

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



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

OPTION : Environnement

Thème :

Evaluation de l'état de la pollution par les sels nutritifs et les  
métaux lourds dans l'eau et le sédiment superficiel de la  
baie de Bou-Ismaïl

Présenté par:

- Djerad Chahinez

Soutenu le 08/11 /2010 devant le jury suivant :

Mr.	SEFIANE O.	Maitre de conférence B	ENSSMAL	Président
Mme.	BACHARI-HOUMA F.	Maitre de conférence A	ENSSMAL	Examinatrice
Mr.	DRICHE M.	Maitre assistant A	ENSSMAL	Examinateur
Mr.	BOULAHDID M.	Professeur	ENSSMAL	Encadreur

Promotion : (2010)

# Remerciements

*Tout d'abord, je remercie Dieu le tout puissant pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté*

*Je tien à exprimer ma gratitude au Monsieur **Pr. Boulahdid. M** pour sa confiance en acceptant de m'encadrer dans la réalisation de ce travail.*

*Mes remerciements au membre de jury ;*

***Mr. Sefiane. O** d'avoir accepté de présider ma soutenance, **Mme. Bachari-Houma. F**, **Mr. Drich. M** d'avoir examiné mon travail.*

*Je remercie vivement **Mr. Boudejellal B.**, **Mme. Eddalia N.**, **Melle. Ounadi F.** et **Mr. Mekki** de m'avoir apporté leur aide précieuse, pour tous leurs conseils, critiques et les données qu'ils m'ont offert et pour le temps qu'ils m'ont accordé tout au long de mon travail au laboratoire de **Sidi Fredj**. Et au personnel de l'**ONEDD** particulièrement **Mr. Houas. O.** ,*

*J'exprime aussi ma reconnaissance au personnel de la bibliothèque et tous les enseignants de l'**ENSSMAL***

*Je remercie également les navigateurs de l'embarcation L'**Auresse** qui ont contribué à la réalisation de prélèvements effectuées dans le cadre de ce travail*

*Ma famille qui m'a toujours apporté un soutien sans faille*

*Je remercie également mes parents qui me donnent toujours une raison d'avancer chaque jour*

*Je n'oublie pas tous les étudiants particulièrement les promotions cinquième année **Environnement et Aménagements** (promotion 2010)*

## Dédicaces

*À ma famille surtout mes parents, mes sœurs, mes frères et ma  
petite nièce Aya*

*À tous mes ami(e)s de l'ENSSMAL et mes amies de L'UFC*

*À toutes les personnes qui m'ont soutenu et encouragé tout au long  
de mon cursus*

# *Sommaire*

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

## **Partie I : Phase bibliographique**

### **Chapitre I : Généralités**

1. La pollution marine.....	2
1.1 Définition.....	2
1.2 Propriétés des substances polluantes.....	4
1.3 Classification des polluants.....	4
2. Les facteurs hydrologiques.....	5
2.1 La température.....	5
2.2 La salinité.....	5
2.3 Le pH.....	5
2.4 La conductivité.....	5
2.5 L'oxygène dissous.....	6
3. Les sédiments marins.....	6
3.1 Définition, origine et formation du sédiment.....	6
3.1.1 Origines naturelles.....	6
3.1.2 Origines anthropiques.....	6
3.2 Composition granulométrique des sédiments.....	7
3.3 Composition géochimiques des sédiments.....	7
3.3.1 Les argiles.....	7
3.3.2 Les carbonates.....	7
3.3.3 La phase organique.....	7
3.3.4 Les sulfures.....	7
3.3.5 Les oxydes hydroxydes.....	7
4. Les métaux lourds.....	8
4.1 Définition.....	8
4.2 Sources des métaux lourds.....	9
4.2.1 Sources naturelles.....	9
4.2.2 Sources anthropiques.....	9
4.3 Propriétés des métaux lourds étudiés.....	10
4.3.1 Le cuivre.....	10
4.3.2 Le chrome.....	10
4.3.3 Le zinc.....	10
4.4 Le devenir des métaux lourds dans l'environnement marin.....	11
4.4.1 Transport des métaux lourds.....	11
4.4.2 Echange des polluants entre l'eau et les sédiments.....	11
4.4.2.1 Adsorption et absorption.....	12
4.4.2.2 Sédimentation.....	12
4.4.2.3 Diffusion et désorption.....	12
4.4.3 La bioaccumulation.....	12
4.4.3.1 L'assimilation.....	12
4.4.3.2 La bioaccumulation par l'individu : la bioconcentration.....	12

4.4.3.3	La bioaccumulation entre individus : la bioamplification.....	13
4.5	La spéciation des métaux lourds.....	13
4.6	Paramètres influençant sur la distribution des métaux lourds.....	14
4.6.1	Le pH .....	15
4.6.2	Le potentiel d'oxydoréduction.....	15
4.7	Toxicité des métaux lourds.....	15
4.7.1	Effets sur l'environnement marin.....	16
4.7.2	Effets sur la santé humaine.....	16
5.	Les sels nutritifs.....	16
5.1	Définition.....	16
5.2	Origines des sels nutritifs.....	17
5.2.1	Origines exogènes.....	17
5.2.1.1	Apports ponctuels.....	17
5.2.1.2	Apports diffus.....	18
5.2.2	Origine endogène.....	18
5.3	Les sels nutritifs en mer Méditerranée.....	19
5.3.1	Les apports.....	19
5.3.1.1	Les apports terrestres.....	19
5.3.1.2	Les apports atmosphériques.....	19
5.3.2	Concentration des sels nutritifs en surface.....	20
5.4	Les formes des sels nutritifs.....	21
5.4.1	Azote.....	21
5.4.1.1	Azote ammoniacal.....	21
5.4.1.2	Nitrates.....	21
5.4.1.3	Nitrites.....	; 21
5.4.2	Les phosphates.....	21
5.4.3	Les silicates.....	22
5.5	Le cycle biogéochimique des sels nutritifs.....	22
5.5.1	La photosynthèse.....	23
5.5.2	La minéralisation (régénération).....	23
5.5.3	L'excrétion.....	24
5.5.4	La nitrification.....	24
5.5.5	La dénitrification.....	24
5.6	Notion de facteur limitant.....	24
5.7	Eutrophisation.....	25
6.	La matière organique.....	25
6.1	Définition.....	25
6.2	Les différentes origines.....	25
6.2.1	Les composantes autochtones.....	26
6.2.2	Les composantes allochtones.....	26
6.3	La préservation dans les sédiments marins.....	26

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

1. Situation géographique.....	27
2. Bathymétrie.....	27
3. Sédimentologie.....	29
4. Réseau hydrographique.....	30
4.1 Oued Mazafran.....	30
4.2 Oued Nador.....	30
4.3 Oued Beni Messous.....	30
5. Les facteurs hydrodynamiques.....	31
5.1 Les vents.....	31
5.2 Les houles.....	31
5.3 Les courants.....	31
6. Les principaux ports de la baie.....	31
6.1 Port D'El-Djamila.....	31
6.2 Port de Sidi-Fredj.....	33
6.3 Port de Khemisti.....	34
6.4 Port de Bouharoun.....	35
6.5 Port de Tipaza.....	36
7. Les sources potentielles de pollution.....	37

## Partie II : Phase expérimentale

### Chapitre III : Matériels et Méthodes

1. Travaux en mer.....	40
1.1 Choix des stations de prélèvements.....	40
1.2 Mesure in situ des paramètres physico-chimiques.....	43
1.2.1 La température et l'oxygène dissous.....	43
1.2.2 Le pH .....	43
1.2.3 La conductivité et la salinité.....	43
1.3 Prélèvements des échantillons.....	43
1.3.1 Le sédiment.....	43
1.3.2 L'eau de mer.....	44
2. Travaux au laboratoire.....	44
2.1 Conservation.....	44
2.2 Risque de contamination.....	44
2.3 Traitement des échantillons.....	45
2.3.1 Traitement des sédiments.....	45
2.3.1.1 La lyophilisation.....	45
2.3.1.2 Le Broyage.....	45
2.3.1.3 La minéralisation.....	45

2.3.1.4 Le dosage des métaux lourds par la S.A.A.....	46
2.3.1.5 Détermination de la matière organique dans les sédiments marins....	51
2.3.2 Traitement de l'eau (l'analyse des sels nutritifs).....	52
2.3.2.1 Principe d'analyse.....	52
2.3.2.2 Technique d'analyse.....	53
2.3.2.3 Etalonnage.....	53
2.3.2.4 Protocole d'analyse.....	55

## **Chapitre IV : Résultats et discussion**

1. Les paramètres physico-chimiques.....	56
1.1 La température.....	56
1.2 La salinité.....	57
1.3 L'oxygène dissous.....	57
1.4 Le pH .....	58
2. Concentrations des sels nutritifs.....	59
2.1 Les nitrates.....	59
2.2 Les nitrites.....	59
2.3 L'ammonium.....	61
2.4 Les phosphates.....	62
2.5 Les silicates.....	63
3. Le taux en matière organique.....	64
4. Concentrations des métaux lourds.....	65
4.1 Le zinc.....	65
4.2 Le chrome.....	66
4.3 Le cuivre.....	67
4.4 Indice de contamination.....	68
5. Etude de la corrélation entre les différents paramètres.....	69
5.1 La corrélation entre les paramètres physico-chimiques.....	69
5.1.1 Le diagramme Température-salinité.....	69
5.1.2 Le diagramme Température-pH .....	70
5.1.3 Le diagramme Température-Oxygène dissous.....	71
5.2 La corrélation entre la température et les sels nutritifs.....	71
5.2.1 Le diagramme Température-Nitrates.....	71
5.2.2 Le diagramme Température-Ammonium.....	72
5.3 La corrélation entre la salinité et les sels nutritifs.....	73
5.3.1 Le diagramme Salinité-Nitrates.....	73
5.3.2 Le diagramme Salinité-Ammonium.....	73
5.4 Le diagramme Nitrates-Phosphates.....	74
6. Comparaison entre les résultats obtenus avec d'autres études au niveau de la baie de BouIsmaïl et d'autres sites.....	75
6.1 Les sels nutritifs.....	75
6.2 Les métaux lourds.....	76

<b>Conclusion.....</b>	<b>78</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>80</b>
<b>Annexes</b>	

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau.1</b> : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement.....	9
<b>Tableau.2</b> : La capacité bio accumulatrice de certaines espèces marines vis-à-vis le cadmium et le plomb.....	13
<b>Tableau.3</b> : Effets des métaux lourds étudiés sur l'environnement marin.....	15
<b>Tableau.4</b> : La toxicité des métaux lourds étudiés sur la santé humaine.....	16
<b>Tableau.5</b> : Les principaux nutriments présents dans le milieu marin et leurs expressions chimiques.....	17
<b>Tableau.6</b> : Les concentrations des nutriments en mer Méditerranée (eau superficielles).....	20
<b>Tableau.7</b> : Les principaux mécanismes impliquant les nutriments dans le milieu marin.....	23
<b>Tableau.8</b> : Les rejets des eaux usées dans la wilaya de Tipaza.....	37
<b>Tableau.9</b> : Les principales industries dans la région de BouIsmaïl.....	38
<b>Tableau.10</b> : Les concentrations des métaux lourds considérées comme normales.....	50
<b>Tableau.11</b> : Les concentrations maximales, minimales et moyennes des sels nutritifs.....	59
<b>Tableau.12</b> : Les concentrations des sels nutritifs obtenues dans la présente étude et des études antérieures.....	75
<b>Tableau.13</b> : Les concentrations des métaux lourds étudiés obtenues dans la présente étude et des études antérieures.....	76

## *Liste des figures*

<b>Figure.1</b> : L'échange des métaux lourds entre la colonne d'eau et les sédiments.....	11
<b>Figure.2</b> : Les principales sources exogènes des sels nutritifs dans le milieu marin.....	19
<b>Figure.3</b> : La localisation de la baie de Bou-Ismaïl.....	27
<b>Figure.4</b> : La carte bathymétrique de la baie de Bou-Ismaïl.....	28
<b>Figure.5</b> : La couverture sédimentaire de la baie de Bou-Ismaïl.....	29
<b>Figure.6</b> : Le réseau hydrographique de la baie de Bou-Ismaïl.....	30
<b>Figure.7</b> : Le schéma général du port d'El-Djamila.....	32
<b>Figure.8</b> : Le schéma général du port de Sidi-Fredj.....	33
<b>Figure.9</b> : Le schéma général du port de Khemisti.....	34
<b>Figure.10</b> : Le schéma général du port de Bouharoun.....	36
<b>Figure.11</b> : Le schéma général du port de Tipaza.....	37
<b>Figure.12</b> : La carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bou-Ismaïl.....	39
<b>Figure.13</b> : La Carte des stations de prélèvements effectués au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.....	40
<b>Figure.14</b> : Les points des prélèvements au niveau des ports de la baie de Bou-Ismaïl.....	41
<b>Figure.15</b> : Les points des prélèvements au niveau des zones non portuaires de la baie de Bou-Ismaïl.....	42
<b>Figure.16</b> : Schéma représentatif de la composition d'un spectromètre d'Absorption Atomique.....	48
<b>Figure.17</b> : Courbes d'étalonnage des métaux lourds étudiés.....	49
<b>Figure.18</b> : Courbes d'étalonnage des sels nutritifs .....	54
<b>Figure.19</b> : Variation de la température en (°C) au niveau de la baie de BouIsmaïl.....	56

<b>Figure.20</b> : Variation de la salinité (psu) au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.....	57
<b>Figure.21</b> : Variation de l'oxygène dissous au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.....	57
<b>Figure.22</b> : Variation de pH au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.....	58
<b>Figure.23</b> : Variation de la teneur en nitrates au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.....	59
<b>Figure.24</b> : Variation de la teneur en nitrites au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.....	60
<b>Figure.25</b> : Variation de la teneur en ammonium au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.....	61
<b>Figure.26</b> : Variation de la teneur en phosphates au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.....	62
<b>Figure.27</b> : Variation de la teneur en silicates au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.....	63
<b>Figure.28</b> : Variation du taux en matière organique au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.....	64
<b>Figure.29</b> : Variation de la concentration du zinc au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.....	65
<b>Figure.30</b> : Variation de la concentration du chrome au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.....	66
<b>Figure.31</b> : Variation de la concentration du cuivre au niveau de la baie de Bou-Ismaïl.....	67
<b>Figure.32</b> : Diagramme de corrélation entre la température et la salinité.....	69
<b>Figure.33</b> : Diagramme de corrélation entre la température et le pH .....	70
<b>Figure.34</b> : Diagramme de corrélation entre la température et l'oxygène dissous.....	71
<b>Figure.35</b> : Diagramme de corrélation entre la température et les nitrates.....	72
<b>Figure.36</b> : Diagramme de corrélation entre la température et l'ammonium.....	72
<b>Figure.37</b> : Diagramme de corrélation entre la salinité et les nitrates.....	73
<b>Figure.38</b> : Diagramme de corrélation entre la salinité et l'ammonium.....	73
<b>Figure.39</b> : Diagramme de corrélation entre les nitrates et les phosphates (Rapport N/P).....	74

# *Introduction*

Le milieu marin se trouve en premier lieu, parmi les biotopes naturels les plus susceptibles d'être touchés par la pollution. En effet, les apports atmosphériques, les déversements volontaires et/ou accidentels, les rejets urbains, industriels et agricoles font du milieu marin un réceptacle naturel et des côtes une zone particulièrement vulnérable. Cette charge polluante riche en micropolluants toxiques tels que les métaux lourds et les sels nutritifs constitue un danger potentiel pour les ressources marines, la santé humaine ...

En Algérie, le littoral joue un rôle socio-économique important, dont l'ensemble de nos ressources halieutiques proviennent de la mer et 95% de nos échanges commerciaux ainsi que la totalité de nos exportations en hydrocarbures se font par la mer. De ce fait, ce littoral subit l'influence d'une pression démographique et industrielle croissantes. En effet, il héberge plus des 2/3 de la population, les plus grandes installations industrielles (industries chimiques, industrie de raffinage, industrie textile, centrales thermiques...) et une grande activité touristique et portuaire. A cela s'ajoute les apports des bassins versants de toute la frange littorale et les cours d'eau qui se déversent dans le milieu marin, surtout au niveau des milieux semi fermés (baies et golfes) qui représente le respectacle final de tous les rejets.

Ces activités forment une contrainte sur l'environnement marin, surtout par l'augmentation continue de la charge polluante des effluents urbains et industriels qui se déversent, généralement, sans traitement au préalable dans le milieu marin. Cette charge polluante entraîne aussi l'accroissement des micropolluants dans les différentes matrices de ce milieu marin : eau, sédiment, biotes ...

La détermination et la quantification des métaux lourds dans les sédiments marins côtiers superficiels est d'une grande importance du fait que ce compartiment abiotique a la capacité de séquestrer ces éléments et d'interagir avec d'autres compartiments biotiques et abiotiques de l'écosystème par des processus naturels de floculation, sédimentation, dissolution, diffusion ... etc. De plus, et à travers les processus mentionnés, il peut aussi y avoir un transfert et une incorporation de métaux aux chaînes trophiques par bioaccumulation. On peut dire aussi que les sédiments se comportent comme des indicateurs de pollution à mémoire, témoins de degré et d'évolution de pollution à l'échelle spatiotemporelle.

Les éléments nutritifs sont des descripteurs hydrologiques indispensables à l'étude ou la caractérisation d'un écosystème marin. Ils forment un substrat chimique base de la chaîne alimentaire marine. Leur richesse forme, généralement un indice de la fertilité marine. Indirectement, ils peuvent avoir des répercussions sur les ressources marines et sur certaines activités humaines telles que la pêche et la conchyliculture (Aminot.A., et al, 2004).

Notre travail consiste à l'étude de la pollution au niveau de la matrice sédimentaire et l'eau dans la zone côtière le long de toute la côte de la baie de Bou-Ismaïl y compris les ports et les embouchures d'oueds. Cette baie reçoit les apports des oueds, les rejets des ports et les rejets des grandes agglomérations. L'étude de la pollution dans le sédiment concerne les métaux et la matière organique. Les métaux (cuivre, zinc, chrome) ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique. La détermination du taux des sédiments en matière organique a été faite par calcination. Dans l'eau superficielle, en plus des paramètres physicochimiques, les sels nutritifs ont été analysés. Le dosage de ces derniers a été réalisé par colorimétrie à flux continu.

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

Ce travail a été réalisé au niveau de l'annexe de l'ENSSMAL à Sidi Fredj «Laboratoire de chimie et pollution marines» et le laboratoire d'analyse de l'Observatoire National de l'Environnement *ONEDD* à Ben Aknoun.

Ce travail est divisé en deux parties. La première est composée d'un premier chapitre "généralités" consacré à une revue bibliographique synthétique sur le thème abordé et les paramètres étudiés et d'un deuxième chapitre dédié à la description de la zone d'étude. La deuxième partie comprend aussi deux chapitres. Le troisième chapitre "matériels et méthodes" et le quatrième chapitre "résultats et discussion". Enfin, une conclusion générale qui conclue les résultats de notre travail et l'évaluation de l'état de pollution au niveau de la baie de Bou-Ismaïl avec certaines recommandations.

*Partie I :*  
*Phase Bibliographique*

# *Chapitre I :*

## *Généralités*

## 1. La pollution marine

### 1.1 Définition

La pollution marine c'est l'introduction directe ou indirecte des substances exogènes soit par voie naturelle ou anthropique (issue de l'activité humaine), qui a des conséquences néfastes pour l'environnement marin ainsi toutes ses composantes, dont les facteurs sont :

- Introduction de substances chimiques néfastes aux espèces vivantes.
- Modification de certains paramètres physiques comme la température ou la salinité.
- L'introduction de vibrations, de rayonnements, virus et bactéries.
- Des causes naturelles: volcanisme (pollution chimique et physique), radioactivité, orages, tremblements de terre, explosifs, apparition d'une nouvelle espèce nuisible pour d'autres.

On distingue différents types de pollution marine selon la nature, la source de pollution et la manière dont les substances sont ré pondues géographiquement (Emilian k. 2004) :

- Selon la nature : on distingue trois types :
  - Chimique { Organique : pesticides, hydrocarbures  
Inorganique : *métaux lourds, sels nutritifs*
  - Biologique : { Contaminants bactériens  
Contaminants viraux
  - Physique { Thermique  
Radioactive (provenant des activités nucléaires industrielle, médicale et Scientifique)  
Mécanique
- Selon la source : { Urbaine  
Industrielle  
Agricole
- Selon la manière de répartition : { Globale : observée à l'échelle planétaire ;  
Régionale: lorsque une substance se ré pond sur une distance de 100 km ;  
Locale : entre 0,1 et 100 km  
Ponctuelle : jusqu'à 100 m.

## 1.2 Propriétés des substances polluantes

Pour évaluer les problèmes qui peuvent poser une substance polluante, il est souhaitable d'évaluer :

- La toxicité : à long et court terme ;
- La persistance (y compris les modes et le taux de son élimination à la fois par des moyens physiques et biologiques) ;
- Les propriétés de dispersion ;
- Les réactions chimiques et les produits de dissociation ;
- La tendance à la bioaccumulation ;
- La facilité au contrôle.

D'après Emilian koller (2004) une substance donnée soit un polluant si :

- 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 ;
- Affecte une large gamme d'organismes et spécialement ceux en rapport direct avec l'homme ou qui jouent un rôle central de la stabilité du système écologique global ;
- Est produite à grande échelle.

## 1.3 Classification des polluants

On distingue trois classes de polluants :

- Les polluants conservatifs : qui restent en permanence dans le milieu marin, soit dispersés dans l'eau soit fixés sur du matériel particulaire composé généralement de matière organique contenue dans la vase, on distingue les métaux lourds (mercure, cadmium, plomb) et les polluants organiques non biodégradables
- Les polluants chimiques non conservatifs : tels que la matière organique, les sels nutritifs, les hydrocarbures, les détergents et les produits sanitaires, qui disparaissent à terme. Ils ne présentent donc de danger que par leurs conséquences immédiates.
- Les polluants microbiens : qui sont véhiculés en quantités considérables au milieu marin par l'intermédiaire des rejets urbains : issus des eaux usées domestique et industrielle et des effluents agricoles

## 2. Les facteurs hydrologiques

### 2.1 La température

La température est l'un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu. Elle influe sur l'activité biologique dont dépend la production totale, et sur la répartition des espèces (preferendum thermique), et la connaissance des masses d'eaux.

Dans les eaux océaniques, la température décroît de la surface vers le fond où elle varie de 0 à 2,5°C. Particularité méditerranéenne, l'étroit plateau continental donne accès aux eaux profondes à peu de distance de la cote avec, en dessous de 200 m de profondeur, une température d'environ 13 °C (Aminot.A, 2004).

### 2.2 La salinité

La salinité est définie à l'origine comme la quantité de sels dissous présents dans l'eau de mer. C'est à la surface de l'eau que la salinité varie le plus (précipitation, évaporation).

A cette interphase, les variations sont nombreuses pouvant avoir des incidences sur quelques centimètres de profondeur.

La salinité est une propriété de l'eau de mer qui est fondamentale à l'étude du milieu marin, (Aminot & Kérouel, 2004), elle forme avec la température deux descripteurs de base des masses d'eaux (bon traceur du mélange des eaux) (Aminot & Chausse-Pied, 1983).

### 2.3 Le pH

Il détermine l'acidité, la neutralité ou la basicité de l'eau ou de solutions fertilisantes. L'échelle des valeurs de pH se situe entre 0 et 14. Le contrôle du pH (acidité) est important parce que les plantes ne peuvent pas absorber tous les éléments nutritifs si le pH est trop bas ou trop haut. Le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une solution joue un rôle important sur la solubilité des sels minéraux et sur leur absorption par la plante. Un haut niveau favorise l'absorption cationique et un niveau bas favorise celle des anions. Toute décision reste donc un compromis, il faut que le niveau de pH de la solution nutritive soit légèrement acide ; l'idéal se situant entre 5.5 et 6.5.

### 2.4 La conductivité

La conductivité mesure le taux de sel minéraux dissous dans l'eau. Elle correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm<sup>2</sup> de surface, séparées l'une de l'autre de 1cm. Elle augmente avec la température et la concentration en sels dissous. L'unité de mesure communément utilisée est le Siemens/cm (S/cm) exprimé souvent en microSiemens/cm (µS/cm) ou milliSiemens (mS/cm), (Laeasa, 2010).

Ainsi, plus la concentration en solides dissous sera importante, plus la conductivité sera élevée.

## 2.5 L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est un paramètre vital qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques (Aminot et Kérouel, 2004). Il est peu soluble dans l'eau mais s'équilibre très vite à la surface avec l'atmosphère. Les teneurs en oxygène dissous dans l'eau de mer dépendent de facteurs physiques (température, salinité) et biologiques (photosynthèse, respiration, dégradation des matières organiques). En général, les concentrations en oxygène dissous varient entre 5 et 10 mg/l dans l'eau de mer (Person-le Ruyet J., 1986).

## 3. Les sédiments marins

### 3.1 Définition, origine et formation du sédiment

Une large famille de sédiments fins, argileux, plus au moins organique est inclus dans le type vaseux. Les vases contiennent une phase minérale dont la granulométrie s'étale des sables aux argiles et aux colloïdes, une phase organique et une phase liquide. Les particules solides qui constituent les sédiments peuvent être d'origine naturelle ou anthropique (Kribi.S., 2006) :

#### 3.1.1 Origine naturelle : les particules sont soit endogènes ou exogènes

- Les particules endogènes sont principalement constituées de matière organique essentiellement des organismes aquatiques (la faune et la flore).
- Les particules exogènes sont principalement des particules minérales provenant d'une part de l'érosion éolienne des sols et de ruissellement. elles peuvent être de nature organique ou minérale et proviennent des activités industrielles, urbaines et agricoles.

#### 3.1.2 Origine anthropique : les particules peuvent être de nature organique ou minérale et proviennent d'activités industrielles, agricoles et urbaines.

### 3.2 Composition granulométrique des sédiments :

Selon les régions géographiques, les sédiments peuvent avoir des granulométries très différentes. On distingue les argiles de taille inférieure à 2  $\mu\text{m}$ , les limons de 2 à 50  $\mu\text{m}$  et les sables de 50  $\mu\text{m}$  à 2 mm.

### 3.3 Composition géochimique des sédiments

#### 3.3.1 Les argiles

En sédimentologie, les argiles regroupent les particules dont le diamètre des particules n'excèdent pas 2  $\mu\text{m}$ . En minéralogie, les argiles correspondent aux minerais que l'on ne rencontre jamais aux grosses particules. Les argiles jouent un rôle dans la rétention des métaux, et leur piégeage biologique. Elles réduisent les effets toxiques pour différents métaux (Cd, Pb, Cu, Ni). (Marot, 1998 in Kribi.S., 2006).

#### 3.3.2 Les carbonates

Le minéral le plus souvent rencontré dans les sédiments est la calcite  $\text{CaCO}_3$ . Les métaux tels que le Zn et le Cu peuvent Co-précipiter avec la calcite. Les carbonates jouent un rôle important dans les sédiments, leur équilibre de dissolution contrôle le pH et une teneur élevée en carbonate rend le sédiment alcalin. La surface des carbonates est le siège de phénomène de sorption des ions métalliques : précipitation, adsorption (Blanchard, 2000 in Kribi.S., 2006).

#### 3.3.3 La phase organique

Tous les composés organiques naturels simples ou complexes sont susceptibles d'être rencontrés dans les sédiments. On distingue des constituants de nature bien définie, héritées de plantes et animaux du milieu ou des constituants plus complexes, comme les substances humiques. Les substances humiques sont des polymères naturels constitués principalement de carbone et d'oxygène.

#### 3.3.4 Les sulfures

Divers composés de sulfure se constituent dans les sédiments. Les formes du soufre inorganique incluent les sulfates ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), le soufre élémentaire (S), les sulfures métalliques (FeS) et la pyrite ( $\text{FeS}_2$ ).

