6.4.4. Le manganèse (Mn).....	17

6.4.5. Le fer (Fe).....	17
6.5. Toxicité des éléments essentiels.....	17
6.6. Le cycle biogéochimique des métaux lourds .....	19

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

1. Situation géographique .....	21
2. Géomorphologie.....	22
2.1. Le massif de la Bouzaréah.....	22
2.2. Le massif de Chenoua.....	22
2.3. Le Sahel d'Alger.....	22
a. La plaine de la Mitidja .....	22
b. Le cordon littoral dunaire .....	22
3. Topographie de la baie.....	22
3.1. Le plateau continental.....	23
3.2. Le talus continental.....	23
4. Sédimentologie .....	23
5. Réseau hydrographique.....	24
5.1. Oued de Beni Messous .....	25
5.2. Oued de Mazafran .....	25
5.3. Oued de Nador.....	25
6. Facteurs hydrodynamiques .....	25
6.1. Les courants.....	25
6.2. Houles.....	25
a. Les houles hivernales .....	25
b. Les houles estivales .....	25
7. Sources de pollution.....	26

## *Chapitre III : Matériels et méthodes*

1. Compagnies en mer.....	28
2. Choix et la localisation des stations .....	28
3. Appareillage et technique de prélèvement .....	30
3.1. Nettoyage du matériel avant la sortie .....	30
3.2. Travaux effectués in situ .....	30
3.2.1. Prélèvement d'eau de mer .....	30
3.2.2. Prélèvement du sédiment.....	30
3.2.3. Mesure des paramètres physicochimiques .....	30
A. Mesure de l'oxygène dissous et de la température .....	30
B. Mesure de la salinité.....	31
C. Mesure de potentiel d'hydrogène (PH).....	31
3.3. Travaux effectués au laboratoire.....	31
3.3.1. Eau de mer .....	31
A. Conservation des échantillons.....	31
B. Dosage de la matière en suspension (MES).....	31

C. Dosage de la matière organique (MO).....	32
D. Dosage de la chlorophylle <i>a</i> et des phéopigments .....	33
E. Dosage du carbone organique totale (COT).....	34
F. Dosage des sels nutritifs .....	35
F.1. Principe de dosage des sels nutritifs .....	35
F.2. Analyse automatique des sels nutritifs.....	36
F.2.1. Dosage de l'azote ammoniacal.....	36
F.2.2. Dosage des nitrites .....	36
F.2.3. Dosage des nitrates.....	36
F.2.4. Dosage des orthophosphates .....	37
F.2.5. Dosage du silicium dissous .....	37
F.3. Etalonnage.....	37
3.3.2. Le sédiment .....	39
A. Traitement de la matière organique .....	39
B. Traitement des échantillons destinés à l'analyse des métaux lourds .....	39
B.1. Lyophilisation .....	39
B.2. Broyage et tamisage .....	39
B.3. Principe de la technique .....	40
B.4. Le dispositif expérimentalement .....	40
B.5. Mode opératoire .....	41

#### *Chapitre IV : résultats et discussions*

1. Variations des paramètres physico-chimiques.....	42
1.1. Température.....	42
1.2. L'oxygène dissous (O <sub>2</sub> ).....	44
1.3. Pourcentage de saturation de l'Oxygène (O%) .....	45
1.4. Salinité.....	46
1.5. La conductivité (Cu).....	47
1.6. Le potentiel hydrogène (pH).....	47
2. Distribution des paramètres particuliers.....	48
2.1. La matière en suspension(MES).....	49
2.2. La matière organique .....	50
2.3. La chlorophylle <i>a</i> et les phéopigments .....	51
2.4. Le carbone organique totale (COT).....	53
3. Variation des sels nutritifs .....	54
3.1. Variation des nitrates .....	54
3.2. Variation des nitrites et ammoniums .....	56
3.3. Variation des orthophosphates.....	57
3.4. Variation des silicates.....	58
3.5. Comparaison des Teneurs en sels nutritifs obtenues dans la baie de Bou-Ismaïl avec des données antérieures.....	59
4. Etude de l'eutrophisation en baie de Bou-Ismaïl.....	59
4.1. Analyse des rapports NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> et COT/NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	59
4.1.1. Diagramme de corrélation NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> de la baie de Bou-Ismaïl .....	59
4.1.2. Diagramme COT/NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> de la baie de Bou-Ismaïl .....	60
4.2. Source de la MES en baie de Bou-Ismaïl .....	61
4.2.1. Corrélation MES/PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> .....	61
4.2.2. Corrélation MES/NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	62

4.2.3. Corrélation MES/Chlorophylle .....	62
4.2.4. Corrélation MES/COT.....	63
5. Discussions des résultats des métaux lourds.....	64
5.1. Résultats des mesures obtenus .....	64
5.1.1. Le plomb (Pb).....	64
5.1.2. Le cadmium (Cd).....	65
5.1.3. Le mercure (Hg) .....	66
5.1.4. L'arsenic (As).....	67
5.1.5. Le chrome (Cr) .....	67
5.1.6. Le zinc .....	68
5.1.7. Le cuivre .....	69
5.1.8. Le manganèse .....	70
5.1.9. Le fer.....	71
5.2. La corrélation entre métaux lourds des sédiments et la matière organique du sédiment.....	72
5.3. Estimation du niveau de contamination du sédiment marin superficiel de la baie de Bou-Ismaïl.....	72
5.3.1. Comparaison des teneurs en métaux lourds avec celles obtenues dans d'autres études antérieurs au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.....	72
5.3.2. Calcul d'indices de contamination .....	73
Conclusion .....	76
Références bibliographiques .....	77
Annexes.....	81

# *Introduction*

## **Introduction :**

Les zones côtières sont des régions de plus en plus affectées par l'activité humaine ; une grande partie de la population de la terre habite dans des zones côtières. Cependant, les eaux marines sont exposées à un grand nombre de conditions environnementales parmi lesquels on retrouve principalement, l'érosion côtière et le transport de sédiments. De plus, les côtes sont aussi soumises aux rejets des bassins versants pouvant provenir de zones urbaines, de l'agriculture ou des industries.

La côte et le littoral algérien connaissent des véritables problèmes environnementaux. La baie de Bou-Ismaïl est certainement l'une des zones où la dégradation de la qualité des eaux marine côtière est la plus perceptible.

Plusieurs études ont été menées par de nombreux auteurs dans la baie de Bou-Ismaïl, afin de déterminer le niveau de la pollution par les sels nutritifs et les métaux lourds, citons celles de Samari, 2008 ; Hadouche, 2003; Aouidad, 1997, dont leurs résultats ont été utilisés pour faire la comparaison avec celles obtenus dans notre étude.

Dans le contexte de l'estimation du niveau de la pollution tellurique dans la baie de Bou-Ismaïl, le présent travail s'intéressera à la qualité des eaux et du sédiment superficiel ; si nous sommes intéressés à cette baie, c'est parce que c'est une zone où la pêche et le tourisme estival sont développés. Ces deux activités économiques peuvent être sérieusement compromises s'il s'avérait que la baie fait l'objet d'une pollution massive.

En premier chapitre nous aborderons quelques généralités sur la pollution et ces différents paramètres.

En deuxième chapitre, nous décrirons la zone d'étude (la situation géographique, la sédimentologie, la morphologie...).

En troisième chapitre, nous nous attacherons à décrire les protocoles et méthodes d'analyses sur le terrain aussi bien qu'au laboratoire.

Un quatrième chapitre comprendra l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus tant en terme de la pollution des eaux, ainsi que du taux de pollution par les métaux lourds.

Enfin le travail est clôturé par une conclusion générale.

*Chapitre I*  
*Généralités*

## 1. La pollution :

### 1.1. Définition de la pollution :

Sous le terme générale pollution sont regroupés à l'heure actuelle, les effets nocifs qui résultent de l'action de facteurs (altéragènes) qu'on qualifie de polluants, quelque soit la nature de ceux-ci. Ces polluants sont tous de sous-produits organiques et inorganiques des activités humaines : ils ont existé depuis des siècles, mais leur nocivité ne s'est exercée qu'à partir du moment où leur production massive excédait les capacités de destruction et de recyclage des organismes décomposeurs présents dans tout écosystème, et surtout depuis que certains d'entre eux se sont révélés résistants à l'action de ces organismes.

Cela dit, le rapport rédigé par le comité scientifique de la Maison Blanche, 1974, le terme *pollution* peut être défini comme suit : « c'est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature » (Emilia; 2004).

Ainsi le terme pollution désigne l'ensemble des rejets de composés toxiques que l'homme libère dans l'écosphère, mais aussi les substances qui, sans être vraiment dangereuses pour les organismes vivants, exercent une influence perturbatrice sur l'environnement ; elle ne doit pas être confondue avec les dangers du risque (incendies, explosions, etc....) qui peuvent également provoquer des effets polluants.

Selon la convention de *MONTEGO-BAY 1982* des Nations Unies sur le droit de la mer, le terme pollution est défini : « *introduction directe ou indirecte par l'homme de substances ou d'énergie dans le milieu marin y compris les estuaires, lorsqu'elle a ou peut avoir des effets nuisibles tels que les dommages aux ressources biologiques à la faune et flore marine, risque pour la santé de l'homme, entrave aux activités maritimes y compris la pêche et les autres utilisations légitimes de la mer, altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et dégradation des valeurs d'agrément* » (Revue maritime trimestrielle ; 1981).

La définition des pollutions est donc très large et elle permet de comprendre aussi bien des pollutions d'origine naturelle que des polluants liés à l'activité humaine (anthropique).

### 1.2. Les principaux types de pollution :

Classer les sources de pollution n'est pas une chose aisée, tant elles sont nombreuses suivant la nature des substances qui la provoquent.

En règle générale, on peut s'attendre qu'une substance soit un polluant sérieux si, sous des circonstances normale de production et d'utilisation, celle-ci :

- A des effets biologiques significatifs même à des petites concentrations ;
- Diffuse facilement dans l'air, est soluble dans l'eau et a une tendance particulière à s'accumuler dans les tissus vivants ;
- Est persistante ;
- Donne des produits dérivés ou des combinaisons dont la toxicité, la persistance et la capacité d'atteindre ou s'accumuler dans des cibles égalent ou dépassent les valeurs de la matière d'origine ;
- Affecte une large gamme d'organismes, et spécialement ceux en rapport direct avec l'homme ou qui jouent un rôle central dans la stabilité du système écologique global ;
- Est produite à grande échelle (**Emilia, 2004**).

Les pollutions de l'environnement peuvent être subdivisées ou classer comme suit :

### 1.2.1. Pollution chimique :

Ce sont des pollutions dues au déversement de substance chimique telle que les hydrocarbures, les détergents, les biocides (pesticides, organo-chlorés et organo-métalliques), métaux lourds (zinc, cadmium, mercure, ...), ou encore à la dissolution des sels minéraux (nitrates, nitrites et chlorures) (**Bellan et Perres, 1994**).

Deux types de paramètres permettent d'évaluer l'état de cette pollution :

- Les paramètres globaux : ils résultent de la juxtaposition des effets de plusieurs substances en même temps, exemple : PH, turbidité, demande chimique en oxygène.
- Les paramètres spécifiques qui caractérisent des composés de même propriété chimique (**Kankou, 2004**).

Ce type de pollution peut être directement ou indirectement toxique pour les organismes aquatiques.

### 1.2.2. Pollution biologique :

Il peut s'agir de pollution par micro-organismes : les germes (bactéries, virus, champignons, ...etc.) provenant des égouts pouvant proliférer à leurs arrivée dans le milieu marin, même s'il est vrai qu'il s'agit d'un milieu qui ne favorise pas la vie de la plupart des agents pathogènes, il peut également s'agir de l'introduction d'une espèce marine dans une zone où elle est normalement absente et dans laquelle elle a un impact non négligeable (exemple : *Caulerpa taxifolia*) ; comme il peut s'agir d'une prolifération des micro-algues causant des déséquilibres du milieu naturel et des modification dans les chaînes alimentaires (bloom phytoplanctonique, eutrophisation). La principale cause de cette prolifération planctonique est les apports des déchets industriels, domestiques et agricoles riches en nitrates et phosphates.

Cette pollution a des répercussions sur la qualité sanitaire des produits de la mer (conchyliculture, pisciculture...) et sur les différentes activités de la mer (tourismes par la qualité des eaux de baignade).

### **1.2.3. Pollution physique :**

La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels que la température, la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau (**Kankou, 2004**), ainsi que les rejets d'eau chaude des centrales nucléaires et les nappes pétrolières et les radiations ionisantes ... (**Lacaze, 1996**).

Les apports des eaux chaudes diminuent la solubilité de l'oxygène dissous du milieu, ainsi provoquant des perturbations dans le métabolisme phytoplanctonique par inhibition de la photosynthèse.

### **1.3. Sources de pollution :**

Selon le mode de propagation des pollutions, ces dernières peuvent être classées en trois types: les pollutions accidentelles, pollutions diffuses et pollutions anthropiques (**Gaujous, 1995**). Ces différents types de pollution ont plusieurs sources, et qui peuvent être dues aux :

#### **1.3.1. Rejets d'effluents domestiques:**

Qui sont des eaux résiduaires véhiculées en mer directement sans épuration, et sont caractérisées par de très fortes teneurs en matière organique, germes fécaux (diversifiés), sels minéraux, détergents...etc.

Les conséquences de cette pollution organique sont catastrophiques pour presque tous les organismes constituant les peuplements des milieux néritiques (**Gaujous, 1995**).

#### **1.3.2. Pollution d'origine industrielle:**

Constituent la première grande source de pollution des eaux, résultantes de différentes industries, telles que: la production d'énergie, l'industrie chimique, métallurgique, électronique... et cela par l'utilisation des combustibles fossiles, des molécules minérales et organiques de synthèses (**Ramade, 2000**).

#### **1.3.3. Pollution agricole:**

Elle résulte de l'utilisation de divers produits phytosanitaires, issus du lessivage des terres agricoles (phénomène d'eutrophisation), des résidus des élevages intensifs des animaux et des eaux d'abattoirs qui engendrent des pollutions chroniques et diffuses (**Leroy, 1999**).

## 2. Les paramètres physico-chimiques de l'eau :

### 2.1. La température :

La température est, avec la salinité, un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu. La température influe sur l'activité biologique dont dépend la production totale, et sur la répartition des espèces (preferendums thermiques), paramètre nécessaire à la détermination de la stratification verticale et de la circulation océanique. La mesure de la température est indispensable pour l'interprétation ou le traitement d'autres paramètres. Ainsi, la saturation des gaz dissous est fonction de la température et la mesure du pH requiert la connaissance de la température.

Dans les eaux océaniques, la température décroît de la surface vers le fond où elle varie de 0 à 2,5 °C selon le lieu. Particularité méditerranéenne, l'étroit plateau continental donne accès aux eaux profondes à peu de distance de la côte avec, en dessous de 200 m de profondeur, une température d'environ 13 °C. La température des eaux marines de surface suit le cycle des saisons. L'eau de surface se réchauffe dès le printemps et, si les courants ne sont pas suffisamment intenses, une couche moins dense se crée, « isolant » les eaux sous-jacentes. Ce phénomène est accentué par les dessalures aux embouchures fluviales. Limitant les échanges avec l'atmosphère, il peut favoriser l'anoxie\* des eaux de fond en milieu peu profond, enrichi en matières organiques (AMINOT, 2004).

### 2.2. La salinité :

La première définition résulte de la technique reproductible de S0rensen(1902): La salinité est la masse, en grammes, des substances solides contenues dans un kilogramme d'eau de mer, quand les ions bromure et iodure sont remplacés par leur équivalent de chlorure, les carbonates convertis en oxydes et toute la matière organique oxydée (AMINOT, 2004).

Mais la méthode correspondant à cette définition n'était pas applicable en routine. Cela a conduit à la notion de chlorinité (S0rensen, 1902) reposant sur la proportionnalité, énoncée par Dittmar dès 1884, entre les principaux constituants du sel de l'eau de mer. Le chlorure, qui représente 55 % de la salinité, pouvait être dosé précisément en routine par argentimétrie. Cependant, pour ne pas que la valeur de la chlorinité d'une même eau de mer soit liée aux déterminations successives des masses atomiques de l'argent et du chlore, **Jacobsen & Knudsen** (1940) ont redéfini la chlorinité.

Définition de 1902 : la chlorinité est la masse, en grammes, de chlore, équivalente à la quantité totale d'halogènes, dans un kilogramme d'eau de mer.

Définition de 1940: le nombre donnant la chlorinité en ‰ (pour mille) d'une eau de mer est par définition identique au nombre donnant la masse en grammes d'argent pur juste nécessaire pour précipiter les halogènes dans 0,3285234 kilogramme d'eau de mer.

Jusqu'en 1969, la chlorinité était convertie en salinité selon:

$$S \text{ ‰} = 1,805 \times \text{Cl ‰} + 0,030$$

Suite à l'amélioration de la connaissance des caractéristiques de l'eau de mer, une nouvelle relation est entrée en vigueur en 1969:

$$S \text{ ‰} = 1,80655 \times Cl \text{ ‰}.$$

Cette nouvelle expression concordait avec l'ancienne pour la salinité de 35,000.

La salinité est le descripteur indispensable en milieu marin, normalement associé à la mesure de la température. Les applications de la mesure de la salinité diffèrent en milieu côtier par rapport au milieu océanique.

En océanographie physique, la mesure très précise de la salinité (couplée à la température) sert à calculer la masse volumique de l'eau de mer, paramètre nécessaire à la connaissance de la circulation océanique. Pour caractériser les masses d'eau (essentiellement océaniques) et étudier leur mélange, on utilise les diagrammes température-salinité. En milieux côtiers et estuariens, la salinité est le traceur idéal des mélanges entre l'eau douce et l'eau de mer. Du fait de sa conservativité, on s'y réfère pour connaître le comportement des éléments dissous dans les estuaires. En outre, comme la salinité y varie dans de larges gammes, elle peut constituer un critère de répartition des espèces vivantes (AMINOT, 2004).

### 2.3. Le potentiel hydrogène (PH) :

Le pH est relatif à la concentration en ions hydrogène (H<sup>+</sup>) dans un milieu, donc à l'acidité de ce milieu. Cette notion a été introduite par **Sørensen en 1909** qui l'avait défini comme le cologarithme décimal de la concentration en ions H<sup>+</sup>

$$(PH = -\log_{10} CH)$$

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. En retour, il influence de nombreux processus chimiques ou biologiques en régulant, d'une part, les concentrations ou la spéciation d'espèces mineures telles que les métaux (précipitation, dissolution, complexation), d'autre part, les réactions enzymatiques, très sensibles à de petites variations de ce facteur. Les effets du pH sur les organismes marins ont ainsi été mis en évidence par de nombreux travaux (Knutzen, 1981 ; Hinga, 2002) (AMINOT, 2004).

Le pH de l'eau de mer en contact avec l'atmosphère reste ainsi dans une étroite fourchette, de l'ordre de 8 à 8,3. Il est affecté par les processus naturels qui déplacent les équilibres du système carbonique, comme la poussée du phytoplancton, consommatrice de CO<sub>2</sub>, ou la reminéralisation de la matière organique, productrice de CO<sub>2</sub>). Les variations qui en découlent dépassent rarement 2 à 3 dixièmes d'unité de pH.

Dans les estuaires, le pH peut varier dans de larges gammes du fait du mélange avec les eaux douces. En effet, la teneur et la composition en minéraux dissous dans les eaux douces sont très variables et plusieurs systèmes chimiques, notamment les silicates, interviennent en complément des carbonates dans la fixation du pH, généralement inférieur à celui de l'eau de mer. En outre,

l'accumulation de matières organiques d'origine continentale et la contamination par des rejets urbains ou industriels contribuent à la modification du pH naturel (AMINOT, 2004).

#### 2.4. La conductivité électrique (C) :

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

L'unité de conductivité est le micro-Siemens par mètre (mS/cm) (Rodier et al, 2005). La mesure absolue de la conductivité peut servir au calcul de la salinité, mais les conditions de mesure sont alors plus complexes. Dans ce cas, la conductivité d'un échantillon est déterminée par comparaison avec la conductivité d'une eau de mer standard (eau de mer normale) dont la salinité est de 35 % (Rodier et al, 2005).

### 3. Les paramètres indicateurs de pollution

#### 3.1. La matière en suspension (MES) :

La définition ISO des matières en suspensions (Afnor, 1999a) indique qu'il s'agit des « matières éliminées par filtration ou centrifugation dans des conditions définies ».

**Selon Ivanoff, 1972** : « En plus des substances dissoutes, les eaux de mer contiennent des matières en Suspension de toutes tailles et de toutes formes, minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, de nature, soit biogénique (bactéries, phytoplancton, zooplancton, poissons), soit terrigène (apports fluviaux, produits de l'érosion des côtes, débris déversés par l'homme), soit éolienne (particules transportées par les courants atmosphériques et tombant dans la mer), soit enfin météorique » (AMINOT, 2004).

C'est pourquoi, la connaissance de la matière en suspension est importante pour l'étude des milieux aquatiques. D'une part, les particules réduisent la transparence de l'eau et de ce fait la production primaire photosynthétique, d'autre part elles présentent une surface de courant importante pour des échanges physico-chimiques ou biologiques avec une source nutritive non négligeable pour la faune (AMINOT, 1983).

Les teneurs les plus élevées sont rencontrées à proximité des côtes estuariennes et plages, où elles sont le résultat de l'association de nombreux phénomènes physiques tels que l'érosion, les transports par les vagues atmosphériques, peut être de rejet anthropique ou d'un remaniement du sédiment par les courants marins. Les concentrations peuvent atteindre plusieurs centaines de milligrammes par litre dans les estuaires, et peuvent atteindre jusqu'à plusieurs grammes par litre. Leur présence dans le milieu marin affecte la photosynthèse en réduisant la transparence des eaux (AMINOT, 1983).

En général, les matières en suspension interviennent dans la composition de l'eau par leurs effets d'échanges d'ions ou d'absorption ; ainsi sur les éléments chimiques à l'état de traces que sur les micro-organismes.

### 3.2. L'oxygène dissous (O<sub>2</sub>) :

Ce paramètre détermine la qualité du milieu, et gouverne la plus part des processus biologiques des écosystèmes aquatique (**Aminot et Chaussepied, 1983**), C'est l'un des gaz dissous les plus importants que renferme l'eau de mer sur le plan quantitatif. La mesure de ce paramètre concerne exclusivement la mesure de l'oxygène moléculaire (O<sub>2</sub>) en solution. Sa concentration et sa saturation dans l'eau de mer est régie par plusieurs processus physiques, chimiques et biologiques :

- Echanges à l'interface air-océan ;
- Utilisation dans les réactions d'oxydation chimique ;
- Diffusion et mélange au sein des masses d'eau;
- Utilisation par les organismes aquatique pour la respiration et photosynthèse ;
- Utilisation dans les phénomènes de photo-oxydation ;
- Production in situ par la photosynthèse.

La concentration de l'oxygène de l'eau est sous influence des processus biologiques. Ces derniers permettent soit :

- Sa saturation dans les zones eutrophes (accroissement important du phytoplancton) ;
- Ou sa sous-saturation dans les zones riches en matières carbonées (oxydation de la matière organique, nitrification de l'azote ammoniacal) (**Aminot et Chaussepied, 1983**). Dans le cas de leur absence, sa concentration dans l'eau de mer en contact de l'air n'est qu'en fonction de la pression atmosphérique, la température et de la salinité de l'eau, on parle de la concentration d'équilibre ou saturation (**Aminot et Kérouel, 2004**).

C'est un paramètre utilisé essentiellement pour les eaux de surface. Au niveau de la mer à 20°C, la concentration en oxygène en équilibre avec la pression atmosphérique est de 8,8 mg/l d'O<sub>2</sub> à saturation.

Une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène (torrent), alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée. En effet, la forte présence de matière organique, dans un plan d'eau par exemple, permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène. L'oxygène dissous est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique du milieu eau.

### 3.3. La turbidité (TU) :

Selon **Wezernak et Polcyn (1975)** qui retient la définition du manuel de l'American Public Health Association : « La turbidité traduit la propriété optique responsable de la dispersion et de l'absorption de la lumière plutôt que sa transmission en ligne droite à travers l'échantillon ».

La norme ISO 7027 (Afnor, 1999) définit la turbidité comme « réduction de transparence d'un liquide due à la présence de substance non dissoutes ».

- La turbidité permet de déterminer la transparence de l'eau, c'est-à-dire la pénétration de la lumière. Sa connaissance et son importance permet de :
- déterminer l'épaisseur de la couche photosynthétique (la zone euphotique).
- Apprécier la quantité des matières en suspension.

Ces dernières sont de très faible dimension composées d'argile, de limon, de particules organiques, de plancton et de divers autres organismes microscopique, qui peuvent être d'origine naturelle ou anthropique (US EPA, 1999).

La turbidité est exprimée en UTN (ou NTU) (Unité de Turbidité Néphélométrique), elle est variable selon les saisons. Dans les eaux côtières, sa valeur est de l'ordre de 0,5 à 5 NTU.

### 3.4. Le carbone organique total (COT) :

Il correspond à la quantité totale de matières organiques présentes en solution et suspension dans une eau. On la mesure par détection infrarouge de la quantité de CO<sub>2</sub> dégagée par gazéification de la matière organique portée à 900°C (Ramade, 2000). La détermination du carbone organique total (COT) porte sur les composées organiques fixes ou volatils, naturels ou synthétiques et sur les eaux qui sont préalablement filtrées ou non.

le carbone organique trouvé dans les eaux est composé en majeure partie de substances humiques, de matériaux végétaux et animaux partiellement dégradés ainsi que de substances organiques à plusieurs états d'oxydation provenant de divers effluents municipaux et industriels, en particulier les usines de pâtes et papiers (CEAE Québec, 2007 in Chaouadi et Hocine).

### 3.5. La matière organique (MO) :

Dans les eaux, la matière organique se trouve sous les formes dissoutes et particulaire dont les proportions et le devenir varient beaucoup d'un type de milieu marin à l'autre. La matière organique est intimement liée aux activités biologiques, soit comme résultat de la synthèse de la biomasse, soit comme source d'énergie et de nutriments pour les micro-organismes (bactéries, protozoaires, phytoplancton). Dans les zones riches en matière organique, sa présence fait courir au milieu un risque d'hypoxie, le risque étant plus grand quand cette matière organique est facilement dégradable par les bactéries (Aminot et Kérouel, 2004).

## 4. Les sels nutritifs :

Il a été mis en évidence que les éléments qui risquent, le plus, de limiter la photosynthèse sont l'azote, le phosphore et silicium. De ce fait, ils sont appelés éléments nutritifs biolimitants. La richesse des eaux marines en ces éléments est signes de leur fertilité. Les organismes photosynthétisent leur substrats à partir des éléments présents dans le milieu marin, essentiellement, sous leur forme oxydée : CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> et aussi Si (OH)<sub>4</sub> pour les organismes à testes siliciques (Copin-Montégut, 1996).

Les sels nutritifs dans l'eau de mer peuvent provenir de deux sources principale :  
Source internes : sont représentées par l'azote, le phosphore et le silicium provenant des sédiments (qui constituent une importance réserve de la matière organique n'a pas le temps de se minéraliser avant son dépôt) d'une part et les remontées d'eaux profondes qui sont enrichis en sels nutritifs d'autre part.

Sources externes : sont représentées par les apports terrestres provenant des voies fluviales et directes d'une part, et les apports atmosphériques provenant des eaux de pluies d'autre part. Cette dernière source n'existe pas pour le phosphore.

Leur rôle en milieu marin réside dans le fait qu'ils forment un substrat chimique primordial pour le phytoplancton. Donc la richesse d'une eau marine en sels nutritifs reflète sa fertilité. Ce sont en outre des traceurs chimiques non conservatifs (gouvernés par les facteurs physiques, chimiques et biologiques) constituant un outil capital pour la caractérisation et l'identification des masses d'eau et la compréhension de certains phénomènes océaniques : circulation des eaux, production primaire marine, cycles biogéochimiques de certains éléments chimiques et autres, notamment, en Méditerranée (**Bethoux et al, 1998 in Inal et Bareche; 2008**).

#### 4.1. L'azote :

L'azote est présent sous de nombreuses formes d'eaux minérales ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) et organiques (degrés d'oxydation variables). Les apports depuis des sources externes au sol sans principalement sous forme de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dans les engrais (et éventuellement les pluies) et sous forme d'azote organique dans les amendements organiques (**Atteia, 2005**).

##### 4.1.1. L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) :

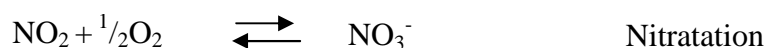
L'azote ammoniacal provient des excréments animales et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés. Il est utilisé par le phytoplancton comme source et oxydé par les bactéries nitrifiantes. Dans les eaux marines, l'azote ammoniacal se trouve à des concentrations assez faibles. En effet, l' $\text{NH}_4^+$  est une forme transitoire qui s'oxyde en milieu oxygéné en nitrite puis en nitrate. Lorsqu'on se rapproche des émissaires urbains, les concentrations peuvent atteindre plusieurs centaines de micromoles par litre. L'ammonium devient dans ces conditions un bon traceur de pollution urbaine (**Aminot, 1983**).

##### 4.1.2. Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) :

Dans le cycle de l'azote, les nitrites, au même titre que l'ammonium, sont considérée comme étant des ions en état transitoire, ce qui explique les faibles concentrations rencontrées en milieu marin qui sont de l'ordre de zéro à quelque micromole par litres d'azote nitreux (**Aminot, 1983**).

Ces concentrations connaissent des variations saisonnières, en hiver, elles varient entre 0.5 et 1  $\mu\text{mol/l}$  puis suite au développement du phytoplancton, chutent en été et peuvent atteindre des valeurs très faibles, moins de 0.01  $\mu\text{mol/l}$  (**Aminot, 1983**).

Les nitrites proviennent de l'excrétion directe ou l'oxydation des composées azotées excrétées suivant les réactions ci-dessous :



#### 4.1.3. Les nitrates ( $\text{NO}_3$ ):

Les ions nitrates sont les plus stables en solution aqueuse. Dans le cycle de l'azote ils sont considérés comme la forme principale. Les nitrates proviennent de l'oxydation des nitrites sous l'action des bactéries du type nitrobacter.

L'intérêt de nitrate réside dans leur rôle d'indicateur de pollution et surtout leur rôle de fertilisant, puisque c'est essentiellement sous cette forme que les plantes assimilent l'azote. La concentration des nitrates dans l'océan varie d'une valeur faible ou nulle en surface à une teneur de 30 à 40  $\mu\text{mol/l}$  dans les eaux profondes océaniques.

#### 4.2. Les phosphates :

Le phosphore est un élément nutritif qui se trouve généralement en mer sous forme organique et inorganique, dissous et particulaire. Les orthophosphates sont la forme la plus abondante  $\text{PO}_4^{3-}$  (10%) et  $\text{HPO}_4^-$  (90%) et (1%) de  $\text{H}_2\text{PO}_4$  (**Aminot, 1983**). les teneurs en orthophosphates sont normalement assez faibles en surface (0 à 1 $\mu\text{mol/l}$ ), elles augmentent avec la profondeur. dans les estuaires, concentration des phosphates sont très élevés et peuvent atteindre plusieurs dizaines de  $\mu\text{moles}$  par litre (**Aminot, 1983**).

#### 4.3. Le silicium :

Sous forme dissoute, la silice est un nutriment important utilisé par les organismes aquatiques d'eau douce ou marine : les diatomées et les silicoflagellés utilisent la silice pour constituer leur squelette siliceux (**Tréguer et al, 1995**).

les sels de silicium dissous dans l'eau de mer se présentent sous forme de sels de l'acide orthosilicique  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , qui ne serait que très faiblement ionisé  $\text{OSi}(\text{OH})_3^-$  dans la proportion de 2% pour un pH moyen de 8,2 (**Jacques et Tréguer 1986**).

Le silicium n'est pas un composant de la matière vivante proprement dite, mais sous forme d'opale ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), il est le constituant essentiel des squelettes et testes siliciques.



## 6. Les métaux lourds :

Terme qui désignant l'ensemble des métaux toxiques de forte masse atomique (**Ramade, 2000**). Concrètement, un métal lourd a une densité supérieure à 5. Les toxicologues adjoignent à ces métaux lourds une famille chimique particulière et tout autant toxique, celle des métalloïdes : des espèces dont les propriétés les rapprochent à la fois des métaux et des non-métaux, tels que l'arsenic, le sélénium et l'antimoine, mais aussi le chlore, le brome et le fluor (**Denhez ; 2007**).

### 6.1. Origine :

Tous ces éléments sont d'origine naturelle ; aucun n'a été fabriqué par l'homme. Dans la roche, on les trouve essentiellement sous forme d'oxyde de sulfures ou de carbonates. Sous l'effet de l'érosion et à cause de éruptions volcaniques, qui libèrent chaque année des dizaines de milliers de tonnes de métaux lourds (environ 1000 T de cadmium, 20 000 de cuivre, 4000 de plomb et 1000 de mercure), de tels sels quittent leurs roches mère et sont transportés par l'eau vers les sols et, surtout, les sédiments des lacs et des rivières. Il existe ainsi une contamination parfaitement naturelle de l'environnement (**Denhez ; 2007**).

Depuis le néolithique toutefois, l'homme libère des quantités de métaux lourds infiniment supérieure à celles émises par les processus naturels, en favorisant leurs dispersion (source anthropique) par leur multiple utilisation, depuis les additifs de plomb dans les carburants jusqu'aux sels d'argent de l'industrie photographique, au nickel ou au cadmium des batteries d'accumulateurs, au zinc des gouttières ou au chrome des aciers inoxydables, au cuivre de l'industrie électrique ou à l'arsenic des produits phytosanitaires. Les sources de contamination le sont par conséquent aussi. Durant toutes les phases d'élaboration, d'utilisation et/ou de recyclage de ces produits, des métaux sont rejetés dans l'environnement, soit directement dans les eaux continentales ou marines, soit dans l'atmosphère transportés par les vents, associés aux aérosols avant de se déposer par voie sèche ou humide à la surface de la terre ou de l'océan. L'écosystème terrestre ne pouvant pas recycler rapidement de tels volumes, il s'accumule un surplus de métaux lourds : la pollution apparaît.

On distingue deux types de métaux :

### 6.2. Métaux non essentiels (toxiques) :

Ce sont des métaux toxiques, n'ont aucun rôle biologique, comme le plomb, le cadmium, l'arsenic et le mercure.

#### 6.2.1. Le plomb (Pb):

Le plomb existe sous trois formes essentielles: le plomb dissous, le plomb colloïdal et le plomb particulaire.

- Sous forme dissoute, les espèces dominantes dans l'eau de mer sont  $\text{PbCO}_3$ ,  $\text{PbCl}_2$  ou  $\text{PbCl}^+$ .

Cette répartition ne prend pas en compte la matière organique dissoute et le fait que le plomb,

dans l'eau de mer, se trouverait essentiellement sous forme de complexes organiques labiles. De même que pour le mercure,

Le plomb peut-être méthylé par les bactéries dans les sédiments, mais ce phénomène revêt une moindre importance.

- Aussi, le plomb présente une forte affinité pour la matière particulaire. A peine 10 % du plomb se trouve sous cette forme dans l'océan. L'adsorption du plomb sur la matière particulaire est fonction du pH et augmente avec ce dernier (**Stellio, 2005**).

**Différentes origines : (Gaujous, 1995 ; Auber, 1982)**

- Fréquent dans les roches (galène...);
- Industrie chimique (colorants, explosifs);
- Raffineries, traitement de surface, mines;
- Corrosion des canalisations;
- Eaux de ruissellement (essence);

### 6.2.2. Le cadmium (Cd) :

Le cadmium a une grande résistance à la corrosion ; son point de fusion est bas ; il a une bonne conductivité de l'électricité ; ses produits dérivés ont une bonne résistance aux fortes températures ; présente des caractéristiques chimiques proches de celles du calcium, en particulier le rayon ionique, facilitant ainsi sa pénétration dans les organismes (**Borchardt, 1985 in Casas, 2005**). Le cadmium est un élément rencontré en milieu aquatique sous diverses formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et chimiques (minérale ou organique). Un ensemble de variables physico-chimiques du milieu (salinité, pH, potentiel redox, caractéristiques sédimentologique, nature géochimique des particules, concentration en chlorures) gouvernent les transformations du cadmium dans l'environnement (**Gonzalez et al, 1999; Chiffolleau et al, 2001 in Casas, 2005**).

Contrairement à de nombreux métaux, le cadmium n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants.

**Différentes origines : (Gaujous, 1995 ; Aubert, 1982)**

- Naturelle : traces ;
- Industrielle : métallurgie du zinc, du plomb, de traitement du surface, industrie chimique (matières plastiques) ;
- Batteries ;
- Agricole : engrais chimiques.

### 6.2.3. L'arsenic (As) :

D'une part, des traces de ce métal proviennent dans les combustibles minéraux solides, ainsi que dans le fioul lourd et d'autre part, dans certain matière premières utilisées notamment dans des procédés comme la production de verre, de métaux non ferreux ou la métallurgie du fer (**Boulabraouat; Akacha, 2007**).

#### 6.2.4. Le mercure (Hg) :

Le mercure est un métal dont la dynamique dans l'environnement est conditionnée par trois propriétés fondamentales: physique, par sa volatilité à température ambiante ; chimique, par la stabilité de ses liaisons avec le carbone et le soufre ; et biologique par sa très forte bioconcentration et sa toxicité.

Son cycle biogéochimique fait intervenir des conversions d'espèces chimiques (Tableau) qui se traduisent par des changements de phase (liquide, solide, gaz) et, en conséquence des comportements très différents dans l'environnement. Les composés du mercure se divisent en deux classes chimiques principales: le mercure inorganique (incluant le mercure élémentaire) et le mercure organique (incluant le méthylmercure). (Gaujous, 1995 ; Aubert, 1982).

Le mercure est rare dans le milieu naturel: il se trouve cependant dans les roches, parfois à des concentrations justifiant une exploitation. Le mercure est extrait du cinabre (sulfure de mercure), par des techniques minières classiques. Le mercure, libéré sous forme de vapeur, est recueilli par condensation.

#### Différentes origines : (Gaujous, 1995 ; Aubert, 1982)

- Teneur naturelle 0,1 µg/l ;
- Mercure minéral : thermomètres, utilisé comme fongicide dans les peintures, les matières plastiques, en papeterie ;
- Mercure organique : industrie pharmaceutique, industrie chimique, fongicides.

#### 6.3. Les conséquences de leurs degrés de toxicité sur l'homme et l'écosystème : (Gaujous, 1995 ; Bliefert et Parrand, 1997 ; Aubert et al, 1982) :

**Tableau 1.1** : effets des métaux lourds toxiques sur l'homme et les écosystèmes

Métaux toxiques	Effets sur l'homme	Effets écologiques
<b>Le plomb (Pb)</b>	Saturnisme : atteinte neurophysiologique (fatigue, irritabilité, retard intellectuel chez les enfants), trouble rénaux, cardiovasculaires, hématopoïétiques	Toxicité aigue sur les organismes à partir de 0,1 µg/l, se concentre le plus le long de la chaîne alimentaire.
<b>Le cadmium (Cd)</b>	Très toxique. Poison cumulatif. Atteintes rénales (néphrite), trouble digestifs, hypertension artérielle. Altération osseuse (déformation de squelette).	Toxicité aigue sur les organismes supérieures et des algues à partir de 0,1 µg/l, les bactéries sont y moins sensibles. Se concentre dans la chaîne trophique.

<b>L'arsenic (As)</b>	Emprisonnements aigus des lésions de la moelle osseuse, du sang, de la fois, de l'appareil respiratoire et du système nerveux central.	/
<b>Le mercure (Hg)</b>	Intoxication chronique (hydrargyrisme) : atteinte rénale, trouble rénal, trouble neurologiques caractéristiques, gingivites et stomatites. Les organomercurels ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) passent la barrière placentaire : effet tératogènes et foetotoxiques.	Toxique par inhalation, toxique pour les organismes aquatiques. Il est plus toxique lorsqu'il est lié à un groupement organique

#### 6.4. Éléments essentiels (oligo-éléments) :

Ce sont des métaux traces importants pour la vie, et qui sont toujours présents dans l'eau des quantités très faibles. Leur présence est généralement indispensable au développement des êtres vivants, et leur absence peut entraîner des carences. Ils sont toxiques et mortels lorsque leur concentration est trop élevée.

##### 6.4.1. Le chrome (Cr) :

La majeure partie du chrome parvenant à l'océan, provient des fleuves, essentiellement particulaire et insoluble (**CHESTER et Murphy, 1990**). Les teneurs en chrome dans les sédiments marins, sont de l'ordre de 60 à 100  $\mu\text{g/g}$ , sont similaires à celle de la croûte terrestre, ce qui reflète le caractère litho-génique de cet élément. Le chrome est peu concentré par les organismes vivants, les teneurs sont en générale de l'ordre de  $\mu\text{g/g}$  dans le plancton comme chez les invertébrés et les poissons (**Chiffouleau, 1994**).

##### 6.4.2. Le zinc (Zn) :

Il est physiologiquement indispensable, activateur d'enzyme il est insoluble dans l'eau et les solvants usuels.

Dans les sédiments marins, le zinc peut exister sous différentes formes, selon (**Tessier et Al, 1980**) :

- associé aux oxydes de fer et de manganèse (39-40%) ;
- associé aux carbonates (21-24%) ;
- associé à la matière organique.

Le phénomène d'adsorption et de précipitation du zinc est favorisé lors d'une forte présence d'argile et d'oxyde de fer et de manganèse. Dans les couches sédimentaires profondes, caractérisées par des conditions anaérobies, il y a formation de sulfure de zinc ( $\text{ZnS}$ ).

Cet élément montre des affinités à la fois pour les argiles et la matière organique (Maouche, 1987).

#### **6.4.3. Le cuivre(Cu) :**

C'est un oligo-élément nécessaire à la vie mais qui peut présenter des effets toxiques à partir des seuils de concentrations. Dans le milieu aquatique, le cuivre existe sous forme particulaire, colloïdale et dissoute. Il a tendance à former des complexes avec des bases fortes telles que carbonates, nitrates, sulfates, chlorures. En milieu marin, il se trouve peut-être lié aux acides humiques (10%), car rapidement déplacé de ses complexes par le calcium et le magnésium (Mantoura et al, 1978 in Alzieu, 1999).

#### **6.4.4. Le manganèse (Mn) :**

Le manganèse présente des changements de forme (soluble, particulaire et colloïdale), il est plus concentré dans la fraction colloïdale, ce qui implique qu'il a une sédimentation plus lente (Dojlido et Best, 1993). Dans les couches oxygénées du sédiment, le manganèse se trouve essentiellement sous forme de particule d'oxyde ( $MnO_2$ ). Dans les couches anoxiques, la  $MnO_2$  devient instable et se réduit en  $Mn^{+2}$  (Dojlido et Best, 1993).

#### **6.4.5. Le fer (Fe) :**

Le fer (Fe) est un oligo-élément essentiel aux organismes marins photosynthétiques et, il constitue le nutriment qui limite la productivité biologique primaire (Martin, 1990 in Djamel taieb ; 2009).

#### **6.5. Toxicité des éléments essentiels : (Gaujous, 1995 ; Bliefert et Parrand, 1997 ; Aubert et al, 1982) :**

Les oligo-éléments présentent aussi des effets néfastes sur les organismes vivants lorsque leurs concentrations sont très élevées.

**Tableau 1.2 :** Le tableau suivant présente les effets des oligo-éléments sur l'homme et l'environnement marin.

Elément essentiels	Effets sur l'homme	Effets sur l'environnement
<b>Le chrome (Cr)</b>	<u>Effets chroniques :</u> Troubles respiratoires et gastrointestinaux, Lésions de rein <u>Effets aigus :</u> Irritations des muqueuses respiratoires	Une diminution de la fonction de reproduction.
<b>Le zinc (Zn)</b>	<u>Effets aigus:</u> Irritations des muqueuses respiratoires, gastro-intestinales et cutanées, fatigue	Augmenter l'acidité de l'eau.  La décomposition de la matière organique peut être sérieusement ralentie.  Forte tendance de s'accumuler dans le sol (chance de survie des plantes limitée).
<b>Le cuivre (Cu)</b>	<u>Effets chroniques :</u> irritation des voies aériennes supérieures et des troubles gastro-intestinaux. Des réactions allergiques chez certains individus. <u>Effets aigus :</u> Lésions des muqueuses respiratoires douleurs épigastriques, céphalées, nausées, vomissements et diarrhée, tachycardie, difficultés respiratoires, anémie, hémorragie gastro-intestinale.	Ralentissement de la décomposition de la matière organique et l'activité des micro-organismes.  Faible chance de survie des plantes.
<b>Le manganèse (Mn)</b>	<u>Effets chroniques :</u> une réponse inflammatoire au niveau des poumons, avec de la toux, des bronchites, des pneumonites, et parfois des pneumonies. des troubles neurologiques (manganisme). <u>Effets aigus :</u> une irritation intense avec alvéolite caustique. Les fumées d'oxyde de manganèse peuvent entraîner l'apparition	Perturbation de l'obtention d'oxygène et d'hydrogène à partir de l'eau

	de frissons, de fièvre, de sudation, de nausées et de toux.	
<b>Le fer (Fe)</b>	<u>Effets chroniques</u> : marbrure des poumons, sidérose considérée comme une pneumoconiose bénigne. <u>Effets aigus</u> : Troubles digestifs, lésions de rein, irritations (peau, muqueuse).	Le Fer (III)-O-arsénite, pentahydrate peut être dangereux pour l'environnement. Une attention particulière devrait être portée à l'eau parce qu'il persiste dans l'environnement.

### 6.6. Le cycle biogéochimique des métaux lourds :

Les métaux lourds sont transportés vers la mer par plusieurs voies (atmosphère, rivière, différents rejets urbains, industriels...). (Figure 1.).

Ils seront absorbés ou fixés sur les organismes marins. Dans la couche euphotique, les métaux essentiels comme le Fe, Cu, Zn seront consommés par le phytoplancton sous forme minérale, lequel sera brouté à son tour par le zooplancton.

Dans la colonne d'eau la régénération des métaux sous forme dissoute se fera par reminéralisation de la matière organique. Une partie peut sédimenter.

Leurs remontées en surface se fait par la dissolution ou désorption et la décomposition des matières organiques.

*Absorption* : la pénétration des métaux dans un organisme marin, soit par bioaccumulation le long de la chaîne trophique, soit par adsorption directe, (**Amiard, 1988**).

*Adsorption* : les particules adsorbent les métaux, comme le phytoplancton et la matière organique. L'adsorption augmente lorsque les températures augmentent, (**Glinka, 1981**).

La disponibilité des métaux dans les eaux marines dépend de l'adsorption et de l'abondance de la matière organique dissoute ou des particules fines, (**Pérez et al, 1976**).

la matière organique est un facteur édaphique qui peut être complexé avec d'autres substances, et elle participe à plusieurs mécanismes physico-chimiques parmi lesquels :

-la capacité de précipiter un certain type de minéraux (oxydes de fer et de manganèse, le zinc et d'autres minéraux), notamment lors de la floculation (**Cauwet, 1985**).

-le rôle dans l'agrégation et le piégeage de ces éléments métalliques dans le sédiment (**Cauwet, 1985 ; Pérez et al.1976**).

*Précipitation* : elle se produit lorsque la concentration d'un métal est plus élevée que la solubilité du composé qui peut être formé entre le métal et un anion dans l'eau de mer. Par la suite le solide formé chute par gravité.

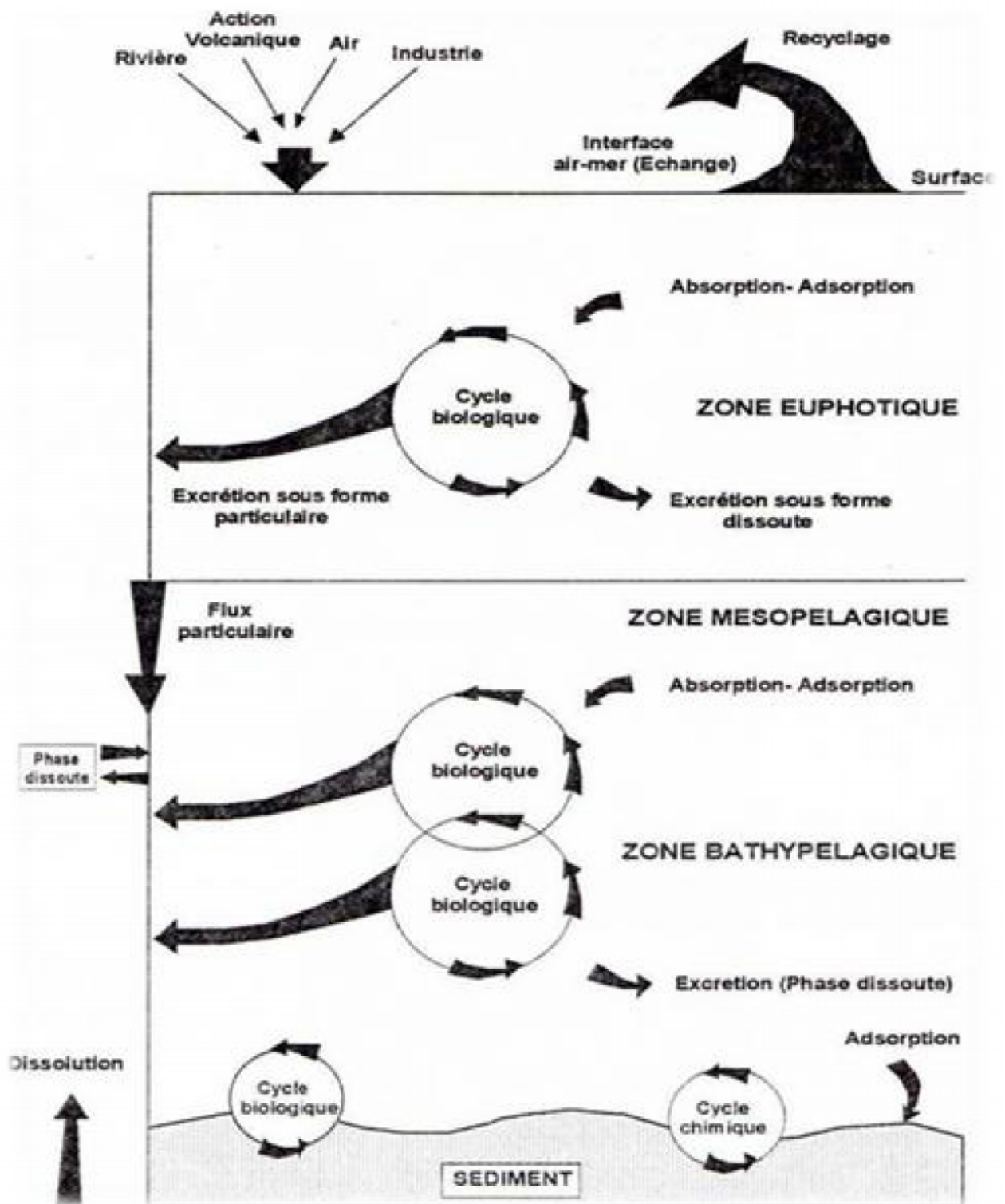
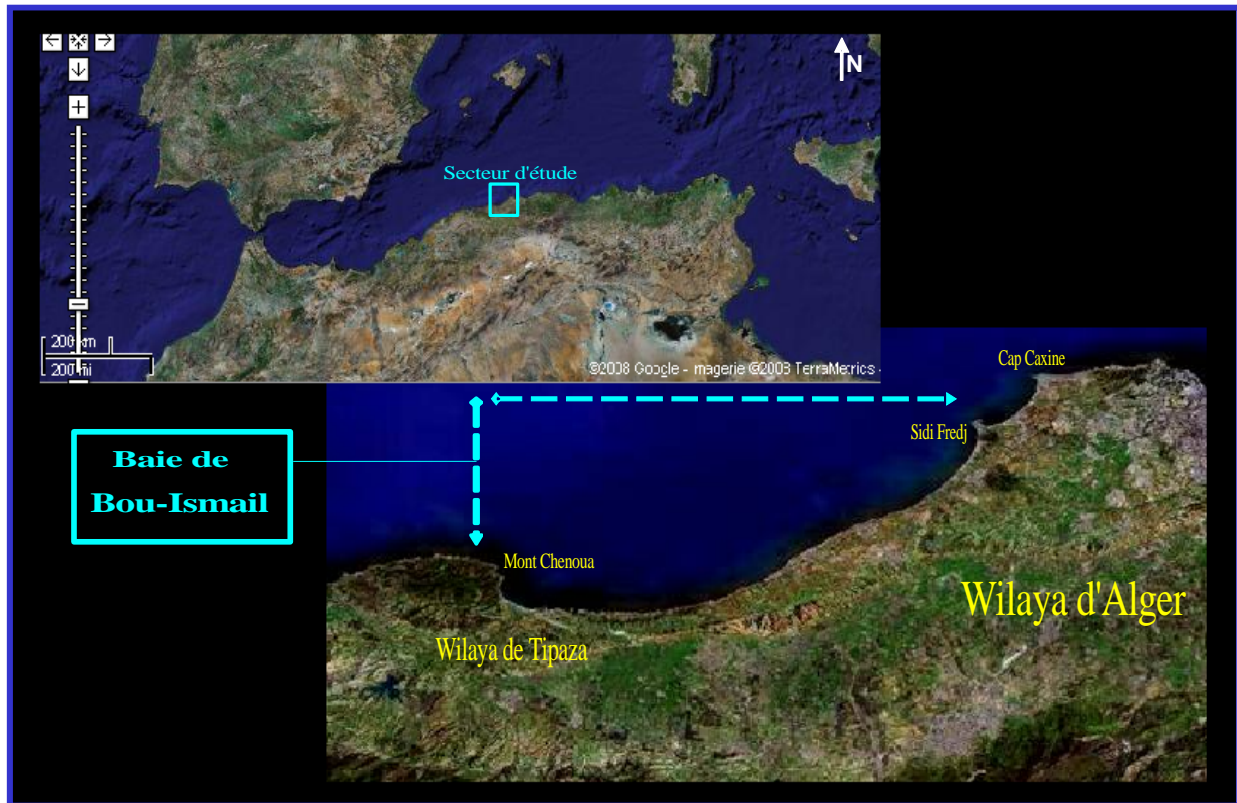


Figure 2. : Cycle biogéochimique des métaux lourds. (P. N. U. E, 1986)

## *Chapitre II*

### *Description de la zone d'étude*

## 1. Situation géographique :



**Figure 2.1 :** Situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl.

La baie de Bou-Ismaïl occupe la partie ouest du littoral Algérois du Ras Acras jusqu'au cap mont Chenoua ; elle est bordée par la mer Méditerranéenne au nord et par la plaine de Mitidja au sud, le massif de la Bouzaréah à l'est et le massif de Chenoua à l'ouest.

Elle s'étend de 2°25' à l'Ouest et à 2° 55' à l'Est. Elle est orientée du Sud-ouest à Nord-est avec une ouverture d'environ 40 km, elle couvre une surface de l'ordre de 342 km<sup>2</sup>.

La baie de Bou Ismaïl peut être divisée en quatre zones géographiques :

- La baie d'El Djamila limitée à l'Est par Ras Acrata et à l'Ouest par la presqu'île de Sidi fredj. Elle est caractérisée par une côte basse sableuse et de nombreuses formations dunaires.
- Le secteur Sidi Fredj-Oued Mazafran, constitué sur environ 12 km de plage de sables fins.
- Une côte rocheuse, faisant suite au secteur ci-dessus, longue de 30 km dont la limite à l'Ouest est Tipaza.
- La baie de Chenoua où se jette l'oued Nador débute à partir de Tipaza ; elle est bordée dans sa partie ouest par le massif de Chenoua. Tout le fon de cette baie est occupé par une plage de sables fins.

## **2. Géomorphologie**

### **2.1. Le massif de la Bouzaréah :**

Il s'étend sur une longueur de 20 km, et une largeur maximale de 6 km. Ce massif culmine à 407 m d'altitude, bordée au Nord et à l'Est par la mer méditerranéenne suivant des pentes assez fortes en s'abaissant progressivement sous le plateau d'Ain Benian.

### **2.2. Le massif de Chenoua :**

Il constitue une structure montagneuse de même orientation que le massif de la Bouzaréah et culmine à 905 m. Les pentes sont très accentuées et le contact avec la mer est souligné par des falaises rocheuses très disséquées par l'érosion marine.

### **2.3. Le Sahel d'Alger :**

C'est un anticlinal qui se prolonge sur une distance moyenne de 100 km d'Est en Ouest. Il regroupe tous les petits reliefs qui s'étendent entre le massif d'Alger au Nord et les rives gauches d'oued El-Harrach au sud et au Sud-est et à droite de l'oued Mazafran au Sud-ouest, on y distingue :

#### **a. La plaine de la Mitidja :**

Elle est allongée suivant un axe général Ouest-sud-ouest et Est-nord-est, limitée au nord par le Sahel d'Alger et au Sud par l'Atlas de Blida. Cette plaine est couverte de dépôts quaternaire continentaux d'argile et de graviers altérés. Elle est parcourue par l'oued El-Harrach et oued El-Hamiz et par quelques uns de leurs affleurement.

#### **b. Le cordon littoral dunaire :**

Il s'agit d'une petite barrière sablo-gréseuse allongée parallèlement au rivage et des développements entre la rive droite d'oued El-Harrach et Brdj-Elbahri, bordant au Nord la petite des zones basses septentrionales de la Mitidja.

## **3. Topographie de la baie :**

On considère généralement que la courbe bathymétrique de 2000 m, limite la marge continentale algérienne et le domaine des plaines abyssales. L'extension de cette marge continentale est variable, mais elle est généralement peu importante dans l'ensemble du près-continent algérien, sa largeur moyenne est de 24 km, 90 km au large de Ghazaouet, moins de 10 km devant Bouzaréah et 55 km au maximum dans la baie de Bou Ismail.

La marge continentale de la baie de Bou Ismail a une déclivité irrégulière, du rivage vers les plaines abyssales, on distingue :

### 3.1. Le plateau continental :

Sa largeur oscille entre 4 km devant Cherchell et 11 km au droit de l'embouchure de l'Oued Masafran.

Selon (DAGORNE ; 1973 in BOUCHENAK A et al ; 1997), ce plateau est caractérisé par une déclivité régulière et faible (environ 1%). La première ligne d'inflexion est à - 120 m de profondeur, elle marque la limite du plateau continental : le rebord du talus continental.

Au-delà de cette ligne, les fonds sont caractérisés par une décroissance régulière, mais avec une pente plus forte.

### 3.2. Le talus continental :

Son début est marqué une deuxième ligne d'inflexion située à 400 m de profondeur et une distance de 35 km du rivage, avec une pente nettement plus forte pouvant atteindre 10°.

A 50 km du rivage, les profondeurs sont de l'ordre de 2500 m, constituant des plaines abyssales (DAGORNE ; 1973 in BOUCHENAK A et al ; 1997).

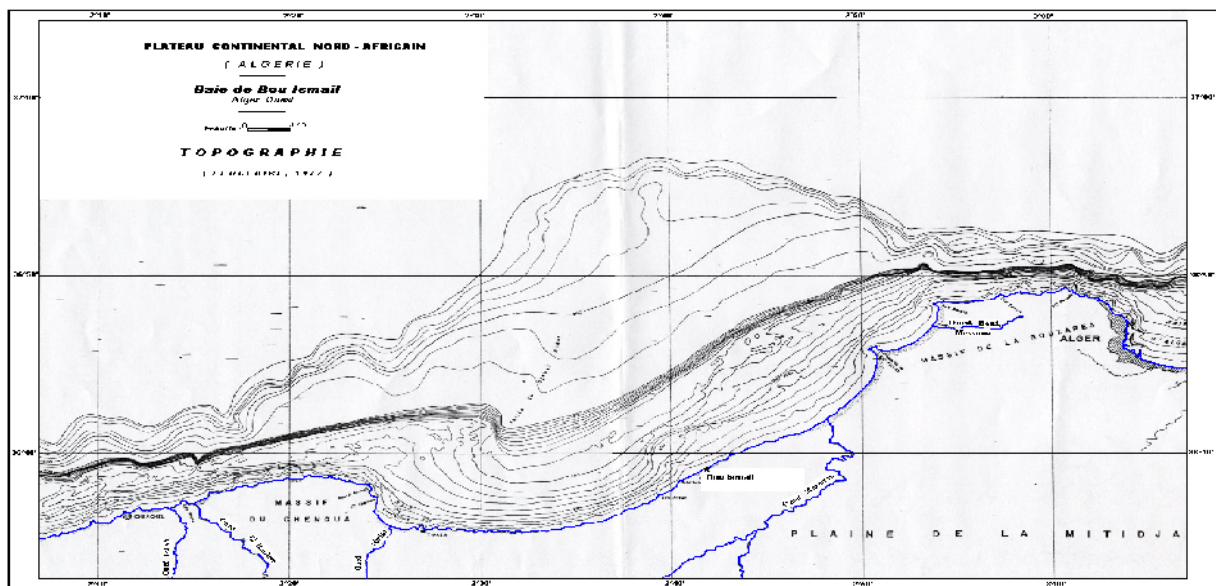


Figure 2.2 : Topographie de la baie de Bou-Ismaïl (Leclaire, 1972).

## 4. Sédimentologie :

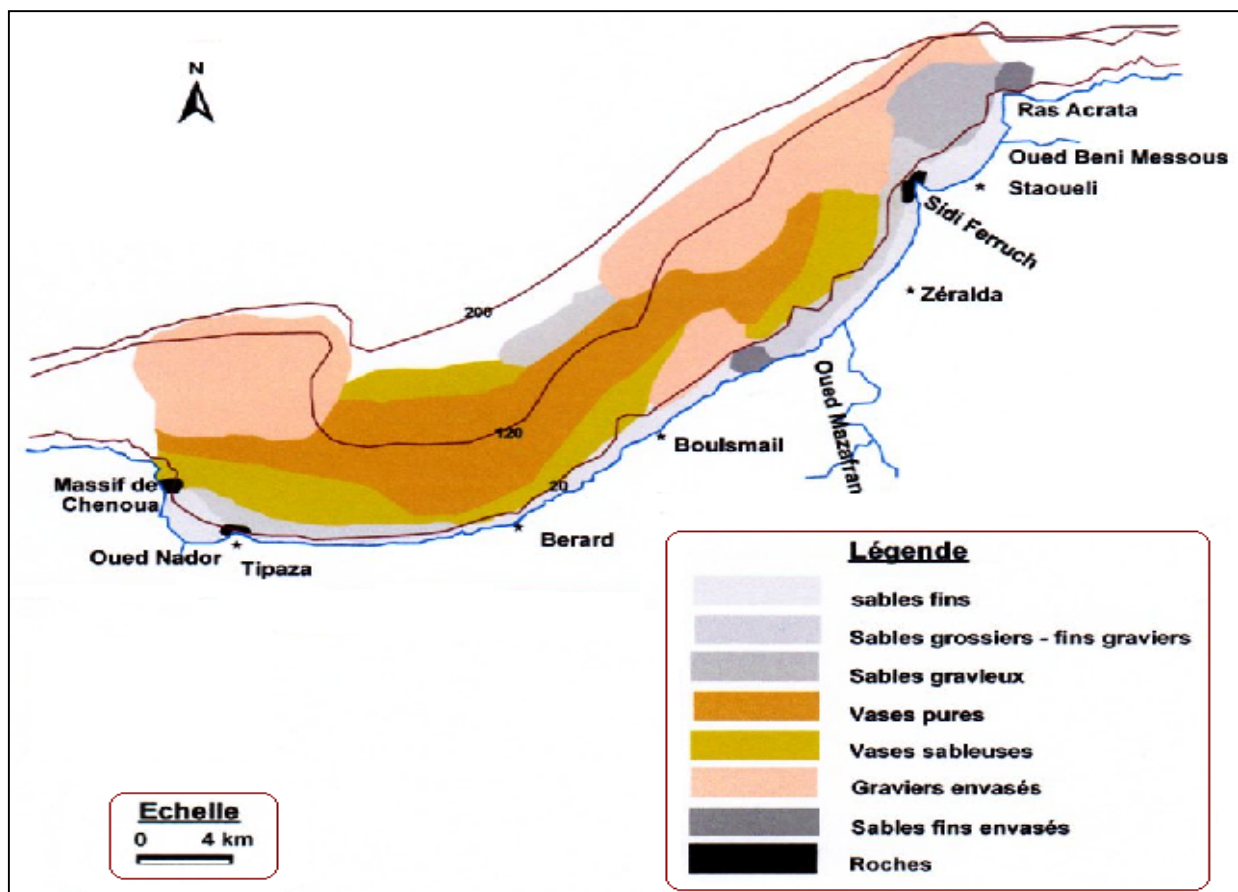
La baie de Bou Ismaïl se caractérise par une distribution classique des sédiments de la côte vers le large : sables fins, sédiment de transition, vases pures, par la présence d'un fond particulier : la gravelle de Castiglione, et également par l'existence importante d'herbier à phanérogames marins. (Grimes.2004)

La répartition de ces faciès sédimentaire se différencie d'un point à un autre dans la baie, ainsi deux régions apparaissent : la région Est ou orientale et la région Ouest ou occidentale. Chaque région présente des caractéristiques sédimentologique propres, fut déjà signalée par Belkessa (1999). Les vases pures sont très développées dans la région Ouest et forment ainsi une importante vasière littorale, tandis que les graviers envasés sont dans la région Est. Le faciès des

sables grossiers et des fins graviers, le faciès des sables graveleux n'est présent que dans la région orientale ; les sables graveleux se limitent au secteur oriental. (LEM, 1998)

Vers l'embouchure de oued Mazafran et jusqu'à une profondeur de 25m, les sables grossiers caractérisent la baie. Au-delà de ce dépôt fluviomarín et jusqu'à une profondeur de 10 à 15m, les sables moyens réapparaissent qu'au niveau de Khemisti sur une zone étroite continue jusqu'à Tipaza. (Al Sid Chikh et al ; 2009)

Une bande de sable fin apparaît au large de Sidi-Fredj et Palm Beach à moins de 2 m de profondeur et tapisse le fond de 15m à 25m tout le long de la baie. Parallèlement à ces faciès, les sables fins vaseux longent la côte entre 25 à 40m de profondeur. Au large de Sidi-Fredj (2 à 3Km), un dépôt de sable moyen et gravier. (LEM, 1998).