L'essentiel du soufre dans les sédiments est inorganique. Le soufre inorganique dans des conditions anaérobiques, se trouve sous forme de sulfure, dans le sédiment bien aéré, il s'oxyde et donne des sulfates. La réaction d'oxydation s'accompagne par une diminution du pH du milieu (Tack, 1997 in Kribi.S., 2006).

#### 3.3.5 Les oxydes hydroxydes

Les oxydes de fer et de manganèse amorphes des sédiments sont les premiers intervenants dans les processus d'adsorption, ils ont une forte substitution isomorphique et ils lient les composés organiques et inorganiques (Bonnet, 2000 in Kribi.S., 2006).

## 4. Les métaux lourds

### 4.1 Définition

Les métaux lourds sont des micropolluants à l'origine de nuisances même quand ils sont rejetés en quantités très faibles (leur toxicité se développe par bioaccumulation et biomagnification). Les métaux lourds appartiennent à famille des éléments de transition.

La dénomination « métaux lourds » représente un éventail d'élément parfois variable. Pendant longtemps, deux notions étaient prises en compte (Kribi.S., 2006) ;

- Une notion de densité :  $d > 5 \text{ kg /dm}^3$
- Une notion de toxicité.

La définition inclut ces deux notions en les associant à la classification en trois groupes basée sur l'activité et la toxicité biologique des éléments et sur leur chimie :

- Classe A : affinité pour l'oxygène
- Classe B : affinité pour le soufre
- Classe intermédiaire ; entre les deux

La toxicité étant croissante de la classe A vers la classe B, et le terme « métaux lourds » désignant les métaux et métalloïdes toxiques indépendamment de leur densité (Bicocchi., 1988 *in* Kribi.S., 2006).

Les métaux lourds peuvent aussi exister sous forme organique, c'est-à-dire combinés à un atome de carbone (exemple : le plomb tétraéthyl des essences) mais aussi sous forme de complexes (exemple : le salicylate de plomb, provenant de la complexation du plomb avec une substance humique des sols).

On distingue deux types de métaux

- Métaux essentiels ou oligo-élément

Ce sont des métaux importants pour la vie et se trouvent à faibles concentrations dans l'eau. Ils sont toxiques lorsque leur concentration est trop élevée (Notion de poison vital). Ce sont : le fer, le cuivre, le zinc, le Nickel, l'étain, le Chrome, le Manganèse.

- Métaux non essentiels

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

## 4.2 Sources des métaux lourds

Les métaux lourds qui entrent dans l'environnement aquatique proviennent de sources naturelles et de sources anthropogènes

### 4.2.1 Sources naturelles

- l'activité volcanique (Ni, Zn)
- l'altération des continents et les incendies de forêts (Zn)
- l'érosion de la croûte terrestre (Cr, Fe, Ni)
- les sources hydrothermales

### 4.2.2 Sources anthropiques

- Effluents d'extractions minières (Fe, Ni)
- Effluents industriels
- Effluents domestiques et ruissellements orageux urbains
- Lessivage de métaux provenant de décharges d'ordures ménagères et de résidus solides (Pb, Cd)
- Apports de métaux provenant de zones rurales, par exemple métaux contenus dans les pesticides (Cd)
- Sources atmosphériques, par exemple combustion de carburants fossiles (pétrole et charbon dans l'industrie, le chauffage et les transports : Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb)
- Activités pétrochimiques

Le tableau suivant (Tab.1) présente les principales sources anthropiques des métaux lourds étudiés.

Tab.1 : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement (Biney.C., et al. 1994)

Utilisations	Métaux
Batteries et autres appareils électriques	Cd, Pb, Zn, Mn, Ni,
Pigments et peintures	Cd, Pb, Zn, Cr, Cu, Fe
Alliages et soudures	Cd, Pb, Zn, Ni, Cu
Biocides (pesticides, herbicides, conservateurs)	Pb, Cu, Zn, MN
Verre	Mn
Engrais	Cd, Pb, Al, Cr, Cu, Ni, Zn
Matières plastiques	Cd, Pb
Textiles	Cr, Fe
Raffineries	Ni, Pb, Fe, Mn, Zn
Carburants	Ni, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

À l'échelle mondiale, les émissions d'origine anthropique dépassent dorénavant les émissions d'origines naturelle pour bon nombre d'éléments tels que le plomb, le cadmium, le zinc (Gombert.S et *al*, 2007).

### 4.3 Propriétés des métaux lourds étudiés

Les métaux lourds analysés font partie des oligo-éléments.

#### 4.3.1 Le cuivre

En tant qu'élément constituant de nombreuses enzymes, le cuivre est un oligo-élément essentiel, mais peut être toxique s'il dépasse un certain seuil de concentration.

La toxicité du cuivre en milieu marin est fonction de sa forme chimique et son état d'oxydation. Cependant, des inhibitions de croissance du phytoplancton ont été observées à partir de 4 µg/l.

#### 4.3.2 Le chrome

Le chrome existe principalement dans la nature sous la forme de dérivé. Le principal minéral est le chromate de fer ou chromite ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ).

Le chrome pur est obtenu par réaction d'aluminium et d'oxydes (III) de chrome (aluminothermie), par électrolyse ou à partir d'iodure de chrome. Les teneurs en chrome dans les sédiments marins, sont de l'ordre de 60 à 100 µg/g, sont similaire à celle de la croûte terrestre, ce qui reflète le caractère litho- génique de cet élément.

Dans les systèmes aquatiques, la toxicité des dérivés solubles du chrome varie en fonction de la température, du pH, des espèces d'organismes aquatiques concernés.

#### 4.3.3 Le zinc

Le zinc est naturellement présent dans la nature, principalement sous forme de sulfure. Le minéral le plus courant est le sulfure de zinc ou blende.

Les apports de zinc au milieu marin sont principalement dus à la métallurgie et à la combustion des bois et des charbons.

Les sels de zinc sont moins nocifs pour les organismes marins que pour ceux des eaux douces. Cependant, la toxicité du zinc s'exerce à partir de quelques milligrammes par litre chez le poisson. Chez l'homme, les besoins en zinc s'élève à 15 mg/j et permettent de maintenir certaines activités enzymatiques. Par contre, la déficience en zinc entraîne le nanisme.

## 4.4 Le devenir des métaux lourds dans l'environnement marin

### 4.4.1 Transport des métaux lourds

Les métaux lourds sont transportés par différentes voies (éoliennes, ruissellement, industrielles) sous forme de solutions et dans les matières en suspension (O.M.S., 1980).

Des processus physiques et chimiques affectent la distribution entre les différentes composantes (eau, biote, sédiment)

### 4.4.2 Echange de polluants entre l'eau et le sédiment (cycle biogéochimique)

Le sédiment est un milieu complexe qui possède de multiples possibilités d'association avec les contaminants. En effet, les métaux lourds apportés s'adsorbent sur les particules.

Dans le milieu aquatique, les métaux lourds sont sujet à la précipitation, la complexation, l'absorption et la solubilisation et la sédimentation et diffusion et désorption et cela dépend des propriétés physiques et chimiques du milieu (Silva, 2002 in Kribi.S., 2006).

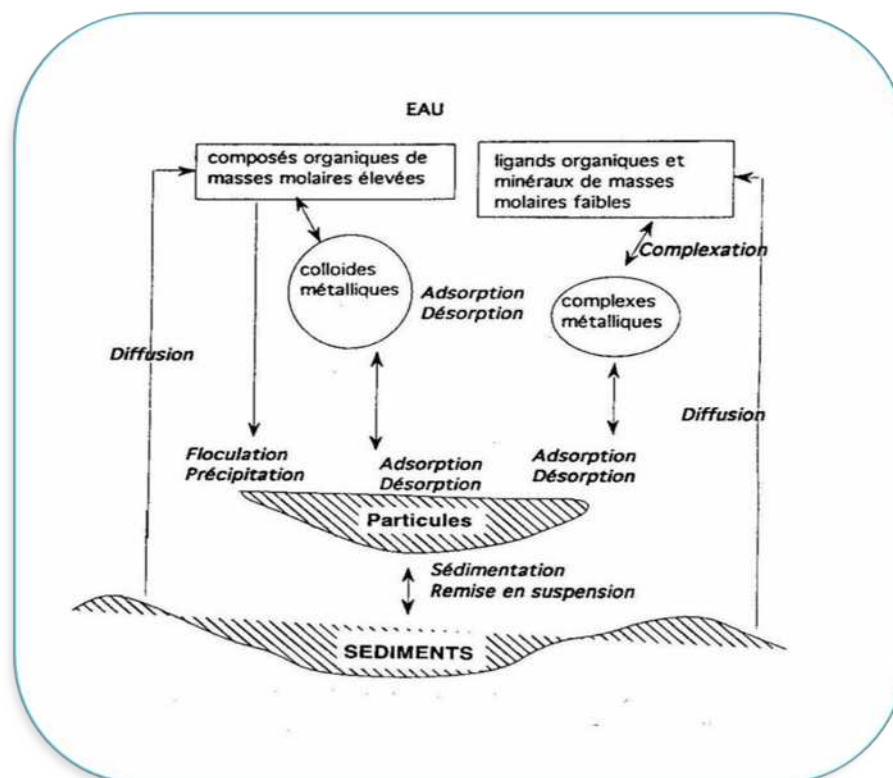


Fig.1 : L'échange de métaux lourds entre la colonne d'eau et les sédiments (Serpaud.B et al, 1994)

#### 4.4.2.1 Adsorption et absorption

L'absorption consiste en l'accumulation d'espèces chimiques à la surface des argiles. L'adsorption regroupe les processus d'incorporation des polluants dans la structure argileuse. Les organismes vivants modifient également les caractéristiques physiques et chimiques du milieu (biodégradation, bioturbation...), ils accumulent les contaminants à partir des phases aqueuses par adsorption.

#### 4.4.2.2 Sédimentation

Le processus de sédimentation transfère rapidement les métaux lourds de l'eau au sédiment qui dépend de la composition granulométrique et géochimique du sédiment (rétention des métaux lourds).

#### 4.4.2.3 Diffusion et désorption

Les contaminants associés aux particules peuvent donc retourner dans la phase aqueuse sous l'effet de processus physique (diffusion) ou chimique (désorption). La désorption est souvent lente et incomplète. La sorption se produit au niveau des surfaces des argiles par liaisons ioniques.

#### 4.4.3 La bioaccumulation

La bioaccumulation est le processus d'assimilation et de concentration des métaux lourds dans l'organisme. Le processus se déroule en trois phases :

- l'assimilation,
- la bioaccumulation par l'individu, ou bioconcentration,
- la bioaccumulation entre individus, ou bioamplification.

##### 4.4.3.1 L'assimilation

Il existe deux voies principales d'exposition aux polluants : la voie externe, par contact (par l'air ou l'eau...) qui provoque un phénomène d'**adsorption** (la substance toxique reste à la surface), et la voie interne par assimilation ou **absorption**.

##### 4.4.3.2 La bioaccumulation par l'individu : La bioconcentration

Phénomène par lequel une substance présente dans un biotope pénètre dans un organisme, même si elle n'a aucun rôle métabolique, et même si elle est toxique à ce dernier. Dans ce processus, il y a simple transfert d'une fraction de la substance contenue dans le biotope dans l'organisme, de sorte que la concentration dans les tissus de ce dernier est généralement légèrement inférieure ou égale à celle où le polluant se rencontrera dans l'eau ou le sol.

Le tableau ci-dessous donne une indication schématique de l'importance de la bioconcentration de quelques espèces marines.

Tab.2 : La capacité bio accumulatrice de certaines espèces marines vis-à-vis le cadmium et le plomb (Biney.C., et *al.* 1994)

Métal espèces	cadmium	plomb
Plantes aquatiques	faible	faible
Invertébrés	moyenne à forte	moyenne
Vers	moyenne	moyenne
Mollusques	moyenne	moyenne
Crustacés	forte	moyenne
(Moules)	forte	forte
(Huîtres)	très forte	moyenne
Poissons	faible	faible

#### 4.4.3.3 La bioaccumulation entre individus : la bioamplification

Les transferts de métaux entre individus suivent un processus classique (dits « transferts trophiques »). Le polluant, présent dans les algues et les microorganismes est ingéré par un herbivore, lui-même proie pour un carnivore, lui-même proie d'un supercarnivore, animal ou homme. En bout de chaîne, on se trouve donc avec un consommateur final ayant bioaccumulé les formes solubles des métaux.

Il peut arriver, pour certains prédateurs et certains métaux, que les concentrations augmentent au fur et à mesure que l'on progresse dans la chaîne trophique. On appelle ce phénomène la « **bioamplification** » ou la « **biomagnification** ».

## 4.5 La spéciation des métaux lourds

La spéciation des métaux correspond aux différentes formes chimiques sous lesquelles on peut rencontrer ces métaux. Suivant le milieu dans lequel se trouve un élément chimique, il va adopter un état d'oxydation et un environnement chimique (s'entourer de différents autres atomes ou molécules) de telle sorte à être le plus stable possible. Cela va dépendre de beaucoup de paramètres tels la température, la pression, le pH, les autres éléments chimiques présents.

Il arrive également qu'un même élément se retrouve sous plusieurs formes stables : par exemple dans un même milieu on peut rencontrer du chlorure de manganèse  $MnCl_2$  (où le manganèse est sous forme de  $Mn^{2+}$ ) et un oxyde de manganèse  $MnO_2$  (où le manganèse est sous forme de  $Mn^{4+}$ ) qui coexistent. Toutefois, il a été scientifiquement démontré que suivant sa forme chimique un même élément possède des propriétés éco toxicologiques ou toxicologiques différentes.

La distribution des différentes formes chimiques des métaux (spéciation) détermine leur réactivité et conditionne leur degré de nuisance. Ainsi, le risque chimique de ces métaux

n'est pas seulement associé à leur concentration mais également à leurs formes chimique et structurale

#### 4.6 Paramètres influençant la distribution des métaux lourds

Les facteurs qui contrôlent la répartition des métaux lourds dans le sédiment sont de nature physico-chimique telle que le pH, le potentiel redox, la teneur en matière organique (Tack, 1996 in Kribi.S., 2006) la teneur en argiles, la teneur en eau (Gabler, 1997 in Kribi.S., 2006), les sulfures (Zoumis, 2001 in Kribi.S., 2006).

##### 4.6.1 Le pH

Dans le sédiment, le pH est contrôlé par les activités biologiques et dépend de la capacité tampon du système : carbonates (Equilibre  $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ ), (Bonnet, 2000 in Kribi.S., 2006). L'oxydation des sulfures en sulfates entraine une réduction du pH, qui est proportionnellement au pouvoir tampon (Peltola, 2002 in Kribi.S., 2006).

##### 4.6.2 Le potentiel d'oxydoréduction

Le potentiel d'oxydation ou le potentiel redox mesure l'aptitude d'oxydation ou à la réduction d'une solution et permet de déterminer les possibilités de mise en solution ou de précipitation de divers composés minéraux dans les sédiments.

Le dragage des sédiments et leur dépôt à terre ( passage du milieu anaérobie au milieu aérobie ), entraine un changement du potentiel redox qui conduit entre autre à l'oxydation des sulfures et de la matière organique entraînant une diminution de pH et la mobilisation des métaux lourds qui ont été adsorbés (Zoumis,2001 in Kribi.S.,2006).

Le changement de pH et de potentiel redox en même temps influencent la mobilité des métaux lourds.

#### 4.7 Toxicité des métaux lourds

Les éléments traces, et les métaux lourds en particulier, peuvent être toxiques : néanmoins nombre d'entre eux, tel que Zn, Cu, Mn, Co, Fe sont aussi indispensables à la croissance des organismes vivants.

D'autres éléments, comme Pb et Cd, ne sont pas indispensables aux activités métaboliques et manifestent des propriétés toxiques.

Les métaux peuvent être absorbés sous la forme inorganique ou sous la forme organique. Pour certains éléments, comme le cuivre, la forme inorganique est la plus toxique. Pour d'autres, comme le Pb, les formes organiques sont les plus toxiques.

#### 4.7.1 Effets sur l'environnement marin

L'exposition à une pollution par les métaux lourds est connue pour provoquer des effets dommageables, à court ou à long terme, aux systèmes vivants (écosystèmes aquatiques).

Mais ces effets sont difficiles à quantifier puisqu'ils se produisent sur des systèmes présentant des seuils de vulnérabilité variables.

Les effets des métaux dépendent leur dose (à l'exception du plomb, cadmium, sont toujours toxiques) et de leur forme chimique.

La pollution métallique peut aussi affecter la qualité des eaux de surface et des nappes phréatiques pouvant aller jusqu'à la limitation de l'utilisation de l'eau.

Tab.3 Effets des métaux lourds étudiés sur l'environnement marin

Métal	Impact sur l'environnement
Chrome	Une diminution de la fonction de reproduction
Cuivre	Ralentissement de la décomposition de la matière organique et l'activité des micro-organismes. Faible chance de survie des plantes.
Zinc	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)

#### 4.7.2 Effets sur la santé humaine

Les métaux sont connus pour leur effets sur la santé humaine, qui l'organisme par différentes voies (inhalation de l'air, ingestion de nourriture ou d'eau, contact dermique).

Les effets peuvent être chroniques (exposition peu intense de longues durée) ou bien aigus (exposition intense de courte durée).

Chez l'homme, comme chez les autres organismes vivants, la toxicité des métaux varie en fonction des éléments métalliques, de leur mode de pénétration dans l'organisme et de leur forme chimique (spéciation), (Gombert *et al*, 2007).

Tab.4: La toxicité des métaux lourds étudiée sur la santé humaine (Gombert *et al.*, 2007).

Elément	Forme toxique	Effets	
		Chronique	Aigue
Chrome	Forme inorganique (trioxyde de chrome)	Troubles respiratoires et gastro-intestinaux, Lésions de rein	Irritations des muqueuses respiratoires
Cuivre	Toxicité rare sauf si exposition exceptionnelle	irritation des voies aériennes supérieures et des troubles gastro-intestinaux. Des réactions allergiques chez certains individus.	Lésions des muqueuses respiratoires, douleurs épigastriques, céphalées, nausées, vomissements et diarrhée, tachycardie, difficultés respiratoires, anémie, hémorragie gastro-intestinale
Zinc	Toxicité rare sauf si exposition exceptionnelle, sels solubles, chlorures, phosphures,	troubles gastro-intestinaux, des douleurs abdominales ou épigastriques, des nausées, des vomissements, ulcères et des épisodes de constipation.	Irritations des muqueuses respiratoires, gastro-intestinales et cutanées, fatigue

## 5. Les sels nutritifs

### 5.1 Définition

Par définition, les sels nutritifs sont des constituants minéraux dissous dans l'eau de mer et impliqués dans le métabolisme des êtres vivants. Ils se situent donc à l'interface physique-biologie, ce qui rend leur étude doublement intéressante puisqu'ils peuvent être utilisés à la fois comme traceurs de masse d'eau ou comme indicateurs de richesse potentielle.

En réalité, dans les conditions naturelles, les sels nutritifs ne sont pas des polluants car ils n'ont aucun effet néfaste sur la vie aquatique, ce n'est qu'en cas d'excès important que certains composés azotés particuliers (nitrite, ammoniac) peuvent présenter une toxicité pour les formes supérieures de vie aquatique telles que les poissons.

Par ailleurs, la définition « sels nutritifs » s'applique traditionnellement à plusieurs formes de composés minéraux qui sont, pour l'azote : les ions nitrates, nitrites, ammonium, pour le phosphore, l'ion orthophosphate et pour le silicium l'ion silicate.

Les éléments nutritifs sont présents dans le milieu aquatique sous diverses formes organiques en solution ou dans le matériel particulaire. Le tableau suivant présente les principaux nutriments présents dans le milieu aquatique (Aminot.A., *et al.*, 2004).

Tab.5 Les principaux nutriments présents dans le milieu marin et leurs expressions chimiques (Aminot.A et *al*, 2004)

Formes chimiques et appellations	Expressions chimiques
<u>Nutriments minéraux dissous</u> Ammonium, ammoniac Nitrite (azote nitreux) Nitrate (azote nitrique) Orthophosphate, phosphate Silicate, acide orthosilicique	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NH <sub>3</sub> NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Si(OH) <sub>4</sub> , H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> , H <sub>3</sub> SiO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
<u>Nutriments organiques dissous</u> Azote organique dissous Phosphate organique dissous	NOD POD
<u>Nutriments particulaires</u> Azote organique particulaire Phosphate organique particulaire Phosphate particulaire (total) Silicium biogénique	NOP POP PP BSi

## 5.2 Origines des sels nutritifs

Les éléments nutritifs proviennent de sources variées, situées aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des plans d'eau. Les sources exogènes potentielles sont constituées d'effluents ponctuels d'origines municipales ou industrielles (station d'épuration) et de sources diffuses (non ponctuelles), telles que les ruissellements et les dépôts atmosphériques. Le relargage de nutriments à partir des sédiments et les infiltrations constituent d'importantes sources endogènes (Aminot.A et *al*, 2004).

### 5.2.1 Origines exogènes

#### 5.2.1.1 Apports ponctuels

Les déversements directs d'eaux d'égout ou d'effluent à partir des stations d'épuration font partie des apports nutritifs ponctuels provenant des sources municipales et industrielles. La quantité de polluants rejetés dépend de facteurs tels que la vitesse d'écoulement des eaux usées, le degré et le type de traitement utilisé ou la composition initiale des eaux traitées. Apports domestiques et urbains comme les rejets ménagers, qui contiennent des polluants avides d'oxygène et des éléments nutritifs, posent depuis plusieurs années, des problèmes de qualité des eaux.

### 5.2.1.2 Les apports diffus

- Apports agricoles

L'usage des engrais chimiques en lieu et place des engrais naturels dont le recyclage est assuré par la nature constitue un des inconvénients que pose l'industrialisation de l'agriculture. Dans les conditions actuelles, de grandes quantités de ces fertilisants sont utilisées chaque année.

Le drame est que d'une part les végétaux mettent un certain temps à assimiler ledit azote, d'autre part que ces engrais sont très solubles ce qui est normal car les plantes se nourrissent essentiellement de matières dissoutes. Les élevages peuvent aussi être une source de nuisance de part leur concentration.

- Apports atmosphériques

Des nutriments sont disposés directement à la surface du plan d'eau par apport atmosphérique en provenance de précipitations, de retombés atmosphériques sèches et de transfert par turbulence à l'interface air-mer. Les nutriments sont sous formes particulaire et soluble, cette dernière étant la plus courante.

Les éléments nutritifs des dépôts atmosphériques proviennent d'origines diverses ; la proximité des fumées industrielles, la circulation automobile, et la fréquence des averses locales peuvent favoriser les dépôts atmosphériques de substances potentiellement polluantes sur un plan d'eau.

- Apports par ruissellement

Les facteurs urbains et ruraux affectent l'apport de nutriments par le biais des ruissellements vers l'eau de mer. Les sources de nutriments proviennent des ruissellements à partir des zones agricoles et des forêts. Les activités liées à l'élevage constituent les principales sources diffuses de nutriments. Elles sont générées par les écoulements provenant des tas de fumier, des réservoirs de lisier, par les eaux usées des laiteries, des aires de nettoyage des machines agricoles.

### 5.2.2 Origine endogène (Apports à partir des sédiments)

Les nutriments sont recyclés entre la colonne d'eau, les plantes et les sédiments. Les nutriments sont normalement piégés par les sédiments, mais à la suite de relargage, une partie de ces nutriments peut à nouveau transiter vers la colonne d'eau.

La figure ci-dessous présente les différentes sources exogènes des éléments nutritifs dans le milieu marin.

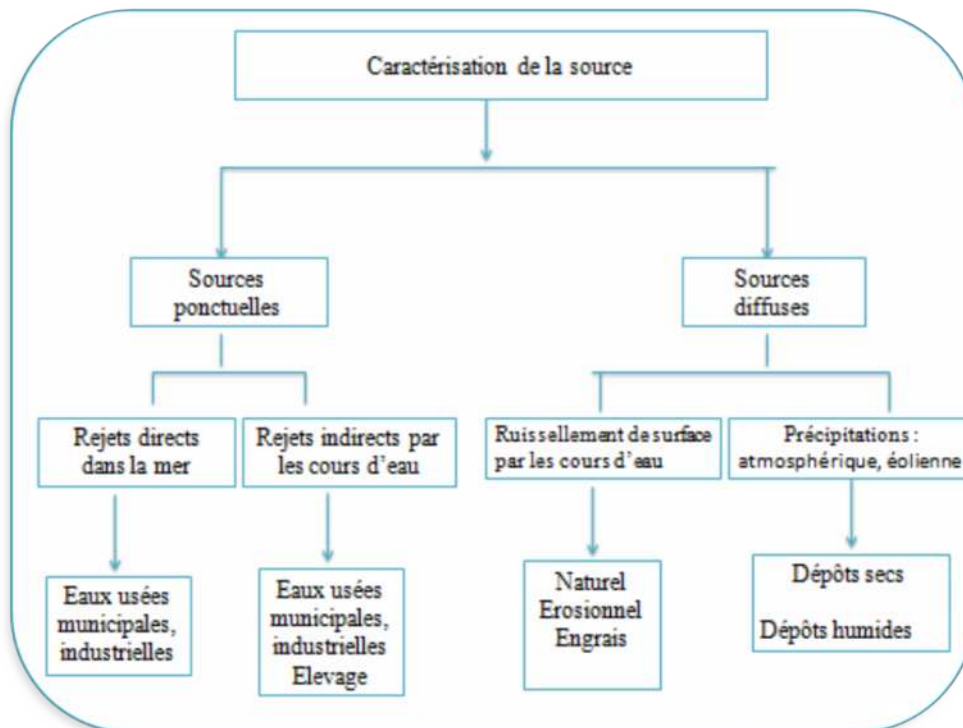


Fig.2 : Les principales sources exogènes des sels nutritifs dans le milieu marin (P.N.U.E 1995)

### 5.3 Les sels nutritifs en mer Méditerranée

#### 5.3.1 Les apports

Les apports nutritifs en mer méditerranée dépendent des échanges d'eau par le détroit de Gibraltar, des dépôts atmosphériques et des déversements terrestres par les flux d'eau horizontaux et verticaux qui vont repartir dans les différentes parties du bassin.

##### 5.3.1.1 Apports terrestres

Les apports terrestres par rapport aux nutriments organiques et minéraux introduits en Méditerranée sont essentiellement par voies fluviales et directe.

##### 5.3.1.2 Apports atmosphériques

Les apports atmosphériques sont représentés par les pluies qui contiennent des concentrations significatives d'azote pour la Méditerranée de l'ouest.

## 5.3.2 Concentration des sels nutritifs en surface

Tab.6 Les concentration des nutriments en mer Méditerranée en eau de surface

Le nutriment	Concentration ( $\mu\text{mol/l}$ )
$\text{NO}_3^-$	< 1
$\text{SI}(\text{OH})_4$	< 1
$\text{PO}_4^{3-}$	< 0,2

Les images satellites de la Méditerranée, qui montrent les variations de la chlorophylle dans les eaux de surface, révèlent que les niveaux les plus élevés de biomasse autotrophe correspondent aux zones proches des deltas fluviaux et des zones situées au large des grandes conurbations. Inversement, les eaux du large de la Méditerranée sont généralement proches de l'oligotrophie ou même de l'ultraoligotrophie à l'exception de cas généralement occasionnés par un upwelling d'eaux profondes riches en nutriments.

Au cours de cheminement de l'eau Atlantique de Gibraltar vers l'est, le peu des sels nutritifs est consommé dans le bassin Algéro-provinçal.

## 5.4 Les formes de sels nutritifs

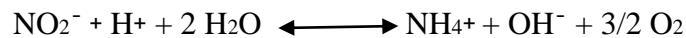
### 5.4.1 Azote

On distingue 3 fois formes d'azote, Ammonium  $\text{NH}_4^+$ , Nitrates  $\text{NO}_3^-$ , Nitrites  $\text{NO}_2^-$ .