**Figure 2.3 :** Carte sédimentologique de la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 1998)

### 5. Réseau hydrographique :

Dans la baie de Bou-Ismaïl, les deux oueds principaux issus de l'Atlas (Mazafran et Nador) traversent la plaine de Mitidja et franchissent l'obstacle du Sahel par des cluses. Par contre les autres petits cours d'eau qui naissent dans le flanc Nord du Sahel se déversent directement dans la mer avec des débits faibles, sauf en périodes de fortes pluies. Ces oueds sont en nombre de trois, d'Est en Ouest :

### 5.1. Oued de Beni Messous :

Il prend naissance dans le massif de la Bouzaréah, reçoit un grand nombre d'affluents et se jette dans la baie d'El Djamilia, cet oued traverse les communes de Beni Messous et Chéraga d'une longueur de 11,5 km, ses eaux sont essentiellement des eaux usées domestiques et industrielles, avec un débit faible de l'ordre de  $0,245 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 5.2. Oued de Mazafran :

Cet oued tire son nom de la couleur de ses eaux : El Ma-Essafra (eau jaune). Il correspond au cours d'eau le plus important de la région. Il résulte de la confluence de trois oueds importants : l'oued Djer, l'oued de Bouroumi et l'oued Chiffa. Cet oued débouche entre Douaouda et Zéralda avec un débit massique estimé entre  $1400$  et  $1800 \text{ t/km}^2$  tandis que le débit volumique à  $43,8$  millions  $\text{m}^3/\text{an}$  (Grovel, 1961). Ces apports dépendent étroitement du régime hydrologique de l'oued : long étiage (six mois), crues hivernale et printanière soudaines, fortes et de courte durée.

### 5.3. Oued de Nador :

Constitue la principale source d'apports solide et liquide dans la baie de Chenoua. Il prend naissance à la jonction des oueds Bou Yersen, Bou Haroun et oued Meurad, il débouche entre Djbel Chenoua et Tipaza. Le débit liquide de cet oued est de  $28$  millions  $\text{m}^3/\text{an}$ .

## 6. Facteurs hydrodynamiques

### 6.1. Les courants :

La baie de Bou-Ismaïl est soumise aux effets des courants atlantiques, qui comme l'indique provient de l'océan de l'Atlantique par le détroit de Gibraltar ; celui-ci se déplace vers l'Est sous l'influence des forces de Coriolis et du régime des vents dominants, ayant une largeur de  $50 \text{ km}$ , une hauteur de  $150 \text{ m}$  et une vitesse de  $50 \text{ cm/s}$  (Al Sid Chikh, 2008).

### 6.2. Houles

#### a. Les houles hivernales :

Elles viennent de l'Ouest (vent dominant), avec des amplitudes de  $2$  à  $2,5 \text{ m}$ . les amplitudes maximales sont de l'ordre de  $4$  à  $6 \text{ m}$ . ces houles arrivent perpendiculairement à la côte et engendre des courants de retour distribuant ainsi des sédiments côtiers vers le large (Al Sid Chikh, 2008).

#### b. Les houles estivales :

L'agitation est moins importante et les houles les plus fréquentes sont, celle de secteur Est à Nord-est (vent dominant), avec des amplitudes généralement plus faibles de  $0,5$  à  $1 \text{ m}$  (BRAIK1987) et seulement  $6\%$  ont une amplitude supérieure à  $1 \text{ m}$ . L'orientation de ces houles est tangentielle par rapport à la côte (Al Sid Chikh, 2008).

### 7. Sources de pollution :

La baie de Bou Ismail est considérée comme une zone touristique soumise aux rejets d'eaux usées domestiques. L'activité industrielle n'est pas très développée et se limite à de petites industries : textiles, cuirs et peaux, papeteries, plastiques, caoutchouc et verres (Sellali ; 1996). En plus de ces activités industrielles, les Oueds se déversant dans la baie de Bou Ismail peuvent être considérés comme source de pollution.

La fertilisation des sols est assurée par des produits phytopharmaceutiques tels que les organochlorés, et les engrais à base de nitrate, de phosphate et de potassium. Par le biais du ruissellement, tous ces produits contaminent les Oueds et rejoignent les eaux des agglomérations côtières sont déversées directement en mer par un réseau d'égouts ou d'émissaires.

Les eaux usées des villes de l'arrière-pays sont drainées vers la mer par l'intermédiaire des Oueds traversant la région. La pollution métallique dans cette région n'est pas inquiétante (Boudjellal & al ; 1993, in Grimes 2004). Les principales sources de pollution par les métaux lourds et les hydrocarbures pétroliers sont les apports continentaux déversés directement dans la baie, ou indirectement par le biais des Oueds (Nador, Mazafran et Beni- Messous) (Boudjellal & al ; 1995 ; Sellali & al ; 1995, in Grimes 2004). Ces Oueds constituent des collecteurs d'eaux usées issues des différentes activités (agricole, industrielle et urbaine) ; des concentrations importantes en cadmium (0,91-10,02 µg/g) et plomb (36,26-95,40 µg/g) ont été détectées dans la matrice sédimentaire (Boudjellal & al ; 1995 b).

Cependant, vu le développement des activités agricoles, de l'industrie (ateliers et entreprises privés) et l'urbanisation intense que connaît cette baie, une pollution à long terme est à craindre (Grimes ; 2004).

**Tableau 2.1 : Les rejets d'eaux usées dans la wilaya de Tipaza (étude d'aménagement du littoral. Wilaya Tipaza, synthèse-bilan diagnostic 2006)**

Communes	Nombre de rejets	Débit m <sup>3</sup> /j	Lieu de rejet
Bou-Ismaïl	9	4000	Mer
Bou-Haroun	4	320	
Khemisti	6	400	Oued Khemisti et Mer
Fouka	5	3600	Mer
Douaouda	5	1600	Oued Mazafran
Tipaza	8	7140	Mer
Cherchell	8	3600	
Sidi Ghiles	2	480	
H.Ennous	2	160	
Meselmoun	3	1100	
Gouraya	3	900	
Larhat	3	312	
Damous	3	960	
Ain Tagourait	6	320	
Total	67	24892	

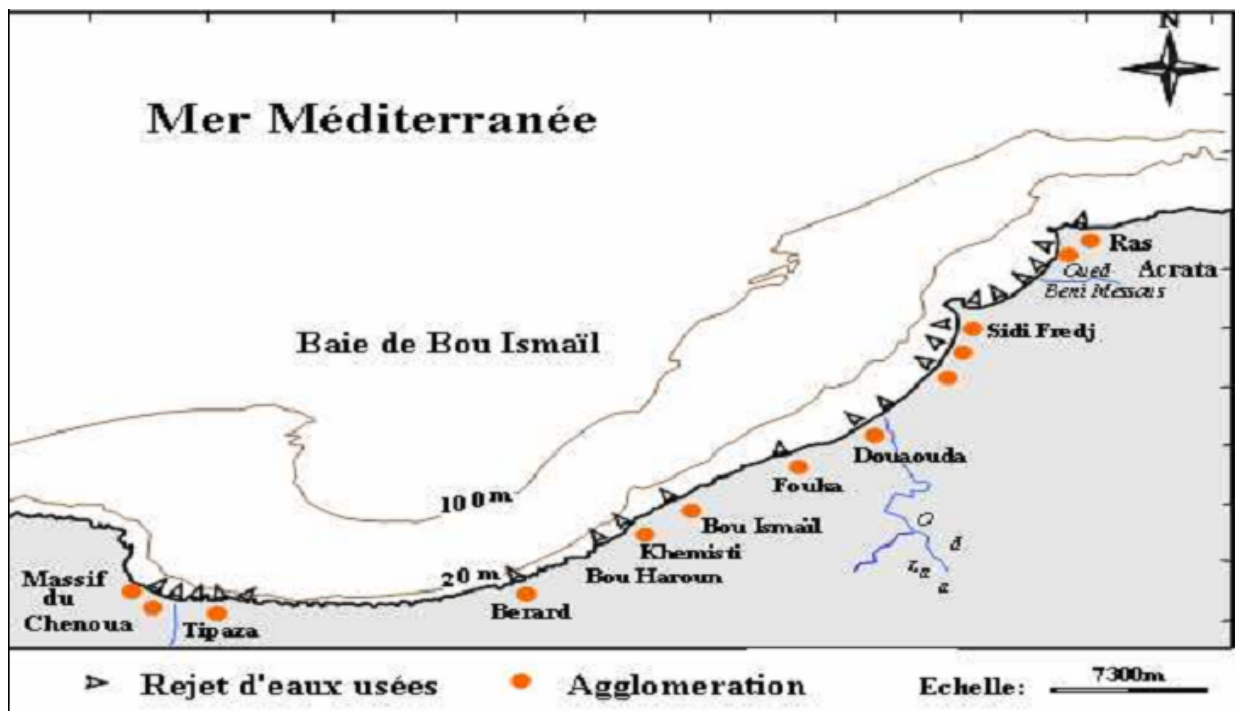


Figure 2.4 : Les principaux rejets dans la baie de Bou-Ismaïl (Grimes ; 2004).

***Chapitre III***  
***Matériels et méthodes***

### 1. Compagnies en mer :

Deux sorties ont été faites pour les prélèvements d'eau de mer et des sédiments. La première sortie a été effectuée le 10 Mai 2010, à bord d'une embarcation réservée aux travaux côtier, le navire « Baba Arroudj » ; ou niveau de la presque île de Sidi fredj jusqu'à les alentours de Oued Mazafran .Dans des conditions de mer calme au début de journée et agitée à partir de l'après midi, un ciel clair et un vent Nord Ouest.

La deuxième sortie a eu lieu le 20 Mai 2010 désignée à des prélèvements tout au long du trait de côte de la baie de Bou-Ismaïl. L'état de la mer était très agité.

### 2. Choix et la localisation des stations :

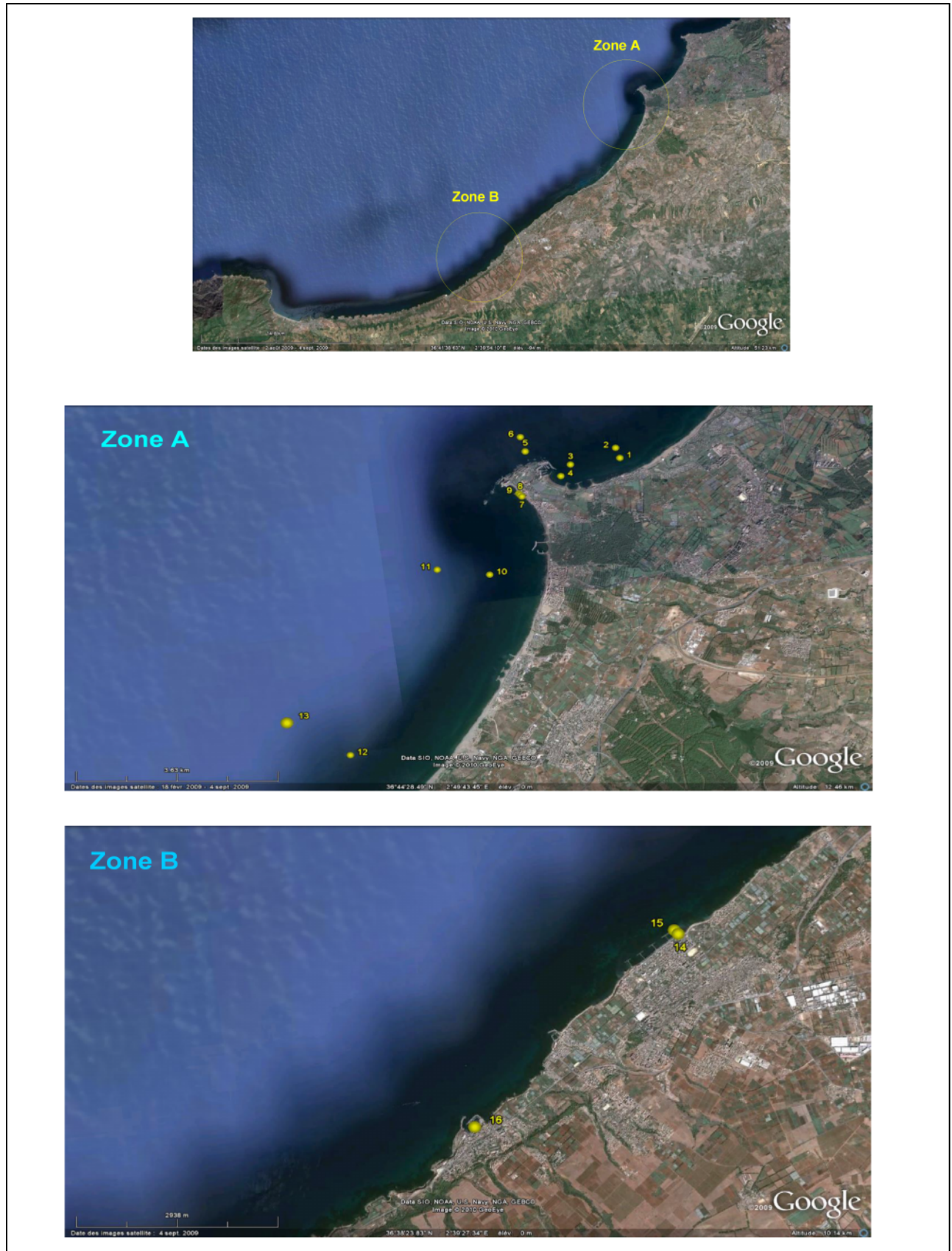
Dix stations ont été échantillonnées lors de la première sortie des eaux de surface et de sédiments superficielles, et six autres stations dans la deuxième sortie dont les points de prélèvements sont accessibles et identifiable sur le terrain.

**Tableau 3.1** : Positionnement des stations de prélèvement des deux sorties :

Stations	Latitude	Longitude	Profondeur(m)	Emplacement de la station	Nature du sédiment
<b>La première sortie de 10-05-2010</b>					
ST 01	36° 45' 52"	2° 51' 46"	3,9	Sheraton la cote	Rocheux
ST 02	36° 45' 59"	2° 51' 44"	6	Sheraton large	Sable fin homogène
ST 03	36° 45' 51"	2° 51' 10"	3,5	Port SF Large	Rocheux
ST 04	36° 45' 44"	2° 51' 02"	5,6	Port SF cote	Sable très fin homogène
ST 05	36° 46' 03"	2° 50' 39"	10,5	Jeté port cote	Rocheux
ST 06	36° 46' 13"	2° 50' 37"	13,4	Jeté port large	Rocheux
ST 10	36° 44' 43"	2° 50' 01"	5	Palm Beach cote	Sable fin homogène
ST 11	36° 44' 50"	2° 50' 24"	7,5	Palm Beach large	sable fin homogène
ST 12	36° 43' 52"	2° 49' 03"	3,6	Mazafran cote	Sable moyenne homogène
ST 13	36° 43' 18"	2° 49' 21"	6,7	Mazafran large	Sable fin homogène
<b>La deuxième sortie de 20-05-2010</b>					
ST 07	36° 45' 30"	2° 50' 32"		Thalasso Thérapie	Sable fin homogène + débris de coquilles
ST 08	36° 45' 34"	2° 50' 30"		Thalasso Thérapie	Sable fin homogène + débris de coquilles
ST 09	36° 45' 35"	2° 50' 29"		Thalasso Thérapie	Sable fin homogène
ST 14	36° 39' 01"	2° 41' 37"	/	Bou-Ismaïl (CRDPA)	/
ST 15	36° 39' 04"	2° 41' 35"	/	Bou-Ismaïl (CRDPA)	/
ST 16	36° 37' 35"	2° 39' 24"	/	Port de Bouharoun	/

Notre secteur d'étude est subdivisé en deux zones d'étude :

- Zone A : presque île de Sidi-Fredj
- Zone B : Bou-Ismaïl et port Bouharoun.



**Figure 3.1 :** Localisations des stations de prélèvement dans la baie de Bou-Ismaïl

### 3. Appareillage et technique de prélèvement

#### 3.1. Nettoyage du matériel avant la sortie :

Pour éviter tout risque de contamination, on a nettoyé le matériel selon les étapes suivantes :

- Lavage avec de l'eau savonneuse.
- Rinçage avec de l'eau du robinet.
- Rinçage avec l'eau acidulée à 10%.
- Enfin, le rinçage avec l'eau bi distillée 2 à 3 fois.

#### 3.2. Travaux effectués in situ

##### 3.2.1. Prélèvement d'eau de mer :

Des échantillons d'eau de mer de la surface ont été prélevés à chaque station. Le positionnement exact de chaque point de prélèvement est relevé par un système G.P.S de type FURUNO GPS/NAAS NAVIGATOR. Les prélèvements ont été effectués directement avec des flacons, aussitôt conservés dans une glacière destinés à l'analyse des paramètres suivants :

- Températures, salinité, PH, conductivité, oxygène dissous et la saturation en oxygène.
- Matière en suspension (MES).
- La chlorophylle.
- Le carbone organique total (COT).

##### 3.2.2. Prélèvement du sédiment :

Les prélèvements du sédiment sont effectués à l'aide d'une benne inoxydable « VAN VEEN », qui permet de prélever le sédiment sur une surface de (1/10 m<sup>2</sup>). Les échantillons sont recueillis directement dans des sachets en plastiques doublés, bien fermés et étiquetés et mis ensuite en glacière (basse température) jusqu'au retour au laboratoire.

##### 3.2.3. Mesure des paramètres physicochimiques :

Au moment de prélèvement d'eau destinée à l'analyse physicochimique, nous avons procédé à la mesure d'une série de paramètres physicochimiques.

#### A. Mesure de l'oxygène dissous et de la température :

L'oxygène dissous peut être mesuré par deux méthodes, au laboratoire par la méthode de winkler ou in situ à l'aide d'un oxymètre de type « WTW OXI 92 » qui permet une précision de (+/- 0,5 mg/l) pour la salinité et (+/- 0,1°C) pour la température, muni d'une sonde électrolytique que nous avons utilisée pour nos analyses qu'on a plongée dans l'eau prélevé. Avant son utilisation l'oxymètre doit être étalonné par un baromètre réglons la pression atmosphérique. L'oxygène dissous est donné par des (mg/l) et la saturation en oxygène en (%). En plus de la

mesure de l'oxygène dissous l'oxymètre donne la mesure instantanée de la température in situ en degré Celsius (°C).

### **B. Mesure de la salinité :**

La mesure de la salinité peut se faire par deux méthodes : La méthode volumétrique (méthode indirecte) et la méthode conductimétrique (méthode directe). Nous avons utilisé la deuxième méthode car elle est plus pratique et permet de mesurer la salinité in situ ainsi que la conductivité. Pour cela on a utilisé un salinomètre de type « M.C.S » d'une précision de 0,001, après calibration de l'appareille à l'aide d'une solution étalon « eau normale » d'une chlorinité connue. La salinité est donné avec des (PSU) et la conductivité par des (mS/cm).

### **C. Mesure de potentiel d'hydrogène (PH) :**

La méthode utilisée pour la mesure de PH est la méthode électrochimique avec une électrode en verre. Pour nos travaux on a utilisé un PH-mètre de type « WTW » d'une précision de 0,01.

## **3.3. Travaux effectués au laboratoire**

### **3.3.1. Eau de mer**

#### **A. Conservation des échantillons :**

Une fois prélevés, les échantillons d'eau destinés au laboratoire sont conservés à l'abri de la lumière pour éviter tout changement de l'état initial de l'eau marine causé principalement par l'activité bactérienne.

#### **B. Dosage de la matière en suspension (MES) : (AMINOT, 1983).**

##### **Principe de la méthode :**

Elle consiste à filtrer de l'eau de mer sur une membrane filtrante afin de retenir toutes les particules supérieures à 0,45 µm.

##### **Appareillage :**

Leurs mesures nécessitent le matériel suivant :

- Un dispositif de filtration (rampe de filtration muni d'une pompe à vide).
- Une étuve.
- Un dessiccateur.
- Une balance de précision.

**Mode opératoire****➤ Préparation des filtres :**

- Placer les filtres dans un papier d'aluminium au four à 450 C° pendant deux heures.
- Laisser les filtres refroidir au dessiccateur.
- Numéroter les filtres (sur les portes filtres).
- Peser chaque filtre seule à la précision de 0,00001 g (soit P1 ce poids).
- Replacer aussitôt chaque filtre dans sa boîte à l'abri de la poussière.

**➤ Filtration :**

- Agiter l'échantillon énergiquement avant la filtration.
- Mesurer le volume à filtrer (pour être représentatif doit être supérieure à 100 ml).
- Filtrer l'échantillon en le versant sur le filtre puis faire le vide sans créer une dépression supérieure à 0,66 bars.
- Supprimer l'aspiration dès que le filtre est a sec verser alors 5 à 10 ml d'eau distillées sur le filtre et aspirer à nouveau.
- Recommencer une seconde fois cette opération de rinçage.
- Supprimer l'aspiration et remettre chaque filtre dans sa boîte numéroté.
- Mettre les boîtes, contenant les filtres sans le couvercle à l'étuve à 80C° (105C°) pendant deux heures.
- Laisser refroidir au dessiccateur et n'en sortir les filtres que juste avant la pesée.
- Peser chaque filtre (Voir P2 ce nouveau poids).
- Garder les filtres pour la pesée de la matière organique (MO).
- La concentration des Mes s'obtient par l'expression suivante :

$$[\text{MES}] \text{ mg/l} = \text{P2} - \text{P1}$$

**P1** : Poids du filtre avant filtration (mg).

**P2** : Poids du filtre après filtration (mg).

**V** : Volume filtré (L)

**C. Dosage de la matière organique (MO) :**

La méthode décrite par Rodier, (1984) consiste à sécher des filtres d'eau de mer dans une étuve à 70C° pendant deux heures, puis à incinérer ces derniers dans un four à moufle à 550C° pendant deux heures afin de brûler toute la matière organique suivant ces étapes :

- Mettre les filtres précédant dans des creusés numérotés.
- Peser les creuser contenant les filtres (Soit W1 ce poids).
- Placer les creusés au four à 520C° pendant deux heures.

- Laisser refroidir.
  - Peser les creusés avec les filtres (voir W2 son poids).
- Le calcul de MO se fait comme suit :

$$W = W1 - W2$$

**W** : Poids de la matière organique (mg).

**W1** : Poids sec du filtre pesé pour la MES (mg).

**W2** : Poids du filtre après incinération (mg).

Le pourcentage de la matière organique dans le filtre (MO%), est calculé par la formule suivante :

#### **D. Dosage de la chlorophylle *a* et des phéopigments : (AMINOT, 1983)**

##### **Principe de la méthode :**

Après filtration d'un certain volume d'eau de mer pour concentrer le matériel particulaire, le filtre est immergé dans un solvant qui assure l'extraction des pigments ; puis on mesure l'absorbance de l'extrait à une ou plusieurs longueurs d'onde, avant et après acidification si l'on recherche également les formes dégradées.

##### **Appareillage :**

- Dispositif de filtration.
- Tubes de mesure : Pour l'extraction, des tubes en verre avec bouchon enveloppés au préalable avec du papier aluminium pour éviter l'exposition des filtres à la lumière sont utilisés.
- Centrifugeuse : Centrifugeuse Hettich ZENTRIFUGEN de type EBA 30, avec 12 postes de porte-Filtre.
- Spectrophotomètre : L'appareil utilisé pour la mesure de la chlorophylle est un spectrophotomètre (UV/VIS (SHIMADZU de type MINI 1240).

##### **Mode opératoire :**

La filtration des échantillons (500 ml) est effectuée sur des filtres de type wattman GF/C qui retient des particules de taille supérieur a 0,45 µm on dépose 1 à 2 ml d'une solution de carbonates de magnésium (1%) pour des matières filtrées, avant et pendant l'extraction.

Les filtres mis dans des tubes à centrifuger en verre enveloppés dans une feuille d'aluminium, sont traités à l'acétone 90% (volume de solvant d'extraction 10ml) et déchiqueté, ces tubes sont placés au réfrigérateur et à l'abri de la lumière pendant 24 h.

La mesure d'absorbance est effectuée avant et après acidification aux longueurs d'onde 665 nm et 750 nm.

La teneur de l'eau en chlorophylle a est donnée par l'expression de LORENZE (1967) in AMINOT et CHAUSSPIED, 1983 :

$$[\text{Chl } a] \text{ mg/m}^3 = [26,7 * (A_{665}^{\text{na}} - A_{665}^{\text{a}}) * v] / VL$$

Avec

$$A_{665}^{\text{na}} = (Ab_{665}^{\text{na}} - bc_{665}) - (Ab_{750}^{\text{na}} - bc_{750}).$$

$$A_{665}^{\text{a}} = (Ab_{665}^{\text{a}} - bc_{665}) - (Ab_{750}^{\text{a}} - bc_{750}).$$

V : volume d'eau filtré (L).

v : volume de solvant d'extraction (ml).

L : longueur de trajet optique de la cuve de mesure (cm).

$A_{665}^{\text{na}}$  : absorbance avant acidification.

$A_{665}^{\text{a}}$  : absorbance après acidification.

La teneur de l'eau en phéopigments est donnée par l'expression suivante :

$$[\text{Phéo } a] \text{ mg/m}^3 = [26,7 * (1,7 A_{665}^{\text{a}} - A_{665}^{\text{na}}) * v] / VL$$

## E. Dosage du carbone organique totale (COT)

### Principe :

L'appareil « Formacs<sup>LT</sup> TOC analyser », est automatique, plus précis est facile pour la détermination du carbone organique total et le carbone organique dissous. Elle nécessite une filtration sur des filtres de 0,45 µm, l'eau récupérée à la fin de cette filtration sera utilisée pour son dosage.

### Mode opératoire :

« Formacs<sup>LT</sup> TOC analyser » nécessite l'utilisation d'une pompe péristaltique en mode continu dont les échantillons sont aspirés et mélangés avec les réactifs.

L'échantillon est prélevé puis mélangé dans la bobine avec l'acide sulfurique pour faire l'attaque chimique (oxydation chimique) et séparé par le gaz vecteur azote.

Après la séparation, l'échantillon sera rééchantillonné, et mélangé avec le réactif persulfate/tetraborate et l'air. Il passe ensuite dans un rayonnement UV. Ce processus oxyde le carbone organique en CO<sub>2</sub>, qui sera envoyé (expulsé) dans la solution pour qu'il soit acidifié et séparé en unité moyenne dans le stripper. Le gaz vecteur transporte le CO<sub>2</sub> dans l'infrarouge de détection d'unité. L'absorbance du dioxyde de carbone est mesurée à 4,2 µm. Le signal détecteur sera ensuite transféré vers le PC pour les calculs en Windows soft 3 (Skalar ; 2000).

**Les réactifs :**

-Acide sulfurique à 0,03 N : diluer 0,84 ml d'acide sulfurique (96%) ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dans 800 ml d'eau bi-distillée, compléter jusqu'à 1000 ml.

-Acide sulfurique à 0,5 N : diluer 14 ml d'acide sulfurique dans 800 ml d'eau bi-distillée, compléter à 1000 ml.

-Réactif de digestion : dissoudre 12 g de persulfate de potassium ( $\text{K}_2\text{O}_8\text{S}_2$ ) et 34 g de tetraborate de sodium ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7, 10 \text{H}_2\text{O}$ ) dans 800 ml d'eau bi-distillée et compléter à 1000 ml.

**Les standards*****Solution mère (solution de biphthalate de potassium de carbone) :***

Dissoudre 2,045 g de biphthalate de potassium anhydre ( $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$ ) de carbone dans 800 ml d'eau bi-distillée, ajuster cette solution avec l'acide sulfurique jusqu'à obtenir un PH entre 1 et 2, ensuite compléter à 1000 ml d'eau bi-distillée, sachant que 1 ml = 1 ppm de carbone.

**Etalonnage :**

On prépare à partir des solutions mères de la solution étalon du carbone, des dilutions de 2 à 20 mg/Kg dans l'eau bi-distillée.

**F. Dosage des sels nutritifs :**

La méthode utilisé pour le dosage des sels nutritifs est le dosage par colorimétrie à flux continu sur chaîne automatisée sur l'appareil « AUTO ANALYSER SAN PLUS » (troisième génération), selon les protocoles définit par le constructeur SKALAR, Le fonctionnement de l'appareil repose sur un principe dynamique simple, celui de l'analyse liquide en flux continu : une veine liquide propulsée en continu par une pompe péristaltique dans un circuit analytique spécifique à chaque paramètre analysé. Les réactions chimiques s'effectuent dans cette veine en progression. L'analyse des échantillons est réalisée par séquence, ce qui permet une grande cadence de travail. Cette chaîne de mesure automatisée est totalement pilotée par un microordinateur doté d'un logiciel spécifique.

A la fin d'analyse, ce dernier fourni un fichier numérique contenant les résultats accompagnés de toutes les informations relatives à l'analyse.

**F.1. Principe de dosage des sels nutritifs :**

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (ammonium, nitrites, nitrates, ortho-phosphates et silicates) est basée sur une réaction de coloration. En effet, ces sels réagissent dans certaines conditions (température, pH, présence de catalyseurs,...) avec des réactifs spécifiques pour donner une coloration absorbant la lumière à une certaine longueur d'onde ( ).

L'absorption de l'énergie lumineuse dépend de l'intensité de la coloration, de même, ce dernier est d'autant plus importante que la solution est concentrée en sel dosé.

La quantité de lumière absorbée par la solution, appelée absorbance (A) ou densité optique (D.O), obéit à la loi de BEER-LAMBERT qui est exprimée par la relation suivant

$$A = D.O = \log(I_0/I) = \epsilon * L * C$$

**I<sub>0</sub> et I :** sont respectivement les intensités lumineuses incidentes et émergentes du milieu absorbant.

**ε :** le coefficient d'extinction molaire variant en fonction de la température et la longueur.

**L :** la longueur du milieu traversé exprimé en cm.

**C :** concentration de la solution absorbante exprimée en mol/l.

**D.O :** densité optique de la solution.

## F.2. Analyse automatique des sels nutritifs

### F.2.1. Dosage de l'azote ammoniacal :

En milieu alcalin ( $8 < \text{pH} < 11,5$ ), l'ammonium dissous réagit sur l'hypochlorite pour former une monochloramine. Ce composé, en présence de phénol et d'un excès d'hypochlorite (milieu oxydant) donne lieu à la formation d'un bleu d'indophénol. La réaction est catalysée par le nitroprussiate de sodium et le maximum d'absorption se fait à une longueur d'onde de 630 nm (Skalar, 1996).

### F.2.2. Dosage des nitrites :

Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) forment un diazoïque par action avec la sulfanilamide en milieu acide  $\text{pH} < 2$ . Ce composé formera ensuite en présence de N-naphylethylènediamine un composé azoïque de couleur rose absorbant la lumière à 450nm (BENSCHNEIDER et ROBINSON, 1952).

### F.2.3. Dosage des nitrates :

La méthode est basée sur la réduction des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) par le passage de l'échantillon à travers une colonne réductrice de cadmium traité au cuivre (WOOD et al, 1967). Les nitrites (en réalité  $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$  réduits) seront ensuite dosés par colorimétrie selon la méthode précédemment décrite. Il suffira alors d'en déduire la concentration de nitrites déterminés directement (sans passage de l'échantillon sur la colonne réductrice) pour trouver les concentrations des nitrates (RODIER et al, 1996).

#### F.2.4. Dosage des orthophosphates :

En présence d'antimoine tartrate de potassium à une température de 40°C (bain-marie), les ions orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) réagissent avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe antimoine phosphomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique (MURPHY et RILEY, 1962). Cette forme réduite, de coloration bleue a un maximum d'absorption à 880 nm.

#### F.2.5. Dosage du silicium dissous :

Dans l'eau de mer, le silicium dissous se trouve à 95% sous forme d'acide orthosilicique ( $\text{Si(OH)}_4$ ) (AMINOT ET CHAUSSPIED, 1983). Cette forme réagit avec molybdate d'ammonium en milieu acide pour former un complexe silicomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique en un composé coloré en bleu absorbant à 810 nm (MULLIN et RILEY, 1955). On y ajoute l'acide oxalique pour éviter les interférences des phosphates.

#### F.3. Etalonnage :

Cette opération nécessite la préparation d'une solution mère puis une solution fille pour chaque élément à analyser.

Les droites d'étalonnage sont établies automatiquement par le logiciel en utilisant les concentrations connues des solutions étalons et leurs hauteurs de pic correspondantes.

**Tableau 3.2 :** Les solutions étalon des sels nutritifs.

Concentrations Standards	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> µmol/l	NO <sub>2</sub> µmol/l	PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> µmol/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> µmol/l	SiO <sub>2</sub> µmol/l
S1	0,2641	0,297	0,1275	0,7906	0,6911
S2	0,3053	0,4687	0,4107	1,3127	1,6599
S3	0,3635	1,0109	0,5968	1,5971	1,4363
S4	0,7215	1,089	0,7971	2,1544	2,1927
S5	1,2732	1,2199	0,9326	2,4895	1,5445
S6	1,1197	1,3495	1,0621	2,8227	2,3336

Les courbes d'étalonnage :

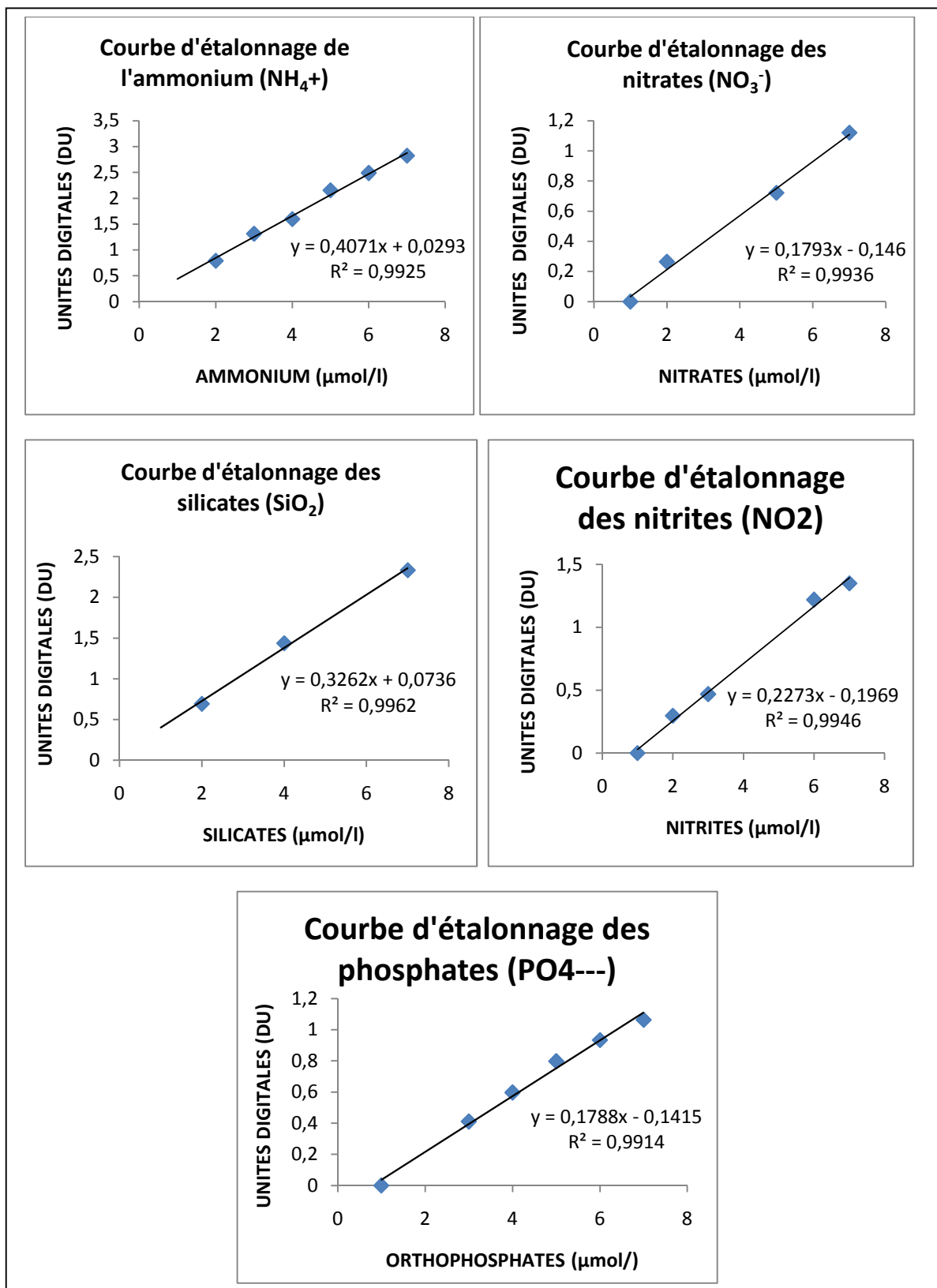


Figure 3.2 : Les courbes d'étalonnage des sels nutritifs.

### 3.3.2. Le sédiment

#### A. Traitement de la matière organique : (RODIER, 1984)

Après la décongélation du sédiment on le met à l'étuve. On le pèse ensuite dans des creusets (poids frais G1).

On incinère ces creusets avec le sédiment à 600°C pendant deux heures, et on aura le poids de la matière minérale (G2).

Le pourcentage de la matière organique dans le sédiment sera calculé selon la formule suivante :

$$\text{MO}(\%) = (G1 - G2) / G1 * 100$$

#### B. Traitement des échantillons destinés à l'analyse des métaux lourds :

Ce type d'analyse consiste à déterminer les concentrations des contaminants métalliques dans les sédiments, et déduire le niveau de contamination par spectroscopie de fluorescence X, et cela en suivant les étapes suivantes :

##### B.1. Lyophilisation :

La lyophilisation consiste à soustraire l'eau contenue dans les sédiments, l'eau va passer de l'état solide à l'état gazeux sans passer par l'état liquide. Il s'agit d'une déshydratation par sublimation. Cette étape nécessite une congélation préalable. Elle est préférable au séchage à l'étuve qui peut être une source de perte des métaux volatils (tels que le plomb Pb, mercure Mg).

Les sédiments congelés sont pesés (poids initial noté P<sub>0</sub>) avant de les mettre dans le lyophilisateur pendant 48 h dans des conditions propres à l'appareil : - 55°C de température et 10<sup>-1</sup> mbar de pression (Piège à froid).

Les sédiments lyophilisés sont pesés (poids sec noté Ps).

##### B.2. Broyage et tamisage :

Les échantillons lyophilisés sont d'abord broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine dans le but d'une séparation mécanique des différentes fractions du sédiment, ensuite passés à travers un tamis de 63 µm de diamètre. Cette fraction est la plus significative car elle constitue le siège de la plus part des phénomènes d'adsorption-désorption des métaux lourds.

**B.3. Principe de la technique : (Adler, 1986 ; Toumert, 2003)**

Le bombardement d'un matériau par un rayonnement X issue d'une source radioactive ou un tube à rayon X conduit à l'émission de rayonnement X caractéristique des éléments présent dans l'échantillon.

L'atome qui reçoit le rayonnement incident est alors dans un état excité et l'électron se déplace vers un niveau supérieure, si cette énergie est suffisante l'électron est éjecté. La case quantique vide (place laissée vacante par le photoélectron), est comblée par un électron d'un niveau plus élevé qui à une énergie supérieure à celle de l'électron éjecté.

Cette différence d'énergie  $E$  est émise sous forme de rayon X, Ce rayon est caractérisé de cet élément.

Pour la plupart des éléments, plusieurs raies sont mesurables.

L'analyse du spectre peut se faire de deux manières :

- par analyse dispersive en longueur d'onde (WD- XRF, Wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry) ;
- par analyse dispersive en énergie (ED-XRF, Energy dispersive X-ray fluorescence specrometry).

Le principe de l'analyse repose sur la comparaison de l'aire de pic du standard de concentration connue avec l'aire de pic de l'échantillon.

**B.4. Le dispositif expérimentalement :**

- Source de rayon X : (Omari, 2006)

On utilise une source radioactive naturelle ou induite

Les transmutations nucléaires des isotopes radioactifs conduits en général à l'émission de rayon  $\gamma$  ou de rayon X.

Radio isotope	Période	Désintégration	Produit	E(KeV)
Fe-55	2,7 ans	CE	Raie K du Mn	5,9 et 6,5
Cd-109	1,3 an	CE	Raie K d'Ag $\gamma$	22 et 25 88
Am-241	470 ans	CE	Raie L du Np $\gamma$	11 et 22 26 et 59,9

(C.E) : Capture électronique.

- Détecteur : (Papachristodoilou, 2002)

Dans notre étude le détecteur de rayonnement utilisé est un semi conducteur (Si-Li) verticale de surface 30 mm<sup>2</sup> et d'une résolution 180 ev constitué de :

- une zone active constituée de silicium dopé au lithium, refroidi par azote liquide.
- une zone morte composée de silicium uniquement de très haute pureté.
- une électrode en or.
- une feuille en béryllium.

- **Préamplificateur : (Toumert, 2003)**  
Il est sensible à la charge produite, il délivre des impulsions.
- **Amplificateur : (Toumert, 2003)**  
Pour l'amplification et la mise en forme des impulsions délivrées par le préamplificateur.
- **UN convertisseur digitale/ analogique : (Toumert, 2003)**  
Pour la conversion des impulsions en code numérique.
- **Un analyseur multi canaux(MCA) : (Toumert, 2003)**  
Monté sur carte incorporée à un micro-ordinateur pour stocker les informations et traiter les spectres obtenus.
- **Le logiciel AXIL : (Bounakhala, 1999 ; Toumert, 2003)**  
Les spectres X enregistrés sont traités par le code de dé-convolution AXIL (Analysis of X-Ray Spectre By Iterative Least-Squares Fitting). Ce code est basé sur la méthode des moindres carrés non linéaires utilisant l'algorithme de Marquardt.  
Lorsque deux raies sont proches en énergie (Leurs pics se recouvrent), il y a interférence.  
Ce problème est résolu grâce au logiciel, en générale ces calculs sont automatisés.

#### B.5. Mode opératoire :

- Après le broyage du sédiment, 0,5 g de chaque échantillon sont pesés et mis dans des capsules spécifiques, puis on met les capsules une par une dans le détecteur pour lancer l'analyse qui dure environ 1 h pour chaque source radioactive, le standard est analysé comme les échantillons.
- Les concentrations des échantillons sont calculées par le rapport :

$$I_i / I_s = C_i / C_s$$

**I<sub>i</sub>** : Intensité de l'échantillon.

**I<sub>s</sub>** : Intensité du standard.

**C<sub>i</sub>** : Concentration de l'échantillon.

**C<sub>s</sub>** : Concentration du standard.

Les concentrations du standard sont données en annexe.

*Chapitre IV*  
*Résultats et discussions*

### 1. Variations des paramètres physico-chimiques :

Les résultats obtenus des paramètres physico-chimiques, sont résumés ci-dessous dans le tableau suivi de leurs représentations graphiques.

**Tableau 4.1:** Les résultats des paramètres mesurés in situ au niveau de la baie de Bou-Ismaïl :

Stations	T (°C)	[O <sub>2</sub> ] (mg/l)	O <sub>2</sub> (%)	S (PSU)	C (mS/cm)	PH
ST 1	20,70	8,50	85,60	36,00	55,50	8,22
ST 2	20,30	9,87	95,20	36,30	56,20	8,24
ST 3	20,70	8,94	84,60	36,20	55,90	8,21
ST 4	20,40	9,20	91,40	36,10	49,70	8,19
ST 5	19,90	6,43	75,60	36,10	50,20	8,11
ST 6	20,40	7,56	73,10	36,20	50,50	8,12
ST 7	19,2	8,0	76,5	36,2	49,3	8,27
ST 8	18,9	9,5	90,5	36,3	49,6	8,25
ST 9	19,3	9,5	91,8	35,6	48,4	8,18
ST 10	21,00	10,25	81,30	36,10	50,20	8,25
ST 11	20,70	9,47	80,00	36,30	49,90	8,25
ST 12	21,50	8,15	82,70	35,80	50,60	8,11
ST 13	21,50	9,53	92,40	35,90	50,30	8,18
ST 14	19,7	8,1	78,3	36,4	49,7	8,28
ST 15	20,0	8,8	78,3	36,2	49,4	8,22
ST 16	20,3	7,4	87,1	36,5	49,8	7,65
Maximum	21,50	10,25	95,20	36,50	56,20	8,28
Minimum	18,90	6,43	73,10	35,60	48,40	7,65
Moyenne	20,28	8,70	84,03	36,14	50,95	8,17
Ecart-type	0,76	1,04	6,84	0,23	2,50	0,15

#### 1.1. Température

La variation thermique est un paramètre qui détermine la distribution des niches écologiques dans le milieu marin. Sa variation dépend de la température atmosphérique et du mélange des masses d'eau.

Les températures des eaux de surface de la baie, varient globalement entre 18,9 et 21,5°C au niveau des stations ST8 et ST (12-13) respectivement. la moyenne est de 20,28°C et un écart-type de 0,76. Les faibles valeurs sont enregistrées au niveau de la côte qui augmente un peu plus au large. D'une manière générale, les températures enregistrées restent normales et témoignent le niveau thermique de la saison d'échantillonnage.

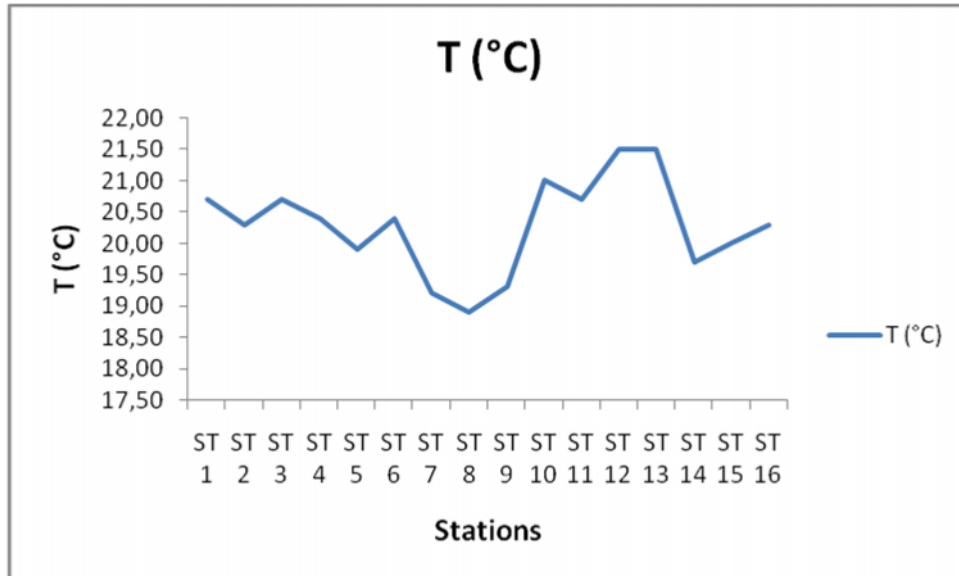


Figure 4.1 : Variation de la température suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismaïl

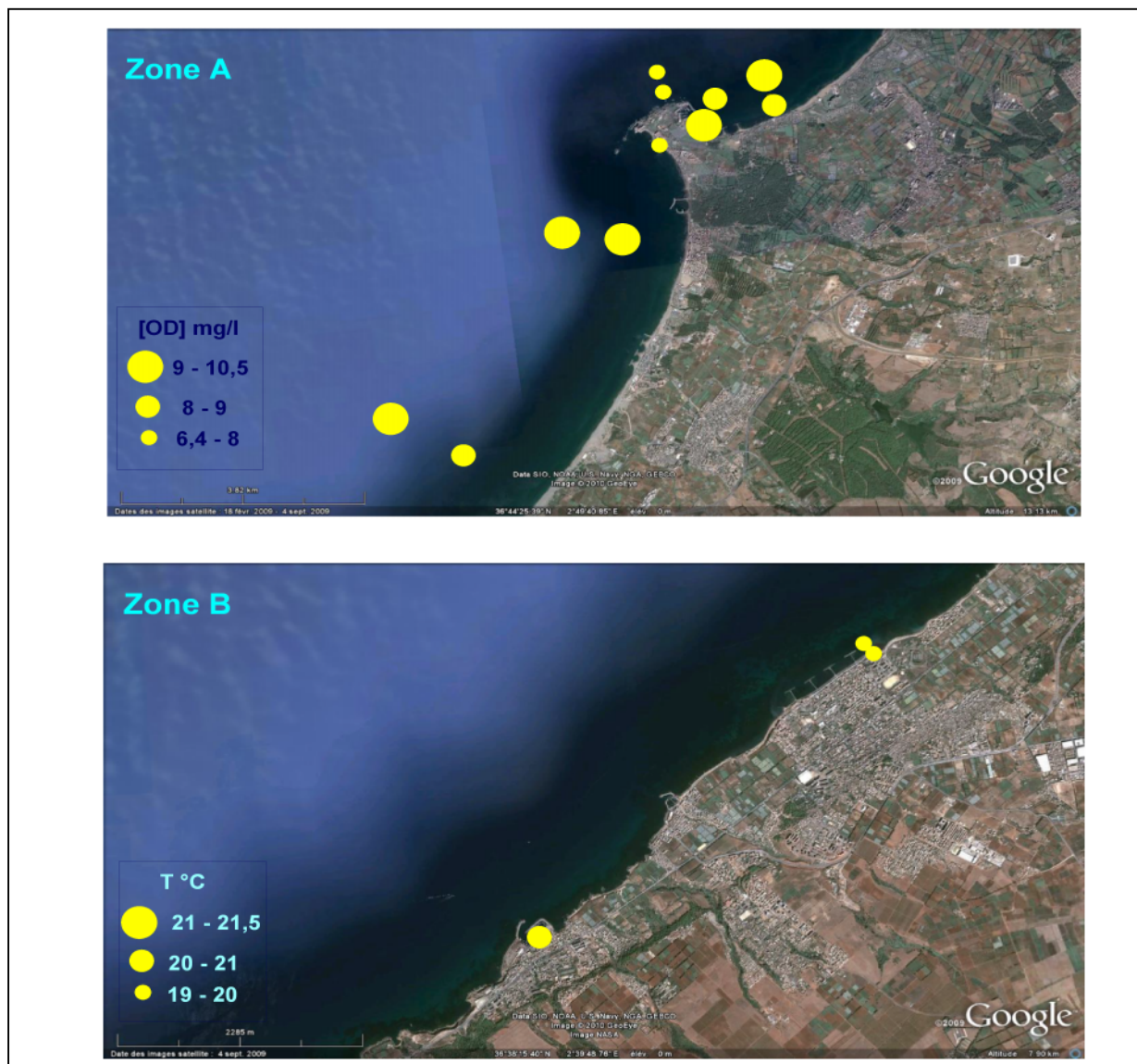


Figure 4.2 : Distribution spatiale de la température dans la baie de Bou-Ismaïl.

1.2. L'oxygène dissous (O<sub>2</sub>) :

Concernant l'oxygène dissous au niveau de la baie de Bou-Ismail, les résultats révèlent des fluctuations assez importantes. Ses valeurs varient entre 6,43 et 10,25 mg/l au niveau des stations ST5 et ST10, avec une moyenne de 8,70 mg/l et un écart-type de 1,04. Ces variations dues à la variabilité des facteurs intervenant dans son cycle (photosynthèse, échange air-mer, mélange des masses d'eaux ...). Ainsi, la période d'échantillonnage a été caractérisée par un brassage important des masses d'eaux.

En surface le maximum est de 10,25 mg/l (ST10) au niveau de Thalasso près de la côte, le minimum est enregistré près de la jetée du port de Sidi Fredj avec une valeur 6,43 mg/l qui est caractérisée par des eaux calmes, et dans le port de Bouharoun avec une valeur de 7,35 mg/l,

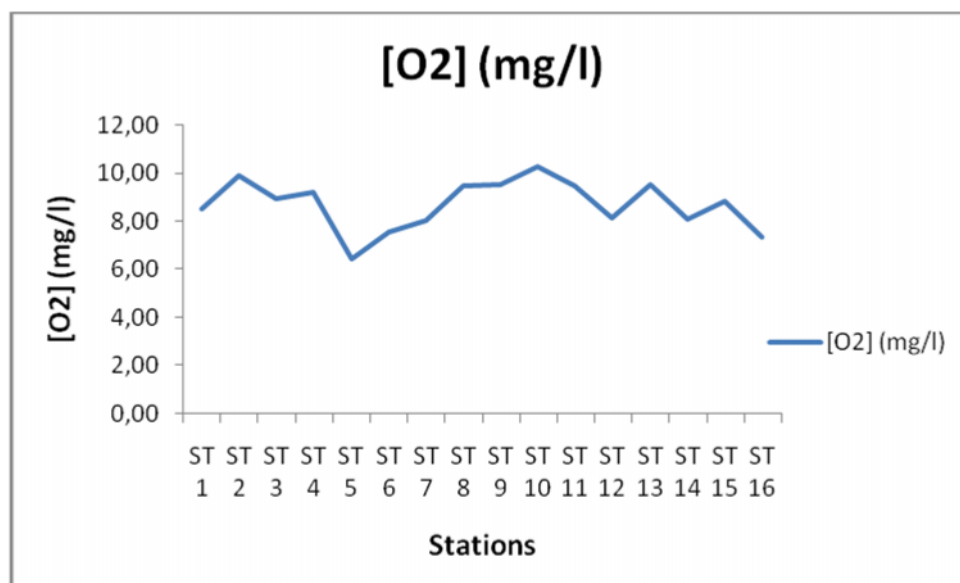
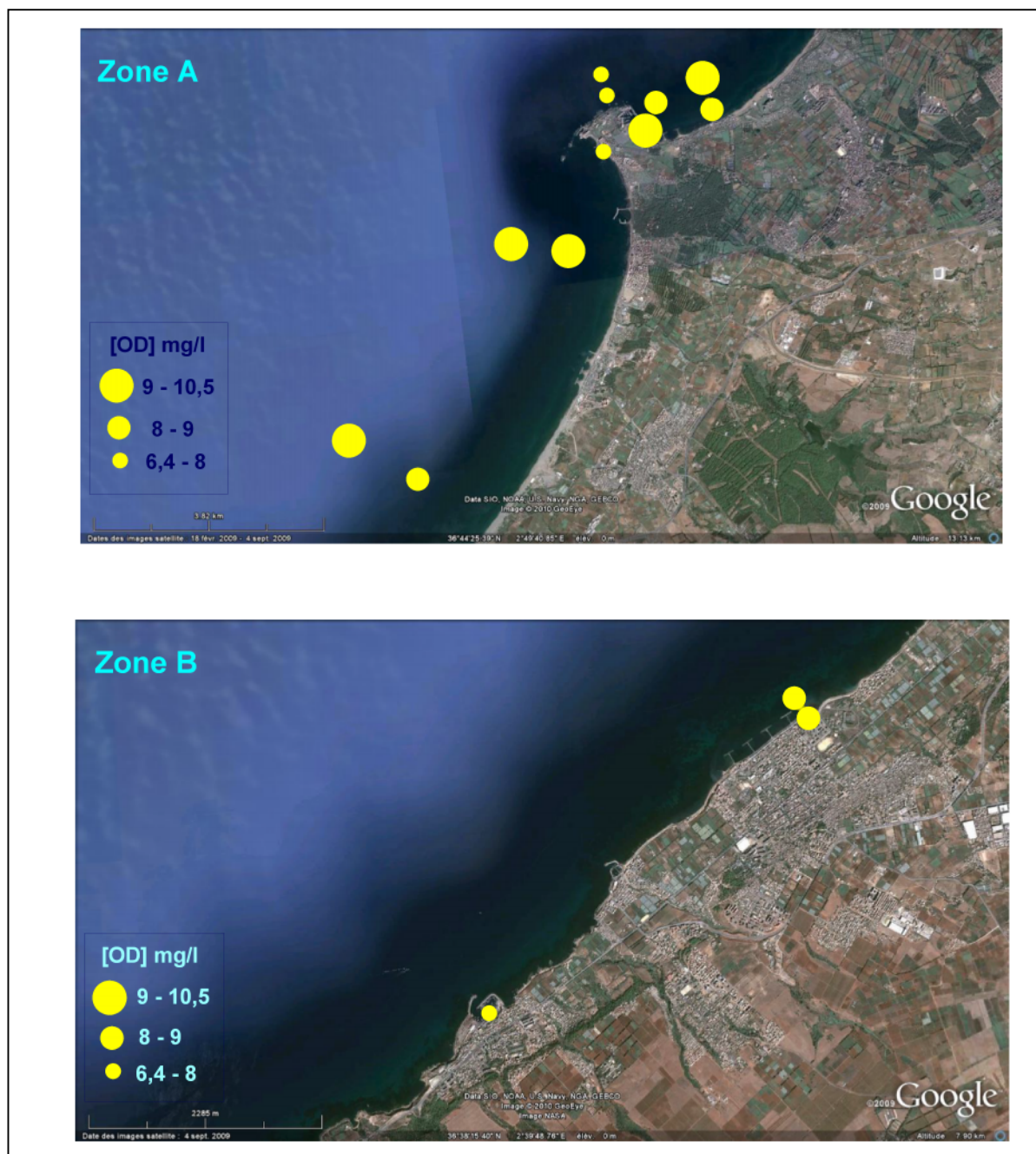


Figure 4.3 : Variation de l'oxygène dissous suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismail.



**Figure 4.4 :** Distribution spatiale de l'oxygène dissous dans la baie de Bou-Ismaïl.

### 1.3. Pourcentage de saturation de l'Oxygène (O2%) :

D'après les résultats obtenus des teneurs des eaux de la baie en oxygène dissous, on a remarqué des variations importantes des taux de saturations en oxygène. La valeur la plus élevée est enregistrée au large près de la station ST2 avec 95,2%, qui est due au fort renouvellement des eaux dans cette zone. La valeur minimale est observée dans la station ST06 près de la jetée du port de Sidi Fredj avec 73%, et ça revient à l'emplacement de la station, qui gêne un peu le renouvellement de l'eau qui est la presque îles de Sidi Fredj. La moyenne est de 84,03% et l'écart-type de 6,84.

Généralement, les valeurs les plus élevées sont celle des stations du large et celles de la côte qui sont en contact libre avec les eaux du large.

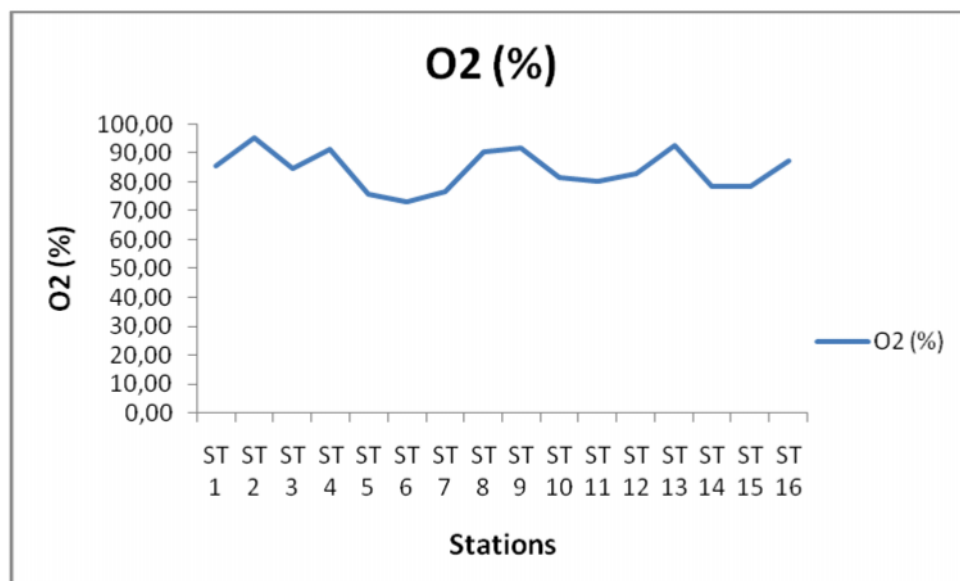


Figure 4.5 : Variation du pourcentage de la saturation en oxygène suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.

#### 1.4. Salinité :

La mesure de la salinité est importante car elle permet de connaître la circulation océanique, d’identifier des masses d’eaux d’origines différentes et de suivre leurs mélanges au large comme aux côtes (Aminot et Chaussepeid, 1983). Les valeurs de salinité sont comprises entre un maximum de 36,5 psu au niveaux de la station ST16 qui est le port de Bou-Haroun et un minimum de 35,6 dans la station ST9, avec un écart-type très infime de 0,23 et une moyenne de 36,14 psu.

Les valeurs enregistrées pendant les deux sorties, semblent se rapprocher entre elles ; à l’écart d’une minime différence qui est due probablement à la localisation des points de prélèvement par rapport aux ports et aux émissaires d’eaux usées.

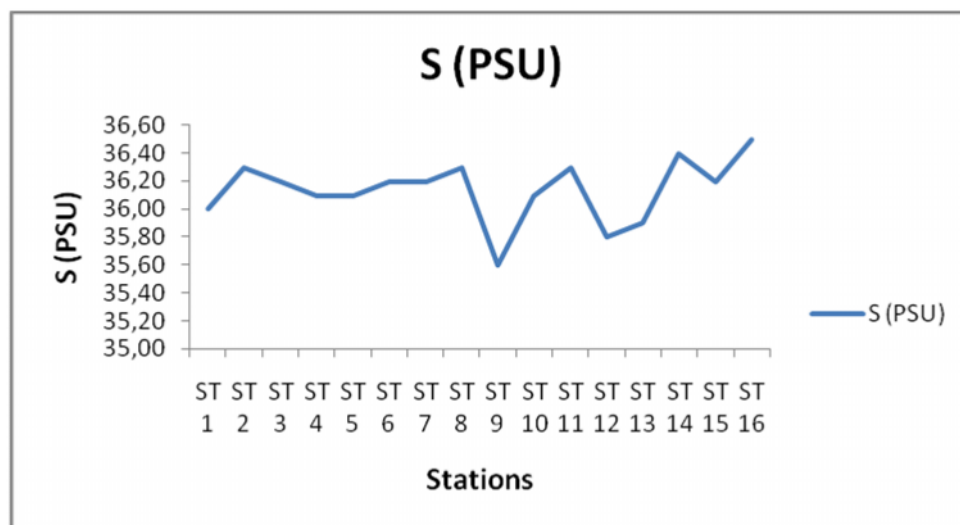
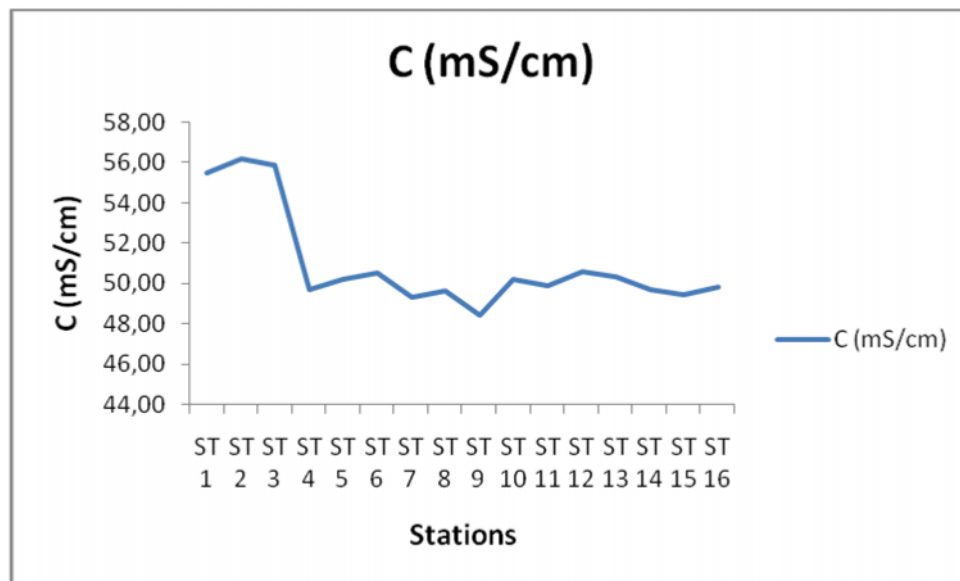


Figure 4.6 : Variation de la salinité suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.