#### 5.4.1.1 Azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )

Il se trouve sous deux formes en solution, l'ammoniac  $\text{NH}_3$ , l'ammonium  $\text{NH}_4^+$  (la forme la plus abondante).

La source principale de  $\text{NH}_4^+$  est l'excrétion planctonique, la décomposition bactérienne des composés organiques azotés par l'ammonification, et la réduction des nitrates en milieu anaérobique par un mécanisme bactérien selon la réaction suivante (Samari.N, 2008) :



En milieu aqueux, l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) se comporte comme une base au sens de (accepteur de protons  $\text{H}^+$ ) et forme des ions  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{OH}^-$ . Le couple acido-basique  $\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+$  a un  $\text{pK}_a$  égal à 9,2 : l'ammoniac est donc une base faible.

#### 5.4.1.2 Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

Les nitrates sont le résultat de l'oxydation des nitrites sous l'action des bactéries du type *Nitrobacter*. Les nitrates sont des indicateurs de pollution (rôle de fertilisants) puisque c'est la forme assimilable par les plantes (Eddalia.N, 1990).

#### 5.4.1.3 Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Les nitrites sont la forme intermédiaire entre les nitrates et l'azote. Proviennent de l'oxydation de l'ammonium sous l'action des bactéries nitreuses (Nitrosomonas), soit de la réduction des nitrates en cas d'anaérobiose par les bactéries dénitrifiantes.

### 5.4.2 Les Phosphates

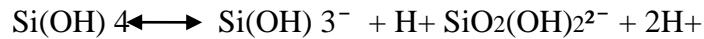
Le phosphore est essentiellement présent dans l'eau de mer sous forme d'ions phosphate correspondant à l'équilibre de dissociation de l'acide orthophosphorique :



La concentration dépend des phénomènes physiques (mélange, adsorption, diffusion) et biologiques (consommation par le phytoplancton, excrétion par le zooplancton, régénération de la matière organique)

### 5.4.3 Le Silicium

Le silicium minéral est dissous dans l'eau de mer essentiellement sous la forme d'acide orthosilicique ( $\text{Si(OH)}_4$ ). C'est un élément nutritif qui entre dans la composition des "squelettes" de certaines espèces phytoplanctoniques (diatomées) et peut être un facteur limitant important. Sa régénération dans l'eau de mer provient de la dégradation du silicium organique particulaire mais également de la dissolution des sels minéraux (ex : aluminosilicates).



A pH = 8,1 la forme neutre  $\text{Si(OH)}_4$  représente 96,2% du silicium et  $\text{SiO(OH)}_3^-$  3,8%. En solution, il n'y a pas donc pas de silicium organique, au sens strict. Lorsque le silicium est assimilé par les diatomées, il sert à l'élaboration de leur squelette en silice  $\text{SiO}_2$  et constitue ce que l'on appelle la silice biogénique BSi,

## 5.5 Le cycle biogéochimique des sels nutritifs

Les sels nutritifs sont naturellement consommés sous forme minérale dissoute par les producteurs primaire (phytoplancton, premier maillon de la chaîne alimentaire), assimilés tout au long de la chaîne alimentaire.

Les nutriments passent ainsi sous forme organique particulaire. Les nutriments organiques sont ensuite régénérés sous leur forme minérale originelle, soit par le biais de leur ingestion puis de leur excrétion par le différent échelon animal de la chaîne alimentaire, soit à la mort de la biomasse, par suite de la dégradation directe par les bactéries hétérotrophes.

Le cycle des sels nutritifs fonctionne grâce à plusieurs processus qui, selon les conditions environnementales, peuvent se dérouler plus ou moins simultanément ou se succéder.

Tab.7 Principaux mécanismes impliquant les nutriments dans le milieu marin  
(Aminot.A et *al*, 2004)

Mécanisme	Consommation	Production
Photosynthèse	PO <sub>4</sub> , H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	NOP, POP, BSi
Minéralisation (excès de N,P)	NOP, POP, NOD, POD	NH <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> , NOP, POP
Minéralisation (excès de C)	NOP, POP, NOD, POD, PO <sub>4</sub>	NOP, POP
Secretion, excretion		NOD, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , PO <sub>4</sub> , NOP, POP
Nitrification (nitritation)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Nitrification (nitratation)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Dénitrification	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, NH <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Dissolution	BSi	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> <sup>-</sup>

Les processus de cycle des sels nutritifs sont comme suit :

#### 5.5.1 La photosynthèse

C'est le principal mécanisme de production primaire de la biomasse dans le milieu marin. La lumière la source d'énergie indispensable, c'est pourquoi seules les eaux superficielles sont le siège de ce processus. L'azote inorganique assimilé peut provenir d'ammonium, de nitrite toutefois, la dépense d'énergie de la cellule sera d'autant plus élevée que l'azote est plus oxydé. Le phosphore est fourni par le phosphate, mais les cellules sont capables d'hydrolyser le phosphore organique dissous grâce à des enzymes externes (fixés ou non à la cellule) en cas de déficit en phosphate (Aminot.A et *al*, 2004).

#### 5.5.2 La minéralisation (régénération)

La matière organique dissoute (secrétée par les cellules ou libérée à leur mort) et la matière organique particulaire détritique (excrétée par les organismes supérieurs ou constituée de débris de cellules mortes) sont converties en nutriments minéraux essentiellement par les bactéries : c'est la phase de minéralisation, indispensable au fonctionnement du cycle de la vie aquatique. La minéralisation est la réaction inverse de la photosynthèse, aboutissant à la formation de nitrate et de phosphate. Cependant, cette réaction ne représente que l'aboutissement final des processus conduisant à l'oxydation complète des éléments de la matière organique (dissoute ou particulaire), (Aminot.A et *al*, 2004).

La minéralisation de l'azote organique produit de l'ammonium. Ce n'est que par la suite, si le milieu n'est pas dépourvu de l'oxygène, que l'ammonium sera oxydé en nitrite et nitrate par nitrification.

La minéralisation résulte de la nutrition des bactéries hétérotrophes dont le métabolisme comporte deux voies complémentaires : la voie énergétique qui récupère l'énergie stockée dans la matière organique par l'oxydation du carbone organique en CO<sub>2</sub> (respiration) et la voie synthétique (assimilation) qui construit la biomasse bactérienne qui utilise les éléments minéralisés pour constituer une biomasse (Aminot.A, et al, 2004).

### 5.5.3 L'excrétion

L'excrétion et la sécrétion de nutriments sont considérées en dehors de la minéralisation bactérienne. Des composés organiques solubles sont sécrétés par le phytoplancton vivant, les plus connus étant les acides aminés et les polysaccharides. De l'ammonium et du phosphate sont excrétés par les microflagellés hétérotrophes. Les ciliés et le zooplancton. Les organismes zooplanctoniques excrètent en outre du matériel organique particulaire (Aminot.A, et al, 2004).

### 5.5.4 La nitrification

Dans les milieux où l'oxygène est présent, l'ammonium rejeté par la minéralisation est oxydé en nitrite puis nitrate par les bactéries nitrifiantes. La conversion d'ammonium en nitrite (nitritation) est réalisée par les bactéries *Nitrosomonas* et celle de nitrite en nitrate (nitratisation) par les bactéries *Nitrobacter*.

### 5.5.5 La dénitrification

Dans les milieux anoxiques, l'ammonium rejeté par la minéralisation n'est pas oxydé et s'accumule. Dans ces milieux, des bactéries se développent néanmoins en trouvant d'autres sources d'oxygène, dont celui du nitrate lorsqu'il est présent. La dénitrification est un processus hétérotrophe. Différents processus consommant le nitrate sont regroupés sous le terme de dénitrification. Au sens strict, il s'agit de la production finale de diazote N<sub>2</sub>, mais de l'oxyde nitreux est aussi produit N<sub>2</sub>O. Au sens large, on y inclut la réduction du nitrate en ammonium. Dans les sédiments, les deux types de processus sont présents.

## 5.6 Notion de facteur limitant

Lorsque des populations phytoplanctoniques se développent, elles consomment les nutriments minéraux dissous et abaissent leurs concentrations à des niveaux auxquels il devient très difficile aux cellules de les puiser, ce qui ralentit leur croissance. Les nutriments sont alors les « facteurs limitants ». L'épuisement de l'azote ou du phosphore conduit à l'arrêt de la croissance du phytoplancton, mais l'épuisement du silicium ne limite que la croissance des diatomées. Lorsque les concentrations des nutriments diminuent, seules les populations de petites cellules se développent car leur plus grand rapport surface/volume leur permet de mieux utiliser les faibles concentrations (Aminot.A et al, 2004).

Le rapport atomique moyen de l'azote par rapport au phosphore (N/P), est utilisé pour évaluer l'élément potentiellement limitant. Un rapport N/P de la biomasse du phytoplancton est de 16/1, si le N/P supérieur à 16 dans l'eau, indique un excès d'azote dont une limitation par le phosphore, si N/P est inférieur à 16 indiquerait une limitation par l'azote. Par contre, le rapport N/P en mer méditerranée est proche de 20 dans sa partie orientale et de 22 dans sa partie occidentale.

## 5.7 Eutrophisation

Dans sa définition la plus générique s'appliquant aussi bien aux eaux douces qu'aux eaux marines, l'eutrophisation est le processus d'enrichissement des eaux par des éléments nutritifs des végétaux, en premier lieu l'azote et le phosphore, qui stimule la production primaire aquatique. Ses manifestations les plus graves en sont les proliférations d'algues ("eaux rouges"), l'écume algale, l'augmentation de la croissance des algues benthiques et, par moments, une croissance massive de macrophytes immergés et flottants. Parfois, ces manifestations s'accompagnent de proliférations bactériennes et de développements de champignons. Au plan visuel, l'eutrophisation et ses effets secondaires occasionnent une décoloration des eaux, une diminution de la transparence, une altération esthétique et pour les baigneurs un gêne qui nuit aux activités récréatives (UNEP, 1995).

Les proliférations d'algues peuvent conduire à des encombrements de plans d'eau, à des phénomènes d'anoxie (dégradation de la biomasse végétale qui consomme l'oxygène du milieu et entraîne des mortalités animales), ou à des problèmes de phytotoxicité dans les réservoirs et plans d'eaux (Lefeuve.M et *al.*,1999).

## 6. La matière organique

### 6.1 Définition

Les sédiments océaniques constituent le réservoir de carbone le plus important sur Terre, dont un cinquième se trouve sous forme de carbone organique (Corg). Bien que nettement moins important que les réservoirs « Carbone Inorganique Dissous »(CID) et « Carbone Organique Dissous » (COD) de l'océan, le « Carbone Organique Particulaire » (COP) a un rôle primordial dans les processus de sédimentation.

Les sédiments océaniques sont le lieu d'enfouissement ultime de la matière organique (MO). Ils contiennent 500.000 Giga tonnes de Corg dont environ 700 Gt de Corg dans le premier mètre. Ce matériel, à l'origine de nos ressources énergétiques actuelles, est le centre d'intérêts économique et scientifique.

### 6.2 Les différentes origines

La MO présente dans l'environnement océanique peut avoir des sources diverses. Sur les marges continentales, les origines de ces apports sont particulièrement complexes : MO autochtone et allochtone. Ces différentes composantes se retrouvent superposées et leurs contributions sont difficiles à évaluer. De plus, ces composantes sont soumises à des processus physiques, chimiques et biologiques régissant leur transport et leur altération, qui peuvent être différents selon leur origine.

### 6.2.1 La composante autochtone

La MO autochtone est issue de la production primaire phytoplanctonique dans la couche euphotique (50-100 premiers mètres de la colonne d'eau), consommation de CO<sub>2</sub> et de sels nutritifs pour la réaction de photosynthèse dans les eaux de surface ( conversion du CO<sub>2</sub> en matière organique par le phytoplancton) , processus de transfert du carbone particulaire de la surface vers les eaux profondes où MO est reminéralisée, du broutage du zooplancton ainsi que de l'activité bactérienne dans la colonne d'eau et le sédiment (Treignier.C ,2005).

### 6.2.2 La composante allochtone

La MO allochtone est apportée par les fleuves et les dépôts atmosphériques (0,4 et 0,1 Gt C/an, respectivement. Ce matériel peut être d'origine naturelle ou anthropique, développement agricole et industriel. La majorité des apports allochtones naturels en MO a pour source les végétaux supérieurs et les substances issues du lessivage des sols (Hedges et al, 1997 in Treignier.C ,2005).

## 6.3 La préservation dans les sédiments

La MO arrivée à l'interface sédimentaire est dégradée par la faune benthique (macro- et méiofaune), ainsi que par les microorganismes bactériens. Cette activité est particulièrement intense dans les premiers centimètres du sédiment. Seul 1%, ou moins en océan ouvert, de la MO produite en surface se dépose au fond de l'océan et est enfouie dans les sédiments. La diagenèse précoce est définie comme l'ensemble des processus biologiques, chimiques et physiques qui transforment les particules au cours de leur enfouissement dans les couches supérieures du sédiment.

Les processus de dégradation sont essentiellement dus à l'activité des microorganismes aérobies et anaérobies, qui utilisent l'énergie d'oxydation et incorporent certaines molécules pour construire leur propre biomasse. L'environnement sédimentaire influence aussi la dégradation : présence ou non d'oxygène (le principal accepteur d'électron utilisé lors de la dégradation), présence d'organismes benthiques qui remanient le sédiment (bioturbation). Il semble que la nature de la MO atteignant le sédiment influence à son tour la faune benthique (Dauwe et al, 1998 in Treignier.C ,2005).

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

## 1. Situation géographique

La baie de Bou Ismail (ex-Castiglione) se situe à l'Ouest d'Alger dans la wilaya de Tipaza entre 2° 20' E et 2° 55' E. Elle est délimitée à l'Ouest par le cap du mont Chenoua et Ras Acrata à l'Est (dans la baie d'El Djamila).

Elle s'étend du mont Chenoua à l'Ouest à Ras Cabine à l'Est, couvrant une superficie de 350 Km<sup>2</sup>. L'ouverture de la baie est de l'ordre de 40 Km, elle est orientée du sud Est au nord-ouest



Fig.3 La localisation de la baie de Bou-Ismail (YAHOO. Maps)

## 2. Bathymétrie

Le plateau continental est, d'une manière générale, très étroit. Il a une surface de 509 Km<sup>2</sup> et une largeur de 55 km. Sa longueur se rétrécit au niveau des caps (2km à 3km) et s'élargit au milieu de la baie (11Km en face du Mazafran).

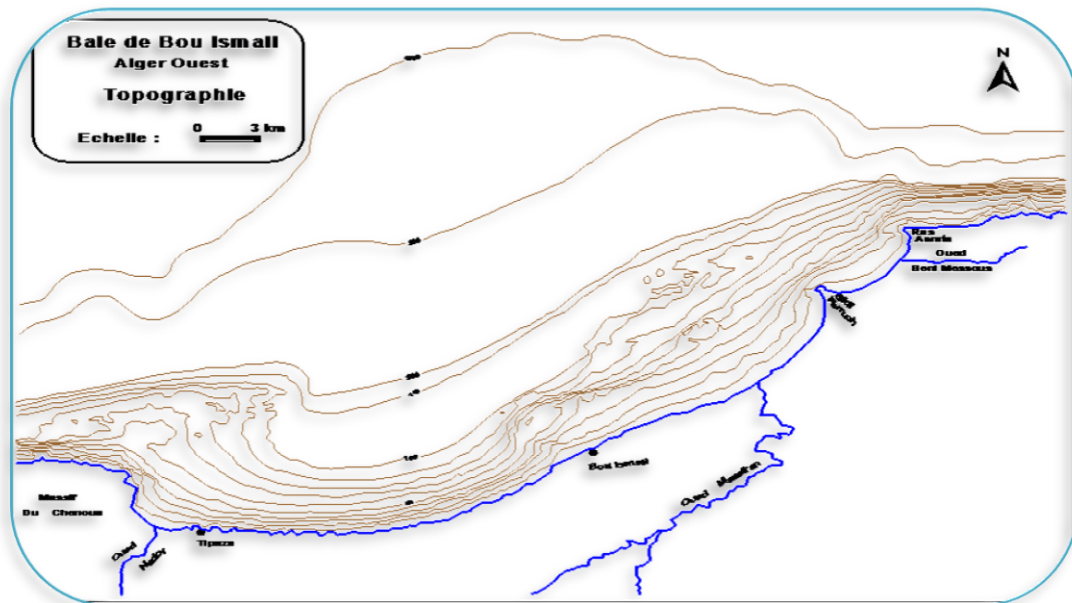


Fig.4 La carte bathymétrique de la baie de Bou-Ismaïl (Leclair, 1972).

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

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

### 3. Sédimentologie

L'analyse des sédiments de la baie de Bou Ismail a permis de mettre en évidence la grande diversité sur le plan sédimentaire des fonds de cette baie, neuf faciès identifiés : les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures, le faciès rocheux

Une bande de sable fin apparaît au large de Sidi Fredj et à Palm Beach à moins de 2m de profondeur et tapisse le fond de 15m à 25m tout le long de la baie. Parallèlement à ce faciès, on retrouve les sables fins vaseux qui longent la côte entre 25m à 40m de profondeur. Au large de Sidi Fredj (2km à 3km), on retrouve un dépôt de sables moyens, graviers et maërl. (LEM, 1999 *in* Annane et al, 2007).

Vers l'embouchure de l'Oued Mazafran et jusqu'à une profondeur de 2,5m, on trouve les sables grossiers. Au-delà de ce dépôt et jusqu'à une profondeur de 10m à 15m, on retrouve les sables moyens, qui ne réapparaissent qu'au niveau de Khemisti sur une zone étroite continue jusqu'à Tipaza.

Depuis la figure de la couverture sédimentaire de la baie de Bou-Ismaïl les vases pures et graviers envasés sont les faciès les plus dominants de la baie.

Les vases sont très développées dans la région ouest et forment ainsi une importante vasière littorale, tandis que les graviers envasés le 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.

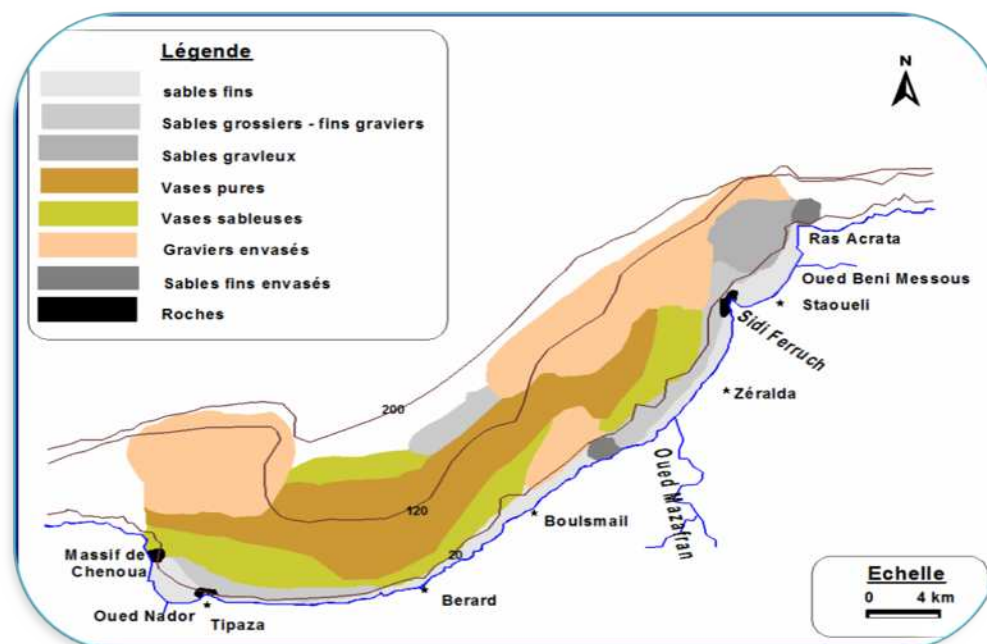


Fig.5 La couverture sédimentaire de la baie de Bou-Ismaïl  
(LEM, 1998 *in* Bachari.H.F, 2009)

#### 4. Réseaux hydrographiques

Les principaux oueds qui déversent dans la baie de Bou-Ismaïl sont Oued Mazagran, Oued Nadir, Oued Beni-Dessous

##### 4.1 Oued Mazafran

Situé à l'ouest de Sidi-Fredj, l'oued est formé par l'embranchement des oueds Der, Chiffra et Bou-Roumi, il prend sa source de la plaine de la Mitidja.

L'oued débouche entre Zéralda et Douaouda. Le régime hydrographique de cet oued est marqué par un long étiage de juin à début décembre avec des débits représentant 17.38% du débit liquide annuel. Entre décembre et avril, ces débits sont de 82.61%,

##### 4.2 Oued Nadir

Situés dans la partie occidentale de la baie, il s'est formé à partir de la cluse de Tipaza et par l'assemblage des oueds suivants :Oued Bou-Yersin, Bou-Ardon et Oued Murad. Son débit est de  $0.89 \text{ m}^3/\text{s}$  débouchant entre Djebel Che noua et Tipaza.

##### 4.3 Oued Beni-Messous

Il est situé à 30 Km à l'Ouest d'Alger, entre le Ras Acrata et l'épointement de Sidi-Fredj sur une distance de 4 Km. L'Oued traverse les communes de Beni-Messous et Chéraga, ses eaux sont chargées des rejets d'origine domestiques et industrielles. Son débit est faible par rapport aux débits des oueds précédemment cité et estimé à  $0.245 \text{ m}^3/\text{s}$ .

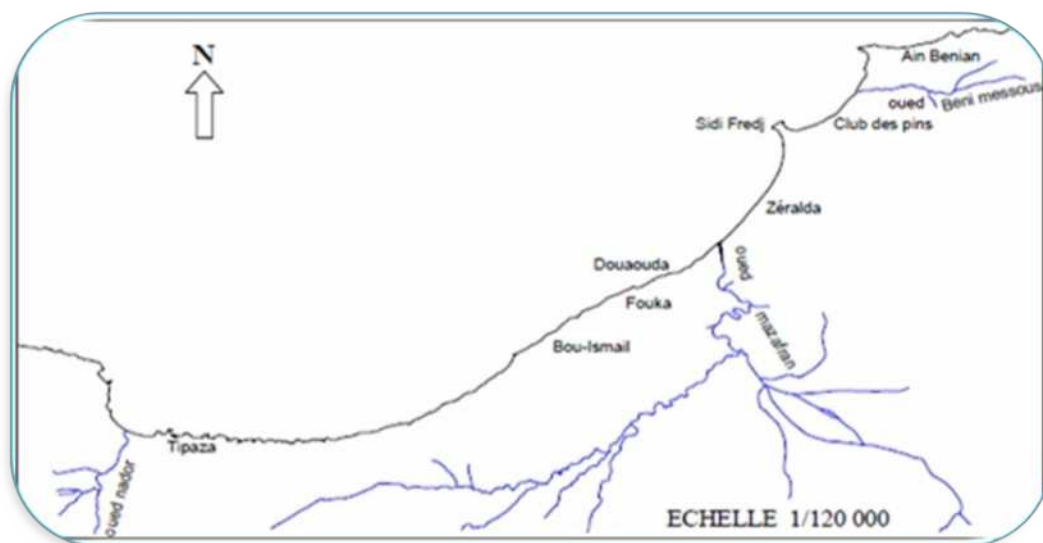


Fig. 6 : Le réseau hydrographique de la baie de Bou-Ismaïl  
(Annane et al, 2007 in Larbi.S et al, 2010)

## 5. Les facteurs hydrodynamiques

### 5.1 Les vents

Les observations fournies par la station météorologique de Bou-Ismaïl, désigne deux directions distinctes des vents au large de la baie aux quelles est exposé :

- Vents Nord-st en été (Braïk ; 1989 *in* Aouidad.Z., 1997).
- Nord-Nord-Ouest en hiver

### 5.2 Les houles

Les houles dominantes dans la baie de Bou-Ismaïl sont de direction Ouest Nord-Ouest et Nord Est. En hiver les houles les plus importantes sont d'origine Ouest et Nord-ouest avec des amplitudes de 2 à 2,5 m (Kadari-Meziane, 1994 *in* Aouidad.Z., 1997).

En été les directions sont Est et Nord Est avec des amplitudes généralement plus faibles 0,5 à 1,5 (Braïk,1989 *in* Aouidad 1997).

### 5.3 Les courants

Les courants sont d'origine Atlantique, qui entrent par le détroit de Gibraltar. Ils se dirigent vers l'Est au large des côtes algériennes avec une vitesse variant entre 0,5 et 2,5 nœuds .

## 6. Les principaux ports de la baie

### 6.1 port d'El-Djamila

La baie d'El Djamila s'étend sur un linéaire côtier de 6km. Elle est limitée à l'Est par Ras Acrata, à l'Ouest par la presqu'île de Sidi Fredj et au Nord par la mer Méditerranée.

La baie d'El Djamila appartient administrativement à la commune d'Ain Banian.

Le port d'El-Djamila, port de pêche et de plaisance situé à 18 km à l'Ouest d'Alger, constitué de :

- Ouvrages de protection :
  - Une jetée principale de 260ml prolongé de 40ml.
  - Une jetée secondaire de 160ml.
  - Epi Est : 80 m. de longueur
  - Quai : 90ml collé à la jetée secondaire.
  - Môle : 60 ml.
- Plan d'eau : 9000 m<sup>3</sup>.

- Une passe d'entrée de 30m du côté Ouest.
- Un terre-plein de 17500 m<sup>2</sup>.
- Pour la plaisance :
  - Longueur totale : 75 ml.
  - Surface (accostage des terre-pleins) : 600 m<sup>2</sup>.
  - Un linéaire de quai existant de 23m environ pour la plaisance.
  - Surface de parking : 1250 m<sup>2</sup>.
  - Une cale de halage pour la mise à sec des embarcations de plaisance.

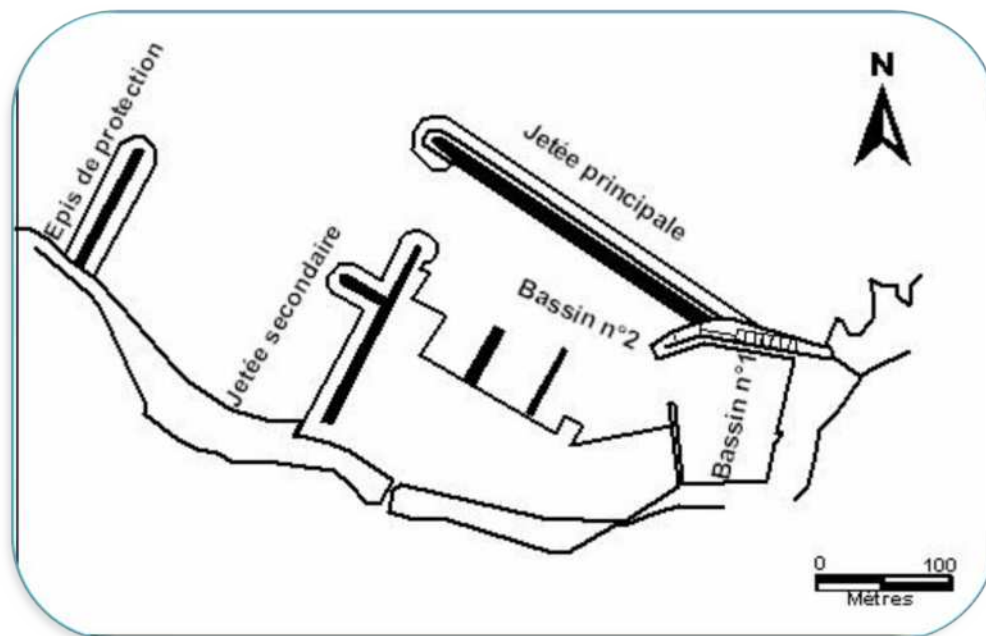


Fig.7 : Le schéma général du port d'El-Djamila  
(Alliouan et Ramdani, 2006 in Annane.G et al, 2007)

En 2002, des travaux d'extension du port projet qui ont, dénaturisé le paysage d'El-Djamila et, provoque la disparition d'une cinquantaine de mètres de plage située au voisinage du port avec la création d'une plage artificielle d'une longueur approximative de 300m, 25m de largeur et d'une profondeur de 3.5m.