**1.5. La conductivité (Cu) :**

Les valeurs de la conductivité montrent qu'il y'a une très faible minéralisation selon (Rodier, 1996). On trouve que les valeurs observées au niveau de la côte sont un peu faible que celles du large. les valeurs les plus élevées sont enregistrées a niveau des stations (ST2, ST1 et ST3), avec un maximum de 56,2 mS/cm et un minimum de 48,4 de la station ST9, une moyenne et un écart-type de 50,95 mS/cm et 2,5 respectivement.



**Figure 4.7 :** Variation de la conductivité électrique suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.

**1.6. Le potentiel hydrogène (pH) :**

Au niveau des eaux superficielles de la baie, les valeurs élevées du pH sont observées au niveau des stations (ST14, ST12, ST8 et ST 10) au niveau des régions du diversement d'eau douce comme Oued Mazafran, la station de Bou-Ismaïl qui est tout près d'un diversement des eaux usées. La valeur minimale est localisée au niveau de la station 16 (port de Bouharoun) qui peut s'expliquer par la situation des eaux du port, qui sont enfermées par les digues de protection qui empêchent le mélange des eaux avec celles du large ; et surtout par les différentes natures des déchets déversés qui font baisser la valeur du pH. La moyenne est de 8,17 et un écart-type de 0,15.

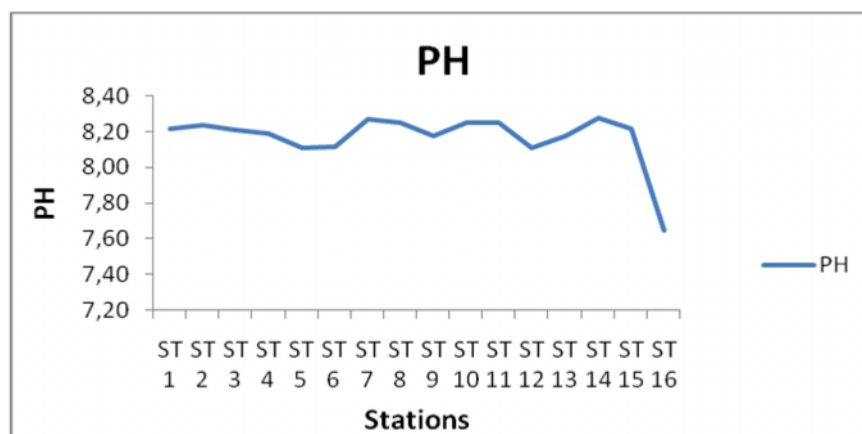


Figure 4.8 : Variation de PH suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.

## 2. Distribution des paramètres particuliers :

Les résultats obtenus des différents paramètres sont présentés graphiquement et sous forme des figures déterminant la répartition spatiale des paramètres en fonction des stations de prélèvement.

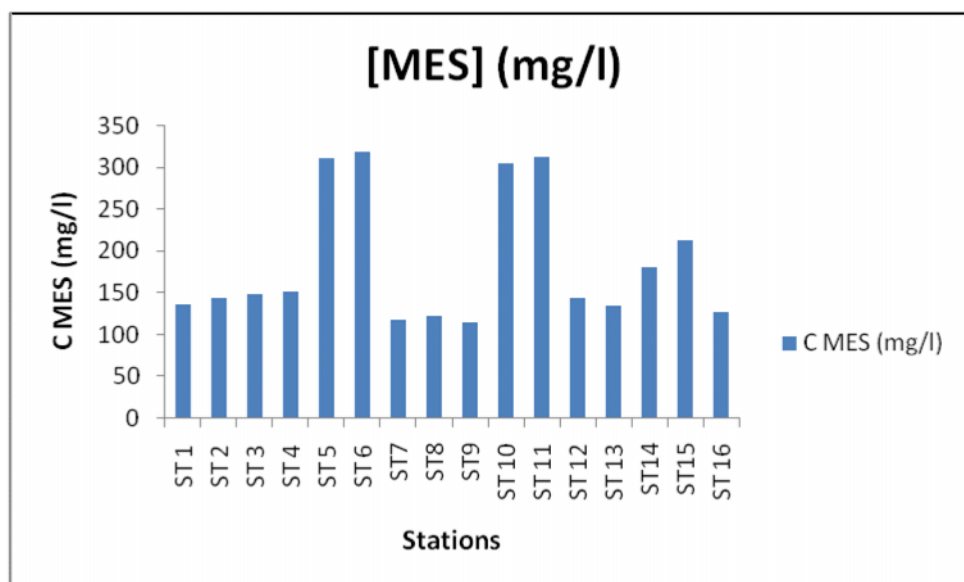
Tableau 4.2: Résultats des paramètres particuliers mesurés au laboratoire de la baie de Bou-Ismaïl.

Station	C (mg/l)	MES MO (%)	C Chl (µg/l)	C Phéo (µg/l)	COT (ppm)
ST 01	136,45	28,80	1,977	1,512	/
ST 02	143,1	30,12	0,039	0,042	/
ST 03	147,45	27,98	0,022	0,009	/
ST 04	150,35	30,00	0,009	0,016	/
ST 05	312,1	29,64	0,070	0,045	/
ST 06	318,4	30,97	0,052	0,031	/
ST07	117,8	31,40	1,281	0,778	0,383
ST08	121,6	29,10	1,198	1,002	0,182
ST09	113,96	31,10	0,785	0,734	1,304
ST 10	304,9	30,17	0,075	0,071	/
ST 11	313,1	30,76	0,098	0,066	/
ST 12	143,35	29,86	0,103	0,124	/
ST 13	134,9	29,58	0,107	0,119	/
ST14	181,12	42,10	1,031	1,224	0,488
ST15	212,68	31,80	2,332	1,988	0,472
ST 16	127,08	31,79	0,087	0,067	2,356
Maximum	318,4	42,10	2,33	1,988	2,356
Minimum	113,96	27,98	0,01	0,01	0,18
Moyenne	186,15	30,95	0,58	0,49	0,86
Ecart-type	78,91	3,16	0,77	0,64	0,83

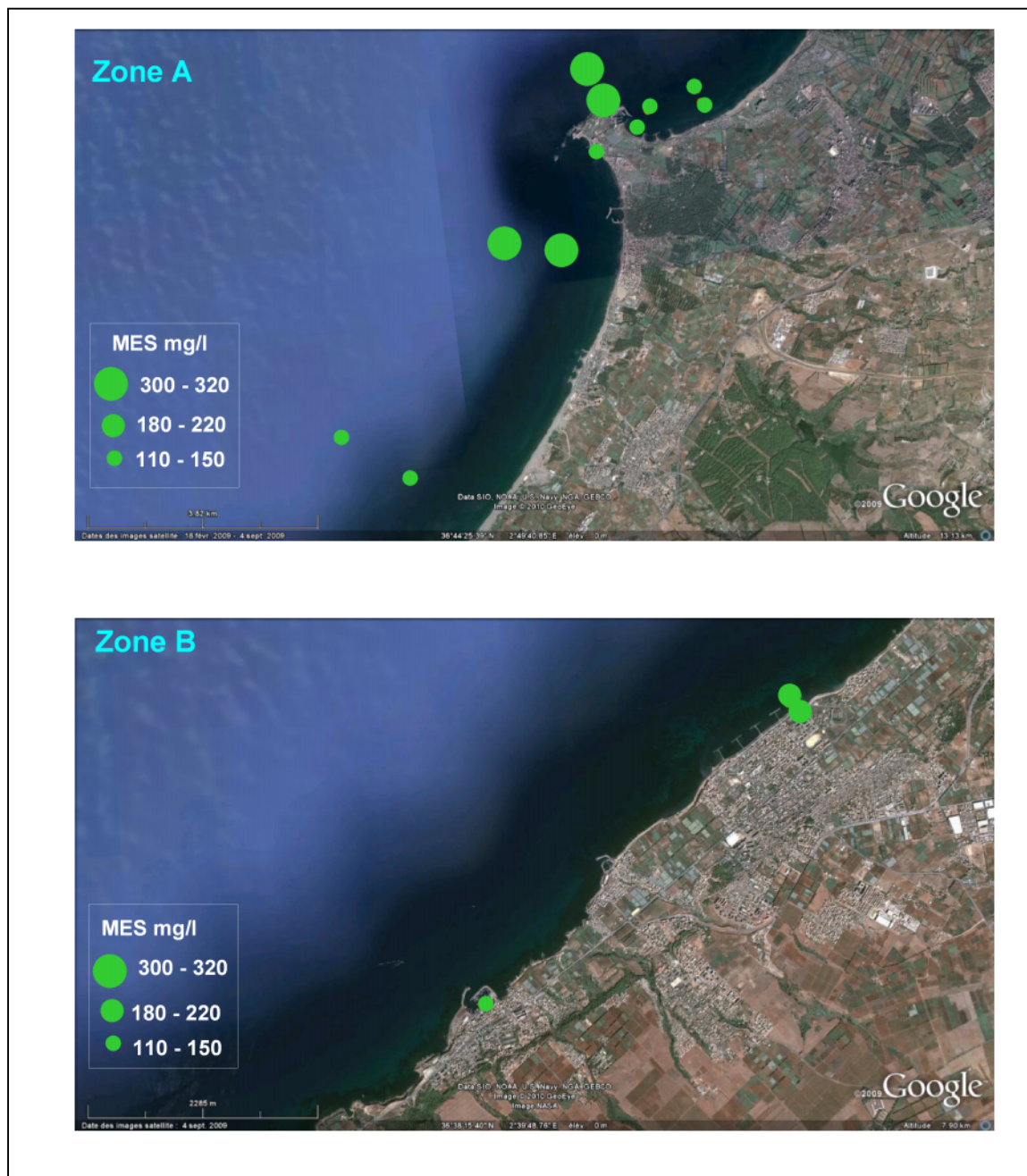
**2.1. La matière en suspension(MES) :**

Pour les variations des matières en suspension de notre compagnie, de grandes fluctuations sont enregistrées au niveau des eaux superficielles de la baie de Bou-Ismaïl, et spécialement celles du large. On observe un maximum de 318,4 mg/l à la station ST06 et un minimum de 113,96 dans la station ST9, une moyenne de 186,15 mg/l et un écart-type de 87,716.

Les fortes teneurs des matières en suspensions reviennent à l’agitation de la mer au moment des prélèvements, ce qui a causé la remise en suspension des particules. Les stations ST05-ST06-ST10 et ST11 ont des concentrations élevées à cause de la localisation des points de prélèvements près des plages sableuses (Palm Beach, Thalasso,...).



**Figure4.9 :** Variation de la matière en suspension suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.



**Figure 4.10** : Distribution spatiale des MES dans la baie de Bou-Ismaïl.

## 2.2. La matière organique :

Les variations du pourcentage de matière organique suivent celles des MES, dont on a enregistré des fortes valeurs. Un intervalle de 27,98-42,1% pour les stations ST3 et ST14, avec une moyenne de 30,95% et un écart-type de 3,16.

La grande valeur remarquée au niveau de la station ST14 (Bou-Ismaïl) est due à la proximité de point du prélèvement à un rejet d'eau usée, qui favorise la décomposition de matières d'origine animal ou végétal sous l'influence des micro-organismes.

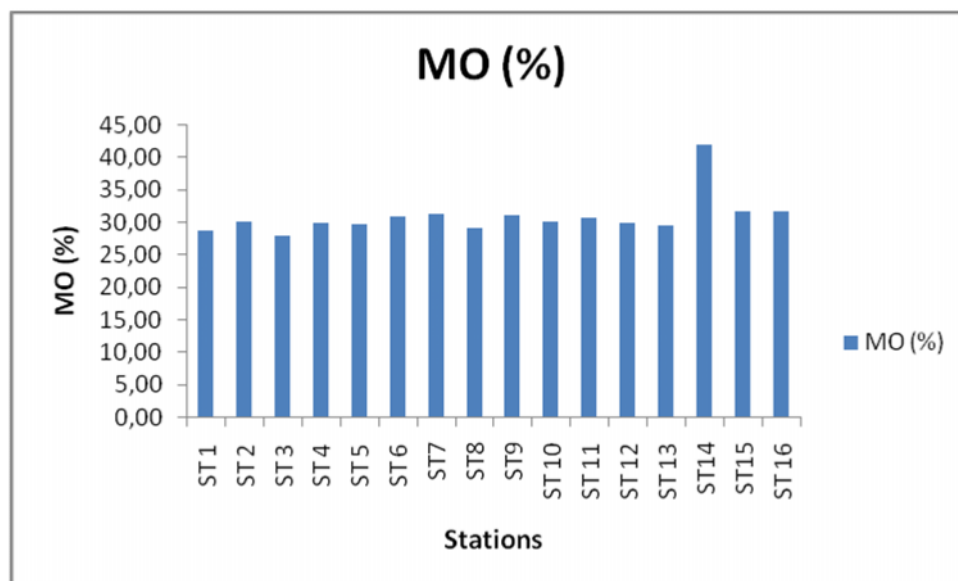


Figure 4.11 : Variation de la matière organique suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.

### 2.3. La chlorophylle *a* et les phéopigments :

Les concentrations de chlorophylle *a* et de phéopigments, trouvées lors de notre campagne sont particulièrement faibles. En effet, les teneurs en chlorophylle *a* varient entre un maximum de 2,33 $\mu\text{g/l}$  près de la station ST15 (Bou-Ismaïl) et un minimum de 0,01  $\mu\text{g/l}$  de la station ST4 (Port de Sidi Fredj). La moyenne et l'écart-type sont de 0,58 $\mu\text{g/l}$  et 0,77 respectivement. Concernant les phéopigments, les concentrations varient entre 1,988 $\mu\text{g/l}$  et 0,01  $\mu\text{g/l}$  des stations suivantes ST15-ST3. La moyenne est de 0,49  $\mu\text{g/l}$  et l'écart-type de 0,64.

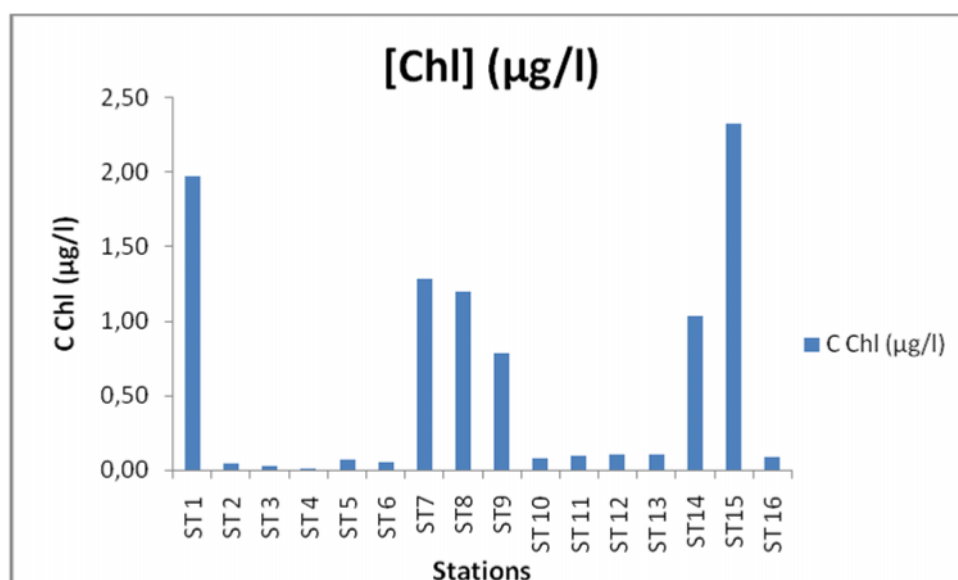


Figure 4.12 : Variation de la chlorophylle *a* suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.

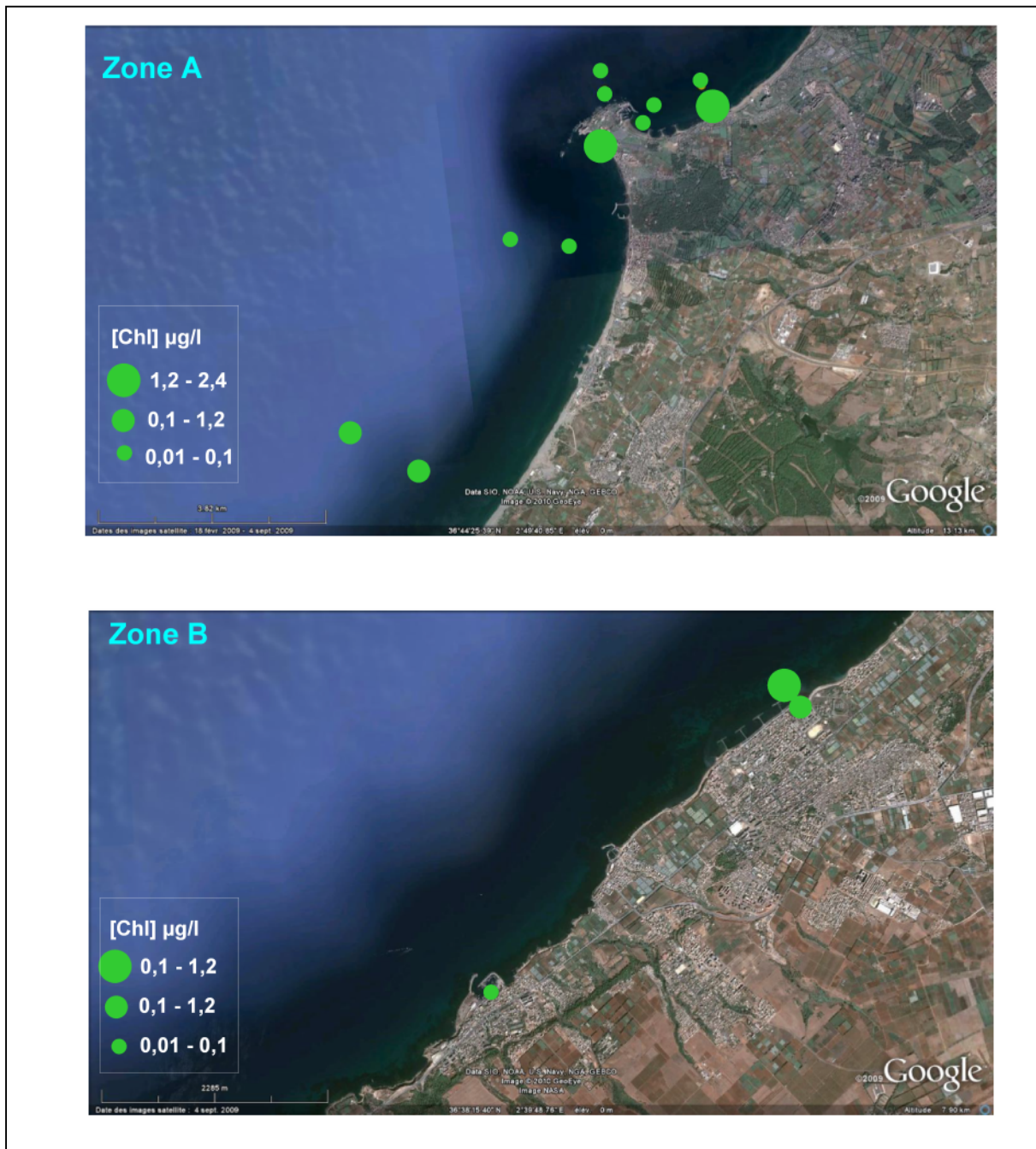


Figure 4.13 : Distribution spatiale de la chlorophylle dans la baie de Bou-Ismaïl.

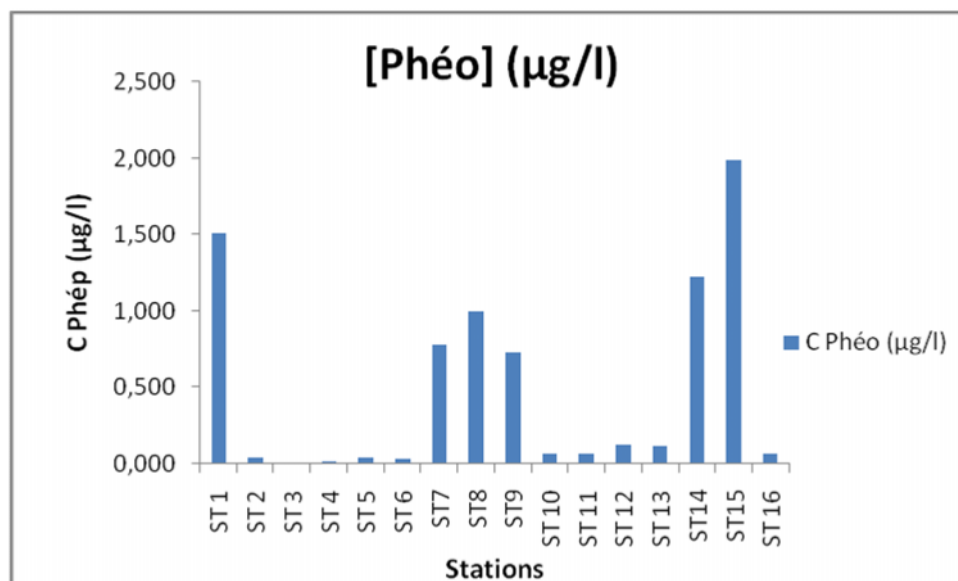


Figure 4.14 : Variation de phéopigments suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.

#### 2.4. Le carbone organique totale (COT) :

Les composés organiques se retrouvent principalement dans les eaux superficielles ; leur origine est liée aux activités humaines, industrielles et agricoles ainsi qu’aux activités naturelles (substance humiques) ; Ce qui peut expliquer la valeur maximale du COT de 2,356 ppm au niveau du port de Bou-Haroun (ST16) par le processus d’excrétion et de biodégradation, le minimum est de 0,182 près de la station de Thalasso, avec une moyenne et un écart-type de 0,864 ppm et 0,826 respectivement.

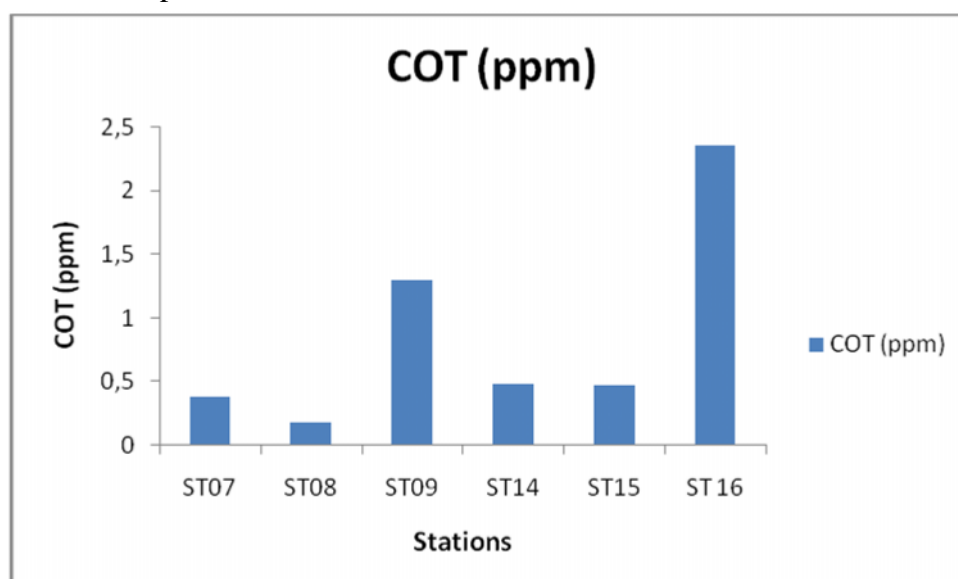


Figure 4.15 : Variation du carbone organique totale suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.

### 3. Variation des sels nutritifs :

**Tableau 4.3:** les résultats des sels nutritifs mesurés dans la baie de Bou-Ismail:

Station	NO <sub>3</sub> - ( $\mu\text{mol/l}$ )	NO <sub>2</sub> - ( $\mu\text{mol/l}$ )	PO <sub>4</sub> --- ( $\mu\text{mol/l}$ )	NH <sub>4</sub> + ( $\mu\text{mol/l}$ )	SiO <sub>2</sub> - ( $\mu\text{mol/l}$ )
ST 01	0,1085	0,0191	0,0158	6,048	2,4407
ST 02	0,026	0,013	0,019	3,724	8,147
ST 03	0,005	0,027	0,013	4,228	2,584
ST 04	0,002	0,033	0,046	5,158	0,851
ST 05	0,031	0,022	0,006	6,060	4,705
ST 06	0,015	0,034	0,004	8,158	2,262
ST07	0,125	0,043	0,081	3,440	0,456
ST08	0,109	0,062	0,044	4,996	1,442
ST09	0,059	0,072	0,036	8,920	1,089
ST 10	0,022	0,060	0,033	9,434	1,680
ST 11	0,031	0,049	0,005	8,256	3,508
ST 12	0,087	0,024	0,023	6,541	3,555
ST 13	0,090	0,023	0,012	5,980	3,872
ST14	0,017	0,383	0,008	5,821	3,211
ST15	0,131	0,446	0,006	4,608	2,466
ST 16	0,037	0,011	0,000	22,356	3,664
Maximum	0,131	0,45	0,081	22,36	8,15
Minimum	0,002	0,01	0	3,44	0,46
Moyenne	0,056	0,082	0,022	7,11	2,87
Ecart-type	0,04	0,13	0,021	4,45	1,85

#### 3.1. Variation des nitrates :

Les valeurs de concentration en nitrates observées au niveau de la baie, sont comprises entre 0,002 (ST04) et 0,131 (ST015)  $\mu\text{mol/l}$ , avec une moyenne et un écart-type de 0,056  $\mu\text{mol/l}$  et 0,04 respectivement. Les concentrations sont vraiment faibles caractéristiques de la période d'échantillonnage qui suit la période de bloom phytoplanctonique et les faibles apports continentaux (printemps et été).

La teneur maximale est enregistrée au niveau de la station de Bou-Ismail (ST15), où le point de prélèvement se situe à l'avant de l'épi de protection qui est soumis à l'agitation des eaux avec celle du large, dont on a observé une valeur inférieure et dans la même zone mais à la proximité de la côte (ST14), ce qui peut expliquer par la réduction des nitrates aux nitrites sous l'influence d'une action dénitrifiante au niveau de la station(14) qui est remarquée par la présence d'un rejet des eaux usées avec un développement végétal plus élevés qui favorise le processus de dénitrification.

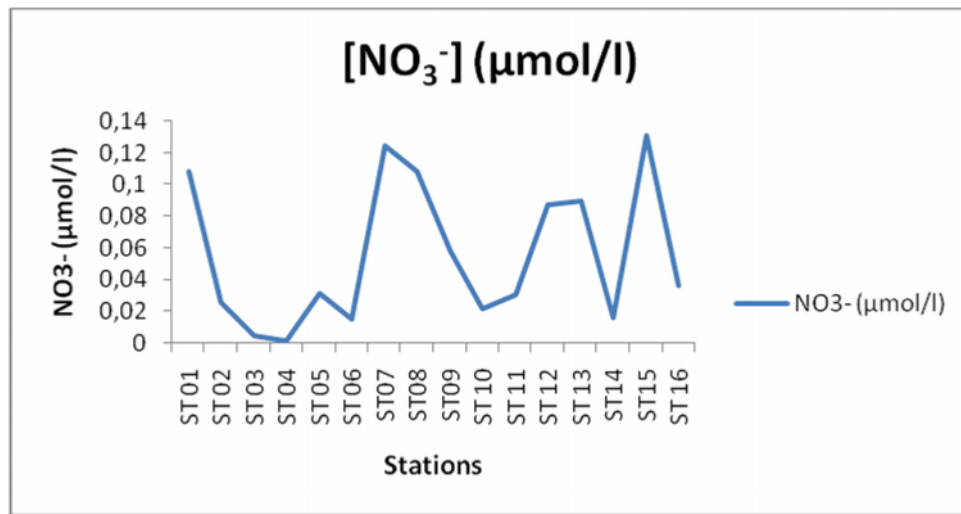


Figure 4.16 : Variation des nitrates suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.

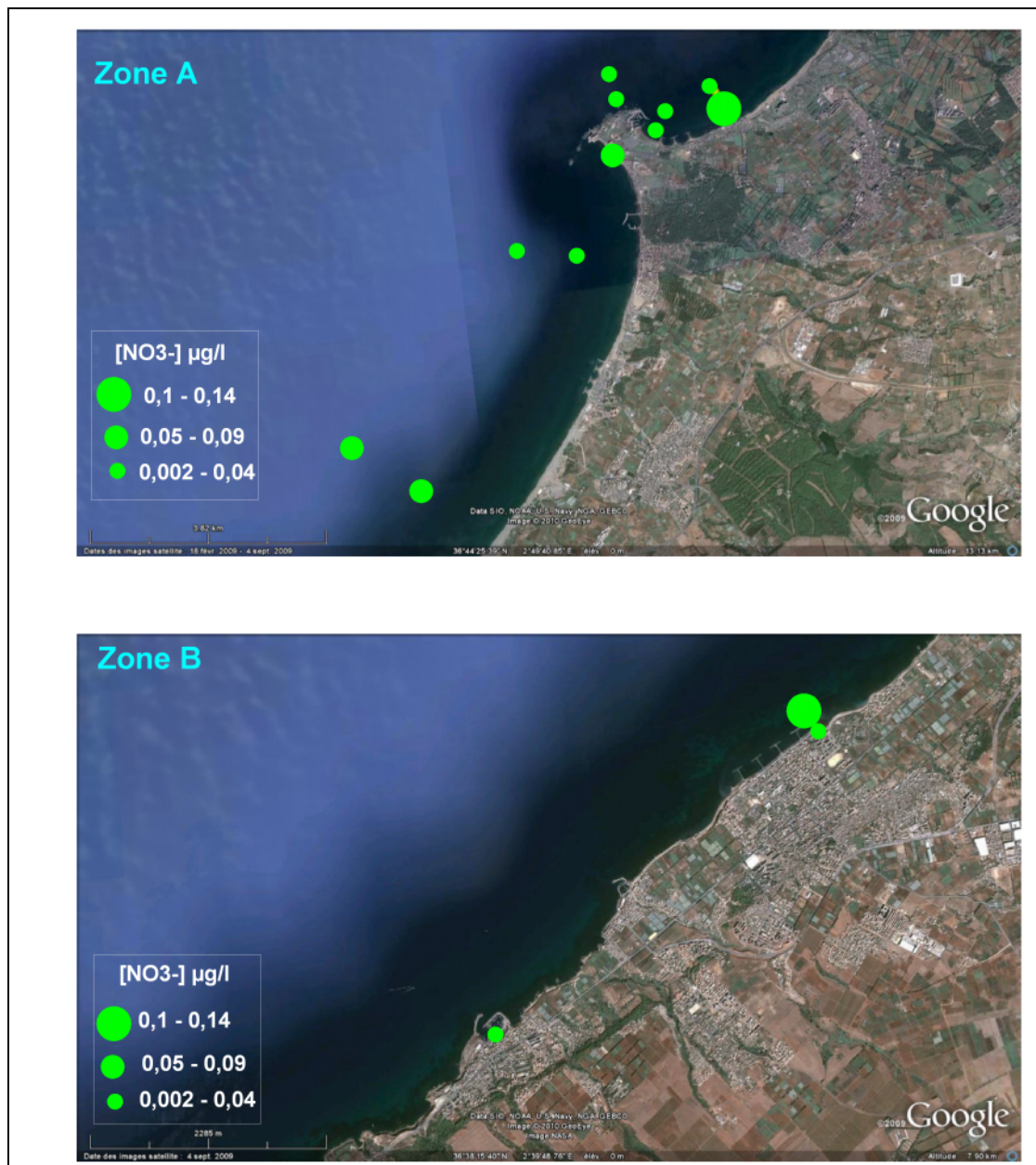


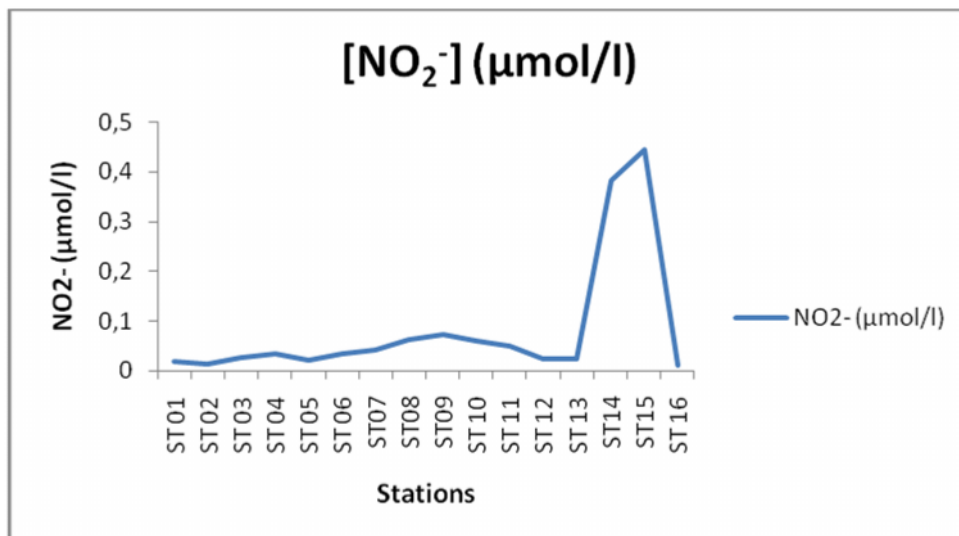
Figure 4.17 : Distribution spatiales des nitrates dans la baie de Bou-Ismaïl.