## 6.2 Port de Sidi Fredj

Sidi Fredj est une presqu'île appartient à la baie de Bou Ismail, formant le cap Est de cette baie et la limite ouest de la baie d'El Djamila. Elle est située à 22 km à l'ouest d'Alger. Cette presqu'île est orientée vers le Nord-ouest.

Le port de Sidi Fredj est le plus connu port de plaisance en Algérie, avec une superficie de 35400 m<sup>2</sup> Il est constitué de :

- Cinq bassins (pour l'amarrage des bateaux).
- Grande jetée Nord (jetée principale) : longueur : 260 m. (encochement naturelle).
- Petite jetés Sud : longueur : 200m. (encochement naturelle).
- Trois épis.
- Un quai et un appontement de 777 ml.
- Une capacité de 400 plaisanciers.

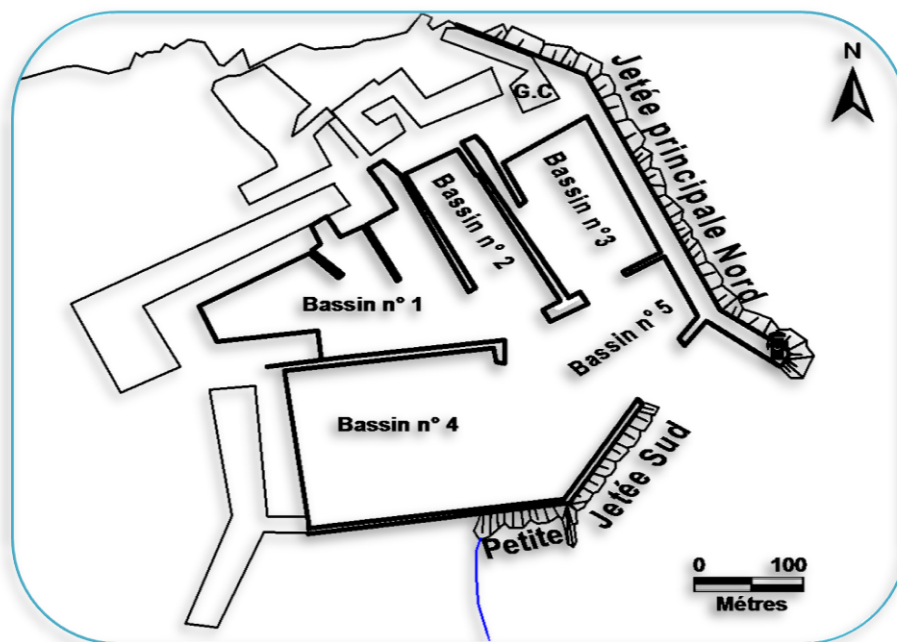


Fig.8 : Le schéma général du port de Sidi Fredj  
(Lazali.Y., 2003 in Annane.G et al, 2007)

Les effets directs liés à la construction de ce port de plaisance, sont ceux créés par la modification de conditions sédimentologiques de la zone, à proximité du port, et de la qualité des eaux en dehors de l'enceinte du port proprement dite, par la diffusion des polluants et par la dégradation de certains biotopes par l'augmentation de la fréquentation humaine.

### 6.3 Port de Khemisti

La ville de Khemisti se situe sur la côte ouest à environ 40 Km d'Alger et à 22 Km à l'Est de Tipaza. Elle est limitée par la mer Méditerranée au Nord, Bou Ismail à l'Est, Bouharoun à l'Ouest et Chaïba au Sud. Le port de Khemisti a une superficie de 13000m<sup>2</sup>. (DTP de Tipaza, 2007) Il est constitué de :

- Quatre quais d'une largeur totale de 190m.
- Jetée principale (jetée Est).
- Jetée secondaire (jetée Ouest).
- Terre-pleins: 15722m<sup>2</sup>.
- Plan d'eau : 13000m<sup>2</sup>.
- Passe d'entrée : 26 m.
- Cale de halage pour les petits métiers.

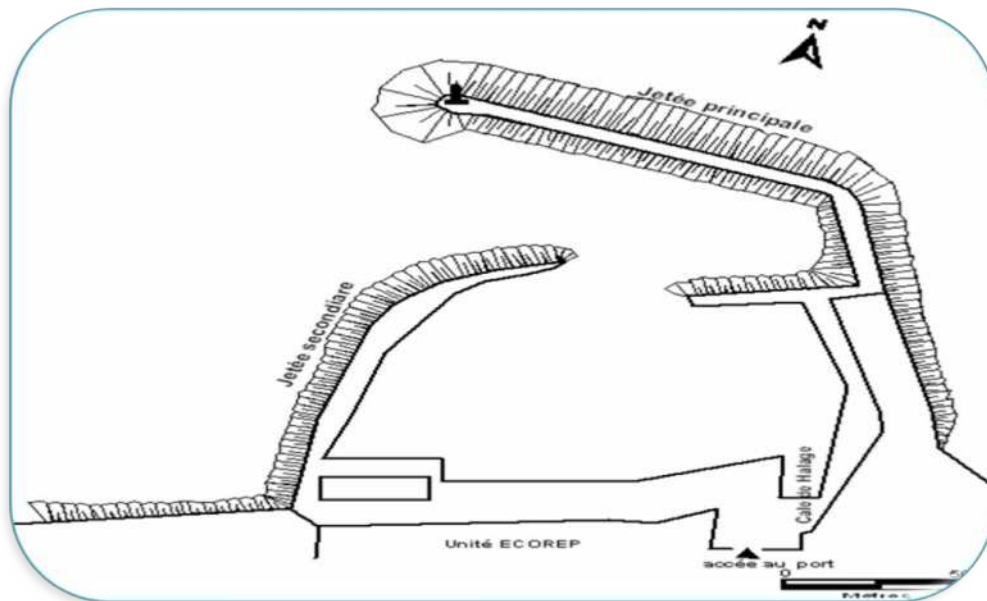


Fig.9 : Le schéma général du port de Khemisti (DTP de Tipaza, 2007 in Annane.G et al, 2007)

#### 6.4 Port de Bouharoun

La ville de Bou Haroun est une ville portuaire, elle se situe à environ 45Km à l'Ouest d'Alger. Le port de Bou Haroun est situé à 40km à l'Ouest d'Alger au centre de la baie de Bou Ismail, Il a une superficie totale 30.000m<sup>2</sup>.

Il est classé comme le premier port de pêche dans la région du centre et le deuxième après celui de Beni Saf, comme abri aux petites embarcations de pêche, aux sardiniers et petits chalutiers.

Les différentes constitutions du port de Bou Haroun sont : (LEM, 2005 *in* Annane.G et al, 2007)

- Plan d'eau : il représente le port proprement dit, avec une superficie de 29830m<sup>2</sup>.
- 2 bassins d'une superficie totale 30.000m<sup>2</sup> :
  - Le bassin A (14500m<sup>2</sup>) est destiné uniquement aux chalutiers.
  - Le bassin B (15500m<sup>2</sup>) aux sardiniers et petits métiers.
- Jetée Ouest de 270m de longueur et de 1 à 8m de profondeur, protège le port contre les houles du Nord-est à Nord- Ouest.
- Jetée Nord de 375m de longueur et de 1 à 8m de profondeur, protège le port contre les houles du Nord-ouest à Nord-Est.
- 2 môles.
- 4 quais d'une longueur totale de 661ml.
- Tirant d'eau : Variant entre 2 et 5m.
- Terre plein : 50715m<sup>2</sup>.
- La passe d'entrée (orientée vers le Nord-est) :
  - Longueur de 70m.
  - Profondeur de 5.50m.

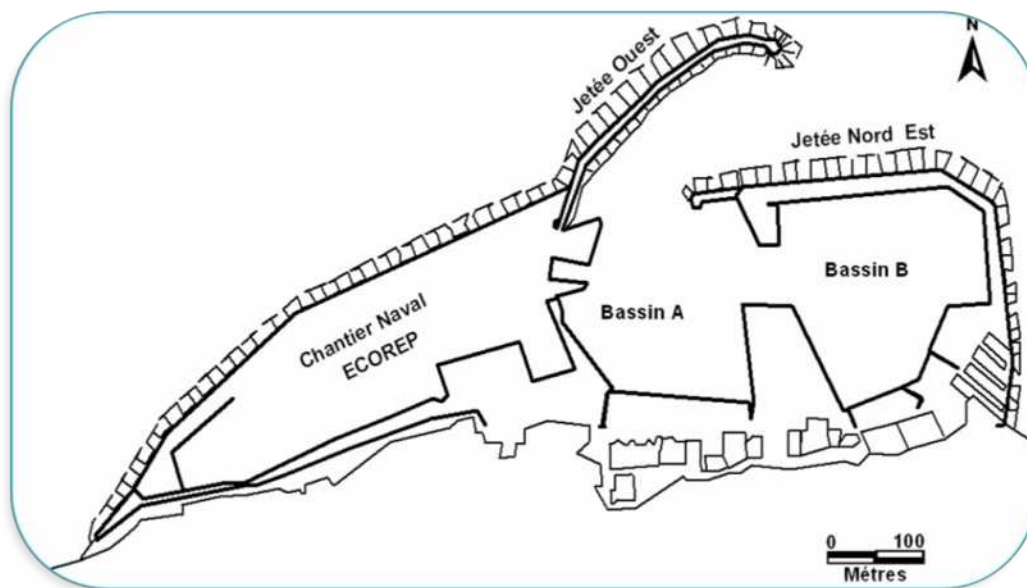


Fig.10: Le schéma général du port de Bouharoun  
(DTP de Tipaza, 2007 *in* Annane.G *et al*, 2007)

Dans le port, la qualité des eaux des bassins du port est infectée par une pollution microbiologique, des eaux usées, des embarcations alitées, une pollution chimique due à la navigation et l'entretien des bateaux (peinture, hydrocarbures), et des macrodéchets flottants.

### 6.5 Port de Tipaza

Tipaza est une ville côtière située, au pied du mont de Chenoua, à l'extrémité des collines du Sahel, à 68km à l'Ouest d'Alger

Le port de Tipaza est situé à 75km à l'ouest d'Alger. Il est limité au Sud et à l'Est par les collines du Sahel, tandis qu'à l'Ouest le massif de Chenoua.

Le port de Tipaza est délimité par une jetée principale (60ml), une jetée secondaire (100ml), un quai et un bassin de pêche, et deux grands bassins l'un pour la pêche (Superficie de 9443.5 m<sup>2</sup>) et l'autre pour la plaisance (Superficie de 16789 m<sup>2</sup>).

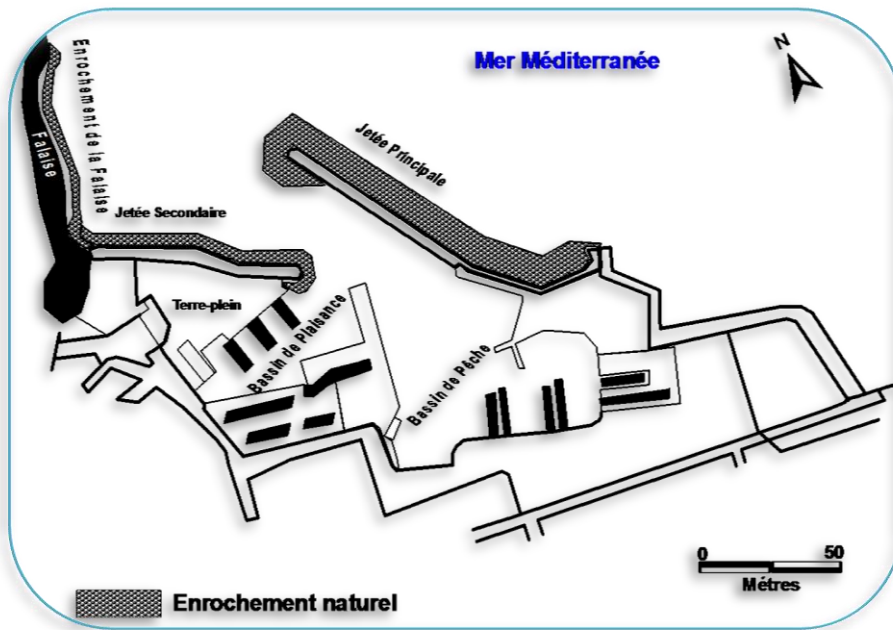


Fig.11 : Le schéma général du port de Tipaza (DTP de Tipaza, 2007 in Annane.G et al, 2007)

## 7. Les sources potentielles de pollution

Bou-Ismaïl se présente comme une ville pittoresque aux richesses agricoles, touristiques et manufacturières multiples, ce qui accentue les différentes formes de pollution ‘ agricole, et domestique issue des rejets des agglomérations et des complexes touristiques.

La baie fait partie de la zone d’expansion touristique qui s’accroît en période estivale, plus les nombreuses unités industrielles, tous ces rejets sont évacués directement dans le milieu marin sans aucun traitement préalable (Samari.N, 2006).

Tab.8 : Les rejets des eaux usées dans la wilaya de Tipaza (étude d’aménagement du littoral .Wilaya de Tipaza, synthèse-bilan diagnostic 2006 in Samari.N, 2006)

Communes	Nombre de rejets	Débit m <sup>3</sup> /j	Lieu de rejet
Bou-Ismaïl	9	4000	Mer
Bouharoun	4	320	
Khemisti	6	400	Oued Khemisti, Mer
Fouka	5	3600	Mer
Douaouda	5	1600	Oued Mazafran Mer
Tipaza	8	7140	Mer
Ain Tagourait	6	320	

Ainsi, une étude menée par les services de secrétariat d'état aux forêts et à la mise en valeur des terres (Ould hocine et Hedrougue, 1993 *in* Aouidad zahra, 1997), a recensé 99 unités pour la fertilisation des sols, en utilisant des produits phytosanitaires tels que les organochlorés, engrais à base de nitrates, phosphates et potassium ou produits à base de cuivre.

Les plus importantes sources de pollution sont :

- Base centrale logistique de Beni Mered (rejet de cyanure, nickel et cuivre)
- Office National des Aliments de Bétails d'Attabla (ONAB)
- Unité de tissage
- Finissage et teinturerie qui utilisent des produits chimiques tels que les colorants à base de métaux.

Le tableau présent montre les principales industries qui se trouvent dans la région de Bou-Ismaïl (Aouidad zahra, 1997) :

Tab.9 : Les principales industries dans la région de Bou-Ismaïl

<b>Industries textiles</b>	<b>Curies et peaux</b>	<b>Papeteries</b>	<b>Plastiques/ caoutchouc et verre</b>
Ain Benian 28 Douaouda 02 Fouka 04 Bou-Ismaïl 08 Bouharoun 03	Staouali 01 Bou-Ismaïl 02 Ain Benian 01	Fouka 01 Zeralda 01	Ain Benin 03 Staouali 03 Bou-Ismaïl 01 Fouka 02

L'urbanisation et la littoralisation s'accompagnera d'un flux supplémentaire de population sur les zones sensibles avec les effets négatifs.

En plus de ces activités, les oueds entraînent vers la mer, les eaux usées de Blida et de la base centrale logistique de Beni mered aux niveau de l'oued Macta Makhoulf qui n'est que la continuité de l'oued Beni Azza ou se déversent les eaux usées de la tanneries du moulin, d'une unité d'électroglace, mobilier métallique, d'une unité de transformation de plastique, d'industrie agroalimentaire ainsi que les eaux des ateliers de traitement de surface de la base logistique de Beni mered.

A tous ça s'ajoute la pollution issue des ouvrages portuaires existants dans la baie : Port de Bouharoun, Khemisti, Tipaza, Sidi fredj, El Djamilia.

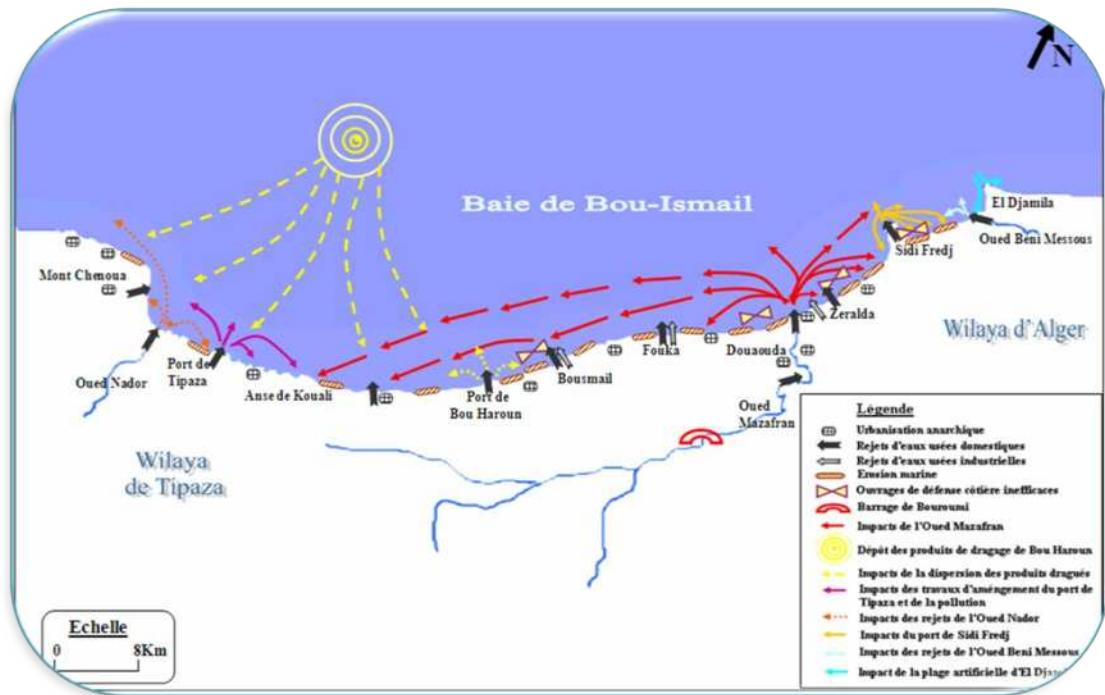


Fig.12 : Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de BouIsmaïl (Belkessa et al, 2008; AlSid ChiKh et al, 2009 in Bachari.H.F, 2009)

*Partie II :*  
*Phase expérimentale*

*Chapitre III :*  
*Matériels et méthodes*

## 1. Travaux en mer

### 1.1 Choix des stations de prélèvements

Les stations ont été choisies tout au long de la baie de BouIsmail à l'aide d'un GPS, sont choisies pour cerner au mieux la variabilité spatiale et temporelle de la qualité du milieu

Les prélèvements ont été effectués comme suit :

- sur l'embarcation l'Auresse le 03 mai (port de Sidi Fredj, Moretti)
- par route le 18 mai pour Ain Benian (port d'El Djamila) et le 19 Mai pour Khemisti, Bouharoun, Tipaza
- sur l'embarcation l'Auresse le 26 mai pour la plage de Thalassothérapie, Mazafran, Fouka marine, Bou Ismail, Ain Tagourait.

Les sites de prélèvement ainsi leurs nominations sont représentés dans les la figures suivantes et leur coordonnées sont représentée dans le tableau 1 (annexe 1).

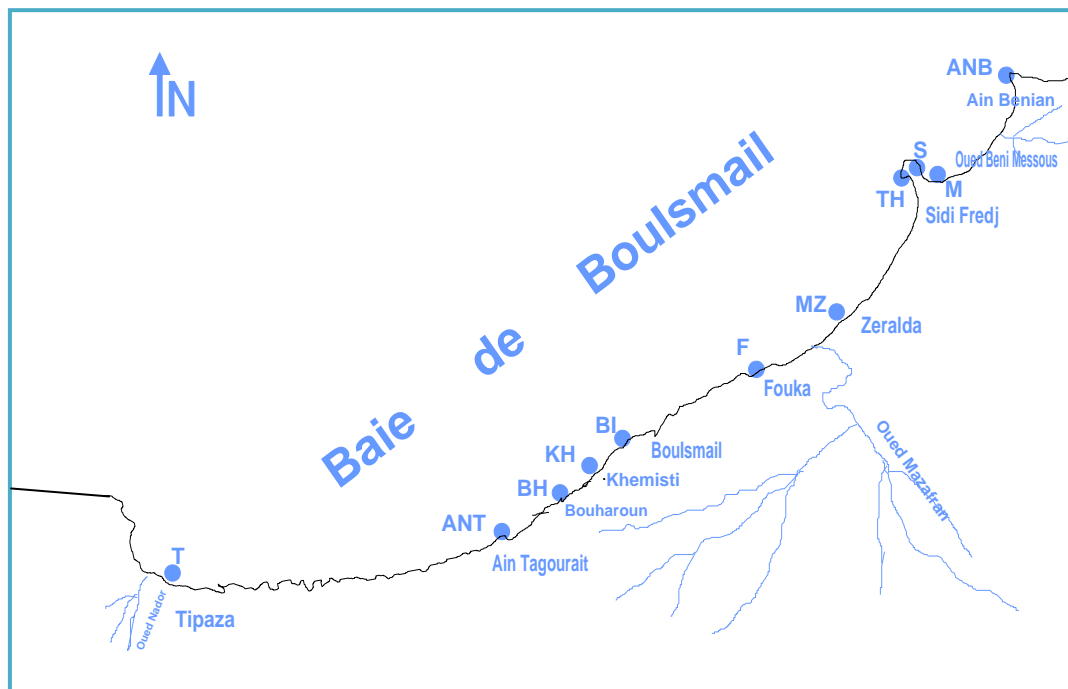


Fig.13 : Carte des stations de prélèvements effectués au niveau de la baie de BouIsmail

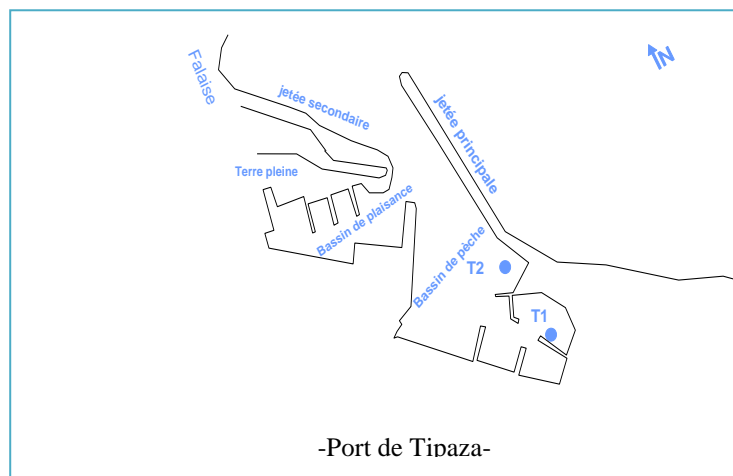
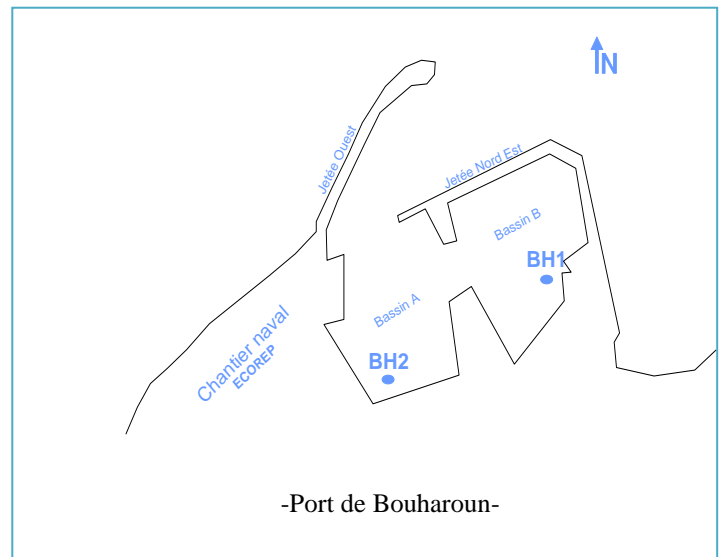
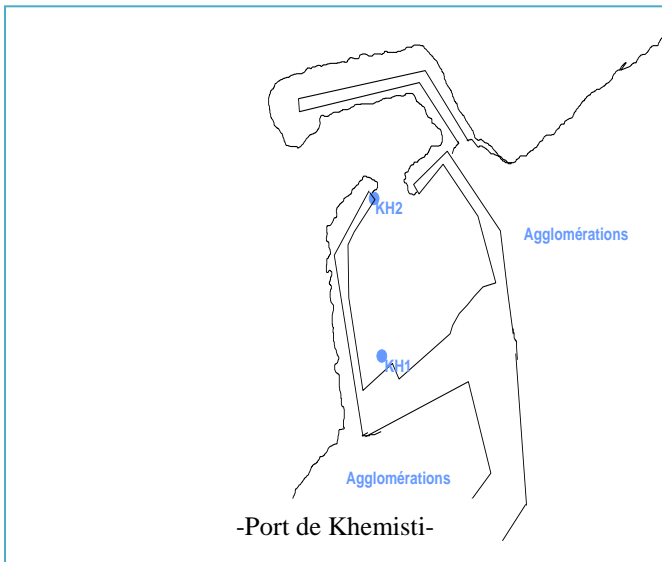
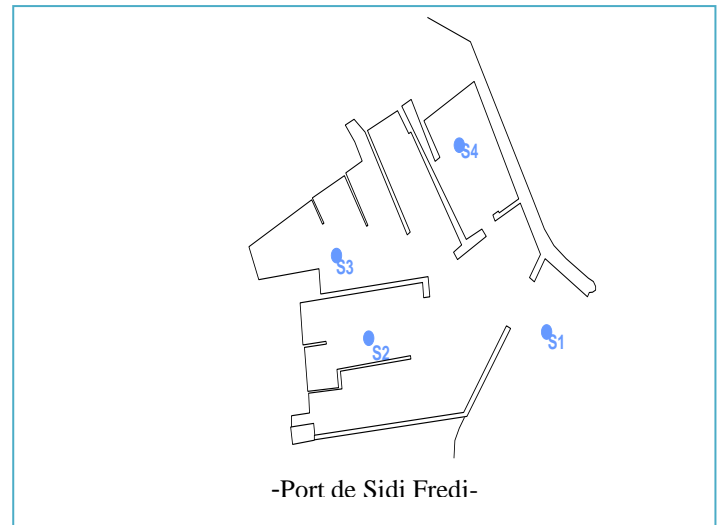
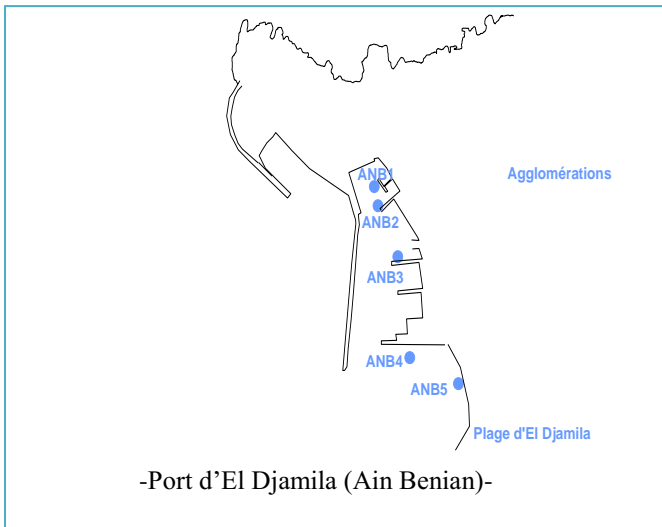


Fig.14 : Points des prélèvements au niveau des ports de la baie de Bou Ismail

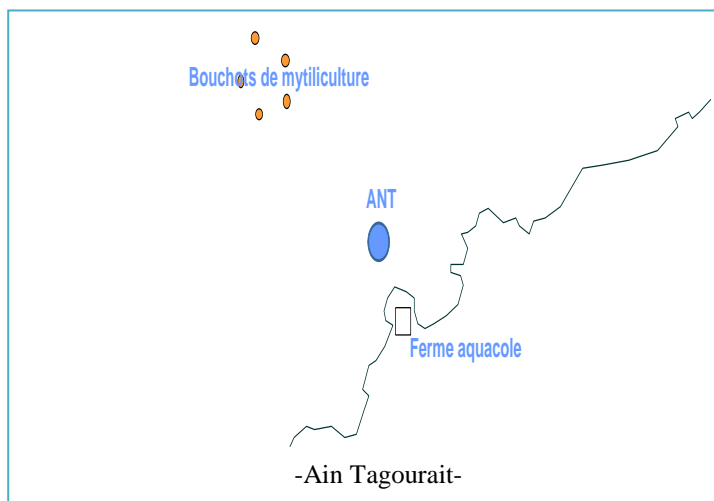
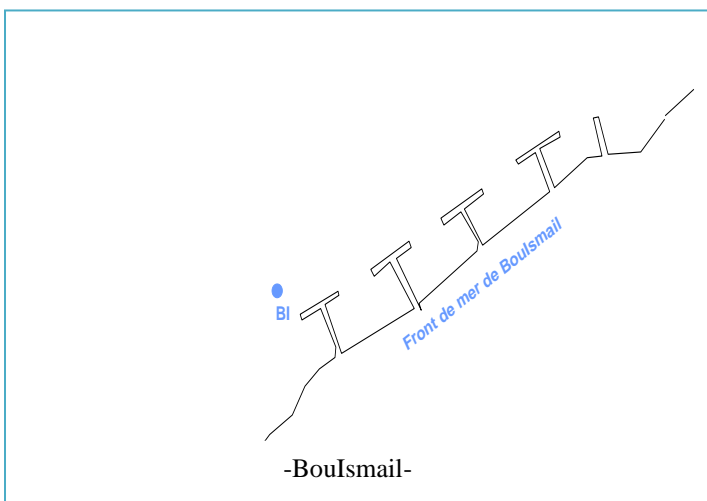
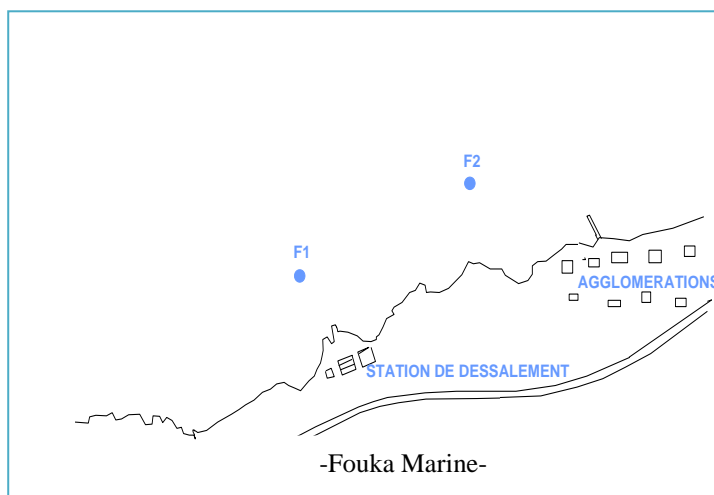
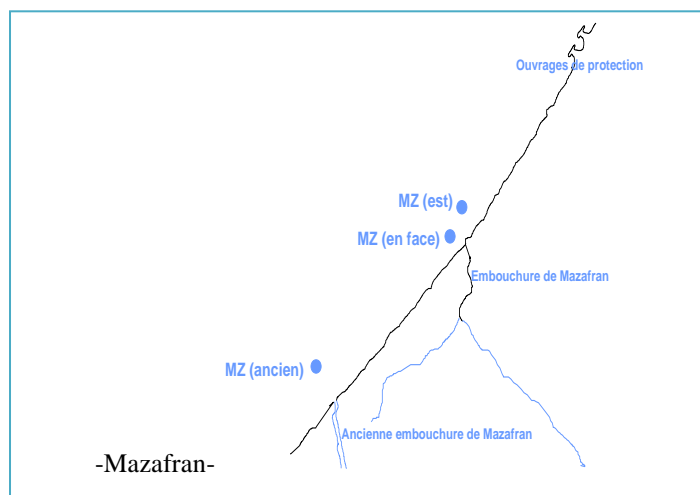
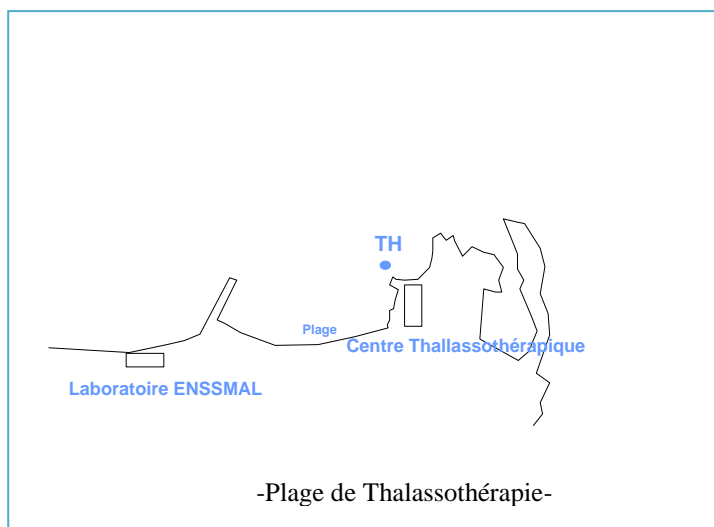
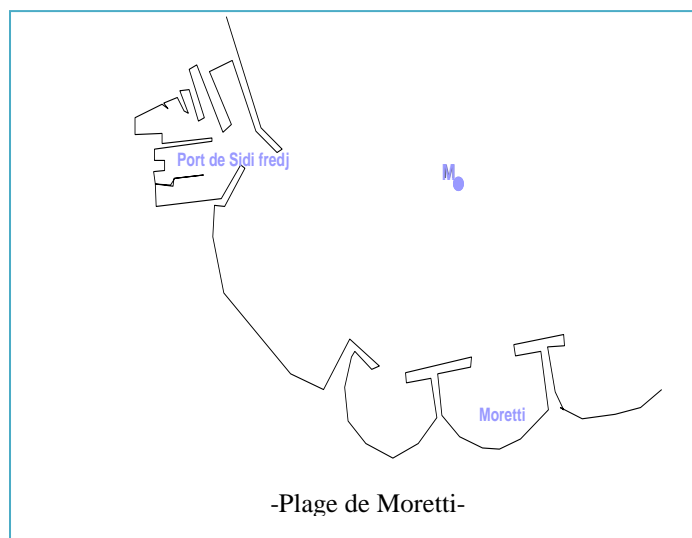


Fig.15 : Points des prélèvements au niveau des zones non portuaires dans la baie de BouIsmaïl

## 1.2 Mesures *in situ* des paramètres physico-chimiques

### 1.2.1 La température et oxygène dissous

Nous avons utilisé un oxymètre de terrain de marque WTW qui est étalonné avant son utilisation avec des étalons spécifiques. Plongé dans l'eau de surface et enlevé dès que la valeur soit stable et on note la température et la concentration de l'oxygène dissous qui est exprimée en mg/l. pour les stations au niveau du port de Sidi Fredj) et la station Moretti, la mesure de l'oxymètre n'as pas été mesuré en raison de la non fonctionnalité de l'oxymètre.

### 1.2.2 Le pH

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre de terrain de marque WTW qui doit être étalonné avec des solutions étalons à pH connu. L'électrode doit être rincée à chaque fois à l'eau distillée et essuyée et plongé dans le flacon d'échantillon.

### 1.2.3 La conductivité et la salinité

La conductivité c'est en fait la conductibilité de l'eau, de laquelle dépend la quantité de sels dissous La mesure de la conductivité s'effectue avec un conductimètre. Cette mesure permet de déterminer la quantité totale de sels minéraux dissous dans l'eau. Ce conductimètre, par le biais d'une sonde et de deux électrodes, va mesurer la conductibilité électrique de l'eau. Pour les stations au niveau du port de Sidi Fredj et la station Moretti, la mesure de la salinité et la conductivité ont été effectué au laboratoire.

## 1.3 Prélèvements des échantillons

### 1.3.1 Le sédiment

Le prélèvement de sédiment superficiel à été réalisé à l'aide d'une benne du type « Van veen » (Fig.1, annexe 2) sur différentes profondeurs allant de 1m jusqu'à 8m. La benne est descendue sur le fond de la mer au bout d'une corde, avec les mâchoires ouvertes. Dès que les mâchoires touchent le fond, le ressort qui maintient les mâchoires ouvertes est relâché. Au moment de la remontée, les mâchoires se referment et emprisonnent une quantité de sédiments. Sur le navire, la benne est ouverte et le contenu en est collecté par une spatule en évitant tout contact avec les parois de la benne. Les échantillons sont posés dans des sacs en plastique doublés refermés et étiquetés. Les sédiments sont temporairement maintenus à basse température dans une glacière portable.

### 1.3.2 L'eau de mer

Le prélèvement de l'eau de mer destiné à l'analyse des sels nutritifs en surface est effectué manuellement par des flacons en téflon qui sont étiquetés selon les sites des prélèvements. Les flacons sont mis dans une glacière à basse température.

## 2. Travaux au laboratoire

### 2.1 Conservation

Les échantillons de sédiment et les flacons de l'eau de mer sont toutefois placés au congélateur dès le retour au laboratoire. Les sédiments et les flacons d'eau de mer sont placés dans le congélateur afin d'éviter les pertes d'éléments volatils (Aminot.A. *et al*, 1983) et conserver l'essentiel de leurs propriétés chimiques.

### 2.2 Risque de contamination

Toutes les précautions doivent être prises pour éviter la contamination des échantillons sur le lieu de prélèvement et pendant le transport au labo d'analyse. Il convient notamment d'éviter les contacts entre les échantillons et des éléments métalliques susceptibles d'apporter une contamination supplémentaire. Pour éviter les différentes formes de contamination le matériel de prélèvement utilisé sur le terrain ou en laboratoire doit être maintenu en bon état de fonctionnement et de propreté.

- Lavage à l'eau de robinet par un détergent
- Rinçage à l'eau de robinet
- Rinçage et lavage à l'eau distillée
- Rinçage à l'eau acidulée (10%) à partir de l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) à 65% de concentration.
- Séchage à l'étuve à 70°C.

## 2.3 Traitement des échantillons

### 2.3.1 Traitement des sédiments

Après avoir été congelés, les échantillons des sédiments vont subir le traitement suivant :

#### 2.3.1.1 La lyophilisation

La lyophilisation est la déshydratation par sublimation des échantillons sous pression réduite, qui est pratiquée à basse température (passage de la phase solide vers la phase vapeur sans passer par la phase liquide) est une technique plus appropriées par rapport au séchage à l'étuve qui présente un risque de perte de certains composés volatils.

Après la congélation, les échantillons (la quantité totale du sédiment) sont mis dans le lyophilisateur (Fig.2, annexe 2) pendant 48h à basse température (-45°C). Les échantillons lyophilisés sont ensuite mis dans le dessiccateur (pour le séchage).

#### 2.3.1.2 Le broyage

Les échantillons lyophilisés sont ensuite broyés à l'aide d'un mortier qui doit être nettoyé et séché à l'étuve entre les différents broyages des différents échantillons. Le broyage sert à homogénéiser l'échantillon et avoir une poudre fine.

#### 2.3.1.3 La minéralisation

Le protocole de la minéralisation se fait selon la disponibilité des réactifs et de matériaux au laboratoire. La minéralisation se fait dans des godets en téflon (ne sont pas altérés par les acides) chauffés sur une plaque chauffante à 120°C.

Les minéralisés sont ensuite mis dans des tubes coniques de 50 ml qui ont été nettoyés par l'eau acidulée afin de la récupération des minéralisés. La minéralisation se fait sous une hotte aspirante.

- Minéralisation à blanc

La minéralisation à blanc se fait en mettant dans chaque godet 5ml de l'acide nitrique  $\text{HNO}_3^-$  (69%) puis on ferme les godets de façon étanche pour éviter tout déversement du liquide et on les chauffe sur une plaque chauffante (Fig.3 annexe 2) à 120°C pendant 2h30.

On laisse refroidir les godets après les 2h30 du réchauffement, on ouvre soigneusement les soupapes puis on ouvre les godets tout en récupérant l'acide pour autres utilisations et rincer à l'eau bi-distillée puis le séchage à l'étuve.

- Minéralisation des échantillons

Dans des godets étiquetés on pèse environs 0,5 g de sédiment lyophilisé, on y ajoute de l'eau régale (6 ml d'acide chlorhydrique HCl + 2 ml d'acide nitrique HNO<sub>3</sub><sup>-</sup>) puis on ferme les godets. On ajoute des blancs pour chaque série (6ml de HCl + 2 ml de HNO<sub>3</sub><sup>-</sup>). On laisse les échantillons et les blanc à température ambiante pendant 1 heure, c'est la minéralisation à froid afin d'éviter une réaction accélérée. Les godets sont ensuite mis sur la plaque chauffante pendant 2h30 (Fig.4 annexe 2) Après la minéralisation sur la plaque chauffante on laisse refroidir les échantillons, puis on ouvre les soupapes doucement et on ouvre les godets où les minéralisas sont transférés dans des tubes en polypropylène de 50 ml tout en récupérant l'eau de rinçage au moins 3 fois des godets y compris les couvercles puis on ajoute de l'eau distillée jusqu'à atteindre le trait de jauge (50 ml), puis on agite la solution obtenue. Les tubes sont mis dans un support et conservés au réfrigérateur afin de doser les minéralisas par la SAA.

#### 2.3.1.4 Le dosage des métaux lourds par la SAA

- Définition de la SAA

La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) constitue un outil privilégié d'analyse en sciences environnementales. Couplée à un four graphite, la spectrométrie SAA autorise le dosage d'éléments majeurs et traces dans divers types de substrats : végétaux, sols, sédiments, roches, aliments, déchets solides, effluents liquides, eaux souterraines, eaux de surface, eaux usées, etc. Elle étudie les émissions ou les absorptions de lumière par l'atome libre.

Les analyses des métaux traces dans le sédiment ont été réalisées sur un spectrophotomètre d'absorption atomique de marque Perkin Elmer model AAnalyst 700 à flamme et correction par le Détruim (Fig.5, annexe 2).

- Le principe de la SAA

Dans son principe, la spectrométrie SAA consiste à vaporiser l'échantillon liquide et à le chauffer à l'aide d'une flamme ou d'un four. La flamme est dirigée vers une lumière émise par une lampe appropriée émettant les longueurs d'onde caractéristiques de l'élément recherché. En traversant la flamme, les ondes lumineuses - dont les longueurs d'onde correspondent à l'élément dosé sont

absorbées par les ions excités présents dans la flamme. L'absorption est mesurée à l'aide d'un prisme dispersif et d'une cellule photoélectrique : elle est directement proportionnelle à la concentration de l'élément (la position de la flamme et son allumage est contrôlé par un logiciel spécifique).

- La loi d'absorption

L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la loi de Beer Lambert selon laquelle l'absorbance est proportionnelle au coefficient d'absorption :

$$A = DO = \log I_0/I = \epsilon.L.C$$

Où :

**A** : absorbance

**DO** : densité optique

**I** : Intensité de l'énergie lumineuse transmise (émergente).

**I<sub>0</sub>** : Intensité de l'énergie lumineuse émise (incidente).

**ε**: Coefficient d'absorption atomique.

**L** : Longueur du trajet optique.

**C** : Concentration de l'élément absorbant

- Appareillage

Le dispositif expérimental utilisé en absorption atomique se compose d'une source, la lampe à cathode creuse, d'un brûleur et un nébuliseur, d'un monochromateur et d'un détecteur relié à un amplificateur et un dispositif d'acquisition

- La lampe à cathode creuse

La lampe à cathode creuse est constituée par une enveloppe de verre scellée et pourvue d'une fenêtre en verre ou en quartz contenant une cathode creuse cylindrique et une anode. La cathode est constituée de l'élément que l'on veut doser. Un vide poussé est réalisé à l'intérieur de l'ampoule qui est ensuite remplie d'un gaz rare (argon ou néon) sous une pression de quelques mm de Hg.

Lorsqu'on applique une différence de potentiel de quelques centaines de volts entre les deux électrodes, une décharge s'établit. Le gaz rare est alors ionisé et ces ions bombardent alors la cathode, arrachant des atomes à celle-ci. Ces atomes sont donc libres et sont excités par chocs : il y a émission atomique de l'élément constituant la cathode creuse.

- Le nébuliseur

L'échantillon à analyser est en solution. Celle-ci est aspirée au moyen d'un capillaire par le nébuliseur. A l'orifice du nébuliseur, du fait de l'éjection d'un gaz à grande vitesse, il se crée une dépression (effet Venturi). La solution d'analyse est alors aspirée dans le capillaire et à la sortie, elle est pulvérisée en un aérosol constitué de fines gouttelettes. Cet aérosol pénètre alors dans la chambre de nébulisation dont le rôle est de faire éclater les gouttelettes et d'éliminer les plus grosses. Ce brouillard homogène pénètre alors dans le brûleur.

- La flamme - atomisation

L'aérosol pénètre dans le brûleur puis dans la flamme. Au bout d'un certain parcours au seuil de la flamme, le solvant de la gouttelette est éliminé, il reste les sels ou particules solides qui sont alors fondus, vaporisés puis atomisés.

La flamme air acétylène est la plus répandue et permet de réaliser le dosage de nombreux éléments. Sa température est de 2500°C environ.

A la place d'une flamme, on peut également utiliser un four cylindrique en graphite pour atomiser l'échantillon.

Au cours de notre travail on a utilisé un spectromètre d'absorption atomique à flamme où le gaz était l'Air C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (acétylène).

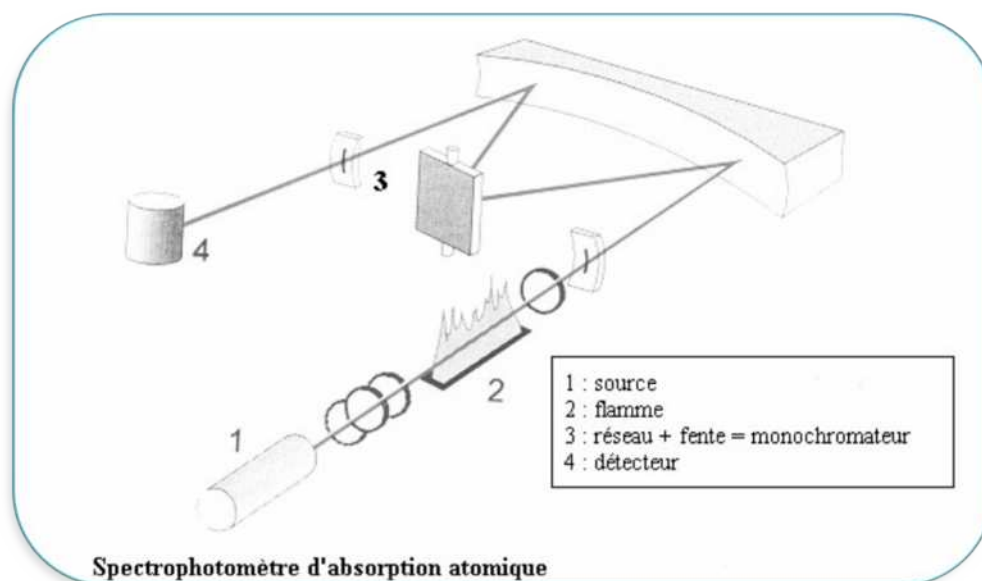


Fig.16 : Schéma représentative de la composition d'un Spectromètre d'Absorption Atomique

- Etalonnage

Pour tracer les courbes d'étalonnage des différents métaux étudiés, on utilise des solutions standards qui sont faites à partir de la solution mère de chaque métal. La calibration est faite de spectromètre à partir de cinq standards (St1, St2, St3, St4, St5) pour chaque métal de concentrations croissantes. La figure suivante présente les différentes courbes d'étalonnage des métaux analysés :

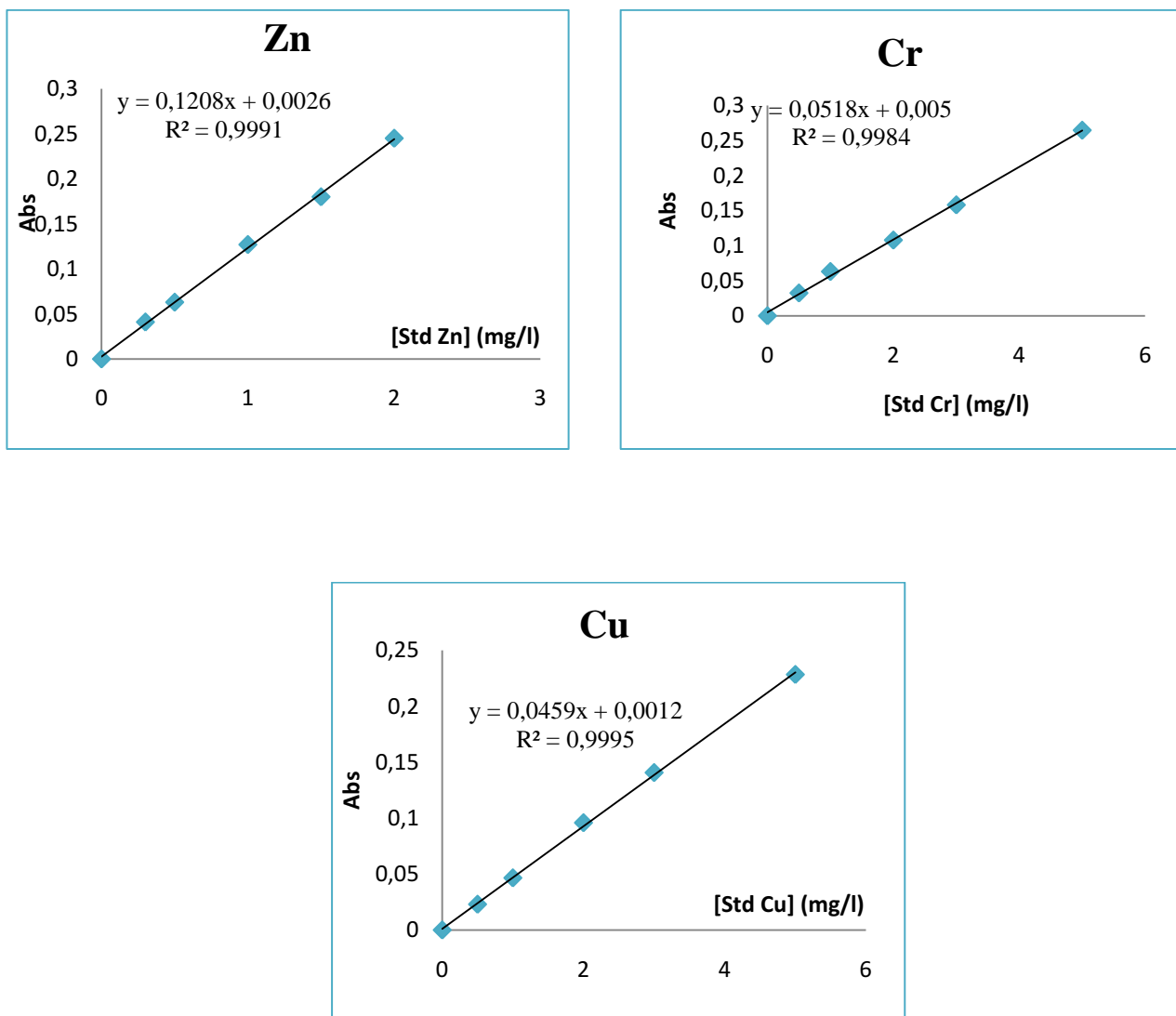


Fig.17 : Courbes d'étalonnage des métaux lourds étudiés

A partir de la courbe d'étalonnage on calcule les concentrations des métaux selon la méthode suivante :

$$[C]_{\text{métal}} (\mu\text{g/g}) = ([C]_{\text{éch}} - [C]_{\text{blanc}}) * V_f / P$$

Où :

$[C]_{\text{éch}}$  : concentration du métal donné par l'appareil

$[C]_{\text{blanc}}$  : concentration des blancs des échantillons

$V_f$  : le volume final de la minéralisation (50 ml)

$P$  : le poids sec de la minéralisation

Dans le cas où l'échantillon a été dilué on doit multiplier la concentration de l'échantillon donné par l'appareil par le facteur de dilution (l'échantillon BH où le facteur de dilution est de 5).

- Calcul d'indice de contamination

Pour évaluer le degré de contamination d'un sédiment par comparaison des teneurs relevées aux valeurs de référence en calculant pour chaque site donné et par métal, un indice de contamination ( $I_c$ ).

Les concentrations des métaux lourds dites normales sont données dans le tableau suivant :

Tab.10 : Les concentrations considérées comme normales  
(A.B.R.M.C., 1988)

Métaux	Chrome	Cuivre	Zinc
Concentrations normales ( $\mu\text{g/g}$ )	45	26	88

$I_c = \text{Teneur du métal} / \text{teneur de références}$  et un indice moyen  $I_m = \sum I_c / n$

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

- $I.C. < 3$  : les sédiments correspondants sont considérés comme normaux
- $3 \leq I.C. \leq 10$  : l'indice de contamination caractérise des sédiments pollués
- $I.C. > 10$  : les sédiments correspondants représentent des risques pour les écosystèmes marins.

### 2.3.1.5 Détermination de la matière organique dans les sédiments marins

La matière organique amplifie grandement la capacité d'échange cationique du sol et elle retient les nutriments assimilables par les plantes. Ainsi, la matière organique est un réservoir de nutriments lentement assimilables.

Cette méthode est utilisée pour faire la détermination de la matière organique par incinération (Perte par calcination).

- Principe et théorie

La perte au feu permet de mesurer directement la matière organique dans le sol. On place les échantillons pendant 2 heures dans un four à moufle à 600 °C. Après 2 heures on fait baisser la température jusqu'à 50°C (pour éviter l'humidification) après calcination, nous calculons le taux en matière organique.

- Appareillage
    - Four à moufle (Fig.6 annexe 2)
    - Étuve
    - Creusets de porcelaine (petit et grand format)
  - Dosage
    - L'échantillon doit être lyophilisé et broyé.
    - Les creusets doivent être nettoyés auparavant, et numérotés
    - Prendre le poids du creuset vide (P0). Ajouter de sédiment. Noter le poids final (P1)
    - Calciner le sédiment au four à moufle à 600° C pendant 2 heures.
    - Faire baisser la température jusqu'à 50 °C.
    - Laisser refroidir dans un dessiccateur (Fig.7 annexe 2) et peser le creuset contenant les cendres. Noter le poids (P2)
- Les différents poids sont représentés dans le tableau 2 (Annexe 1)

- Calcul du pourcentage de la matière organique

Les résultats de l'échantillon sont calculés à partir de l'une ou l'autre des équations suivantes :

$$\% \text{ MO} = \frac{\text{poids sol sec (g)} - \text{poids sol incinéré (g)}}{\text{Poids sol sec (g)}} * 100$$

$$\% \text{ MO} = \frac{((\text{P1-P0}) - (\text{P2-P0})) * 100}{(\text{P1-P0})}$$

Où :

**M.O** : matière organique;

**P0** : poids du creuset vide;

**P1** : poids final;

**P2** : poids du creuset contenant les cendres.

### 2.3.2 Traitement de l'eau (L'analyse des sels nutritifs)

#### 2.3.2.1 Principe d'analyse

Le dosage des sels nutritifs (ammonium, nitrites, nitrates, phosphore (orthophosphates) et silicates) est basé sur une réaction de coloration.