**3.2. Variation des nitrites et ammoniums :**

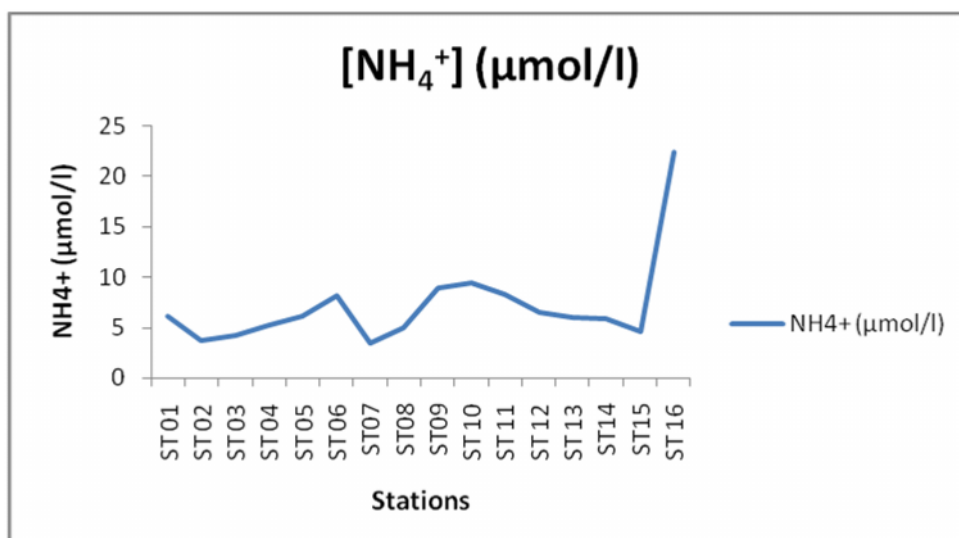
Lors de la période de Mai, la couche de surface est caractérisée par des valeurs en nitrite comprises entre un minimum de 0,013  $\mu\text{mol/l}$  au niveau de la station ST02 et un maximum de 0,45  $\mu\text{mol/l}$  au niveau de la station ST15, avec un écart-type de 0,13 et une moyenne de 0,082  $\mu\text{mol/l}$ .

Les teneurs observées en ammonium sont considérablement variables entre la côte et le large, dont on trouve les concentrations un peu plus élevées au large. Les concentrations sont incluses dans l'intervalle de 3,44  $\mu\text{mol/l}$  et 22,36  $\mu\text{mol/l}$  des stations suivantes ST16 et ST (07-15). La moyenne est de 7,11  $\mu\text{mol/l}$  avec un écart-type de 4,45.

Les teneurs les plus élevées en nitrite et en ammonium pendant notre sortie sont particulièrement localisées au niveau des stations recevant les apports continentaux. Ces endroits sont généralement enrichis en ces deux composés azotés par les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles.



**Figure 4.18 :** Variation des nitrites suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.



**Figure 4.19 :** Variation de l'ammonium suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.

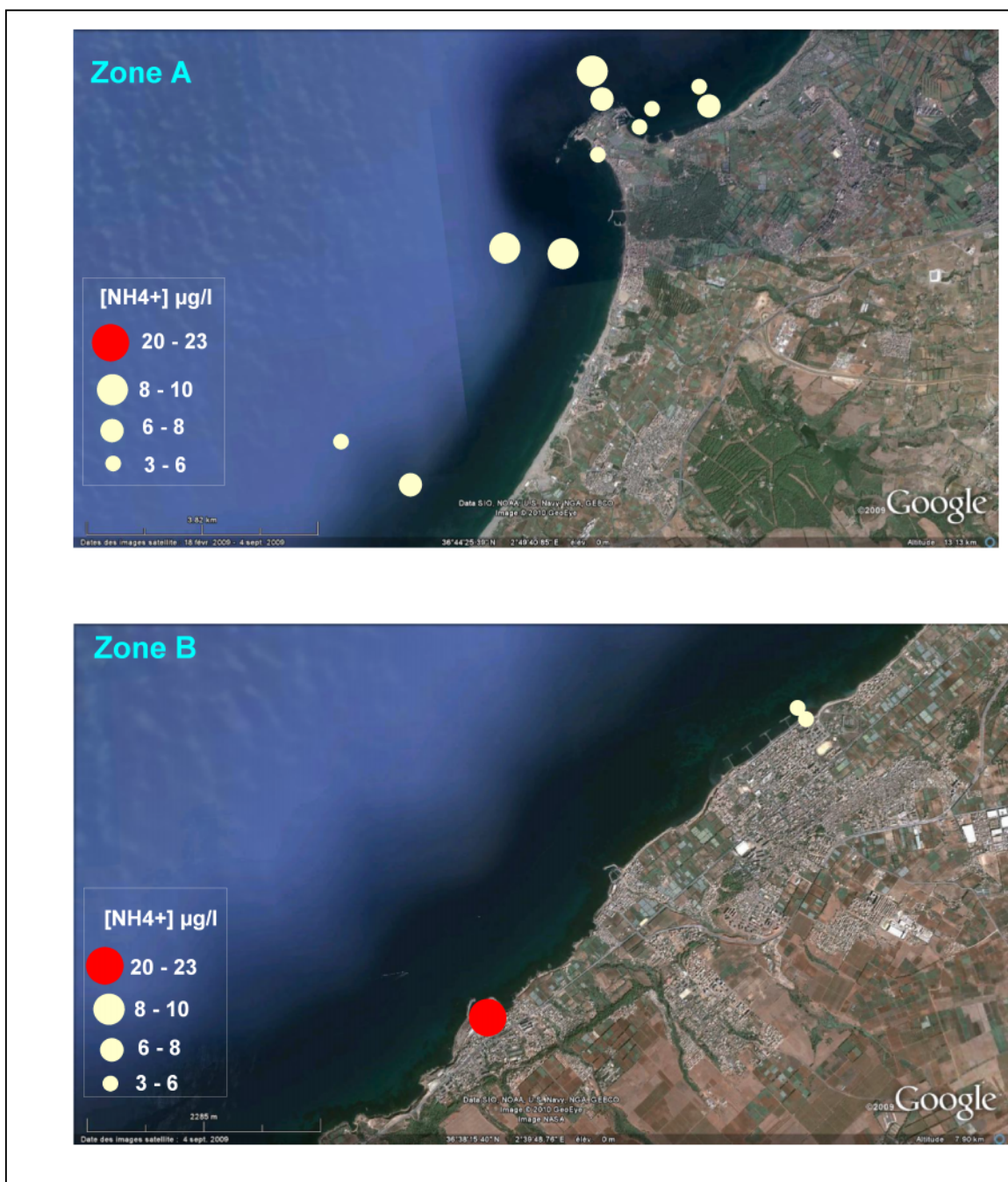


Figure 4.20 : Distribution spatiale de l'ammonium dans la baie de Bou-Ismaïl.

### 3.3. Variation des orthophosphates :

Les teneurs en orthophosphates marquent un maximum de  $0,081 \mu\text{mol/l}$  au niveau de la station ST7 (Thalasso) et un minimum de  $0 \mu\text{mol/l}$  dans la station ST16 (Port Bou-Haroun), avec une moyenne de  $0,022 \mu\text{mol/l}$  et un écart-Type de  $0,021$ .

La différence entre les valeurs des phosphates obtenues lors de l'analyse revient à la localisation des stations et tout les facteurs qui peuvent influencer la zone comme les apports continentaux, les rejets industriels (industrie agro-alimentaire, laveries, ...) et domestiques, lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ou traités par des pesticides.

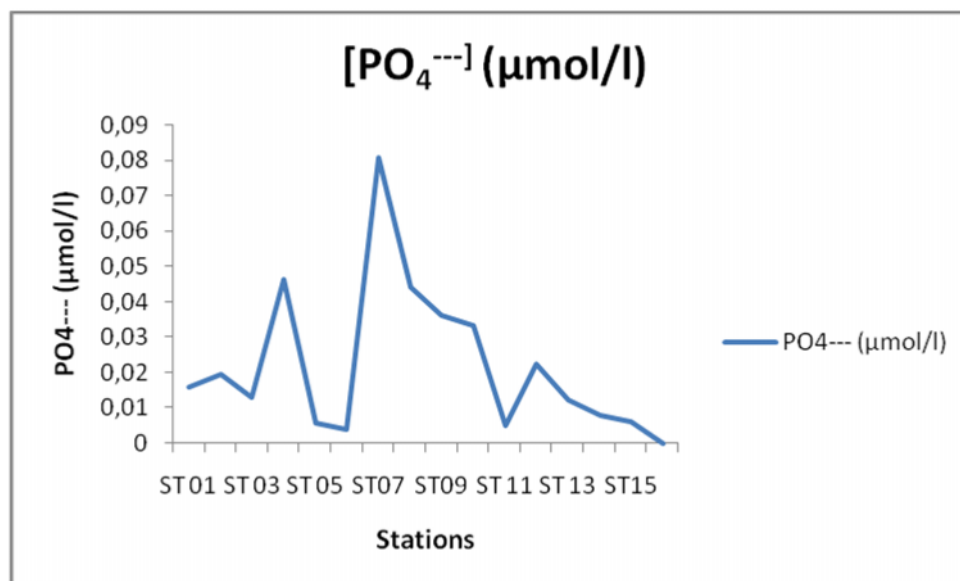


Figure 4.21 : Variation des phosphates suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismail.

### 3.4. Variation des silicates :

Les concentrations des silicates observées varient entre 0,46 µmol/l et 8,15 µmol/L. un maximum mesuré au niveau de la station ST02 (Cheraton large) et un minimum dans la station ST04 (Thalasso), une moyenne de 2,87 µmol/l et un écart-type de 2,023.

Les fluctuations des silicates sont faibles, et cela peut être dû à la consommation des silicates par des micro-organismes marins.

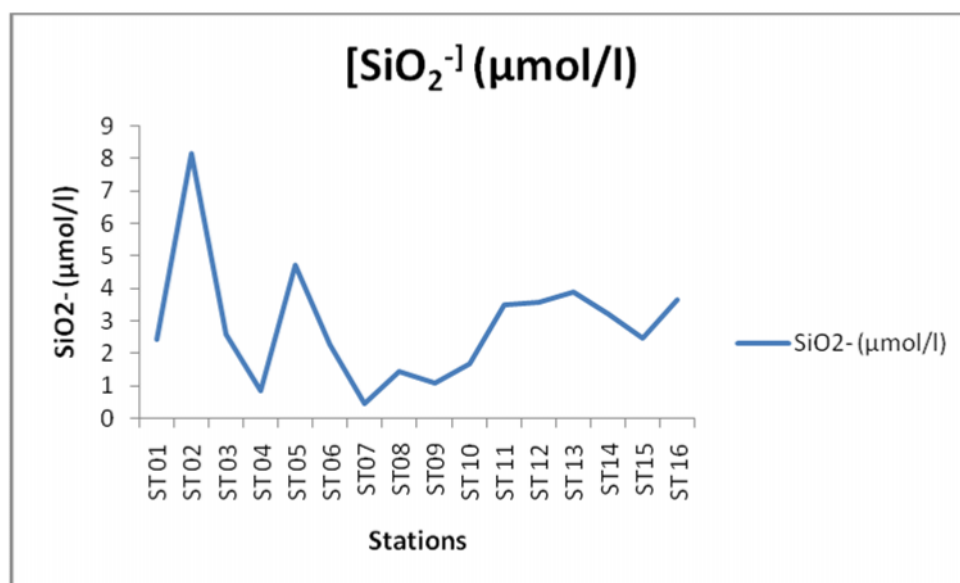


Figure 4.22 : Variation des silicates suivant les stations au niveau de la baie de Bou-Ismail.

### 3.5. Comparaison des Teneurs en sels nutritifs obtenues dans la baie de Bou-Ismaïl avec des données antérieures :

Le tableau suivant, nous montre les différentes teneurs en sels nutritifs dans la baie de Bou-Ismaïl obtenues au cours de notre campagne et des campagnes antérieures.

Les valeurs des concentrations des nitrates et des silicates sont similaires en 2008 et 2010, concernant celles des nitrites, elles sont plus faibles en 2002 qu'en 2008 et 2010, L'ammonium se trouve plus faible en 2002 et similaire en 2008 et 2010. Les teneurs des orthophosphates est plus élevées en 2008 et très faibles en 2003 et 2010.

Cette différence est due à la saison d'échantillonnage et à l'emplacement des stations.

D'une part, au mois de Mai le bloom printanier est en cours et l'épuisement des sels nutritifs ne survient qu'en Juin (Illoul, 1991).

D'autre part, le printemps est généralement pluvieux comparé à l'été, par conséquent les débits des oueds sont plus importants à cette saison là qu'en saison estivale. Les apports terrigènes des sels nutritifs doivent être plus élevés en Mai qu'en juillet.

**Tableau 4.4 :** Comparaison des teneurs en sels nutritifs avec celles obtenues antérieurement dans la baie de Bou-Ismaïl ( $\mu\text{mol/l}$ ).

Années Concentrations	Notre étude		Haddouche, 2003		Samari, 2008	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
<b>Nitrates</b>	0,002	0,131	0,01	0,27	0,0105	0,693
<b>Nitrites</b>	0,011	0,446	0,002	0,0075	0,123	3,39
<b>Ammonium</b>	3,440	22,360	0,010	0,450	0,647	27,117
<b>Phosphates</b>	0,000	0,081	0,090	0,210	0,176	2,92
<b>Silicates</b>	0,460	8,150	1,040	6,530	/	/

## 4. Etude de l'eutrophisation en baie de Bou-Ismaïl

### 4.1. Analyse des rapports $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^-$ et $\text{COT}/\text{NO}_3^-$

#### 4.1.1. Diagramme de corrélation $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^-$ de la baie de Bou-Ismaïl:

Le diagramme  $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^-$  au niveau de la baie ne montre pas de corrélation entre ces deux paramètres, (Figure4.23).

Le rapport  $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^-$  calculé est de 0,69. Celui-ci est trouvé à partir de la pente de la droite de régression :

$$\text{NO}_3^- = 0,69\text{PO}_4^- + 0,0406. (r = 0,108)$$

Le coefficient de corrélation ( $r = 0,108$ ), montre que la relation n'est pas significative entre  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{PO}_4^-$ , et confirme donc une origine exogène de phosphore organique et de l'azote organique dans la baie. En effet, la MO marine et particulièrement le plancton a un rapport N/P de 16 (Redfield et al in Jaque et Tréguer, 1986).

En revanche, notre rapport N/P est inférieure à 1, ce qui peut s'expliquer comme suit : les concentrations de  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{PO}_4^-$  ont gardé le signal d'un rapport N/P relatif à des rejets domestiques ( $\text{N/P} < 6$ , Lacaze, 1996), souvent riches en poly-phosphates et ammonium qui proviennent de la biodégradation de la matière d'origine organique.

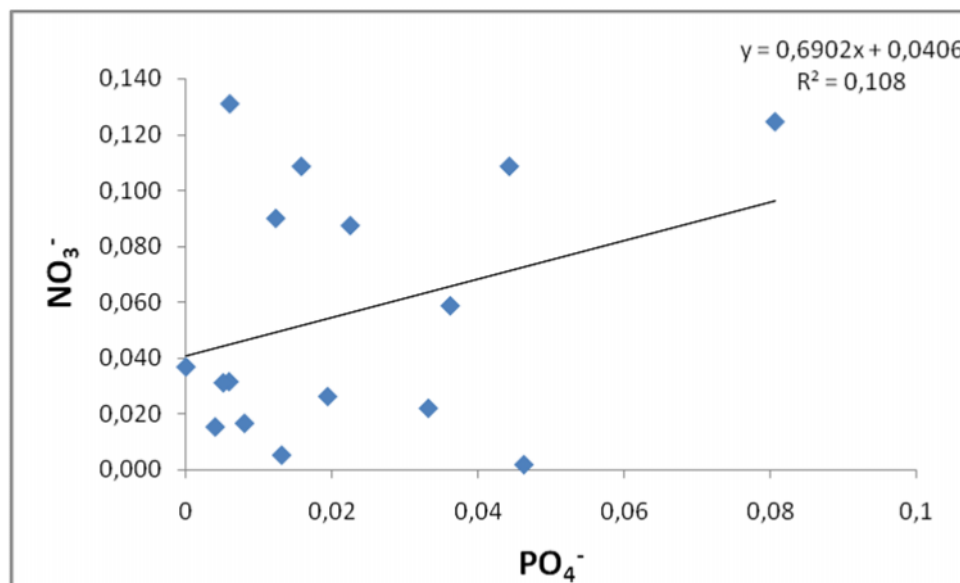


Figure 4.23 : Diagramme de corrélation entre les  $\text{NO}_3^-$  et les  $\text{PO}_4^-$ .

#### 4.1.2. Diagramme COT/ $\text{NO}_3^-$ de la baie de Bou-Ismaïl :

Le diagramme COT/ $\text{NO}_3^-$  ne montre pas de corrélation entre ces deux paramètres (Figure 4.24). Le rapport COT/ $\text{NO}_3^-$  est de -9,45. Celui-ci est trouvé à partir de la pente de la droite de régression :

$$\text{COT} = -9,4452 \text{NO}_3^- + 1,613. (r = 0,31)$$

Le coefficient de corrélation ( $r = 0,31$ ), montre que la relation n'est pas significative entre le COT et  $\text{NO}_3^-$  ainsi que le rapport est différent de 6,625 (Redfield, 1963), donc le  $\text{NO}_3^-$  est d'origine exogène. Il pourrait provenir du lessivage des terres agricoles de la baie au cours de la saison précédente.

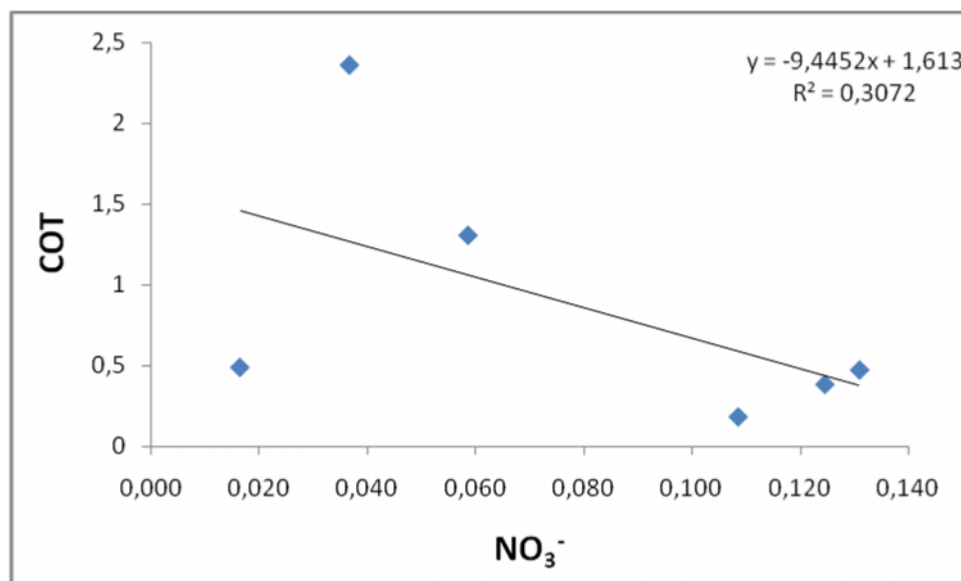


Figure 4.24 : Diagramme de corrélation entre le COT et les NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

#### 4.2. Source de la MES en baie de Bou-Ismaïl :

La matière en suspension en baie de Bou-Ismaïl peut être identifiée comme principalement endogène ou exogène en analysant sa corrélation à divers paramètres :

##### 4.2.1. Corrélation MES/PO<sub>4</sub><sup>-</sup> :

Le diagramme MES/PO<sub>4</sub><sup>-</sup> ne montre pas de corrélation entre ces deux paramètres (Figure 4.19). Le rapport MES/PO<sub>4</sub><sup>-</sup> est de -1508. Celui-ci est trouvé à partir de la pente de la droite de régression :

$$\text{MES} = -1508 \text{ PO}_4^- + 219,41. \quad (r = 0,1677).$$

Le coefficient de corrélation ( $r = 0,1677$ ), montre que la relation n'est pas significative entre la MES et le PO<sub>4</sub><sup>-</sup>. La MES et le PO<sub>4</sub><sup>-</sup> son anti-corrélés, ils n'ont donc pas la même source.

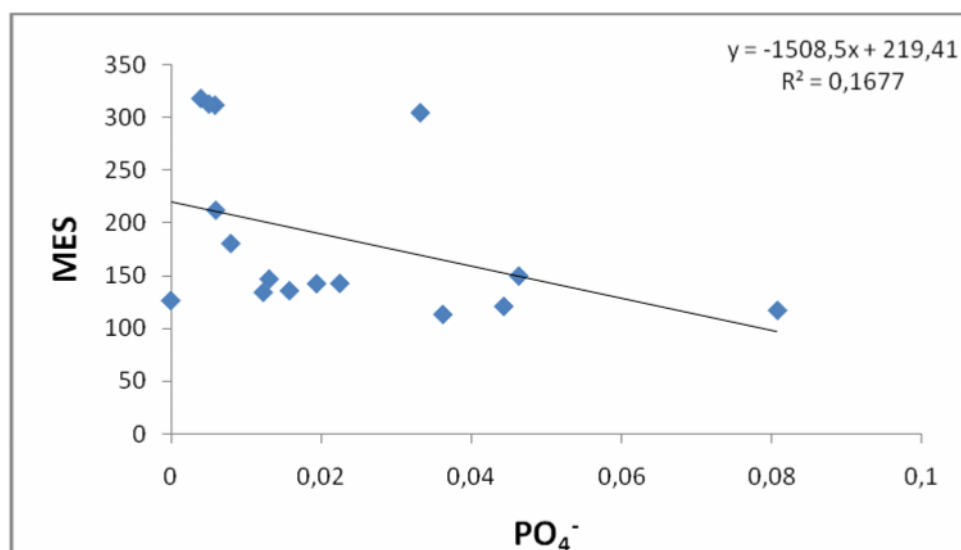


Figure 4.25 : Diagramme de corrélation entre la MES et les PO<sub>4</sub><sup>-</sup>.

#### 4.2.2. Corrélation MES/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> :

Le diagramme MES/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ne montre pas de corrélation significative ( $r = 0,0052$ ) entre ces deux paramètres (Figure 4.20).

Le rapport MES/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> est de 61,065. Celui-ci est trouvé à partir de la pente de la droite de régression :

$$\text{MES} = 61,065 \text{ NO}_3^- + 10,87. (r = 0,0052)$$

Le NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et la MES pourrait provenir dans la même source.

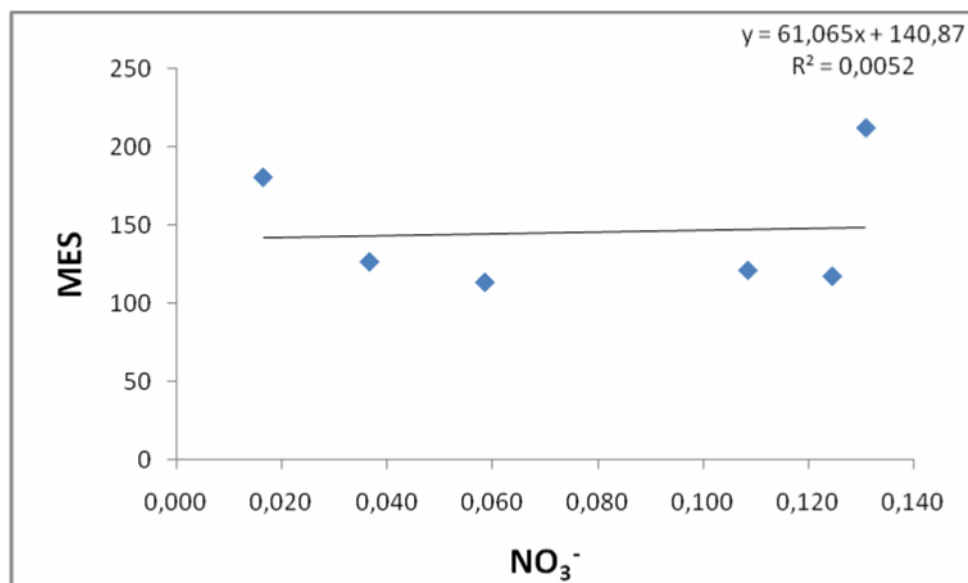


Figure 4.26 : Diagramme de corrélation entre la MES et les NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

#### 4.2.3. Corrélation MES/Chlorophylle :

Le diagramme MES/Chl ne montre pas de corrélation entre ces deux paramètres (Figure 4.21).

Le rapport MES/Chl est de -27,747. Celui-ci est trouvé à partir de la pente de la droite de régression :

$$\text{MES} = -27,747 \text{ Chl} + 202,21. (r = 0,0725).$$

Le coefficient de corrélation ( $r = 0,0725$ ), montre que la relation n'est pas significative entre la MES et la chlorophylle et confirme que la MES n'est pas issue du phytoplancton local.

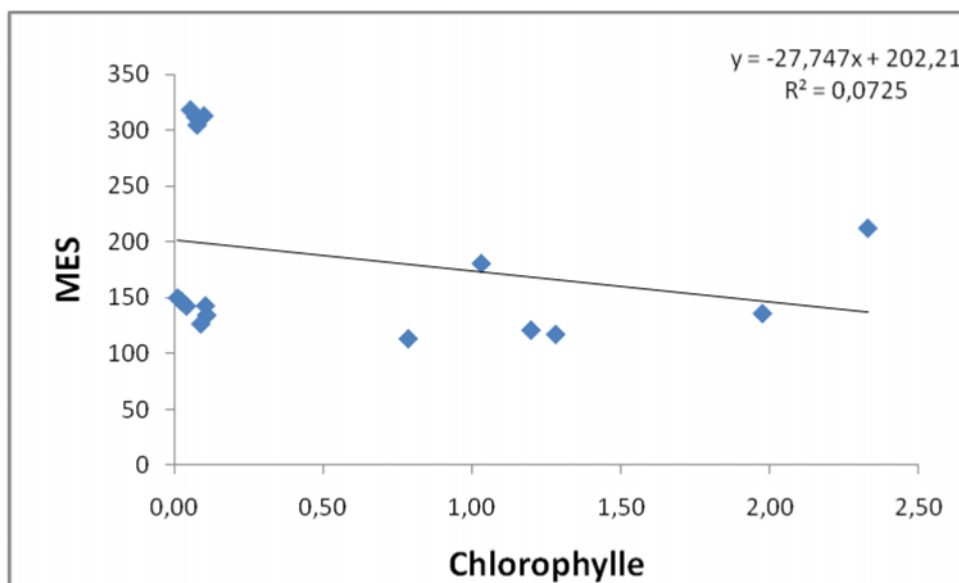


Figure 4.27 : Diagramme de corrélation entre la MES et la chlorophylle.

#### 4.2.4. Corrélation MES/COT :

Le diagramme MES/COT ne montre pas de corrélation entre ces deux paramètres (Figure4.22).

Le rapport MES/COT est de -15,087. Celui-ci est trouvé à partir de la pente de la droite de régression :

$$\text{MES} = -15,087 \text{ COT} + 158,74 \quad (r = 0,0918).$$

Le coefficient de corrélation ( $r = 0,0918$ ), montre que la relation n'est pas significative entre la MES et Le COT.

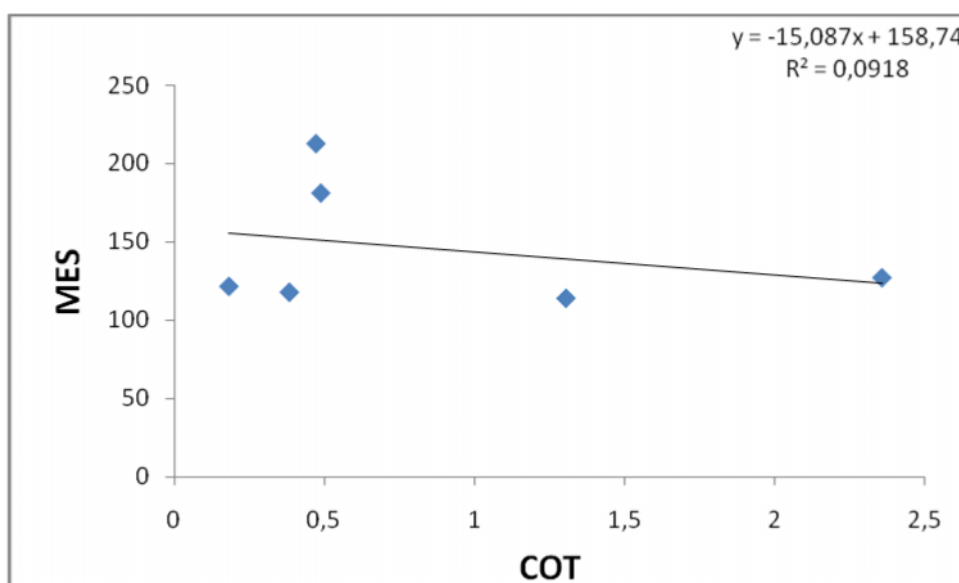


Figura 4.28 : Diagramme de corrélation entre la MES et le COT.

En résumé de ces analyses de corrélation avec celles des sels nutritifs, il semblerait que les rapports  $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^-$  augmente parallèlement avec la disparition totale des phosphate mesurable dans le milieu.

La variation observée au niveau de notre compagnie en  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{PO}_4^-$  restent réduite à l'échelle océanique globale, quand le site n'est pas influencé par les apports extérieurs ; les variations intrinsèques de la zone sont très faibles (  $1 \mu\text{mol}$ ).

On peut déduire aussi que l'essentiel de la MES et du  $\text{NO}_3^-$  est d'origine exogène, alors que le COT et le  $\text{PO}_4^-$  sont tout les deux endogènes.

## 5. Discussions des résultats des métaux lourds :

**Tableau 4.5:** Les résultats des métaux lourds du sédiment superficiel obtenus au niveau de la baie de Bou-Ismail :

Elément Stations	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Mn mg/kg	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Fe g/kg	Zn mg/kg
ST 2	35,79	28,49	750,76	17,56	0,53	23,52	40,45
ST 4	38,77	18,35	713,58	11,34	0,63	26,42	35,11
ST 7	37,42	9,96	726,51	18,26	0,61	21,96	60,36
ST 8	36,87	21,13	723,81	21,3	0,58	22,31	41,07
ST 9	38,51	19,92	677,98	17,92	0,28	24,27	41,07
ST 10	62,62	26,07	738,36	29,44	0,38	36,47	51,89
ST 11	46,22	13,04	701,18	27,82	0,47	37,04	52,66
ST 12	43,24	26,56	711,8	21,07	0,52	29,12	73,26
ST 13	41,75	16,9	708,26	20,26	0,25	39,11	61,05
Maximum	62,62	28,49	750,76	29,44	0,63	39,11	73,26
Minimum	35,79	9,96	677,98	11,34	0,25	21,96	35,11
Moyenne	42,35	20,05	716,92	20,55	0,47	28,91	50,77
Ecart-type	8,31	6,27	21,27	5,46	0,14	6,86	12,49

### 5.1. Résultats des mesures obtenus :

#### 5.1.1. Le plomb (Pb) :

Les concentrations de plomb dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismail appartiennent à l'intervalle [11,34 – 29,44] mg/kg, avec une moyenne de 20,55 mg/kg.

La plus faible teneur s'observe au niveau de la station 4 qui correspond à la passe du port de Sidi Fredj, tandis que la teneur la plus élevée s'observe au niveau de la station 10, qui correspond à la plage de Palm Beach près de la côte, cette élévation est probablement due à la nature du sédiment à laquelle le plomb a une tendance d'adsorption. Les autres stations ont des teneurs plus au moins homogènes.