Les sels réagissent dans certaines conditions (température, pH, présence de catalyseurs) avec des réactifs spécifiques de chaque sel pour donner une coloration absorbant la lumière à une certaine longueur d'onde ( $\lambda$ ).

L'absorption de l'énergie lumineuse dépend de l'intensité de la coloration, de même, cette dernière est d'autant plus importante que la solution est concentrée en sels dosé (Lourguioui.H, 2006).

La quantité de lumière absorbée par la solution, appelée absorbance (A) ou densité optique (D.O), suivant la loi de BEER-LAMBERT qui est exprimée par l'expression suivante :  $A = D.O = \log (I/I_0) = \epsilon.I.C$

**A** : absorbance de la solution

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

**I0** : intensité lumineuse incidente

**I** : intensité lumineuse émergente

**C** : concentration du milieu traversé exprimé en cm.

$\epsilon$  : coefficient d'extension molaire variant en fonction de la température et la longueur d'onde.

### 2.3.2.2 Technique d'analyse

L'analyse des sels nutritifs se fait à l'aide d'un appareillage spécifique pour l'analyse des sels nutritifs, le dispositif SKALAR, un analyseur automatisé « Auto-Analyzer SAN PLUS » (Fig.8 annexe 2) et informatisé qui permet de réaliser des analyses de longue durée. L'analyseur comprend trois colonnes, la première sert à l'analyse des Nitrates-Nitrites-Ammonium, la deuxième pour les Phosphates et la dernière pour les Silicates. Son fonctionnement repose sur un principe dynamique, est celui de l'analyse liquide en flux continu (Lourguioui.H, 2006).

Le dispositif comprend un protocole qui lui permet de passer les réactifs et les standards afin d'obtenir des courbes d'étalonnage ensuite faire passer les échantillons un par un à l'aide d'une aiguille contrôlée par un logiciel. Avant le lancement de l'appareil, il faut fixer une ligne de base qui permet au logiciel de tracer un graphique des standards. Le calcul des concentrations s'effectue de la ligne de base au pic de chaque échantillon.

### 2.3.2.3 Etalonnage

- Préparation des solutions filles

Les solutions filles sont préparées à partir de la solution mère. Dans une fiole de 100 ml on met 10 ml de la solution mère (nitrites  $\text{NO}_3^-$ , phosphates  $\text{PO}_4^-$  et silicates  $\text{SiO}_4^-$ ) en ajoutant de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

- Préparation des standards

Les concentrations des gammes d'étalonnages sont calculées à partir des solutions filles.

Après le calcul on obtient les différents volumes à pipeter pour l'obtention des six standards. Les gammes d'étalonnage sont représentées dans l'annexe 1.

- Les courbes d'étalonnage

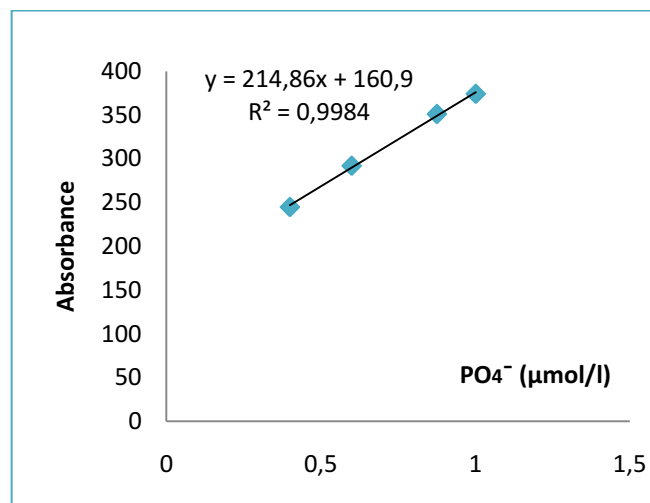
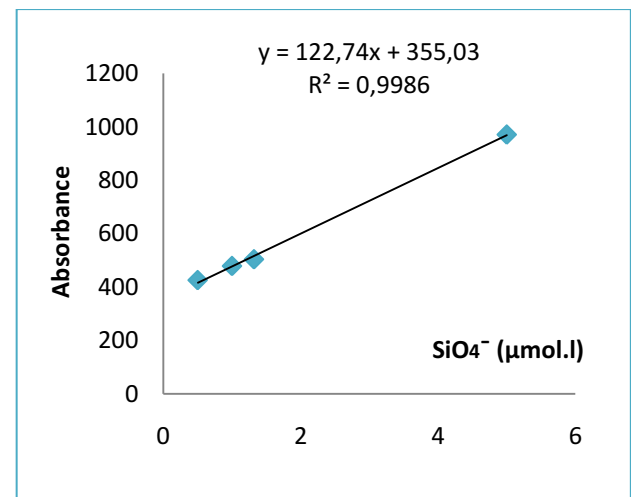
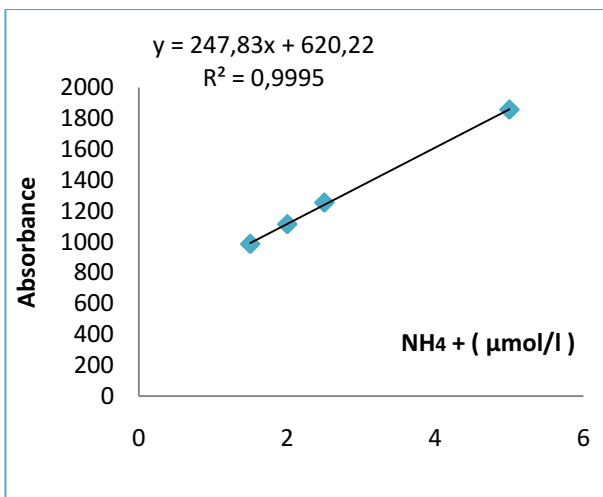
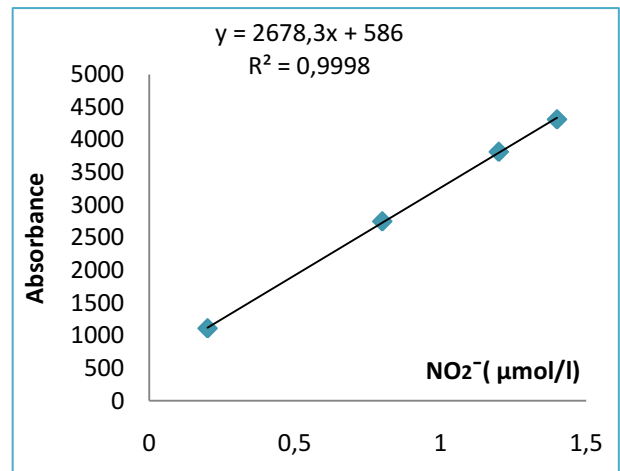
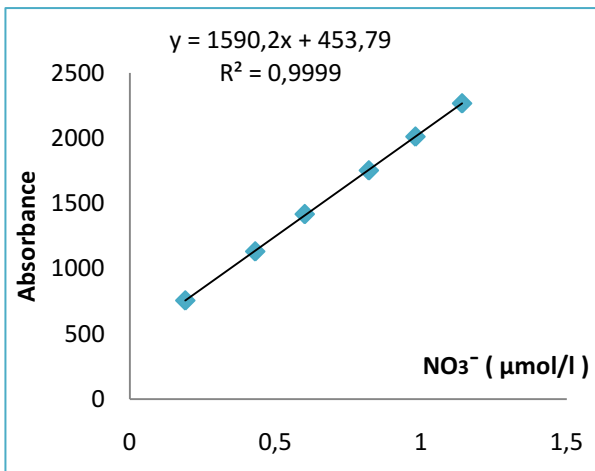


Fig.18 : Courbes d'étalonnage des sels nutritifs analysés

### 2.3.3.3 Protocole d'analyse

Les principes et le protocole d'analyse des sels nutritifs sont définis par le fabricant SKALAR.

- Analyse de l'ammonium

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) formant un bleu d'indophénol. La réaction est catalysée par le nitroprussiate de sodium. L'absorption se fait à une longueur d'onde de 630nm (Lourguioui.H, 2006).

- Analyse des nitrites

En milieu acide, les nitrites forment un diazoïque par action avec la sulfanilamide. Ce composé formera ensuite en présence de N-naphtylethylénediamine un composé azoïque de couleur rose absorbant la lumière à 540nm.

- Analyse des nitrates

L'analyse des nitrates est effectuée par réduction des nitrates en nitrites par une colonne réductrice cadmium-cuivre. Les nitrites seront ensuite dosés par calorimétrie par la même façon que celle de l'ammonium avec les mêmes réactifs.

- Analyse du silicium dissous

La procédure automatique pour la détermination des silicates est basée sur les réactions suivantes :

L'échantillon est acidifié et mixé avec le molybdate d'ammonium formant l'acide silicomolybdique. Cet acide est réduit par l'acide ascorbique en un composé coloré en bleu, mesuré à 810 nm avec l'ajout de l'acide oxalique pour éviter les interférences des phosphates (Skalar, 2000).

- Analyse des phosphates

La forme dominante des phosphates est les orthophosphates dont le dosage est comme suit : l'acide d'antimoine tartrate de potassium réagit avec le molybdate d'ammonium dans milieu acide avec la solution diluée de phosphates formant un complexe antimoine phosphomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique de couleur bleue, mesuré à 880nm (Skalar,2000)

*Chapitre IV :*  
*Résultats et discussion*

Dans ce chapitre, les résultats des paramètres physico-chimiques mesurés in situ, de la matière organique, du dosage des sels nutritifs et de l'analyse des métaux lourds seront présentés. Ils seront aussi analysés et discutés avec des illustrations graphiques.

## 1. Les paramètres physico-chimiques :

### 1.1 La température

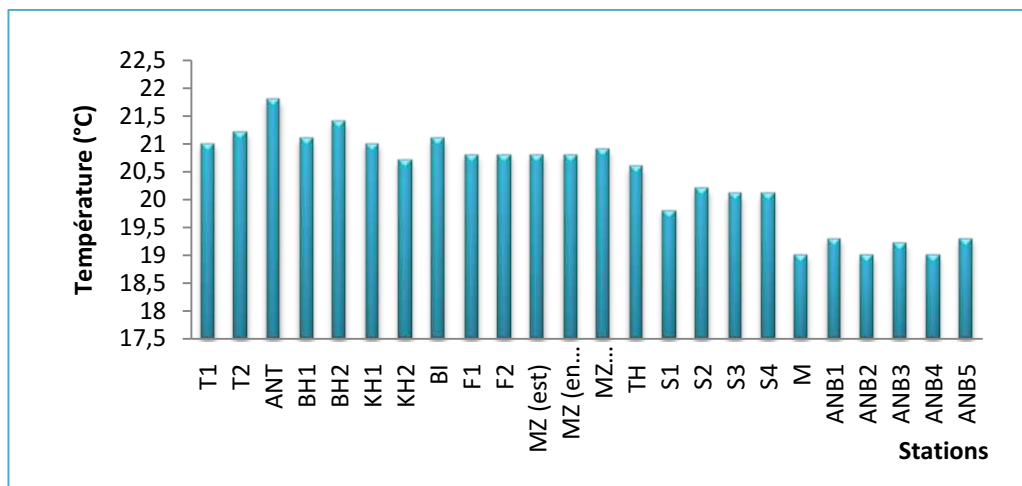


Fig.19 : Variation de la température en (°C) au niveau de la baie de Bou Ismail

Les valeurs de la température ne manifestent pas des variations significatives au niveau des différents sites. Les mesures in situ dans les eaux de surface varient entre un minimum de 19°C (station Moretti) et 21,8°C (station (Ain Tagourait). La variation de la température entre les différents sites peut être attribuée à l'action du vent et des courants de surface. D'autres facteurs peuvent contribuer aussi : les apports d'eau continentale pluviale et des eaux usées.

Cependant, à l'échelle de tout le site d'étude, d'une manière générale, on peut remarquer une relative stabilité thermique (homogénéité des eaux).

1.2 La salinité

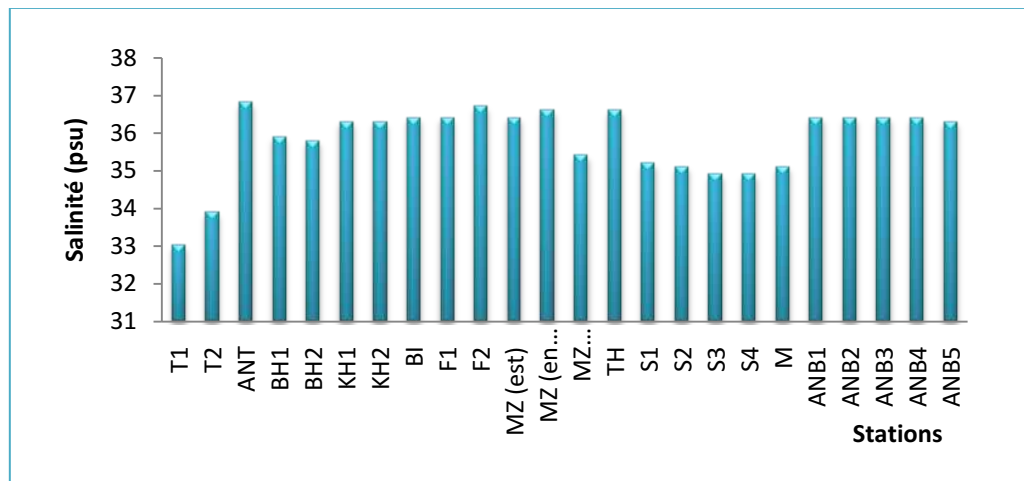


Fig.20: Variation de la salinité (psu) au niveau de la baie de Bou Ismail

La salinité varie entre un minimum de 33 à la station T1 et un maximum de 36,8 (psu) au niveau de la station ANT. La valeur minimale et anormalement faible de 33 psu ne peut être que l’empreinte des eaux douces de l’oued Nador. La valeur maximale, par contre peut être considérée comme moyenne des eaux côtières.

1.3 L’oxygène dissous

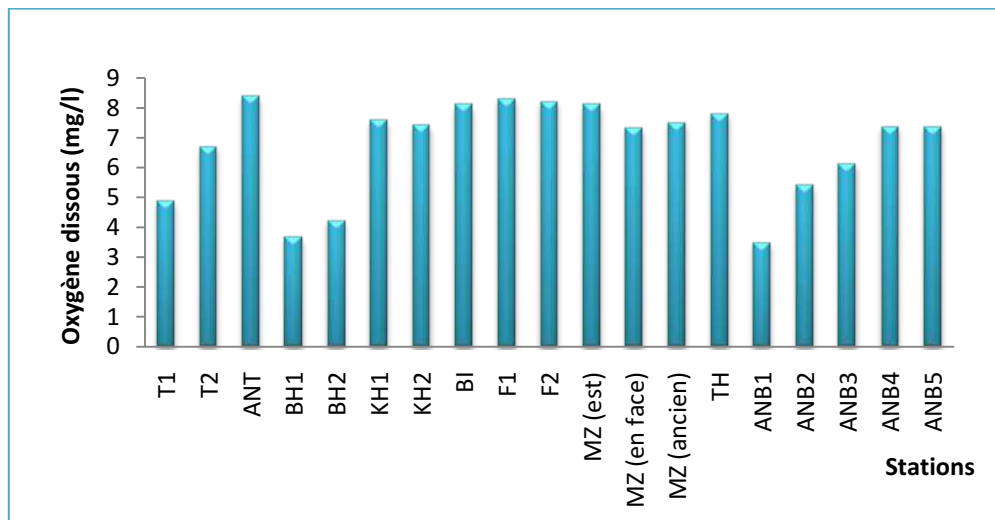


Fig.21 : Variation de l’oxygène dissous en (mg/l) au niveau de la baie de Bou Ismail

L'oxygène dissous manifeste les concentrations les plus faibles au niveau des zones portuaires. La valeur minimale est observée à la station ANB1, ce qui peut être due à la qualité des eaux du premier bassin du port El Djamila et la station BH1 dans le premier bassin de Bouharoun. Ces faibles concentrations sont dues à la forte pollution dans ces bassins, notamment les matières organiques. La concentration maximale est localisée dans la station ANT et peut être expliquée par la qualité de l'eau et l'absence de tout type de rejet dans cette région. Pour l'ensemble des stations, les concentrations de l'oxygène dissous sont faibles au niveau des ports contrairement aux autres zones marines comme MZ, F et ANT. Ces dernières peuvent être du aux facteurs qui favorisent l'enrichissement de l'eau de mer en oxygène dissous : équilibre air-mer, photosynthèse et agitation des eaux.

#### 1.4 Le pH

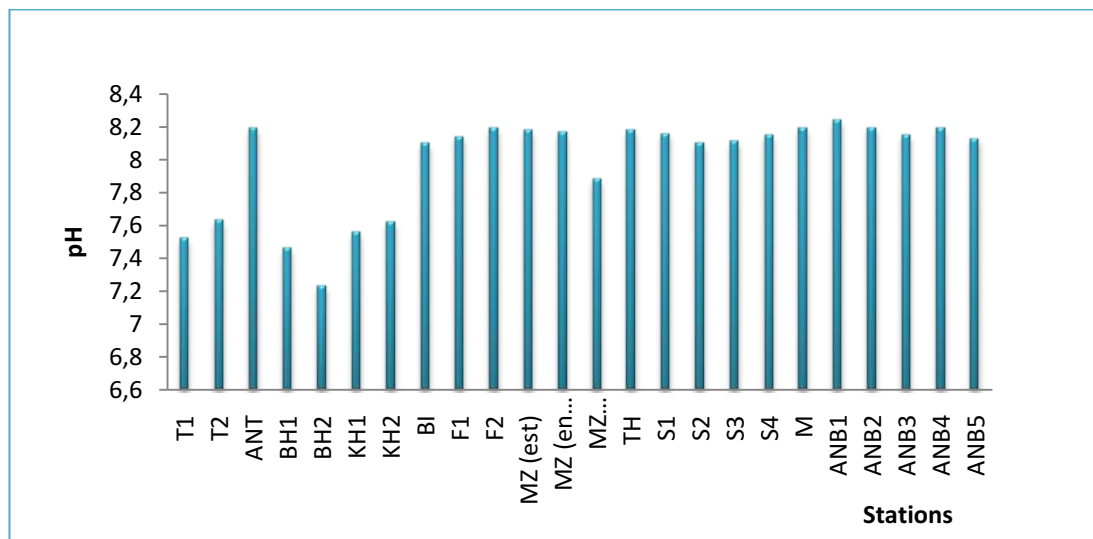


Fig.22 : Variation de pH au niveau de la baie de Bou Ismail

Le pH des eaux de surface des différentes stations ne présente pas de variations significatives. Les valeurs sont comprises entre 7,23 et 8,24. La valeur la plus élevée est localisée dans la station ANB1 et la plus faible c'est au niveau de la station BH2. Cette dernière dénote l'importance des apports en eaux douces au niveau du deuxième bassin du port de Bou Haroun.

## 2. Concentrations des sels nutritifs

Les concentrations maximales, minimales et moyennes des sels nutritifs sont présentées dans le tableau suivant. Si les concentrations des nitrates, des nitrites et mêmes de la silice peuvent être considérées comme relativement normales, les concentrations des phosphates et de l'ammonium sont excessivement élevées, surtout les valeurs maximales.

Tab.11 : Les concentrations maximales, minimales et moyennes des sels nutritifs

Stations	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SIO <sub>2</sub>
<b>Max</b>	0,5763	1,14	24,32	35,04	46,09
<b>Min</b>	0,0004	0,01	4,8	0	0,05
<b>Moy</b>	0,065	0,188	11,13	3,19	3,47

### 2.1 Les Nitrates

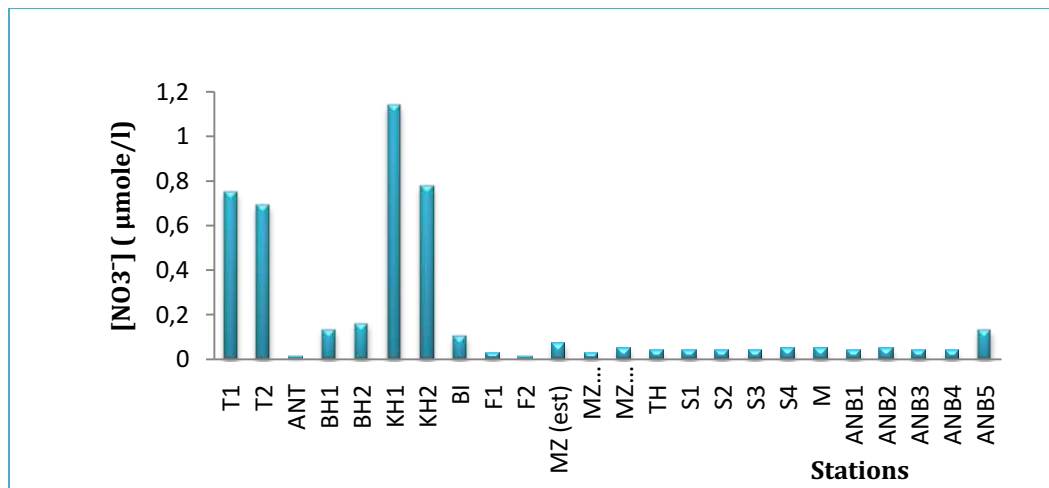


Fig.23 : Variation de la teneur en nitrates au niveau de la baie de Bou Ismail

Les teneurs en nitrates dans l'ensemble de la baie de Bou-Ismaïl, présentent des concentrations significativement faibles. Les valeurs les plus élevées et maximales sont rencontrées dans le port de Khemisti et à la station T (à proximité de l'embouchure de l'oued Nador).

D'une manière générale, les teneurs relevées peuvent être représentatives de la saison. En effet, la floraison printanière et le développement du phytoplancton qui consomment les nitrates en cette saison peuvent expliquer ces résultats. Ceci peut être corroboré aussi par l'absence tout type de rejets (urbain, industriels, agricoles ...). Les valeurs relativement élevées au niveau du port de Khemisti ne peuvent être expliquées que par un apport d'eaux usées riches en nitrates et/ou une oxydation de l'ammonium dans ce site. Cependant, les valeurs modérément élevées relevées au

niveau de la station T1 et T2, dénotent clairement l'impact de l'oued Nador avec son apport significatif en nitrates.

## 2.2 Les Nitrites

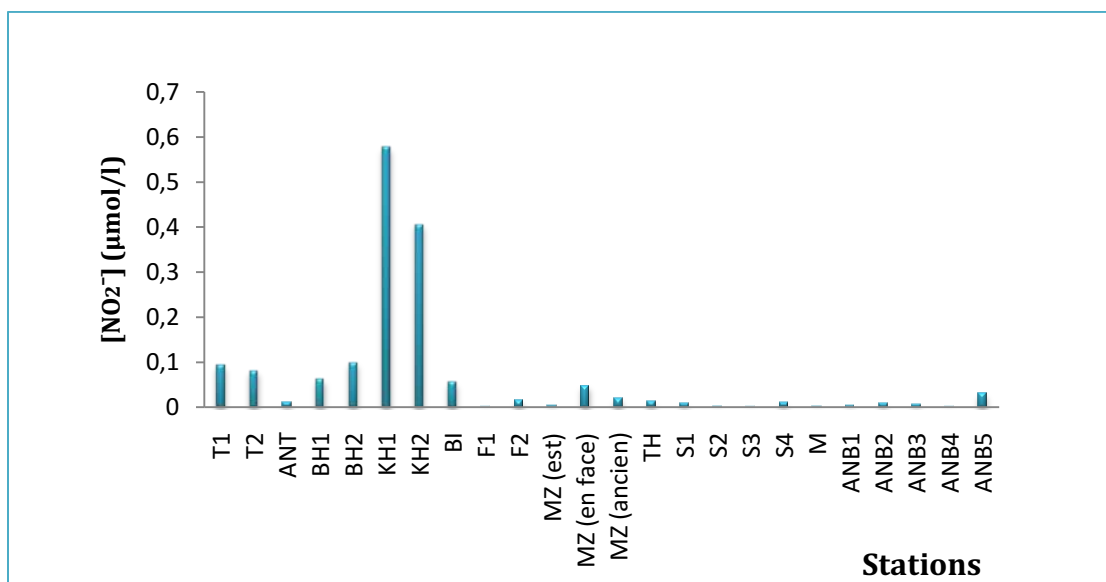


Fig.24 : Variation de la teneur en nitrites au niveau de la baie de Bou Ismail

Les concentrations en nitrites sont faibles pour l'ensemble des stations. elles sont comprises entre un minimum de 0,007 µmol/l à la station ANB4 et un maximum de 0,5 µmol/l à la station KH1.

Les nitrites sont des formes intermédiaires de l'azote inorganique entre l'ammonium et les nitrates, sont souvent en très faibles concentrations dans l'eau de mer. Elles peuvent être représentatives de la saison du développement du phytoplancton qui excrète des concentrations significatives en nitrite et en ammonium. Les valeurs élevées relevées au niveau du port de Khemisti, comme pour les nitrates, peuvent être du soit à un apport en eaux usées riches en nitrites et/ou à une oxydation de l'ammonium.

## 2.3 L'Ammonium

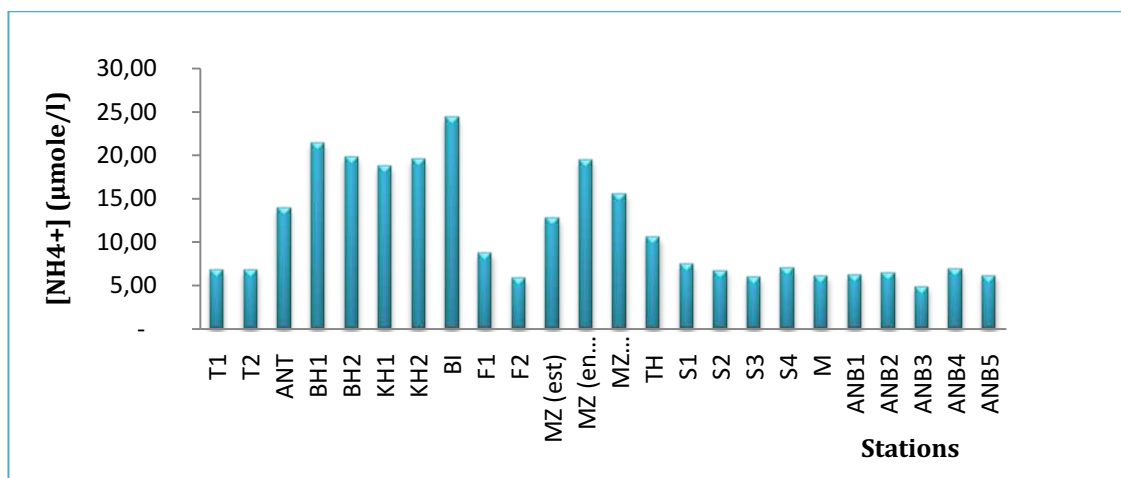


Fig.25 : Variation de la teneur en ammonium au niveau de la baie de Bou Ismail

Les teneurs en ammonium dans la baie de Bou-Ismaïl varient entre un minimum de 4,80  $\mu\text{mol/l}$ , dans la station ANB3 et un maximum de 24,32  $\mu\text{mol/l}$  dans la station BI. Les concentrations qui peuvent être considérées comme élevées sont celles de la thalassothérapie (TH), de l'oued Mazafran (MZ) des ports de Khemisti (KH) et Bouharoun (BH) et d'Ain Tagourait (ANT). Elles manifestent un apport externe plus ou moins important en ammonium (rejets industriels et domestiques (BI, BH, KH), agricoles (MZ)) ou aussi une dégradation importante de la matière organique au niveau des bassins pour les ports de Khemisti et Bouharoun. Hormis ces sites, les concentrations de l'ammonium peuvent être considérées comme normales pour la saison avec une moyenne de l'ordre de 6,7  $\mu\text{mol/l}$  et qui peut être due à l'excrétion du phytoplancton.