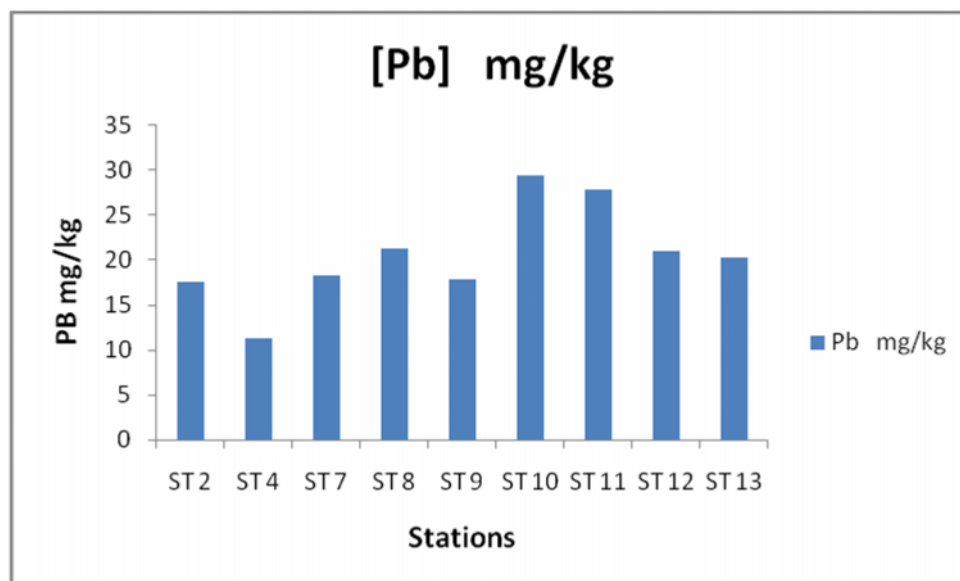


Figure 4.29 : La distribution du plomb dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl.

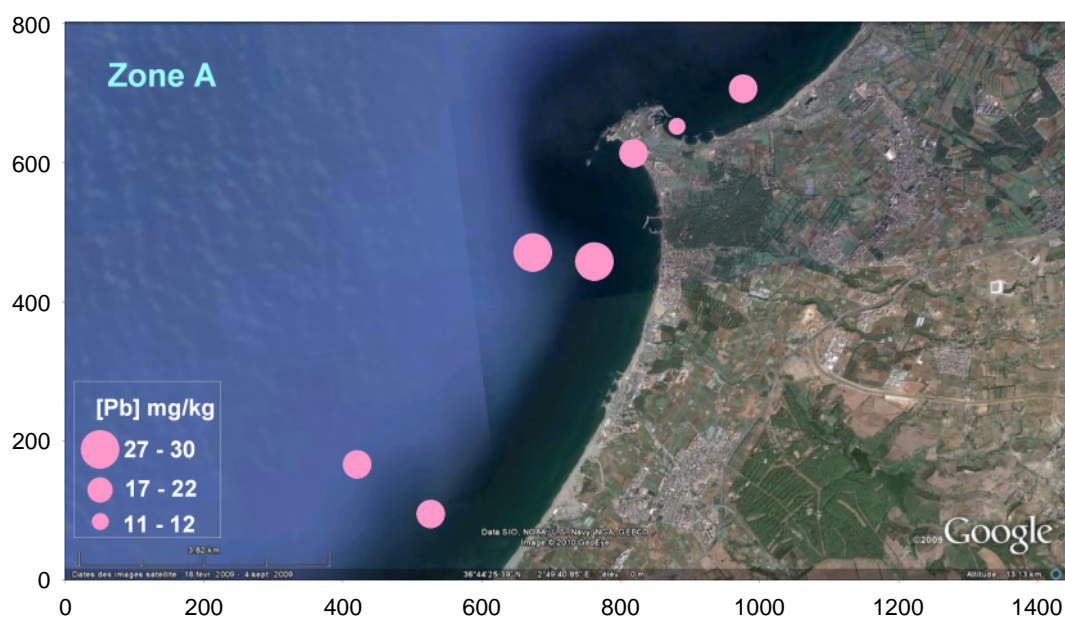


Figure 4.30. Distribution spatiale du plomb dans la baie de Bou-Ismaïl.

### 5.1.2. Le cadmium (Cd) :

Les teneurs de cadmium dans le sédiment superficiel de la Baie de Bou-Ismaïl varient entre 0,25 mg/kg et 0,63 mg/kg, avec une moyenne de 0,47 mg/kg.

La valeur la plus faible est trouvée au niveau de la station 13, qui se trouve en face d’oued Mazafran un peu au large, cependant la valeur la plus élevée est trouvée au niveau de la station 4, qui se trouve à l’entrée du port de Sidi Fredj.

La répartition spatiale du cadmium montre des valeurs un peu élevées aux alentours du port de Sidi Fredj (ST 2, ST4, ST7, ST8), où il y a une intense circulation des navires de plaisance, ces stations semblent être contaminées par ces derniers (dissolution de la peinture), sachant que le

cadmium, est utilisé dans la fabrication de certains alliages, de peinture et de matières plastiques (Rodier, 1996).

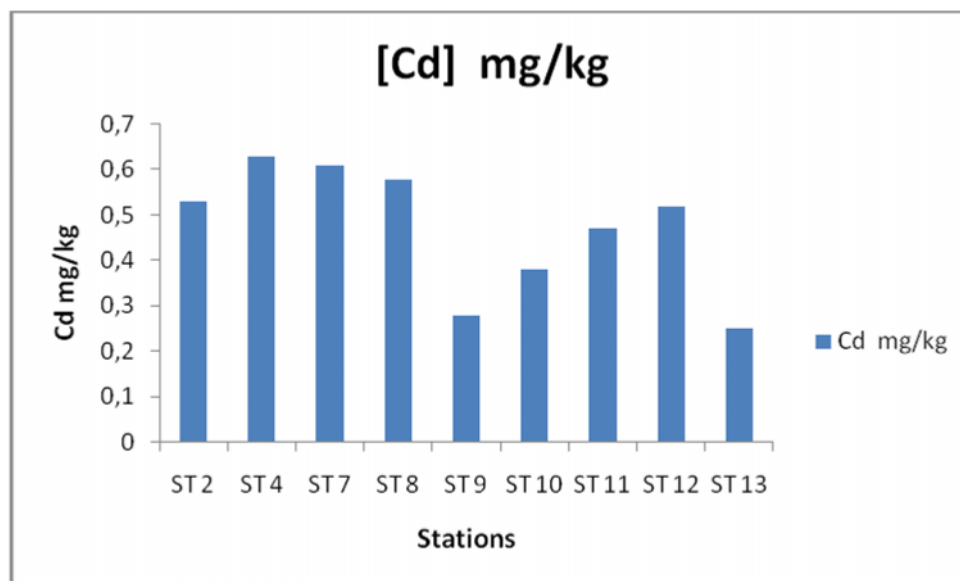


Figure 4.31 : La distribution de cadmium dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl.

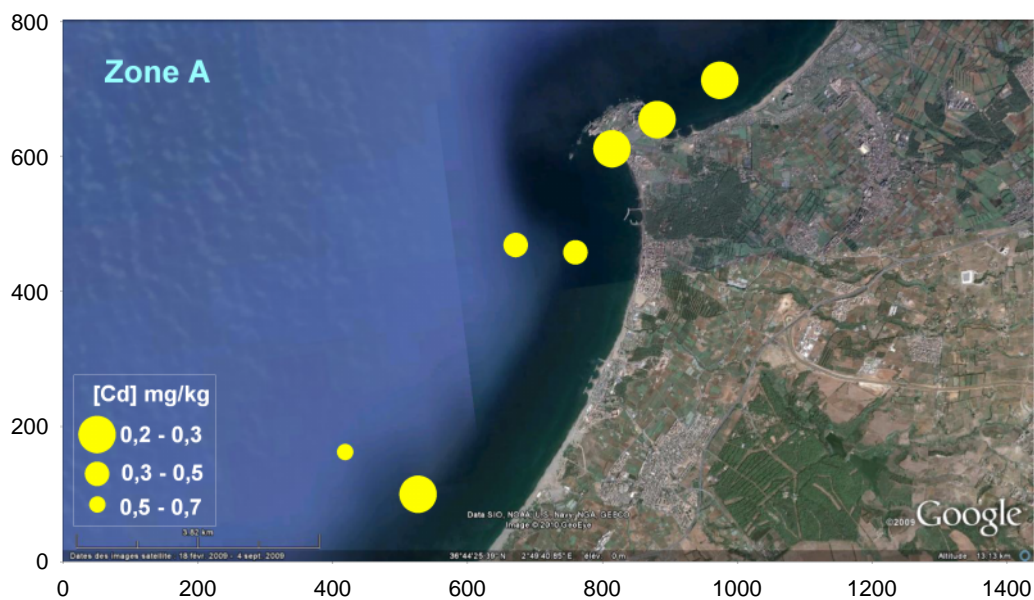


Figure 4.32. Distribution spatiale du cadmium dans la baie de Bou-Ismaïl.

### 5.1.3. Le mercure (Hg) :

La méthode de spectroscopie de fluorescence X ne permet pas l'analyse de mercure.

### 5.1.4. L'arsenic (As) :

L'arsenic n'est pas calculé à cause de l'absence de sa concentration dans le standard.

5.1.5. Le chrome (Cr) :

Les teneurs en chrome dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl appartiennent à l'intervalle [35,79 – 62,62] mg/kg, avec une moyenne de 42,35 mg/kg.

La station 2 montre la valeur la plus faible, qui se trouve à l'ouest de Cheraton, tandis que la valeur la plus élevée est observée au niveau de la station 10, cette station semble être contaminée par un rejet industriel.

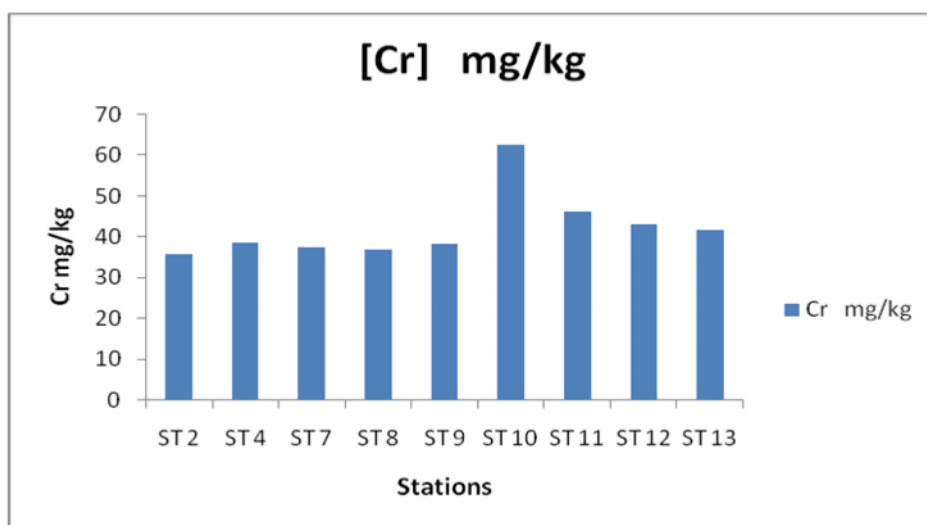


Figure 4.33 : La distribution du chrome dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl.

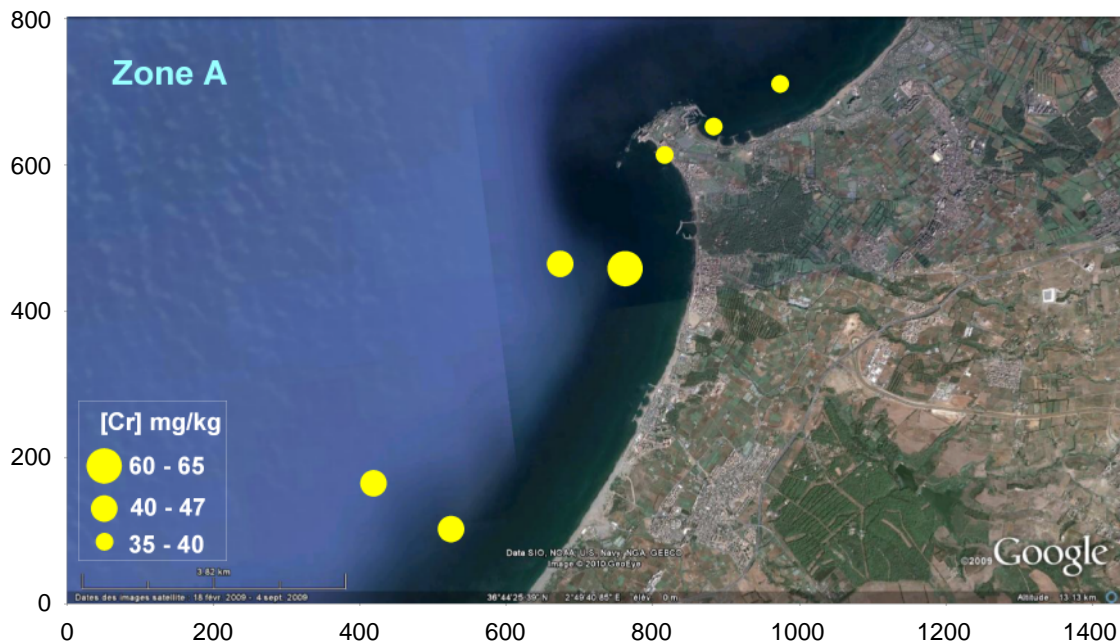


Figure 4.34. Distribution spatiale du Chrome de dans la baie de Bou-Ismaïl.

5.1.6. Le zinc :

Les concentrations de zinc dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl, varient entre 35,11 mg/kg et 73,26 mg/kg, avec une moyenne de 50,77 mg/kg.

La teneur la plus faible s’observe au niveau de la station 4, qui correspond à la passe du port de Sidi Fredj, tandis que la teneur la plus élevée est observée au niveau de la station 12, qui se trouve aux alentours d’oued Mazafran près de la côte.

La répartition spatiale des concentrations de zinc montre des valeurs élevées dans les stations 7, 12, 13, situées à proximité des rejets d’eau usée et des apports terrigènes ; les autres stations ont des concentrations plus au moins homogènes, avec des valeurs un peu faibles pour les stations 2, 4, 10, 11, malgré la proximité du port de Sidi-Fredj.

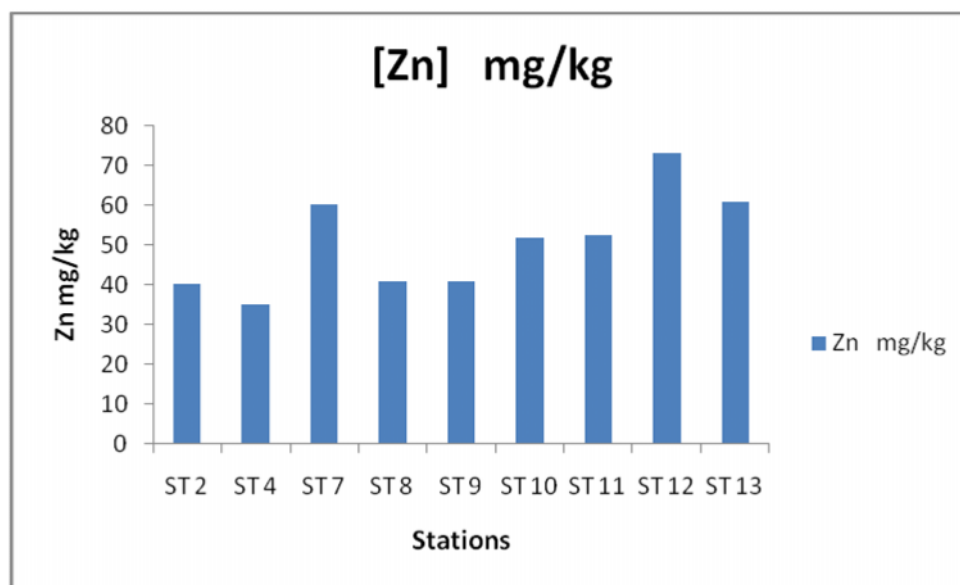


Figure 4.35 : La distribution du zinc dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl.

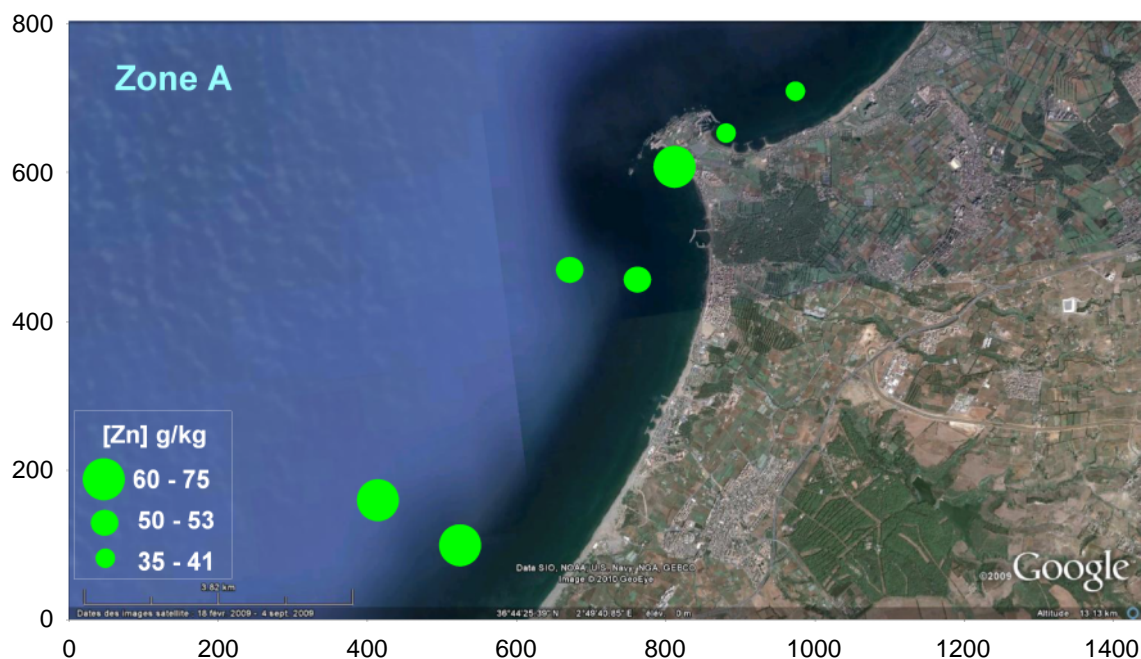


Figure 4.36 : Distribution spatiale du zinc dans la baie de Bou-Ismaïl.

5.1.7. Le cuivre :

Les teneurs en cuivre du sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl varient dans l'intervalle [9,96 – 28,49] mg/kg, avec une moyenne 20,05 mg/kg.

La station 7 située en face du laboratoire de l'ENSSMAL (Sidi-Fredj), montre la valeur la plus faible, cependant la station 2 située à proximité de l'hôtel Sheraton montre la valeur la plus élevée.

Les stations 2, 10, 12, qui se situent près de la côte montrent des valeurs plus élevées que celle des stations 11, 13, qui se situent un peu au large ; dans les sédiments du faciès sableux, les fortes teneurs en cuivre ne sont dues qu'à l'exposition directe aux effluents d'origine industriel (peinture antifouling), (SERICANO et al, 1982, in HADOUICHE, 2003).

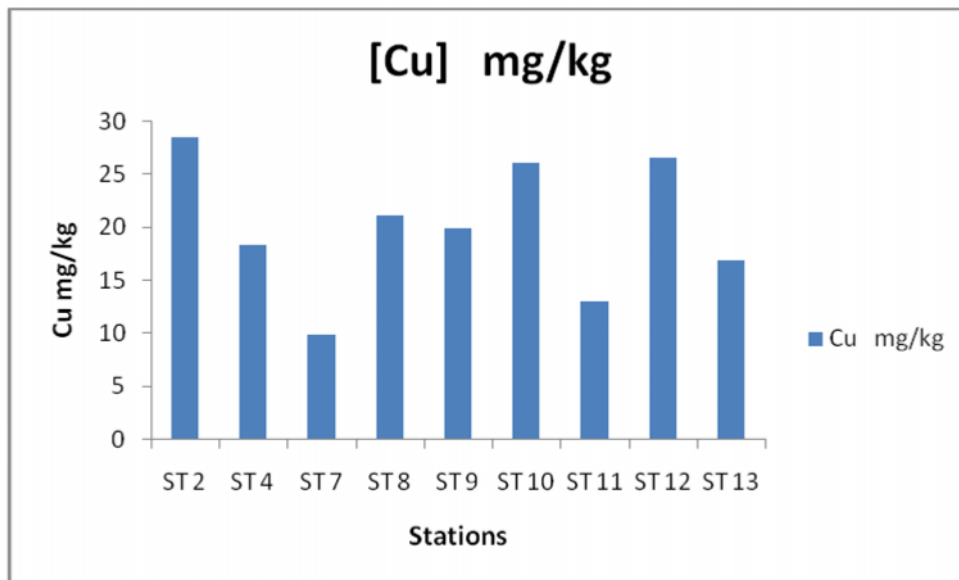


Figure 4.37 : La distribution du cuivre dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl.

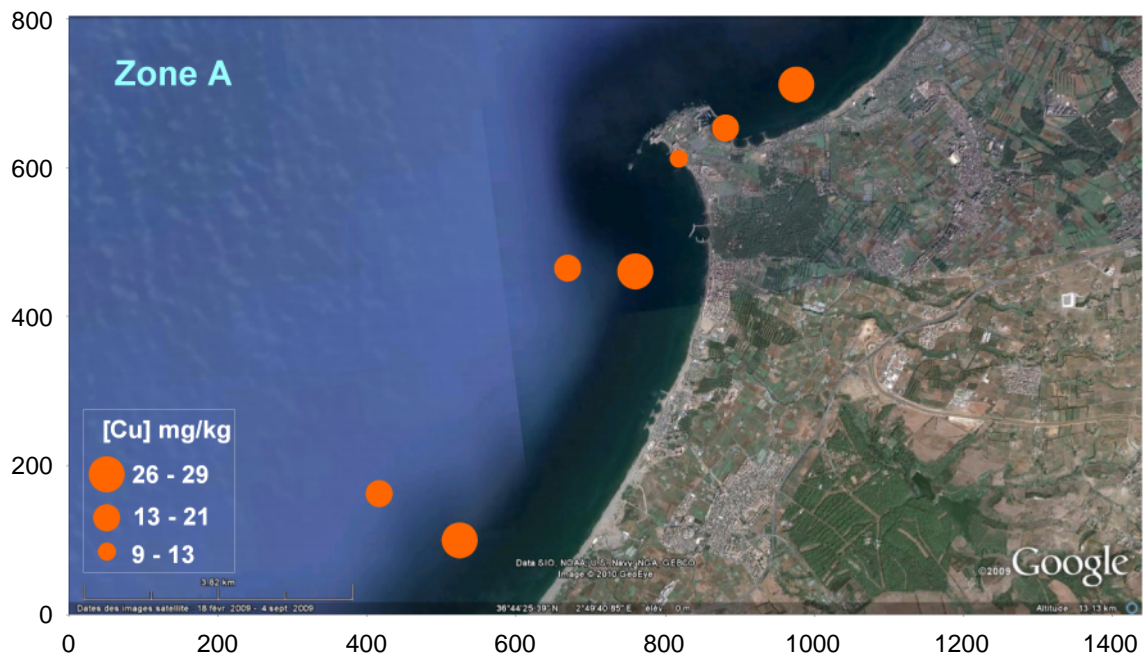


Figure 4.38 : Distribution spatiale du cuivre dans la baie de Bou-Ismaïl.

5.1.8. Le manganèse :

Les teneurs en manganèse du sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl sont comprises entre 677,98 mg/kg et 750,76 mg/kg, avec une moyenne de 716,92 mg/kg.

La valeur la plus faible est notée à la station 9 (en face du laboratoire de l'ENSSMAL), tandis que la valeur la plus élevée est notée à la station 2 (en face de Sheraton) ; les stations 10 et 2 montrent des valeurs élevées malgré que le sédiment est de nature sableuse – le manganèse a généralement une grande affinité pour les argiles et la matière organique (FAGUET, 1982 ; in HADOUCHE, 2003) –, les autres stations montrent des valeurs plus au moins homogènes.

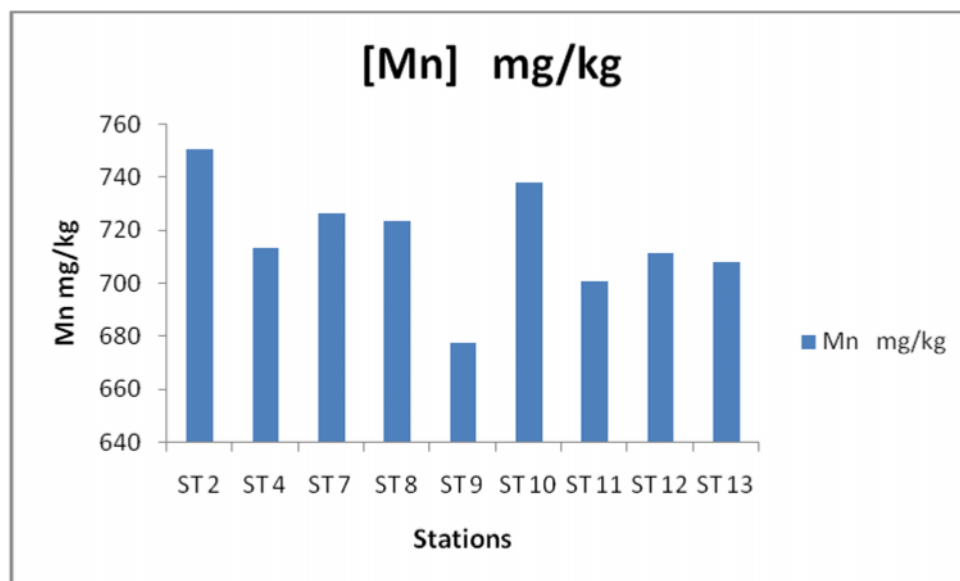


Figure 4.39: La distribution du manganèse dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl.

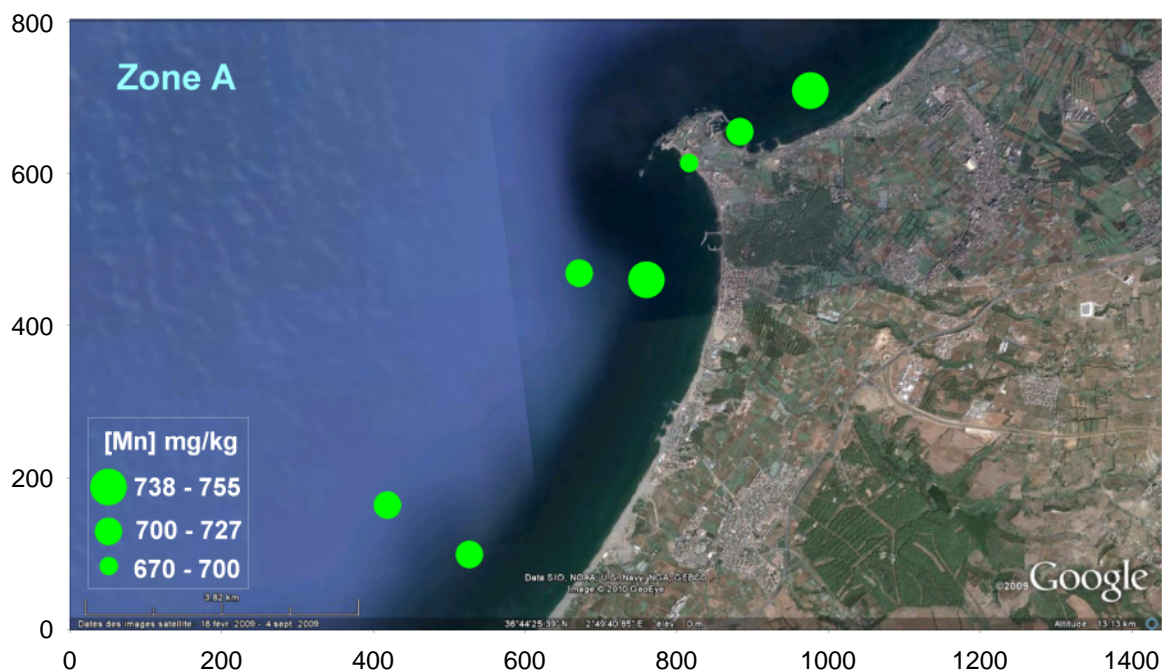


Figure 4.40 : Distribution spatiale du manganèse dans la baie de Bou-Ismaïl.

5.1.9. Le fer :

Les concentrations du fer dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl appartiennent à l'intervalle [21,96 - 39,11] g/kg, avec une moyenne de 28,91 g/kg.

La valeur la plus faible est rencontrée au niveau de la station 7, qui se situe en face du laboratoire de l'ENSSMAL, cependant la valeur la plus élevée est rencontrée au niveau de la station 13, qui se situe aux alentours d'oued Mazafran.

Les stations 10, 11, 12, 13, montrent des valeurs élevées, cela est probablement dû aux apports d'oued Mazafran, les autres stations montrent des valeurs plus au moins homogènes et faibles, malgré la proximité du port de Sidi-Fredj.

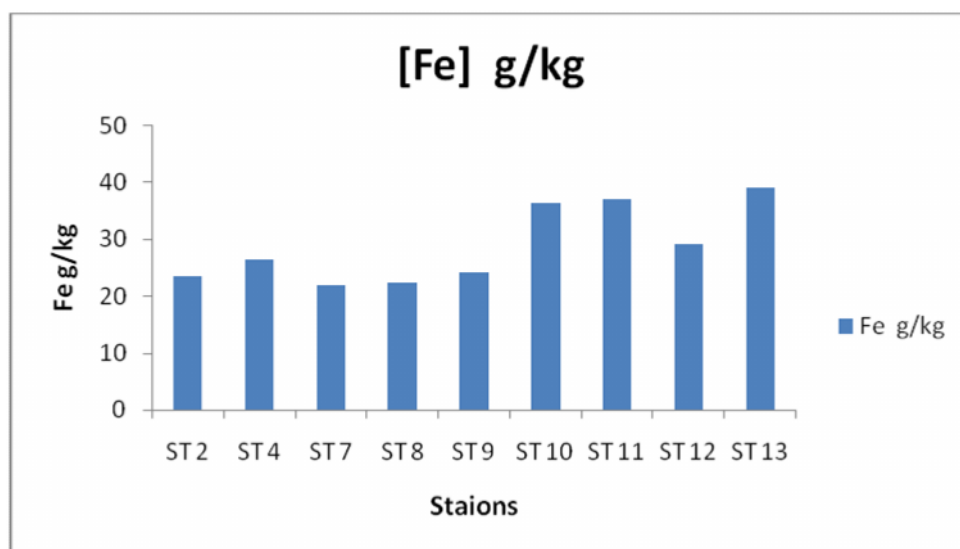


Figure 4.41 : Distribution du fer dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl.

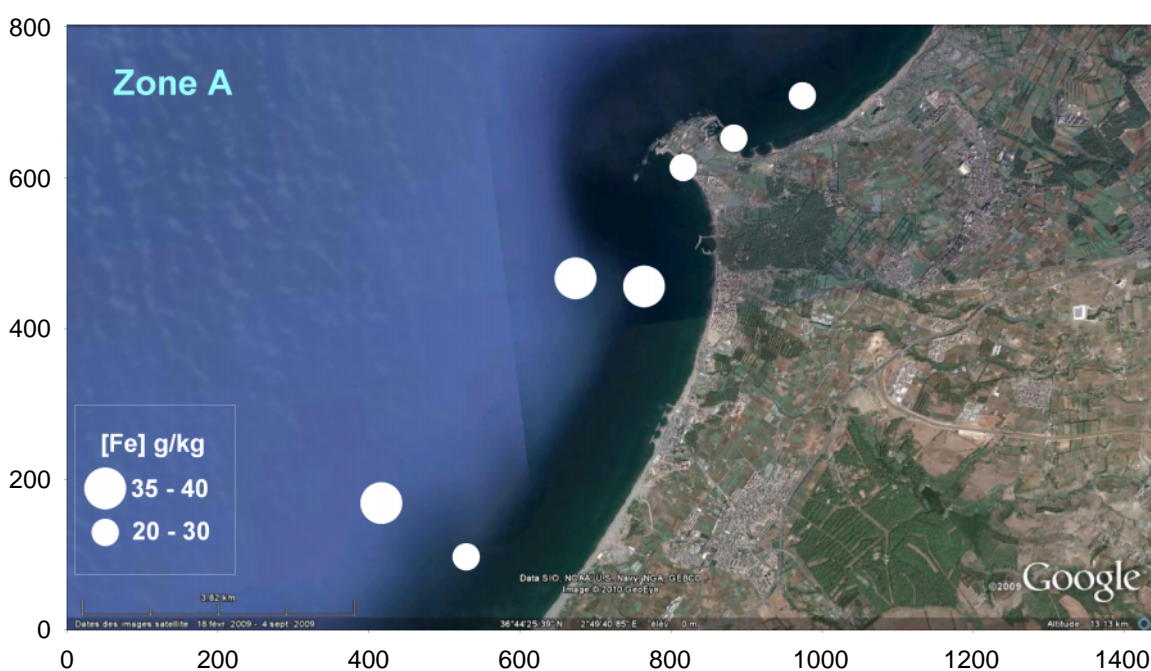


Figure 4.42 : Distribution spatiale du fer dans la baie de Bou-Ismaïl.