## 2.4 Les phosphates

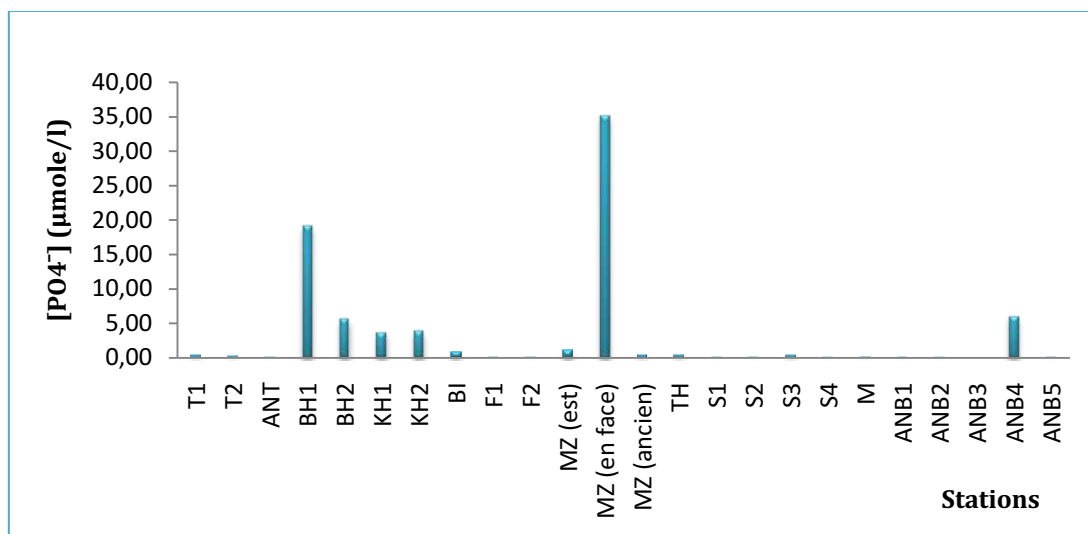


Fig.26 : Variation de la teneur en phosphates au niveau de la baie de Bou Ismail

Les teneurs en phosphates sont dans l'ensemble des stations faibles sauf pour quelques stations où la teneur est excessivement élevée (la station MZ en face de la nouvelle embouchure : 35,04 µmole /l, BH1 : 19 µmole /l et ANB4 : 5,9 µmole/l). La teneur en phosphates à la station MZ (en face embouchure) peut être expliquée par le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés et les rejets d'eaux usées domestiques au niveau de l'embouchure de Mazafran. De même, les stations ANB4 et BH1 (et BH2) leur concentration phosphate est certainement due aux apports d'eau usées riche en phosphates anthropiques. Pour les autres stations, les concentrations dépendent des phénomènes physiques (mélange, adsorption, diffusion) et, beaucoup plus, biologiques (consommation par le phytoplancton, excrétion par le zooplancton, régénération de la matière organique, photosynthèse).

## 2.5 Les silicates

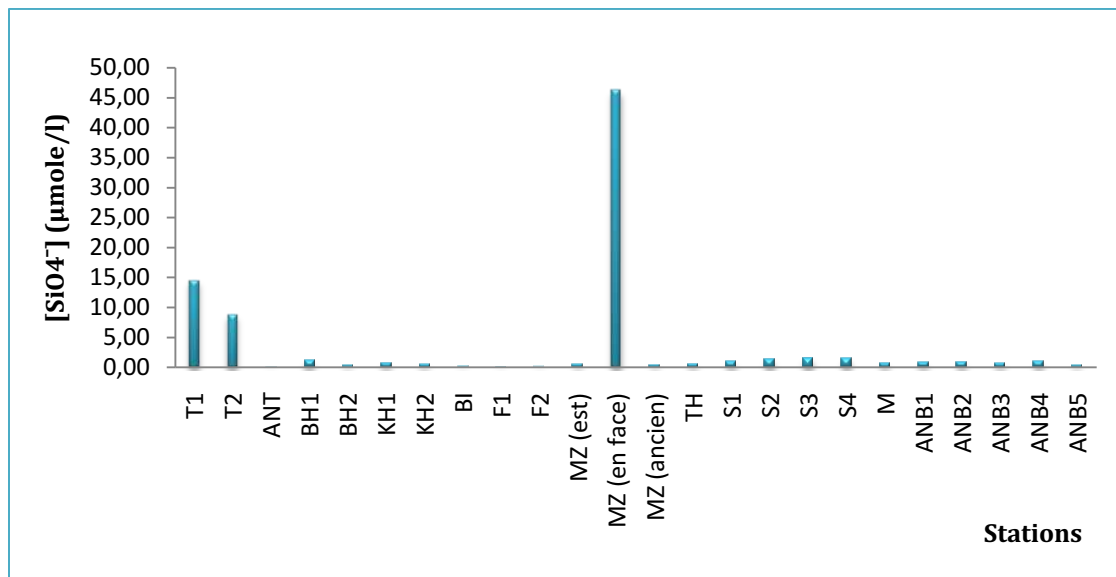


Fig.27 : Variation de la teneur en silicates au niveau de la baie de Bou Ismail

Les concentrations des silicates sont très faibles presque dans toutes les stations sauf pour la station MZ (en face la nouvelle embouchure) qui présente la concentration maximale et les Stations T1 et T2. Les trois concentrations élevées de la silice dissoute sont dues à un apport issu du lessivage de roches silicatées du bassin versant par les eaux de ruissellement qui apportent la silice vers le milieu marin. La silice n'a que très peu de sources anthropiques directes et les concentrations dans le milieu sont fonction des processus naturels. Le reste des stations manifeste une distribution similaire à celle des nitrates et des phosphates qui dénote l'importance de l'assimilation des sels nutritifs pendant la saison de prélèvement.

### 3. Le taux en matière organique

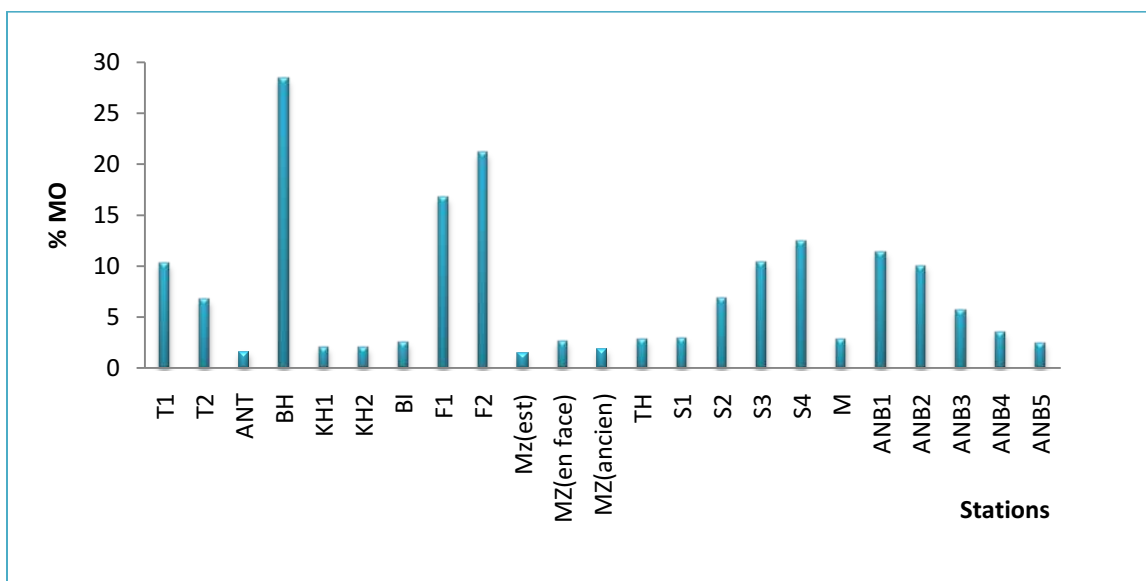


Fig.28 : Variation du taux en matière organique au niveau de la baie de Bou Ismail

Le taux en matière organique dans le sédiment varie entre un minimum de 1,45 % relevé au niveau de la station MZ (ancienne embouchure) et un maximum de 28,41% au niveau de la station BH. Le taux en matière organique varie en fonction des activités des micro-organismes aérobiques et anaérobiques ainsi la présence des micro-organismes benthiques au niveau du sédiment ou encore les apports par les cours d'eau de débris de plantes terrestres contribuent dans des proportions variables à cette ressource. Le maximum observé au niveau du port de Bouharoun serait attribué surtout aux apports anthropiques de la matière organique.

#### 4. Concentrations des métaux lourds

Habituellement l'étude des métaux lourds se fait sur la fraction fine du sédiment en raison de l'affinité des métaux pour les particules fines (argiles, matière organique et oxyde de fer et de manganèse ...). Cependant, depuis un certain temps on a tendance à utiliser la fraction totale, ce qui est plus juste et pratique. Ainsi, dans notre étude, la quantification des métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie de Bou Ismail s'est effectuée sur cette fraction totale du sédiment ce qui permet d'éviter aussi les contaminations et les pertes lors du tamisage (Rouibah, et al, 2005).

##### 4.1 Le zinc

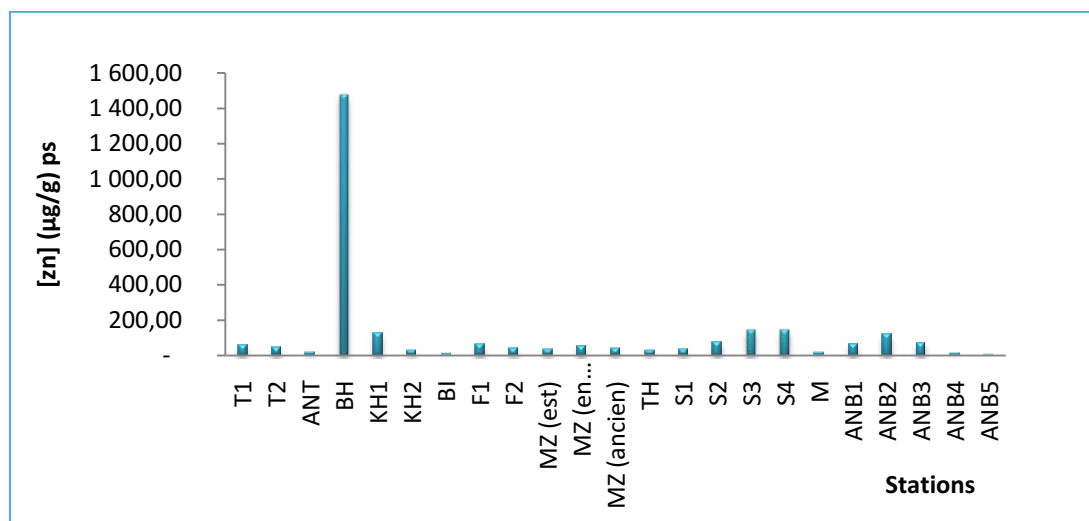


Fig.29 : Variation de la concentration du zinc au niveau de la baie de BouIsmail

Les teneurs de zinc varient entre [2,73] et [1472,12] µg/g de poids sec dont la moyenne est de [115,90] µg/g.

Pour les zones portuaires la teneur la plus élevée c'est au niveau du port de Bouharoun. Pour les autres ports, d'une manière générale, la concentration en zinc varie d'un bassin à l'autre et diminuent de l'intérieur des ports vers la passe d'entrée.

Ces teneurs au niveau des ports sont dues principalement à différentes origines principalement anthropique résultant des rejets des eaux usées domestiques (BH), la dissolution des peintures des embarcations accostées et du trafic maritime intense et aussi le relargage du zinc à partir des anodes utilisées pour la protection des coques des bateaux.

Concernant les zones non portuaires, le maximum se situe au niveau de Fouka 1 (en face la station de dessalement) et des valeurs modérées dans les autres zones comme la station S1 (la passe du port de Sidi Fredj) où les faciès sédimentaires sont de nature sableuse.

Ainsi, la nature du sédiment joue un rôle important dans la rétention des métaux. La présence des carbonates et les oxydes de fer et de manganèse dans les sédiments peut influencer sur la teneur en zinc, et autres métaux, car ils sont le siège de phénomène de sorption : précipitation et adsorption.

#### 4.2 Le chrome

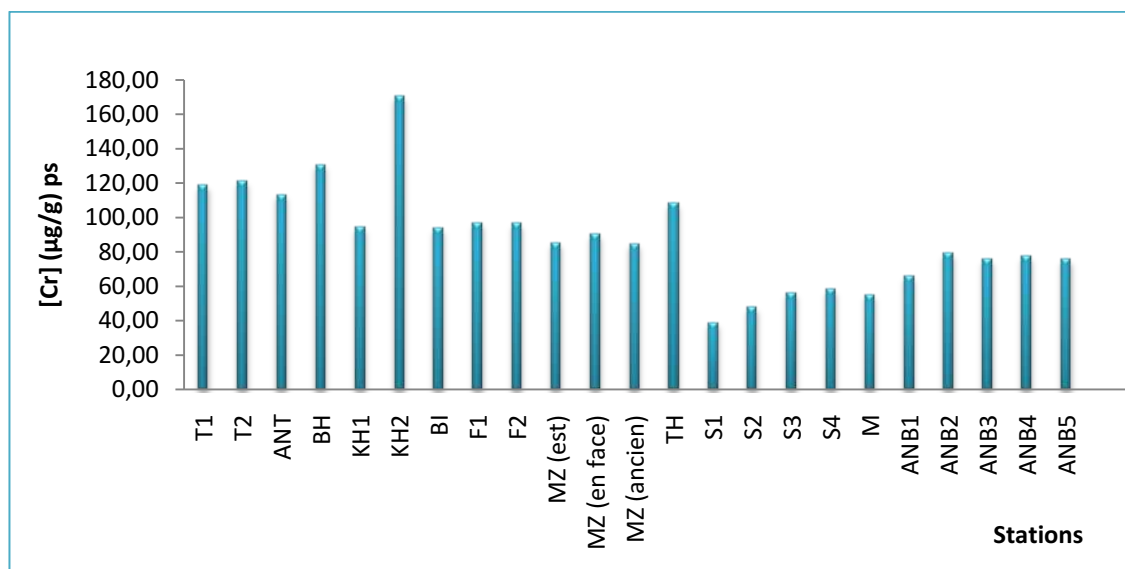


Fig.30 : Variation de la concentration du chrome au niveau de la baie de BouIsmaïl

Les teneurs en chrome varient dans l'intervalle [38,85 – 170,45 µg/g] avec une moyenne de [88,30] (µg/g) de poids sec. Au niveau des ports, la teneur maximale se trouve au niveau du port de Khemisti (station KH2, sédiment vaseux) et la plus faible au niveau de la passe du port de Sidi Fredj S1 (sédiment sableux). Pour le port de Sidi Fredj la teneur s'accroît des bassins jusqu'à la passe. Ceci peut être due à la nature des sédiments (la concentration décroît de sédiments vaseux à sableux) ainsi que l'influence des rejets.

Les concentrations dans les autres ports ne présentent pas des fluctuations significatives entre les bassins mais restent supérieures par rapport à la concentration normale qui est de 45 µg/g de poids sec.

Au niveau des ports la présence du chrome peut être due généralement aux pigments pour les peintures et les alliages en acier inoxydable.

Pour les zones non portuaires, la teneur maximale [113,11] ( $\mu\text{g/g}$ ) de poids sec est observée au niveau de la station ANT (Ain Tagourait, près de la ferme aquacole) et la minimale au niveau de la station M (plage Moretti). Pour ces zones, le chrome peut avoir comme origine les rejets industriels de papeterie (Fouka, Zeralda) et caoutchouc (Fouka, Bou Ismail) sans oublier l'origine terrigène.

#### 4.3 Le cuivre

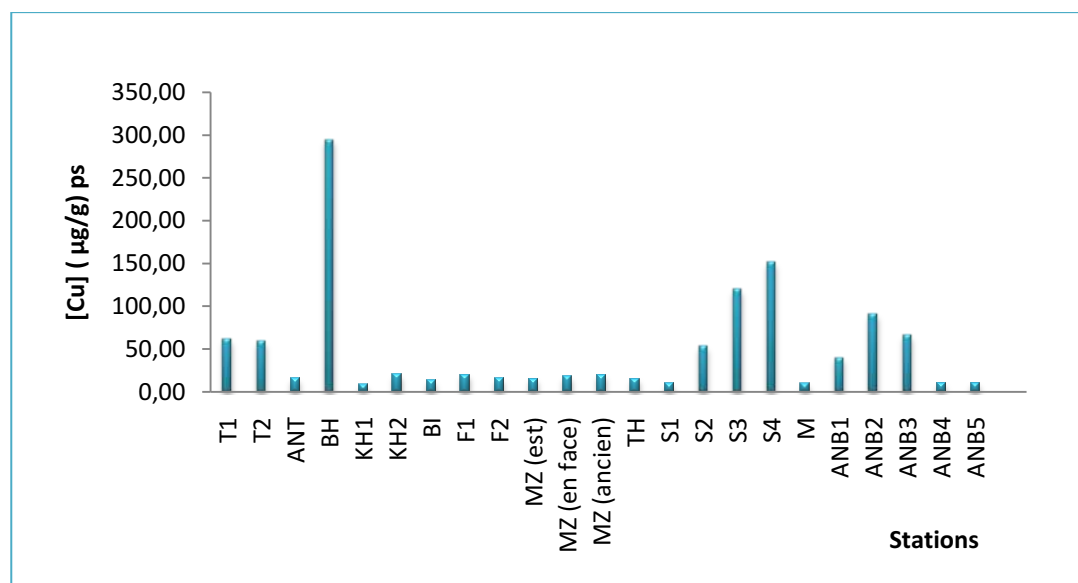


Fig.31 : Variation de la concentration du cuivre au niveau de la baie de BouIsmail

Les sédiments superficiels de la Baie de Bou Ismail ont des concentrations en cuivre comprises entre un maximum de [294,42] et un minimum de [8,35]  $\mu\text{g/g}$  de poids sec. Le maximum du cuivre est observé au niveau du port de Bouharoun dont le fond est vaseux et le minimum au niveau du port de Khemisti (KH1).

Les teneurs les plus faibles sont observées au niveau des zones côtières (ANT, MZ, F, M) sauf pour la station KH1 au niveau du port de Khemisti.

La répartition du cuivre au niveau de la baie de Bou Ismail semble être en fonction de la couverture sédimentaire. Les sédiments vaseux présentent les teneurs les plus élevées contrairement aux sédiments sableux. Pour certains sédiments dont la nature est sableuse, les concentrations les plus importantes sont dues probablement à l'exposition directe aux effluents industriels (peinture antifouling).

## 4.4 Indice de contamination

Tab.11 : Calcul d'indice de contamination des métaux étudiés

Métaux	IC		
	intervalle	$I_m = \sum IC/n$ (n= 22)	Interprétation
<b>Chrome</b>	0,86 - 3,78	1,96	Sédiments normaux dans toutes les stations (I.C<3) 3 < IC <10 pour la station KH2 (sédiment pollué)
<b>Cuivre</b>	0,32 -11, 32	2,21	Concentration normale pour toutes les stations où I.C < 3 sauf pour la station BH où I.C >10, présence des risques pour la faune marine.
<b>Zinc</b>	0,03 – 16, 3	1,31	Sédiments normaux pour toutes les stations (I.C <3) Sédiment polluée pour la station BH (I.C > 10), risque de non survie de la faune aquatique.

Les indices de contamination calculés sont tous inférieures à 3, sauf :

- pour certains ports comme le port de Bouharoun où IC est supérieure à 10 pour le cuivre et le zinc
- pour le port de Khemisti où l'un indice de contamination est compris entre 3 et 10 pour le chrome.
- 

Par conséquent, la baie de Bou Ismail peut être considérée comme une zone non polluée par les métaux lourds.

## 5. Etude de la corrélation entre les différents paramètres

### 5.1 La corrélation entre les paramètres physico-chimiques

#### 5.1.1 Le diagramme température-salinité

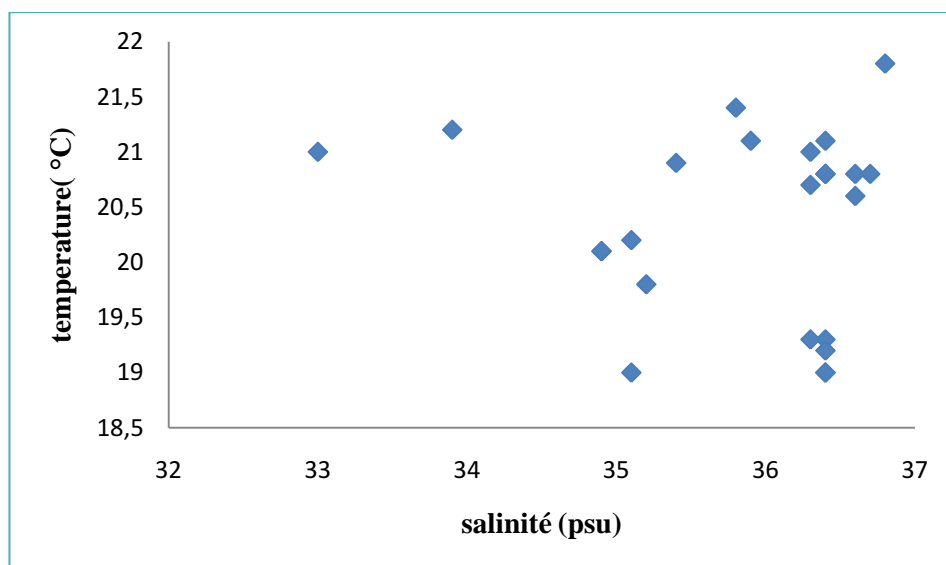


Fig.32 : Diagramme de corrélation entre la température et la salinité

Le diagramme T-S est utilisé pour la détermination des masses d'eau marines et leurs caractéristiques. Comme nos données ne concernent que les eaux superficielles, ce diagramme montre un nuage de point très diffus. Ceci est dû au fait que les eaux de surfaces côtières sont très influencées par plusieurs facteurs qui affectent les valeurs de la salinité et de la température : l'influence atmosphérique, les apports d'eau douce, la profondeur faible, la stagnation des eaux au niveau des enceintes portuaires ... Donc on ne peut pas réellement distinguer des masses d'eau.

## 5.1.2 Le diagramme température-pH

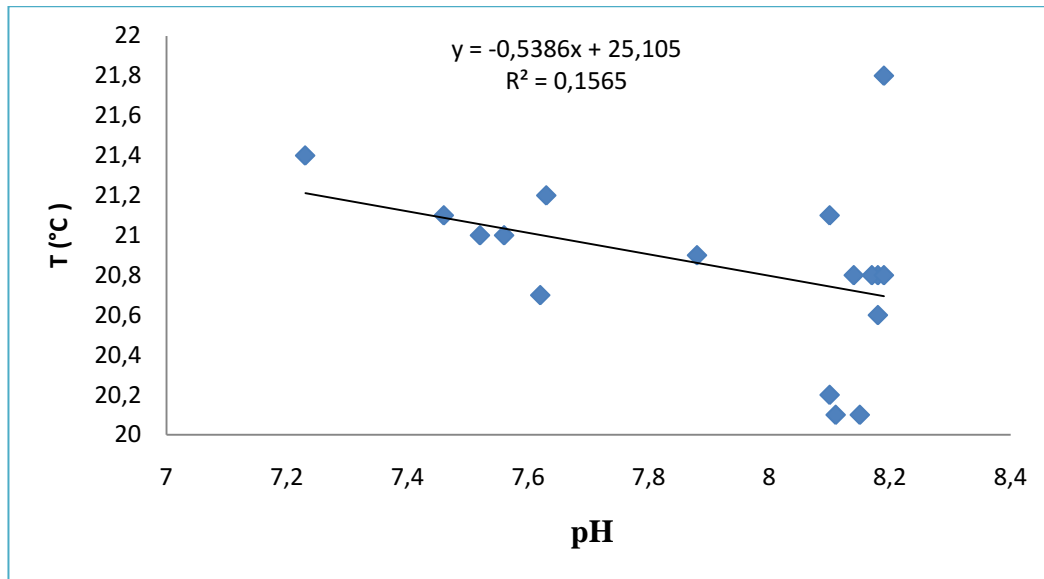


Fig.33 : Diagramme de corrélation entre la température et le pH

Le pH de l'eau de mer varie en fonction de la modification des concentrations en  $\text{CO}_2$  (respiration, photosynthèse ou échange air-océan) ou en  $\text{CO}_3^{2-}$  (précipitation) qui sont eux-mêmes en fonction de la température. Ce diagramme montre une corrélation négative entre température et pH, cela peut être expliqué par certains rejets industriels ou les apports d'eaux de ruissellement qui sont la cause de variation du pH qui s'avère être dans ce cas un indice de pollution.

### 5.1.3 Le diagramme température- oxygène dissous

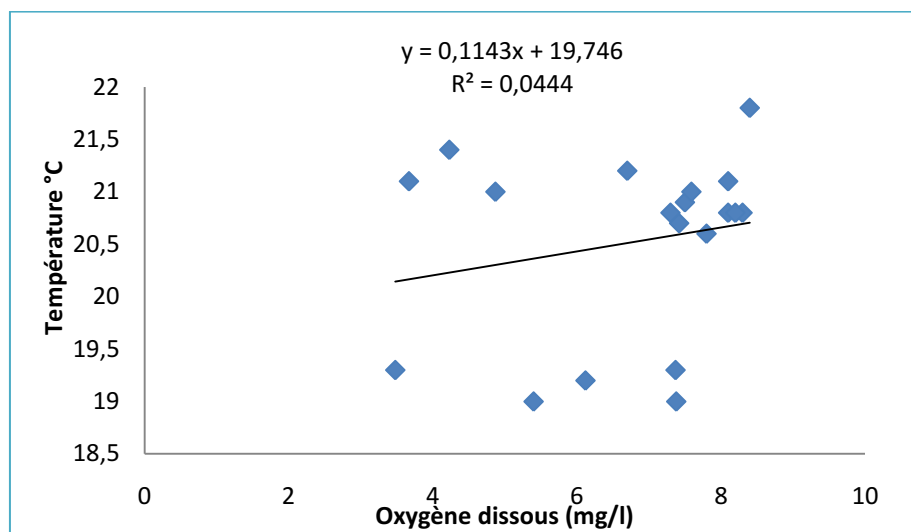


Fig.34: Diagramme de corrélation entre la température et l'oxygène dissous

La solubilité ou la saturation en oxygène dissous varie en fonction de la température, elle augmente avec la diminution de la température. La corrélation montre une distribution très diffuse et non significative. Cela peut être expliqué par l'influence des pollutions rencontrées dans les ports et les différents apports (agricoles et industriels) ainsi que les autres facteurs au même titre que le Diagramme T-S.

### 5.2 La corrélation entre la température et les sels nutritifs

Les corrélations les plus significatives sont celles avec les nitrates et l'ammonium. Ces corrélations n'ont pas de signification importante dans les eaux côtières et sont montrées à titre indicatif.

#### 5.2.1 Diagramme Température – Nitrates

Cette corrélation présente une distribution avec une certaine linéarité, mais le coefficient de corrélation reste très faible et non significatif. Cette distribution peut renseigner sur les processus oxydatifs des nitrites en nitrate qui évoluent en fonction de la température ou probablement aussi l'origine.