## **5.2. La corrélation entre métaux lourds des sédiments et la matière organique du sédiment :**

Le cycle biogéochimique des métaux lourds montre qu'il existe un rôle important de la MES dans le transfert vertical de la sédimentation des métaux lourds, (Libes, 1992). En effet, la matière organique particulaire a tendance à être chargée légèrement négativement au pH de l'eau de mer et donc les cations métalliques s'adsorbent facilement sur la MES celles-ci est riche en MO. Hormis cet affinité électrique, certains métaux comme le fer, le cuivre, le zinc sont essentiels à la vie et sont incorporés aux tissus organiques. Ils suivent alors un cycle biogéochimique proche de celui des sels nutritifs et on les appelle oligo-éléments.

L'étude des relations entre les teneurs en métal dans le sédiment de la baie de bou-Ismaïl et la matière organique du même sédiment montre que deux métaux analysés présentent des corrélations significatives avec la matière organique, il s'agit du zinc et du fer, métaux essentiels à la vie (Figure 4.52). Les autres métaux ne présentent pas de corrélation significative avec la matière organique.

Pour ce qui est du zinc et du fer, le mécanisme par lesquels ils peuvent être corrélés à la MO doit être l'adsorption simple sur la MES et par incorporation dans la matrice biogénique par voie d'assimilation biologique.

## **5.3. Estimation du niveau de contamination du sédiment marin superficiel de la baie de Bou-Ismaïl :**

L'estimation du niveau de contamination du sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl par les métaux lourds étudiés, est réalisée par :

- Comparaison des teneurs en métaux lourds avec celles obtenues dans d'autres études au niveau de la baie.
- Calcul d'indice de contamination.

### **5.3.1. Comparaison des teneurs en métaux lourds avec celles obtenues dans d'autres études antérieures au niveau de la baie de Bou-Ismaïl:**

- Les valeurs du zinc enregistrées au niveau du sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl sont largement inférieures à celles obtenues par Aouidad, 1997 et Haddouche, 2003.
- Pour le manganèse, le plomb et le chrome, les teneurs obtenues sont supérieures à celles trouvées par Aouidad, 1997 et Haddouche, 2003.
- Concernant le cuivre, les concentrations sont comparables à celles obtenues par Aouidad, 1997 et plus élevées à celles trouvées par Haddouche, 2003.
- Le cadmium présente des teneurs légèrement peu élevés par rapport à celles observées par Haddouche, 2003.

**Tableau 4.6 :** Comparaison des teneurs en métaux lourds avec celles obtenues antérieurement dans la baie de Bou-Ismaïl (mg/kg).

Année Eléments	Notre étude, 2010		Haddouche, 2003		Aouidad, 1997	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
Zn	35,110	73,260	64,08	99,4	88,85	95,06
Mn	677,980	750,760	230,81	282	207	291
Cu	9,960	28,490	3,680	15,370	17,497	23,38
Cd	0,250	0,630	0,146	0,206	/	/
Pb	11,340	29,440	5,190	14,430	/	/
Cr	35,79	62,62	/	/	22,336	26,683

### 5.3.2. Calcul d'indices de contamination :

Pour estimer l'état de pollution en métaux lourds d'un sédiment marin, on a recours à une comparaison avec des normes ou des concentrations dites normales.

**Tableau 4.7 :** Les concentrations des métaux lourds considérées comme normales (A. B. R. M. C. 1988).

Métaux	Cd	Cu	Mn	Pb	Zn	Cr	Fe
Concentration normales µg/g	0,6	26	400	22	88	45	20000

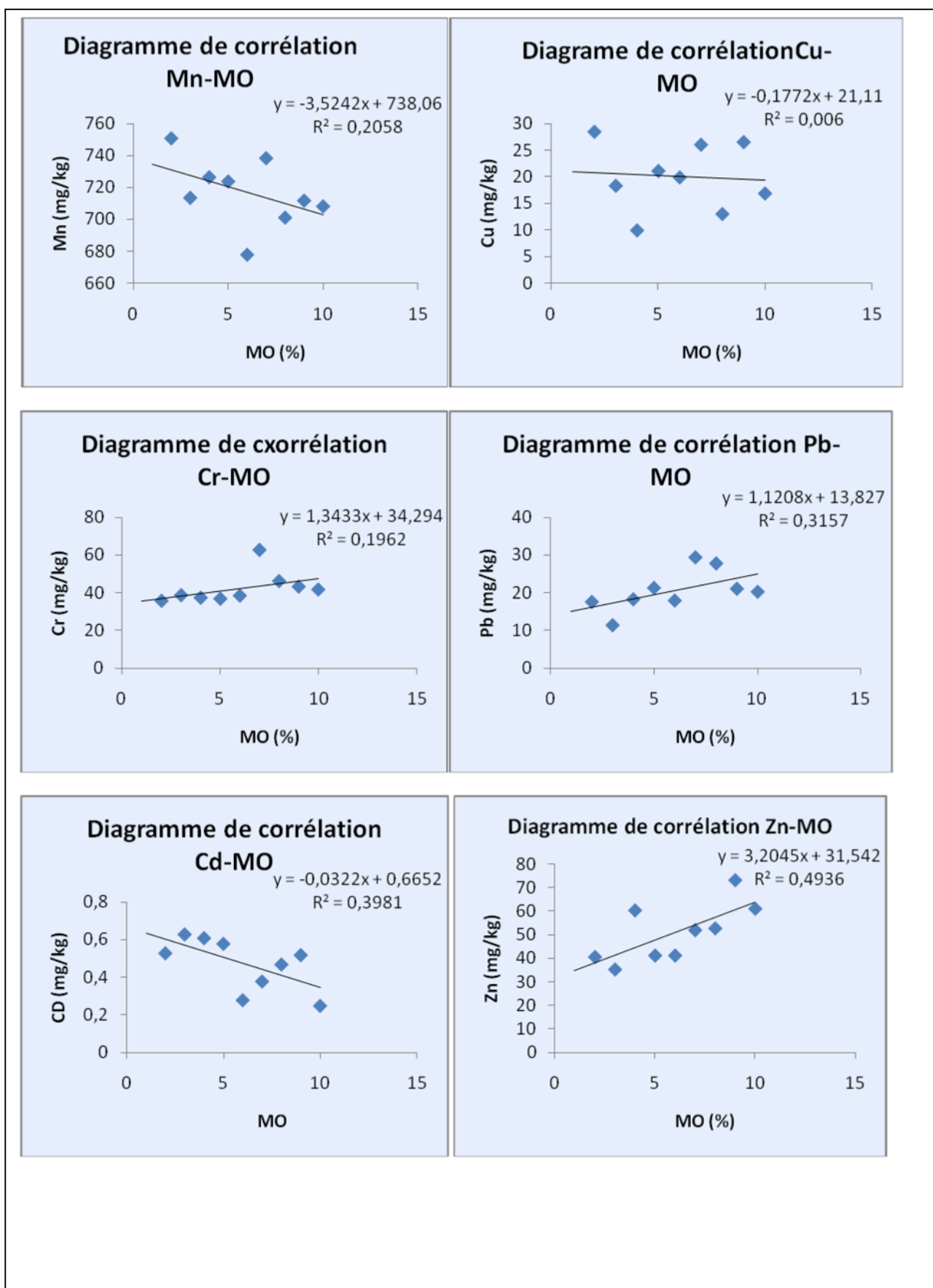
**Indice de contamination (I-C) = concentration du métal / concentration de la norme**

- 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 4.8 :** Indice de contamination des éléments métalliques dans la baie de Bou-Ismaïl :

Métaux	Variation de l'indice de contamination
Cd	0,42-1,05
Cu	0,38-1,1
Mn	1,69-1,87
Pb	0,52-1,34
Zn	0,4-0,66
Cr	0,8-1,39
Fe	1,098-1,96

Les teneurs trouvées dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl ne montrent pas d'état de contamination. En effet, les indices de contamination calculés (Tableau 4.7) sont tous inférieures à 3. Par conséquent, la baie de Bou-Ismaïl peut être considérée comme zone non polluée par les métaux lourds analysés.



**Figure 4.52 :** Diagrammes des corrélations entre la matière organique et les métaux lourds dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl.

# *Conclusion*

**Conclusion :**

Cette étude préliminaire réalisée au niveau de la baie de Bou-Ismaïl, nous a permis d'apprécier la qualité du littoral de cette dernière dans les différents échelons de pollution :

L'analyse paramétrique ne montre pas qu'il y a une pollution par rapport à la température, car elle est influencée par celle de l'air en période chaude. Le pH est conforme à la norme, il n'est pas modifié par les rejets industriels.

La salinité obtenue suite à notre analyse, présente des valeurs inférieures à la gamme de salinité requise pour la méditerranée, et ceci est expliqué par le phénomène de dilution causé par le diversement des différentes oueds dans la baie.

L'oxygène dissous observé au niveau de la baie montre des concentrations variable entre la côte et le large, avec des fluctuations importantes au large, effet de renouvellement des eaux.

Les sels nutritifs sont épuisés, excepte les concentrations des silicates. Cette situation poste estivale est donc classique d'une période suivant un bloom printanier. Nos résultats montrent qu'à cette saison, la baie est fertilisée de façon indirecte, il semblerait que ce sont de la matière organique exogène qui soit apportée à la baie.

Les teneurs en chlorophylle sont faibles comparées à celles trouvées par **Jacques et Tréguer (1986)** en mer de ligure, et par **Raimbault et al (1993)** en Méditerranée (côte Algérienne). Ces faibles teneurs suggèrent que l'essentiel de la biomasse printanière à été consommée par le zooplancton.

Pour le sédiment nous avons comparé avec les normes proposées par l'Agence du Bassin Méditerranée (A. B. R. M. C, 1986) pour évaluer le degré de pollution, les indices de contamination indiquent que la baie ne présente pas de pollution dans le sédiment. Cependant, il conviendrait de continuer la surveillance de la zone, et pour être fiable, les contrôles de pollution doivent être nombreux et judicieusement répartis dans l'espace et le temps.

## *Références bibliographiques*

## Références bibliographiques

- A. B. R. M. C, 1988.** Qualités de fleuve. Synthèse des connaissances. Agence du Bassin de Rhône-Méditerranée-corse. Ministère de l'environnement. P251.
- Al SID CHIKH S; LAINSER. K; 2008.** Baie de bou-Ismaïl et Baie d'El Djamilia : Paramètres océanographiques, gestion littoral et imagerie bathymétrique. Mémoire d'ingénieur ISMAL. P4-5-6-7.
- Alzieu C, 1999.** Dragages et environnement marin. 2<sup>ème</sup> état de connaissances. Edt Ifremer (France).
- Amiard J. C, 1988.** Réflexion sur l'estimation des flux d'éléments traces dans les organismes aquatiques. J. Rech. Océanogr. Vol. 13-15 juin 1990. Ifremer. Acte de colloque N° 11-26.
- Aminot A ; Chaussepied M ; 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre national pour l'exploitation des océans, p75.107.125.135.159.169
- Aminot A ; Kérrouel R ; 2004.** Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Éd. Ifremer, p41-172.
- Aouidad Zahra, 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 option : Pollution marine (ISMAL). P53-56.
- Atteia O ; 2005.** Chimie et pollutions des eaux souterraines. Edt Lavoisier TEC et DOC. P83.
- Aubert M et al, 1982.** Métaux lourds en Méditerranée. Edit R. I. O. M, Nice (France). P371.
- Belatrache Farida, 1997.** Dosage des métaux lourds (Cd, Cu, Zn et Pb) contenus dans les matières en suspension des eaux usées urbaines rejetés à la pointe « El-Kittani » de la baie d'Alger par SAA et XRF, Mémoire d'ingénieur USTHB Alger. P23.
- BELHAIN.k ; BOUDERBALA.A ; FENINECHE.H ; 2007.** La lithologie côtière de la baie de Bou-Ismaïl, comportement vis-à-vis de l'érosion marine. Mémoire d'ingénieur ISMAL. 4-6p
- Benschneider K. et Robinson R.J., 1952.** A new spectrophotometric method. FAO Fisheries Technical Paper: 137-238.
- Bliefert.C, Parrand. R, 2007.** Chimie de l'environnement, air, eau, sol, déchet, France
- BOUCHENAK.A ; KRIM.A ; SADIKI.S ; 1997.** Baie de Bou-Ismaïl contribution à l'élaboration de données de bases, avec Etude d'un Site : le cas de la baie de Chenoua. Mémoire d'ingénieur ISMAL. 19p
- Boulabraouat F/Zohra ; Akacha Lamia, 2007.** Analyse des métaux lourds par absorption atomique et par fluorescence X en milieu atmosphérique urbain : Cas de Bab El Oued et Tizi Ouzou. Mémoire (DEUA) en chimie industrielle option USTHB. P20-24.

- Bounakhala M, Elhandaoui A, 1999.** Fluorescence X pour l'évolution de la pollution atmosphérique des villes de Safi et El Youssoufia, Maroc. P43
- Cauwet G, 1985.** Dynamique de la matière organique dans les milieux marin et poly haline : son rôle dans le processus géochimique aux interfaces. Thèse de doctorat d'état en océanologie. P389.
- Chaouadi S ; Hocine Y ; 2008.** Suivi et contrôle de la pollution de la baie de Bou-Ismaïl en utilisant les données multi-sources des capteurs satellites. Mémoire d'ingénieur ISMAL.P5.6.
- Chester R; Stoner J-M, 1990.** Metals in the marine, atmosphere in: Heavy metals in the marine environment. FURNESS, PSED. CRC Press. P256.
- Chiffolleau j-François, 1994.** Le chrome en milieu marin. Edt Ifremer (François). P33.
- Copin-Montégut G ; 1996.** Chimie de l'eau de mer. Collection « Synthèse ». Edt Institut Océanographique de Paris. P290-292.
- Danhez.F ; 2007.** Les pollutions invisibles : quelles sont les vrais catastrophes écologiques ? Edition delanchaux et niestlé, Paris. p58-59.
- Djamel. T ; 2009.** Etude de la pollution et de la géochimie par les métaux traces et les radioéléments dans les sédiments de la baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur ESSMAL. P8.
- Dojlido J-R; Best G-A, 1993.** Chemistry of water and water pollution. First edition, Ellis Horwood. England. P108.
- Emilia Koller ; 2004.**Traitement des pollutions industrielles : Eau, air, déchets, sols, boues, Edition Dunod, 4-7p.
- Forstner U; Salomous W, 1980.** Trace metal analysis on polluted sediment. Part I: assessment of sources and intensités. Environmental Technology Letters, Vol, P494-505.
- Gaujous-D ; 1995.** La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire. Edt Lavoisier TEC et DOC. P16-19.
- Glinka N, 1981.** Chimie générale. Tome I. Edt. Mir. Mosco. P383.
- GRIMES.S ; 2004.** Biodiversité marine et littorale Algérienne, Edition DIWAN Alger, 20-21-29 p.
- Haddouche I ; 2003.**Etude de l'état de pollution de la baie de Bou Ismaïl par les sels nutritifs et les métaux lourds en Juillet 2002. Mémoire d'ingénieur ISMAL.P3
- Illoul H, 1991.** Contribution à l'étude qualitative, quantitative et structural des populations phytoplanctonique au large du cap caxine 5Région Algéroise). Thèse de Magister en océanologie biologie (ISMAL). P214.
- Inal A ; Bareche B ; 2008.** Variation spatiales des paramètres physico-chimiques et des sels nutritifs dans le golf d'Annaba et au large de la baie d'Alger en période estivale. Mémoire d'ingénieur ISMAL.P05.

- Isidore Adher, 1986.** Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation, Londres. P35
- Jacques G ; Tréguer P ; 1986.** Ecosystème pélagique marin. Collection d'écologie 19. Edt Masson. P241.
- Lacaze J-C., 1996.** La pollution des mers. Edition: DOMINOS Flammarion, France, 128 P.
- LECLAIRE, 1972.** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (Pré continent algérien). Mémoire du muséum national d'histoire naturelle. Paris. Série C, Tome 241. P391.
- Madat A ; 2007.** Paramètre physico-chimiques et sels nutritifs dans la baie de Béjaia. Mémoire d'ingénieur ISMAL. P04.
- Madi Farida ; 2009.** Apport de système d'information géographiques (SIG) pour la modélisation de la couleur des marines (cas : La Baie d'Alger).mémoire d'ingénieur ENSSMAL option environnement. P4-5-6
- Maouche S, 1987.** Mécanisme hydro-sédimentaires en baie d'Alger (Algérie): approche sédimentologiste, géochimique et traitement statistique. Thèse de Doctorat en Océanologie, Université de Perpignan. P214.
- Mechekef Youcef ; 2009.** Evaluation de la contamination par les hydrocarbures poly-aromatiques dans l'eau et le sédiment superficiel dans le port d'Alger : cartographie des polluants. Mémoire d'ingénieur ISMAL option environnement. 5p
- Mullin J.B. et Riley J.P., 1955.** The spectrophotometric determination of silicate-silicon natural waters with special reference to sea water. Anal. Chim. Acta, 12:162-170
- Murphy J. et Riley J.P., 1962.** A modified single method for determination of phosphates in natural waters. Anal. Chim. Acta, 27: 31-36.
- Omari Leila, 2006.** Utilisation de la technique de XRF pour la détermination des métaux lourds dans les aérosols. Séminaire mondiale de l'environnement. Ecole Polytechnique Alger. P41.
- Papachristodoilou Cristina, 2002.** Elemental analysis using the XRF technique. P32.
- Peres J M, Bellan G, Ramade F, Ancelen F J, Lelourd P H, Michel P, Gauthrer M, Soudan F et Bellan S D, 1976.** La pollution des eaux marines. Edt : Gautier. P231.
- Ramade F., 2000.** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Edt Ediscience international. P83.
- Redfield.A C, Ketchum. B. M et Richards. F, 1963.** The influence of organisms on the composition of sea water. The Sea, Hill. M. N. (Edt). Vol II. New York, Interscience Press: 26-77P.
- SAMARIN ; 2008.** Qualité physico-chimique, sels nutritifs et bactériologique dans la baie de Bou-Ismaïl et le port de Bou-Haroun. Mémoire d'ingénieur ISMAL. 19-21-24-25p

**Sellali B ; 1996.** La pollution par les hydrocarbures pétroliers en Méditerranée du sud occidentale : Niveau de pollution de l'eau et du sédiment superficiel des régions littorales centre et ouest de l'Algérie. Thèse de magistère. Océanologie ISMAL. 118P.

**Stellio CASAS ; 2005.** Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (hg, cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de Doctorat, université du sud Toulon var, Spécialité : Océanologie biologique, Environnement marin. p 363.

**Toumert I, 2003.** La technique de XRF, CRNA Alger. P21

**Wood E.P.K., Armstrong F. A.J. et Richard F. A., 1967.** Determination of nitrate in sea water by cadmium-Cooper reduction to nitrite. J. Mar. Biol. Assc.UK., 47: 23-31.

**Wood et al, 1967.** Determination of nitrate in sea water by cadmium-Cooper reduction to nitrite. J. Mar. Biol. Assc.UK., 47: 23-31.

**Worldwide Proficiency Test for X ray Fluorescence Laboratories PTXRFIAE/5.** Determination of minor and trace elements in Marino sediment. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna ISSN 2074-7659.

**Yahiaoui M ; Mahraoui K ; 2002.** Suivi des paramètres physico-chimiques indicateurs de la pollution marine analyse corrélative. Mémoire d'ingénieur ISMAL. P5.22

# *Annexe*

## **Annexe 1**

### **1. Réactifs**

#### **1.1. Solution tampon :**

##### **Produits chimiques exigés :**

Chlorure d'ammonium $\text{NH}_4\text{Cl}$ .....	50g.
Solution d'ammonium $\text{NH}_4\text{OH}$ (25%).....	$\pm$ 1ml.
Hydroxyde de sodium $\text{NaOH}$ .....	5g.
Eau distillée $\text{H}_2\text{O}$ .....	1000ml.
Bridj 35 (30%).....	3ml.

##### **Préparation :**

Dissoudre le chlorure d'ammonium dans 800ml d'eau distillée. Ajuster le Ph à 8,2 avec la solution d'ammonium. Ajouter Hydroxyde de sodium et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée, ajouter le Bridj 35 et mélanger.

**Note :** la solution est stable pendant 1semaine. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

#### **1.2. Réactifs colorant :**

##### **Produits chimiques exigés :**

Acide o-phosphoriques $\text{H}_3 \text{PO}_4$ (85%) .....	50ml.
Sulfanilamide $\text{C}_6 \text{H}_8 \text{N}_2 \text{O}_2 \text{S}$ .....	10 g.
-Naphtyléthylène diamine dihydrochloride $\text{C}_{12} \text{H}_{16} \text{Cl}_2 \text{N}_2$ .....	0,5 g.
Eau distillée $\text{H}_2 \text{O}$ .....	850ml.

##### **Préparation :**

Diluer l'acide o-phosphoriques dans + ou - 750ml d'eau distillée. Ajouter le Sulfanilamide et le -Naphtyléthylène diamine dihydrochloride et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant 2 semaines. Conserver dans une bouteille à couleur sombre.

### 1.3. Liquide de rinçage :

Eau fraîchement distillée H<sub>2</sub>O (régénérée chaque semaine).

## 2. Préparation des solutions étalons :

### 2.1. Solution mère de 100 ppm N(\*)

#### Produits chimiques exigés :

Nitrate de sodium NaNO<sub>3</sub> ..... 0,6068 g.

Eau distillée H<sub>2</sub>O ..... 1000 ml.

#### Préparation

Dissoudre le nitrate de sodium dans + ou – 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

### 2.2. Solution fille de 10 ppm N

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm N dans 100 ml d'eau distillée.

**Note :** Préparer la solution fille à 10 ppm chaque semaine et les standards chaque jour.

(\*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en µmoles /l de N-NO<sub>3</sub>- ou de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> puis en µmoles /l de NO<sub>3</sub>- ou de NO<sub>2</sub>-.

## III. Préparation de la colonne réductrice

### 3.1. Solution d'acide chlorhydrique (4N)

#### Produits chimiques exigés :

Acide chlorhydrique HCl (32%)..... 400 ml.

Eau distillée H<sub>2</sub>O..... 600 ml.

**Préparation :** Diluer l'acide chlorhydrique dans 600 ml d'eau distillée.

### 3.2. Cadmium :

#### Produits chimiques exigés :

Granules de cadmium taille 0,3 – 1,0 mm (tamisé)..... 2,5g.

#### Procédure de remplissage :

1- Les granules de cadmium sont mélangés avec + au – 30 ml de la solution d'acide chlorhydrique (4N).

2- Agiter pendant 1 minute.

- 3- Ajouter environ 50 ml de solution de sulfate de cuivre et agiter pendant 5 minutes.
- 4- Laver la saleté entre les granules avec l'eau distillée.
- 5- Sécher les granules de cadmium.
- 6- Ajouter, à l'aide d'un entonnoir, les granules dans une colonne sèche, en secouant de temps en temps pour empaqueter la colonne des 2 côtés.
- 7- Remplir jusqu'à + au – 5 mm du sommet.
- 8- Classer un petit morceau de tube polyéthylène, dans la colonne pour éviter que les granules ne sortent de la colonne.
- 9- Remplir la colonne à l'aide d'une seringue contenant la solution tampon (réactif 1-1 préparé précédemment).
- 10- Placer la colonne dans le système.

**Note :** Eviter que l'air rentre dans la colonne.

Les granules de cadmiums activés peuvent être stockés sec, dans une bouteille bien fermée.

### **Dosage des orthophosphates :**

#### **I. Réactifs :**

##### **1.1. Solution de molybdate d'ammonium**

##### **Produits chimiques exigés :**

Tartrate de potassium et d'antimoine

K (Sbo)  $C_4H_4O_6 \cdot 5 H_2O$  ..... 230mg.

Acide sulfurique  $H_2SO_4$  (97%)..... 69,4 ml.

Molybdate d'ammonium  $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ ..... 6 g.

Eau distillée  $H_2O$ ..... 1000 ml.

FFD6..... 2 ml.

##### **Préparation**

Dissoudre le tartrate de potassium et antimoine dans + au – 800 ml d'eau distillée. Ajouter soigneusement l'acide sulfurique en mélangeant constamment. Ajouter le molybdate d'ammonium et dissoudre. Ajouter à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

**Note :** Ne pas employer de cuillères en métal pour le molybdate d'ammonium. La sensibilité peut être augmentée de 50% en employant 35 ml d'acide sulfurique concentré au lieu de 69,4 ml.

Avec 35 ml l'interférence des silicates est 10 % pour 300 ppb Si et 10% pour 10 ppb P.

Le PH final doit être inférieur à 1. La solution est stable pendant 5 jours. Conserver à 4° c quand la solution n'est pas utilisée.

### 1.2. Solution d'acide ascorbique

#### Produits chimiques exigés :

Acide ascorbique C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub> .....	6g.
Acétone C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>8</sub> .....	60ml.
Eau distillée H <sub>2</sub> O.....	1000 ml.
FFD6.....	2ml.

#### Préparation

Dissoudre l'acide ascorbique dans + au – 800 ml d'eau distillée. Ajouter l'acétone. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée puis ajouter FFD6 et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant 5 jours. Conserver 4° c quand la solution n'est pas utilisée.

### 1.3. Liquide de rinçage

Eau fraîchement distillée H<sub>2</sub>O (régénérée chaque semaine).

## II. Préparation des solutions étalons

### 2.1. Solution mère de 100 ppm P (\*).

#### Produits chimiques exigés :

Dihydrogène o-phosphate de potassium KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .....	0,4394 g.
Eau distillée.....	1000 ml.

#### Préparation

Dissoudre le Dihydrogène o-phosphate de potassium dans + au – 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant 4 semaines. Conserver 4° c quand la solution n'est pas utilisée.

### 2.2. Solution fille de 10 ppm P

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ml d'eau distillée.

**Note :** Préparer la solution fille à 10 ppm P chaque semaines et les standards chaque jours.

(\*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en µmoles /l de PO<sub>4</sub><sup>-</sup>.

## Dosage des silicates

### 1. Réactifs

#### 1.1. Solution d'acide sulfurique

##### Produits chimiques exigés :

Acide sulfurique H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (97%).....	10 ml.
Eau distillés .....	1000 ml.
FFD6.....	2 ml.

##### Préparation

Diluer l'acide sulfurique dans + au – 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée et ajouter le FFD6 et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 1 semaine. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

#### 1.2. Solution de molybdate d'ammonium

##### Produits chimiques exigés :

Molybdate d'ammonium (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O .....	20g.
EaudistilléeH <sub>2</sub> O.....	1000ml.
FFD6 .....	2ml.

##### Préparation

Dissoudre le molybdate d'ammonium dans± 800ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter leFFD6 et mélanger.

**Note :** Conserverdansunebouteilledepolyéthylène.Lasolutioneststablependant1jour.Nepas

Utiliser de cuillères en métal pour le molybdate d'ammonium.

#### 1.3. Solution d'acide oxalique

##### Produits chimiques exigés :

AcideoxaliqueC <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O.....	44g.
EaudistilléeH <sub>2</sub> O.....	1000ml.

##### Préparation

Dissoudre l'acide oxalique dans ±800ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée et mélanger.

**Note :** Conserver dans une bouteille de polyéthylène. La solution est stable pendant 1 mois. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

#### 1.4. Liquide de rinçage

Eau fraîchement distillée H<sub>2</sub>O.

**Note :** Changer l'eau quotidiennement. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

## II. Préparation des solutions étalons

### 2.1. Solution mère de 100 ppm Si (\*)

**Produits chimiques exigés :**

Métasilicate de sodium Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O..... 1,0119g.  
Eau distillée H<sub>2</sub>O..... 1000ml.

#### Préparation

Dissoudre le métasilicate de sodium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant 1 mois. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

### 2.2. Solution fille de 10 ppm Si

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm Si dans 100 ml d'eau distillée.

**Note :** Préparer la solution fille à 10 ppm Si chaque semaine et les standards chaque jour. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

(\*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en µmoles/l de SiO<sub>4</sub><sup>-</sup>.

## Annexe 2

**Tableau :** Les caractéristiques du standard de sédiment marin préparé par World wide Proficiency Test For X ray Fluorescence Laboratories (IAEA, 2008)

Élément chimique	Teneur donnée	Les valeurs de déviations du standard			Teneur analysée	Valeur de déviation du standard	Nombre l'analysée	Nombre de valeur rejetée
		K= 0,5	K= 1,0	K= 1,5				
<b>[g/Kg]</b>								
<b>AL</b>	49,4	0,77	1,55	2,32	52	1,67	13	2
<b>Ca</b>	46,4	0,73	1,47	2,2	49,8	2,11	30	4
<b>Cl</b>	—	—	—	—	—	0,925	10	2
<b>Fe</b>	33,5	0,56	1,12	1,7	33,89	0,74	34	5
<b>K</b>	16,6	0,31	0,62	0,93	16,94	0,62	27	4
<b>Mg</b>	10,5	0,21	0,42	0,63	12,9	1,08	7	1
<b>Na</b>	14,9	0,28	0,56	0,84	14	1,31	7	0

P	1,21	0,034	0,067	0,1	1,2	0,012	2	0
S	4,91	0,11	0,219	0,329	6,2	0,673	12	1
SI	269	2,6	5,19	7,79	259,3	9,4	18	2
Ti	3,25	0,077	0,154	0,231	3,33	0,084	27	7
<b>[mg/Kg]</b>								
Ag	0,31	0,029	0,058	0,058	131	179	2	0
As	18,1	0,94	1,88	2,81	19,18	0,578	13	3
Ba	316	10,7	21,3	31,9	332	14,9	14	5
Br	102	4,07	8,14	12,2	98,6	5,75	20	2
Cd	0,39	0,036	0,0719	0,1079	1,21	0,545	3	0
Ce	53	2,34	4,67	7	52,91	0,124	9	6
Co	10,5	0,59	1,18	1,77	11,16	0,138	8	5
Cr	99,9	4	8	11,99	100,5	6,55	17	4
Cs	–	–	–	–	7,64	0,658	4	0
CU	16,9	0,89	1,77	2,65	20,1	1,1	23	7
Eu	–	–	–	–	0,845	0,054	1	0
Ga	12	0,66	1,32	1,99	11,9	0,91	7	1
Hf	–	–	–	–	5,86	0,082	3	0
I	44,2	2	4	6	53,1	1,36	5	2
La	26,9	1,31	2,63	3,94	29,81	0,15	9	6
Mn	1050	29,5	59	88,5	1018	31,4	29	4
Mo	3,41	0,227	0,454	0,681	27	–	1	0
Nb	10,4	0,59	1,17	1,76	11,067	0,067	9	6
Nd	20,9	1,06	2,12	3,18	25,2	1,8	5	1
Ni	27,8	1,35	2,7	4,05	28,1	1,72	16	3
Pb	49,7	2,21	4,42	6,63	46,55	3,29	23	3
Pr	–	–	–	–	4,4	1,2	1	0
Rb	90,7	3,69	7,37	11,05	88,2	3,07	25	5
Sb	0,8	0,066	0,132	0,198	0,97	0,09	1	0
Sc	10,1	0,57	1,14	1,72	45	22,9	4	1
Se	0,475	0,0425	0,085	0,128	8,5	0,4	1	0
Sm	–	–	–	–	5,075	0,036	1	0
Sn	4,62	0,294	0,587	0,881	17,5	6,46	4	0
Sr	–	–	–	–	201,2	5,21	28	5
Ta	–	–	–	–	49	67,8	2	0
Tb	–	–	–	–	0,84	0,286	1	0
Th	7,9	0,463	0,926	1,389	8,33	0,784	4	0
U	1,8	0,132	0,264	0,396	3,9	2,37	2	0
V	95,8	3,86	7,72	11,6	99,8	4,66	7	1
Y	22	1,11	2,21	3,32	20	1,51	16	2
Yb	–	–	–	–	1,87	0,25	1	0
Zn	145	5,49	11	16,5	146,1	7,31	31	2
Zr	222	7,88	15,8	23,7	200	12,3	19	2