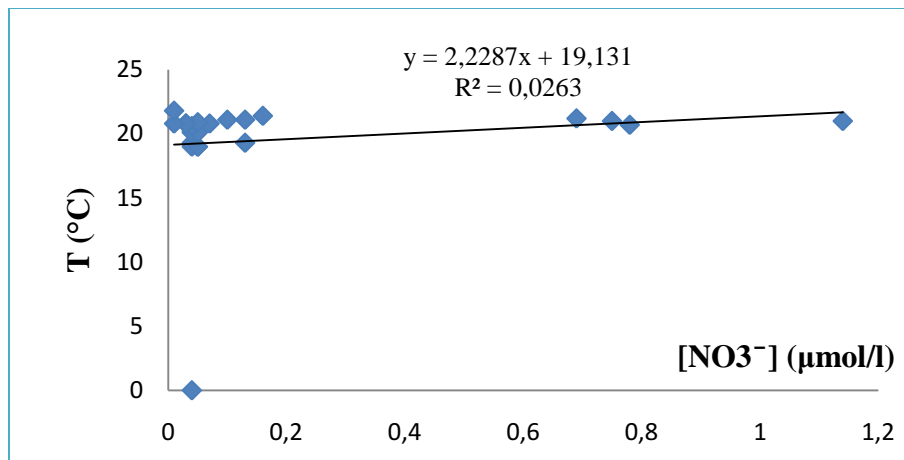


Fig.35 : Diagramme de corrélation entre la température et les nitrates

### 5.2.2 Diagramme température- ammonium

Ce diagramme montre une corrélation positive entre la température et l'ammonium. Cette allure peut être expliquée par le rôle de la température dans le processus de dégradation de l'azote organique par ammonification (effet de la température sur la croissance des micro-organismes et les bactéries nitrifiantes).

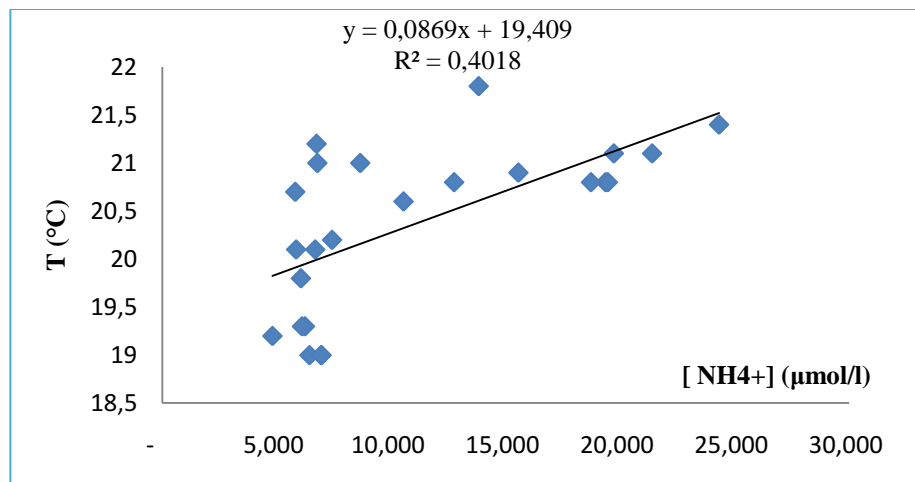


Fig.36 : Diagramme de corrélation entre la température et l'ammonium

### 5.3 Le diagramme salinité-sels nutritifs

#### 5.3.1 Le diagramme salinité-nitrates

Ce diagramme montre une corrélation négative entre la salinité et les nitrates car la variation des concentrations des nitrates est particulièrement en fonction de la température.

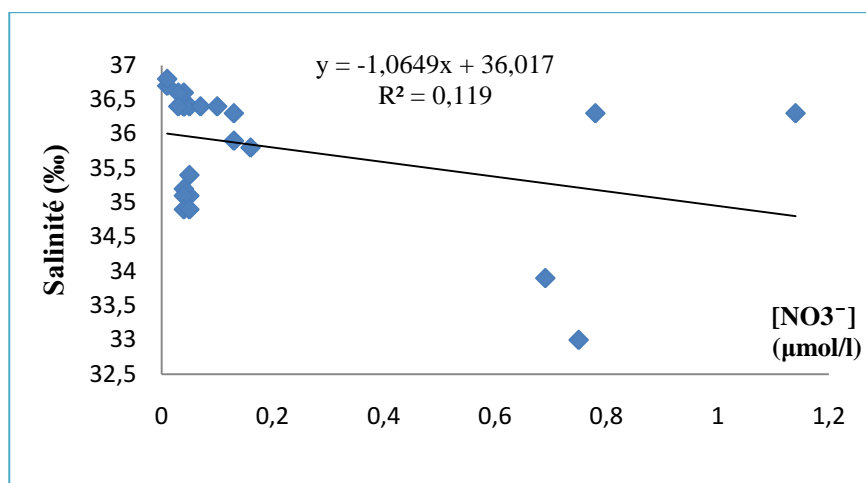


Fig.37 : Diagramme de corrélation entre la salinité et les nitrates

#### 5.3.2 Le diagramme salinité-ammonium

Cette distribution est presque identique à celle observée pour la corrélation température-ammonium. Cependant le coefficient de corrélation reste faible et non significatif.

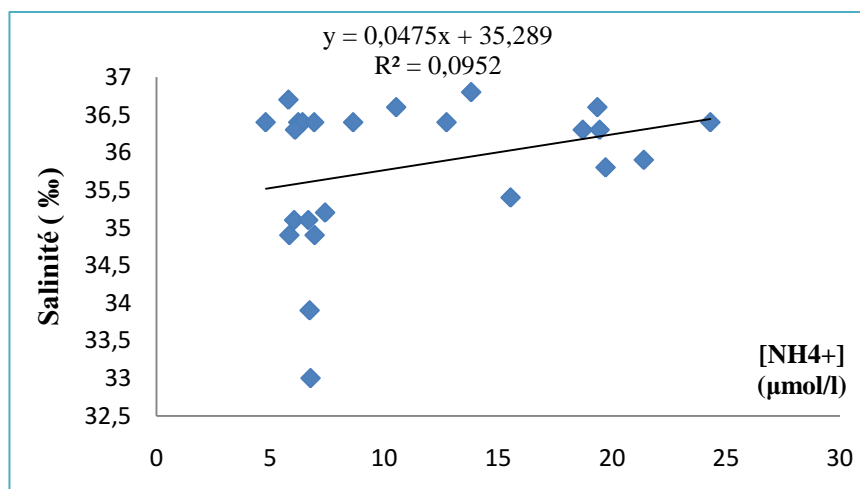


Fig.38 : Diagramme de corrélation entre la salinité et l'ammonium

## 5.4 Le diagramme nitrate – phosphates

La corrélation entre les nitrates et les phosphates donne une distribution très diffuse. Elle est non significative, surtout avec un coefficient proche de zéro (0). De ce fait le rapport N/P ne peut être calculé, car il n'y a aucune dépendance entre les deux paramètres. Cette perturbation est due essentiellement aux facteurs anthropiques dont dépend l'origine et la distribution des nitrates et des phosphates dans le site d'étude. Ceci peut renseigner sur l'importance du déséquilibre qui peut exister dans l'environnement naturel étudié affecté par l'impact anthropique.

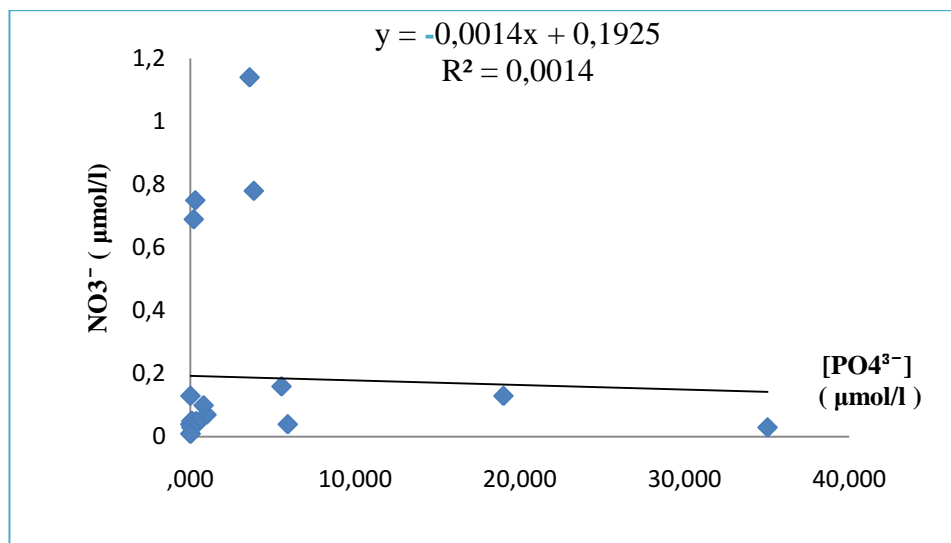


Fig.39 : Diagramme de corrélation entre les nitrates et les phosphates (Rapport N/P)

## 6. Comparaison des résultats obtenus avec d'autres études au niveau de la baie de BouIsmaïl et d'autres sites

### 6.1 Les sels nutritifs

Le tableau suivant montre les différentes concentrations des sels nutritifs obtenues dans différentes études qui ont été effectués au niveau de la baie de Bou Ismaïl. Les concentrations sont exprimées en  $\mu\text{mol/l}$

Tab.12 : les concentrations des sels nutritifs obtenues dans la présente étude et des études antérieures

Elément \ Période	Mai 1996		Juillet 2002		Mai 2010	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
<b>Nitrates</b>	0,25	8,2	0,01	0,27	0,01	1,14
<b>Nitrites</b>	0,05	0,34	0,0002	0,0075	0,0004	0,5763
<b>Ammonium</b>	0,25	0,81	0,01	0,45	4,8023	24,3218
<b>Orthophosphates</b>	0,01	0,9	0,09	0,21	0	35,04
<b>Silicates</b>	0,74	8,1	1,04	6,53	0,05	46,09
<b>Référence</b>	Brahmia et Brinis (1997)		Hiddouch Idir (2003)		Présente étude (2010)	

Pour les nitrates, les teneurs en 1996 sont plus élevées que celle obtenues en 2002 et 2010. En ce qui concerne les nitrites les concentrations en 1996 et la présente étude sont plus importantes que celle retrouvées en 2002.

L'ammonium présente des teneurs plus élevées en 2010 (présente étude) par rapport aux études de 1996 et 2002, cela peut être due au développement agricole, industriel et touristique au niveau de la baie de Bou Ismaïl.

Pour les orthophosphates et les silicates les études en 1996 et 2010 présentent des teneurs élevés comparant à celle de 2002 mais la présente étude montre une teneur maximale extrêmement élevée par rapport à celle de 1996. Cela peut être expliqué par le développement agricole. Le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés et lessivage des roches du bassin versant par les eaux de ruissellement qui transportent des quantités énormes des silicates.

Donc, l'étude faite en 2002 ne montre pas une pollution par les sels nutritifs tant que les concentrations sont plus faibles que celles obtenue dans les deux autres études.

## 6.2 Les métaux lourds

Le tableau suivant présente les différentes études sur les métaux lourds au niveau de la baie de BouIsmaïl et d'autres sites. Pour certaines études, la quantification des micropolluants ont été portés sur la fraction totale du sédiment sauf pour celle d'Aouameur, 1990 où l'étude est portée sur la fraction fine (tamisage à 63  $\mu\text{m}$ ).

Tab.13 : concentrations des métaux lourds étudiés obtenues dans la présente étude et des études antérieures

Etude \ Les métaux	Chrome	Cuivre	Zinc
<b>Présente étude</b> <b>Baie de Bou-Ismaïl</b> (2010)	38,85 – 170,45 88,30	8,35-294,42 49,53	2,73-1472,12 115,90
<b>Port d'Alger</b> (Aouameur djamila, 1990)	-	168,62	541,38
<b>Baie de Bou-Ismaïl</b> (Hiddouch idir, 2003)	-	4,56	80,19
<b>Littoral Algérois</b> (Rouibah et al., 2005)	-	6,08-32,65	36,77-156,80
<b>Baie d'Alger</b> (Taib errahmani, 2009)	8,95-33,97 22,06	15,7-143,5 37,05	85,81-400,63 139,06

Pour les études effectuées au niveau de la baie de BouIsmaïl, la teneur moyenne du cuivre et du zinc sont largement supérieures à celles obtenus par *Hiddouch (2003)*.

Les moyennes obtenues dans la baie d'Alger (*Taib Errahmani, 2009*) sont plus élevées que celle trouvées dans la présente étude. Mais la teneur maximale des trois métaux trouvés dans la présente étude est supérieure à celle obtenue dans la baie d'Alger.

Les valeurs minimales et maximales du cuivre dans le littoral algérois (*Rouibah. M., et al. 2005*) sont inférieures à celle obtenue dans notre étude. Par contre la valeur maximale en zinc est plus élevée. Sachant que le littoral algérois comprend la baie d'Alger et certaines régions de la baie de BouIsmaïl (de Reghaia jusqu'à Zeralda).

Au niveau du port d'Alger (*Aouameur, 1990*), les teneurs moyennes en cuivre et zinc sont supérieures à celle obtenues dans notre étude et même à celle obtenues dans les autres études. Cela peut être expliqué par la forte pollution au niveau du port d'Alger et aussi selon la nature du sédiment puisque l'extraction des métaux a été effectuée dans la fraction fine (affinité des métaux pour la fraction fine).

Par conséquent, on peut considérer que la baie de BouIsmaïl est beaucoup moins polluée que la baie d'Alger.

*Conclusion*

Cette étude nous a permis d'évaluer l'état de pollution métallique par le Chrome, Cuivre et zinc et le taux en matière organique dans les sédiments superficiels. Aussi, elle nous a permis la mesure in situ de certains paramètres physico-chimiques qui sont nécessaires pour la caractérisation de l'eau. Et, en fin, l'analyse des sels nutritifs dans l'eau superficielle au niveau des ports de la baie de BouIsmaïl ainsi certaines régions non portuaires.

A la lumière des résultats obtenus, les paramètres physicochimiques ne présentent pas des anomalies importantes. La plus part d'entre eux sont caractéristiques des eaux côtières méditerranéennes, comme la température, la salinité ... Par contre, l'oxygène dissous présente une anomalie au niveau de certains ports (El Djamila, Bouharoun). Ces paramètres physicochimiques semblent être gouvernés par des facteurs tels que l'hydrodynamisme, les processus chimique et biologiques dans la colonne d'eau, ce qui explique la différence des résultats entre les stations.

Pour les sels nutritifs, certaines stations sont certainement affectées par une pollution : les nitrates (Khemisti et Tipaza), ammonium (BouIsmaïl), phosphates et silicates (en face la nouvelle embouchure d'oued de Mazafran). Cette distribution des sels nutritifs peut être aussi influencée par des activités naturelles (photosynthèse, activité bactérienne, ruissèlement par les oueds) et anthropiques (rejets agricoles, domestiques).

Concernant le taux des sédiments en matière organique, hormis le port de Bouharoun qui présente le taux maximal, on ne peut pas évoquer une véritable pollution. Le taux en matière organique est géré par les processus naturels (présence des microorganismes au niveau des sédiments, présence ou absence d'oxygène) et anthropiques.

La distribution des trois métaux dans les sédiments superficiels ainsi que leurs indices de contamination, mis à part le zinc et le cuivre au niveau du port de Bouharoun et le chrome au niveau du port de Khemisti (KH2), ne semblent pas montrer une contamination significative au niveau de la zone d'étude.

En étudiant la corrélation entre les différents paramètres étudiés, les diagrammes établis ne montrent pas des distributions significatives et n'évoquent pas une dépendance entre les différents paramètres étudiés. Les nitrates et les phosphates qui, généralement donnent de très bonnes corrélations, leur diagramme montre une distribution très diffuse avec un coefficient de corrélation proche de zéro. Ceci signifie que le rapport N/P se trouve très perturbés par le facteur anthropique qui prédomine sur celui naturel dans le site d'étude.

La comparaison des résultats obtenus avec d'autres antérieurs dans le même site et dans d'autres sites montre que les sels nutritifs de notre étude présentent des concentrations plus élevées alors que les métaux présentent, plutôt, des teneurs plus faibles.

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

## *Conclusion générale*

---

Ces résultats font appel à la nécessité de prendre des dispositions de nature à limiter les impacts anthropique sur l'écosystème marin, notamment par le traitement des eaux usées à l'amont, l'entretien des ports et la surveillance des effluents et des rejets.

*Références*  
*Bibliographiques*

**A.B.R.M.C., 1988.** Qualité de fleuve. Synthèse des connaissances. Agence du Bassin de Rhône-Méditerranée-corse. Ministère de l'environnement.251p.

**AMINOT, A., CHAUSSEPIED, M., 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, 395p.

**AMINOT, A., KEROUEL, R., 2004.** Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et Analyses. Edt Ifremer. 316p

**ANNANE et al., 2007.** Inventaire et impact des ouvrages côtiers sur le milieu marin dans la Baie de BouIsmaïl. Mémoire d'ingénieur d'état en aménagement de littoral ENSSMAL.50p.

**AOUIDAD, Z., 1997.** Contribution a l'étude de la pollution par les métaux lourds dans les sédiments superficiels et les particules en suspension dans la baie de BouIsmaïl. Mémoire d'ingénieur d'état en aménagement du littoral et protection de l'environnement. Option : pollution marine. ENSSMAL.73p.

**AOUAMEUR, D., 1990.** Contribution à l'étude de certains métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur en halieutique. Option : molysmologie. ENSSMAL.63p.

**BACHARI.H, F., 2009.** Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. Thèse de Doctorat université du Val de Marne Paris XII France.236p.

**BERAAHO.A., 2006.** Evaluation du milieu marin.219-291p.

**BRAHMIA A. et BRINIS A., 1997.** Caractéristiques hydrologiques et niveaux de fertilité des eaux de la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'Ingénieur. ENSSMAL.126p.

**CHARLOU.J. et JOANNY.M., 1983.** Dosage du mercure et d'autres métaux (Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Ni, Cr, Mn) dans les sédiments marins par absorption atomique in Aminot, A., et Chaussepied, M. (Ed) : Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, Brest, 285-295 p.

**EDDALIA, N., 1990.** Les sels nutritifs et la matière en suspension dans la baie d'Alger et le Golf d'Arzew identification des masses d'eaux. Mémoire d'ingénieur d'état en halieutique, Option : molysmologie et chimie marine. ENNSMAL.103p.

**GOMBERT.S., 2005.** Pollution atmosphérique par les métaux : biosurveillance des retombés. Paris : EDP sciences.108p.

**HIDDOUCH, 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 d'état en aménagement du littoral et protection de l'environnement. Option : chimie marine. ENSSMAL.83p.

**KOLLER, E., 2004.** Traitement des pollutions industrielles : eau, air, déchets solides, boues. Paris : DUNOD. 424p.

**KRIBI, S., 2006.** Décomposition de la matière organique et stabilisation (Génie des procédés).

**LACAZE, J. C., 1996.** Tests d'évaluation du degré de pollution des sédiments marins : effets sur la production de larves et la consommation d'algues chez le copépode *Tigriopus brevicornis*. Revue des sciences de l'eau. Journal of Water Science, vol. 2, n° 1, 1989, p. 1-12.

**LAEASA, 2010.** La conductivité. Groupe Technologie de santé.

**LARBI, S et ACHICHE, K., 2010.** Impact des eaux usées et des embouchures des oueds sur la qualité des eaux de la baie de Bou Ismail. Mémo Ingénieur en environnement. ENSSMAL.77p.

**LECLAIRE, L, 1972.** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Aléro-Baléaire. (Précontinent algérien). Mémoire du muséum national d'histoire naturelle. Série C. Tome 241, 391p

**LEFEUVRE, M et al., 1999.** Eutrophisation et marrés vertes. Bulletin de liaison de l'observation départemental de l'environnement t, *inf'ODE*, Cotes d'Armor.16p.

**LOURGUIOUI, H., 2006.** Etude hydrologique du barrage de Boukoudoume (wilaya de Tipaza).Mémo Magistère en Aquaculture. ENSSMAL. 84p.

**O.M.S., 1980.** Les micropolluants dans les sédiments fluviaux. Rapport sur une réunion de l'O.M.S. Danemark. 86p.

**PERSON-LE RUYET J., 1986.** Les besoins en oxygène des poissons marins et leur comportement en conditions hypoxiques. Rapport IFREMER n°8604, Direction des Ressources Vivantes, 22 p.+ annexes.

**P.N.U.E, 1995.** Evaluation de l'état de l'eutrophisation en mer Méditerranée. Plan d'action pour la Méditerranée.171p.

**ROUBAH M., BOULAHIDID M., BOUDEJLLAL B., EDDALIA N., OUNADO F., 2005.** Etude de la pollution du littoral Algérois et du lac de Reghaia. Contrat ENSSMAL-APPL.73p.

**SAMARI, N., 2008.** Qualité physio chimique, sels nutritifs et bactériologique dans le sédiment superficiel et les particules en suspension dans la baie de BouIsmail, Mémo Ingénieur en pollution. ENSSMAL.79p.

**SERGHINI, A et al. 2001.** Evaluation de la contamination métallique des sediments du complexe zones humides de la ville de Mohammedia (Maroc). Bulletin de l'Institut scientifique, Rabat, section Science de la Vie n°23.4p.

**SKALAR ANALYTICAL, 1998.** Manuel San Plus Analyser : SA1050 (Randa Access auto Sampler).Bredo :Netherland.23p.

**TAIB ERRAHMANI.D., 2009.** Etude de la pollution et de la géochimie par les métaux traces et les radioéléments dans les sédiments de la baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur d'état en environnement. ENSSMAL.77p.

**TREIGNER, C., 2005.** Apport en matière organique et terrigène sur la marge équatoriale Ouest Africaine : Rôle joué par le canyon sous marin de Zaïre, approche par les biomarqueurs lipidiques. Thèse Doctorat UPMC.129p.

**ZEGHDOUDI, E., 2006.** Modélisation bioéconomique des pêcheries méditerranéennes. Application aux petits pélagiques de la baie de BouIsmaïl. Mémo de Master Université de Barcelone. 59p.

## **Sites internet**

[www.docina.insa-lyon.fr](http://www.docina.insa-lyon.fr)

[www.Lenntech.com](http://www.Lenntech.com)

[www.Senat.com](http://www.Senat.com)

# *Annexes*

# Annexe 1

Tab.1: Identification des stations de prélèvements (coordonnées géographiques, profondeur de prélèvements).

Stations		Coordonnées géographiques		Profondeur de prélèvement (m)	Observations	
<b>Ain Benian</b>	ANB1	36.802368°	2.898009°	1,5	Eau trouble (verdâtre), eau stagnante, présence des embarcations	
	ANB2	36.802070°	2.898112°	2,8	Vase + debris de végétaux	
	ANB3	36.801241°	2.898571°	2,5	Eau trouble, vase légèrement sableuse	
	ANB4	36.799661°	2.898866°	1	Sable fin	
	ANB5	36.799292°	2.900233°	Trait de cote	Sable grossier + présence des Rhodophytes	
<b>Sidi Fredj</b>	S1	36.763378°	2.849145°	1	Sable fin, ciel gris, pluie	
	S2	36.763339°	2.847515°	2	Vase + sable fin + débris de végétaux + déchets (plastique), ciel gris, pluie	
	S3	36.763867°	2.847066°	2	Vase + sable fin + débris de végétaux + déchets (plastiques) , ciel gris, pluie	
	S4	36.764488°	2.848257°	3,5	Vase + debris de végétaux, pluie	
<b>Moretti</b>	M	36.762539°	2.854438°	2	Sable fin , ciel gris	
<b>Thalasso-thérapie</b>	TH	36.761098°	2.839153°	1	Sable grossier + débris de coquilles + herbier de posidonie	
<b>Mazafran (MZ)</b>	MZ1	M Z1	36.713648°	2.818219°	7	Sable fin
		M Z1 ,	36.711692°	2.817095°	2,5	Sable fin sable fin
		M Z 2	36.702536°	2.801475°	4	odeurs purifiées
<b>Khemisti (KH)</b>	KH1	36.637513°	2.671429°	2,2	Vase + débris d'algue + déchets (plastique), eau trouble + vase purifiée	
	KH2	36.638282°	2.671370°	1	sable fin, vase purifiée	
<b>Fouka marine</b>	F1	36.681135°	2.758062°	5	Sable fin vaseux	
	F2	36.684031°	2.766006°	4	Sable grossier (présence de posidonie)	
<b>BouIsmail</b>	BI	36.647862°	2.683867°	4	Panache blanche, dégagement d'odeur	
<b>Bouharoun (BH)</b>	BH1	36.626717°	2.657129°	2	Embarcations (petits métiers), vase purifiée	
	BH2	36.625733°	2.655752°		Eau trouble, panaches d'essence	
<b>Ain Tagourait</b>	ANT	36.613262°	2.623966°	6	Visibilité intense, eau propre, sable fin	
<b>Tipaza (T)</b>	T1	36.593580°	2.451162°	2	Débris de coquilles + vase purifié	
	T2	36.594025°	2.450722°	2,5	Vase légèrement sableuse (couleur noire)	

Tab.2 : Gamme d'étalonnage des nitrites

Standards	Concentration en $\mu\text{mol/l}$	Hauteur des pics (unité digitale)
S1	0,2	1109
S2	0,4	1744
S3	0,6	2266
S4	0,8	2749
S5	1,2	3815
S6	1,4	4313

Tab.3 : Gamme d'étalonnage de l'ammonium

Standards	Concentration en $\mu\text{mol/l}$	Hauteur des pics (unité digitale)
S1	0,8	766
S2	1,2	895
S3	1,6	985
S4	2	1113
S5	2,5	1253
S6	5	1856

Tab.4 : Gamme d'étalonnage des nitrates

Standards	Concentration en $\mu\text{mol/l}$	Hauteur des pics (unité digitale)
S1	0,1	756
S2	0,4	1132
S3	0,6	1418
S4	0,8	1753
S5	1	2021
S6	1,14	2267

Tab.5: Gamme d'étalonnage des phosphates

Standards	Concentration en $\mu\text{mol/l}$	Hauteur des pics (unité digitale)
S1	0	191
S2	0,3	245
S3	0,5	292
S4	0,8	351
S5	1	374
S6	1,4	461

Tab.6: Gamme d'étalonnage des silicates

Standards	Concentration en $\mu\text{mol/l}$	Hauteur des pics (unité digitale)
S1	0,5	426
S2	1	479
S3	1,3	504
S4	1,6	625
S5	2	601
S6	5	971

## Annexe 2 (photos)



Fig.1 : La benne Van Veen



Fig.2 : Le lyophilisateur  
CHRIST-Beta 1- 8



Fig.3 : La plaque chauffante



Fig.4 : La minéralisation des échantillons  
(mise en place des godets sur la plaque  
chauffante)



Fig.6 : Le spectromètre d'absorption  
atomique (AAAnalyst 700)



Fig.6 : Le four à moufle



Fig.7 : Le dessiccateur contenant les creusets des sédiments calcinés

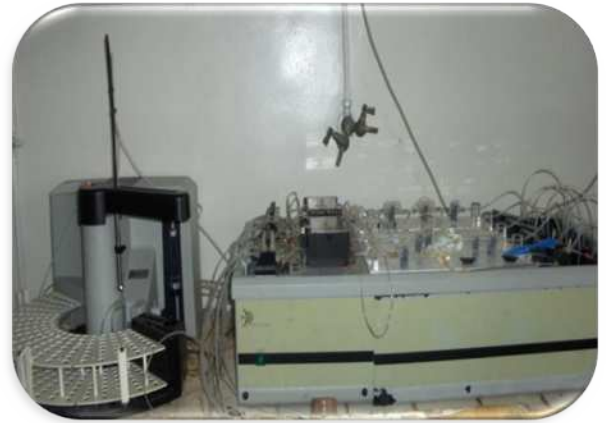


Fig.8 : Auto Analyseur « SAN PLUS »  
(SKALAR)